

THE
NEXX CHAPTER OF
INDUSTRIAL ENGINEERING
การประชุมช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566



80

เฉลิมฉลองครบรอบปีที่ 80
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพของเกษตรกร
พ.ศ. 2486-2566



PROCEEDING
IE NETWORK 2023

NEXX
CHAPTER OF
INDUSTRIAL
ENGINEERING



ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



คำนำ

การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม (IE Network Conference) เป็นเวทีที่เปิดโอกาสให้คณาจารย์ นักวิชาการ นักวิจัย นิสิต นักศึกษา วิศวกร ผู้สนใจด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมและด้านอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้นำเสนอผลงาน แลกเปลี่ยนองค์ความรู้ เชิงวิชาการ สร้างผลงานวิจัยเผยแพร่ในเวทีวิชาการระดับชาติ สร้างเครือข่ายของคณาจารย์ นักวิจัยจากสถาบันต่างๆ และหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน ในปี พ.ศ. 2566 นี้ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้รับเกียรติให้เป็นประธานจัดการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ร่วมกับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ โดยกำหนดให้มีการจัดการประชุมวิชาการฯ ระหว่างวันที่ 11-12 พฤษภาคม 2566 ณ โรงแรมไบรท์ตัน แกรนด์ พัทยา อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี ภายใต้แนวคิด “The Next Chapter of Industrial Engineering”

คณะกรรมการดำเนินงาน การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566 มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้เป็นส่วนร่วมในการสร้างเวทีที่ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความรู้ ความคิดเห็น ประสบการณ์และผลงานวิจัยในสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และขอขอบพระคุณนักวิจัย นิสิต นักศึกษา คณาจารย์จากมหาวิทยาลัยต่างๆ ผู้ให้การสนับสนุน และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่ร่วมกันทำให้การประชุมวิชาการฯ ในครั้งนี้สัมฤทธิ์ผลตามวัตถุประสงค์

คณะกรรมการดำเนินงาน

การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2566

11-12 พฤษภาคม 2566

สารจากรองอธิการบดี

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา



ในนามของผู้บริหาร คณาจารย์และบุคลากร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ผมรู้สึกยินดีเป็นอย่างยิ่งที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา ได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพจัดการประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566 (IE Network Conference 2023) เพื่อเป็นการเฉลิมฉลอง 80 ปี แห่งการสถาปนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมอุตสาหกรรมเป็นสาขาหนึ่งที่มีส่วนสำคัญในการผลักดันและขับเคลื่อนพัฒนาองค์ความรู้สู่ภาคอุตสาหกรรม ทั้งในด้านการสร้างนวัตกรรมใหม่ การปรับปรุงและพัฒนาประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ซึ่งล้วนส่งผลให้อุตสาหกรรมทุกภาคส่วนในประเทศไทยเกิดการพัฒนาย่างต่อเนื่องและยั่งยืนต่อไป

ผมหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2566 ในครั้งนี้ จะเป็นการเปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมประชุมได้มีโอกาสแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์และผลงานวิจัย เพื่อประโยชน์ในการเพิ่มพูนความรู้ ส่งเสริมและพัฒนา งานวิจัยที่มีคุณภาพเพื่อตอบสนองและพัฒนาประเทศชาติและสังคมต่อไป

ในโอกาสนี้ผมขออวยพรให้การประชุมวิชาการช่วยงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2566 จงบรรลุวัตถุประสงค์ของ คณะกรรมการดำเนินงานทุกประการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ.ดร.เสรี กุญแจนาค)

รองอธิการบดีวิทยาเขตศรีราชา

สารจากนายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์



วิชาชีพด้านวิศวกรรม ประกอบไปด้วย 3 สาขาหลัก ได้แก่

- 1) มหาวิทยาลัย ทำหน้าที่ผลิตบุคลากรทางด้านวิชาชีพวิศวกรรมให้มีคุณภาพ
- 2) สมาคมวิชาชีพ ทำหน้าที่เติมเต็มและเสริมความรู้ให้กับวิศวกรในการประกอบวิชาชีพ
- 3) องค์กรกำกับดูแลผู้ประกอบการวิชาชีพวิศวกร ซึ่งเป็นองค์กรภายใต้กฎหมาย

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ เป็นสมาคมวิชาชีพทางด้านวิศวกรรมที่ดำเนินงานเพื่อสังคมและสาธารณประโยชน์โดยมิได้แสวงหาผลกำไร มีเป้าหมายเพื่อพัฒนาศักยภาพควบคู่กับการส่งเสริมจรรยาบรรณให้แก่บัณฑิต-นักศึกษา วิศวกร และผู้ปฏิบัติงานวิชาชีพวิศวกรรมที่ได้รับการยอมรับจากหน่วยงานภาครัฐและเอกชนในระดับประเทศ

ในนามวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ภาควิชาชีพวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ได้รับเกียรติเป็นประธานจัดการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมครั้งที่ 41 ประจำปี 2566 (The 41st Conference of Industrial Engineering Network 2023) ภายใต้หัวข้อ “The Next Chapter of Industrial Engineering” ด้วยมหาวิทยาลัยเป็นหนึ่งในเสาหลักที่ทำหน้าที่ผลิตบุคลากรทางด้านวิชาชีพวิศวกรรมให้มีคุณภาพ ในการจัดงานประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ซึ่งในครั้งนี้อวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ มีความยินดีที่ได้มีโอกาสร่วมกับทางสถาบันในการสนับสนุนการดำเนินงานเพื่อให้เกิดการสร้างความร่วมมือด้านวิชาการ การแสดงผลงานความก้าวหน้า ตลอดจนการแลกเปลี่ยนความรู้ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมและสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณคณะกรรมการจัดงานการประชุมวิชาการฯ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน อีกทั้งผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ให้การสนับสนุนในการจัดการประชุมวิชาการระดับชาติ IE Network 2023 ครั้งนี้เป็นอย่างดี หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ จะได้มีส่วนสนับสนุนงานทางด้านวิศวกรรมแก่ทั้งหน่วยงานภาครัฐและประชาชน รวมถึงเป็นศูนย์รวมความรู้ให้กับวิศวกรในโอกาสต่อ ๆ ไป

รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ กาสลัก

นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

สารจากคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา



ในนามของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กระผมมีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ภาควิชาชีพวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา ได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพจัดการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี พ.ศ. 2566 (IE Network Conference 2023) เพื่อเป็นการเฉลิมฉลอง 80 ปี แห่งการสถาปนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บนฐานแนวคิดของการประชุมครั้งนี้ “The Next Chapter of Industrial Engineering” ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อเปิดโอกาสให้นิสิต นักศึกษา นักวิชาการ นักวิจัย ผู้ประกอบการ ตลอดจนผู้ที่สนใจได้ประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ ประสบการณ์ และผลงานวิจัย จะทำให้เกิดการประสานความร่วมมือของผู้เข้าร่วมประชุมในการพัฒนาองค์ความรู้ และนวัตกรรมใหม่ๆ ที่จะเป็นโยบายต่อการพัฒนางานวิจัยทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมต่อไป

สุดท้ายนี้ กระผมขอขอบคุณท่านวิทยากร ผู้ทรงคุณวุฒิ คณาจารย์ บุคลากร ตลอดจนผู้สนับสนุนการจัดงานทุกท่านที่มีส่วนร่วมที่สำคัญในการสนับสนุนการจัดกิจกรรม และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการจัดประชุมวิชาการครั้งนี้จะเป็นอีกก้าวหนึ่งที่สำคัญในการนำองค์ความรู้ที่ได้จากการประชุมวิชาการไปแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ประยุกต์ใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศไทยต่อไป

(รองศาสตราจารย์ ดร. สถาพร เชื้อเพ็ง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารจากประธานกรรมการดำเนินงาน

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2566



ภาคีวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา มีความยินดีเป็นอย่างยิ่งที่ได้รับเกียรติให้เป็นประธานจัดการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566 ร่วมกับวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ภายใต้แนวคิด “The Next Chapter of Industrial Engineering”

ขอขอบพระคุณผู้ร่วมเสนอบทความและผลงานวิจัย ผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ วิทยากร และผู้ให้การสนับสนุนทุกท่าน รวมทั้งคณะกรรมการจัดงานประชุมวิชาการในครั้งนี้ ที่ได้มีส่วนสำคัญยิ่งต่อการเผยแพร่ผลงานวิชาการและงานวิจัย ตลอดจนการแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ ที่จะนำไปสู่การสร้างเครือข่ายให้นักวิจัยได้ทำวิจัยร่วมกัน อันก่อให้เกิดการพัฒนาวิจัยให้กว้างขวางยิ่งขึ้น

ดิฉันหวังเป็นอย่างยิ่งว่าการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2566 จะประสบความสำเร็จและบรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณะกรรมการจัดงาน บุคลากรทุกท่าน และหน่วยงานต่างๆที่ให้การสนับสนุนการจัดประชุมวิชาการครั้งนี้เป็นอย่างดี

จิราภรณ์ ปรัดบัวปล

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิราภรณ์ ปรัดบัวปล)

ประธานกรรมการดำเนินงาน

การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2566

เอกสารโครงการการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566
(The 41st Conference of Industrial Engineering Network 2023)

ระหว่างวันที่ 11-12 พฤษภาคม 2566

โรงแรมไบรท์ตัน แกรนด์ พัทยา (Brighton Grand Hotel Pattaya) อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี

จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

1. หลักการและเหตุผล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ได้รับการคัดเลือกให้เป็นมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ในปีการศึกษา 2553 ซึ่งหมายถึงการเป็นมหาวิทยาลัยที่ผลิตผลงานวิจัยเพื่อการตีพิมพ์ เผยแพร่ และมีการนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ในทางสังคม เศรษฐกิจ และอุตสาหกรรม ทั้งนี้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา ได้ตระหนักถึงความสำคัญด้านการวิจัยและส่งเสริมให้บุคลากรทำวิจัย ทั้งการวิจัยพื้นฐาน การวิจัยด้านสร้างองค์ความรู้ใหม่และนวัตกรรม เพื่อสนองนโยบายของมหาวิทยาลัยในด้านการวิจัย และเผยแพร่ผลงานที่มีประโยชน์ต่อสาธารณะทั้งในและต่างประเทศ

ช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม (Industrial Engineering Network) หรือ IE Network เป็นองค์การที่สร้างความร่วมมือและความเข้าใจอันดีระหว่างสถาบันการศึกษา ที่ผลิตบุคลากรด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมและที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรม อุตสาหกรรม ก่อตั้งขึ้นเมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2525 โดยได้รับการสนับสนุนจากวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) มีสมาชิกที่ร่วมกันก่อตั้งจำนวน 10 สถาบัน และภาคีสมาชิกอีก 1 สถาบัน โดยมีสมาชิกกว่า 40 สถาบันทั่วประเทศ มีวัตถุประสงค์หลักในการสนับสนุนให้เกิดการแลกเปลี่ยนข่าวสารข้อมูลด้านงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม มีความร่วมมือในการจัดทำโครงการวิจัยในงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม มีการแลกเปลี่ยนคณาจารย์และนิสิตนักศึกษาระดับมหาบัณฑิตระหว่างสถาบันที่เป็นสมาชิกและมีความร่วมมือกับหน่วยงานต่างๆ ในการจัดการพัฒนางานวิศวกรรมอุตสาหกรรมอันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิชาการและเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศในด้านธุรกิจอุตสาหกรรม การออกแบบ การผลิต การจัดระบบงาน โลจิสติกส์ งานบริหารระบบคุณภาพ วิศวกรรมความปลอดภัย ตลอดจนงานปฏิบัติการในธุรกิจให้บริการต่างๆ ของประเทศที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่อง

โดยในปีนี้ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ได้รับเกียรติให้เป็นประธานจัดงานประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566 (The 41st Conference of Industrial Engineering Network 2023) ระหว่างวันที่ 11-12 พฤษภาคม 2566 ในแนวคิด "The Next Chapter of Industrial Engineering" เพื่อเปิดโอกาสให้นักวิชาการและนักวิจัยในสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และสาขาที่เกี่ยวข้องมาประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ประสบการณ์ และผลงานวิจัย อันจะนำไปสู่การยกระดับงานวิจัยของประเทศต่อไป

2. วัตถุประสงค์

- 2.1 เพื่อส่งเสริมและสร้างความรู้ให้กับคณาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการ นิสิต นักศึกษา รวมทั้งผู้สนใจตระหนักถึงความสำคัญในการสร้างผลงานวิจัยและผลงานทางวิชาการในสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และเผยแพร่ในเวทีวิชาการระดับชาติ
- 2.2 เพื่อเป็นการแลกเปลี่ยนองค์ความรู้เชิงวิชาการในการเผยแพร่ผลงานวิจัย ผลงานทางวิชาการ และผลงานสร้างสรรค์ในระดับชาติ
- 2.3 เพื่อเป็นการสร้างเครือข่ายของคณาจารย์ และนักวิจัยจากสถาบันต่างๆ และหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนได้มีส่วนร่วมและประสบการณ์ในการประชุมทางวิชาการระดับชาติ

3. กลุ่มเป้าหมาย

นิสิต นักศึกษา นักวิจัย นักวิชาการในสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทั้งภาครัฐและเอกชน

4. วัน-เวลา และสถานที่

ระหว่างวันที่ 11-12 พฤษภาคม 2566 ณ โรงแรมไบรท์ตัน แกรนด์ พัทยา (Brighton Grand Hotel Pattaya) อำเภอบางละมุง จังหวัดชลบุรี

5. กำหนดการเปิดรับบทความ

กิจกรรม	กำหนดการ
เปิดรับบทความฉบับสมบูรณ์	15 ธันวาคม 2565 – 20 มีนาคม 2566
ประกาศผลพิจารณาบทความ	3 เมษายน 2566
แจ้งผลการประเมินบทความฉบับแก้ไข	21 เมษายน 2566
ลงทะเบียน	3 - 30 เมษายน 2566
นำเสนอผลงานวิชาการ	11-12 พฤษภาคม 2566

6. การลงทะเบียนเข้าร่วมงาน

การลงทะเบียน	ลงทะเบียนล่วงหน้า (3 - 25 เมษายน 2566)	ลงทะเบียน (26 - 30 เมษายน 2566)
นักศึกษา	2,800 บาท	3,800 บาท
อาจารย์ นักวิจัย บุคคลทั่วไป	3,300 บาท	4,300 บาท

7. หัวข้อหลัก (Theme) และหัวข้อย่อย (Topics)

7.1 หัวข้อหลัก (Theme)

“The Next Chapter of Industrial Engineering”

7.2 หัวข้อย่อย (Topics)

- 1) Operations Research, Optimization and Decision Support Systems
- 2) Automation and Smart Technology
- 3) Supply Chain and Logistics Management
- 4) Work Study, Ergonomics, Safety and Plant Design
- 5) Material and Manufacturing Technology
- 6) Production and Operations Management
- 7) Quality Engineering and Management
- 8) Green Technology, Innovation Management and Technology Transfer
- 9) Engineering Economy and Industrial Cost Analysis
- 10) Other Related Topics in Industrial Engineering

8. การส่งบทความ

สามารถดาวน์โหลดแบบฟอร์มการนำเสนอบทความ (Paper Template) ได้ที่เว็บไซต์ <https://www.eng.src.ku.ac.th/ienet2023/> หรือ QR code



9. จัดโดย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

คณะกรรมการจัดประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566

คณะกรรมการที่ปรึกษา

1. รองอธิการบดีวิทยาเขตศรีราชา
2. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา
3. รองคณบดีฝ่ายวิจัยและนวัตกรรม
4. ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและบริการวิศวกรรม
5. ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิจัยและนวัตกรรม
6. หัวหน้าสำนักงานเลขานุการ

คณะกรรมการฝ่ายอำนวยการ

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1. ผศ.ดร. จิราภรณ์ ประดับวงษ์ | ประธานกรรมการ |
| 2. ผศ.ดร. เชษฐา ชำนาญหล่อ | กรรมการ |
| 3. ผศ.ดร. ชัยวัฒน์ นุ่มทอง | กรรมการ |
| 4. ผศ.ดร. ศิริรัตน์ ชูดีชูเดช | กรรมการ |
| 5. ผศ.ดร. เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ดี | กรรมการ |
| 6. ผศ.ดร. สิริรงค์ กลั่นคำสอน | กรรมการ |
| 7. ผศ.ดร. จันจิรา คงชื่นใจ | กรรมการ |
| 8. ผศ. นันทวุฒิ ศรีอริยวัฒน์ | กรรมการ |
| 9. ผศ.ดร. ประภาพรณ เกษราพงศ์ | กรรมการ |
| 10. ผศ.ดร. ธนพันธ์ คงทอง | กรรมการ |
| 11. ผศ.ดร. จิรเกียรติ ทรายทอง | กรรมการ |
| 12. ผศ.ดร. ฐิติกร พัฒนพิบูล | กรรมการ |
| 13. ผศ.ดร. จักรินทร์ กลั่นเงิน | กรรมการ |
| 14. ผศ.ดร. นงฐวิภา จันท์ศรี | กรรมการและเลขานุการ |
| 15. นางสาว ณัฐกานต์ แก้วมณี | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |
| 16. นางสาว กนกวรรณ ตันนิยม | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |

คณะอนุกรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| 1. ผศ.ดร. ฐิติกร พัฒนพิบูล | ประธานอนุกรรมการ |
| 2. ผศ.ดร. ชัยวัฒน์ นุ่มทอง | อนุกรรมการ |
| 3. ผศ.ดร. สิริรงค์ กลั่นคำสอน | อนุกรรมการ |
| 4. ผศ.ดร. จันจิรา คงชื่นใจ | อนุกรรมการ |
| 5. ผศ.ดร. ประภาพรณ เกษราพงศ์ | อนุกรรมการ |
| 6. นางสาว ศศิธร ฤทธิ์เพชร | อนุกรรมการ |
| 7. นาย ธิติ โรจนบวร | อนุกรรมการ |
| 8. นางสาว รัตนาภรณ์ ธนิกกุล | อนุกรรมการและเลขานุการ |

คณะอนุกรรมการฝ่ายสถานที่

- | | |
|-------------------------------|------------------|
| 1. ผศ.ดร. นงฐวิภา จันท์ศรี | ประธานอนุกรรมการ |
| 2. ผศ.ดร. จิราภรณ์ ประดับวงษ์ | อนุกรรมการ |
| 3. ผศ. นันทวุฒิ ศรีอริยวัฒน์ | อนุกรรมการ |
| 4. ผศ.ดร. สิริรงค์ กลั่นคำสอน | อนุกรรมการ |
| 5. ผศ.ดร. จันจิรา คงชื่นใจ | อนุกรรมการ |
| 6. ผศ.ดร. จิรเกียรติ ทรายทอง | อนุกรรมการ |

- | | |
|----------------------------|-------------------------------|
| 7. นางสาว สุกัญญา สีเขียว | อนุกรรมการและเลขานุการ |
| 8. นางสาว นิชาภัทร คุ่มสุข | อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |
| 9. นาย โสพิณ ปลอดภัย | อนุกรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |

คณะอนุกรรมการฝ่ายประสานงานวิชาการ

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| 1. ผศ.ดร. ศิริรัตน์ ชูติชูเดช | ประธานอนุกรรมการ |
| 2. ผศ.ดร. ธนพันธ์ คงทอง | อนุกรรมการ |
| 3. ผศ.ดร. นัฐวิภา จันทร์ศรี | อนุกรรมการ |
| 4. ผศ.ดร. รุติกร พัตนพิบูล | อนุกรรมการ |
| 5. ผศ.ดร. จิรเกียรติ ทรายทอง | อนุกรรมการ |
| 6. นางสาว ยุพิน รักเกียรติ | อนุกรรมการและเลขานุการ |

คณะอนุกรรมการฝ่ายการเงิน

- | | |
|-------------------------------|------------------------|
| 1. ผศ.ดร. จิราภรณ์ ประดับวงษ์ | ประธานอนุกรรมการ |
| 2. ผศ.ดร. เพ็ญสุดา พันธุธิดา | อนุกรรมการ |
| 3. ผศ.ดร. เขกฐา ชำนาญหล่อ | อนุกรรมการ |
| 4. ผศ.ดร. จักรินทร์ กลั่นเงิน | อนุกรรมการ |
| 5. นางสาว สุกัญญา สว่างวงศ์ | อนุกรรมการ |
| 6. นางสาว ขวัญจิต โลหากาศ | อนุกรรมการและเลขานุการ |

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ
การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

พ.ต. ดร. บดินทร์ สิงห์ไพโร

พ.ต. ดร. ศิวพงศ์ กุศลภูษณงค์

พ.ต. พิสิฐ เจือไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศ.ดร. ปารเมศ ชูติมา

รศ.ดร. ดาริชา สุธีวงศ์

รศ.ดร. นระเกณท์ พุ่มชูศรี

รศ.ดร. โอฬาร กิตติศรีพรชัย

ผศ.ดร. นันทชัย กานตานันทะ

ผศ.ดร. พิเศษฐ์ จารุมนี่โรจน์

ผศ. หฤทัย โลหะศิริวัฒน์

อ.ดร. ภูวดล ดุษฎีรังสีกุล

อ.ดร.มานิดา สว่างเนตร นอยแบร์ท

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รศ.ดร. นราภรณ์ เกาประเสริฐ

รศ.ดร. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา

รศ.ดร. วิสุทธิ สุพิทักษ์

ผศ.ดร. พาพิศ วงศ์ชัยสุวัฒน์

ผศ.ดร. รมีดาญ์ อยู่สุข

ผศ.ดร. สุวิภรณ์ วิชากุล

อ.ดร. ประพล จิระพรทิพย์

ผศ.ดร. ชัยมงคล ลิ้มเพียรชอบ

ผศ.ดร. อณจ ชัยมณี

ผศ.ดร. อธิวัฒน์ บุญมี

ผศ.ดร. จักรินทร์ กลั่นเงิน

ผศ.ดร. จิรเกียรติ ทรายทอง

ผศ.ดร. จิราภรณ์ ประดับวงษ์

ผศ.ดร. ชัยวัฒน์ นุ่มทอง

ผศ.ดร. เชษฐา ชำนาญหล่อ

ผศ.ดร. วิดีกร พัฒนพิบูล

ผศ.ดร. ธนพันธ์ คงทอง

ผศ.ดร. นัญฐวิภา จันท์ศรี

ผศ.ดร. ประภาพรพรรณ เกษราพงศ์

ผศ.ดร. เพ็ญสุตา พันธุศรีคำ

ผศ.ดร. สिरารักษ์ กลั่นคำสอน

ผศ.ดร. ศิริรัตน์ ชุตินุเดช

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

รศ.ดร. ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์

รศ.ดร. นิวิท เจริญใจ

ผศ.ดร. ชวิศ บุญมี

ผศ.ดร. วิชา วิสิทธิ์พานิช

ผศ.ดร. วรวัชร นาคเขียว

ผศ.ดร. อนิรุต ไชยจารุวิช

อ.ดร. พงษ์สวัสดิ์ เปรมเพชร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รศ.ดร. เจริญชัย โขมพัตรภรณ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

รศ.ดร. รามิล เกศวรรกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ผศ. จิรวัฒน์ ณ พัทลุง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

รศ.ดร. คมกริช ละวรรณวงษ์

ผศ.ดร. ณัฐศักดิ์ พรพุดศิริ

ผศ.ดร. นิวัฒน์ มูแกม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รศ.ดร. ซาตรี หอมเขียว

รศ. สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์

ผศ.ดร. สุชาติ จันทรณีย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

อ.ดร. นัทรพล พิมพา

อ. ดร. บัญชา พุทธาภูล

อ. มลิรัตน์ แซ่อ่อง

ว่าที่ร้อยตรี อนุศักดิ์ ศิลาชัย

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

รศ.ดร. ปณิตันต์ สุริยธนาภาส

รศ. รักษน้อย อัครรุ่งเรืองกุล

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ศ.ดร. พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์

รศ.ดร. บุษบา พุกพานิชพันธ์รัตน์

ผศ.ดร. จีวรรณ คล้อยภยันต์

รศ.ดร. จิรรัตน์ ชีระวราพฤษย์

รศ.ดร. เสมอจิตร์ หอมรสสุนทร

ผศ.ดร. วุฒินันท์ นุ่นแก้ว

รศ.ดร. ดนุพันธ์ วิสุวรรณ

รศ.ดร. อภิวัฒน์ มุตตามระ

ผศ.ดร. อนินทยา คำกันยา

มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

รศ.ดร. กวิน สนธิเพิ่มพูน

ผศ.ดร. ศรีสัจจา วิทยศักดิ์

ผศ.ดร. ไพรัชจาม สมกุล

ผศ.ดร. สุชนิตย์ พุทพนม

รศ.ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ

ดร. สายสัมพันธ์ ชุ้นเจริญ

มหาวิทยาลัยบูรพา

รศ. จันทร์ทา นาควชิรตระกูล

ผศ.ดร. สุนิสา คำสุข

ผศ. ฤกษ์วัลย์ จันทรส

อ. อติศักดิ์ นาวเหนือ

ผศ.ดร. กฤษดา ประสพชัยชนะ

ผศ. บรรหาร ลีลา

อ.ดร. ทนงศักดิ์ เทพสนธิ

ผศ.ดร. วรรตภา อุทัยรัตน์

ผศ. สมเสียง จันทาสี

อ. บัญชา อริยจรรยา

มหาวิทยาลัยรังสิต

ผศ.ดร. พิษณุ มั่นสปีติ

อ. พรรคพงษ์ แก่นณรงค์

ผศ.ดร. เพียงจันทร์ โกญจนาท

ผศ. ศิลชัย วัฒนเสย

มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ

อ.ดร. รัชฎ์ สุทธิ

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

ผศ.ดร. สถาพร จันทวี

มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

ผศ.ดร. ปิยะ รัตตะออง

ผศ.ดร. ปัญญา สำราญพันธ์

มหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด

ผศ.ร.ท. จิตกรณณ์ เพชรภักดิ์

ผศ.ดร. ชีรศาสตร์ คณาศรี

ผศ. สิทธิเดช หมอกมีชัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

ผศ.ดร. วีระชัย แสงฉาย

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

รศ.ดร. สมเกียรติ กอบัวแก้ว

รศ.ดร. ฤดี นิยมรัตน์

อ.ดร. ไสว ศิริทองถาวร

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

ผศ.ดร. นิธิเดช คูหาทองสัมฤทธิ์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผศ.ดร. ชวลิต มณีศรี

ผศ.ดร. สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ศ.ดร. ธเนศ รัตน์วิไล
ผศ.ดร. นภิสพร มีมงคล
ผศ. พิเชฐ ตระการชัยศิริ
อ.ดร. สิรรัตน์ สุวัชรชัยดิวงศ์

รศ.ดร. เสกสรร สุธรรมานนท์
ผศ.ดร. รัชชานา สินธวาลัย
อ.ดร. กุลภัสร์ ทองแก้ว
อ.ดร. สุรียา จิรสถิตสิน

รศ.ดร. วันฐมพงษ์ คงแก้ว
ผศ. เจริญ เจตวิจิตร
อ.ดร. ดลยา บัวคำ

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

รศ.ดร. กาญจน์ภา อมรัชกุล

กำหนดการ

การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566

วันพฤหัสบดีที่ 11 พฤษภาคม 2566

08.30 – 09.00 น.	ลงทะเบียน
09.00 – 09.15 น.	เข้าสู่พิธีการ “การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41” กล่าวต้อนรับ โดย รศ.ดร. สถาพร เชื้อเพ็ง คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา ประธานในพิธีกล่าวเปิดงาน โดย ผศ.น.สพ.ดร. เสรี ภูญแจนาค รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
09.15 – 09.30 น.	พิธีมอบประกาศนียบัตรแสดงความขอบคุณผู้สนับสนุน มอบโดย คุณชัชวาลย์ คุณค้ำชู อุปนายก วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
09.30 – 10.45 น.	เสวนาพิเศษ ในหัวข้อ “Next Chapter of Industrial Engineering” ผู้ทรงคุณวุฒิ: คุณจักรพงษ์ แยมยิ้ม ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมเมืองและสังคมคาร์บอนต่ำ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน) ดร. สดุดี สุพรรณไพ รองกรรมการผู้จัดการ สำนักบริหารความยั่งยืนธรรมาภิบาลและการกำกับปฏิบัติตามกฎหมาย บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด รองศาสตราจารย์ ดร. พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐิกุล ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ รองศาสตราจารย์ ดร. โอบาร กิตติธีรพรชัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดำเนินการเสวนา: รองศาสตราจารย์ ดร. ภูพงศ์ พงษ์เจริญ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
10.45 – 11.00 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
11.00 – 12.00 น.	การบรรยายพิเศษ เรื่อง “Think Stats” รองศาสตราจารย์ ดร. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
12.00 – 13.00 น.	พักรับประทานอาหารกลางวัน
13.00 – 14.30 น.	การนำเสนอบทความวิชาการ
13.00 – 14.30 น.	การประชุมหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
14.30 – 14.45 น.	พักรับประทานอาหารว่าง
14.45 – 16.15 น.	การนำเสนอบทความวิชาการ

งานเลี้ยงรับรอง

- 18.30 – 19.00 น. ลงทะเบียน
- 19.00 – 19.15 น. เข้าสู่พิธีการ กล่าวต้อนรับ โดย
รศ.ดร. สถาพร เชื้อเพ็ง
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา
- 19.15 – 21.00 น. การประกาศผลการตัดสินการนำเสนอบทความวิชาการ
พิธีการมอบรางวัลเป็นเจ้าภาพการจัดประชุมวิชาการฯ ในปีถัดไป

วันศุกร์ที่ 12 พฤษภาคม 2566

- 09.00 – 10.30 น. การนำเสนอบทความวิชาการ
- 10.30 – 10.45 น. พักรับประทานอาหารว่าง
- 10.45 – 12.15 น. การนำเสนอบทความวิชาการ
- 12.15 – 13.00 น. พักรับประทานอาหารกลางวัน
- 13.00 – 14.30 น. การนำเสนอบทความวิชาการ

การเสวนาพิเศษ เรื่อง “Next Chapter of Industrial Engineering”

การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566
โดย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วันที่ 11-12 พฤษภาคม 2566
โรงแรมไบรด์ตัน แกรนด์ โฮเทล พัทยา ชลบุรี



การเสวนาพิเศษ เรื่อง

**NEXT CHAPTER OF
INDUSTRIAL ENGINEERING**

11 พฤษภาคม 2566 เวลา 9:30 - 10:45 น.



**รศ.ดร.พีรยุทธ์
ชาญเศรษฐิกุล**

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



**ดร.สุฤดี
สุพรรณไพ**

รองกรรมการผู้จัดการ สำนัก
บริหารความยั่งยืนฯ
บริษัท เครือเจริญโภคภัณฑ์ จำกัด



**คุณจักรพงษ์
ไย้มยิ้ม**

ผู้อำนวยการ สำนักส่งเสริมเมือง
และคาร์บอนต่ำ
องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือน
กระจก (องค์การมหาชน)



**รศ.ดร.โอฬาร
กิตติธีรพรชัย**

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



**ดำเนินการเสวนา
โดย**

**รศ.ดร.ภุพงษ์
พงษ์เจริญ**

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตร

การบรรยายพิเศษ เรื่อง “Think Stats”

80 KU
มหาวิทยาลัย
เกษตรศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา

THE 41st Conference of Industrial Engineering Network 2023
**NEXT CHAPTER OF
INDUSTRIAL ENGINEERING**

การบรรยายพิเศษ เรื่อง
**THINK
STATS**

11
พ.ศ. 2566
11:00 -12:00 น.

รองศาสตราจารย์ ดร. ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์

การประชุมข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566
โดย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วันที่ 11-12 พฤษภาคม 2566
โรงแรมไบรด์ตัน แกรนด์ โอทาวา พัทยา ชลบุรี

กำหนดการการนำเสนอบทความวิชาการ

Session B1: Operations Research, Optimization and Decision Support Systems		
วันที่ 11 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
13:00-13:15	23	เส้นทางรถพยาบาลสำหรับขนส่งผู้ป่วยครวละหลายคน
		กานต์ มุลศรี ดนุพล ทิพย์พงศ์
13:15-13:30	27	การวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ของเครือข่ายสถานีขนส่งในจังหวัดนครพนม ประเทศไทย: การระบุตำแหน่งสถานีปลายทางที่เหมาะสมที่สุด
		เมธาวุฒิ สีหามาตย์ กานต์ มุลศรี ชนิสรา บุตรสิงขรณ์
13:30-13:45	58	การประยุกต์ใช้การแก้ปัญหานักงานขายแบบกำหนดสีสำหรับการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด กรณีศึกษาบริษัท ปลูพี เซอร์วิส จำกัด
		ชนัชชา บุญศักดิ์ศรี บุณทริกา ภูพัฒนะกุล ธัญญา กิรติจินดา วันหยก อติเศรษฐพงศ์
13:45-14:00	72	การจัดตารางพยาบาลแบบหลายวัตถุประสงค์: วิธีการแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม
		นลธวัช สุคนธ์ภัทร พิศิษฐ์ จารุมนีโรจน์
14:00-14:15	126	ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมของร้านซักผ้าบริการตนเอง
		วุฒินันท์ นุ่นแก้ว มาริษา กิมาพร
14:15-14:30	159	การจัดการตารางการทำงานของพนักงานเซอร์วิส เพื่อลดการทำงานล่วงเวลา กรณีศึกษา: บริษัทตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์สำหรับงานระบบเครื่องกลประกอบอาคาร
		นิรันดร วณิชย์การ วรวุฒิ หวังวัชรกุล จุฑา พิษิตลำเค็ญ

Session C1: Production and Operations Management		
วันที่ 11 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
13:00-13:15	29	พฤติกรรมของค่าความชื้น ความหวาน และสีส้มของกล้วยแผ่นต่อระยะเวลาการตากแดดธรรมชาติ
		วิระพล ทับทิมดี บรรพจน์ มีสา ประเวช เขี้ยววงษ์
13:15-13:30	68	การลดของเสียในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้า กรณีศึกษา: บริษัท แอดแวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด
		ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ เจนจิรา ธารพร ภูวนารี สุดตา ธนภรณ์ เรืองสา
13:30-13:45	86	การปรับปรุงเวลามาตรฐานในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มผลผลิต
		ศรินยา ประทีปชนะชัย ยุทธณรงค์ จงจันทร์ สราวุธ อิศรานุวัฒน์ ภิรม พรประเสริฐ เกียรติศักดิ์ พระเนตร กิตติคุณ แก้วภิรมย์
13:45-14:00	87	การหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับการทำงานของพนักงานโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาครอบแรงดันน้ำ
		ยุทธณรงค์ จงจันทร์ ศรินยา ประทีปชนะชัย สุทธิดา การะเวก ปราบปราม ผ่านสำแดง อภิรักษ์ นาคทอง ศักดา จินตะเวช
14:00-14:15	121	การปรับสมดุลสายการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
		อารีรัตน์ มีแอด สุตารัตน์ คงคาสัย พุทธิพร เล็กขาว ภัทรา ภูปร่างค์

Session D1: Quality Engineering and Management / Other Related Topics in Industrial Engineering		
วันที่ 11 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
13:00-13:15	90	การลดของเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง
		ณัฐวิทย์ กาใจทราย ภาณุวัฒน์ เบ็ญใจ ฤทัยภัทร ศุภระศร
13:15-13:30	92	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EEWMA, IMFIR-EEWMA, DMEWMA และ IMFIR-DMEWMA สำหรับการแจกแจงไวบูล
		ชัยรัช สีนแดง ชวนากร สุจินตวงษ์ ไสริญา บำรุง ปิยพล ไพจิตร
13:30-13:45	61	การลดของเสียในกระบวนการผลิต กรณีศึกษาในโรงงานถลุงมืออย่างตัวอย่าง
		รัชชนา สินธวาลัย อภิญา หनुพรีม นกิสพร มิ่งมกล
13:45-14:00	128	การแก้ปัญหาด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อลดเวลาในกระบวนการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์
		ณราวดี สิทธิเดชขำรง
14:00-14:15	107	Formula Development of EVA Compound with Recycled EVA Kittipat Jirvanstit Napassavong Osothsilp
14:15-14:30	31	การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าสีแก้วโซดาไลม์
		ทศพล สุเรงฤทธิ์ นภัสวงศ์ ออสถศิลป์ พิชญ์รัตน์ อินทร์เอื้อ

Session E1: Material and Manufacturing Technology / Industrial Technology Management		
วันที่ 11 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
13:00-13:15	69	ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด 7075 ที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อแกนและกระบวนการร่วมการบัดเชิงกลและขึ้นรูปรีโซ
		ชรินทร์รัตน์ โพธิสว่าง สุขอังคณา แกลงกัณฑ์ นครินทร์ ประทุมชัย ภราดร ทองวร, นุชจิรา อุดมจิตร
13:15-13:30	49	เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติสู่การใช้ประโยชน์
		วรพงศ์ บุญช่วยแทน ชาตรี หอมเขียว จักรนรินทร์ ฉัตรทอง สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์ กฤษดาภรณ์ หนูเชื้อ ปุณยวัจน์ แก้วซัง
13:30-13:45	80	อิทธิพลของกระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุสำหรับโลหะแผ่น
		อัญโศภี ยกเย็นใจ เปรมพร เขมาวุฒม์
13:45-14:00	124	การศึกษาสมบัติของจีโอพอลิเมอร์มวลเบาที่ผลิตจากเถ้าลอยและเศษอลูมิเนียมฟอยล์
		จรรยา พรหมสระโร รัชมี แสงศิริมงคลยิ่ง อรรถพล แก้ววิสัย ชญาณี ทิพย์เสมอ
14:00-14:15	153	โครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลเมื่อผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น
		ขวัญกมล ปิยะนิจดำรงค์ ณัฐชนน สำเร็จกิจ วศิน เลิศถาวรกิจ ชีวพร สุขผล พร้อมพงษ์ ปานดี
14:15-14:30	158	ความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบเรซินและเส้นใยแก้ว
		กิตติพิชญ์ อภินันทกิตติ์ วิภู ศรีสืบสาย

Session A2: Supply Chain and Logistics Management / Warehouse Management / Other Related Topics in Industrial Engineering		
วันที่ 11 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
14.45-15.00	142	การเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0
		กษิภา สุทธิวิริยะกุล จิรพรรณ เลี้ยงโรคาพาธ
15.00-15.15	41	การปรับปรุงคุณภาพการจัดส่งของผู้ส่งมอบของบริษัทกรณีศึกษา
		ศราวุฒิ จันทร์อิม ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์
15.15-15.30	65	การออกแบบตำแหน่งตะกร้าภายในสถานีงานพุกทูลไทร์สำหรับศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน
		กิตติการ จิตรเอื้ออารีย์กุล โอพาร กิตติธีรพรชัย
15.30-15.45	131	การปรับปรุงกระบวนการทำงานในคลังวัตถุดิบเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บ
		อัญญาภา สุขมัน สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์
15.45-16.00	75	การลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ด้วยแนวคิดวิศวกรรมคุณค่าในกระบวนการขนส่งของผลิตภัณฑ์เลนส์
		จีราดา อนุชิตนานนท์
16.00-16.15	129	การศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้าประเทศกัมพูชาต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย ผ่านด้านชายแดนอรัญประเทศ
		ศรินยา ประทีปชนะชัย อมรัตน์ พรประเสริฐ ยุทธณรงค์ จงจันทร์ ปวิณญาดา บุญรัมย์ ภูมิ พรประเสริฐ

Session B2: Engineering Economy and Industrial Cost Analysis / Other Related Topics in Industrial Engineering / Green Technology, Innovation Management and Technology transfer		
วันที่ 11 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
14.45-15.00	54	การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตฟักเหล็ก: กรณีศึกษา
		จิรรัตน์ วีระวราพุกษ์ พงศกร ชื่นเจริญชัย ศาสตราวุธ ผลสุวรรณ ฐราช พรขรรณิติกุล
15.00-15.15	110	การพัฒนาระบบต้นทุนมาตรฐานในกระบวนการผลิต กรณีศึกษา: โรงงานผลิตดื่มสำเร็จรูปแช่แข็ง
		มนัสวี ตั้งเพียร พิเชฐ พุ่มเกษร
15.15-15.30	120	การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาดและแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษาไอศกรีมกะทิสด (ผลิตภัณฑ์ธุรกิจขนาดย่อม)
		เกษรินทร์ พูลทรัพย์ ณ์ภูริ์สุดา จันทร์พรหม ญัฐกานต์ สายหมี วันชัย ลีลากวีวงศ์ สุขุม โฆษิตชัยมงคล มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์
15.30-15.45	133	การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ
		ขวัญชนก สีสวน พาณพงษ์ อยู่นาย ดิเรก ทองคต เขมิสร่า พุกอินทร์ ผกามาศ พุกอินทร์ อดุลย์ พุกอินทร์
15.45-16.00	79	ปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย: แนวทางการวิเคราะห์ห่วงโซ่ประกอบ
		ชนะรัตน์ บริสุทธิ์ พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์
16.00-16.15	148	การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งระหว่างประเทศ
		รุจามา นันทโพธิ์เดช เขมฐธา ชำนาญหล่อ พัชรา ศรีพระบุ

Session C2: Work Study, Ergonomics, Safety and Plant Design / Work Improvement / Maintenance Engineering		
วันที่ 11 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
14.45-15.00	30	การคำนวณเวลามาตรฐานของพนักงานแผนกตัดเย็บเสื้อผ้า การณศึกษา: วิชาหกิจชุมชนแฮนด์อินแฮนด์
		อดิษฐ์ มาหามะ พรรณเพ็ญ ภาวประสิทธิ์ นิตพงศ์ โชติพันธ์ ปรุพท์ มะยะเฉียว นิตดา อุดมวรัตน์
15.00-15.15	42	การศึกษาการทำงานและปรับปรุงกระบวนการผลิตข้อต่อฟวงรถบรรทุก
		อานนท์ วิภาตะไวทยะ สุมนา ล้อมสุชา พงศกร ภูปา ปิยะ รัตตะออง ภาษิต ทินนาม ศุภพัชร พวงแก้ว
15.15-15.30	55	การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตขามไม้โดยใช้เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา
		ชนนถ กฤตวรกาญจน์
15.30-15.45	95	การลดของเสียในกระบวนการผลิตซีสแผ่น: กรณีศึกษา
		ภัทรพงศ์ คงธีรภาพ ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม
15.45-16.00	147	การปรับปรุงกระบวนการคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์อะไหล่ยางรถจักรยานยนต์ด้วย Google Sheet
		สุนันท์ สุวรรณแสง สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ จักรพันธ์ กัญหา
16.00-16.15	113	การปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์พอลีเอสเตอร์
		สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ คัทลียา พยงสกุล

Session D2: Maintenance / Production and Operations Management / Other Related Topics in Industrial Engineering / Operations Research, Optimization and Decision Support Systems		
วันที่ 11 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
14.45-15.00	18	การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพื่อลดต้นทุนในธุรกิจการขนส่ง กรณีศึกษา หจก.ขวัญชัยการเกษตร (2013) จังหวัด เชียงราย
		คมกฤต เมฆสกุล ทรงวุฒิ ประกายวิเชียร อธิคม บุญชื้อ
15.00-15.15	38	การประยุกต์ใช้เทคนิค CPM และ SMED เพื่อลดเวลาในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร กรณีศึกษาโรงงานผลิตขนม อบกรอบ
		จันทร์ชานา นาควชิระตระกูล กฤษดา ประสพชัยชนะ สุณิสา คำสุข
15.15-15.30	39	การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเพื่อวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของระบบเคเบิลเม็ตตา: กรณีศึกษา โรงงานผลิตยา
		อดิพงษ์ พุทธิจร จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์ กฤษ วงษ์เกษม
15.30-15.45	76	การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยใช้การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือสำหรับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ในอุตสาหกรรมเคมี
		รังสรรค์ กัญษะตอย จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์ กฤษ วงษ์เกษม
15.45-16.00	81	การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบเพื่อปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเครื่องไม่
		วรณ ดิลกการย์ สาวิตร์ พิบูลศิลป์ เอนก บุญกว้าง
16.00-16.15	135	การคำนวณหาพลังงานการยึดติดของออกไซด์สเกลบนเนื้อพื้นเหล็กกล้าไร้สนิมโดยวิธีเรขาคณิต
		อังคณา เมื่องใจ ปัญญา วิมลย์ ธรรมภรณ์ ทับละอ อสมฤกษ์ จันทร์อัมพร

Session E2: Other Related Topics in Industrial Engineering / Green Technology, Innovation Management and Technology transfer		
วันที่ 11 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
14.45-15.00	26	การออกแบบไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุ ธนาวดี เพชรยศ ญุวัฒน์ จันทรสาศา
15.00-15.15	32	การผลิตภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกามมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) วรพงศ์ บุญช่วยแทน ชัญวลย์ จิรันดร รัสมนต์ ยุระพันธ์ุ ชาติรี หอมเขียว ศศิประภา เต็มสิริมงคล ปณทัศน์ หนูเขียว
15.15-15.30	34	การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพืชสดเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์สำหรับโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านรอดต้นบาตู่ จังหวัดนราธิวาส โกศล มุสโกภาค ปรุพพ์ มะยะเฉี่ยว พลากร พรหมเมศร์ กรสิริณัฐ โรจนวรรณ
15.30-15.45	53	การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยกระบวนการเคมีสีเขียวโดยใช้สารสกัดใบกระเทียมและสมบัติการเร่งปฏิกิริยาดัวยแสง นุชชิตา สุขประสิทธิ์ วรณศย์ ทองพูล
15.45-16.00	77	การพัฒนาเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้ใบไม้ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ญุวัฒน์ จันทรสาศา ธนาวดี เพชรยศ ชาญชัย พลตรี สมเสียง จันทาสี
16.00-16.15	122	ระบบผลิตน้ำแข็งพลังงานชีวมวล กานต์ นัครวรายุทธ บุญญฤทธิ์ ประสาทแก้ว

Session: A3: Supply Chain and Logistics Management / Work Study, Ergonomics, Safety and Plant Design		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
09.00-09.15	36	การแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยเคมีน และการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีปีนเขาบนไม้โคโรซอเฟต์เอ็กเซลด้วยภาษาวีบีเอ ชลรยา ทายศ กัลยรัตน์ เมื่อบศรี คณต พันธุ์สวัสดิ์ กวินธร สัยเจริญ
09.15-09.30	37	การจัดการสินค้าคงคลังในร้านอาหารหลายสาขา ชนพล วิภูอริยพันธ์ุ นัททพงศ์ สงวนหม่ม ปัทมา บานชื่น กวินธร สัยเจริญ
09.30-09.45	45	การพัฒนาเครื่องมือวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบเมื่อพิจารณาหลายสินค้าร่วมกัน: กรณีศึกษา ณัฐพล เจริญโต๊ะ พรชิตา เชื้อซัง วัลย์ลดา กลั่นเครือวัลย์ อธิวัฒน์ บุญมี วรญา เนื่องมัจฉา
09.45-10.00	144	การกำหนดระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมภายใต้ผลกระทบของการแจกแจงของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่ไม่ได้กำหนด สรัญญา พากอง ศิริประภา ไชครวย จิรเกียรติ ทรายทอง
10.00-10.15	71	แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัท เวลด์เปเปอร์ จำกัด ณัฐนารี สุขเสกสรรค์ อนุชิตา สีสาเว
10.15-10.30	130	การพัฒนาโปรแกรมการจัดการข้อมูลคลังอุปกรณ์: กรณีศึกษา ณัฐพล เจริญโต๊ะ อธิวัฒน์ บุญมี

Session: B3: Operations Research, Optimization and Decision Support Systems / Simulation		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
09.00-09.15	50	การประยุกต์ใช้ Solver ใน Microsoft Excel เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรการเลือกห้องวิจัยของนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
		จรรยาวรรณ เสสูงเนิน สิริญา ศาลางาม
09.15-09.30	155	Promotion Optimization model for retails' multiple-period planning
		Chanikran Thangthong Naragain Phumchusri
09.30-09.45	85	การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับสมดุลสายการผลิตชุดสายถักเสื้อสำหรับเด็กโต กรณีศึกษา: บริษัท เอ็ม.อี.นิคโคโซ จำกัด
		กาญจนา กาญจนสุนทร ชินภัทร โพธิ์ศิริ วงศกร ทองรัมย์ ณิชพงศ์ ศรีโกเศษฐ
09.45-10.00	99	Agent-based simulation for comparative product promotion strategy
		Chutima Binsiravanich Naragain Phumchusri
10.00-10.15	143	การจำลองการอพยพหนีไฟในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์ด้วยโปรแกรม Pathfinder
		มัทธนา สุทธิประภา ประทีป ชัยเสริมเทวัญ สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ
10.15-10.30	150	การจำลองสถานการณ์เพื่อลดเวลารอคอยของผู้ป่วย: กรณีศึกษาโรงพยาบาลแหลมฉบัง
		ชนพันธ์ คงทอง อภินัฐ คำปาน อัครวิษณุ ชีวะธรรมนนท์

Session C3: Work Study, Ergonomics, Safety and Plant Design / Production and Operations Management		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
09.00-09.15	48	การสร้างรหัสคิวอาร์โค้ดด้วย Excel VBA เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบการจัดการสินค้า
		กรรณา คงนาค ประจวบ กล่อมจิตร
09.15-09.30	74	การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสต็อกอะไหล่โดยระบบคอมพิวเตอร์: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์
		ประจวบ กล่อมจิตร อำนาจ อมฤก ชยานันท์ วิชานันท์ สุนทรวิรัช ชื่นครุฑ
09.30-09.45	84	การพัฒนากระบวนการจัดเก็บสินค้าหน่วยย่อย กรณีศึกษาบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง
		นราวุฒิ ขุนพ่วง ชุกรี เตตรา วนิดา รัตนมณี วนัฐมพงษ์ คงแก้ว
09.45-10.00	101	การลดของเสียในกระบวนการเชื่อมแหวนอแปะเพื่อตั้งสันขอบรถยนต์ที่เกิดรอยยุบ กรณีศึกษา: สถานประกอบการซ่อมสิริยนต์
		ภีม พรประเสริฐ ศรีนยา ประทีปชนะชัย ธนรัช มั่นมงคล จันทศิริ พลอยงาม ณิชภัค พลະพันธ์ สุรพงษ์ แก่นมณี
10.00-10.15	117	การปรับปรุงกระบวนการออกไปเสนอราคา กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
		ณัฐลา รอดคง ไอลดา ตรรัตน์ตระกูล
10.15-10.30	114	การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตรวจสอบของแผนกสกรีน: กรณีศึกษาโรงงานฉีดพลาสติก
		จิตติศาสตร์ สุริยะโชติตระกูล ภัทรา ภูปร่างค์ พุทธิพร เล็กขาว

Session D3: Production and Operations Management / Operations Research, Optimization and Decision Support Systems / Other Related Topics in Industrial Engineering		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
09.00-09.15	105	การวางแผนการผลิตให้เพียงพอต่อการจำหน่าย สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการสูง: กรณีศึกษาโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นม
		ประไพพิศ ประสมศรี อนันต์ มุ่งวัฒนา จันทรศิริ สิงห์เถื่อน
09.15-09.30	119	การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการประกอบห้องโดยสารรถเกี่ยวขนาดข้าวด้วยการจัดสมดุลสายการผลิต
		เดชินท์ เณิมเทวี จันทรศิริ สิงห์เถื่อน รุ่งรัตน์ ภิสิทธิ์เพ็ญ
09.30-09.45	132	การลดเวลาในกระบวนการประกอบเครื่องชั่ง
		ศุภพัฒน์ ปิงตา
09.45-10.00	138	การวางแผนการผลิตแบบเฮจุงกะเพื่อการผลิตแบบลีน
		นกุล อุบลบาน
10.00-10.15	167	การลดเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานโดยใช้ซิกซ์ซิกม่า กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมไก่แปรรูป
		นัฐพล ญาณสิริสกุล สิทธิพร พิมพ์สกุล
10.15-10.30	15	การจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้วิธีวิริสติกส์ กรณีศึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
		จันจิรา คงชื่นใจ

Session: E3	
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566	
เวลา	เรื่อง
09.00-10.30	Workshop: Simulation Modeling and Analysis using Tecnomatix Plant Simulation

Session A4: Supply Chain and Logistics Management / Inventory Management / Production and Operations Management		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
10.45-11.00	123	การพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลสำหรับกำหนดนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังหลายประเภทร่วมกัน สำหรับระบบที่อุปสงค์ไม่แจ่มแจ้งแบบปกติ
		พิไลวรรณ สุวรรณฤทธิ์ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์
11.00-11.15	60	การหาระดับอะไหล่คงคลังที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าถ่านหินผ่านการจำลองสถานการณ์: กรณีศึกษา
		ศิริพงศ์ อรุณแสงศิลป์ วิภาวี วิจิตต์ย์ ชุตติกาญจน์ ชุตติภักษ์ชูนี อณจ ชัยมณี
11.15-11.30	88	การศึกษาผลของการกำหนดจำนวนพาหนะลำเลียงวัสดุอัตโนมัติระบบรางในศูนย์กระจายสินค้าวัสดุก่อสร้าง
		จุฑามาศ เลขศักดิ์ โอพาร กิตติวีร์พรชัย
11.30-11.45	136	การออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งวัสดุอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์: กรณีศึกษา
		พรชิตา เชื้อซัง วลัยลดา กลั่นเครือวัลย์ อธิวัฒน์ บุญมี
11.45-12.00	51	การศึกษานโยบายการจัดการสินค้าคงคลังประเภทยางรถยนต์ กรณีศึกษาร้านบริการขายและเปลี่ยนยางรถยนต์
		อมเรศ สมุทรานุกูล บรรพชาญ ลิลา จิตติมา พันธุ์วิจิตรศิริ อติศักดิ์ นาวเหนียว บัญชา อริยะจรรยา
12.00-12.15	98	การปรับปรุงเส้นทางการขนส่งโดยขั้นตอนวิธี LNS
		คงเดช คำขจร อรุไร แสงสว่าง

Session B4: Operations Research, Optimization and Decision Support Systems / Other Related Topics in Industrial Engineering		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
10.45-11.00	40	การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับการแพร่ระบาดของเชื้อโควิด-19 ในกรุงเทพมหานคร
		ปิณณัส เนาวบุตร ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา สุวิภาภรณ์ วิชกุล
11.00-11.15	149	การประยุกต์ใช้โครงสร้าง SqueezeNet ในการจำแนกข้อบกพร่องของอะลูมิเนียมแผ่นรีด
		วรพล ประชานิยม นัฐวิภา จันท์ศรี
11.15-11.30	141	การจัดแนวเส้นทางเฮลิคอปเตอร์สำหรับตรวจสายส่งไฟฟ้าแรงสูงด้วยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีกลุ่มอนุภาค
		สิปณิตี จานทอง คมกฤต เล็กสกุล
11.30-11.45	169	ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติสำหรับสกุลเงินบิตคอยน์ด้วยตัวบ่งชี้ทางเทคนิค RSI และ Stoch
		ภัทรพล ชูชีพชื่นกมล ดาริชา สุธีวงศ์
11.45-12.00	52	การศึกษาปัจจัยของการอบชุบด้วยความร้อนที่มีผลต่อความลึกซึ้งแข็งผิวของแกนข้อโช้รถจักรยานยนต์โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล
		พจนีย์ สุขหนา พลชัย โชติปราชญกุล
12.00-12.15	156	การจัดการโครงการก่อสร้างของโรงกลั่นน้ำมันโดยใช้วิธีเส้นทางวิกฤติและวิธีการประเมินผลและทบทวนโครงการ
		วรพงษ์ เกียรติเมธา สิริวงค์ กลั่นคำสอน

Session C4: Work Study, Ergonomics, Safety and Plant Design		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
10.45-11.00	59	การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์งานยกกระสอบปูนซีเมนต์วางบนเครื่องผสมปูน
		จุฑาทิพย์ นวลสว่าง เพ็ญสุตา พันฤทธิ์ดำ
11.00-11.15	83	การพัฒนาโครงเบ็สนามส่วนบนเพื่อลดการบาดเจ็บแผ่นหลังของนักเรียนนายร้อย
		พิสิฐชัย พงษ์แย้ม ธีระเดช ธีระเจริญกุล วศิน แสนใจวุฒิ ภูภักฎ ไชยรักษ์ พีรพัชร สถามิตร วรภัทร ทองเหลือ กิตติศักดิ์ พิมพ์ขันธ์
11.15-11.30	89	ต้นแบบโต๊ะพับสำหรับเตียงสองชั้นเพื่อทำนั้งที่เหมาะสม
		วิศรุต จงภิญโญตระกูล ณิชานาภา ฉัตรจินดารัตน์ พงศกร โลหะศิริวัฒน์ กรวิชัย กกรทิพย์ เกียรติสุนันท์ ศรีพลไกรจินตนันท์ ไตทับเที่ยง ชนิต ดั่งพลี ณัชชา ชัยสัมฤทธิ์ผล ภคพิพัฒน์ เอี่ยมพงษ์ไพฑูรย์ สรวิต ก่อกิจกุล ภาคินศิริวัฒน์ประภา พีรพัฒน์ เหล่าวีระธรรม
11.30-11.45	111	การปรับปรุงรถเข็นในงานก่อสร้างโดยใช้หลักการยศาสตร์
		อำพล สานสุข ปิติภัทร์ ไพโรศรี ธีรวัฒน์ สุวรรณวัฒน์
11.45-12.00	145	การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานในกระบวนการกีดชิ้นส่วนเครื่องบิน
		เนาวดี โคตวิทย์ นัญฐวิภา จันทรศรี
12.00-12.15	151	ทำนั้งในการใช้งานคอมพิวเตอร์เพื่องานออฟฟิศทั่วไปและการเล่นเกม
		ชยากร ศุภสาธิต ธีรภัทร ศักดิ์ชูวงษ์ พีรวิชัย วิเศษชาติ หฤทัย โลหะศิริวัฒน์

Session D4: Quality Engineering and Management / Operations Research, Optimization and Decision Support Systems		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
10.45-11.00	35	การปรับปรุงคุณภาพการบริการของโรงพยาบาล: กรณีศึกษาโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดนราธิวาส
		ปวีณา อาแวไชยะ มุฮิบบะห์ สามะวะ พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์ นิตดา อุดมรัตน์ นัตพงศ์ โชติพันธ์ อตินันท์ มาหามะ
11.00-11.15	62	การประยุกต์ใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ใหม่ กรณีศึกษาในโรงงานผลิตรถจักรยานยนต์
		รัชชานา สินชวัลย์ ศิวาภรณ์ สุดจันทร์ นภิสพร มีมงคล
11.15-11.30	70	การตรวจสอบความชื้นแการนูล ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี
		พลช ชินวัฒน์วงค์วาน โอพาร กิตติธีรพรชัย
11.30-11.45	125	การลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์สำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบยืดหยุ่น
		ศตพร คุณาพิสิฏกุล นภัสสงวศ์ ใสศกศิลป์
11.45-12.00	25	การกำหนดนโยบายบริหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเตรียมอะไหล่คลัง กรณีศึกษาโรงงานผลิตรถอะมิโน
		พรพัชร จิระเดชะ

Session E4: Material and Manufacturing Technology / Operations Research, Optimization and Decision Support Systems		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
10.45-11.00	96	การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแนวเชื่อมโดยการเชื่อมวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมนี้โอติเมียมแอนด์เกลเซอร์
		จกมล ศรีธีร เกษมสันต์ แสงสาร
11.00-11.15	100	อิทธิพลของอุณหภูมิการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นพลาสติกต่อคุณสมบัติเชิงกลและความแม่นยำเชิงมิติ
		พัฒนชัย ประสงค์ วรชน ดิลกการย์ สวัสดิ์ตรี พิบูลศิลป์ สมเดช อิงคะวะระ สุเนตร มุลทา ประยูร สุรินทร์
11.15-11.30	103	การประยุกต์ใช้วิธีการทากูซีในการเพิ่มประสิทธิภาพของพารามิเตอร์การตัดสำหรับความหนาผิวและอัตราการขจัดเนื้องานสำหรับเครื่องกัดอาร์คขึ้นงานด้วยเส้นลวดไฟฟ้า
		ปัทิตตา นาควงษ์ อภิวัฒน์ มุตตามระ
11.30-11.45	106	ผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการต่อความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน PLA ที่พิมพ์ 3 มิติโดย FDM
		ทัตพงศ์ ลิ้มหลาย อภิชาติ มณีงาม ทนงศักดิ์ คงสินธุ์ ทศพร อัครวงษ์ วรรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์ พัตรีพิมล สุวรรณกาญจน์ กัลยา อุบลทิพย์
11.45-12.00	20	การวิเคราะห์ระบบทางเข้าของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมกรณีศึกษาชิ้นงานรูปทรง
		ภาวิช จันทรสร พัตรีพิมล สุวรรณกาญจน์ สุเมธินี หุชัยภูมิ
12.00-12.15	73	การออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออะลูมิเนียมสำหรับโพรงแบบทราย
		ภาวิช จันทรสร สถาพร ชาดาคม พัตรีพิมล สุวรรณกาญจน์ เพ็ญญารัตน์ สายสิริรัตน์ พงศกร ขวัญทอง

Session A5: Material and Manufacturing Technology / Supply Chain and Logistics Management / Operations Research, Optimization and Decision Support Systems		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
13:00-13.15	22	การทำนายผลค่ามุงสปริงกลับจากการตัดท่อโลหะด้วย K-Nearest Neighbors (KNN)
		สมชาย คงหนู กวิน สนธิเพิ่มพูน สมลักษณ์ วรรณฤมล กิเยลาโรว่า
13.15-13.30	154	Monthly SalesForecastingfor Beauty Products Soldin a Retail Offering Price Promotion
		Nichakan Phupaichitkun Naragain Phumchusri
13.30-13.45	166	The Comparing of Expected Performance of Different Shapes in Cross-Docking
		Songkhla Paisansukhakul Siwaphong Kusolpuchong
13.45-14.00	170	การปรับปรุงการพยากรณ์ยอดขายและนโยบายสินค้าคงคลังสำหรับบริษัทกรณีศึกษาเจ้าของแบรนด์สินค้าประเภทน้ำหอม
		รวินันท์ ลิ้มโอพารสุขสกุล นระเกณท์ พุ่มชูศรี
14.00-14.15	104	การประยุกต์ใช้ Hybrid Delphi – GRA สำหรับการเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ
		ปวิวรรต นาสวาสดี นรงค์ วิชามา ณัฐพงศ์ สุวรรณกุล วิทยา อินทร์สอน ไทยทัศน์ สุดสวนสี จันทร์ศิริ พลอยงาม
14.15-14.30	115	การจัดอันดับพื้นที่ประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาของประเทศไทยภายใต้การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์
		กนกวรรณ ทศศิริสรสรรค์ กัญญาภัทร์ สีนวล พรรณรินทร์ ปฐมเจริญวัฒน์ ศครส ใจจิตรี

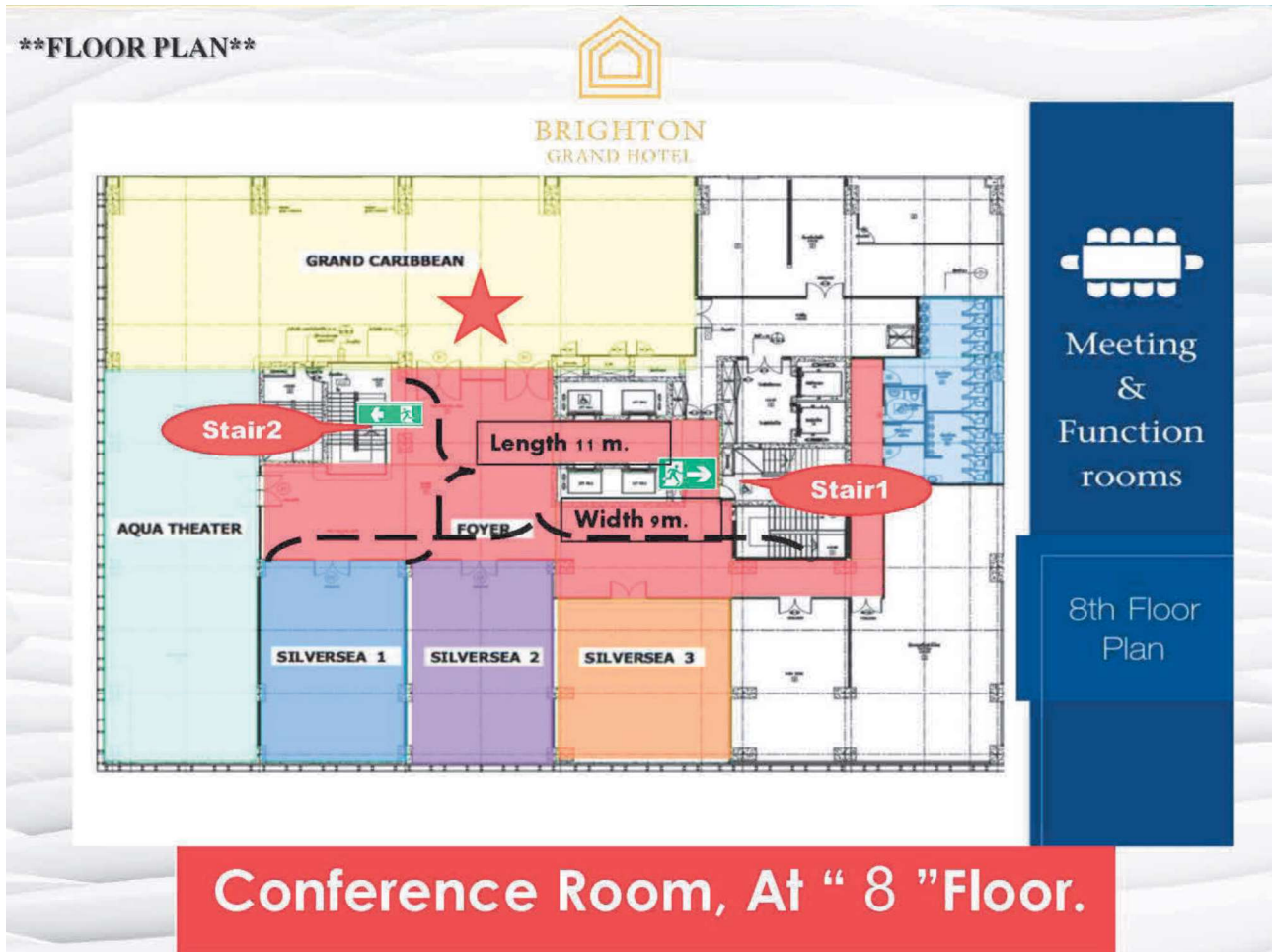
Session B5	
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566	
เวลา	เรื่อง
13.00-14.30	Workshop: Simulation Modeling and Analysis using Tecnomatix Plant Simulation

Session C5: Work Study, Ergonomics, Safety and Plant Design / Operations Research, Optimization and Decision Support Systems / Automation and Smart Technology		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
13:00-13.15	56	การจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม pathfinder กรณีศึกษาอาคารพ่นสีรถยนต์
		สุพัตรา ระหงษ์ สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ
13.15-13.30	19	การพัฒนากระบวนการข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่
		วัชรพงศ์ วัชรวงศ์บุรี สมเกียรติ ตั้งจิตลิตเจริญ
13.30-13.45	118	การจำลองอพยพหนีไฟของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก
		อนงค์ นาคำ สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ
13.45-14.00	140	การวิเคราะห์สมรรถนะระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติในอาคารคลังสินค้าโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วย
		การจำลองพลศาสตร์อค์คีย์
14.00-14.15	164	ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับธุรกิจซื้อ-ขายยางก้อนถ้วย กรณีศึกษา : ร้านชุมนุมการยาง จังหวัดยะลา
		นัตพงษ์ โชติพันธ์ พรหมเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์ อุดินันท์ มาหามะ

Session D5: Automation and Smart Technology / Other Related Topics in Industrial Engineering / Work Study, Ergonomics, Safety and Plant Design / Production and Operations Management		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
13:00-13:15	116	การออกแบบชุดทดลองสำหรับปลูกข้าวกับตัวระบบไฮโดรโปนิคส์ควบคุมด้วยระบบพีแอลซี สุรเชษฐ์ ก้อนจันทร์ ภูณัดกิจ ศรีโชค ระพีพันธ์ ปิตาคะโส ปัจจรี ศรีโชค
13:15-13:30	64	การลดต้นทุนของบีมแรงดันสูงในกระบวนการผลิตผงซักฟอกด้วยวิศวกรรมคุณค่า กฤษดา ประสพชัยชนะ จันทรืทา นาควชิระตระกูล ฤฎวัลย์ จันทรสา สุนิสา คำสุข
13:30-13:45	93	การศึกษาการจัดการความปลอดภัยของเล่นเด็กในจังหวัดนครราชสีมา จงกล ศรีธร กิ่งกาญจน์ กองกาญจนะ ภูมิรพี สถาพร
13:45-14:00	127	การประยุกต์ใช้กระบวนการความคิดเชิงออกแบบร่วมกับหลักการ ECRS ในการออกแบบที่แขนด้ามจับก๊อกน้ำเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต สศราญ ลิขมรัมย์ ธิพนพล สุวรรณโมษิต ยศพล ส่องสว่าง ธนัช ปัญญากุลวัต สวิช ประวิทย์ รุ่งโรจน์ แสนคำราม ปิยะณัฐ บุญสอน
14:00-14:15	171	การปรับปรุงกระบวนการขออนุมัติชิ้นงานตัวอย่างสำหรับซัพพลายเออร์ รุ่งทิพย์ อินทวงศ์
14:15-14:30	44	การพัฒนาการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาสินค้าประเภทวัสดุก่อสร้าง ภาณุวัฒน์ แก้วสงขลา วนิดา รัตนเมธี กุลภัสร์ ทองแก้ว วนัฐมพงษ์ คงแก้ว

Session E5: Material and Manufacturing Technology / Welding Engineering Technology		
วันที่ 12 พฤษภาคม 2566		
เวลา	บทความที่	เรื่อง
13:00-13:15	21	อิทธิพลกระแสเชื่อมที่กระทบต่อสมบัติของผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI4140 ปิยธิดา ดุรงกุล ไพศาล ทองสงค์ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์
13:15-13:30	78	การปรับปรุงโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล และความสามารถในการเชื่อมที่แตกต่างกันระหว่าง เหล็กหล่อเหนียว A536 และเหล็กกล้าคาร์บอน A36 ด้วยเทคนิคเชื่อมรองพื้น วรศิลป์ พัฒนวิบูลย์ ชนาธิป เหล็กน้ำคอบ ชลลดา เฉิดจินดา ทิพย์สุดา เนินริมหนอง ชญาณี ทิพย์เสมอ
13:30-13:45	160	การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมท่อต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A106 Gr.B และเหล็กกล้าไร้สนิม ASTM A312 TP316/316L ด้วยลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT-1-5 และ AWS A5.9 ER309L โดยกระบวนการ GTAW ทศพล ประทาน ภิสัก เลิศวิจิตรพันธุ์ ธนาภรณ์ ทนโนนแดง
13:45-14:00	162	การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงานเชื่อมท่อโลหะต่างชนิดระหว่าง ASTM A312 Gr.TP316/316L และ ASTM A106 Gr.B ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สปกคลุมแบบแรงดึงผิว และกระบวนการเชื่อมอาร์คทั้งสแตนแก๊สปกคลุม ประภาส เฟิงประ โคน ภิสัก เลิศวิจิตรพันธุ์ ธนาภรณ์ ทนโนนแดง
14:00-14:15	91	การปรับปรุงคุณภาพรอยเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ลวดร้อน วนันธร ภัตริจันทร์ พชรพล ศิลาคุปต์ อรรถพล แก้ววิสัย
14:15-14:30	161	การเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดระหว่าง ADC3 และ AA5052 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ศินินาฏ บัวงาม ศุภรัช สังข์ทอง สมลักษณ์ อุบลวัตร พร้อมพงษ์ ปานดี

แผนผังสถานที่จัดการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566
ชั้น 8 โรงแรมไบรท์ตัน แกรนด์ พัทยา



สารบัญ

	หน้า	
คำนำ	i	
สารจากรองอธิการบดี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา	ii	
สารจากนายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์	iii	
สารจากคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา	iv	
สารจากประธานกรรมการดำเนินงานการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2566	v	
เอกสารโครงการการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566	vi	
คณะกรรมการจัดประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566	viii	
รายนามผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาบทความ	x	
กำหนดการการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566	xiii	
กำหนดการการนำเสนอบทความวิชาการ	xvii	
แผนผังสถานที่จัดการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 41 ประจำปี 2566	xxix	
บทความที่	หน้า	
	ชื่อบทความ	
15	การจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้วิธีวิริสติกส์ กรณีศึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ จันจิรา คงชื่นใจ	1
18	การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพื่อลดต้นทุนในธุรกิจการขนส่ง กรณีศึกษา หจก. ชาญชัยการเกษตร (2013) จังหวัดเชียงราย คมกฤต เมฆสกุล ทรงวุฒิ ประกายวิเชียร อธิคม บุญซื่อ	7
19	การพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ วัชรพงศ์ วัชรวงศ์บุรี สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ	14
20	การวิเคราะห์ระบบทางเข้าของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมกรณีศึกษาชิ้นงานรูปถัง ภาวัช จันทรส พัตรพิมล สุวรรณกาญจน์ สุเมธินี หุซัยฎุมิ	21
21	อิทธิพลกระแสเชื่อมทิกต่อสมบัติของผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI4140 ปิยธิดา ตูนังกุล ไพศาล ทองสงค์ กิตติพงษ์ กิมะพงศ์	28
22	การทำนายผลค่ามุมสปริงกลับจากการตัดท่อโลหะด้วย K-Nearest Neighbors (KNN) สมชาย คงหนู กวิน สนธิเพิ่มพูน สมลักษณ์ วรรณฤมล กีเยลาโรว่า	34
23	เส้นทางรพยบาลสำหรับขนส่งผู้ป่วยคววาระหลายคน กานต์ มุลศรี ดนุพล ทิพย์พงศ์	40
25	การกำหนดนโยบายบริหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเตรียมอะไหล่คลัง กรณีศึกษาโรงงานผลิต กรตอะมีโน พรพัชร จิระเดชะ	46
26	การออกแบบไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุ ธนาวัต เพชรยศ ฤฎิวลัย จันทรส	52
27	การวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ของเครือข่ายสถานีขนส่งในจังหวัดนครพนม ประเทศไทย: การระบุ ตำแหน่งสถานีปลายทางที่เหมาะสมที่สุด เมธาวุฒิ สีหามาตย์ กานต์ มุลศรี ธนิสรา บุตรสิงขรณ์	58
29	พฤติกรรมของค่าความชื้น ความหวาน และสีของกล้วยแผ่นต่อระยะเวลาการตากแดดธรรมชาติ วีระพล ทับทิมดี บรรพจน์ มีสา ประเวช เชื้อวงศ์	64
30	การคำนวณเวลามาตรฐานของพนักงานแผนกตัดเย็บเสื้อผ้า กรณีศึกษา: วิชาทฤษฎีชุมชนแฮนด์อินแฮนด์ อดิษฐ์ มาหามะ พรรณเพ็ญ ดาวประสิทธิ์ นัตพงษ์ โชติพันธ์ ปรุพท์ มะยะเฉียว นิติดา อุตมารัตน์	69

สารบัญ (ต่อ)

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
31	การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าสีแก้วโซดาไลม์ ทศพล สุเรงฤทธิ์ นภัสสงศ์ โอสภศิลป์ พิชญ์รัตน์ อินทร์เอื้อ	75
32	การผลิตภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทีลีน (HDPE) วรพงศ์ บุญช่วยแทน ธัญวลัย จิรันดร รัชมนต์ ยุระพันธ์ุ ชาตรี หอมเขียว ศศิประภา เต็มสิริมงคล ปณัทศน์ หนูเขียว	80
34	การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพืชสดเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์สำหรับโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้าน รอดต้นนาตุ จังหวัดนราธิวาส โกศล มุสโกภาค ปุรพท์ มะยะเฉี่ยว พลากร พรหมเมตร์ กรสิริณัฐ ไรจนวรรณ	86
35	การปรับปรุงคุณภาพการบริการของโรงพยาบาล: กรณีศึกษา โรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัด นราธิวาส ปวีณา อาแวโต๊ะ มูฮิบบะห์ สาเมะ พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์ นิติดา อุตมารัตน์ นัตพงค์ โชติพันธ์ อดิษฐ์ มาหามะ	92
36	การแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยเคมีน และการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีปีนเขามนไมโครซอฟต์แวร์ เซลด้วยภาษารูปเขียน ชลรยา ทายศ กัลยรัตน์ เมื่อบศรี คณศ พันธุ์สวาสดี กวินธร สัยเจริญ	98
37	การจัดการสินค้าคงคลังในร้านอาหารหลายสาขา ธนพล วิภูอริยพันธ์ นัทธพงศ์ สงวนหมู่ ปัทมา บานชื่น กวินธร สัยเจริญ	99
38	การประยุกต์ใช้เทคนิค CPM และ SMED เพื่อลดเวลาในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร กรณีศึกษา โรงงานผลิตขนมกรอบ จันทร์ทา นาควชิรตระกูล กฤษดา ประสพชัยชนะ สุนิสา คำสุข	105
39	การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเพื่อวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของระบบเคลื่อนเม็ดยา: กรณีศึกษา โรงงานผลิตยา อดิพงษ์ พุทธรจกร จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์ กฤษ วงษ์เกษม	111
40	การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับการแพร่ระบาดของเชื้อโควิด-19 ในกรุงเทพมหานคร ปิ่นมณัส เนาวบุตร ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา สุวิษภรณ์ วิชกุล	117
41	การปรับปรุงคุณภาพการจัดส่งของผู้ส่งมอบของบริษัทกรณีศึกษา ศราวุฒิ จันทร์อิม ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์	123
42	การศึกษาการทำงานและปรับปรุงกระบวนการผลิตข้อต่อฟวงรถบรรทุก อานนท์ วิภาตะไวกทยะ สุมนา ล้อมสุชา พงศกร ภูปา ปิยะ รัตน์ละออง ภาษิต ทินนาม ศุภพัชร พวงแก้ว	130
44	การพัฒนาการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาสินค้าประเภทวัสดุก่อสร้าง ภาณุวัฒน์ แก้วสงขลา วนิดา รัตนมณี กุลภัสร์ ทองแก้ว วนัฐมพงษ์ คงแก้ว	136
45	การพัฒนาเครื่องมือวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบเมื่อพิจารณาหลายสินค้าร่วมกัน: กรณีศึกษา ณัฐพล เจริญโต๊ะ พรชิตา เชื้อซัง วัลย์ลดา กลั่นเครือวัลย์ อธิวัฒน์ บุญมี วรญา เนื่องมัจฉา	143
48	การสร้างรหัสคิวอาร์โค้ดด้วย Excel VBA เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบการจัดการสินค้า กรรณา คงนาค ประจวบ กล่อมจิตร	144
49	เครื่องอัตโนมัติขึ้นรูปสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติสู่การใช้ประโยชน์ วรพงศ์ บุญช่วยแทน ชาตรี หอมเขียว จักรนรินทร์ ฉัตรทอง สุรสิทธิ์ ระวีวงศ์ กฤษดากรณ์ หนูเชื้อ ปุ่นยวพันธ์ แก้วซัง	150
50	การประยุกต์ใช้ Solver ใน Microsoft Excel เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรการเลือกห้องวิจัยของนิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จรรยวรรณ เสสูงเนิน สรียญา ศาลางาม	156

สารบัญ (ต่อ)

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
51	การศึกษาโยบายการจัดการสินค้าคงคลังประเภทยางรถยนต์ กรณีศึกษาร้านบริการขายและเปลี่ยนยางรถยนต์ <i>อมเรศ สมุทรานุกูล บรรเทาญ ลิลา จิตติมา พันธุ์จิตรศิริ อติศักดิ์ นาวเหนือว บัญชา อริยะจรรยา</i>	161
52	การศึกษาปัจจัยของการอบชุบด้วยความร้อนที่มีผลต่อความลึกชุบแข็งผิวของแกนข้อโช้รถจักรยานยนต์ โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล <i>พจนีย์ สุขหนา พลชัย โชติปราชญ์กุล</i>	168
53	การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยกระบวนการเคมีสีเขียวโดยใช้สารสกัดใบกระเทียมและสมบัติการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง <i>นุชชิตา สุขประสิทธิ์ วรรณศย์ ทองพูล</i>	174
54	การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตฟักเหล็ก: กรณีศึกษา <i>จิรรัตน์ วีระวราพฤกษ์ พงศกร ชื่นเจริญชัย ศาสตราวุธ ผลสุวรรณ ฐราชร พชรจิตกุล</i>	179
55	การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตขามไม้โดยใช้เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา <i>ชนนาค กฤตวรกาญจน์</i>	185
56	การจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม pathfinder กรณีศึกษาอาคารพ่นสีรถยนต์ <i>สุพัตรา ระหงส์ สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ</i>	191
58	การประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาพนักงานขายแบบกำหนดสีสำหรับบริหารหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด กรณีศึกษาบริษัทปฐพี เซอร์วิส จำกัด <i>ธนัชชา บุญศักดิ์ศรี บุญเทริกา ภูพัฒนะกุล ธัญญา กิรติจินดา วันหยก อติเศรษฐพงศ์</i>	197
59	การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์งานยกกระสอบปูนซีเมนต์วางบนเครื่องผสมปูน <i>จุฑาทิพย์ นวลสว่าง เพ็ญสุดา พันฤทธิ์ดำ</i>	204
60	การหาระดับโวลต์ของคลังที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าถ่านหินผ่านการจำลองสถานการณ์: กรณีศึกษา <i>ศิริพงศ์ อรุณแสงศิลป์ วิภาวี วจิตต์ย์ ชุตติกาญจน์ ชุตติภักทฐมณี อณจ ชัยมณี</i>	210
61	การลดของเสียในกระบวนการผลิต กรณีศึกษาในโรงงานถุงมือยางตัวอย่าง <i>รัชชนา สินธวาลัย อภิญญา หนูพริ้ม นภิสพร มีมงคล</i>	218
62	การประยุกต์ใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ใหม่ กรณีศึกษาในโรงงานผลิตรถจักรยานยนต์ <i>รัชชนา สินธวาลัย ศิวาภรณ์ สุดจันทร์ นภิสพร มีมงคล</i>	226
64	การลดต้นทุนของบ่มแรงดันสูงในกระบวนการผลิตผงซักฟอกด้วยวิศวกรรมคุณค่า <i>กฤษดา ประสพชัยชนะ จันทร์ทา นาควชิระตระกูล ฤกษ์วัลย์ จันทร์สา สุนิสา คำสุข</i>	232
65	การออกแบบตำแหน่งตะกร้าภายในสถานีงานพุกทุไลท์สำหรับศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน <i>กิตติการ จิตรเอื้ออารีย์กุล ไอพาร กิตติธีรพรชัย</i>	239
68	การลดของเสียในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้า กรณีศึกษา: บริษัท แอดแวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด <i>ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ เจนจิรา ฐาพร ณัฐนารี สุดตา ธนภรณ์ เรืองสา</i>	245
69	ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด 7075 ที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อกวนและกระบวนการร่วมการบัดเชิงกลและขึ้นรูปโซ <i>ชรินทร์รัตน์ โพธิสว่าง สุขอังคณา แกล่งกัณฑ์ นครินทร์ ประทุมชัย ภราดร ทองวร นุชจิรา อุดมจิตร</i>	252
70	การตรวจสอบความชื้นแฉะดิน ด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี <i>พลช ชินวัฒน์วงศ์วาน ไอพาร กิตติธีรพรชัย</i>	258
71	แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัท เวิลด์เปเปอร์ จำกัด <i>ณัฐนารี สุขเสกสรรค์ อนุธิดา สีสาเร</i>	266

สารบัญ (ต่อ)

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
72	การจัดตารางพยาบาลแบบหลายวัตถุประสงค์: วิธีการแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม นลรัช สุคนธ์ภัทร พิเศษภู์ จารุมณีโรจน์	272
73	การออกแบบระบบบูรณาการงานหล่ออลูมิเนียมสำหรับโพรงแบบทฤษฎี ภาวิช จันทรสร สถาพร ขาดาคม พัตร์พิมล สุวรรณกาญจน์ เพ็ญญารัตน์ สายสิริรัตน์ พงศกร ขวัญทอง	273
74	การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสต็อกอะไหล่โดยระบบคอมพิวเตอร์: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์ ประจวบ กล่อมจิตร อำนาจ อมฤก ขยานันท์ วิชานันท์ สุนทรวิรักษ์ ชื่นครุฑ	280
75	การลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีนด้วยแนวคิดวิศวกรรมคุณค่าในกระบวนการขนส่งของผลิตภัณฑ์เลนส์ จีราดา อนุชิตนานนท์	287
76	การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยใช้การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือสำหรับกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมเคมี รังสรรค์ กันยะตอย จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์ กฤษ วงษ์เกษม	293
77	การพัฒนาเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้ไปไม้ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ฤกษ์วัลย์ จันทรสรา ธนาวิ เพชรยศ ขาวชัย พลตรี สมเสียง จันทาสี	299
78	การปรับปรุงโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล และความสามารถในการเชื่อมที่แตกต่างกันระหว่างเหล็กหล่อเหนียว A536 และเหล็กกล้าคาร์บอน A36 ด้วยเทคนิคเชื่อมรองพื้น วรศิลป์ พัฒนวิบูลย์ ชนาธิป เหล็กน้ำคอบ ชลลดา เฉ็ดจินดา ทิพย์สุตา เนินริมหนอง ชญาณี ทิพย์เสมอ	307
79	ปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย: แนวทางการวิเคราะห์ห้องประกอบ ธนรัตน์ บริสุทธิ์ พิเศษภู์ จารุมณีโรจน์	314
80	อิทธิพลของกระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุสำหรับโลหะแผ่น อัญไศกี ยกเย็นใจ เปรมพร เขมาวุฒม์	321
81	การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบเพื่อปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเครื่องไม่ วรรณ ติลกการย์ สาวิตรี พิบูลศิลป์ เอนก บุญกวาง	328
83	การพัฒนาโครงเบสนามส่วนบนเพื่อลดการบาดเจ็บหลังของนักเรียนนายร้อย พิสิฐชัย พงษ์แย้ม ธีระเดช ธีระเจริญกุล วศิน แสนใจวุฒิ ภูภักดิ์ ไชยรักษ์ พีรพัชร สกามีตร วรภัทร ทองเหลือ กิตติศักดิ์ พิมพ์ชน	334
84	การพัฒนาระบบการจัดเก็บสินค้าหน่วยย่อย กรณีศึกษาบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง นราวุฒิ ขุนพ่วง ชุกริ แดสา วนิดา รัตนมณี วนัฐมพงษ์ คงแก้ว	341
85	การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับสมดุลสายการผลิตชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไต กรณีศึกษา: บริษัท เอ็ม.อี.นิคโคโซ จำกัด กาญจนา กาญจนสุนทร ชินภัทร โพธิ์ศิริ วงศกร ทองรัตน์ ญัฐพงศ์ ศรีโกเศษฐ	348
86	การปรับปรุงเวลามาตรฐานในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มผลผลิต ศรินยา ประทีปชนะชัย ยุทธณรงค์ จงจันทร์ สราวุธ อิศรานุวัฒน์ ภิรมย์ พรประเสริฐ เกียรติศักดิ์ พระเนตร กิตติคุณ แก้วภิรมย์	355

สารบัญ (ต่อ)

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
87	การหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับการทำงานของพนักงานโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในการบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาครอบแรงดันน้ำ ยุทธณรงค์ จงจันทร์ ศรีนยา ประทีปชนะชัย สุทธิดา การะเวก ปราบปราม ผ่านสำแดง อภิรักษ์ นาคลอง ศักดา จินตะเวช	361
88	การศึกษาผลของการกำหนดจำนวนพาหนะลำเลียงวัสดุอัตโนมัติระบบรางในศูนย์กระจายสินค้าวัสดุก่อสร้าง จุฑามาศ เลขศักดิ์ โอปาร กิตติวีรพรชัย	368
89	ต้นแบบโต๊ะพับสำหรับเตียงสองชั้นเพื่อทำนึ่งที่เหมาะสม วิศรุต จงภิญโญตระกูล นิชาภา นัตริจินดารัตน์ พงศกร โลหะศิริวัฒน์ กรวิชัย กรทิพย์ เกียรติสุนันท์ ศรีพลไกร จินตนันท์ โตทับเที่ยง ชนิด ดั่งพลี นิชชา ชัยสัมฤทธิ์ผล ภาคพิพัฒน์ เอี่ยมพงษ์ไพฑูรย์ สรวิต ก่อกิจกุลศลา ภาคิน ตีรวัฒน์ประภา พีรพัฒน์ เหล่าวีระธรรม	374
90	การลดของเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง ณัฐวิทย์ กาใจทราย ภาคุณวัฒน์ เป็งใจ ฤทัยภัทร ศุภระศร	381
91	การปรับปรุงคุณภาพรอยเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมาสำหรับท่อความร้อน วันนธร ภัทร์จันทร์ พชรพล ศิลาคุปต์ อรรถพล แก้ววิลัย	390
92	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EEWMA, IMFIR-EEWMA, DMEWMA และ IMFIR-DMEWMA สำหรับการแจกแจงไวบูล ชัยวิช สีแดง ชวนากร สุจินตวงษ์ ไสรญา บำรุง ปิยพล ไพจิตร	396
93	การศึกษาการจัดการความปลอดภัยของเล่นเด็กในจังหวัดนครราชสีมา จงกล ศรีธร กิ่งกาญจน์ กองกาญจนะ ภูมิรพี สภาพร	402
95	การลดของเสียในกระบวนการผลิตซีเมนต์: กรณีศึกษา ภัทรพงศ์ คงธีรภาพ ณรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม	409
96	การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแนวเชื่อมโดยการเชื่อมวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมไมโอติเมียมแอ็กเลเซอร์ จงกล ศรีธร เกษมสันต์ แสงสาร	410
98	การปรับปรุงเส้นทางการขนส่งโดยขั้นตอนวิธี LNS คงเดช คำจจร อรุโฎไร แสงสว่าง	417
99	Agent-based simulation for comparative product promotion strategy Chutima Binsiravanich Naragain Phumchusri	423
100	อิทธิพลของอุณหภูมิการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นพลาสติกต่อคุณสมบัติเชิงกลและความแม่นยำเชิงมิติ วิวัฒน์ชัย ประสงค์ วรชน ทิลการภัย์ สาวิตรี พิบูลศิลป์ สมเดช อิงคะวะระ สุเนตร มูลทา ประยูร สุรินทร์	430
101	การลดของเสียในกระบวนการเชื่อมแหวนอีแปะเพื่อตั้งสันขอบรถยนต์ที่เกิดรอยยุบ กรณีศึกษา: สถานประกอบการซ่อมสิริยนต์ ภิม พรประเสริฐ ศรีนยา ประทีปชนะชัย ธนรัช มั่นมงคล จันท์ศิริ พลอยงาม ณัฐภัค พลະพันธ์ สุรพงษ์ แก่นมณี	435
103	การประยุกต์ใช้วิธีการทากูซีในการเพิ่มประสิทธิภาพของพารามิเตอร์การตัดสำหรับความหยาบผิวและอัตราการกัดเนื้องานสำหรับเครื่องกัดอาร์คขึ้นงานด้วยเส้นลวดไฟฟ้า ปภัตดา นาควงษ์ อภิวัฒน์ มุตตามระ	442

สารบัญญ (ต่อ)

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
104	การประยุกต์ใช้ Hybrid Delphi – GRA สำหรับการเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ <i>ปวีรรัต นาสวาสดี นรงค์ วิชาผา ณิชพงษ์ สุวรรณกุล วิทยา อินทร์สอน ไทยทัศน์ สุดสวนสี จันท์ศิริ พลอยงาม</i>	449
105	การวางแผนการผลิตให้เพียงพอต่อการจำหน่าย สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการสูง: กรณีศึกษาโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นม <i>ประไพพิศ ประสมศรี อนันต์ มุ่งวัฒนา จันท์ศิริ สิงห์เถื่อน</i>	455
106	ผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการต่อความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน PLA ที่พิมพ์ 3 มิติโดย FDM <i>ทัดพงศ์ ลิ้มหลาย อภิชาติ มณีงาม ทนงค์ศักดิ์ คงสินธุ์ ทศพร อัครวงษ์ วรรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์ พัชรพิมล สุวรรณกาญจน์ กัลยา อุบลทิพย์</i>	463
107	Formula Development of EVA Compound with Recycled EVA <i>Kittipat Jirvanstit Napassavong Osothsilp</i>	469
110	การพัฒนาระบบต้นทุนมาตรฐานในกระบวนการผลิต กรณีศึกษา: โรงงานผลิตดื่มสำเร็จรูปแช่แข็ง <i>มนัสวี ตั้งเพียร พิเชฐ พุ่มเกษร</i>	476
111	การปรับปรุงรถเข็นในงานก่อสร้างโดยใช้หลักการยศาสตร์ <i>อำพล สานสุข ปิติภักดิ์ ไพโรศรี ชีรวัดน์ สุวรรณวัฒน์</i>	482
113	การปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์พอลีเอสเตอร์ <i>สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ คัทลียา พยุงสกุล</i>	489
114	การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตรวจสอบของแผนกสกรีน: กรณีศึกษาโรงงานฉีดพลาสติก <i>วิจิตรา สิริยะโชติตระกูล ภัทรา ภูปร่างค์ พุทธิพร เล็กขาว</i>	496
115	การจัดอันดับพื้นที่ประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาของประเทศไทยภายใต้การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ <i>กนกวรรณ ทศศิริธรรมร์ กัญญาภรณ์ สีนวล พรรณรินทร์ ปฐมเจริญวัฒน์ ศศรส ใจจิตรี</i>	503
117	การปรับปรุงกระบวนการออกใบเสนอราคา กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ <i>ณัฐภา รอดคง ไอลดา ตริรัตน์ตระกูล</i>	509
118	การจำลองอพยพหนีไฟของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก <i>อนงค์ นาค่า สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ</i>	515
119	การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการประกอบห้องโดยสารรถเกี่ยวขนาดข้าวด้วยการจัดสมดุลสายการผลิต <i>เดชนันท์ เฉลิมเทวี จันท์ศิริ สิงห์เถื่อน รุ่งรัตน์ ภิสซ์เพ็ญ</i>	521
120	การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาดและแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษาไอศกรีมกะทิสด (ผลิตภัณฑ์ธุรกิจขนาดย่อม) <i>เกษรินทร์ พูลทรัพย์ ณิชัฐสุดา จันท์พรหม ณิชุกานต์ สายหมี วันชัย ลีลากวีวงศ์ สุขุม ฆะชิตชัย มงคล มนตรี พิพัฒน์ไพบูลย์</i>	527
121	การปรับสมดุลสายการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ <i>อารีรัตน์ มีแธต สุदारัตน์ คงคาสัย พุทธิพร เล็กขาว ภัทรา ภูปร่างค์</i>	533
122	ระบบผลิตน้ำแข็งพลังงานชีวมวล <i>กานต์ นัครวรายุทธ บุญย์ฤทธิ์ ประสาทแก้ว</i>	540

สารบัญ (ต่อ)

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
123	การพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลสำหรับกำหนดนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังหลายประเภทร่วมกัน สำหรับระบบที่อุปสงค์ไม่แจจแจงแบบปกติ พิไลวรรณ สุวรรณฤทธิ์ วิสุทธิ์ สุพิทักษ์	547
124	การศึกษาสมบัติของจีโอพอลิเมอร์มวลเบาที่ผลิตจากเถ้าลอยและเศษอลูมิเนียมฟอยล์ จัญญ พรหมสะโร รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง อรรถพล แก้ววิไล ชญานี ทิพยเสมอ	556
125	การลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์สำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบยืดหยุ่น ศตพร คุณาพิสิฐกุล นภัสสงศ์ โอสภศิลป์	562
126	ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมของร้านซักผ้าบริการตนเอง วุฒินันท์ นุ่นแก้ว มาริษา กิมาพร	569
127	การประยุกต์ใช้กระบวนการความคิดเชิงออกแบบร่วมกับหลักการ ECRS ในการออกแบบที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต สละชญ สิขณรังษี ธนพล สุวรรณโมษิต ยศพล ส่งสว่าง ธนัช ปัญญากุลวัต สวิช ประวิทย์ รุ่งโรจน์แสนคำราม ปิยะณัฐ บุญสอน	575
128	การแก้ปัญหาด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อลดเวลาในกระบวนการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์ ณราวดี สิทธิเดชขำรง	581
129	การศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้าประเทศกัมพูชาต่อผู้นำเข้านสินค้าจากประเทศไทย ผ่านด้านชายแดนอรัญประเทศ ศรินยา ประทีปชนะชัย อมรรัตน์ พรประเสริฐ ยุทธณรงค์ จงจันทร์ ปวิญญาดา บุญรัมย์ ภูมิ พรประเสริฐ	587
130	การพัฒนาโปรแกรมการจัดการข้อมูลคลังอุปกรณ์: กรณีศึกษา ณัฐพล เจริญไต้ะ อธิวัฒน์ บุญมี	594
131	การปรับปรุงกระบวนการทำงานในคลังวัตถุดิบเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บ อัญญาญา สุขมัน สุปัตตรา ศรีญาณลักษณ์	600
132	การลดเวลาในกระบวนการประกอบเครื่องชั่ง ศุภพัฒน์ บึงตา	606
133	การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ ขวัญชนก สือสวน พาณุกพงษ์ อุ่นกาย ดิเรก ทองคต เขมิสรา พุกอินทร์ ผกามาศ พุกอินทร์อดุลย์ พุกอินทร์	612
135	การคำนวณหาพลังงานการยึดติดของออกไซด์สเกลบนเนื้อพื้นเหล็กกล้าไร้สนิมโดยวิธีเรขาคณิต อังคณา เมืองใจ ปัญญา วิมาลย์ ธรรมภรณ์ ทับละอ อสมฤกษ์ จันทระอัมพร	619
136	การออกแบบเส้นทางการเดินทางรถขนส่งวัสดุอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์: กรณีศึกษา พรชิตา เชื้อซัง วัลย์ลดา กลั่นเครือวัลย์ อธิวัฒน์ บุญมี	625
138	การวางแผนการผลิตแบบเฮจุงกะเพื่อการผลิตแบบลีน นุกุล อุบลบาน	632
140	การวิเคราะห์สมรรถนะระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติในอาคารคลังสินค้าโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยการจำลองพลศาสตร์อค์คิภัย ศราวดี บำรุงรส อนุวัฒน์ อรรถไชยวุฒิ สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ	638
141	การจัดแนวเส้นทางเฮลิคอปเตอร์สำหรับตรวจสายส่งไฟฟ้าแรงสูงด้วยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีกลุ่มอนุภาค สิปภัตติ จานทอง คมกฤต เล็กสกุล	644

สารบัญ (ต่อ)

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
142	การเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0 <i>กษิภา สุทธิวิริยะกุล จิรพรรณ เลี้ยงโรคาพาธ</i>	645
143	การจำลองการอพยพหนีไฟในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์ด้วยโปรแกรม Pathfinder <i>มณฑนา สุทธิประภา ประทีป ชัยเสริมเทวัญ สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ</i>	652
144	การกำหนดระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมภายใต้ผลกระทบของการแจกแจงของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่ไม่ได้กำหนด <i>สรัญญา พากอง ศิริประภา ไชครวย จิรเกียรติ ทรายทอง</i>	658
145	การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานในกระบวนการกีดชิ้นส่วนเครื่องปั้น <i>เนาวดี โคตวิทย์ นัญจวิภา จันทร์ศรี</i>	664
147	การปรับปรุงกระบวนการคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์อะไหล่ยางรถจักรยานยนต์ด้วย Google Sheet <i>สุนันท์ สุวรรณแสง สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ จักรพันธ์ กัณหา</i>	670
148	การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งระหว่างประเทศ <i>รุจามา นันทโพธิ์เดช เขงฐา ชำนาญหล่อ พัชรา ศรีพระบุ</i>	676
149	การประยุกต์ใช้โครงสร้าง SqueezeNet ในการจำแนกข้อบกพร่องของอะลูมิเนียมแผ่นรีด <i>วรพล ประชานิยม นัญจวิภา จันทร์ศรี</i>	682
150	การจำลองสถานการณ์เพื่อลดเวลารอคอยของผู้ป่วย: กรณีศึกษาโรงพยาบาลแหลมฉบัง <i>ธนพันธ์ คงทอง อภินันท์ คำปาน อัครวิษณุ ชีวะธรรมนนท์</i>	688
151	ทำนึ่งในการใช้งานคอมพิวเตอร์เพื่องานออฟฟิศทั่วไปและการเล่นเกม <i>ชยากร ศุภสาธิต ธีรภัทร ศักดิ์ชูวงษ์ พีรวิษณุ วิเศษชาติ หฤทัย โลหะศิริวัฒน์</i>	689
153	โครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลเมื่อผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเป็น <i>ขวัญกมล ปิยะนิจดำรงค์ ณัฐชนน สำเร็จกิจ วศิน เลิศถาวรกิจ ชีวพร สุขผล พร้อมพงษ์ ปานดี</i>	695
154	Monthly Sales Forecasting for Beauty Products Sold in a Retail Offering Price Promotion <i>Nichakan Phupaichitkun Naragain Phumchusri</i>	701
155	Promotion Optimization model for retails' multiple-period planning <i>Chanikran Thangthong Naragain Phumchusri</i>	706
156	การจัดการโครงการก่อสร้างของโรงกลั่นน้ำมันโดยใช้วิธีเส้นทางวิกฤติและวิธีการประเมินผลและ <i>ทบทวนโครงการ</i> <i>วรพงษ์ เกียรติเมธา สิริรงค์ กลั่นคำสอน</i>	712
158	ความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบเรซินและเส้นใยกล้วย <i>กิตติพิชญ์ อภินันท์กิตติ วิภู ศรีสืบสาย</i>	719
159	การจัดการตารางการทำงานของพนักงานเซอร์วิส เพื่อลดการทำงานล่วงเวลา กรณีศึกษา: บริษัท <i>ตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์สำหรับงานระบบเครื่องกลประกอบอาคาร</i> <i>นรินทร์ วณิชย์การ วรภูมิ หวังวัชรกุล จุฑา พิชิตสำเค็ญ</i>	723
160	การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมต่อต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน <i>ASTM A106 Gr.B และเหล็กกล้าไร้สนิม ASTM A312 TP316/316L ด้วยลวดเชื่อม AWS A5.22</i> <i>R309LT-5 และ AWS A5.9 ER309L โดยกระบวนการ GTAW</i> <i>ทศพล ประทาน ภัสกร์ เลิศวิจิตรพันธุ์ ธนาภรณ์ ทนโนนแดง</i>	729
161	การเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดระหว่าง ADC3 และ AA5052 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน <i>ศินินาฏ บัวงาม ศุภชัย สังข์ทอง สมลักษ์ณ์ อุบลวัตร พร้อมพงษ์ ปานดี</i>	735

สารบัญ (ต่อ)

บทความที่	ชื่อบทความ	หน้า
162	การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงานเชื่อมท่อโลหะต่างชนิดระหว่าง ASTM A312 Gr.TP316/316L และ ASTM A106 Gr.B ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมแบบแรงดึงผิว และกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุม <i>ประกาศ เพ็ญประโคน ภัสกร์ เลิศวิจิตรพันธ์ุ์ ธนาภรณ์ ทนโนนแดง</i>	741
164	ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับธุรกิจซื้อ-ขายยางก้อนถ้วย กรณีศึกษา: ร้านมูนงการยาง จังหวัดยะลา <i>นัดพงศ์ โชติพันธ์ุ์ พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์ อุดินันท์ มาหามะ</i>	747
166	The Comparing of Expected Performance of Different Shapes in Cross-Docking <i>Songkhla Paisansukhakul Siwaphong Kusolpuchong</i>	753
167	การลดเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานโดยใช้ซิกซ์ซิกม่า กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมไม้แปรรูป <i>นัฏฐพล ญาณสิริสกุล สิทธิพร พิมพ์สกุล</i>	758
169	ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติสำหรับสกุลเงินบิตคอยน์ด้วยตัวบ่งชี้ทางเทคนิค RSI และ Stoch <i>ภัทรพล ชูชีพชื่นกมล ดาริชา สุธีวงศ์</i>	765
170	การปรับปรุงการพยากรณ์ยอดขายและนโยบายสินค้าคงคลังสำหรับบริษัทกรณีศึกษาเจ้าของแบรนด์สินค้าประเภทน้ำหอม <i>รวินันท์ ลิ้มโอฬารสุขสกุล นระเกณท์ พุ่มชูศรี</i>	771
171	การปรับปรุงกระบวนการขออนุมัติชิ้นงานตัวอย่างสำหรับซัพพลายเออร์ <i>รุ่งทิพย์ อินทวงศ์</i>	778

การจัดสมดุลสายการผลิตโดยใช้วิธีฮิวริสติกส์
กรณีศึกษา โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์
Assembly Line Balancing Using the Heuristics Method
Case Study of Automotive Part Factory

จันจิรา คงชื่นใจ*

หน่วยวิจัยการจัดการการผลิตและอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: janjira_k@eng.src.ku.ac.th*

Janjira Kongchuenjai*

Industrial and Production Management Research Unit, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Sriracha,

Kasetsart University

E-mail: janjira_k @eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดสมดุลสายการผลิตสำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา คือ ชุดสายไฟรถจักรยานยนต์รุ่น A ซึ่งมีประสิทธิภาพสายการผลิตในปัจจุบันเท่ากับร้อยละ 58.67 ทั้งนี้ ประสิทธิภาพสายการผลิตมีค่าต่ำกว่าเป้าหมาย ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้เสนอการปรับปรุงสายการผลิตโดยการจัดสมดุลสายการผลิตแบบฮิวริสติกส์ วิธีฮิวริสติกส์ที่นำเสนอประกอบด้วย 3 วิธี คือ 1) วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด 2) วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ และ 3) วิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง ผลจากการวิจัยพบว่าทั้ง 3 วิธีมีประสิทธิภาพสายการผลิตเท่ากัน รอบเวลาการทำงานลดลงจาก 3.92 นาที เป็น 2.32 นาทีจากการปรับปรุงงานส่งผลให้ประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 99.14

คำสำคัญ: โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ประสิทธิภาพของสายการผลิต ฮิวริสติกส์

Abstract

The purpose of this research is to balance the production line for an automotive parts factory in Chonburi province. The studied product is the model A motorcycle wiring harness, which currently has a production line efficiency of 58.67%. However, the production line efficiency is lower than the target. Therefore, this research proposes the improvement of the production line by methods. The proposed heuristic methods consist of 3 methods. The methods are 1) the Largest Candidate Rule, 2) the Killbridge and Wester Method, and 3) the Ranked Positional Weights Method. The results of the research showed that all 3 methods had the same production line efficiency. Cycle time was reduced from 3.92 minutes to 2.32 minutes from task improvements increasing production line efficiency by 99.14 percent.

Keywords: Automotive parts factory, Production line efficiency, Heuristic

1. บทนำ

อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ของไทยเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพและมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ โดยในปี 2565 การส่งออกชิ้นส่วนยานยนต์ขยายตัวร้อยละ 7.82 เมื่อเทียบกับปีก่อน ซึ่งฟื้นตัวตามเศรษฐกิจโลกที่มีแนวโน้มขยายตัวต่อเนื่อง ส่งผลให้การใช้จ่ายยานยนต์ในการดำเนินกิจกรรมทางเศรษฐกิจเติบโตตามไปด้วย (ที่มา: กองวิจัยเศรษฐกิจอุตสาหกรรม) สภาวะอุตสาหกรรมของประเทศไทยในปัจจุบันอยู่ในสภาวะการแข่งขันที่สูง สืบเนื่องจากอัตราความต้องการของตลาดที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง กลยุทธ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้และเป็นแนวทางที่สำคัญที่จะทำให้อุตสาหกรรมประสบความสำเร็จและสามารถอยู่รอดได้ โรงงานกรณีศึกษาในรูปแบบการผลิตของอุตสาหกรรมชุดสายไฟยานยนต์เป็นสายการผลิตประกอบชิ้นส่วนเพื่อให้ได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ ซึ่งประสิทธิภาพสายการผลิตมีค่าต่ำกว่าเป้าหมาย ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้เสนอการปรับปรุงสายการผลิตโดยการจัดสมดุลสายการผลิตแบบฮิวริสติกส์เพื่อให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นยอมส่งผลให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามความต้องการของลูกค้า การจัดสมดุลสายการผลิตโดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการรอคอยงานเนื่องจากเวลาในแต่ละลำดับงานย่อยแตกต่างกัน หลังจากทำการจัดสมดุลสายการผลิตซึ่งถูกประยุกต์ในการแก้ปัญหาในอุตสาหกรรมผลิตแซชชีส์ทำให้เวลาในการผลิตของแต่ละสถานีงานมีความสมดุลมากขึ้นสามารถลดรอบเวลาในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตได้ [1]

2. การจัดสมดุลสายการผลิต (Line balancing)

การจัดสมดุลสายการผลิต หมายถึง การจัดงานให้สถานีงานต่างๆ ที่มีการผลิตแบบต่อเนื่องกันไหลตลอดสายการผลิต โดยพยายามทำให้หน้าที่การทำงานในแต่ละสถานีงานมีความสมดุลกัน คือ มีอัตราการทำงานและเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละสถานีงานเท่าๆกัน โดยมีเป้าหมายที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยการลดรอบเวลาการทำงาน (Minimizing cycle time) หรือลดจำนวนของสถานีงานให้มีความเหมาะสม การจัดสมดุลสายการผลิตจะต้องยึดเวลาความต้องการของลูกค้า (Takt Time) เป็นหลัก โดยจะแบ่งให้เวลาในการทำงาน (Cycle Time) มีเวลาใกล้เคียงหรือเท่ากับเวลาความต้องการของลูกค้า และนอกจากนี้การจัดสมดุลสายการผลิตจะต้องทำให้พนักงานในสายการผลิตมีเวลาว่างน้อยที่สุดเพื่อลดเวลาว่างงาน [2]

การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีฮิวริสติกส์มีการนำมาประยุกต์ใช้กับหลากหลายอุตสาหกรรม เช่น [3] ได้ทำการปรับปรุงการจัดสมดุลสายการผลิตของโรงงานผลิตตู้แช่เครื่องดื่ม โดยใช้วิธีฮิวริสติกส์ 4 วิธี คือ วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ วิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์วิธีฮิวริสติกส์โดยรวม โดย 3 วิธีให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่ากัน คือ วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด วิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่งและการประยุกต์วิธี

ฮิวริสติกส์โดยรวม สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตจากเดิมร้อยละ 61.79 เป็นร้อยละ 95.49

การจัดสมดุลสายการผลิตในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ เช่น [4] ได้นำเสนอเทคนิคการจัดสมดุลสายการผลิตลูกหมากโดยประยุกต์ใช้ 3 เทคนิค คือ วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ และวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง การจัดสมดุลโดยใช้วิธีกิลบริดจ์และเวสเตอร์ให้ผลดีที่สุด โดยมีค่าการสูญเสียความสมดุล (Balance Delay) ต่ำที่สุด

ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตในอุตสาหกรรมกล้องถ่ายภาพ เช่น [5] ได้นำเสนอการจัดสมดุลสายการผลิตกล้องถ่ายภาพด้วยวิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์และวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง โดยการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตที่ดีที่สุด

งานวิจัยการจัดสมดุลสายการผลิตประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมเสื้อผ้า เช่น [6] ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตเสื้อยืดคอกลม โดยใช้วิธีการจัดสมดุลสายการผลิต 3 วิธีได้แก่ วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ และวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง โดยทั้ง 3 วิธีให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกัน โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตจากเดิมร้อยละ 57.03 เป็นร้อยละ 68.43 และ [7] ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปในโรงงานกรณีศึกษาแห่งหนึ่งโดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์ 4 วิธี คือ วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ วิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง วิธีการใช้เกณฑ์เวลามากที่สุด (Maximum Task Time) และวิธีการที่ใช้เกณฑ์จำนวนงานย่อยที่ตามมาทั้งหมดมากที่สุด (Total Maximum Number of Following Tasks) โดยผลการจัดสมดุลสายการผลิตทั้ง 4 วิธี ให้ค่าผลลัพธ์เท่ากัน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตจากเดิมร้อยละ 55.48 เป็นร้อยละ 67.37 โดยงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีการจัดสมดุลสายการผลิต 3 วิธีได้แก่ วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์และวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง

3. กรณีศึกษา

3.1 ข้อมูลพื้นฐาน

จากการศึกษาโรงงานตัวอย่าง เป็นผลิตภัณฑ์ชุดสายไฟรถจักรยานยนต์ ทำการเปรียบเทียบอัตราการผลิตในปัจจุบันและปริมาณความต้องการของผลิตภัณฑ์เป็นร้อยละอัตราการผลิตที่ขาดตั้งแสดงในตารางที่ 1 โดยจากตารางที่ 1 ผู้วิจัยเลือกศึกษาสายการผลิตชุดสายไฟรถจักรยานยนต์รุ่น A ซึ่งยังไม่สามารถผลิตได้ตามความต้องการของลูกค้าและมีร้อยละกำลังการผลิตที่ขาดมากที่สุดเมื่อเทียบกับรุ่นอื่น ๆ มาทำการศึกษา

ตารางที่ 1 ปริมาณความต้องการของลูกค้และอัตราการผลิตในปัจจุบัน

รุ่น	อัตราการ ผลิต (ชิ้นต่อปี)	ปี 2564		ปี 2565	
		ปริมาณ ความต้องการ (ชิ้นต่อปี)	ร้อยละ ที่ขาด	ปริมาณ ความต้องการ (ชิ้นต่อปี)	ร้อยละ ที่ขาด
A	32,106	39,000	17.67	49,560	35.22
B	27,000	26,000	-	24,450	-
C	42,500	46,800	9.18	44,500	4.49
D	43,000	44,080	2.45	41,065	-

3.2 การศึกษาเวลาสายการผลิตชุดสายไฟรถจักรยานยนต์รุ่น A

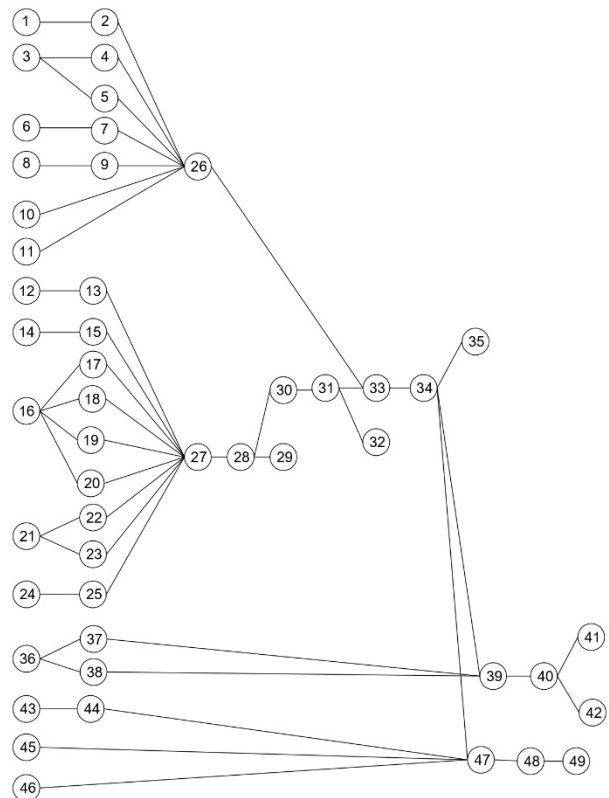
ตารางที่ 2 รายละเอียดเวลาการดำเนินงาน

สถานี	งานย่อย	เวลางานย่อย (นาที)	รอบเวลาการ ทำงาน (นาที)	สถานี	งานย่อย	เวลางานย่อย (นาที)	รอบเวลาการ ทำงาน (นาที)	
								สถานี
1	1	0.78	3.49	7	26	1.34	2.23	
	2	0.39			27	0.89		
	3	0.84			8	2.23		
	4	0.85			9	3.0		
	5	0.63			10	3.1		
2	6	0.84	2.32	11	33	1.81	1.81	
	7	0.52			12	3.4		
	8	0.69			13	47		1.01
	9	0.27				48		0.63
3	10	0.67	1.29	14	39	0.25	1.69	
	11	0.62			40	0.47		
4	12	0.83	2.8	15	35	0.97	1.95	
	13	0.90			36	0.63		
	14	0.67			37	0.68		
	15	0.40			38	0.64		
5	16	0.31	2.67	16	43	0.97	3.92	
	17	0.43			44	1.35		
	18	0.9			45	0.21		
	19	0.22			46	1.39		
	20	0.81			17	29		0.56
6	21	1.23	32	0.51		1.90		
	22	0.27	42	0.41				
	23	0.32	41	0.27				
	24	0.29	49	0.15				
25	0.23	2.34						

เมื่อพิจารณาขั้นตอนการทำงานมีจำนวนงานย่อยรวมทั้งสิ้น 49 งานย่อย จากสถานีงาน 17 สถานี ดังตารางที่ 2 โดยโรงงานตัวอย่างได้กำหนดอัตราความต้องการของลูกค้ (takt time) ไว้ที่ 2.32 นาทีต่อชิ้น

จากรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานดังตารางที่ 2 เทียบกับอัตราความต้องการของลูกค้ที่โรงงานกำหนดไว้ พบว่าในสถานีงานที่ 1, 4, 5, 6 และ 16 มีรอบเวลาการทำงานเกินกว่าอัตราความต้องการของลูกค้ ส่งผลให้เกิดคอขวด (bottle neck) ในสายการผลิตและไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้ตามปริมาณที่ลูกค้ต้องการ

ดังนั้นเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของงานย่อยเหล่านั้นนำมาสร้างผังลำดับขั้นตอนการทำงานก่อนหลังได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผังโครงข่ายลำดับงานการผลิตชุดสายไฟรถจักรยานยนต์รุ่น A

3.3 การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีฮิวริสติกส์

จากตารางที่ 2 รอบเวลาการทำงาน (Cycle time) ของสายการผลิตคือ 3.92 นาที ซึ่งมีค่าเกินกว่าอัตราความต้องการของลูกค้ คือ 2.32 นาที สามารถคำนวณประสิทธิภาพสายการผลิตได้จาก [5]

$$E = \frac{\sum_{j=1}^n t_j}{m \times \max(T_i)} \quad (1)$$

โดยที่ t_j คือเวลาของงานย่อย j m คือจำนวนสถานีงาน T_i คือเวลาในสถานี i จะได้

$$E = \frac{39.1}{17 \times 3.92} = 58.67$$

ดังนั้นประสิทธิภาพสายการประกอบชุดสายไฟรถจักรยานยนต์รุ่น A ก่อนการปรับปรุงเท่ากับร้อยละ 58.67 และพิจารณาจำนวนสถานีงานน้อยที่สุดของสายการผลิตนี้ได้จาก [8]

$$N = \frac{\sum_{j=1}^n t_j}{CT} \quad (2)$$

จะได้ $N = \frac{39.1}{2.32} = 16.86 \approx 17$ สถานีงาน

จากนั้นทำการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์และวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง

3.3.1 วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด

เลือกส่วนงานเพื่อจัดลงสถานี ดูจากค่าของเวลาการทำงานสูงสุดเป็นหลักแต่ต้องไม่ขัดกับเงื่อนไขงานก่อนหน้า โดยเวลาของสถานีงานจะต้องไม่เกินรอบของเวลา ซึ่งแสดงการจัดสถานีงานได้ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การจัดสถานีงานด้วยวิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด

สถานี	ลำดับงานย่อย	รอบเวลาการทำงาน (นาที)
1	3,1,2,16	2.32
2	4,6,5	2.32
3	12,8,7,9	2.31
4	36,10,11	2.30
5	21,14,15	2.30
6	46,18,17	2.30
7	20,43,23,22,19	2.30
8	13,24,25	2.31
9	28	2.23
10	26,29,45	2.31
11	30	2.31
12	31	2.31
13	33,32	2.32
14	34	2.20
15	35	2.32
16	48,49,40,39	2.32
17	44,37,38,42,41	2.32

จากตารางที่ 3 ผลการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด มีจำนวนสถานีงานทั้งสิ้น 17 สถานีงาน นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพสายการผลิตได้ดังนี้

$$E = \frac{39.1}{17 \times 2.32} = 99.14$$

3.3.2 วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์

หลักการของวิธีนี้เริ่มจากการจัดงานย่อยแรกทางซ้ายมือก่อนพยายามรวมงานย่อยต่างๆ เข้าเป็นสถานีงานหนึ่งและให้มีเวลาใกล้เคียงรอบเวลาผลิตมากที่สุด และการเลือกงานย่อยเข้าสถานีงานให้พิจารณาเลือกจากงานที่ไม่มีงานอยู่ก่อนหน้าและพยายามอย่าให้ขัดกับลำดับชั้นงานย่อยนั้นซึ่งแสดงการจัดสถานีงานได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การจัดสถานีงานด้วยวิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์

สถานี	ลำดับงานย่อย	รอบเวลาการทำงาน (นาที)
1	36,10,11	2.30
2	21,14,15	2.30
3	3,1,2,16	2.32
4	12,8,7,9	2.31
5	4,6,5	2.32
6	46,18,17	2.30
7	20,43,23,22,19	2.30
8	13,24,25,27	2.31
9	44,37,38,42,41	2.32
10	26,29,45	2.31
11	28	2.23
12	30	2.31
13	31	2.31
14	33,32	2.32
15	34	2.20
16	47,35	2.32
17	48,49,40,39	2.32

จากตารางที่ 4 ผลการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ มีจำนวนสถานีงานทั้งสิ้น 17 สถานีงาน นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพสายการผลิตได้ดังนี้

$$E = \frac{39.1}{17 \times 2.32} = 99.14$$

3.3.3 วิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง

เทคนิคนี้เป็นการจัดงานย่อยเข้าสถานีงานตามลำดับค่า RPW ซึ่งค่า RPW คือ ผลรวมของเวลางานย่อยที่กำลังพิจารณารวมกับเวลาทุก

ชั้นงานที่ตามหลังงานย่อยนั้น ถ้าค่า RPW ของงานย่อยที่พร้อมจะถูกมอบหมายโดยมีค่าสูงที่สุดก็จะถูกเลือกเข้าสถานีนางก่อน ซึ่งแสดงการจัดสถานีนางได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การจัดสถานีนางด้วยวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง

สถานี	ลำดับงานย่อย	รอบเวลาการทำงาน (นาที)
1	16,3,12	2.32
2	6,4,5	2.32
3	12,8,7,9	2.31
4	10,11,36	2.30
5	21,14,15	2.30
6	17,18,46	2.30
7	20,19,23,22,43	2.30
8	13,24,25,27	2.31
9	28	2.23
10	26,45,29	2.31
11	30	2.31
12	31	2.31
13	33,32	2.32
14	34	2.20
15	47,35	2.32
16	39,48,49,40	2.32
17	44,37,38,42,41	2.32

จากตารางที่ 5 ผลการจัดสมดุสลายการผลิตด้วยวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง มีจำนวนสถานีนางทั้งสิ้น 17 สถานีนาง นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพสลายการผลิตได้ดังนี้

$$E = \frac{39.1}{17 \times 2.32} = 99.14$$

4. ผลการศึกษา

ทำการเปรียบเทียบผลการจัดสมดุสลายการผลิตด้วยวิธีการกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์ และวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่งในด้านต่างๆ ดังตารางที่ 6 พบว่า การประยุกต์ใช้วิธีการจัดสมดุสลายการผลิตทั้ง 3 วิธีในการแก้ปัญหาสลายการผลิตชุดสายไฟรถจักรยานยนต์รุ่น A ของโรงงานตัวอย่าง สามารถจัดงานย่อยให้กับสถานีนางได้ทั้งสิ้น 17 สถานีนาง รอบเวลาการทำงานของสลายการผลิตเท่ากับ 2.32 นาทีต่อชิ้น ประสิทธิภาพสลายการผลิตหลังการปรับปรุงเท่ากับร้อยละ 99.14

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการจัดสมดุสลายการผลิต

รายการ	จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	ประสิทธิภาพสลายการผลิต (ร้อยละ)
วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด	17	2.32	99.14
วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์	17	2.32	99.14
วิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง	17	2.32	99.14

5. สรุปผล

การจัดสมดุสลายการผลิตโดยการประยุกต์ใช้อีวีเอสที 3 วิธี ได้แก่ วิธีกฎเกณฑ์การกำหนดตำแหน่งโดยใช้ค่าสูงสุด วิธีการของกิลบริดจ์และเวสเตอร์และวิธีการใช้น้ำหนักเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง ให้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสลายการผลิตจากเดิมร้อยละ 40.79 ลดรอบเวลาการทำงานจากเดิมร้อยละ 40.81 เพราะฉะนั้นในตัวอย่างปัญหานี้ สามารถเลือกวิธีใดก็ได้เพื่อนำไปปรับปรุงการจัดสมดุสลายการผลิต ซึ่งหากเลือกวิธีที่มีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์การผลิตน้อยที่สุดไปใช้ก่อนจะทำให้สลายการผลิตสามารถดำเนินต่อไปได้อย่างราบรื่นเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสลายการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์รุ่นอื่นๆในโรงงานกรณีศึกษาได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปฐมชัย พิเชิตผจงกิต. 2561. "การปรับปรุงกระบวนการผลิตแชสซีส์ของโรงงานประกอบรถบรรทุก." วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 25, ฉบับที่ 2: 55-66.
- [2] ธัชชนนท์ แดนเขต, ธนภัทร แซ่ลี และชาณิดา พิทยานนท์, การจัดสมดุสลายการผลิตเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตกรณีศึกษาโรงงานผลิตปลาแชลมอนแช่แข็ง, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2560, 23 – 26 กรกฎาคม 2561, อุบลราชธานี.
- [3] ธนากร ประภาสัจจะเวทย์. 2557. "การปรับปรุงการจัดสมดุสลายการผลิต: กรณีศึกษา โรงงานผลิตตู้แช่เครื่องดื่ม." วิทยานิพนธ์สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [4] ปริญญา เร่งพินิจ. 2559. "การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตลูกหมาก กรณีศึกษาบริษัทอุตสาหกรรมอะไหล่ (1999) จำกัด." สารนิพนธ์ สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีไทย - ญี่ปุ่น.
- [5] ปรัชวิน ภูระหงษ์. 2559. "การเปรียบเทียบวิธีการจัดสมดุสลายการประกอบชิ้นส่วนแบบแรงงานคนที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพ

สายการผลิต.” วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร.

- [6] วรพนธ์ ชีววรรณนท์ตรี, ปิยะ รัตน์ละออง, ณัฐพล บุญรักษ์ และสวัสดี ทองสิน. 2561. “การปรับปรุงประสิทธิภาพสมมูลกระบวนการตัดเย็บยัดคอกลมผ้าพื้น โรงงานกรณีศึกษา.” วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์, ปีที่ 18, ฉบับที่ 2: 13-25.
- [7] นุชสรุา เกรียงกรกฎ, ปรีชา เกรียงกรกฎ, อัคริน ลักขชร และงามพล บุญกิจ, การปรับปรุงสมมูลสายการผลิตในโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้าสำเร็จรูป, ข้อมูลจาก http://app.eng.ubu.ac.th/~app/resproject/upload/p1/20.papaer_l_preecha.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 พฤศจิกายน 2565)
- [8] มานพ ดอนหมื่น และณัฐวรพล รัชสิริวัชรบุล. 2562. “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยวิธีการจัดสมมูลสายการผลิต.” วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร, ปีที่ 13, ฉบับที่ 2: 176-185.

**การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพื่อลดต้นทุนในธุรกิจการขนส่ง
กรณีศึกษา หจก.ขวัญชัยการเกษตร (2013) จังหวัดเชียงราย**

Preventive Maintenance for Cost Reduction in Logistic Business

A Case Study of Khwanchai 2013 Limited Partnership in Chiang Rai Province

คมกฤต เมฆสกุล* ทรงวุฒิ ปรายวิเชียร อธิคม บุญชื้อ
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
E-mail: kit_9m@hotmail.com*

Khomkit Meksagul*, Songwut, Athikom Pantong
Department of Industrial Engineering, School of Engineering, University of Phayao
E-mail: kit_9m@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาปัญหาการลดต้นทุนในธุรกิจขนส่งของ หจก.ขวัญชัยการเกษตร (2013) จังหวัดเชียงราย ซึ่งเกิดจากปัญหาด้านการบริหารจัดการที่ไม่สามารถดำเนินการได้ตามเป้าหมายที่กำหนดและปัญหาทางด้านการดำเนินงานเกี่ยวกับการวางแผนและการปฏิบัติงานบำรุงรักษารถบรรทุก โดยในการดำเนินการแก้ไขปัญหาผู้วิจัยได้แบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน คือ 1.) การลดต้นทุนการขนส่ง (Transportation Cost) และ 2.) การลดต้นทุนการบริหารจัดการ (Administration Cost) โดยพบปัญหาหลักคือ การซ่อมบำรุงรถนอกสถานที่ และการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในอู่ซ่อมรถ ซึ่งจากการวิเคราะห์สาเหตุของทั้งสองปัญหาคือแผนผังก้างปลา พบว่ามีสาเหตุจาก การไม่มีแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ไม่มีคู่มือระเบียบวิธีการปฏิบัติ และพนักงานขาดวินัยในการทำงาน ผู้วิจัยจึงดำเนินการร่วมกับผู้บริหารและบุคลากรของสถานประกอบการในการวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไขปัญหาเพื่อสร้างระเบียบ แผนการดำเนินการ และคู่มือการปฏิบัติงาน ผลการปรับปรุงวิธีการทำงานที่นำเสนอ สามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมรถนอกสถานที่ และการใช้พลังงานไฟฟ้าลงร้อยละ 45.76 และ 15.76 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ลดต้นทุน การขนส่งสินค้า การซ่อมบำรุง

Abstract

This research aims to study the problem of cost reduction in logistic business, Khwanchai 2013 Limited Partnership in Chiang Rai Province. This was caused by management problems that could not meet the targets and operational issues related to the planning and operation of truck maintenance. To solve the problem, the researcher studied consists of 2 parts. 1.) the reduction of transportation cost and 2.) the reduction of operation and administration cost, especially, the high cost in roadside services and energy loss in garage. After analyzing by fish bond diagram, it was found the curses of the problem by the lack of the preventive maintenance plan, the maintenance procedures and work instructions, and together with employee's discipline. Therefore, the researcher worked with enterprise management team and employee team to analyzing the possible ways for solving the problem. By created the work regulations, preventive maintenance plan, and maintenance's work procedures and instructions, the result of improving can reduce the cost of on-site repairs and electricity consumption by 45.76 and 15.76 percent, respectively.

Keywords: Cost reduction, Transportation, Maintenance

1. บทนำ

ปัจจุบัน ผู้ประกอบการธุรกิจการขนส่งสินค้ามีการเจริญเติบโตเป็นจำนวนมาก และก่อให้เกิดธุรกิจด้านการขนส่งแบบใหม่ ๆ เกิดขึ้นอีกมากมาย จึงทำให้มีการแข่งขันกันที่ค่อนข้างสูง ทำให้องค์กรต้องมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อสร้างความแตกต่างเหนือคู่แข่งอื่น อีกทั้งในสภาวะทางเศรษฐกิจปัจจุบันของประเทศไทยอยู่ในช่วงวิกฤติประกอบกับราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลกระทบต่อภาคธุรกิจอย่างมาก ด้วยเหตุนี้ผู้ประกอบการด้านการขนส่ง จึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ทางธุรกิจของตัวเองให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อช่วยสร้างโอกาสความได้เปรียบในการแข่งขัน จึงทำให้สถานประกอบการมุ่งหวังที่จะหาวิธีลดต้นทุนในด้านต่าง ๆ เพื่อให้สามารถชิงความได้เปรียบในการแข่งขันด้านการบริการขนส่งสินค้า สถานประกอบการจึงจำเป็นต้องหาวิธีการลดต้นทุนการขนส่งลงมาใช้ปรับปรุงการให้บริการด้านการขนส่งสินค้า เพื่อที่จะสามารถรักษาศักยภาพด้านการแข่งขันไว้ในการศึกษาต้นทุนโดยรวมของสถานประกอบการ [1] โดยปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการในการดำเนินธุรกิจขนส่งคือ 1.) ต้นทุนการขนส่ง ได้แก่ ค่าน้ำมัน และค่าซ่อมบำรุง 2.) ต้นทุนการขนส่งเกิดจากการดำเนินงาน เช่น การใช้ไฟฟ้าและค่าแรง เป็นต้น ซึ่งพบว่าต้นทุนด้านพลังงานจากค่าไฟฟ้าและค่าแรง ซึ่งเป็นปัจจัยภายนอก ไม่สามารถค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ได้ จึงมีแนวคิดนำมาตรการให้พนักงานทุกคนมีส่วนร่วมซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการช่วยกันลดต้นทุนการผลิตให้กับองค์กรได้ [2]

ดังนั้น งานศึกษาวิจัยนี้ทางผู้จัดทำได้เล็งเห็นถึงปัญหาการลดต้นทุนในการขนส่งและเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการเป็นปัจจัยสำคัญ โดยโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) ในการแก้ไขปัญหาลดต้นทุนโดยคาดว่าจะสามารถลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพให้กับบริษัทได้ [3]

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การลดต้นทุน

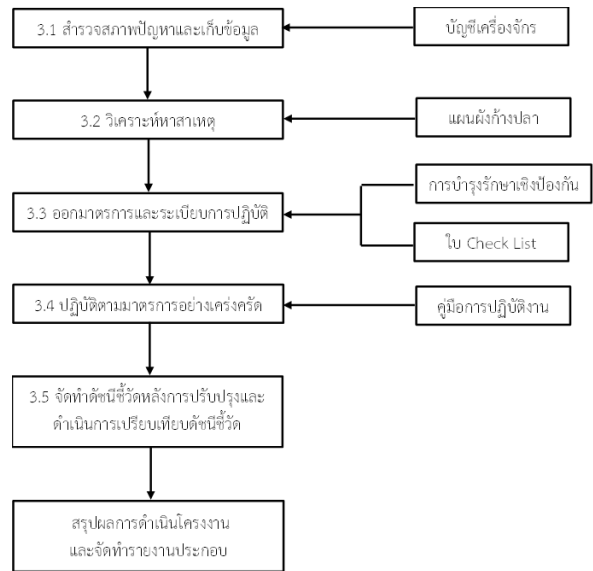
การลดต้นทุนมีความหมายคือ การพยายามลดค่าใช้จ่ายที่จำเป็นหรือไม่จำเป็น เพื่อเพิ่มผลกำไร โดยต้องอาศัยความร่วมมือจากบุคลากรทุก ๆ ฝ่ายรวมทั้งเจ้าของกิจการด้วย นอกจากนี้ การลดต้นทุนยังต้องมีเป้าหมายที่ชัดเจน ดังนั้น การลดต้นทุนจึงไม่เพียงแต่เป็นการลดการใช้วัสดุ อุปกรณ์ พลังงานไฟฟ้า บุคลากร หรือ ค่าแรงของพนักงาน แต่เป็นการใช้สิ่งที่มีอยู่ให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์มากที่สุด [4]

2.2 การซ่อมบำรุง

ปัญหาการซ่อมบำรุงในแต่ละด้านหรือระบบต่าง ๆ เช่น ระบบเครื่องยนต์ ระบบไฟฟ้า ระบบขับเคลื่อน โดยส่วนใหญ่เกิดมาจากการละเลยในการตรวจเช็คจึงทำให้เครื่องยนต์เกิดปัญหาอยู่เสมอ ทำให้เสียเวลาและเสียค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดปัญหาต่อต้นทุน ดังนั้น การซ่อมบำรุงสามารถนำแนวทางการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) มาประยุกต์ใช้ เพื่อดูแลรักษาอุปกรณ์ และ

เครื่องจักรก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหาย และป้องกันไม่ให้เกิดการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อระบบการทำงาน [5]

3. ระเบียบวิธีการดำเนินงาน

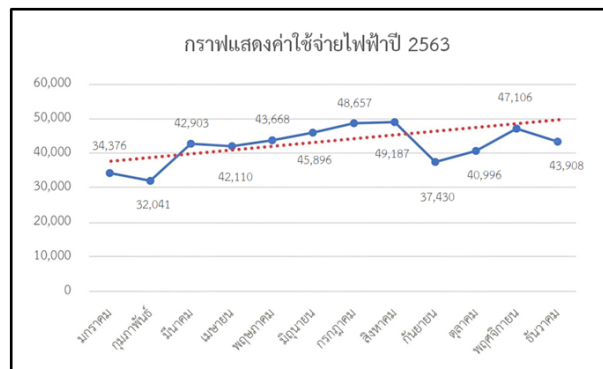


รูปที่ 1 แผนผังแสดงวิธีการดำเนินงาน

จากรูปที่ 1 แผนผังการดำเนินโครงการ ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานได้ดังนี้

3.1 การสำรวจสภาพปัญหาและเก็บข้อมูล

สถานประกอบการประสบกับปัญหาค่าใช้จ่ายไฟฟ้าต่อเดือนที่ค่อนข้างสูง ดังรูปที่ 2 โดยเฉลี่ยต่อเดือน มีค่าเท่ากับ 48,807 บาท ในเบื้องต้น พบว่า เครื่องปรับอากาศ ตู้เชื่อม และเครื่องปั๊มลม ไม่ได้ทำการซ่อมบำรุงเครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ และพนักงานขาดวินัยในการใช้เครื่องจักร เช่น การไม่ปิดเบรกเกอร์หลังการใช้งาน ซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียเปลืองพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2 กราฟแสดงข้อมูลค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า ปี 2563

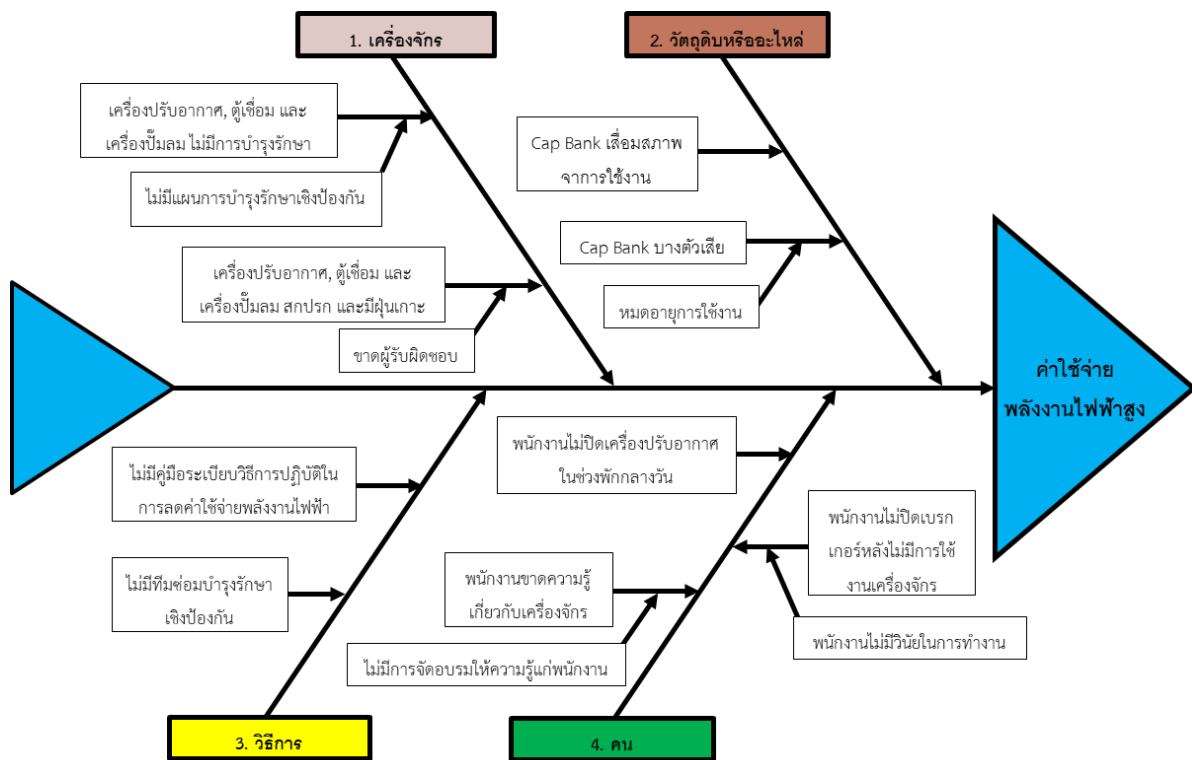
นอกจากนี้ สถานประกอบการยังพบว่า การซ่อมรถนอกสถานที่ที่มีค่าใช้จ่ายในอัตราที่สูงถึงเกือบ 50% ของพลังงานค่าใช้ไฟฟ้า โดยมีมูลค่าถึง 211,132 บาท หรือคิดเป็นร้อยละ 41.54 ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายโดยเฉลี่ยต่อเดือน เท่ากับ 18,788 บาท ดังรูปที่ 3 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในแต่ละเดือน โดยพบว่า ปัญหามักเกิดจากพนักงานขับรถไม่มีการตรวจสอบสภาพรถบรรทุกก่อนออกวิ่งงานขนส่ง ชิ้นส่วนอะไหล่ของรถบรรทุกมีการใช้งานที่เกินระยะเวลาตามกำหนด อีกทั้งเมื่อถึงระยะทางที่กำหนดเข้าซ่อมแล้ว พนักงานขับรถไม่นำรถบรรทุกมาเข้าซ่อม ปัญหาเหล่านี้ส่งผลให้รถบรรทุกเสียกลางทางบ่อยครั้ง เมื่อรถบรรทุกเสียกลางทาง จึงจำเป็นต้องส่งพนักงานช่างของสถานประกอบการออกไปซ่อมรถบรรทุกนอกสถานที่ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการออกไปซ่อมรถบรรทุกนอกสถานที่ในระดับที่ค่อนข้างสูง ซึ่งยังมีผลกระทบทางอ้อมที่ซึ่งเกี่ยวข้องกับการขนส่งที่ล่าช้า หรือ สินค้ามีความเสียหายจากความล่าช้าในการขนส่ง ซึ่งส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของสถานประกอบการ อีกด้วย



รูปที่ 3 กราฟแสดงข้อมูลค่าใช้จ่ายการซ่อมรถนอกสถานที่ ปี 2563

3.2 การวิเคราะห์สาเหตุ

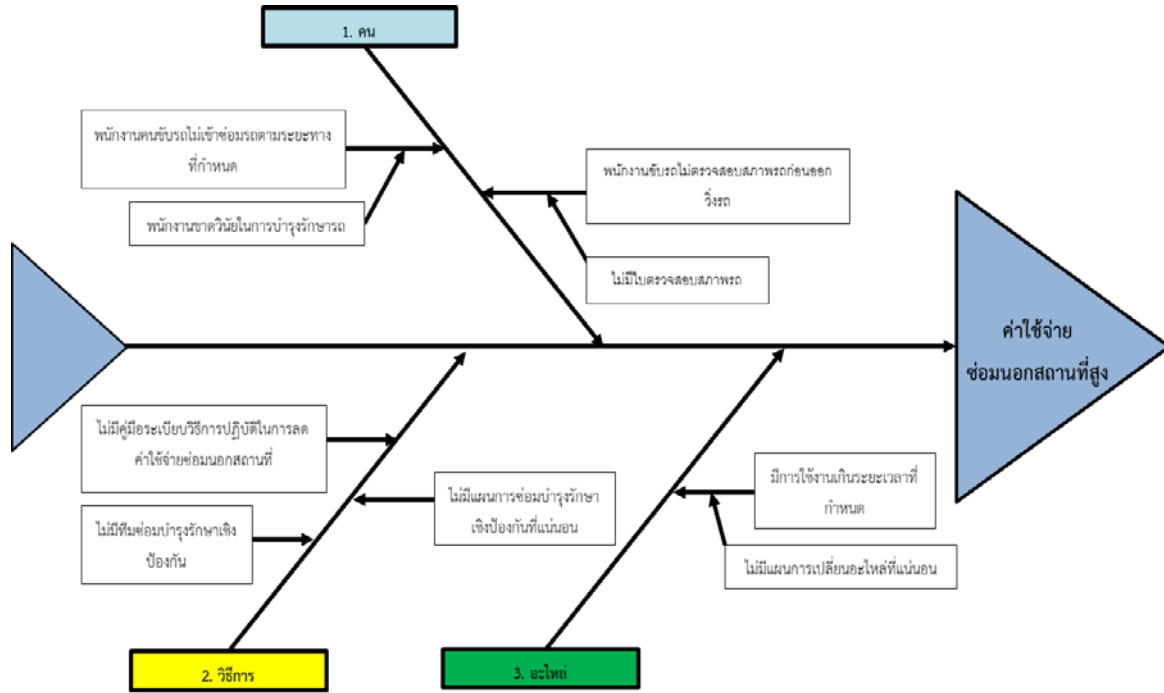
การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า และการซ่อมรถบรรทุกนอกสถานที่ โดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมในการวิเคราะห์ คือ แผนผังก้างปลาซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา และสาเหตุที่จะเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดปัญหา เพื่อนำไปสู่แนวทางแก้ไข ดังนี้



รูปที่ 4 แผนผังก้างปลาแสดงการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 4 พบว่า ปัจจัยที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้สถานประกอบการมีค่าใช้จ่ายไฟฟ้าสูง คือ สถานประกอบการไม่มีแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ไม่มีคู่มือระเบียบวิธีการปฏิบัติ เพื่อลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า และพนักงานก็ยังไม่มีความรู้ ความเข้าใจ และวินัยในการประหยัดพลังงาน เนื่องจาก พนักงานมักไม่ปิดไฟในเวลาพักเที่ยง

นอกจากนี้ ยังพบว่า เมื่อการสำรวจอุปกรณ์ที่ชำรุด พบ Capacitor Bank ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บประจุไฟฟ้า เพื่อช้ชยามที่โรงงานใช้ไฟเกินของสถานประกอบการบางตัวเสียไม่สามารถใช้งานได้ ทำให้เมื่อสตาร์ทมอเตอร์ต่าง ๆ พร้อมกัน ต้องใช้ไฟจำนวนมากในการทำงาน ซึ่งจะส่งผลต่อการดึงไฟฟ้าไปใช้งานเกินที่การไฟฟ้ากำหนดไว้



รูปที่ 7 แผนผังก้างปลาแสดงการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า

จากรูปที่ 7 พบว่า ปัจจัยสำคัญที่เป็นสาเหตุหลักซึ่งทำให้สถานประกอบการมีค่าใช้จ่ายซ่อมนอกสถานที่สูง คือ สถานประกอบการยังไม่มีแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ไม่มีคู่มือหรือวิธีการปฏิบัติงานในการตรวจสอบสภาพรถ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมรถนอกสถานที่ที่ไม่มีการตรวจสอบใช้งานอะไหล่ ทำให้มีอายุการใช้งานเกินระยะที่กำหนด และพนักงานขับรถไม่ได้ทำการตรวจสอบสภาพรถก่อนออกวิ่งรถ

3.3 การออกมาตรการและระเบียบวิธีการปฏิบัติ

ในขั้นตอนนี้ เมื่อพบสาเหตุของการเกิดปัญหาด้านการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า และการซ่อมนอกสถานที่ของสถานประกอบการที่ได้จากการวิเคราะห์ผังก้างปลา โดยการนำสาเหตุที่ได้จากการวิเคราะห์มาออกมาตรการ ด้วยการประชุมร่วมกันและออกระเบียบวิธีการ การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข และร่วมกันจัดทำคู่มือระเบียบวิธีการปฏิบัติในการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า ดังตาราง

	08.00-11.30 น. และเวลา 13.00-16.30 น. ในทุกวันทำการ และปิดหลอดไฟฟ้าในเวลาพักเที่ยง และเลิกงาน
4	ดำเนินการติดตั้งป้ายเตือนการปิดเบรกเกอร์ในทุก ๆ ครั้งหลังใช้งานเสร็จ
5	ดำเนินการล้างแผ่นกรองอากาศหรือฟิลเตอร์ของเครื่องปรับอากาศทุก ๆ 2 เดือน
6	ดำเนินการจัดตั้งทีมซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และจัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องจักรประจำปี ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ ตู้เชื่อม และเครื่องมือ
7	จัดทำใบตรวจสอบการบำรุงรักษาเครื่องจักร และคู่มือมาตรฐานการบำรุงรักษาเครื่องจักร
8	จัดทำขั้นตอน และวิธีการปฏิบัติในการบำรุงรักษาเครื่องจักร

ตารางที่ 1 มาตรการการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า

ลำดับ	รายการมาตรการ
1	จัดอบรมและปลูกจิตสำนึกให้กับพนักงานทุกคนในสถานประกอบการ เรื่องการใช้เครื่องจักรที่ใช้พลังงานไฟฟ้า
2	ดำเนินการเปลี่ยน Capacitor Bank ใหม่
3	กำหนดเวลาเปิด-ปิด หลอดไฟฟ้า และเครื่องปรับอากาศ โดยกำหนดให้ออฟฟิศเปิดเครื่องปรับอากาศ เวลา

ส่วนการซ่อมนอกสถานที่ของสถานประกอบการ ได้ทำการจัดทำใบตรวจสอบสภาพรถ (Check sheet) ขึ้นมาเพื่อใช้ในการตรวจเช็คสภาพรถ ทั้งการตรวจเช็คระบบเครื่องยนต์, ระบบขับเคลื่อน, ระบบไฟ, ระบบการควบคุมต่าง ๆ ของตัวรถ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการละเลยในการตรวจเช็คในการบำรุงรักษาเบื้องต้นสามารถให้พนักงานขับรถตรวจเช็คอะไหล่ต่าง ๆ ได้ โดยใช้ใบตรวจสอบสภาพรถ (Check sheet) ตรวจเช็คเป็นประจำทุกวันก่อนออกปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 8

FM05 Rev.0 - 5 มีนาคม 2565

ใบตรวจสอบสภาพรถบรรทุกประจำวัน

ทำหนังสือแจ้ง กอ.ข.ว. (2013) ปกติ 6 ล้อ 10 ล้อ 18 ล้อ 20 ล้อ

พ.ร. _____ ทะเบียนรถ _____

รายการตรวจสอบสภาพ	/ ค. X - um rtoe																														วันที่กำหนดแก้ไขแล้วเสร็จ
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
1. ด้านหน้ารถบรรทุก																															
1.1 ไม่รั่วซึม																															
1.2 สัญญาณเตือน																															
1.3 ระยะ Free ของพวงมาลัยไม่ฟรี ¼ รอบพวงมาลัย																															
1.4 เบรกมือใช้งานได้ตามปกติ																															
1.5 ระดับน้ำมันคลัตช์																															
1.6 เข็มวัดนิตย																															
1.7 ช่องมือถอย เช่น เงาะ ประตู																															
1.8 ไฟส่องสว่าง																															
1.9 ไฟสัญญาณ																															
1.10 กรงคนออกมา (กรณีตามแนว)																															
1.11 กระดหน้า กระดงอระซาง																															
1.12 ฟ้าปิดน้ำมันระดับน้ำดีผิดปกติ																															
1.13 สภาพสายพาน																															
1.14 ระดับน้ำในหม้อน้ำระบายความร้อน																															
1.15 ระดับน้ำมันของเครื่องยนต์																															
1.16 สายพาน/พัดลม																															
1.17 ระดับน้ำในหม้อน้ำและหัวสายไฟแบตเตอรี่																															
1.18 หม้อกรองน้ำ (2 อัน)																															
1.19 ระดับน้ำมันเบรก																															
1.20 อุปกรณ์ชุดพ่วงพวงมาลัย/รับน้ำหนัก																															
2. ด้านหลังรถบรรทุก																															
2.1 สภาพยางรถบรรทุก																															
2.2 ทรายยางรถบรรทุก (2 อัน)																															
2.3 ระบบเบรกของหาง																															

- ปัญหาที่เจอ ผู้ปฏิบัติ _____ เสร็จ _____

รูปที่ 8 ใบตรวจสอบรถบรรทุกประจำวัน

3.4 การปฏิบัติตามมาตรการอย่างเคร่งครัด

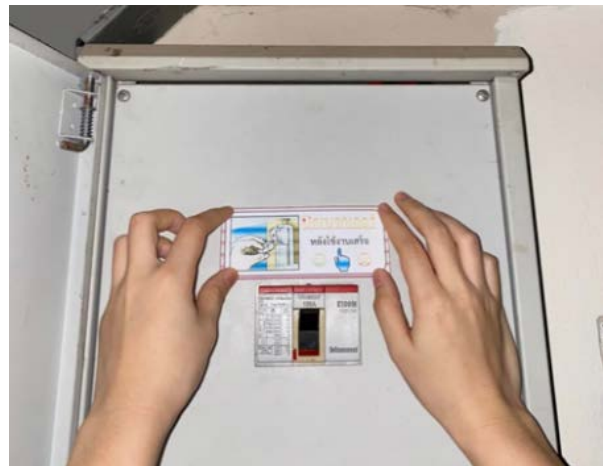
มาตรการการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าถูกนำมาใช้ในการช่วยลดต้นทุนในด้านค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการ โดยมาตรการจะมุ่งเน้นในการลดต้นทุนทั้งทางตรงและทางอ้อม เพื่อช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายที่ทางสถานประกอบการต้องจ่ายในแต่ละเดือน จึงได้ดำเนินการตามมาตรการดังนี้

3.4.1 การจัดอบรมและปลูกจิตสำนึกให้กับพนักงานทุกคนในสถานประกอบการ เรื่องการใช้งานเครื่องจักรได้อย่างถูกวิธี และประหยัดพลังงาน รวมไปถึงการจัดฝึกอบรมให้ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการบำรุงรักษา ดังรูปที่ 9




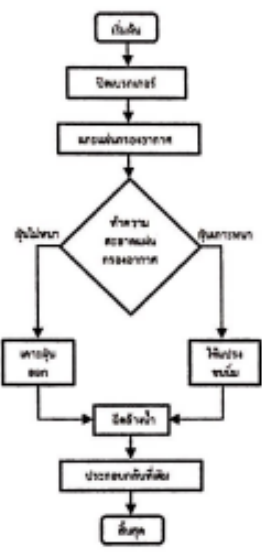

รูปที่ 9 การจัดอบรมให้ความรู้แก่พนักงาน

3.4.2 การจัดทำแผนป้ายเตือนต่าง ๆ เพื่อช่วยลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าโดยเปล่าประโยชน์ ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ใบตรวจสอบรถบรรทุกประจำวัน

3.4.3 การจัดทำเอกสารขั้นตอนการบำรุงรักษาเครื่องจักร และวิธีการปฏิบัติในการบำรุงรักษาเครื่องจักรต่าง ๆ เพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง ดังรูปที่ 11

	วิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction)		WI-KC-001	
			WI	หน้าที่ 1
เรื่อง วิธีการล้างแผ่นกรองอากาศ ของเครื่องปรับอากาศ	ฉบับที่ 1	ผู้อนุมัติ	วันที่บังคับใช้ 28 กุมภาพันธ์ 2565	
กระบวนการ	คำอธิบายกระบวนการ		รูปภาพประกอบ	
1. การล้างแผ่นกรองอากาศ 	1. ต้องทำการปิดเบรกเกอร์ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าเครื่องปรับอากาศก่อนทุกครั้งที่จะทำการล้างแผ่นกรองอากาศเพื่อความปลอดภัยในการล้างแผ่นกรองอากาศ 2. ทำการเปิดหน้ากอกของเครื่องปรับอากาศขึ้นก่อนเราจะพบแผ่น กรองอากาศติดตั้งอยู่ภายในมีลักษณะเป็นแผ่นผ้าตาข่ายสีดำติดอยู่ 3. ทำการแกะเอาแผ่น กรองอากาศออกจากเครื่องปรับอากาศอย่างช้าๆ เนื่องจากแผ่นกรองอากาศมีฝุ่นอยู่เยอะ เวลาทำการแกะควรใส่น้ำกอกอนามัยเพื่อป้องกันไม่ให้ฝุ่นเข้าจุกนอกจากแผ่นกรองอากาศแล้วยังมีไส้กรองที่มีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆ อยู่ด้านบนควรถอดออกมาทำความสะอาดด้วยเช่นกัน 4. นำแผ่นกรองอากาศมาแกะฝุ่นออก ใช้น้ำฉีดและใช้แปรงขนนุ่มขัดเบาๆ ล้างน้ำใช้สะอาดและนำไปผึ่งลมให้แผ่นกรองอากาศแห้งพอดี 5. ทำการประกอบแผ่นกรองอากาศและชิ้นส่วนที่ทำการถอดออกเข้าที่เดิม และพร้อมใช้งานได้ตามปกติ			

รูปที่ 11 เอกสารวิธีการปฏิบัติงาน

3.5 การจัดทำดัชนีชี้วัดหลังการปรับปรุง และการดำเนินการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัด

หลังจากที่ได้ทำการออกมาตรการการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า จึงทำการรวบรวมข้อมูลค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า และข้อมูลจำนวนครั้งที่ซ่อมรถบรรทุกภายในสถานประกอบการในแต่ละเดือน จากข้อมูลสถิติการซ่อมรถบรรทุกภายในสถานประกอบการ หลังจกดำเนินการปรับปรุงเป็นระยะเวลา 4 เดือน เพื่อนำมาการเปรียบเทียบดัชนีชี้วัดผลก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง โดยข้อมูลก่อนการปรับปรุงเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายการซ่อมรถบรรทุกนอกสถานที่ของเดือนกันยายน - ธันวาคม ปี 2563 โดยเปรียบเทียบกับการดำเนินงานในเดือนกันยายน - ธันวาคม ปี 2564 ซึ่งมีได้ทำการปรับปรุง ตามมาตรการที่กำหนดไว้ โดยมีผลการเปรียบเทียบดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 มาตรการการลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า

ดัชนีชี้วัด ผลสำเร็จ	ก่อนการ ปรับปรุง	หลังการ ปรับปรุง	ลดลง (ร้อยละ)
ค่าใช้จ่ายพลังงาน ไฟฟ้า (บาท)	169,440	137,651	18.76

ตารางที่ 3 มาตรการการลดค่าใช้จ่ายการซ่อมรถนอกสถานที่

ดัชนีชี้วัด ผลสำเร็จ	ก่อนการ ปรับปรุง	หลังการ ปรับปรุง	ลดลง (ร้อยละ)
ค่าใช้จ่ายซ่อมรถ สถานที่ (บาท)	85,957	46,562	45.76

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากการศึกษาสภาพปัญหาและเก็บข้อมูล พบว่า ปัญหาหลักที่ทำให้สถานประกอบการต้องแบกรับภาระค่าใช้จ่ายในแต่ละเดือน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายซ่อมนอกสถานที่ จึงได้ดำเนินการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยเครื่องมือและวิธีการแก้ไขทางด้านวิศวกรรม พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 18.76 และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมนอกสถานที่ได้ถึงร้อยละ 45.76 นอกจากนี้ยังมีข้อเสนอแนะแผนงานยุทธศาสตร์ เพื่อให้สถานประกอบการสามารถปรับปรุงและพัฒนาการประหยัดพลังงาน ลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า ดังนี้

4.1 ให้สถานประกอบการปรับมาใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU หลีกเลี่ยงการใช้โหลดจำนวนมากในช่วงเวลา On Peak และเปลี่ยนไปใช้ใน ช่วง Off Peak แทน ซึ่งมีอัตราค่าไฟที่ถูกลงกว่า และลดการใช้โหลดในสิ่งที่ไม่จำเป็น

4.2 ให้สถานประกอบการทำการวางแผนการเปิดและใช้งานเครื่องจักร เพื่อไม่ให้มีการเปิดใช้งานเครื่องจักรพร้อมกัน และศึกษาวิธีในการลดค่า Peak อื่น ๆ เพิ่มเติมจากผู้เชี่ยวชาญที่ทำงานในการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค

เอกสารอ้างอิง

- [1] มานิต แถบน้อย, ศักดิ์ชาย รักรการ และปพน สีหอมชัย. 2558. "การลดต้นทุนในธุรกิจรถบรรทุกติดเครนให้เข้า." วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1: 30-41.
- [2] ชารีน่า ไวยสุภี. 2554. ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการมีส่วนร่วมกิจกรรมไคเซ็น (Kaizen) ของพนักงาน: กรณีศึกษา บริษัท โซนี่ เทคโนโลยี(ประเทศไทย) จำกัด. การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง สาขาบริหารธุรกิจ. คณะบริหารธุรกิจ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [3] กุสุมา แจ็งล้อม. 2551. กลยุทธ์ในการลดต้นทุนการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัท ดีเค เทรดดิ้ง (ประเทศไทย) จำกัด. การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเองสาขาการจัดการโลจิสติกส์. บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- [4] วิชระ มั่งวิฑิตกุล. กระบวนการและเทคนิค การลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: บ.เรียล ยู พาวเวอร์ จำกัด, 2550.
- [5] พงศ์พชร ศรีนวล. 2550. การวิเคราะห์ต้นทุนโลจิสติกส์ กรณีศึกษา: บริษัท เทรดดิ้ง ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. การศึกษาค้นคว้าด้วยตัวเอง สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

การพัฒนาฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ Development of Database System for Production of New Tire Model

วัชรพงศ์ วัชรวงศ์บุรี^{1*} สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ²

^{1,2}สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: pantherwatcharapong@gmail.com^{1*}, somkiat.ta@eng.chula.ac.th²

Watcharapong Vajiravongburi^{1*}, Somkiat Tangjitsitcharoen²

^{1,2}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: pantherwatcharapong@gmail.com^{1*}, somkiat.ta@eng.chula.ac.th²

บทคัดย่อ

เพื่อแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นในการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาและความแปรผันของความต้องการของตลาดรถยนต์ ซึ่งเป็นโรงงานผลิตยางรถยนต์ที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ เพื่อช่วยในการลดระยะเวลาในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ และช่วยในการตัดสินใจการลงทุนในเกี่ยวกับการซื้อเครื่องจักรเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า เนื่องด้วยโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่ก่อตั้งเพื่อผลิตยางรถยนต์โดยสารทั่วไป เช่น รถเก๋ง รถกระบะ รถ SUV เพื่อยางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14-19 นิ้ว แต่ไม่สามารถตอบได้ว่าผลิตยางรถยนต์รุ่นอื่นได้หรือไม่ จากการทดสอบโปรแกรมที่ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้น พบว่าระยะเวลาการทำงานลดลงเหลือ 2 สัปดาห์ จากการทำงานเดิม 5 สัปดาห์ ซึ่งคิดเป็น 60% ของระยะเวลาที่ลดลงจากการทำงานของพนักงาน โดยเป็นการใช้ระบบฐานข้อมูลและช่วยในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ผ่านการใช้โปรแกรม แทนการใช้อีเมล (email) หรือไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ในการสื่อสารระหว่างพนักงาน ช่วยลดจำนวนครั้งในการติดต่อระหว่างพนักงาน เพื่อสอบถามเกี่ยวกับข้อมูล ทำให้ข้อมูลมีความแม่นยำมากขึ้นและลดความผิดพลาดที่เกิดจากพนักงานด้วย

คำสำคัญ: ยางรถยนต์รุ่นใหม่ การศึกษาความเป็นไปได้ ระบบฐานข้อมูล

Abstract

In order to serve manufacturing flexibility of case study tire manufacturer and market demand of passenger car which located in Thailand, this thesis presents a design and development of database system for production of new tire model. To reduce working time for new tire model feasibility study and to support for investment decision about machine investment purchase for customer requirement because cased tire manufacturer is established for passenger car tire production such as sedan, pick-up truck, and SUV which is supported for tire's diameter with 14-19 inches. However, this is not defined that the cased tire manufacturer unable to produce other tire models. It has been proved and tested that the program is able to decrease working time of employee to 2 weeks from 5 weeks in the past which is a 60% reduction working time by using database system for production of new tire model feasibility study, instead of using email or Microsoft excel to communicate between employees, to reduce amount of time between employee communication, to increase data accuracy and reduce human error.

Keywords: New tire model, Feasibility study, Database system

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทยมีการแข่งขันกันสูง และเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ส่งผลให้ผู้ประกอบการธุรกิจอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ต้องมีการปรับกลยุทธ์ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของตลาดยานยนต์ ด้วยเหตุผลนี้ผู้ประกอบการในกลุ่มผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จำเป็นต้องการพัฒนาศักยภาพ และความสามารถในการแข่งขันให้มากขึ้นเพื่อให้ธุรกิจมีความอยู่รอดและสามารถแข่งขันกับธุรกิจอื่นได้ การพัฒนาธุรกิจอุตสาหกรรมให้สามารถแข่งขันในตลาดได้นั้น นอกจากจะมุ่งเน้นที่ผลผลิตเป็นหลักแล้ว จะต้องมีการให้ความสำคัญถึงศักยภาพของโรงงานผลิตในการขยายการผลิตอีกด้วย โดยเฉพาะการพัฒนาการจัดเก็บฐานข้อมูลให้เป็นระบบฐานข้อมูลแบบดิจิทัล คือการนำข้อมูลไปไว้ในระบบเดียวและการเปลี่ยนกระบวนการทำงานแบบ Analog หรืองานที่ทำด้วยมือในกระดาษให้อยู่ในรูปแบบดิจิทัล เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน จากการลดต้นทุนคนและการลดความผิดพลาดของมนุษย์ และจัดเก็บข้อมูลอย่างเป็นระบบ ซึ่งมีความจำเป็นต่อองค์กรในการลดระยะเวลาของการทำงาน ลดความซ้ำซ้อนในการทำงาน และสามารถเพิ่มความแม่นยำของข้อมูล ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดวิเคราะห์หรือสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับธุรกิจได้อีกด้วย

โรงงานกรณีศึกษานี้เป็นโรงงานผลิตยางรถยนต์ โดยเป็นโรงงานที่ก่อตั้งใหม่ ซึ่งเทคโนโลยีในการผลิตเป็นเทคโนโลยีใหม่ เครื่องจักรใหม่ และมีระบบสารสนเทศที่ทันสมัย และสามารถใช้ในการตรวจสอบข้อมูลการผลิต ข้อมูลคุณภาพของยาง หรือแม้แต่วิธีการสืบกลับข้อมูลของยางแต่ละเส้น แต่ยังไม่มียุคที่แสดงถึงความสามารถที่แท้จริงของโรงงานได้ ทำให้ไม่สามารถรู้ถึงความสามารถที่แท้จริงของโรงงานผลิต กล่าวคือระบบที่ใช้บันทึกข้อมูลความสามารถของกระบวนการผลิตในแต่ละกระบวนการ ทั้งนี้สำหรับโรงงานผลิตที่ได้ทำการศึกษานี้ มีจุดประสงค์ในการก่อตั้งเพื่อผลิตยางรถยนต์โดยสารทั่วไป ประกอบด้วย ยางรถเก๋ง รถกระบะ รถSUV เพื่อยางที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14-19 นิ้ว แต่ไม่เคยผลิตยางรถยนต์ชนิดอื่นๆ เช่น ยางรถตู้ ยางรถกระบะใหญ่ หรือ ยางอะไหล่เล็กรถยนต์โดยสาร ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าโรงงานที่ทำการศึกษานี้ ผลิตยางเหล่านี้ได้หรือไม่ ทั้งนี้เมื่อต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่จากกรณีศึกษาที่ได้เคยทำมา ใช้เวลาในการสำรวจ ประเมิน และรวบรวมข้อมูล ประมาณ 1 เดือน 1 สัปดาห์ หรือทั้งหมด 5 สัปดาห์ เพื่อรวบรวมข้อมูลจากทุกกระบวนการผลิต ทุกแผนก เพื่อนำผลการรายงานต่อผู้บริหารว่าโรงงานสามารถผลิตยางที่ต้องการได้หรือไม่



รูปที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ยางรถยนต์โดยสารทั่วไป

ทั้งนี้โรงงานกรณีศึกษาได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรุ่นใหม่จำนวนทั้งสิ้น 4 รายการได้ ได้แก่ ยางรถตู้ ยางรถกระบะใหญ่ ยางรถอะไหล่เล็ก และยางรถยนต์โดยสารขนาด 20 นิ้ว ซึ่งทั้ง 4 รายการนี้ไม่เคยผลิตที่โรงงานกรณีศึกษาได้หรือไม่ได้ โดยแต่ละรายการเป็นงานที่เพิ่มเข้าไปในงานประจำสำหรับแผนกที่เกี่ยวข้อง และทำหน้าที่ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรุ่นใหม่ ซึ่งเวลาในการทำงานแต่ละวันคือ 8 ชั่วโมง โดยที่ระยะเวลาในการศึกษาความเป็นไปได้ในการศึกษายางรุ่นใหม่ใช้เวลา 1 เดือน และในระยะเวลาในการทำงาน 1 เดือนนี้เป็นงานที่เพิ่มขึ้นมาจากงานประจำโดยที่ไม่ได้มีการจัดบันทึกเวลาที่แน่นอนว่าทำงานเป็นระยะเวลาเท่าใด โดยระยะเวลาในการทำงาน 1 เดือน ประกอบไปด้วย การศึกษาความสามารถของเครื่องจักร การศึกษาความสามารถของเครื่องมือและความพร้อม การวางแผนการซื้อเครื่องมือและอุปกรณ์ รวมถึงเครื่องจักรและความพร้อมของบุคลากร คือความรู้ความสามารถและวิธีการทำงาน จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่า เมื่อแต่ละแผนกได้ทำการบันทึกผลของการศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิต พบว่าไม่มีระบบกลางที่ใช้ในการบันทึกผลของข้อมูลและรูปแบบการบันทึกข้อมูลของแต่ละบุคคลไม่เหมือนกัน ทำให้เกิดความสับสนแก่ผู้ที่ได้อ่านข้อมูลต่าง และทำให้เกิดความไม่แน่นอนของข้อมูล เพราะเป็นข้อมูลในกระบวนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เช่น การสั่งซื้อแม่พิมพ์ การสั่งซื้ออุปกรณ์ การปรับแต่งเครื่องจักร เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นสิ่งจูงใจที่ทำให้มีการออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ เพื่อเป็นฐานข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจได้อย่างแม่นยำ และสามารถลดระยะเวลาในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่เพราะมีการใส่ข้อมูลไปยังฐานข้อมูลเดียวกัน อีกทั้งยังสามารถลดความซ้ำซ้อนในการสื่อสารระหว่างแผนกไว้ในระบบฐานข้อมูลเดียว ทำให้ผลลัพธ์ของการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่มีความน่าเชื่อถือ และมีประสิทธิภาพในการช่วยตัดสินใจต่อฝ่ายบริหาร อีกทั้งยังสามารถทำการวางแผนเพื่อลงทุนจัดซื้อเครื่องจักรใหม่หรืออุปกรณ์ใหม่ ในกรณีที่ต้องซื้อเครื่องจักรหรืออุปกรณ์เพื่อรองรับยางรถยนต์รุ่นใหม่ที่จะนำมาผลิตในอนาคต

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

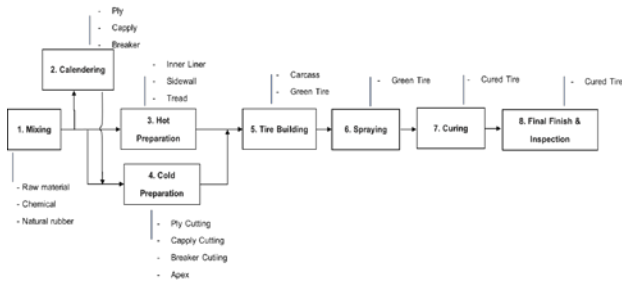
- เพื่อออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่
- เพื่อลดเวลาในการทำงาน โดยใช้ระบบฐานข้อมูล

2. ปัญหา

2.1 กระบวนการผลิตยางรถยนต์

กระบวนการผลิตยางจะสำเร็จนั้น ต้องประกอบไปด้วยกระบวนการผลิตหลัก ทั้งหมด 8 กระบวนการผลิต ได้แก่ Mixing, Calendering, Hot Preparation, Cold Preparation, Tire Building, Spraying, Curing,

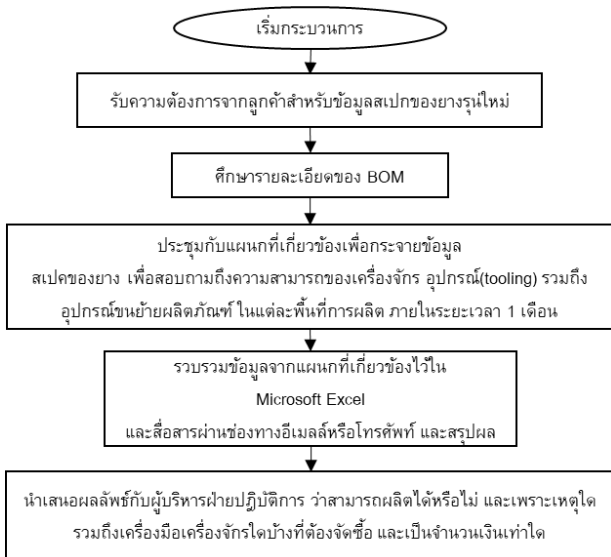
Final Finishing & Inspection จึงจะได้อย่างที่สมบูรณ์ หรือ Finish Good ซึ่งมีผังการผลิตดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพกระบวนการผลิตยาง

2.2 วิธีการทำงานในปัจจุบันสำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่

จากที่กล่าวมาข้างต้นของโรงงานกรณีศึกษา เมื่อต้องการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ แผนกที่ทำข้อมูลเกี่ยวกับโครงสร้างของยางหรือสเปกของยาง จึงต้องกระจายข้อมูลสเปกของยางที่ต้องการผลิตไปยังแผนกต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อสำรวจว่าความสามารถของเครื่องจักร ความสามารถของอุปกรณ์ ในแต่ละกระบวนการผลิต ว่าสามารถรองรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ได้หรือไม่ ตามขั้นตอนในรูปที่ 3



รูปที่ 3 วิธีการทำงานเก่าสำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่

จากวิธีการทำงานที่แสดงในภาพที่ 2 แสดงถึงวิธีการทำงานของการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรุ่นใหม่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้องการรวบรวมข้อมูลผ่านตัวกลางคือ ไมโครซอฟท์เอ็กเซล(Microsoft Excel) และสื่อสารกันระหว่างแผนกผ่านการโทรศัพท์หรืออีเมล ซึ่งทำ

ให้เกิดความยุ่งยากและซับซ้อน เพราะเป็นการใส่ข้อมูลโดยมือ (Manual) และความน่าเชื่อถือของข้อมูลต่ำเนื่องจากไม่มีวันที่ใส่ข้อมูลนั้น อีกทั้งการใส่ข้อมูลของแต่ละแผนกยังมีแบบฟอร์มการใส่ที่ไม่เหมือนกัน

โดยผลกระทบในการทำงานจากแผนกต่างๆที่เกี่ยวข้อง จะเห็นได้ว่าการกรอกข้อมูลของแต่ละแผนก ประกอบด้วยการทำงานทั้งหมด 4 แผนกได้แก่

1. แผนกผลิตภัณฑ์ หรือ PI (Product industrialization) ทำหน้าที่ศึกษาสเปกของยางที่ต้องการผลิตและกระจายข้อมูลไปยังแผนกที่เกี่ยวข้องโดยมีการนัดประชุมหรือส่งอีเมลล์
2. แผนกวิศวกรรม (Plant Engineering) ทำหน้าที่ศึกษาความสามารถของเครื่องจักรในแต่ละพื้นที่ผลิต ว่าสามารถรองรับสเปกของยางที่ต้องการผลิตได้หรือไม่ ภายใน 1 เดือน
3. แผนกการผลิต (Production) ทำหน้าที่ศึกษาความสามารถของกระบวนการผลิตโดยรวมในแต่ละพื้นที่ผลิต ว่าสามารถรองรับสเปกของยางที่ต้องการผลิตได้หรือไม่ ภายใน 1 เดือน
4. แผนกอุตสาหกรรม (Industrialization Engineering) ทำหน้าที่ศึกษาความสามารถของอุปกรณ์ขนย้ายผลิตภัณฑ์ในแต่ละพื้นที่ผลิต ว่าสามารถรองรับสเปกของยางที่ต้องการผลิตได้หรือไม่ ภายใน 1 เดือน

ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการศึกษาข้อมูลต่างๆจากแผนกที่เกี่ยวข้องคือ 1 เดือน และบันทึกข้อมูลลงในไมโครซอฟท์เอ็กเซล ซึ่งจะพบว่าการกรอกข้อมูลแต่ละแผนก จะมีแบบฟอร์มในการกรอกข้อมูลที่แตกต่างกันและส่งผลไปให้แผนกเดียวคือแผนกผลิตภัณฑ์ หรือ PI โดยการส่งเมลล์หรือการแจ้งผ่านการโทรศัพท์ ซึ่งจะเป็นคนรวบรวมข้อมูลจากทุกๆแผนก และใช้เวลาในการรวบรวมข้อมูลทั้งหมด 1 สัปดาห์ จากนั้นส่งผลลัพธ์ไปยังฝ่ายบริหารเพื่อตัดสินใจในขั้นตอนต่อไป

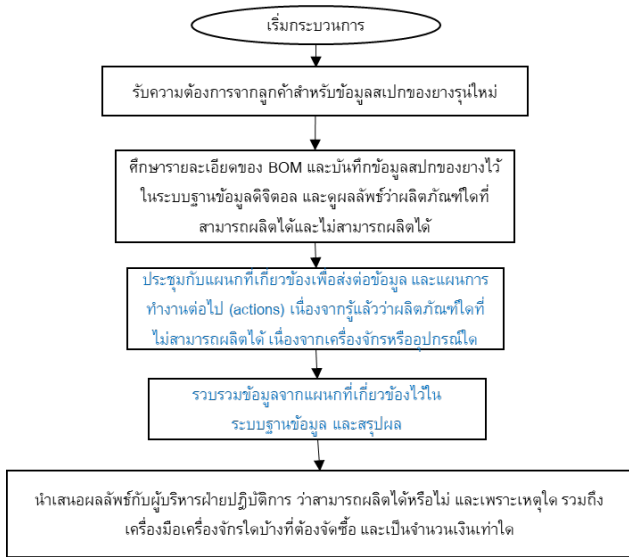
จะเห็นได้ว่าข้อมูลไม่มีความน่าเชื่อถือเนื่องจากการกรอกข้อมูลสามารถผิดพลาดและไม่ทราบวันที่แน่ชัดในการส่งผ่านข้อมูลเพราะแผนกที่ใส่ข้อมูลก่อนหน้า ไม่ได้ระบุวันที่ข้อมูลอัปเดตล่าสุด ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มภาระให้กับแผนกผู้รับผิดชอบแผนกเดียว ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลทั้งหมด โดยใช้เวลา 4 สัปดาห์และจะเห็นว่ารวบรวมข้อมูลทั้งหมดนั้น ใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ในการรวบรวมข้อมูลจากแผนกที่เกี่ยวข้องอีกที่รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 1 เดือน 1 สัปดาห์ หรือทั้งหมด 5 สัปดาห์

3. วิธีการดำเนินงาน

จากปัญหาที่กล่าวมา สามารถสรุปได้ว่าโรงงานกรณีศึกษาต้องการสร้างระบบฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ เพื่อลดระยะเวลาในการตัดสินใจสำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ สำหรับการผลิตสินค้าที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้รวดเร็วยิ่งขึ้น และต้องการมีความยืดหยุ่นในการผลิต โดยมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงสเปกของยางแต่ละรุ่นอยู่เสมอ โดยผลที่คาดว่าจะได้รับจากระบบฐานข้อมูลดิจิทัลจะสามารถรองรับความเปลี่ยนแปลงของสเปกของยาง และสามารถตอบสนองต่อ

ความต้องการของลูกได้เร็วขึ้น เพื่อแก้ปัญหาที่งานวิจัยนี้จึงจัดทำเพื่อออกแบบและพัฒนากระบวนการข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ เพื่อช่วยในการลดระยะเวลาในการทำงานของพนักงาน

3.1 วิธีการทำงานใหม่สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่



รูปที่ 4 วิธีการทำงานใหม่สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่

จากการออกแบบวิธีการทำงานใหม่สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์ใหม่ผ่านระบบฐานข้อมูลเดียว เพื่อเป็นระบบกลางสำหรับพนักงาน พบว่าสามารถลดขั้นตอนการทำงาน ทำให้ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการทำงาน ทำให้ระยะเวลาในการทำงานลดลง อีกทั้งยังสามารถลดความซ้ำซ้อนในการสื่อสารระหว่างแผนกด้วยข้อมูลที่ถูกต้องโดยการใช้ระบบฐานข้อมูลเดียวกัน และยังมีการบันทึกข้อมูลการใช้งานและอัปเดตล่าสุด ทำให้วิธีการทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มีความน่าเชื่อถือ และประหยัดเวลาในการทำงาน รวมถึงแนวทางในการวางแผนการซื้อเครื่องจักรใหม่ เพื่อรองรับยางรุ่นใหม่ที่ต้องการผลิตในกรณีที่จำเป็นต่อโรงงาน

3.2. การออกแบบและพัฒนาโปรแกรม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนากระบวนการข้อมูลแบ่งเป็น 2 ส่วนดังนี้

1. ระบบฐานข้อมูล (Database System)

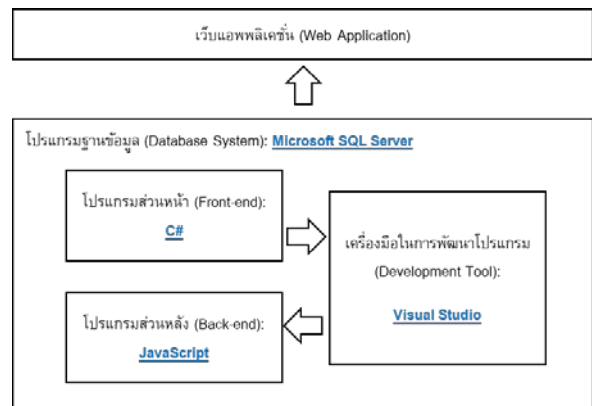
เป็นส่วนที่ใช้รวบรวมข้อมูลภายในโรงงาน ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลความสามารถของเครื่องจักรทุกเครื่องจักร ข้อมูลสเปกของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักรและผลิตภัณฑ์ โดยข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากการรวบรวมข้อมูลที่ผ่านมา และการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม

ซึ่งสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิต เครื่องจักร และผลิตภัณฑ์ที่ได้

2. การออกแบบเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application)

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและพัฒนากระบวนการข้อมูล ผ่านการสร้างเว็บแอปพลิเคชัน (Web Application) ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานผ่านการเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ต (Internet) โดยจะมีการใช้งานที่ง่ายกว่าโปรแกรมที่ติดตั้งในคอมพิวเตอร์ (Computer) และสามารถใช้ได้ทุกที่ผ่านอินเทอร์เน็ต (Internet) ซึ่งขั้นตอนในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันมีดังนี้

- การออกแบบระบบฐานข้อมูล (Database System) โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอสคิวแอลเซิร์ฟเวอร์ (Microsoft SQL Server) ในการจัดเก็บข้อมูล
- โปรแกรมส่วนหน้า (Front-end) ใช้ภาษาจาวาสคริปต์ (JavaScript) ในการพัฒนาหน้าเว็บที่แสดงผล
- โปรแกรมส่วนหลัง (Back-end) ใช้ภาษาซี-ชาร์ป (C#) ในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันในโปรแกรมส่วนหลังเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลมาแสดงที่โปรแกรมส่วนหน้า
- ใช้โปรแกรมวิซวลสตูดิโอ (Visual Studio) ซึ่งเป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมในการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมส่วนหลังและส่วนหน้า

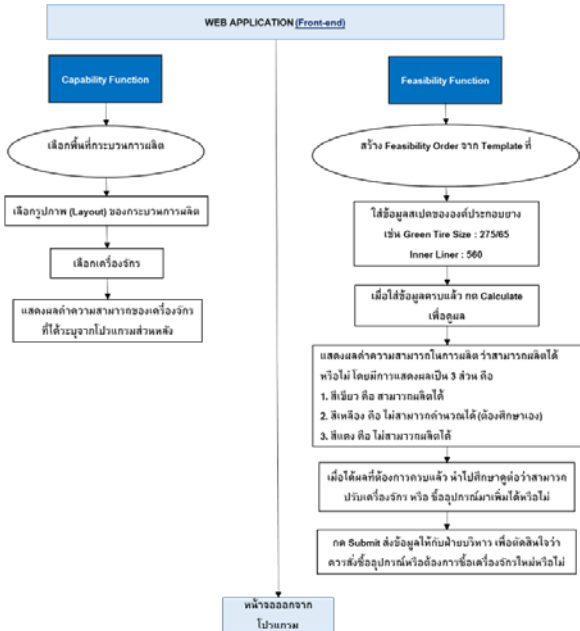


รูปที่ 5 การออกแบบและพัฒนากระบวนการข้อมูล

จะเห็นได้ว่าการออกแบบเว็บแอปพลิเคชัน หน้าผู้ใช้งานจะมีหลักๆด้วยกัน 2 ส่วนคือ โปรแกรมส่วนหน้า (Front-end) และโปรแกรมส่วนหลัง (Back-end) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะมีความแตกต่างกันคือ ส่วนหน้า (Front-end) จะเป็นการแสดงผลข้อมูลสำหรับผู้ใช้งานทั่วไปหรือพนักงานทั่วไปจะมีสิทธิในการเข้าถึงโปรแกรมส่วนหน้าโดยอัตโนมัติ และ โปรแกรมส่วนหลัง (Back-end) จะเป็นการใส่ข้อมูลสำหรับผู้ที่ได้รับสิทธิในการเข้าถึงเท่านั้น รวมถึงจะสามารถเพิ่มข้อมูลได้โดยไม่จำกัด รายละเอียดของโปรแกรมส่วนหน้าและส่วนหลังแบ่งได้ดังนี้

1. โปรแกรมส่วนหน้า (Front-end) คือ การแสดงผลความสามารถของเครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือ อีกทั้งยังสามารถแสดงแผนผังกระบวนการผลิต และ เครื่องจักรต่างๆ (Layout) ซึ่งพนักงานทุกคน

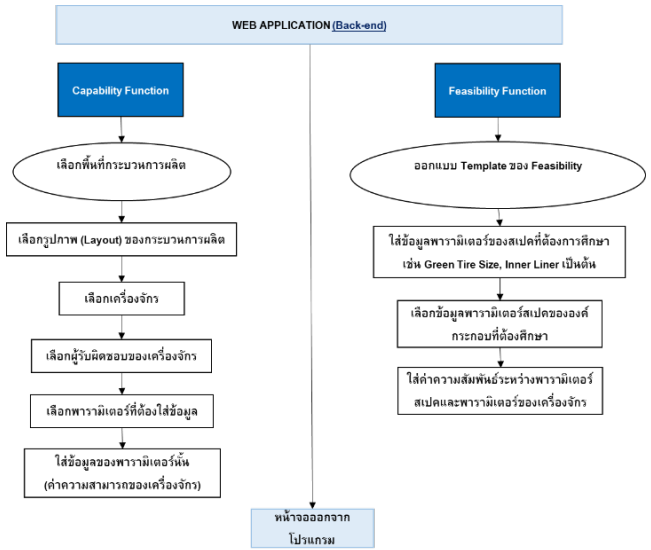
สามารถเข้าถึงได้เมื่อพนักงานต้องการดูข้อมูลความสามารถของกระบวนการผลิตที่เรียกว่า "Capability Function" และในส่วนนี้จะสามารถทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรุ่นใหม่ ที่เรียกว่า "Feasibility Function"



รูปที่ 6 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมส่วนหน้า

2. โปรแกรมส่วนหลัง (Back-end) คือ การใช้ข้อมูลความสามารถของเครื่องจักร อุปกรณ์ เครื่องมือ การใส่รูปแบบผังกระบวนการผลิต และเครื่องจักรต่างๆ (Layout) ซึ่งจะสามารถใส่ข้อมูลได้เฉพาะผู้ที่มีสิทธิ์เท่านั้น กล่าวคือแผนกที่เกี่ยวข้องกับการผลิตและเป็นผู้ที่ได้รับผิดชอบข้อมูลเกี่ยวกับข้อมูลความสามารถของกระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นผู้ที่กำหนดถึงความสามารถของกระบวนการผลิต และใส่ข้อมูลในส่วน Capability Function จากนั้นจะมีการสร้างอีกส่วนงานคือ Feasibility Function ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการนำเอาข้อมูลความสามารถในการผลิตของแต่ละกระบวนการจาก Capability Function มาวิเคราะห์และเขียนสูตรความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการผลิตและสเปกของยางเมื่อต้องการทราบว่าเมื่อมีผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตตามสเปก สามารถผลิตได้หรือไม่

โดยระยะเวลาในการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมใช้เวลารวมทั้งสิ้น 6 เดือนในการดำเนินการเขียนโปรแกรมนี้ขึ้นมา ซึ่งโปรแกรมนี้ได้มีการออกแบบเพื่อใช้สำหรับการศึกษายางรถยนต์รุ่นใหม่ทุกโมเดลที่ไม่เคยผลิตมาก่อนในโรงงาน เช่น ยางรถตู้ ยางอะไหล่เล็ก เป็นต้น และสามารถเปลี่ยนแปลงแบบฟอร์ม (Template) ในโปรแกรมของ Feasibility ได้ในกรณีที่ต้องการเพิ่มการศึกษาสเปกของผลิตภัณฑ์เพิ่มเติม



รูปที่ 7 โครงสร้างการทำงานของโปรแกรมส่วนหลัง

4. ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูล การประมวลผล การสืบค้น การจัดทำการแสดงผล ในรูปแบบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ โดยออกแบบฐานข้อมูลได้อย่างถูกต้อง แม่นยำ รวดเร็ว สะดวกต่อการใช้งาน และมีประสิทธิภาพและสามารถอัปเดตข้อมูลได้ทันที อีกทั้งยังสามารถแก้ไขข้อมูลได้ตลอดเวลา ทำให้เกิดข้อผิดพลาดของข้อมูลน้อยที่สุด ซึ่งการทำงานของระบบเว็บแอปพลิเคชันนี้ (Web Application) โดยการออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์ใหม่มีการแบ่งหน้าโปรแกรมออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ความสามารถของกระบวนการผลิต (Capability Function) และ การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรุ่นใหม่ (Feasibility Function)

4.1 ความสามารถของกระบวนการผลิต (Capability Function)

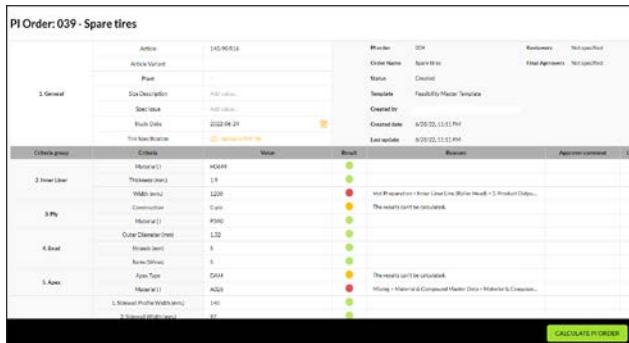
จะประกอบไปด้วยข้อมูลของความสามารถในกระบวนการผลิต ซึ่งได้แก่ แผนผังกระบวนการผลิต (Layout) ชนิดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรและอุปกรณ์ รวมถึงความสามารถของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายและจัดเก็บสินค้า ซึ่งจะกำหนดผู้รับผิดชอบในข้อมูลนั้นๆ และสามารถแก้ไขหรือเพิ่มข้อมูลได้ในแต่ละกระบวนการผลิต ในแต่ละเครื่องจักร อีกทั้งยังมีการระบุข้อมูลล่าสุดที่มีการอัปเดตข้อมูล เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูล

Category	Parameter	Range		Width		Length		Thickness		Responsible	Last update
		Min	Max	Unit	Min	Max	Unit	Min	Max		
1. Product Output (Tread)	1. Tread Profile			62	336	mm					Oct 21, 2021
	2. Tread Cap			28	310	mm					Oct 21, 2021
	3. Tread Edge			30	316	mm					Oct 21, 2021
	1. Pre-Drill Tread			60	350	mm					Oct 21, 2021

รูปที่ 8 โปรแกรมส่วนหน้าของ Capability Function

4.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรุ่นใหม่ (Feasibility Function)

จะเป็นฟังก์ชันที่นำมาศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรุ่นใหม่ โดยมีการเขียนสูตรความสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักรและสเปกของยางรุ่นใหม่ที่ต้องการนำมาศึกษา เพื่อศึกษาว่าเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ใดที่ไม่สามารถรองรับการผลิตชิ้นส่วนของยางรถยนต์รุ่นใหม่ ซึ่งในยางแต่ละรุ่นนั้นเมื่อประกอบชิ้นส่วนของโครงสร้างที่ต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้าและจุดประสงค์ของการใช้งาน



รูปที่ 9 โปรแกรมส่วนหน้าของ Feasibility Function

4.3 ผลเปรียบเทียบการทำงานปัจจุบันและระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นมาใหม่

เมื่อพัฒนาระบบฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่เสร็จพบว่าประโยชน์หลักที่ได้รับจากการออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูลนี้ คือการมีระบบฐานข้อมูลเดียวที่ใช้ในการสื่อสารและบันทึกข้อมูลความสามารถของเครื่องจักร อีกทั้งยังสามารถวิเคราะห์และคำนวณความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ ทำให้ลดระยะเวลาในการทำงานของพนักงานและสามารถลดภาระงานในการรวบรวมข้อมูล อีกทั้งยังเพิ่มความแม่นยำของข้อมูลจากการบันทึกลงไปในระบบ พร้อมกับข้อมูลที่มีการอัปเดตทันทีที่บันทึกได้อย่างแม่นยำ เพื่อการส่งผลลัพธ์ให้การฝ่ายบริหารในการตัดสินใจ

ผลการทดลองที่ได้ทำการศึกษาโมเดลยางที่นำมาใช้กับระบบฐานข้อมูลคือยางอะไหล่ (Spare tire) ซึ่งมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับยางรถยนต์โดยสารทั่วไป มีขนาดหน้ายางและแก้มยางที่ไม่เท่ากับยางโดยสารทั่วไปเนื่องด้วยต้นทุนการผลิตและอายุใช้งานที่น้อยกว่า ทั้งนี้ การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ของยางอะไหล่ที่ได้ทำการศึกษานั้น มีทั้งหมด 3 รุ่นด้วยกัน ดังนี้ 145/90 R16, 155/90 R18, และ 165/90 R17 เป็นต้น จากกรณีศึกษาของทั้ง 3 โมเดล ทำให้เห็นถึงความแตกต่างของขนาดไซส์ยาง กล่าวคือจะมีหน้ายางที่แคบกว่ายางโดยสารปกติ แต่จะมีแก้มยางที่กว้างกว่ายางโดยสารรถยนต์ปกติ เพราะเป็นยางที่ใช้ชั่วคราวและมีต้นทุนที่ต่ำกว่ายางทั่วไป ดังนั้นหน้ายางจึงมีขนาดที่เล็กกว่ายางโดยสารทั่วไป อีกทั้งโครงสร้างภายในของยางอะไหล่ยังมีโครงสร้างที่ไม่เหมือนกับยางโดยสารทั่วไป ทำให้การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่สำหรับยางอะไหล่จึงมีความจำเป็นสำหรับการศึกษา เพื่อให้แน่ใจว่าโรงงาน

กรณีศึกษาสามารถผลิตยางอะไหล่ได้จริง เพราะที่ผ่านมายังไม่มีการผลิตยางอะไหล่มาก่อน เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและตลาดรถยนต์ ทางโรงงานจึงเล็งเห็นว่าการผลิตยางอะไหล่จะก่อให้เกิดความยืดหยุ่นในการผลิต และสร้างกำไรให้กับโรงงานได้

ผลการทดลองการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางอะไหล่ ซึ่งนำมาใช้กับระบบฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่และผ่านกระบวนการวิธีการทำงานใหม่สำหรับการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ดังที่กล่าวมาในหัวข้อที่ 3.1 พบว่าการเปรียบเทียบการทำงานในอดีตและการทำงานแบบใหม่ที่ได้มีการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดเก็บข้อมูล (Database) และนำมาประมวลผลเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ มีการใช้เวลาที่ลดลง เป็นระยะเวลา 2 สัปดาห์การทำงาน จากอดีตที่เคยใช้ 1 เดือน 1 สัปดาห์ (5 สัปดาห์) พบว่าลดลงถึง 60% จากเวลาที่เคยใช้ในการทำงานแบบในอดีต จากเวลาที่ลดลงไปเหลือทั้งหมด 2 สัปดาห์ เกิดจากการลดระยะเวลาได้ดังนี้

1. แผนกผลิตภัณฑ์ (Product industrialization) ศึกษารายละเอียดของ BOM และบันทึกข้อมูลสเปกของยางไว้ในระบบฐานข้อมูลดิจิทัล และดูผลลัพธ์ว่าผลิตภัณฑ์ใดที่สามารถผลิตได้และไม่สามารถผลิตได้ ภายในระยะเวลา 1 วัน จากนั้นนัดประชุมกับแผนกที่เกี่ยวข้องเพื่อส่งต่อข้อมูลและแผนการทำงานในการขั้นตอนต่อไปให้แผนกที่เกี่ยวข้อง เกี่ยวกับข้อจำกัดในการผลิตที่ได้ผลลัพธ์มาจากโปรแกรมนี้ ประมาณ 1-2 วัน
2. แผนกที่เกี่ยวข้องกับการศึกษานี้ ได้แก่ แผนกวิศวกรรม (Plant Engineering) แผนกการผลิต (Production) แผนกอุตสาหกรรม (Industrialization Engineering) ได้รับข้อมูลเกี่ยวกับข้อจำกัดในการผลิตจากโปรแกรมนี้ และศึกษาต่อว่าข้อจำกัดของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นสามารถปรับแต่งได้หรือไม่ ต้องมีการเรียก supplier เพื่อมาปรับแต่งเครื่องจักรหรือไม่ ประมาณ 1 สัปดาห์
3. แผนกผลิตภัณฑ์ (Product industrialization) รวบรวมผลที่ได้จากแผนกต่างๆ และบันทึกผลไว้ในระบบฐานข้อมูล ประมาณ 2 วัน

ตารางที่ 1 ผลเปรียบเทียบการทำงานปัจจุบันและระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้นมาใหม่

ระบบ	ระบบเดิม	ระบบใหม่
เวลาที่ใช้	5 สัปดาห์	2 สัปดาห์
ผลต่าง (%)	60%	

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าสามารถลดระยะเวลาที่เคยทำมาได้ถึง 60% จากระยะเวลาเดิมที่เคยทำมาคือ 5 สัปดาห์ ลดเหลือ 2 สัปดาห์ ทั้งนี้การทำงานแบบใหม่เป็นการใช้ระบบฐานข้อมูลสำหรับการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ที่ได้มีการรวบรวมข้อมูลที่ได้ทำมาแล้วในอดีตมารวบรวมในระบบฐานข้อมูลเดียว อีกทั้งยังช่วยในการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ว่าโรงงานสามารถผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ได้หรือไม่ โดยเมื่อได้รู้ผลลัพธ์จากการศึกษาของยางอะไหล่ พบว่ายังขาดเครื่องมือที่ต้องนำติดตั้งกับเครื่องจักรโดยมีความจำเพาะของเครื่องนั้น (tooling) กล่าวคือ

เครื่องจักรสามารถผลิตได้ แต่ยังคงอุปกรณ์ที่ต้องใช้เพื่อผลิตยางอะไหล่ ซึ่งต้องมีการปรึกษากับ supplier เพื่อให้ได้สเปกของเครื่องมือที่ต้องการ ทำให้ต้องส่งข้อมูลให้ฝ่ายบริหารในการตัดสินใจว่าจะลงทุนในการซื้อหรือใช้เครื่องมือใหม่นี้หรือไม่ โดยผลลัพธ์ทั้งหมดคือ 2 สัปดาห์

ตารางที่ 2 ผลเปรียบเทียบการทำงานเก่าและใหม่

No.	รายละเอียด	วิธีการทำงานทั่วไปผ่านอีเมลล์และโทรศัพท์	วิธีการทำงานผ่านระบบฐานข้อมูลที่พัฒนาขึ้น
1	การรับสารเรื่องการศึกษาค่าความเป็นไปได้ในการผลิตยางรุ่นใหม่	✓	✓
2	ระบบฐานข้อมูลความสามารถของกระบวนการผลิต		✓
3	ข้อมูลข้อความความสามารถของเครื่องจักร	✓	✓
4	ข้อมูลสเปกของยางรถยนต์ที่ต้องการศึกษา	✓	✓
5	การคำนวณอัตโนมัติเมื่อใส่ข้อมูลสเปกของยางที่ต้องการศึกษาว่าสามารถผลิตได้หรือไม่ได้ เพราะข้อจำกัดใด		✓
6	การลดภาระงานของแผนก PI จากการรวบรวมประเมินข้อมูล		✓
7	ความน่าเชื่อถือของข้อมูล		✓
8	การอัปเดตข้อมูลล่าสุด		✓
9	การลดระยะเวลาในการทำงานของพนักงาน		✓
10	การตอบสนองต่อฝ่ายบริหารได้เร็วขึ้น		✓
11	การลดความซ้ำซ้อนในการสื่อสารระหว่างแผนกด้วยข้อมูลที่ถูกต้อง โดยการใช้ระบบฐานข้อมูลเดียว		✓

5. สรุป

จากการศึกษาการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในโรงงานผลิตยางรถยนต์ที่มีความยืดหยุ่นในการผลิตยางรถยนต์หลายโมเดล จึงมีการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยในการลดระยะเวลาในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ โดยมีการเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้โปรแกรมนี้ ซึ่งพบว่าปัญหาที่เคยเกิดขึ้นในการศึกษาความสามารถของเครื่องจักรและความพร้อมของโรงงานในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ พบว่าไม่มีระบบฐานข้อมูลกลางที่ใช้ในการบันทึกผลของข้อมูลและรูปแบบการบันทึกข้อมูลของแต่ละแผนก แต่ละบุคคลไม่เหมือนกัน ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของข้อมูล เพราะข้อมูลเป็นข้อมูลในกระบวนการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงได้เสมอ และยังขาดการอัปเดตข้อมูลเมื่อมีการปรับแต่งเครื่องจักร ซึ่งกรณีศึกษาที่ได้กล่าวมาข้างต้นคือ มีการทำงานที่ผ่านมาใช้เวลาทั้งสิ้น 5 สัปดาห์ ทำให้เสียเวลาในการทำงานของพนักงานในแต่ละครั้ง ซึ่งหลังจากการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมา พบว่าระยะเวลาการทำงานลดเหลือ 2 สัปดาห์ ซึ่งคิดเป็น 60% ของระยะเวลาที่ลดลงจากการทำงานของพนักงาน โดยเป็นการใช้ระบบฐานข้อมูลและช่วยในการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตยางรถยนต์รุ่นใหม่ผ่านการใช้โปรแกรม แทนการใช้อีเมล (email) หรือไฟล์เอ็กเซล (Excel file) ในการสื่อสารระหว่างพนักงาน ช่วยลดจำนวนครั้งในการติดต่อระหว่างพนักงานเพื่อสอบถามเกี่ยวกับข้อมูลทำให้ข้อมูลมีความแม่นยำมากขึ้นโดยมีการกำหนดวันและเวลาที่ข้อมูล

มีการอัปเดตและบันทึกไว้ในระบบฐานข้อมูลเดียว อีกทั้งข้อมูลและลดความผิดพลาดจากการสื่อสารที่เกิดจากพนักงานด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] พันธุ์นิดา เรืองฤทธิ์, การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการประเมินต้นทุนการผลิต วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554
- [2] พันธุ์นิดา เรืองฤทธิ์, การพัฒนาระบบการจัดการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันด้วยคอมพิวเตอร์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557
- [3] ฉัตรทิพย์ กาญจนโภคิน, ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนและควบคุมการผลิต: กรณีศึกษาโรงงานพิมพ์ชนบท วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- [4] นิสรา บุญสุข, ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการสั่งซื้อชิ้นส่วน: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซล วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541
- [5] กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์, ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการวางแผนและการจัดตารางการผลิตของโรงงานผลิตกระดาษคราฟท์ วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- [6] ศิริภัสสร มีครุฑ, การลดของเสียในกระบวนการผลิตยางรถยนต์โดยแนวทางซิกซ์ ซิกมา วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559

การวิเคราะห์ระบบทางเข้าของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมกรณีศึกษาชิ้นงานรูปทัง Analysis of Gating System for Anvil Casting: A Case Study

ภาวช จันทสร พตปมิล สุวรรณกาญจน์ สุเมธิณี หุชัยภูมิ
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: patpimol.s@cit.kmutnb.ac.th*

Pawat Chantasorn, Patpimol Suwankan*, Sumethinee Hoochaiyaphum
Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King's Mongkut University of Technology North Bangkok
E-mail: patpimol.s@cit.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

จากปัญหาที่พบในการศึกษาวิชาเทคโนโลยีงานหล่อโลหะ ทำให้คณะผู้จัดทำทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมรูปทัง โดยปัญหาที่พบบัดังนี้ โพรงอากาศ รอยครีบ หล่อไม่เต็มแบบ โพรงหดตัว และรูพรุน ซึ่งคณะผู้จัดทำจะเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) ในชิ้นงานหล่อ โดยทั่วไปจะแก้ไขปัญหาล้านี้ด้วยกระบวนการและการทดลองหล่อแบบลองผิดลองถูก เพื่อตรวจสอบหาข้อบกพร่อง (Defects) ที่เกิดขึ้น ปัญหานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ระบบทางเข้ารูปร่างมิติใดที่มีผลต่อชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมรูปทัง โดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองพฤติกรรมการณ์ไหล เวลาในการเติมเต็ม การแข็งตัว และการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานหล่อเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งซอฟต์แวร์ที่ใช้สำหรับการจำลองพฤติกรรมการณ์งานหล่อคือ CAST-DESIGNER ขอบเขตในการทำการวิจัยคือ ออกแบบระบบทางเข้าของชิ้นงานรูปทัง โดยวัสดุที่ใช้หล่อคืออะลูมิเนียมเกรด ADC12 ในแบบหล่อทราย ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบลักษณะหน้าตัดทางเข้า 3 ลักษณะคือ หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า หน้าตัดครึ่งวงกลม และหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู โดยกำหนดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าของโลหะเหลว (Sprue : Runner : Ingate) ที่อัตราส่วน 1 : 2 : 2 และมีระยะทางวิ่งของโลหะเหลว (Runner) อ้างอิงจากจุดศูนย์กลางรูทที่ 20 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร จากการศึกษาและวิเคราะห์ผลข้างต้นทำให้ทราบถึงรูปร่างมิติลักษณะใดที่มีผลต่อความสมบูรณ์ของชิ้นงานมากที่สุด จากการทดลองพบว่า รูปร่างลักษณะทางเข้าสี่เหลี่ยมคางหมูที่มีมิติความกว้าง ความสูงที่คล้ายกับรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ระยะทางวิ่ง 20 มิลลิเมตร มีผลทำให้พฤติกรรมการณ์ไหลตัวของโลหะเหลว (Fluid Fraction) เป็นไปในทิศทางที่ดีทำให้มีเวลาในการเติมเต็มโลหะเหลว (Fill Time) ที่เหมาะสมและยังส่งผลทำให้มีเวลาในการแข็งตัวของโลหะเหลว (Solidification Time) ที่เร็วขึ้น และมีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) ที่น้อยลงด้วย โดยทิศทางการแก้ไขปัญหาคือการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) คือการเพิ่มระยะทางวิ่งอาจจะส่งผลให้ปริมาตรการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) น้อยลงหรือมีแนวโน้มที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความสมบูรณ์มากขึ้น

คำสำคัญ: งานหล่อทราย การจำลองงานหล่อ โพรงหดตัว พฤติกรรมการณ์ไหล

Abstract

The aim of this dissertation is to design and analyze the gating system of an aluminum casting piece for anvil casting with an intention of which dimension shape of the gating system to affect casting piece by using a computer program to simulate Fluid Fraction, Fill Time, Solidification and Shrinkage Porosity to support this analysis. Meanwhile, the software used for simulating a casting process is CAST-DESIGNER which is a quick casting design and analysis tool based on upfront design & analysis technology. The scope of this study is to design the gating system of Anvil casting, of which ADC12 aluminum alloy was investigated in the sand casting, In this case, the Ingate was designed in three patterns for the following cross sections: rectangle, semi-circle, and trapezoid, with setting the Ingate area at the ratio of 1 : 2 : 2, including the Runner of the liquid which was 20 and 15 millimeters, respectively. From the study and analysis of the above results, the shape of the ingate is trapezoidal have a width dimension the height is similar to a square shape, resulting in the behavior of the fluid fraction in a good direction, this results in an appropriate fill time and also results in solidification time faster and less shrinkage porosity. The direction to solve the shrinkage porosity problem is to in increase the running, which may result in less shrinkage porosity or a more complete workpiece.

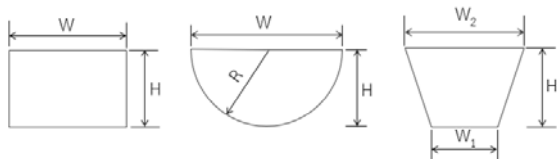
Keywords: Sand Casting, Casting Simulation, Shrinkage Porosity, Flow Behavior

1. บทนำ

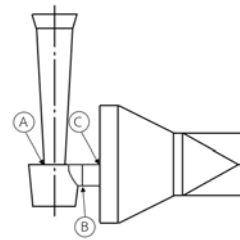
ในปัจจุบันเทคโนโลยีงานหล่อโลหะมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง สามารถบูรณาการองค์ความรู้ใหม่เข้ามาพัฒนากระบวนการผลิตให้สามารถลดต้นทุนการผลิตและลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิต ดังนั้นการนำความรู้เกี่ยวกับหลักการทางวิศวกรรมและโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาช่วยในการออกแบบและสร้างแบบจำลองทางวิศวกรรม (Computer Aided Design and Computer Aided Engineering) นำมาใช้วิเคราะห์ในงานหล่อจึงเป็นที่นิยมมากขึ้น[4] เนื่องจากการเรียนงานหล่อได้พบปัญหาของการหล่อทั้งจึงนำมาศึกษากระบวนการเทหล่อทั้งแบบพิมพ์แบบหล่อทราย (Sand Casting) จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าชิ้นงานหล่อที่มีจุดเสีย (Defect) ที่เกิดจาก โปรงอากาศ รอยครีบก้น หล่อไม่เต็มแบบ โปรงหดตัว และรูพรุนในเนื้อชิ้นงานหล่อ ซึ่งคณะผู้จัดทำจะเน้นไปที่การแก้ไขปัญหาการเกิดโปรงหดตัว (Shrinkage Porosity) ในชิ้นงานหล่อ โดยส่วนใหญ่จะทำการแก้ไขด้วยวิธีการลองผิดลองถูกหรือใช้ประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญงานหล่อมายากรณ์แนวทางการแก้ไขปัญหาให้มีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งยังไม่สามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานหล่อได้อย่างสมบูรณ์ จึงมีแนวคิดนำการใช้โปรแกรมจำลองกระบวนการหล่อมายากรณ์เพื่อลดผลกระทบของโลหะเหลว เพื่อวิเคราะห์ว่ารูปร่างมีลักษณะใดที่มีผลต่อความสมบูรณ์ของชิ้นงานมากที่สุด โดยผลจากการนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมสามารถทำนายได้อย่างแม่นยำมากขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการลดปัญหาและลดต้นทุนในกระบวนการผลิตได้จริงในอนาคตได้[5]

2. วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทำการทดลองและวิธีการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษากระบวนการหล่อแบบทรายของชิ้นงานรูปทรง ขอบกพร่องที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการหล่อ โดยขั้นตอนในการหล่อแบบทรายมีสาเหตุปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความเสียหายในการผลิตชิ้นงาน[3] โดยขอบเขตในการวิเคราะห์ระบบทางเข้าของชิ้นงานหล่ออะลูมิเนียมรูปทรงนี้เริ่มต้นจากการออกแบบ[1]สร้างแม่พิมพ์มีลักษณะหน้าตัดทางเข้า 3 ลักษณะ คือ หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า หน้าตัดครึ่งวงกลม และหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู โดยกำหนดพื้นที่หน้าตัดทางเข้าโลหะเหลว (Sprue : Runner : Ingate) ที่อัตราส่วน 1 : 2 : 2 และมีระยะทางวิ่งของโลหะเหลว (Runner) อ้างอิงจากจุดศูนย์กลางรูเทที่ 20 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้ในการหล่อ คือ อะลูมิเนียมเกรด ADC12[2] ในแบบหล่อทราย



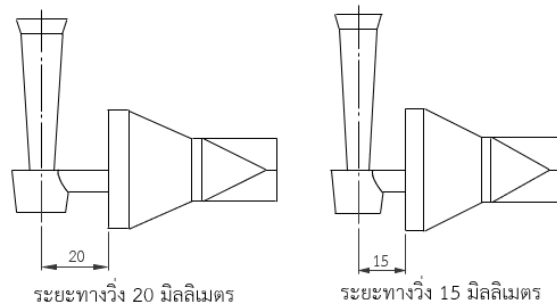
รูปที่ 1 ลักษณะหน้าตัดทางเข้าทั้ง 3 ลักษณะ



อัตราส่วน 1 : 2 : 2

(A : B : C)

รูปที่ 2 อัตราส่วนรูเท : ทางวิ่ง : ทางเข้า



ระยะทางวิ่ง 20 มิลลิเมตร

ระยะทางวิ่ง 15 มิลลิเมตร

รูปที่ 3 ระยะทางวิ่ง (Runner) ทั้ง 2 ระยะ

2.1 การคำนวณหาค่าตัวแปรในการทดลอง

การคำนวณหาความสูงของรูเทโลหะเหลว (H_s)

$$H_s = h - \frac{P^2}{2H_c} \quad (1)$$

โดยที่ H_s คือความสูงของรูเท h คือความสูงทั้งหมด P คือความสูงของโพรงแบบจากหน้าผ้า H_c คือความสูงหรือความหนาของชิ้นงานหล่อ

การคำนวณหาเวลาในการเทโลหะเหลว (t)

$$t \approx 0.075 \times tf \times (H_c / H_s) \quad (2)$$

โดยที่ tf คือเวลาของการแข็งตัวของโลหะเหลว H_c คือความสูงหรือความหนาของชิ้นงานหล่อ H_s คือความสูงของรูเท t คือเวลาที่ใช้เทโลหะเหลวโดยประมาณ 0.075 คือค่าคงที่

การคำนวณหาพื้นที่ด้านล่างของรูเท (A_2)

$$A_2 = \frac{V_c}{t \times c \sqrt{2gH_s}} \quad (3)$$

โดยที่ A_2 คือพื้นที่หน้าตัดด้านล่างของรูเท V_c คือปริมาตรของชิ้นงานหล่อ g คือค่าแรงโน้มถ่วง H_s คือความสูงของรูเท t คือเวลาที่ใช้ในการเท c คือสัมประสิทธิ์ของการสูญเสีย ρ คือความหนาแน่นของโลหะเหลว

การคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของแอ่งเท (d)

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\sqrt{2gH_s} \times A_2}{\sqrt{2gH_b}} \quad (4)$$

โดยที่ H_b คือความสูงของแอ่งเท H_s คือความสูงของรูเท d คือเส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของแอ่งเท g คือค่าแรงโน้มถ่วง A_2 คือพื้นที่หน้าตัดด้านล่างของรูเท



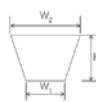
ตารางที่ 1 การกำหนดค่าตัวแปรในการทดลอง

ตัวแปร	ค่าคำนวณ (หน่วย)
ขนาดของทึบหล่อ (กว้าง x ยาว x สูง)	200 x 200 x 50 mm
อุณหภูมิหลอมเหลว	660 °C
อุณหภูมิเท	700 °C
อุณหภูมิทราย	25 °C
ความหนาของชิ้นงานหล่อ (H_c)	39 mm
ความสูงของโพรงแบบ (p)	19.5 mm
ความสูงของรูเท (H_s)	45 mm
ความสูงของแอ่งเท (H_b)	5 mm
ความสูงของแอ่งพัก	14 mm
ความเร็วในการเท (V)	0.31 m/s
เวลาที่ใช้ในการเท (t)	3.9 sec
พื้นที่ด้านล่างของรูเท (A_2)	40.59 mm ²
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนของแอ่งเท	15 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของแอ่งเท	12 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างรูเท	7 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านบนของแอ่งพัก	15 mm
เส้นผ่านศูนย์กลางด้านล่างของแอ่งพัก	12 mm
ปริมาตรชิ้นงาน (V_c)	59502.59 mm ³

เมื่อออกแบบแม่พิมพ์หล่อทรายลักษณะหน้าตัดทางเข้าที่กำหนดภายใต้เงื่อนไขเดียวกันโดยใช้โปรแกรม SolidWorks จากนั้นเตรียมข้อมูลเพื่อนำเข้าไปสู่ขั้นตอนของการจำลองพฤติกรรมโดยใช้โปรแกรม CAST-DESIGNER เพื่อวิเคราะห์ผลของพฤติกรรมไหลของโลหะเหลวโดยผลที่ได้มีดังนี้ ศึกษาพฤติกรรมไหลของโลหะเหลว (Fluid Fraction) ศึกษาเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลว (Fill Time) ศึกษาเวลาในการแข็งตัวของโลหะเหลว (Solidification Time) และศึกษาการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) จากนั้นจะนำผลที่ได้จากการออกแบบระบบทางเข้ามาวิเคราะห์หารูปปร่างมิติลักษณะใดที่มีผลต่อความสมบูรณ์ของชิ้นงานมากที่สุด

2.2 เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลองของหน้าตัด 3 ลักษณะที่อัตราส่วน 1 : 2 : 2 ที่ระยะทางวิ่งเท่ากับ 15 และ 20 มิลลิเมตร ทั้ง 24 แบบ

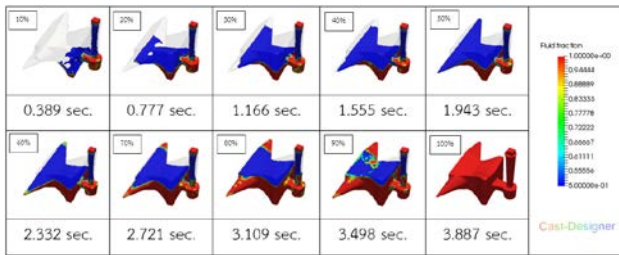
ลักษณะหน้าตัดทางเข้า	ตัวอย่างที่	ระยะทางวิ่ง (mm)	พื้นที่หน้าตัดทางวิ่ง B = 81 mm ²	พื้นที่หน้าตัดทางเข้า C = 81 mm ²
	1	15	11.5, 7	11.5, 7
	2	15	11.5, 7	13.5, 6
	3	15	11.5, 7	16.5, 4.9
	4	15	11.5, 7	22.5, 3.6
	5	20	11.5, 7	11.5, 7
	6	20	11.5, 7	13.5, 6
	7	20	11.5, 7	16.5, 4.9
	8	20	11.5, 7	22.5, 3.6
	9	15	14, 7, 7	14, 7, 7
	10	15	14, 7, 7	19, 6, 10.5
	11	15	14, 7, 7	24, 5, 17
	12	15	14, 7, 7	33, 3.65, 39
	13	20	14, 7, 7	14, 7, 7
	14	20	14, 7, 7	19, 6, 10.5
	15	20	14, 7, 7	24, 5, 17
	16	20	14, 7, 7	33, 3.65, 39
	17	15	9.5, 11, 8	9.5, 11, 8
	18	15	9.5, 11, 8	10, 15, 6.5
	19	15	9.5, 11, 8	13.5, 19, 5
	20	15	9.5, 11, 8	21.5, 25.5, 3.5
	21	20	9.5, 11, 8	9.5, 11, 8
	22	20	9.5, 11, 8	10, 15, 6.5
	23	20	9.5, 11, 8	13.5, 19, 5
	24	20	9.5, 11, 8	21.5, 25.5, 3.5

จากตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดลองของหน้าตัด 3 ลักษณะที่มีพื้นที่หน้าตัดทางวิ่งและทางเข้าเท่ากับ 81 ตารางมิลลิเมตร ที่ระยะทางวิ่งเท่ากับ 15 และ 20 มิลลิเมตร ทั้ง 24 แบบ ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองให้พื้นที่หน้าตัดทางเข้ามีมิติความกว้าง ความยาว ความสูง และมีระยะทางวิ่งที่แตกต่างกัน เพื่อวิเคราะห์หารูปปร่างมิติลักษณะใดที่มีผลต่อความสมบูรณ์ของชิ้นงานมากที่สุด

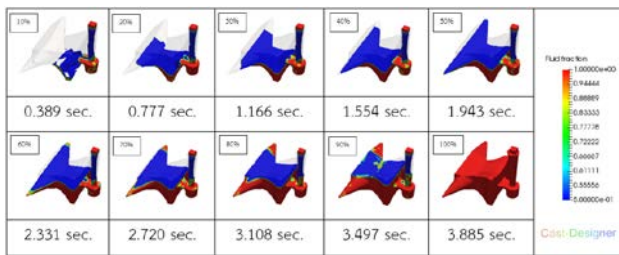
3. ผลการทดลอง

จากการจำลองกระบวนการหล่ออะลูมิเนียมโดยใช้ชิ้นงานทั้ง โดยการออกแบบแม่พิมพ์ทั้ง 24 แบบ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

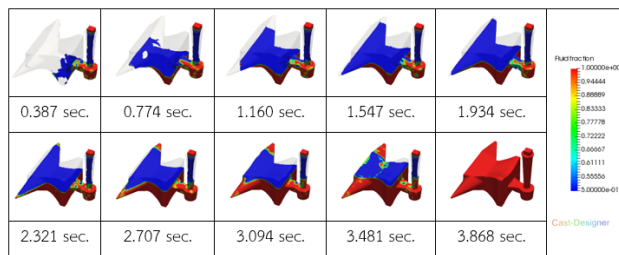
3.1 แบบจำลองพฤติกรรมไหลของโลหะเหลว (Fluid Fraction)



รูปที่ 4 แบบจำลองพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลว (Fluid Fraction) ของแม่พิมพ์ลักษณะสี่เหลี่ยมผืนผ้าตัวอย่างที่ 2



รูปที่ 5 แบบจำลองพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลว (Fluid Fraction) ของแม่พิมพ์ลักษณะครึ่งวงกลมตัวอย่างที่ 10



รูปที่ 6 แบบจำลองพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลว (Fluid Fraction) ของแม่พิมพ์สี่เหลี่ยมคางหมูตัวอย่างที่ 22

จากผลการจำลองพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลว (Fluid Fraction) ของแม่พิมพ์ทั้ง 24 แบบ มีพฤติกรรมการไหลตัวของโลหะเหลวไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะพิจารณาจากลักษณะการไหลของโลหะเหลว โดยโลหะเหลวจะไหลเข้าไปเติมเต็มในส่วนด้านล่างของแม่พิมพ์ก่อน หลังจากนั้นจะไหลจนเต็มชิ้นงาน จากผลการทดลองพบว่าแม่พิมพ์ลักษณะสี่เหลี่ยมคางหมูตัวอย่างที่ 22 ระยะทางวิ่ง 20 มิลลิเมตร มีพฤติกรรมการไหลตัวของโลหะเหลวที่ดีที่สุดที่ทำให้เกิดการตีวนน้อยกว่าแม่พิมพ์ลักษณะอื่น ๆ พฤติกรรมการไหลตัวของโลหะเหลวที่ดีที่สุดทำให้เกิดการตีวนน้อยคือ มีการแทรกตัวของอากาศในเนื้อโลหะเหลวน้อยมาก จึงทำให้โลหะเหลวไหลตัวได้อย่างต่อเนื่องหรือไหลตัวอย่างสม่ำเสมอจนเต็มชิ้นงาน จากภาพแสดงการจำลองพฤติกรรม การไหลของโลหะเหลว (Fluid Fraction) ของแม่พิมพ์ทั้ง 3 ลักษณะ จะเห็นได้ว่าแม่พิมพ์ตัวอย่างที่ 2 และ 10 ในช่วง 10 – 20 % จะมีการไหลตัวของโลหะเหลวที่รุนแรงและมีการแทรกตัวของอากาศในเนื้อโลหะเหลวมากกว่าแม่พิมพ์ตัวอย่างที่ 22 ซึ่งลักษณะการไหลตัวของโลหะ

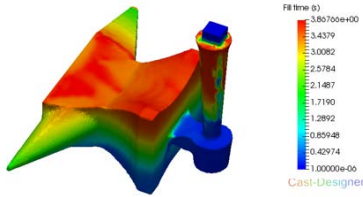
เหลวที่ดี ส่งผลทำให้ใช้เวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลว (Fill Time) ที่เหมาะสมด้วย

3.2 แบบจำลองเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลว (Fill Time)

ตารางที่ 3 แสดงผลการจำลองเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลว (Fill Time) ทั้ง 24 แบบ

ลักษณะหน้าตัดทางเข้า	ตัวอย่างที่	ระยะทางวิ่ง (mm)	พื้นที่หน้าตัดทางเข้า C = 81 mm ²	Fill Time (sec)
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	1	15	11.5, 7	3.889
	2	15	13.5, 6	3.887
	3	15	16.5, 4.9	3.899
	4	15	22.5, 3.6	3.914
	5	20	11.5, 7	3.906
	6	20	13.5, 6	3.924
	7	20	16.5, 4.9	3.922
	8	20	22.5, 3.6	3.914
ครึ่งวงกลม	9	15	14, 7, 7	3.874
	10	15	19, 6, 10.5	3.885
	11	15	24, 5, 17	3.901
	12	15	33, 3.65, 39	3.900
	13	20	14, 7, 7	3.930
	14	20	19, 6, 10.5	3.929
	15	20	24, 5, 17	3.908
	16	20	33, 3.65, 39	3.940
สี่เหลี่ยมคางหมู	17	15	9.5, 11, 8	3.897
	18	15	10, 15, 6.5	3.897
	19	15	13.5, 19, 5	3.909
	20	15	21.5, 25.5, 3.5	3.881
	21	20	9.5, 11, 8	3.911
	22	20	10, 15, 6.5	3.868
	23	20	13.5, 19, 5	3.912
	24	20	21.5, 25.5, 3.5	3.936

จากผลการจำลองเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลว (Fill Time) ของแม่พิมพ์ทั้ง 24 แบบ มีเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลวใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาควคูปกับพฤติกรรมในการไหลของโลหะเหลวแล้ว พบว่าแม่พิมพ์ลักษณะหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูตัวอย่างที่ 22 ระยะทางวิ่ง 20 มิลลิเมตร มีเวลาในการเติมเต็มเหมาะสมที่สุดคือ 3.868 วินาที และมีลักษณะการไหลตัวของโลหะเหลว (Fluid Fraction) ที่ดี



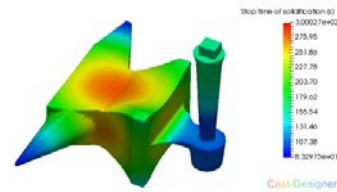
รูปที่ 6 แบบจำลองเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลว (Fill Time) ของตัวอย่างที่ 22

3.3 แบบจำลองเวลาในการแข็งตัวของโลหะเหลว (Solidification Time)

ตารางที่ 4 แสดงผลการจำลองเวลาในการแข็งตัวของโลหะเหลว (Solidification Time) ทั้ง 24 แบบ

ลักษณะหน้าตัดทางเข้า	ตัวอย่างที่	ระยะทางวิ่ง (mm)	พื้นที่หน้าตัดทางเข้า C = 81 mm ²	Solidification Time (sec)
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	1	15	11.5, 7	3.037
	2	15	13.5, 6	3.041
	3	15	16.5, 4.9	3.037
	4	15	22.5, 3.6	3.034
	5	20	11.5, 7	3.029
	6	20	13.5, 6	3.021
	7	20	16.5, 4.9	3.020
	8	20	22.5, 3.6	3.011
ครึ่งวงกลม	9	15	14, 7, 7	3.033
	10	15	19, 6, 10.5	3.032
	11	15	24, 5, 17	3.028
	12	15	33, 3.65, 39	3.025
	13	20	14, 7, 7	3.021
	14	20	19, 6, 10.5	3.015
	15	20	24, 5, 17	3.008
	16	20	33, 3.65, 39	3.024
สี่เหลี่ยมคางหมู	17	15	9.5, 11, 8	3.036
	18	15	10, 15, 6.5	3.038
	19	15	13.5, 19, 5	3.039
	20	15	21.5, 25.5, 3.5	3.035
	21	20	9.5, 11, 8	3.029
	22	20	10, 15, 6.5	3.000
	23	20	13.5, 19, 5	3.023
	24	20	21.5, 25.5, 3.5	3.013

จากผลการจำลองเวลาในการแข็งตัวของโลหะเหลว (Solidification Time) ของแม่พิมพ์ทั้ง 24 แบบ จะมีพฤติกรรมการแข็งตัวของโลหะเหลว โดยเริ่มเกิดการแข็งตัวในตำแหน่งที่ซึ่งงานมีลักษณะที่บางกว่าตำแหน่งอื่น ๆ ก่อน และมีเวลาในการแข็งตัวที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าที่แม่พิมพ์ลักษณะหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูตัวอย่างที่ 22 ระยะทางวิ่ง 20 มิลลิเมตร ใช้เวลาในการแข็งตัวน้อยที่สุดคือ 3.000 วินาที เมื่อเทียบกับแม่พิมพ์ตัวอย่างอื่น ๆ ซึ่งการใช้เวลาในการแข็งตัวน้อยแสดงว่าความแปรปรวนของอุณหภูมิของโลหะเหลวน้อยและมีความร้อนสะสมอยู่ในชิ้นงานน้อย ซึ่งความร้อนสะสมเป็นสาเหตุทำให้เกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity)



รูปที่ 7 แบบจำลองเวลาในการแข็งตัวของโลหะเหลว (Solidification Time) ของแม่พิมพ์ตัวอย่างที่ 22

3.4 แบบจำลองการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity)

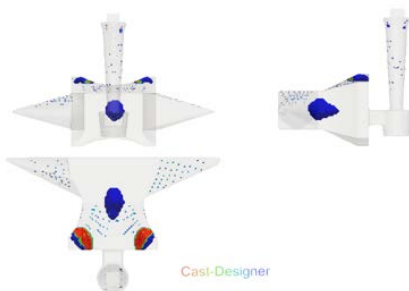
ตารางที่ 5 แสดงผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) ทั้ง 24 แบบ

ลักษณะหน้าตัดทางเข้า	ตัวอย่างที่	ระยะทางวิ่ง (mm)	พื้นที่หน้าตัดทางเข้า C = 81 mm ²	Shrinkage Porosity (%)
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	1	15	11.5, 7	1.801
	2	15	13.5, 6	1.793
	3	15	16.5, 4.9	1.804
	4	15	22.5, 3.6	1.803
	5	20	11.5, 7	1.767
	6	20	13.5, 6	1.782
	7	20	16.5, 4.9	1.784
	8	20	22.5, 3.6	1.797
ครึ่งวงกลม	9	15	14, 7, 7	1.785
	10	15	19, 6, 10.5	1.776
	11	15	24, 5, 17	1.797
	12	15	33, 3.65, 39	1.798
	13	20	14, 7, 7	1.761
	14	20	19, 6, 10.5	1.777
	15	20	24, 5, 17	1.782
	16	20	33, 3.65, 39	1.839

ตารางที่ 5 แสดงผลการจำลองการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) ทั้ง 24 แบบ (ต่อ)

ลักษณะหน้าตัดทางเข้า	ตัวอย่าง	ระยะทางวิ่ง (mm)	พื้นที่หน้าตัดทางเข้า C = 81 mm ²	Shrinkage Porosity (%)
สี่เหลี่ยมคางหมู	17	15	9.5, 11, 8	1.792
	18	15	10, 15, 6.5	1.800
	19	15	13.5, 19, 5	1.802
	20	15	21.5, 25.5, 3.5	1.793
สี่เหลี่ยมคางหมู	21	20	9.5, 11, 8	1.705
	22	20	10, 15, 6.5	1.712
	23	20	13.5, 19, 5	1.730
	24	20	21.5, 25.5, 3.5	1.757

จากการจำลองการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) ของแม่พิมพ์ทั้ง 24 แบบ จะมีการเกิดโพรงหดตัวกระจายเป็นจุดบริเวณผิวชิ้นงานและเป็นก้อนบริเวณตรงกลางชิ้นงานที่มีความหนาและบริเวณมุมฐานของชิ้นงาน โดยพบว่าแม่พิมพ์ลักษณะหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูตัวอย่างที่ 21 ระยะทางวิ่ง 20 มิลลิเมตร มีเปอร์เซ็นต์การเกิดโพรงหดตัวที่น้อยที่สุดคือ 1.705 เปอร์เซ็นต์ มีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวที่น้อยกว่าแม่พิมพ์ตัวอย่างอื่น ๆ เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูและระยะทางวิ่งที่ยาวขึ้นมีผลต่อปริมาตรการเกิดโพรงหดตัว เนื่องจากการมีพื้นที่สัมผัสความร้อนเยอะจะทำให้การคายความร้อนของโลหะหลวมีมากขึ้น ความร้อนที่สะสมอยู่ในชิ้นงานก็ลดลง ส่งผลให้มีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) ลดลง



รูปที่ 8 แบบจำลองการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) ของตัวอย่างที่ 21

4. วิเคราะห์ผล

จากการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้ ชิ้นงานตัวอย่างเป็นชิ้นงานที่มีความหนา ถ้ามีเวลาในการเติมเต็มโลหะหลว (Fill Time) เข้าสู่โพรงแบบเร็วจะทำให้มีพฤติกรรมในการไหลตัวไม่สม่ำเสมอเพราะมีอากาศ

แทรกตัวอยู่ในโลหะหลวจำนวนมากทำให้เกิดการตีวนและทำให้มีความร้อนสะสมภายในชิ้นงานมาก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดโพรงหดตัวภายในชิ้นงาน และถ้ามีเวลาในการเติมเต็มโลหะหลว (Fill Time) เข้าสู่โพรงแบบช้าจะมีพฤติกรรมการไหลตัวสม่ำเสมอเพราะไม่มีอากาศแทรกตัวอยู่ในโลหะหลวหรือมีน้อยจึงทำให้ไม่เกิดการตีวน แต่การใช้เวลาในการเติมเต็มโลหะหลว (Fill Time) ช้าจะทำให้มีเวลาในการแข็งตัวที่นานเกินไปจนอาจเป็นสาเหตุให้มีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัวที่เพิ่มขึ้น[7] ดังนั้นชิ้นงานที่สมบูรณ์ควรมีช่วงเวลาในการเติมเต็มที่เหมาะสมไม่เร็วหรือช้าเกินไปจะทำให้มีความร้อนสะสมภายในชิ้นงานน้อย การเกิดโพรงหดตัวภายในชิ้นงานก็จะน้อยลงด้วย จากผลการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความสมบูรณ์ที่สุดคือพื้นที่หน้าตัดลักษณะสี่เหลี่ยมคางหมู มิติความกว้าง ความสูงใกล้เคียงกับรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ระยะทางวิ่ง 20 มิลลิเมตร[6]

5. สรุปผล

จากผลการทดลองพบว่าพื้นที่หน้าตัดลักษณะสี่เหลี่ยมคางหมู มิติความกว้าง ความสูง ที่ใกล้เคียงกับรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส ระยะทางวิ่ง 20 มิลลิเมตร มีผลทำให้พฤติกรรมการไหลตัวของโลหะหลว (Fluid Fraction) เป็นไปในทิศทางที่ดีทำให้มีเวลาในการเติมเต็มโลหะหลว (Fill Time) ที่เหมาะสม และยังส่งผลทำให้มีเวลาในการแข็งตัวของโลหะหลว (Solidification Time) ที่เร็วขึ้น และมีปริมาตรการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) ที่น้อยลงด้วย โดยทิศทางในการแก้ไขปัญหาการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) คือการเพิ่มระยะทางวิ่งอาจจะส่งผลให้ปริมาตรการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) น้อยลงหรือมีแนวโน้มที่ทำให้ชิ้นงานเกิดความสมบูรณ์มากขึ้น เนื่องจากระยะทางวิ่งเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage Porosity) มากที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก นายมงคล เอกสินธิ์กุล และบริษัท โฟร์ตี้ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ให้การสนับสนุนโปรแกรม Cast Designer เป็นเครื่องมือสำหรับการวิจัยช่วยในการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพสูงและแม่นยำจนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในการศึกษาครั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ (2562). วิศวกรรมการหล่อโลหะ, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- [2] นිරมิตร์ มั่นวงศ์ (2559). การศึกษาพฤติกรรมการเกิดออกซิเดชันของอะลูมิเนียมเกรด ADC12 ในระหว่างการจัดเก็บ, ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี.

- [3] ไพบุลย์ ชูพึ่งอาดม (2533). ข้อบกพร่องที่เกิดกับงานหล่อและการแก้ไข, กรุงเทพมหานคร : สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องจักรกลและโลหะ.
- [4] มงคล แก้วนพรัตน์ (2555). การลดปัญหาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์จากอะลูมิเนียมหล่อโดยใช้โปรแกรมจำลองงานหล่อขึ้นรูป, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโลหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [5] ศุภฤทธิ์ ล้วนโกศลชัย (2544). การออกแบบระบบจ่ายน้ำโลหะเหลวและรูลันสำหรับงานหล่ออะลูมิเนียม, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [6] Carlos, E., Matha, P. and Roger, Z. "Optimal design of gating system by gradient search methods." Journal of Computation Materials Science. Vol.36 (2006) : 457-467.
- [7] Fu-Yuan Hsu, Mark R. and John, C. "A Multiple-Gate Runner System for Gravity Casting." Journal of Materials Processing technology. Vol.209 (2009) : 5736-5750.

อิทธิพลกระแสเชื่อมที่กระทบสมบัติของผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI4140 TIG Welding Current Affecting Properties of Aluminum Cladded Metal on AISI4140 Low Alloy Steel Surface

ปิยธิดา ตู๋นังกุล ไพศาล ทองสงค์ กิตติพงษ์ กิมะพงษ์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: kittipong.k@en.mail.rmutt.ac.th*

Piyatida Toonangkul, Paisan Thongsong, Kittipong Kimapong*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

E-mail: kittipong.k@en.mail.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์ในการประยุกต์การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสแก๊สทังสเตม (Gas tungsten arc welding: GTAW) หรือการเชื่อมทิก (TIG welding) ในการสร้างชั้นเคลือบผิวอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI4140 อิทธิพลกระแสเชื่อมที่มีผลต่อรูปร่างโลหะเชื่อม ความแข็ง และโครงสร้างจุลภาคของชั้นเคลือบผิวอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI4140 ถูกทำการศึกษา ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มกระแสเชื่อมส่งผลทำให้เกิดการเพิ่มความกว้างและการหลอมลึกของโลหะเชื่อม แต่ลดความหนาของแนวเชื่อม การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคพบการก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะซึ่งเกิดจากการรวมตัวของอะลูมิเนียมและเหล็กที่ผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อม (Weld metal: WM) และโลหะฐาน (Base metal: BM) ความหนาของชั้นสารประกอบกึ่งโลหะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น การเพิ่มปริมาณอะลูมิเนียมและลดปริมาณเหล็กในชั้นสารประกอบกึ่งโลหะส่งผลทำให้ความแข็งที่ชั้นผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐานมีค่าเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ชั้นผิวเคลือบอะลูมิเนียม เหล็กกล้าผสมต่ำ การเชื่อมทิก

Abstract

This article aims to apply a gas tungsten arc welding (GTAW) or a tungsten inert gas welding (TIG welding) to create an aluminum cladded layer on AISI4140 low alloy steel surface. An effect of welding current on weld geometry, hardness, and microstructure of the aluminum coating layer on AISI4140 low alloy steel surface was investigated. The results of the experiment revealed that an increase of welding current resulted in increasing a weld bead width and a weld penetration but decreasing a weld reinforcement. Microstructure examination showed a formation of an intermetallic compound (IMC) which was a combination of aluminum and iron at the weld metal (WM)/ base metal (BM) interface. A thickness of IMC layer tended to increase with increasing welding current. Increasing aluminum amount and decreasing iron amount in this IMC layer resulted in increasing the hardness at the WM/BM interface.

Keywords: Aluminum cladded layer, Low alloy steel, TIG welding

1. บทนำ

ชิ้นส่วนเหล็กกล้าเมื่อถูกนำไปใช้งานและสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมในงานอุตสาหกรรมสำคัญ เช่น อุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์ หรือการขนส่งระบบราง มักเกิดการสึกหรอ (Wear) และการกัดกร่อน (Corrosion) อย่างรวดเร็ว และส่งผลทำให้อายุการใช้งานของชิ้นส่วนเหล็กกล้านั้นลดลง ด้วยเหตุนี้ชิ้นส่วนเหล็กกล้าจึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติพื้นผิวให้มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน [1] การพัฒนาผิวเคลือบเพื่อป้องกันการพังทลายของพื้นผิวชิ้นส่วนโลหะในปัจจุบัน มักมีการประยุกต์ใช้ผิวเคลือบจำเพาะที่มีน้ำหนักเบาเพื่อห่อหุ้มพื้นผิวของชิ้นส่วนเหล็กกล้า และอะลูมิเนียมมักเป็นโลหะสำคัญที่มีการนำมาประยุกต์ใช้ในการเพิ่มความแข็ง ความแข็งแรง และความต้านทานการกัดกร่อนของชิ้นส่วนเหล็กกล้า [2, 3] เนื่องจากผิวเคลือบอะลูมิเนียมที่เพิ่มเข้ามาสามารถทำให้เกิดสมบัติที่ต้องการ และก่อให้เกิดการลดน้ำหนักในโครงสร้างยานยนต์ หรือขนส่งระบบรางอื่น ๆ ที่ส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มประสิทธิภาพเคลื่อนที่ของยานยนต์ ลดการใช้เชื้อเพลิง และเป็นการอนุรักษ์พลังงาน [2, 4]

ที่ผ่านมาชั้นอะลูมิเนียมถูกเคลือบบนพื้นผิวเหล็กกล้าด้วยวิธีการแตกต่าง เช่น กระบวนการเชื่อมเลเซอร์ (Laser welding: LW) [5] กระบวนการเชื่อมเสียดทานกวน (Friction stir welding: FSW) [6, 7] หรือกระบวนการรีดโลหะผง (Powder metallurgical rolling process) [8] เป็นต้น กระบวนการเหล่านี้สามารถทำให้เกิดผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าที่มีคุณภาพเหมาะสม และการเลือกตัวแปรการผลิตผิวเคลือบที่เหมาะสมสามารถส่งผลทำให้เกิดผิวเคลือบที่มีคุณภาพสูงได้ ในงานวิจัยเหล่านี้พบว่า การเพิ่มความร้อนเข้าในการผลิตผิวเคลือบส่งผลโดยตรงในการทำให้เกิดผิวเคลือบที่สมบูรณ์ [7] และทำให้เกิดการลดความหนาผิวเคลือบอะลูมิเนียม [5] อย่างไรก็ตาม ความร้อนเข้าที่มีค่าสูงมักทำให้เกิดการก่อตัวของสารประกอบกึ่งโลหะที่มีความเปราะ เช่น Fe_2Al_5 และ $FeAl_3$ เนื่องจากการเพิ่มปริมาณอะลูมิเนียมในชั้นการรวมตัวที่ผิวสัมผัสระหว่างผิวเคลือบและโลหะฐาน [6-8] ที่ทำให้ความแข็งของชั้นผิวสัมผัสมีค่าเพิ่มขึ้น [6] และทำให้ความแข็งแรงเฉือน (Shear strength) ของผิวเคลือบมีค่าลดลง [6, 7] นอกจากนี้ค่าความแข็งแรงเฉือนของผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนเหล็กกล้าคาร์บอน SPCC นั้นสามารถลดลงได้เมื่อผิวเคลือบถูกนำไปทำการอบให้ความร้อนที่ระยะเวลาและอุณหภูมิในการให้ความร้อนสูงขึ้น [8]

ด้วยข้อมูลการผลิตข้างต้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ในการสร้างผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำโดยการใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสะเตนแก๊สคลูม หรือการเชื่อมทิก เนื่องจากเป็นกระบวนการเชื่อมที่ให้ค่าความร้อนหลอมลึกสูง และทำให้เกิดการกระจายความร้อนออกด้านข้างในปริมาณที่ต่ำ [9] นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมอื่น ๆ ดังกล่าวไว้ข้างต้น การเชื่อมทิกมีค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการต่ำที่สุด งานวิจัยจึงมีจุดประสงค์ในการเปลี่ยนแปลงกระแสเชื่อมทิกที่มีผลต่อสมบัติสำคัญของผิวเคลือบอะลูมิเนียม เช่น รูปร่างแนวเชื่อม โครงสร้างจุลภาค และความแข็งแรงของ

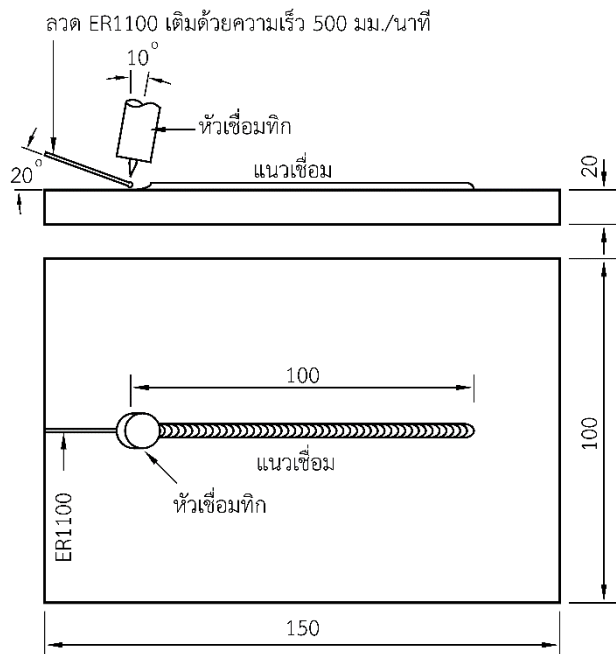
โลหะเชื่อม ผลการทดลองที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวชิ้นส่วนเหล็กกล้าผสมต่ำได้ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

แผ่นเหล็กกล้าผสมต่ำหนา 13 มิลลิเมตร ที่มีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 ถูกเตรียมให้มีรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกว้าง 100 มิลลิเมตร และยาว 150 มิลลิเมตรดังรูปที่ 1 ผิวด้านบนของแผ่นเหล็กถูกขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 250 เพื่อกำจัดสนิมและทำสะอาดด้วยยาซีโตนและแอลกอฮอล์เพื่อกำจัดคราบสกปรกก่อนทำการเชื่อม

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุทดลอง (%น้ำหนัก)

ธาตุ	เหล็กกล้า AISI4140	โลหะเติม ASW-ER1100
Fe	สมดุล	0.04
Al	-	สมดุล
C	0.39	-
Si	0.21	0.04
Mn	0.64	0.05
Cr	0.94	-
Mo	0.18	-
V	0.003	-
Cu	0.00	0.01
Zn	0.00	0.01

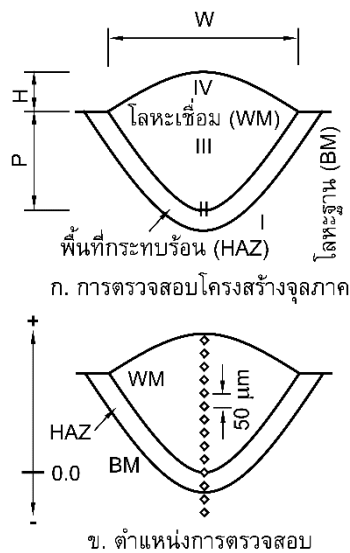


รูปที่ 1 รูปร่างของชิ้นทดสอบ (หน่วย: มิลลิเมตร)

กระบวนการเชื่อมในการทดลองนี้ ใช้กระบวนการเชื่อมทิกบนอุปกรณ์ช่วยงานที่สามารถทำให้เกิดการเดินแนวเชื่อมอัตโนมัติ ตัวแปร

การเชื่อมประกอบด้วยกระแสเชื่อม 75-175 แอมแปร์ ความเร็วเดินแนวเชื่อม 100 มิลลิเมตรต่อนาที แท่งทั้งสแตน 2%WTh มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร ช่องว่างระหว่างปลายแท่งทั้งสแตนและผิวชิ้นงานเท่ากับ 2.4 มิลลิเมตร แท่งทั้งสแตนถูกปรับให้ทำมุม 90 องศาตลอดการเชื่อม แก๊สปกคลุม คือ แก๊สอาร์กอนที่อัตราการไหล 15 ลิตรต่อนาที โลหะเติมที่ใช้ในการเติมลงสู่บ่อหลอมละลาย คือ ลวด AWS-ER1100 ซึ่งมีส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่ 1 ที่อัตราป้อน 500 มิลลิเมตรต่อนาที และทำมุม 10 องศาที่พื้นผิวของแผ่นเหล็กกล้าตั้งรูปที่ 1

ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมด้วยตัวแปรการเชื่อมที่กำหนด ถูกนำไปทำการตัดด้วยใบตัดความเร็วสูงที่มีการหล่อเย็นด้วยน้ำหล่อเย็นในทิศทางตั้งฉากกับทิศทางเดินแนวเชื่อม ระบายตั้งฉากที่ได้ถูกนำไปทำการเตรียมพื้นผิว เพื่อการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย การขัดหยาบด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150-1500 ขัดมันด้วยผงเพชรขนาด 1 ไมครอนบนผ้าสักหลาด และกัดผิวหน้าด้วยสารละลายไนตรัส 5% ด้านเหล็กกล้า ขณะที่ด้านแนวเชื่อมอะลูมิเนียมไม่ถูกการกัดผิวหน้า พื้นผิวที่ผ่านการกัดกรดถูกนำไปทำการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคด้วยกล้องกำลังขยายต่ำ (Low magnification microscope) เพื่อตรวจสอบรูปร่างโลหะเชื่อมประกอบด้วยความกว้างของแนวเชื่อม (Bead width: W) ความหนาของแนวเชื่อม (Weld reinforcement: H) ระยะหลอมลึกแนวเชื่อม (Weld penetration: P) และความสมบูรณ์ของแนวเชื่อม ดังรูปที่ 2 ก.



รูปที่ 2 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคและความแข็ง

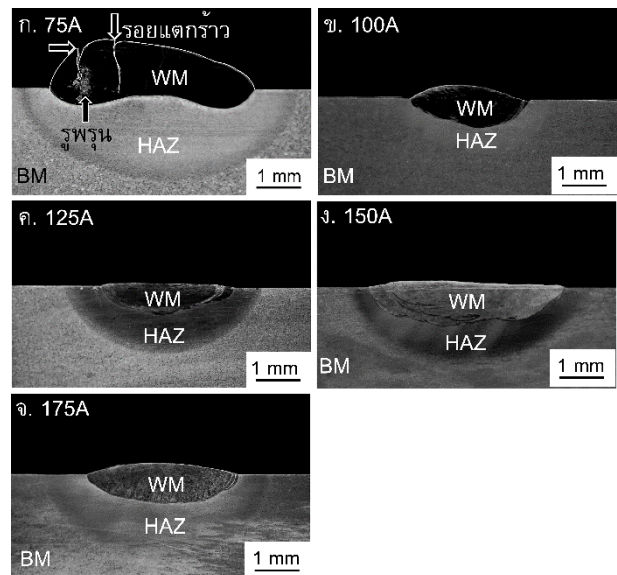
การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคดำเนินการโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Light optical microscope: LOM) เพื่อทำการตรวจสอบรูปร่างเกรนที่ตำแหน่งที่ 1 (I) โลหะฐาน (Base metal: BM) ตำแหน่งที่ 2 (II) พื้นที่กระทบร้อน (Heat affected zone: HAZ) และผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐาน (Base metal and weld

metal interface) ตำแหน่งที่ 3 (III) กึ่งกลางโลหะเชื่อม (Weld metal: WM) และตำแหน่งที่ 4 (IV) ผิวหน้าโลหะเชื่อม ดังรูปที่ 2 ก.

การกระจายตัวของเฟส ส่วนผสมทางเคมี และลักษณะของโครงสร้างผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐาน ถูกทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) ที่มีการต่อพ่วงด้วยการวิเคราะห์การกระจายพลังงาน (Energy dispersive spectrometry: EDS)

ความแข็งของโลหะเชื่อมถูกนำไปทำการทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์สโดยการใส่แรงกด 50 กรัมแรง และเวลากดแช่ 10 วินาที การทดสอบความแข็งถูกดำเนินการบนพื้นระนาบแนวตั้งฉากที่ผ่านการตรวจสอบโครงสร้างมหภาคในแนวตั้งฉากผิวหน้าแนวเชื่อมลงสู่โลหะฐาน ระยะห่างระหว่างจุดทดสอบ 2 จุดเท่ากับ 50 ไมโครเมตร และตำแหน่งผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมอะลูมิเนียมและโลหะฐาน คือ จุดเริ่มต้นการทดสอบ 0.0 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2 ข.

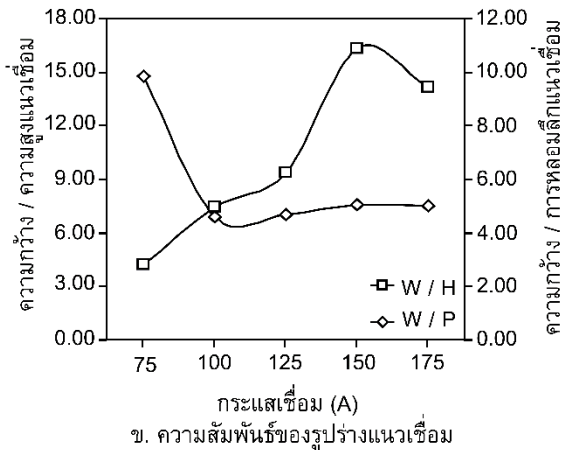
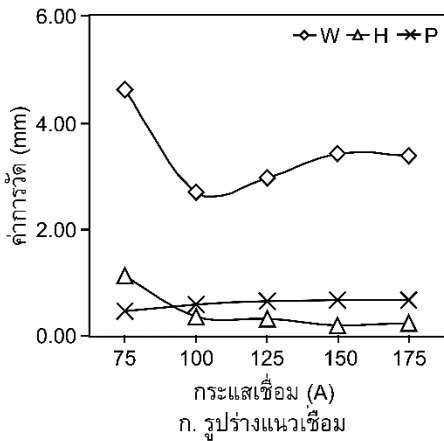
3. ผลการทดลอง



รูปที่ 3 โครงสร้างมหภาคแนวเชื่อมอะลูมิเนียมบนเหล็กกล้าผสมต่ำ

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างมหภาคของโลหะเชื่อมที่ทำการเชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 75-175 แอมแปร์ พบว่าโครงสร้างมหภาคแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ส่วน ประกอบด้วยโลหะฐาน พื้นที่กระทบร้อน และโลหะเชื่อม ที่กระแสเชื่อมต่ำ 75 แอมแปร์ ความร้อนขาเข้า (Heat input) มีค่าน้อย และเกิดการหลอมลึกความร้อน (Heat penetration) ลงสู่โลหะฐานได้น้อย อย่างไรก็ตามความร้อนขาเข้าที่กระแสเชื่อมนี้สามารถทำให้โลหะเติม ER1100 หลอมละลายและเติมลงบนโลหะฐานได้ แต่เนื่องจากพื้นที่การหลอมของโลหะฐานที่มีค่าน้อย อะลูมิเนียมหลอมเหลวจึงเติมลงในโลหะฐานไม่สมบูรณ์ และก่อให้เกิดจุดบกพร่อง เช่น รอยแตกกร้าว และรูพรุนในโลหะเชื่อมขึ้นดังรูปที่ 3 ก. เมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้นประมาณ 100-175 แอมแปร์ ความร้อนขาเข้ามีค่าสูง

เพียงพอ ทำให้เกิดการหลอมลึกมีค่าสูงกว่า และบ่อหลอมละลายที่ เพียงพอที่ทำให้เกิดการหลอมตัวระหว่างโลหะฐานและอะลูมิเนียม หลอมเหลวจนเกิดเป็นโลหะเชื่อมอะลูมิเนียมที่สมบูรณ์ ปราศจาก จุดบกพร่องในโลหะเชื่อมและโลหะฐานดังรูปที่ 3 ข.-จ.

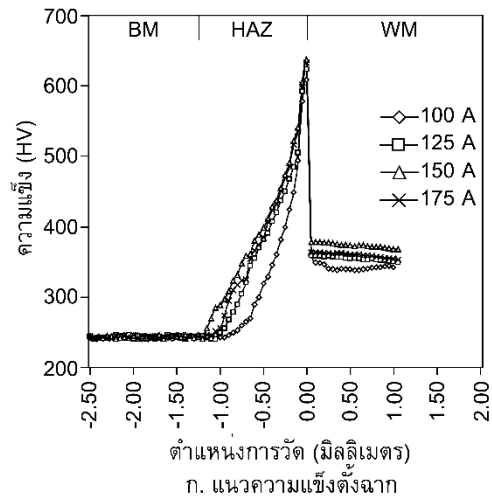


รูปที่ 4 รูปร่างของแนวเชื่อมอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำ

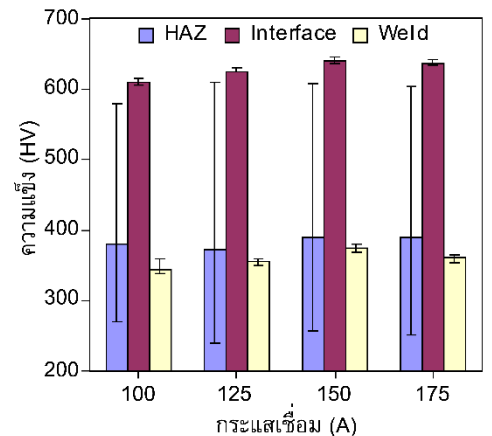
กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้รูปร่างของแนวเชื่อมอะลูมิเนียม บนแผ่นเหล็กกล้าเกิดการเปลี่ยนแปลง และเมื่อทำการวัดเปรียบเทียบ ตำแหน่งแนวเชื่อมต่าง ๆ ดังรูปที่ 2 ก. ประกอบด้วยความกว้างแนว เชื่อม (W) ระยะหลอมลึก (P) และความหนาของแนวเชื่อม (H) ได้ผล การตรวจสอบขนาดของแนวเชื่อมดังรูปที่ 4 ก. พบว่าในกรณีการเชื่อม ไม่สมบูรณ์เมื่อใช้กระแสเชื่อม 75 แอมแปร์ โลหะเชื่อมจะมีความกว้าง และความหนาสูง แต่มีระยะการหลอมลึกต่ำ อย่างไรก็ตามเมื่อใช้กระแส เชื่อม 100-175 แอมแปร์ ซึ่งทำให้เกิดแนวเชื่อมสมบูรณ์ กระแสเชื่อมที่ เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความกว้างและระยะหลอมลึกของแนวเชื่อม อะลูมิเนียมมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความหนาของแนวเชื่อมมีค่าลดลง

เมื่อทำการเปรียบเทียบรูปร่างของแนวเชื่อมที่ทำการเชื่อมด้วย กระแสเชื่อมแตกต่างกันโดยการพิจารณาตัวแปรรูปร่างแนวเชื่อมเสริมแรง (Reinforcement form factor: $RFF=W/H$) และตัวแปรรูปร่างการหลอม ลึก (Penetration shape factor: $PSF=W/P$) ค่า RFF และ ค่า PSF ของ แนวเชื่อมที่มีค่าสูงแสดงสมบัติแนวเชื่อมเคลือบผิวที่มีความเหมาะสม

[10] ผลของการเปรียบเทียบค่า RFF และค่า PSF ดังรูปที่ 4 ข. พบว่า กระแสเชื่อมที่ทำให้แนวเชื่อมสมบูรณ์ที่มีค่าสูงซึ่งส่งผลทำให้ค่า RFF และค่า PSF มีค่าสูงขึ้น และค่ากระแสเชื่อม 150 แอมแปร์ แสดงค่า RFF และค่า PSF สูงสุด



ก. แนวความแข็งตั้งฉาก



ข. ความแข็งเฉลี่ยในพื้นที่แตกต่างกัน

รูปที่ 5 ความแข็งของผิวเคลือบบนแผ่นเหล็กกล้าผสมต่ำ

ผลการทดสอบความแข็งในแนวตั้งฉากแนวเชื่อมพบว่าค่าความ แข็งของโลหะฐานมีค่าเฉลี่ย 235 HV หลังจากนั้นความแข็งมีค่าเพิ่ม สูงขึ้น เมื่อทำการทดสอบความแข็งที่พื้นที่กระแทกร้อน และแสดงค่า ความแข็งสูงสุดที่ผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐาน หลังจากนั้น ค่าความแข็งมีค่าต่ำลงเมื่อทำการทดสอบที่ตำแหน่งโลหะเชื่อมดังรูปที่ 5 ก. นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบความแข็งตามแนวตั้งที่ทำการ เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 100-175 แอมแปร์ พบว่าความแข็งเฉลี่ยมีค่า แนวโน้มสูงขึ้นตามการเพิ่มของกระแสเชื่อมดังรูปที่ 5 ข.

การเปลี่ยนแปลงค่าความแข็งที่ทำการวัดและแสดงผลการทดสอบ ดังรูปที่ 5 นั้นเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดของเฟส ในโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม ดังผลการตรวจสอบโครงสร้าง จุลภาคในรูปที่ 6 ซึ่งเป็นโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วย

กระแสเชื่อม 150 แอมแปร์ ซึ่งเป็นชิ้นงานที่แสดงค่า RFF ค่า PSF และความแข็งแรงสูงสุด

รูปที่ 6 ก. แสดงโครงสร้างจุลภาคของโลหะฐานเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI4140 ซึ่งประกอบด้วยเฟสเพิลไลต์ (Pearlite: P) สีเข้ม ที่ถูกล้อมรอบด้วยเฟสเฟอร์ไรต์ (Ferrite: F) สีขาว ปริมาณเพิลไลต์ที่มีปริมาณสูงขึ้นอยู่กับปริมาณของคาร์บอนที่มีค่าสูงในเหล็กกล้าผสมต่ำ เมื่อตำแหน่งการตรวจสอบสูงขึ้นเข้าสู่พื้นที่ที่กระทบร้อน พบว่าเฟสเพิลไลต์และเฟสเฟอร์ไรต์ถูกปรับสภาพด้วยความร้อนให้มีขนาดเฟสที่เล็กลงและเปราะแตก และเป็นสาเหตุทำให้ความแข็งแรงของโลหะฐานในพื้นที่ที่กระทบร้อนมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโลหะฐาน

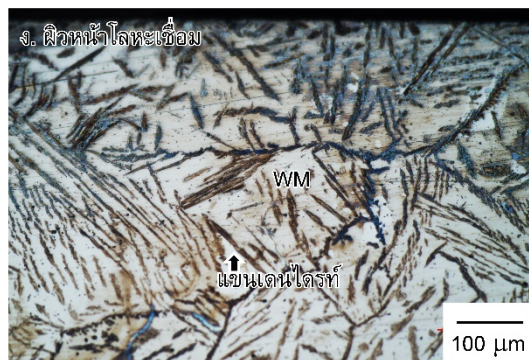
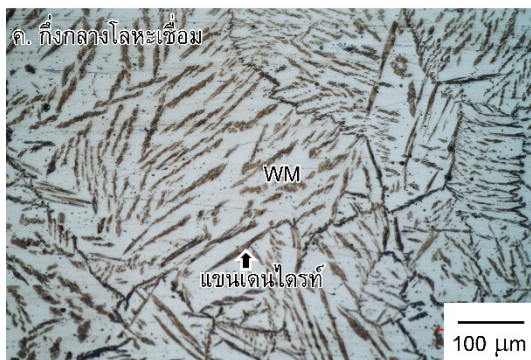
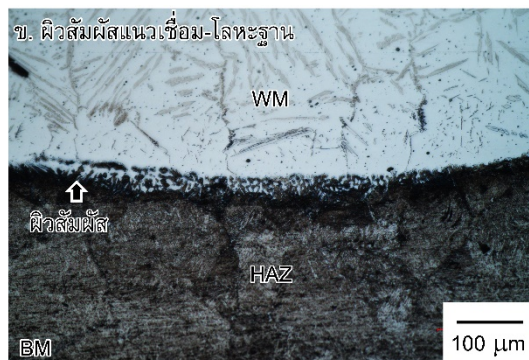
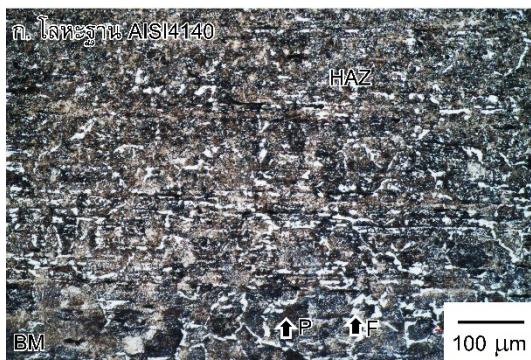
เฟสเพิลไลต์และเฟสเฟอร์ไรต์ถูกปรับสภาพให้เล็กลงและเปราะแตกจนกระทั่งเข้าสู่ผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐานดังรูปที่ 6 ข. ผิวสัมผัสที่ทำการตรวจสอบนี้แสดงการรวมตัวและก่อเฟสที่สามขึ้น และแสดงความกว้างเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มกระแสเชื่อมดังรูปที่ 7 ก. พื้นที่เหนือผิวสัมผัส คือ พื้นที่โลหะเชื่อมที่แสดงโครงสร้างเดนไดรต์ซึ่งเป็นโครงสร้างโลหะที่เกิดจากการเย็นตัวไม่สมดุล

เมื่อทำการตรวจสอบกึ่งกลางของโลหะเชื่อมดังรูปที่ 6 ค. พบว่าโครงสร้างจุลภาคโลหะเชื่อมประกอบด้วยโครงสร้างเดนไดรต์ขนาดใหญ่ ช่องว่างระหว่างแกนเดนไดรต์ หรือพื้นที่กึ่งกลางระหว่างเฟสสีดำสองแกนมีขนาดของเดนไดรต์เล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้าง

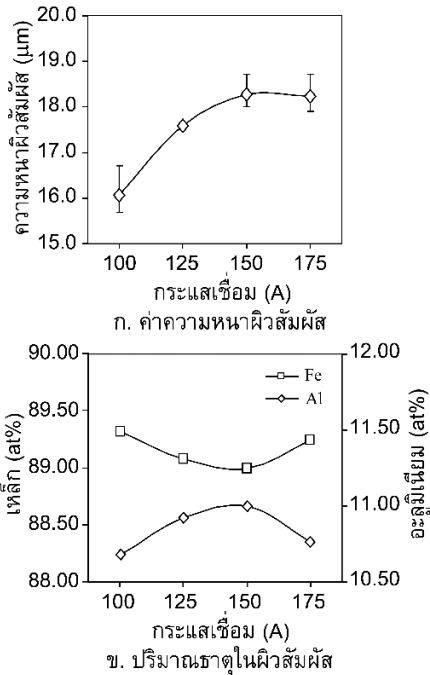
เดนไดรต์ที่ตำแหน่งใกล้ผิวหน้าแนวเชื่อมดังรูปที่ 6 ง. การเกิดเดนไดรต์ขนาดใหญ่ที่กึ่งกลางแนวเชื่อมนี้เกิดขึ้นเนื่องจากตำแหน่งดังกล่าวเกิดการเย็นตัวช้ากว่าตำแหน่งเดนไดรต์ที่ผิวหน้าแนวเชื่อม อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบขนาดเดนไดรต์และค่าความแข็งแรงของโลหะเชื่อมระหว่างกึ่งกลางแนวเชื่อมและผิวหน้าแนวเชื่อมที่กระแสเชื่อม 150 แอมแปร์แล้วพบว่ามีความแตกต่างกันเล็กน้อย

รูปที่ 7 ก. แสดงผลการวัดความหนาชั้นผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐานที่แสดงการก่อตัวของเฟสลำดับสามในแนวเชื่อม ความหนาชั้นผิวสัมผัสระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐานมีแนวโน้มที่มีความหนาเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มขึ้น ความหนาสูงสุดประมาณ 18.2 ไมโครเมตร เกิดขึ้นเมื่อใช้กระแสเชื่อม 150 แอมแปร์ ในการเชื่อมอะลูมิเนียมบนโลหะฐาน ความหนาที่เพิ่มขึ้นนี้บ่งชี้ให้ทราบว่ากระแสเชื่อมที่มีค่าเพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความสามารถในการรวมตัวกันระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐาน หรืออะลูมิเนียมและเหล็กมีค่าเพิ่มขึ้น

เมื่อทำการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชั้นผิวสัมผัสนี้ด้วยการวัดการกระจายพลังงานรังสีเอ็กซ์ และแสดงผลการเปรียบเทียบส่วนผสมทางเคมีดังรูปที่ 6 ข. พบว่าปริมาณเหล็กในพื้นที่ที่กระทบร้อนมีแนวโน้มลดลง และอะลูมิเนียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 100-175 แอมแปร์



รูปที่ 6 โครงสร้างจุลภาคของผิวเคลือบบนแผ่นเหล็กกล้าผสมต่ำที่เชื่อมด้วยกระแสเชื่อม 150 A



รูปที่ 7 ความหนาและส่วนผสมทางเคมีของผิวสัมพัทธ์ระหว่างโลหะเชื่อม อะลูมิเนียมและเหล็กกล้าผสมต่ำ

4. สรุปผลการทดลอง

ชั้นเคลือบอะลูมิเนียมถูกสร้างขึ้นบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำ AISI4140 ด้วยกระบวนการเชื่อมทิก และศึกษาอิทธิพลกระแสเชื่อมทิก ที่มีผลต่อสมบัติของผิวเคลือบอะลูมิเนียมบนพื้นผิวเหล็กกล้าผสมต่ำ ผลการทดลองโดยสรุปมีดังนี้

- กระแสเชื่อมที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้ความกว้างและการหลอมลึกของแนวเชื่อมเพิ่มขึ้น แต่ทำให้ความหนาของแนวเชื่อมลดลง
- โครงสร้างจุลภาคของโลหะเชื่อมแสดงชั้นผิวสัมพัทธ์ที่แสดงการก่อตัวของเฟสอันดับสามที่เป็นการรวมตัวกันระหว่างอะลูมิเนียมและเหล็ก และแสดงแนวโน้มนการรวมตัวเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสเชื่อมเพิ่มสูงขึ้น
- การเพิ่มอะลูมิเนียมในเฟสการรวมตัวที่ผิวสัมพัทธ์ระหว่างโลหะเชื่อมและโลหะฐานส่งผลโดยตรงต่อการเพิ่มความแข็งที่ผิวสัมพัทธ์ของรอยต่อ

เอกสารอ้างอิง

[1] F. Pahlevani, R. Dippenaar, N. Gorjizadeh, S. T. Cholake, R. Hossain, R. Kumar, V. Sahajwalla. 2017. "Surface Modification of Steel Using Automotive Waste as Raw Materials" *Procedia Manufacturing*, vol. 7: 387-394.

[2] K. U. Bhat, D. B. Panemangalore, S. B. Kuruveri, M. John, P. L. Menezes. 2022. "Surface Modification of 6 xxx Series Aluminum Alloys" *Coatings*, vol. 12 (2): 180.

[3] S. Pakhomova. 2020. "Surface modification of low carbon steel to improve corrosion resistance" *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 963: 012001.

[4] G. Chirinda, S. Matope. 2020. "The Lighter the Better: Weight Reduction in the Automotive Industry and its Impact on Fuel Consumption and Climate Change" *Proceedings of the 2nd African International Conference on Industrial Engineering and Operations*, December 7-10, 2020, Harare, Zimbabwe: 520-533.

[5] A. Riveiro, A. Mejías, F. Lusquiños, J. del Val, R. Comesaña, J. Pardo, J. Pou. 2014. "Laser cladding of aluminium on AISI 304 stainless steel with high-power diode lasers" *Surface and Coatings Technology*, vol. 253: 214-220.

[6] A. B. Ibrahim, F. A. Al-Badour, A. Y. Adesina, and N. Merah. 2018. "Effect of process parameters on microstructural and mechanical properties of friction stir diffusion cladded ASTM A516-70 steel using 5052 Al alloy" *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 34: 451-462.

[7] G. Zhang, X. Yang, D. Zhu, and L. Zhang. 2020. "Cladding thick Al plate onto strong steel substrate using a novel process of multilayer-friction stir brazing (ML-FSB)" *Materials & Design*, vol. 185: 108232.

[8] F. Otsubo, H. Era. 2018. "Cladding of Al Layer onto Mild Steel Substrate Using Al Powder and Its Structure and Properties" *MATERIALS TRANSACTIONS*, vol. 59 (10): 1585-1590.

[9] S. Kou, *Welding Metallurgy*, 2 ed. USA: John Wiley & Sons, 2003.

[10] M. Saha, R. Hazra, A. Mondal, and S. Das. 2019. "Effect of Heat Input on Geometry of Austenitic Stainless Steel Weld Bead on Low Carbon Steel" *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, Vol. 100 (4): 607-615.

การทำนายผลค้ำมุมสปริงกลับจากการดัดท่อโลหะด้วย K-Nearest Neighbors (KNN)

Prediction of Springback Angle from Metal Tube Bending with K-Nearest Neighbors (KNN)

สมชาย คงหนู^{*}, กวิน สนธิเพิ่มพูน, สมลักษณ์ วรรณฤมล, กิเยลาโรว่า
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: somchaiko63@nu.ac.th^{*}

Somchai Kongnoo^{*}, Kavin Sonthipermpon, Somlak Wannarumon Kielarova
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University
E-mail: somchaiko63@nu.ac.th^{*}

บทคัดย่อ

Rotary Draw Bending (RDB) ได้รับความนิยมในงานอุตสาหกรรมการดัดท่อในปัจจุบัน หนึ่งในปัญหาของการดัดท่อคือการเกิดการสปริงกลับ (Springback) เมื่อชิ้นส่วน Clamp Die ปลดออกหลังจากกระบวนการดัดสิ้นสุด ท่อที่ผ่านการดัดจะเกิดการสปริงกลับซึ่งเป็นผลจากพฤติกรรมการคืนตัวของวัสดุ หลายงานวิจัยได้พยายามศึกษาหาปัจจัยของการเกิดการสปริงกลับ และจนถึงขณะนี้ยังไม่มีการศึกษาเชิงประจักษ์ที่น่าเชื่อถือในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและปัจจัยส่งออกระหว่างตัวแปรของกระบวนการดัดท่อที่มีต่อการสปริงกลับ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการทำนายค้ำมุมสปริงกลับในการดัดท่อไร้ตะเข็บ ASTM A-210 Gr. A1 ขนาดความโตภายนอก 44.45 มิลลิเมตร โดยใช้ปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัย คือ ความหนาของท่อ (Wall Thickness), รัศมีดัด (Bending Radial), เวลาหยุด (Dwell Time) และมุมองศาการดัด (Bending Angle) ด้วยวิธีการทำนายจากวิธีการ K-Nearest Neighbors (KNN) ผลการวิจัยพบว่า ทั้ง 4 ปัจจัย มีอิทธิพลต่อค้ำมุมสปริงกลับในกระบวนการดัดท่ออย่างมีนัยสำคัญ ผลจากวิธีการ KNN พบว่าค่า K ที่ให้ระดับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มากที่สุดคือ K=3 ให้ระดับค่า $R^2=99.54\%$
คำสำคัญ: ดัดท่อ, มุมสปริงกลับ, การทำนาย

Abstract

Rotary Draw Bending (RDB) is popular in today's tube bending industry. One of the problems with tube bending is springback, When the Clamp Die part is released after the bending process. The bent tube springback as a result of the material's rebound behavior. Many researches have tried to study the factors of springback. Up until now, there has been no convincing empirical evidence to establish a correlation between input and output factors between tube bending process variables and springback. This research was conducted to study the prediction of the springback angle in bending ASTM A-210 Gr. A1 seamless tube with an outside diameter of 44.45 mm by using 4 input factors namely; wall thickness, bending radius, dwell time and bending angle with prediction methods by the K-Nearest Neighbors (KNN) method. The results showed that all 4 factors significantly influenced on springback angle in tube bending process, results from KNN method showed that the K value with the highest determination coefficient (R^2) was K=3 giving $R^2=99.54\%$.

Keywords: Tube bending, Springback angle, Prediction

1. บทนำ

Rotary Draw Bending (RDB) เป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการดัดท่อโลหะที่นิยมใช้กันทั่วไปในปัจจุบัน เมื่อชิ้นส่วนจับยึดในเครื่องจักรเพื่อการดัด (Clamp Die) ถอยออก รูปร่างของท่อจะคืนสภาพและเกิดการสปริงกลับ (Springback) อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ รูปทรงที่แท้จริงทางเรขาคณิตของท่อจะเบี่ยงเบนไปจากข้อกำหนดการออกแบบ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำในการขึ้นรูปและคุณภาพของท่อโลหะ ดังนั้น การทำนายสปริงกลับที่แม่นยำของการดัดท่อโลหะจึงเป็นกุญแจสำคัญในการชดเชยและควบคุมสปริงกลับใน RDB ผู้เชี่ยวชาญและนักวิชาการได้ทำการวิจัยมากมายในการวิเคราะห์ปัจจัยการสปริงกลับกลไกและกฎของสปริงกลับ และการทำนายค่ามุมการสปริงกลับ [1] การสปริงกลับยังคงเป็นปัญหาหลักอีกประการหนึ่งโดยเฉพาะในกลุ่มการผลิตขนาดเล็ก หรือเมื่อคุณสมบัติทางเรขาคณิตและทางกลของวัสดุไม่คงที่ [2] เพื่อให้ทราบค่าการชดเชยในการสปริงกลับ จำเป็นต้องทราบค่าของมุมสปริงกลับหลังการดัด สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการสปริงกลับมีหลายปัจจัยด้วยกัน อาทิ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ รัศมีการดัด มุมดัด และความเค้นจุดครากของวัสดุท่อ [3] และจนถึงขณะนี้ยังไม่มีการศึกษาเชิงประจักษ์ที่น่าเชื่อถือในการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยนำเข้าและปัจจัยส่งออกระหว่างตัวแปรของกระบวนการดัดท่อที่มีต่อการสปริงกลับ [4]

หลายงานวิจัยพยายามหาค้นหาตัวแปรที่มีผลต่อการสปริงกลับที่มีผลจากการดัดท่อและมีความพยายามที่จะหาค่าที่เหมาะสมในการปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อประโยชน์สูงสุดในการผลิตชิ้นงาน เช่น ลดเวลาในการตั้งค่าเครื่องจักร ลดปริมาณวัสดุทดลอง ลดปัญหาของเสียในขั้นตอนทดลอง เป็นต้น

2. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ผู้วิจัยหลายท่านได้พยายามหาแนวทางศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อค่ามุมสปริงกลับเป็นผลทำให้ต้องเตรียมค่าเผื่อในการดัดขึ้นรูปตามองศาที่แตกต่างกัน เพื่อให้ได้ค่ามุมที่ตรงกับความต้องการ ปัจจัยที่มีผลต่อค่ามุมสปริงกลับในงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่ Tube Diameter, Tube Material, Tube Wall Thickness, Bending Angle, Bending Radius, Bending Speed เป็นต้น จะเห็นได้ว่าตัวแปรนำเข้ามีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการเกิดการสปริงกลับ และเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องค้นคว้าต่อไปในอนาคต

สำหรับปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับอิทธิพลการเกิดการสปริงกลับ คือ เงื่อนไขด้านเวลา (Time Dependent) ที่ผ่านมาได้มีการศึกษา ดังนี้ Daxin E และ Yafei Liu [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการสปริงกลับและการสปริงกลับที่ขึ้นกับเวลาในการดัดท่อสแตนเลสเกรด 1Cr18Ni9Ti ส่วน Jun Ma และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติก่อนและหลังการดำเนินการขึ้นรูปของการสปริงกลับในการดัดท่อโลหะผสม Al-Mg-Si โดยอาศัยหลักการ Time Dependent เป็นการศึกษามุมสปริงกลับในการขึ้นรูปและมิติทางเรขาคณิต โดยอาศัยเงื่อนไขด้านเวลา (Time Dependent) ก่อน-หลังจากการขึ้นรูปเท่านั้น

การศึกษานี้ ได้นำช่องว่างของการศึกษาการสปริงกลับในการดัดท่อนี้มาทำการวิจัยเพิ่มเติม โดยศึกษาปัจจัยนำเข้า และนำปัจจัยเงื่อนไขด้านเวลา (Time Dependent) ในกระบวนการผลิตรวมไว้ด้วย ซึ่งหนึ่งในปัจจัยนำเข้าที่รวมไว้ในงานวิจัยนี้ คือ เวลาหยุด (Dwell Time)

การวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษการทำนายผลค่ามุมสปริงกลับในการดัดท่อไอ้น้ำความดันต่ำและปานกลาง ASTM A-210 Gr. A1 ด้วยวิธีการ K-Nearest Neighbors (KNN) ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งในสาขาด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence; AI) และ Machine Learning (ML) โดยเป็นแบบจำลองเพื่อการประมวลผลข้อมูลแบบหนึ่งที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการประมวลผลข้อมูลด้วยการคำนวณผ่านโปรแกรม Spyder ซึ่งเป็นชุดโปรแกรมสำหรับการติดตั้งและไลบรารีของภาษา Python เป็นโปรแกรมของกลุ่มงานที่เกี่ยวข้องข้อมูลเป็นหลัก เช่น Data Science, Machine Learning เป็นต้น และเป็นเทคนิคที่ได้รับการยอมรับและถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเทคนิค KNN มาประยุกต์ใช้ในการทำนายค่าการสปริงกลับ เพื่อการปรับตั้งตัวแปรที่เหมาะสมที่สุดในการดัดท่อโลหะเป็นการลดระยะเวลา ขั้นตอนและจำนวนชิ้นงานทดสอบสำหรับการปรับตั้งค่าตัวแปรต่าง ๆ บนเครื่องดัดท่อ RDB และเพื่อประโยชน์ต่อโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง

3. วิธีการวิจัย

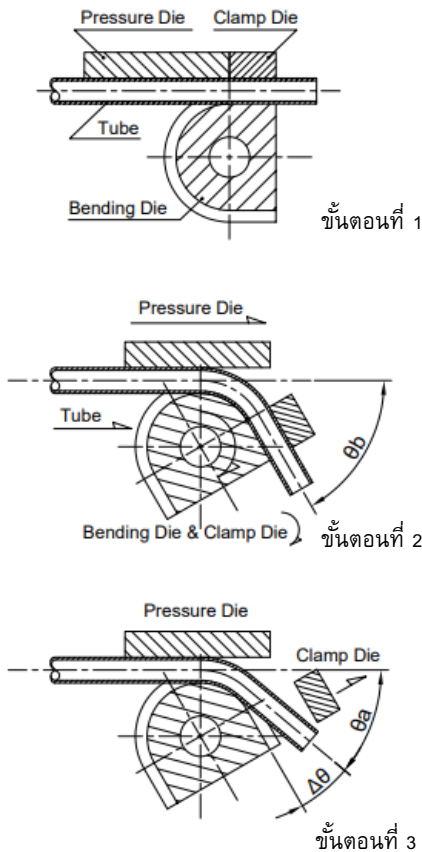
การดำเนินการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การทดลองการดัดท่อโลหะ และวิธี K-Nearest Neighbors (KNN)

3.1 การทดลอง

ใช้เครื่องดัดท่อซีเอ็นซี Herber 76 CNC TB Bending Machine โดยปราศจากการใช้แมนเดรล (Mandrel) วัสดุชิ้นงาน คือ ท่อเหล็กขนาดความโตภายนอก 44.45 มิลลิเมตร เกรด ASTM A-210 Gr. A1 การทดลองใช้แผนการทดลองบนพื้นฐานออร์ทอกอนัลเออร์เธอร์ซันด L27 (3⁴) กล่าวคือ จำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง ปัจจัยนำเข้า ได้แก่ ความหนาของท่อ (Wall Thickness), รัศมีการดัด (Bending Radial), เวลาหยุด (Dwell Time) และมุมองศาการดัด (Bending Angle) ปัจจัยส่งออก คือ ค่ามุมสปริงกลับ (Springback Angle) ระดับของปัจจัยในกระบวนการดัดท่อ ตามตารางที่ 1 การวัดค่ามุมสปริงกลับ (Springback Angle) ทำการตรวจสอบค่ามุมองศาการสปริงกลับของชิ้นงานท่อโลหะด้วยเครื่อง Mitutoyo CMM รุ่น Beyond Apex 707

สำหรับขั้นตอนการดัดท่อและขนาดสำหรับใช้ในการวัดมุมแสดงตามรูปที่ 1 เป็นขั้นตอนสำหรับการใช้เครื่อง Herber 76 CNC TB รวมถึงเครื่องดัดท่อทั่วไปที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน กระบวนการประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ในสภาวะที่แม่พิมพ์ตั้งอยู่ที่องศาปกติ ท่อจะถูกป้อนเข้าสู่ตำแหน่งที่พร้อมสำหรับการจับยึด จากนั้น Pressure die และ Clamp die จะกดแนบท่อเข้ากับ Bending die



รูปที่ 1 ขั้นตอนการตัดและตัวแปรขนาดสำหรับการวัดค่าองศา

ขั้นตอนที่ 2 Pressure die และ Clamp die จะนำพาปลายท่อให้หมุนเป็นส่วนโค้งตามมุม Targeted bending angle (θ_b) ในขณะที่ Pressure die จะนำพาปลายท่อด้านหนึ่งให้เคลื่อนที่ตามแนวเส้นตรงเพื่อให้ท่อโค้งงอตามองศาที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 3 Clamp die จะเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงเพื่อปลดล็อกชิ้นงานท่อ จากนั้นสังเกตว่าท่อจะสปริงกลับและเกิดมุม Actual angle (θ_a) เพื่อนำไปคำนวณตามสมการ (1)

ตารางที่ 1 รายละเอียดและระดับของปัจจัยที่ 3 ระดับ

ปัจจัยนำเข้า	ระดับปัจจัย		
	1	2	3
[WT] ความหนาผนังท่อ (มิลลิเมตร)	4.57	5.59	6.10
[BR] รัศมีตัด (มิลลิเมตร)	76.2	114.3	152.4
[DT] เวลาหยุด (วินาที)	0	3	6
[BA] มุมองศาการตัด (องศา)	60	90	120

การวัดค่ามุมสปริงกลับ (Springback Angle) ทำการตรวจสอบค่ามุมองศาการสปริงกลับของชิ้นงานท่อโลหะด้วยเครื่อง Mitutoyo CMM รุ่น Beyond Apex 707 มีการคำนวณหาค่ามุม $\Delta\theta$ ดังนี้ [6]

$$\Delta\theta = \theta_b - \theta_a \quad (1)$$

โดยที่ $\Delta\theta$ คือ ค่ามุมสปริงกลับ (Springback Angle), θ_b คือ ค่ามุมเป้าหมายในการตัด (Targeted Bending Angle) และ θ_a คือ ค่ามุมจริง (Actual Angle)

การออกแบบและวิเคราะห์การทดลองโดยวิธีการของทาคุชิ (Taguchi Method) เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่มีผลต่อการสปริงกลับจากการตัดท่อโลหะเป็นค่าของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal-to-Noise Ratios) กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better) เพื่อหาระดับปัจจัยที่มีผลกระทบ คำนวณตามสมการ (2)

$$\frac{S}{N_S} = -10 \log \left\{ \frac{\sum y_i^2}{n} \right\} \quad (2)$$

3.2 วิธีการ K-Nearest Neighbors (KNN)

KNN เป็นโมเดลสำหรับการทำนายผลชนิดหนึ่งของ Machine Learning จัดอยู่ในกลุ่ม Supervised Learning สามารถทำนายผลได้ทั้งแบบ Classification และ Regression สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการทำนายผลแบบ Regression ซึ่ง KNN มีลักษณะเด่น ดังนี้ [7]

1. ใช้วิธีการเปรียบเทียบระยะห่างของตำแหน่งข้อมูลด้วยหลักการทางคณิตศาสตร์พื้นฐาน ไม่จำเป็นต้องใช้เวลาในการเรียนรู้มาก
2. รองรับการทำนายผลได้ทั้งแบบ Classification และ Regression
3. รองรับการทำนายผลที่มีข้อมูลมากกว่า 2 กลุ่ม (Multi-Class)
4. มีเสถียรภาพและความคงทนในการทำงานค่อนข้างมาก มีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนข้อมูลได้ดี
5. ทำนายผลข้อมูลที่มีการกระจายแบบปะปนกันได้ค่อนข้างดีกว่าโมเดลอื่น ๆ

หลักการคำนวณระยะห่างที่เป็นพื้นฐานของ KNN เป็นลักษณะการวัดระยะห่างระหว่างจุดสองจุดบนแกน x และ y โดยใช้สมการยูคลิด (Euclidean Distance) การคำนวณระยะห่างจะนำไปเปรียบเทียบเพื่อจัดกลุ่มข้อมูลด้วยการเปรียบเทียบระดับความเหมือน (Similarity) โดยหลักการ เมื่อระยะห่างมากความเหมือนจะน้อย เมื่อระยะห่างน้อยความเหมือนจะมาก หรือกล่าวได้ว่า ระดับความเหมือนจะแปรผกผันกับระยะห่าง

ตามหลักการของโมดูล K-Nearest Neighbors (KNN) จะมีค่า K คือ ตำแหน่งข้างเคียงซึ่งอยู่ใกล้กับตำแหน่งที่เราทำนายผลมากที่สุด ซึ่งค่า K มีผลอย่างยิ่งสำหรับผลการทำนายที่แม่นยำ เช่น K = 1 เป็นการอ้างอิงตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เราทำนายผลมากที่สุด 1 จุด, K = 5 เป็นการอ้างอิงตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่เราทำนายผลมากที่สุด 5 จุด เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการทำนายผลแบบ Regression กรณีนี้จะต้องนำค่าจากผลลัพธ์หรือตัวแปรตาม (y) ของตำแหน่งข้างเคียงซึ่งเป็นตัวเลขนำไปคำนวณหาค่าเฉลี่ย โดยบวกค่า y ของแต่ละตำแหน่งเข้าด้วยกัน แล้วหารด้วยค่า K จะได้ค่าเฉลี่ยและผลทำนายที่ได้

งานวิจัยนี้ นำข้อมูลจากการทดลองตัดต่อทั้งสิ้น 27 การทดลอง บรรจุลงใน csv ไฟล์ เพื่อเตรียมการเข้าสู่โปรแกรม Spyder (Python 3.9) โดยเรียกใช้คำสั่ง pandas สำหรับการอ่าน csv ไฟล์ พร้อมเรียก *KNighborsRegressor* จาก Scikit-Learn เพื่อการทำนายผลจากโมดูล K-Nearest Neighbors (KNN) ทำการปรับสเกลข้อมูลตัวแปรต้น (x) ด้วย *StandardScaler* จาก Scikit-Learn เพื่อทำให้ข้อมูลตัวแปรต้นมีค่าใกล้เคียงกัน ทำการสุ่มกำหนดค่า K ที่ให้ค่า R² ที่ดีที่สุด เลือกผลการทำนายจากโมดูล K-Nearest Neighbors (KNN) ที่ดีที่สุด และแสดงผลการทำนาย

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผลการทดลอง

การทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง ได้ค่ามุมสปริงกลับจากการตัดต่อโอน้ำความดันต่ำและปานกลาง ASTM A-210 Gr. A1 ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานที่ได้กำหนดระดับความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยการใช้โปรแกรมมินิแทบในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่ามุมสปริงกลับ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 แผนการทดลองและผลค่ามุมสปริงกลับ

การทดลอง	ปัจจัย				ค่ามุมสปริงกลับ		
	WT	BR	DT	BA	(a)	(b)	(c)
1 – 3	1	1	1	1	7.93	8.02	7.97
4 – 6	1	2	2	2	8.27	8.39	8.41
7 – 9	1	3	3	3	7.58	7.45	7.61
10 – 12	2	1	2	3	8.19	8.33	8.26
13 – 15	2	2	3	1	7.15	7.19	7.16
16 – 18	2	3	1	2	6.85	6.91	6.82
19 – 21	3	1	3	2	8.92	8.87	8.95
22 – 24	3	2	1	3	7.14	7.08	7.21
25 – 27	3	3	2	1	6.49	6.39	6.31

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยต่อค่ามุมสปริงกลับ

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
WT	1	1.2630	1.26302	9.91	0.005
BR	1	9.4323	9.43227	74.02	0.000
DT	1	1.3613	1.36125	10.68	0.004
BA	1	0.9988	0.99876	7.84	0.010
Error	22	2.8034	0.12743		
Total	26	15.8587			

S = 0.356966, R² = 82.32%, Significant at 95%

เมื่อนำตัวแปรที่เหมาะสมต่อค่ามุมสปริงกลับในกระบวนการตัดต่อจากข้อมูลที่ได้นำไปแทนค่าตัวแปรของแต่ละปัจจัยจากโปรแกรมมินิแทบแล้ว สามารถสร้างสมการถดถอย (Regression Equation) ได้ดังนี้

$$y_{\Delta\theta} = 10.657 - 0.34x_1 - 0.019x_2 + 0.0917x_3 + 0.00785x_4 \quad (4)$$

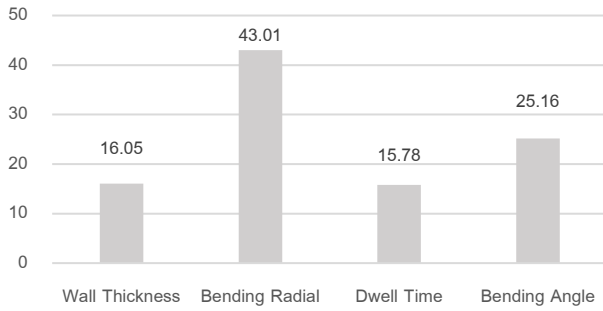
โดยที่ $y_{\Delta\theta}$ คือ ค่ามุมสปริงกลับ (Springback angle) เมื่อ x_1 คือ ความหนาผนังท่อ (Wall Thickness), x_2 คือ รัศมีดัด (Bending Radial), x_3 คือ เวลาหยุด (Dwell Time), x_4 คือ มุมองศาการดัด (Bending Angle)

สำหรับการพิจารณาค่าเฉลี่ยของผลตอบสนองที่สนใจของค่ามุมสปริงกลับ ($\Delta\theta$) เป็นค่าของอัตราส่วนสัญญาณต่อสิ่งรบกวน (Signal-to-Noise Ratios) กรณีค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller-the-Better) เพื่อหาระดับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวิธีทางสถิติ ผลตอบสนองในกรณีที่เหมาะสมสามารถพิจารณาได้จากค่า S/N Ratio เฉลี่ยของระดับแต่ละปัจจัยที่มีค่ามาดั่งแสดงตามตารางที่ 4 ทำให้สามารถทราบปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่ามุมสปริงกลับ

ตารางที่ 4 ค่า S/N Ratio เฉลี่ยของระดับและปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อค่ามุมสปริงกลับ

Level	Wall Thickness	Bending Radial	Dwell Time	Bending Angle
1	-18.01	-18.46	-17.28	-17.09
2	-17.39	-17.54	-17.63	-18.06
3	-17.40	-16.80	-17.89	-17.66
Delta	0.62	1.66	0.61	0.97
Percent	16.05	43.01	15.78	25.16
Rank	3	1	4	2

เมื่อพิจารณาค่า S/N Ratio เฉลี่ยของระดับและปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อค่ามุมสปริงกลับ (Springback Angle) สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยรัศมีดัด (Bending Radial) ส่งผลกระทบต่อค่ามุมสปริงกลับมากที่สุด ปัจจัยนี้มีผลกระทบต่อค่ามุมสปริงกลับมากที่สุด ปัจจัยรองลงมา ได้แก่ มุมองศาการดัด (Bending Angle) มีผลกระทบต่อ 25.16 เปอร์เซ็นต์ ความหนาผนังท่อ (Wall Thickness) มีผลกระทบต่อ 16.05 เปอร์เซ็นต์ และปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่ามุมสปริงกลับน้อยที่สุด คือ เวลาหยุด (Dwell Time) มีผลกระทบต่อ 15.78 เปอร์เซ็นต์ และสังเกตได้ว่าปัจจัยความหนาผนังท่อและปัจจัยเวลาหยุดมีค่าร้อยละที่ใกล้เคียงกัน ห่างกันเพียง 0.27 เปอร์เซ็นต์ กราฟแสดงค่าร้อยละ S/N Ratio จากผลกระทบแต่ละปัจจัยแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าร้อยละ S/N Ratio จากผลกระทบทดสอบแต่ละปัจจัย

4.2 ผลวิธีการ K-Nearest Neighbors (KNN)

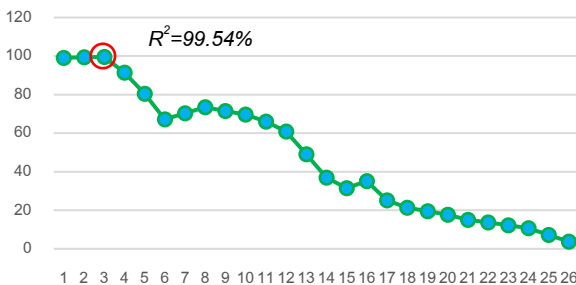
หลังจากได้ข้อมูลค่ามูสปริงกลับจากตารางที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยตัวแปรต้น (x) และตัวแปรตอบสนอง (y) จึงนำเข้าสู่โปรแกรม Spyder (Python 3.9) และทำตามขั้นตอนดังหัวข้อ 3.2 มีผล ดังนี้

4.2.1 ผลจากการปรับสเกลข้อมูล

เป็นการปรับสเกลข้อมูลตัวแปรต้น (x) ด้วย StandardScaler จาก Scikit-Learn เพื่อให้ข้อมูลตัวแปรต้นมีค่าใกล้เคียงกัน มีผลทำให้ข้อมูลตัวแปรต้นมีค่าใกล้เคียงกัน

4.2.2 ผลจากการกำหนดค่า K

โดยการเลือกค่า K ที่ให้ค่า R^2 ที่ดีที่สุด สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองค่า K ที่อยู่ระหว่าง 1-27 ให้ค่า R^2 ที่ต่างกัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่า K ระหว่าง 1-27 กับค่า R^2

จากการทดลองหาค่า K ที่ให้ค่า R^2 ที่มีค่าสูงที่สุดได้แก่ K=3 ให้ค่า $R^2=99.54\%$ ดังนั้น จึงทำการกำหนดค่า K ให้มีค่าเท่ากับ 3 (K=3) แล้วนำโครงสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของ KNN ที่ได้ใช้สำหรับการทำนายผลค่ามูสปริงกลับ แสดงดังตารางที่ 5

ผลการทำนายค่ามูสปริงกลับจากวิธีการ KNN โดยใช้ค่า K=3 จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า ให้ระดับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ที่ระดับ $R^2=99.54\%$ ซึ่งเป็นค่าที่ดีที่สุดในการศึกษารุ่นนี้

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการทำนายค่ามูสปริงกลับ

การทดลอง	ค่ามูสปริงกลับจริงจากการทดลอง	ค่าจากการทำนายโดย KNN
1	7.93	7.97
2	8.02	7.97
3	7.97	7.97
4	8.27	8.36
5	8.39	8.36
6	8.41	8.36
7	7.58	7.55
8	7.45	7.55
9	7.61	7.55
10	8.19	7.97
11	8.33	7.97
12	8.26	7.97
13	7.15	8.36
14	7.19	8.36
15	7.16	8.36
16	6.85	7.55
17	6.91	7.55
18	6.82	7.55
19	8.92	8.26
20	8.87	8.26
21	8.95	8.26
22	7.14	7.17
23	7.08	7.17
24	7.21	7.17
25	6.49	6.86
26	6.39	6.86
27	6.31	6.86
R-Squared (%)		99.54

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากการทำนายค่ามูสปริงกลับในการตัดต่อไร้ตะเข็บ ASTM A-210 Gr. A1 ขนาดความโตภายนอก 44.45 มิลลิเมตร โดยใช้ปัจจัยนำเข้า 4 ปัจจัย คือ ความหนาของท่อ (Wall Thickness), รัศมีดัด (Bending Radial), เวลาหยุด (Dwell Time) และมุมองศาการดัด (Bending Angle) ด้วยวิธีการทำนายจากวิธีการ K-Nearest Neighbors (KNN) ผลการวิจัยพบว่า ทั้ง 4 ปัจจัย มีอิทธิพลต่อค่ามูสปริงกลับในกระบวนการตัดต่ออย่างมีนัยสำคัญ ผลจากวิธีการ KNN พบว่าค่า K ที่ให้ระดับค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) มากที่สุดคือ K=3 ให้ระดับค่า $R^2=99.54\%$

การต่อยอดจากผลของงานวิจัยนี้ ดังจะเห็นได้ว่าแต่ละปัจจัยที่เป็นตัวแปรนำเข้าทั้งหมดมีผลต่อค่ามุมสปริงกลับ และเมื่อนำข้อมูลจากการทดลองทำการทำนายสามารถให้ค่า R^2 ที่สูง รายละเอียดดังนี้

1. นอกเหนือจาก 4 ปัจจัยนำเข้า ในการศึกษาในครั้งนี้ และสำหรับการศึกษารุ่นต่อไปควรศึกษาปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติม ซึ่งปัจจัยอื่นอาจมีอิทธิพลต่อค่ามุมสปริงกลับในกระบวนการตัดท่ออย่างมีนัยสำคัญ สำหรับปัจจัยตอบสนองในการศึกษาครั้งนี้ที่นำเสนอ คือ ค่ามุมสปริงกลับ (Springback angle) การศึกษารุ่นต่อไปควรเพิ่มปัจจัยตอบสนองอื่น เช่น ความรี (Ovality) หรือปัจจัยอื่นสำหรับการทำนาย

2. การทำนายโดยใช้ KNN ถือว่าเป็นหนึ่งของการใช้ศาสตร์ของ ML ช่วยในการทำนาย จะเห็นว่าให้ค่า R^2 ที่สูง ซึ่งอาจไม่ใช่ค่าตอบที่ดีที่สุด ในอนาคตควรนำศาสตร์ ML หรือ AI อื่นช่วยในการทำนายอันอาจจะให้ค่าที่แม่นยำมากกว่า

3. เนื่องจากข้อมูลมีจำนวนจำกัดเพียง 27 การทดลอง และไม่มีการแยกชุดการสอน (Train set) ชุดทดสอบ (Test set) ผลลัพธ์ที่ได้อาจประสบปัญหาความสามารถในการทำนายผล ในอนาคตควรเพิ่มข้อมูลสำหรับการทดลอง พร้อมกับศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการแบ่งกลุ่มการสอนและการทดสอบอันอาจให้ผลการใช้งานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณเจริญ คำเงิน ผู้ช่วยผู้ว่าการผลิตไฟฟ้า 2 (ซฟฟ.2) คุณบุญทวี คำเครื่อง (วศ.9) คุณสมนึก วงศ์ชช (ช.8) รวมถึงผู้เกี่ยวข้องฝ่ายเครื่องกล สังกัดการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (EGAT) โรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้มอบทุนสนับสนุนการศึกษาให้กับนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ให้กับนายสมชาย คงหนู เพื่อศึกษาในหลักสูตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ ซึ่งเป็นผู้รับผิดชอบหลักในงานวิจัยและบทความนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Zhou H. F., Zhang S. Y., Qiu L. M. and Wang Z. L. 2021. "Springback angle prediction of circular metal tube considering the interference of cross-sectional distortion in mandrel-less rotary draw bending". Science Progress, Vol. 104(1): 1-30.

[2] Simonetto E., Ghiotti A. and Bruschi S. 2021. "In-process measurement of springback in tube rotary draw bending". International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 112 (9-10): 2485-2496.

[3] Gheorghe A., Lucian L., Mioara G. F. and Adrian C. V. 2007. "INVESTIGATIONS ON SPRINGBACK OF BENT TUBES USING DESIGN OF EXPERIMENT AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS". IFAC Proceedings, Vol. 40(18): 331-336.

[4] Podder B., Banerjee P., Kumar K. R. and Hui N. B. 2020. "Forward and reverse modelling of flow forming of solution annealed H30 aluminum tubes. Neural Computing and Applications". Vol. 32(7): 2081-2093.

[5] Daxin E. and Liu Y. 2010. "Springback and time-dependent springback of 1Cr18Ni9Ti stainless steel tubes under bending". Materials and Design, Vol. 31(3), 1256-1261.

[6] Ma J., Ha T., Blindheim J., Welo T., Ringen G. and Li H. 2020. "Exploring the Influence of Pre/Post-Aging on Springback in Al-Mg-Si Alloy Tube Bending". Procedia Manufacturing, Vol. 47: 774-780.

[7] บัญชา ปะสีละเตสัง. สร้างการเรียนรู้สำหรับ AI ด้วย python machine learning, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์ บริษัท วี.พี.รินทร์ (1991) จำกัด, 2564.

เส้นทางรถพยาบาลสำหรับขนส่งผู้ป่วยคราวละหลายคน Ambulance Routing for Multiple Patient Transportation

กานต์ มุลศรี¹ ดนุพล ทิพย์พงศ์^{2*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

²สาขาวิชาบริหารธุรกิจ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

E-mail: danuphon.t@psu.ac.th*

Karn Moonsri¹, Danuphon Tippong^{2*}

¹Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University

²Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, Prince of Songkla University

E-mail: danuphon.t@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

การขนส่งผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาลเป็นหนึ่งในกิจกรรมที่จำเป็นและมักเป็นปัญหาในสถานการณ์ภัยพิบัติ เนื่องจากจำนวนรถพยาบาลมีจำกัด ทำให้รถพยาบาลขนส่งผู้ป่วยคราวละหลายคน รถพยาบาลให้บริการมากกว่าหนึ่งเที่ยวการขนส่งและไม่จำเป็นต้องกลับโรงพยาบาลเดิม นอกจากนี้จำนวนโรงพยาบาลมีมากกว่าหนึ่งแห่ง ศูนย์หลบภัยสามารถรองรับรถพยาบาลมากกว่าหนึ่งคัน จากเงื่อนไขของปัญหาดังกล่าวการศึกษานี้จึงได้ทำงานการพัฒนาขอบเขตล่างอย่างง่ายเพื่อนำมาวัดประสิทธิภาพของคำตอบจากการปฏิบัติในปัจจุบันที่อยู่เป็นพื้นฐานของวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด สำหรับแก้ปัญหาการขนส่งผู้ป่วยคราวละหลายคนไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัติ โดยมีวัตถุประสงค์คือ ลดเวลารวมของการรับบริการของผู้ป่วยต่ำสุด จากการวัดผลระหว่างวิธีปฏิบัติในปัจจุบันกับขอบเขตล่างพบว่าประสิทธิภาพวิธีใกล้เคียงกับขอบเขตล่างเท่ากับร้อยละ 77.56 ดังนั้นพบว่าวิธีการทางฮิวริสติกส์มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบ

คำสำคัญ: ขอบเขตล่าง วิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด ขนส่งผู้ป่วย ภัยพิบัติ

Abstract

Patient transportation to hospitals is one of the vital activities and typically severe during disasters. Due to a limited number of available ambulances, they need to carry multiple patients in one trip and to make multiple trips. They do not need to return to their hospitals. In addition, there are more than one hospital. Shelters can handle more than one ambulance. Thus, this study develops a simple lower bound to measure an effectiveness of the solution of current practice which is based on Nearest Neighbors Heuristic for solving the problem of multiple patient transportation to hospitals during disasters. The aim is to improve the total response time of patients. The measurements between the current practice and the lower bound demonstrated the effectiveness of the heuristics compared to the lower bound. The average efficiency was 77.56%, indicating that the heuristic method was effective in finding the solution.

Keywords: Lower bound, Nearest neighbors heuristic, Patient transportation, Disasters

1. บทนำ

Centre for Research on the Epidemiology of Disasters รายงานว่า ในปี พ.ศ. 2565 ภัยพิบัติทางธรรมชาติเกิดขึ้นจำนวน 432 ครั้ง มีผู้เสียชีวิตประมาณ 10,000 คน ผู้ประสบภัยจำนวนกว่า 101.8 ล้านคน โดยทวีปเอเชียเป็นทวีปที่เกิดภัยพิบัติสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 40 หรือ 173 ครั้ง [1] หนึ่งในกิจกรรมที่จำเป็น และมักเป็นปัญหาในสถานการณ์ภัยพิบัติ คือ การขนส่งผู้ประสบภัยที่ต้องการการรักษาไปยังโรงพยาบาล (ในการศึกษานี้เรียกผู้ประสบภัยที่ต้องการการรักษาไปยังโรงพยาบาล ว่าผู้ป่วย) [2] เนื่องจากจำนวนรพพยาบาลมีจำกัด ไม่เพียงพอต่อจำนวนผู้ป่วย ทำให้รพพยาบาลมีเที่ยวการขนส่งของยานพาหนะมากกว่าหนึ่งเที่ยว และต้องขนส่งผู้ป่วยคราวละหลายคน

ปัจจุบันมีการศึกษาจำนวนมากได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์ (Heuristic) เพื่อแก้ไขปัญหาการขนส่งผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาล แต่มักกำหนดให้รพพยาบาลหนึ่งคันขนส่งผู้ป่วยเพียงหนึ่งคนต่อหนึ่งเที่ยว ซึ่งไม่สะท้อนการรับมือสถานการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นจริง

การศึกษานี้ได้ทำงานการพัฒนาขอบเขตล่างอย่างง่ายเพื่อนำมาวัดประสิทธิภาพของคำตอบจากการปฏิบัติในปัจจุบัน สำหรับแก้ปัญหาการขนส่งผู้ป่วยคราวละหลายคนไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัติ โดยมีวัตถุประสงค์คือ ลดเวลารวมของการรับบริการของผู้ป่วยต่ำสุด การศึกษานี้ใช้ข้อมูลจากเหตุการณ์สึนามิในประเทศไทย พ.ศ. 2547 ดังนั้นประโยชน์ของการศึกษานี้ คือ การหาขอบเขตล่างสำหรับปัญหาเส้นทางรพพยาบาล โดยขนส่งผู้ป่วยคราวละหลายคนไปยังโรงพยาบาล

บทความนี้แบ่งเป็น 7 ส่วน ส่วนที่ 2 สรุปทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 บรรยายลักษณะของปัญหา ส่วนที่ 4 และ 5 นำเสนอวิธีการดำเนินงานวิจัย ผลงานทดลอง ตามลำดับ ส่วนที่ 6 สรุปการศึกษา และส่วนที่ 7 กิตติกรรมประกาศ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การขนส่งผู้ป่วยฉุกเฉินไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัตินั้น มีลักษณะปัญหาเป็นการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบคลังหลายแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem (MDPVR)) และปัญหาเส้นทางรพพยาบาล (Ambulance Routing Problem (ARP)) และมีเที่ยวการขนส่งของยานพาหนะมากกว่าหนึ่งเที่ยว (Multiple trips) นอกจากนี้การนำวิธีการทางฮิวริสติกส์เพื่อนำมาแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางยังเป็นที่ยอมรับในเรื่องประสิทธิภาพการหาคำตอบ

[3] ใช้วิธีอาณานิคมมดเพื่อแก้ไขปัญหาขนส่งผู้ป่วย โดยมีลักษณะปัญหาแบบ MDPVR และมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความล่าช้าการให้บริการด้านโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม [4] ได้พัฒนาเมตะฮิวริสติกส์แบบผสมระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรมกับวิธีอาณานิคมมดสำหรับปัญหาโลจิสติกส์ฉุกเฉินที่มีคลังหลายแห่งเพื่อให้ระยะทางทั้งหมดต่ำที่สุด [5] ได้ทำการพัฒนาวิธีการฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาอุบัติเหตุจากวัตถุอันตรายที่มีลักษณะปัญหาแบบ MDVRP และยานพาหนะมีขนาดไม่

เท่ากัน นอกจากนั้นยานพาหนะยังสามารถเลือกกลับคลังต่างจากเดิมได้ โดยได้นำวิธีการวิธีเชิงพันธุกรรมมาแก้ในปัญหาสองวัตถุประสงค์ (bi-objective) คือการลดความเสี่ยงในการขนส่งต่ำสุดและต้นทุนในการขนส่งต่ำสุด [6] ได้พัฒนาแบบจำลองการกำหนดจำนวนเต็มแบบผสมในการรับมือสถานการณ์ฉุกเฉินจากหลายแหล่งทรัพยากรและคลังเมื่อพิจารณาถึงภัยพิบัติทุติยภูมิ [7] ได้ทำการพัฒนาเมตะฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาคลังสินค้าหลายแห่งและความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชนิด ซึ่งได้มีการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีการการปฏิบัติในปัจจุบัน

นอกจากนี้การจัดเส้นทางรพพยาบาลเป็นที่นิยมสำหรับการแก้ไขปัญหาขนส่งผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัติเช่นกัน ยกตัวอย่างเช่น [8-9] พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาแบบ ARP ในสถานการณ์แผ่นดินไหว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการโลจิสติกส์เพื่อมนุษยธรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดจำนวนรพพยาบาลที่เหมาะสมสำหรับแต่ละพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบ ระยะเวลาเดินทางของรพพยาบาล และลดเวลารวมของการรับบริการของผู้ป่วย 10 ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และ Large Neighborhood Search (LNS) สำหรับปัญหา ARP เพื่อรับมือภัยพิบัติโดยพิจารณาผู้ป่วยแบบกลุ่ม และมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาเสร็จสิ้นบริการล่าสุด [11-12] พัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมและใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์เพื่อแก้ไขปัญหาการขนส่งผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัติขนาดใหญ่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายการขนส่งผู้ป่วยและเพิ่มจำนวนผู้มีชีวิตรอด

ในการศึกษาด้านโลจิสติกส์และการขนส่งได้กำหนดรูปแบบการจัดเส้นทางยานพาหนะให้เหมาะสมด้วยการเดินทางหลายเที่ยว (Multi-Trip) โดย [13] เสนอโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมและเมฮิวริสติกส์กับการค้นหาแบบทำซ้ำ (Hybrid Iterated Local Search) เพื่อแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางแบบหลายเที่ยวของการรับส่งสำหรับการขนส่งหน่วยเลือด [14] นำเสนอปัญหา VRP หลายเที่ยวสำหรับบริษัทจำหน่ายผลิตภัณฑ์นมในเวียดนาม และพัฒนากรอบการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียงขนาดใหญ่ (LNS) ที่ปรับเปลี่ยนได้สำหรับการปรับแผนเส้นทางยานพาหนะให้เหมาะสม [15] แก้ไขปัญหา VRP แบบหลายเที่ยวและข้อจำกัดของวันจำหน่ายโดยใช้อัลกอริทึมการของฝูงอนุภาคแบบผสม (Hybrid Particle Swarm) และอัลกอริทึมพันธุกรรมแบบผสม [16] ได้เสนอและวิธีการแตกกิ่งพิจารณาตัวแปรและตัด (Branch-Price and Cut) เพื่อแก้ปัญหา VRP แบบหลายเที่ยวพร้อมกรอบเวลาและคิวขนถ่ายที่คลัง จาก [13-16] พบว่าภาพรวมดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความสำคัญและการปฏิบัติจริงของการจัดการปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะหลายเที่ยวในด้านโลจิสติกส์และการขนส่ง

ปัจจุบันมีงานวิจัยที่พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการทางฮิวริสติกส์ต่างๆ เพื่อแก้ไขปัญหาการขนส่งผู้ป่วยฉุกเฉินไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัติ อย่างไรก็ตามงานวิจัยในปัจจุบันยังไม่สะท้อนการรับมือสถานการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นจริง งานวิจัยมัก

กำหนดให้รถพยาบาลหนึ่งคันขนส่งผู้ป่วยเพียงหนึ่งคนต่อหนึ่งเที่ยว ซึ่งต่างจากการรับมือสถานการณ์ภัยพิบัติที่เกิดขึ้นจริง นั่นคือ รถพยาบาลจำเป็นต้องส่งผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาลคราวละหลายคน เนื่องจากมีผู้ป่วยประสบภัยที่ได้รับบาดเจ็บและจำเป็นต้องได้รับการรักษาเป็นจำนวนมาก

3. ลักษณะของปัญหา

การศึกษานี้มุ่งแก้ปัญหาการขนส่งผู้ป่วยคราวละหลายคนไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัติ เพื่อลดเวลารวมของการรับบริการของผู้ป่วยที่สุด

เมื่อเกิดภัยพิบัติผู้ป่วยจะถูกอพยพไปยังศูนย์หลบภัย โดยศูนย์หลบภัย คือ สถานพักพิงชั่วคราวของผู้ประสบภัย นิยมใช้เพื่อเป็นจุดรวมผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาล และ/หรือ ปฐมพยาบาลเบื้องต้น ผู้ป่วยจะถูกคัดแยกตามความรุนแรงของอาการบาดเจ็บ ซึ่งผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บรุนแรงนั้นถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มผู้ป่วยสีแดง และผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บน้อยถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มผู้ป่วยสีเขียว จากนั้นผู้ป่วยถูกส่งไปรับการรักษายังโรงพยาบาลที่ใกล้ที่สุด

จากการสัมภาษณ์บุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่กู้ภัยที่เคยให้บริการในสถานการณ์ภัยพิบัติ เช่น สึนามิและอุบัติเหตุเรือนักท่องเที่ยวล่มในจังหวัดภูเก็ต พบว่า

- สถานการณ์ภัยพิบัติมีผู้ป่วยจำนวนมาก ทำให้รถพยาบาลจำเป็นต้องส่งผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาลคราวละหลายคน รถพยาบาล 1 คันสามารถส่งผู้ป่วย 4 คนพร้อมกันได้ โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ (1) ผู้ป่วยสีแดง 1 คนและผู้ป่วยสีเขียว 3 คน และ (2) ผู้ป่วยสีเขียว 4 คน
- รถพยาบาลส่งผู้ป่วยไปยังโรงพยาบาลในจังหวัดภูเก็ตเพียงแห่งเดียวต่อหนึ่งเที่ยว หลังจากนั้นจะกลับไปยังศูนย์หลบภัยที่ใกล้ที่สุด เพื่อรับผู้ป่วยที่เหลือ
- ขณะเกิดสึนามิในจังหวัดภูเก็ต ถนนที่ใช้สัญจรระหว่างศูนย์หลบภัยและโรงพยาบาลสามารถใช้งานได้ตามปกติ

การศึกษานี้เป็นแบบที่ใช้ข้อมูลที่มีความแน่นอน (Deterministic) โดยเป็นข้อมูลที่เกิดขึ้นในเหตุการณ์สึนามิในจังหวัดภูเก็ต พ.ศ. 2547 เช่น จำนวนผู้ป่วยในแต่ละกลุ่ม (สี) สถานที่ตั้งและจำนวนของศูนย์หลบภัย สถานที่ตั้งและจำนวนของโรงพยาบาล จำนวนรถพยาบาลระยะเวลาเดินทางระหว่างศูนย์หลบภัยและโรงพยาบาล

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การศึกษานี้ได้ทำงานการพัฒนาขอบเขตล่างอย่างง่ายเพื่อนำมาวัดประสิทธิภาพของคำตอบจากการปฏิบัติในปัจจุบัน ซึ่งพบว่าในการรับผู้ป่วยจากศูนย์หลบภัยมาโรงพยาบาลนั้นอยู่บนพื้นฐานของวิธีขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest Neighbors Heuristic (NNH)) โดยขอบเขตและปฏิบัติในปัจจุบันมีรายละเอียดดังนี้

4.1 การพัฒนาขอบเขตล่างอย่างง่าย

การพัฒนาขอบเขตล่างอย่างง่ายเป็นการพัฒนาการประมาณค่าคำตอบที่ต่ำที่สุดหรือการกำหนดขีดจำกัดที่ต่ำกว่าของวิธีแก้ปัญหาที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาหนึ่งๆ โดยนำมาประมาณค่าตอบของปัญหาการหาค่าเหมาะสมของปัญหาการขนส่งผู้ป่วยคราวละหลายคนไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัติ เพื่อลดเวลารวมของการรับบริการของผู้ป่วยที่สุด โดยมีการกำหนดดัชนี ตัวแปร และสมการในการหาขอบเขตล่างดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ดัชนี,ตัวแปรและหมายความ

ดัชนีและตัวแปร	หมายความ
i, j	ดัชนีแทนโรงพยาบาลหรือศูนย์หลบภัย
t	ดัชนีแทนประเภทผู้ป่วย
N	จำนวนของโรงพยาบาลที่ $i, j = 1, 2, 3, \dots, N$
M	จำนวนของศูนย์หลบภัยที่ $i, j = N + 1, \dots, M$
D_{ij}	ระยะเวลาจากโรงพยาบาล i ไปยังศูนย์หลบภัย j
Na_i	จำนวนรถพยาบาลของโรงพยาบาล i
P_{it}	จำนวนผู้ป่วยประเภท t ที่ศูนย์หลบภัย i
C	ความจุของรถพยาบาล

สมการการหาขอบเขตล่าง

$$AT = \frac{(\sum_{i=N+1}^M \sum_{t=N+1}^M P_{it})}{(\sum_{i=1}^N Na_i)C} \quad (1)$$

$$mDf_i = \min_{i=N+1, M} (D_{ij}) \quad \forall i = 1, \dots, N \quad (2)$$

$$mDb_j = \min_{j=N+1, M} (D_{ji}) \quad \forall j = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$LBf = \frac{\sum_{i=1}^N mDf_i}{N} \quad (4)$$

$$LBb = \frac{\sum_{j=1}^N mDf_j}{N} \quad (5)$$

$$LB = (LBf + LBb)AT \quad (6)$$

สมการที่ (1) แสดงการคำนวณค่า AT ซึ่งเป็นการคำนวณจำนวนเที่ยวการขนส่งที่ต่ำที่สุดของปัญหา สมการที่ (2) และ (3) เป็นการหาเวลาที่ต่ำที่สุดขาไปและขากลับระหว่างโรงพยาบาล i ไปรับผู้ป่วยที่ศูนย์หลบภัย j และจากศูนย์หลบภัย j กลับไปโรงพยาบาล i ตามลำดับ สมการที่ (4) และ (5) เป็นการหาค่าเฉลี่ยของระยะขาไปและขากลับที่ต่ำที่สุดตามลำดับ สมการที่ (6) คือสมการการหาค่าขอบเขตล่าง

4.2 การปฏิบัติในปัจจุบัน

การปฏิบัติในปัจจุบันจำเป็นต้องพัฒนาวิธีการทางฮิวริสติกส์เพื่อเป็นแบบจำลองการวิธีการปฏิบัติจริงของกรณีศึกษา ซึ่งวิธีการที่นำมาประยุกต์ในการพัฒนาคือวิธีแบบ NNH ที่เป็นหนึ่งในวิธีแบบละโมภ

(Greedy Algorithm) ดังนั้นการรับผู้ป่วยแต่ละรายต้องได้รับการจัดสรรให้กับโรงพยาบาลที่ใกล้ที่สุด ซึ่งดัชนี ตัวแปร ดังตารางที่ 2 และขั้นตอน NNH สำหรับการจัดเส้นทางการรับผู้ป่วยแสดงดังรูปที่ 1

ตารางที่ 2 ดัชนี ตัวแปร และหมายความ

ดัชนีและตัวแปร	หมายความ
i	ดัชนีศูนย์หลบภัย; $i, j = 1, 2, 3, \dots, N$
k	ดัชนีโรงพยาบาล; $k = 1, 2, 3, \dots, H$
v	ดัชนียานพาหนะ; $v = 1, 2, 3, \dots, V$
t	ดัชนีเที่ยวการขนส่ง; $t = 1, 2, 3, \dots, T$
t'	ดัชนีแทนประเภทผู้ป่วย; $t' = 1, 2, 3, \dots, T'$
Na_k	จำนวนรถพยาบาลของโรงพยาบาล k
d_{kiv}	ระยะเวลาระหว่างโรงพยาบาล k กับศูนย์หลบภัย i ของรถพยาบาล v
$P_{it'}$	จำนวนผู้ป่วยประเภท t' ที่ศูนย์หลบภัย i
Cap	ความจุของรถพยาบาล
ตัวแปรตัดสินใจ	
a_{kvt}	เวลาการมาถึงโรงพยาบาล k รถพยาบาล v ที่เที่ยวที่ t
dp_{kvt}	เวลาการออกจากโรงพยาบาล k รถพยาบาล v ที่เที่ยวที่ t
M_{kt}	เซตของจำนวนรถพยาบาลที่โรงพยาบาล k ที่เที่ยวที่ t
D_t	จำนวนผู้ป่วยรวมที่รอรับบริการที่เที่ยวที่ t
C_{max}	เวลารวมของการรับบริการของผู้ป่วย

สรุปขั้นตอนอัลกอริทึมที่ 1 แบบย่อ

ขั้นตอนที่ 1 ทำการเลือกศูนย์หลบภัยที่ใกล้กับโรงพยาบาลที่สุด (d_{ki}) เพื่อส่งรถพยาบาล Na_k ไปให้บริการโดยที่ $\{M_{k1}\} = \{Na_k\}$

ขั้นตอนที่ 2 ทำการรับผู้ป่วยเต็มความจุของโรงพยาบาลและคำนวณ D_t โดยที่ $D_{t+1} = D_t - Cap$

ขั้นตอนที่ 3 ทำการเลือกโรงพยาบาลที่ใกล้กับศูนย์หลบภัยที่สุด (d_{ik}) เพื่อนำส่งผู้ป่วยสู่โรงพยาบาลและอัปเดตจำนวนรถพยาบาลโดยที่เซต $M_{kt+1} \leftarrow \{v\}$ ไปให้บริการ

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณเวลาการมาถึงโรงพยาบาลของยานพาหนะ v จากสมการ $a_{kvt} = d_{kiv} + d_{ikv}$ และกำหนดเวลาออกจากโรงพยาบาลเที่ยวถัดไปเท่ากับ $dp_{kvt+1} = a_{kvt}$

ขั้นตอนที่ 2-4 จนกระทั่ง $D_t \leq 0$ ดังนั้นเวลารวมของการรับบริการของผู้ป่วยต่ำสุดเท่ากับ $C_{max} = \max(a_{kvt})$

อัลกอริทึม 1: Nearest Neighbors Heuristic

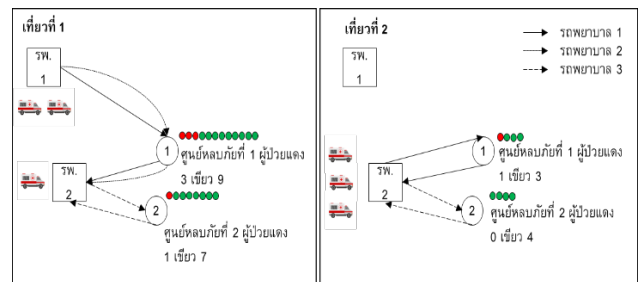
```

ข้อมูลนำเข้า  $Na_k, d_{ki}, V$ 
ข้อมูลนำออก  $C_{max}$ 
ขั้นตอน
1:  $D_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{t'=1}^{T'} P_{it'}$ 
2:  $\{M_{k1}\} = \{Na_k\}$  และ  $t = 1$ 
3: while  $D_t \leq 0$ 
4:   for  $i = 1:N$ 
5:     for  $v = 1:V$ 
6:        $d_{kiv} = \min \{d_{ki} | i \in N\}$ 
7:        $d_{ikv} = \min \{d_{ik} | i \in N\}$ 
8:       เชื่อมต่อ  $k$  ไป  $i$  และ เชื่อมต่อ  $i$  ไป  $k$   $i \neq k$ 
9:        $D_{t+1} = D_t - c$ 
10:       $\{M_{kt+1}\} \leftarrow \{v\}$ 
11:       $a_{kvt} = d_{kiv} + d_{ikv}$ 
12:    end for
13:  end for
14:   $t = t + 1$ 
15: end while
16:  $C_{max} = \max(a_{kvt})$ 

```

รูปที่ 1 แสดงอัลกอริทึมที่ 1 การจัดเส้นทางโดยวิธี NNH

ตัวอย่างการจัดเส้นทางโดยวิธี NNH แสดงดังรูปที่ 2 เมื่อเที่ยวที่ 1 กำหนดให้โรงพยาบาลที่ 1 และโรงพยาบาลที่ 2 มีจำนวนรถพยาบาลเท่ากับ 2 และ 1 คันตามลำดับ ซึ่งโรงพยาบาลที่ 1 ต้องส่งรถพยาบาลไปศูนย์หลบภัยที่ใกล้ที่สุดคือศูนย์หลบภัยที่ 1 เมื่อไปถึงรถพยาบาลต้องรับผู้ป่วยสีแดง 1 คนและผู้ป่วยเขียว 3 คนจากนั้นต้องเดินทางกลับไปโรงพยาบาลที่ใกล้ที่สุดคือโรงพยาบาลที่ 2 และโรงพยาบาลที่ 2 ต้องส่งรถพยาบาลไปที่ศูนย์หลบภัยที่ใกล้ที่สุดคือศูนย์หลบภัยที่ 2 และกลับโรงพยาบาลที่ใกล้ที่สุดคือโรงพยาบาลที่ 2 เมื่อเที่ยวที่ 1 พบว่าโรงพยาบาลที่ 1 และโรงพยาบาลที่ 2 มีจำนวนรถพยาบาลเท่ากับ 0 และ 3 คันตามลำดับและดำเนินการจัดเส้นทางด้วยวิธี NNH จนผู้ป่วยในแต่ละศูนย์หลบภัยหมด



รูปที่ 2 แสดงตัวอย่างการจัดเส้นทางโดยวิธี NNH

5. ผลการทดลอง

การวัดผลการทดลองเป็นการวัดผลลัพธ์ที่ได้ระหว่างวิธีขอบเขตล่างกับการปฏิบัติในปัจจุบันโดยการใช้สมการที่ (7) ซึ่งทำงานวัดผลผ่าน 8 ตัวอย่างโดยที่ตัวอย่างที่ 1 ถึง 7 เป็นการสุ่มสร้างโจทย์และ

ตัวอย่างที่ 8 เป็นตัวอย่างจากกรณีศึกษาโดยมีรายละเอียดข้อมูลของกรณีศึกษาและตารางแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

$$HP = \left(\frac{LB}{Sol} \right) * 100 \quad (7)$$

กำหนดให้

HP : ประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์(%)

Sol : ค่าตอบที่ได้จากการปฏิบัติในปัจจุบัน

LB : ขอบเขตล่าง

ข้อมูลกรณีศึกษาเป็นการเก็บข้อมูลจากจังหวัด x ในประเทศไทย ซึ่งประกอบด้วยโรงพยาบาล 6 แห่งและมีรถพยาบาลเท่ากับ 9,10,6,3,5 และ 1 ตามลำดับ นอกจากนี้มีศูนย์หลบภัย 3 แห่งโดยศูนย์หลบภัยทั้ง 3 แห่งมีผู้ประสบภัย 786, 612 และ 348 ตามลำดับ จากข้อมูลพบว่าจำนวนผู้ป่วยสีแดงคิดเป็นร้อยละ 62 และผู้ป่วยสีเขียวคิดเป็นร้อยละ 38 การรันผลการทดลองทั้งขอบเขตล่างและการปฏิบัติในปัจจุบันผ่านโปรแกรม MATLAB (R2018a) (Intel(R) Core(TM) i7-8750H CPU @ 2.20GHz RAM 16.0 GB)

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลอง

ตัวอย่าง	จำนวนโรงพยาบาล และศูนย์หลบภัย	ขอบเขตล่าง (นาที)	การปฏิบัติในปัจจุบัน (นาที)	HP%
1	(2,6)	164	205	80.00
2	(2,8)	242	290	83.45
3	(3,10)	186	248	75.00
4	(3,12)	260	379	68.60
5	(4,14)	202.5	238	85.08
6	(4,16)	200	266	75.19
7	(5,18)	220	291	75.60
8*	(6,3)	513.50	396	129.67

หมายเหตุ: 8* ตัวอย่างจากจังหวัดกรณีศึกษา

จากตารางที่ 3 หลักที่สามและสี่แสดงเวลารวมของการรับบริการของผู้ป่วยต่ำสุดที่ได้จากวิธีการขอบเขตล่างและวิธีการปฏิบัติในปัจจุบันพบว่า ตัวอย่างที่ 1 ถึง 7 จากการสุ่มสร้างโจทย์มีประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์เทียบเท่ากับขอบเขตล่างเท่ากับร้อยละเฉลี่ย 77.56 และตัวอย่างที่ 8 จากข้อมูลนำเข้าจากกรณีศึกษาพบว่าการปฏิบัติในปัจจุบันโดยวิธีการวิธีการเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุดให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีการจากขอบเขตล่างเท่ากับร้อยละ 29.67

6. สรุป

ปัญหาการขนส่งผู้ป่วยฉุกเฉินคราวละหลายคนไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลารวมของการรับบริการของผู้ป่วยต่ำสุด จากการพัฒนาขอบเขตล่างและวิธีการทางฮิวริสติกส์พบว่าวิธีการทางฮิวริสติกส์มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบและยัง

สามารถพัฒนาวิธีการทางฮิวริสติกส์ให้ดีขึ้นกว่าเดิมได้ แต่เนื่องจากการศึกษานี้ยังขาดการแบบจำลองการกำหนดจำนวนเต็มแบบผสม เพื่อนำมาหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimal Solution) สำหรับปัญหา ทำให้การพัฒนาขอบเขตล่างยังสามารถพัฒนาให้ดีขึ้นได้ นอกจากนี้วิธีการขอบเขตล่างที่พัฒนามานั้น ไม่เหมาะสมกับข้อมูลที่ระยะเวลาต่ำที่สุดมีความห่างกับค่าเฉลี่ยของค่าต่ำสุดของทุกศูนย์หลบภัย และระยะเวลาเดินทางจากศูนย์หลบภัยเพียงแห่งเดียวเป็นระยะเวลาที่ใกล้ที่สุดกับโรงพยาบาลทุกแห่ง ดังที่ตัวอย่างที่ 8 แสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการฮิวริสติกส์ที่ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการขอบเขตล่าง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงวิธีการทางฮิวริสติกส์ที่สามารถพัฒนาหรือนำวิธีการเมตะฮิวริสติกส์มาใช้ในปัญหาการขนส่งผู้ป่วยฉุกเฉินคราวละหลายคนไปยังโรงพยาบาลในสถานการณ์ภัยพิบัติที่ต้องการเครื่องมือในการช่วยตัดสินใจที่มีความรวดเร็ว

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบุคลากรทางการแพทย์และเจ้าหน้าที่กู้ภัยที่ให้ความร่วมมือในการสัมภาษณ์และการเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] CRED (2021). 2021 Disasters in numbers. Retrieved from <https://cred.be/sites/default/files/2021-02-12-EMDAT-report.pdf>. Accessed January 3, 2023
- [2] Tippong, D., Petrovic, S., & Akbari, V. (2022). A Review of Applications of Operational Research in Healthcare Coordination in Disaster Management. *European Journal of Operational Research*, 301(1), 1-17.
- [3] Yi, W., & Kumar, A. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 43(6), 660-672.
- [4] Peng, J., Weisheng, X., & Jijun, Y. (2009). A hybrid heuristic algorithm for large scale emergency logistics. *2009 Second International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, 3, 899-902.
- [5] Zhou, Z., Ha, M., Hu, H., & Ma, H. (2021). Half open multi-depot heterogeneous vehicle routing problem for hazardous materials transportation. *Sustainability* 13(3), 1262.
- [6] Zhang, J., Li, J., & Liu, Z. (2012). Multiple-resource and multiple-depot emergency response problem considering secondary disasters. *Expert Systems with Applications*, 39(12), 11066-11071.
- [7] Moonsri, K., Sethanan, K., Worasan, K., & Nitisiri, K. (2021). A Hybrid and Self-Adaptive Differential Evolution Algorithm for the Multi- Depot Vehicle Routing Problem in Egg Distribution. *Applied Sciences*, 12(1), 35.

- [8] Gong, Q., & Batta, R. (2007). Allocation and reallocation of ambulances to casualty clusters in a disaster relief operation. *IIE Transactions*, 39(1), 27–39.
- [9] Najafi, M., Eshghi, K., & Dullaert, W. (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 49(1), 217–249.
- [10] Talarico, L., Meisel, F., & Sörensen, K. (2015). Ambulance routing for disaster response with patient groups. *Computers & Operations Research*, 56, 120-133.
- [11] Kamali, B., Bish, D., & Glick, R. (2017). Optimal service order for mass-casualty incident response. *European Journal of Operational Research*, 261(1), 355–367.
- [12] Na, S. H., & Banerjee, A. (2015). A disaster evacuation network model for transporting multiple priority evacuees. *IIE Transactions*, 47(11), 1287–1299.
- [13] Pirabán-Ramírez, A., Guerrero-Rueda, W. J., & Labadie, N. (2022). The multi-trip vehicle routing problem with increasing profits for the blood transportation: An iterated local search metaheuristic. *Computers & Industrial Engineering*, 170, 108294.
- [14] Pham, Q. D., Nguyen, T. H., & Bui, Q. T. (2022). Modeling and solving a multi-trip multi-distribution center vehicle routing problem with lower-bound capacity constraints. *Computers & Industrial Engineering*, 172, 108597.
- [15] Zhen, L., Ma, C., Wang, K., Xiao, L., & Zhang, W. (2020). Multi-depot multi-trip vehicle routing problem with time windows and release dates. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 135, 101866.
- [16] Huang, N., Li, J., Zhu, W., & Qin, H. (2021). The multi-trip vehicle routing problem with time windows and unloading queue at depot. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, 102370.

การกำหนดนโยบายบริหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเตรียมอะไหล่คงคลัง กรณีศึกษาโรงงานผลิตกรดอะมิโน

Determination of Management Policy to Improve Efficiency of Spare Part Preparation Case Study of Amino Acid Factory

พรพัชร จิระเดชะ*

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6370180221@student.chula.ac.th*

Pornpat Jiradecha*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Chulalongkorn University

E-mail: 6370180221@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่นำเสนอนโยบายการบริหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเตรียมอะไหล่คงคลังกรณีศึกษาโรงงานผลิตกรดอะมิโนจากการพบปัญหาหลัก 2 ปัญหา 1. มูลค่าอะไหล่คงคลังเฉลี่ยต่อปีมีมูลค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีจาก 7.1 จนถึง 9.5 ล้านบาท ในปี 2016–2021 ซึ่งตรงกันข้ามมูลค่าการเบิกอะไหล่ซึ่งมีมูลค่าน้อยแสดงให้เห็นถึงอะไหล่ที่ถูกเก็บในคลังไม่สอดคล้องกับความต้องการอะไหล่ส่งผลให้สูญเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บอะไหล่สูงขึ้น การเพิ่มประสิทธิภาพในการเตรียมอะไหล่เริ่มต้นจากการนำเสนอเมทริกซ์ตัดสินใจการเก็บอะไหล่ผ่านการประเมินความวิกฤติอะไหล่ผ่านเมทริกซ์ 1. Part/Equipment critical 2. Supplier/lead-time 3. Failure Modes, Effects and Criticality Analysis และ 4. Decision Matrix จากนั้นนำเสนอโยบายการตัดสินใจจำนวนการเก็บอะไหล่ โดยจะกำหนด Base stock ใหม่ จากการพิจารณาโอกาสของจำนวนการเบิกใช้อะไหล่ผ่านการแจกแจงแบบปัวซองแบบสะสม จากนั้นนโยบายที่นำเสนอสามารถที่จะลดระดับอะไหล่คงคลัง เพิ่มการหมุนเวียนอะไหล่เฉลี่ย และไม่มีอะไหล่ขาดมือ

คำสำคัญ: อะไหล่คงคลัง, ความวิกฤติอุปกรณ์, การจำแนกอะไหล่

Abstract

This research presents a management policy to increase the efficiency of spare parts preparation in a case study of an amino acid factory. There are 2 main problems. 1. The average annual value of spare parts inventory is likely to increase every year from 7.1 to 9.5 million baht in 2016–2021. Conversely, the low value of spare parts withdrawal indicates that the spare parts in stock are not in line with the demand, resulting in higher of spare parts storage costs. To increase preparation of spare part begins with the propose of the spare parts collection decision through the evaluation of parts criticality through the matrix 1. Part/Equipment critical 2. Supplier/lead-time 3. Failure Modes, Effects and Criticality Analysis and 4. Decision Matrix. Then presented the policy to decide the amount of spare parts collection. Then present the policy to decide the amount of spare parts storage by determining the new base stock from considering the likelihood of the number of spare part issue through cumulative Poisson distribution. The proposed policy is able to reduce the level of spare parts inventory. Increased average spare parts turnover and no shortage of spare parts

Keywords: Spare part management, Part critical analysis,

1. ที่มาและความสำคัญ

จากโรงงานกรณีศึกษาบริษัทผลิตกรดอะมิโน ลักษณะกระบวนการผลิตเป็นกระบวนการแบบต่อเนื่อง (continuous process) ที่มีของไหลภายในท่อ กระบวนการลักษณะนี้ไม่สามารถหยุดระหว่างกระบวนการหรือบางส่วนของกระบวนการได้หากการหยุดการผลิตจะส่งผลมีค่าใช้จ่ายสูง จึงจำเป็นต้องเตรียมพร้อมสำหรับการซ่อมหากไลน์ผลิตหยุดชะงัก



รูปที่ 1 อะไหล่บีมคคคลังต่อยอดเบิก 2016-2021
(ที่มา โรงงานกรณีศึกษา)

รูปที่ 1 อะไหล่บีมที่ถูเก็บอยู่ในคลังต่อยอดการเบิกใช้งานข้อมูลปี 2016– 2021 แสดงให้เห็นอะไหล่คลังเฉลี่ยต่อปีมีมูลค่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปีจาก 8.4 จนถึง 10.5 ล้านบาท ในปี 2016–2021 ให้เห็นถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในทุกๆ ปีที่ต้องถือครองอะไหล่ประเภทบีม ก่อให้เกิดเป็นต้นทุนในการผลิต ซึ่งพิจารณามูลค่าการเบิกอะไหล่ พบว่ามีมูลค่าต่ำเมื่อเทียบกับมูลค่าอะไหล่ที่ถือครอง แสดงให้เห็นถึงอะไหล่ที่ถูกเก็บในคลังไม่สอดคล้องกับความต้องการอะไหล่

2. งานวิจัย และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัย

Eldemir and Turkyilmaz (2022) ศึกษาการลดต้นทุนในอุตสาหกรรมการบิน การบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพและระบบการจัดการอะไหล่คลังโดยสามารถคาดการณ์ความต้องการอะไหล่ที่เชื่อถือได้ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการถือครองอะไหล่ การวิจัย 100 หน่วยเก็บสต็อกสินค้าต่างๆ จากอะไหล่คลังของสายการบินพาณิชย์ โดยเริ่มจากแบ่งประเภทความต้องการเป็น Erratic, Lumpy, Smooth และ Intermittent หลังจากนั้นใช้วิธีการพยากรณ์ Exp.Smoothing, Naïve และ Croston พบว่าวิธีที่ดีที่สุดที่เหมาสมกับ Intermittent เหมาะสมกับ Exp.Smoothing, Erratic เหมาะสมกับ Naïve และ Croston เหมาะสมกับ Lumpy

ธงชัย วุฒิจันทร์ (2013) นำเสนอการปรับปรุงมูลค่าคงคลังอะไหล่ให้ลดลงจาก การพบปัญหาหลัก 3 ปัญหา คือ 1. มูลค่าคงคลังสูง 2. อะไหล่ขาดมือบางรายการ และ 3. วิธีการทำงานที่ไม่ชัดเจน แนว

ทางการแก้ไขเริ่มต้นจากการปรับระดับคงคลังที่เป็นรายการไม่เคลื่อนไหว และวิเคราะห์สาเหตุ จากนั้นได้แบ่งกลุ่มของอะไหล่โดยใช้ 2 แนวทางร่วมกัน คือ MCA Analysis (Multi Criteria Analysis) โดยใช้เลือกใช้ตัวแปร 4 ตัว คือ 1. มูลค่าการใช้จ่ายต่อปี 2. เวลานำ 3. ความสำคัญของอะไหล่ 4. มูลค่าต่อชิ้นและการแบ่งกลุ่มโดยใช้อัตราการเคลื่อนไหวของอะไหล่ ได้มีการพิจารณารายการอะไหล่ที่ไม่จำเป็นต้องเก็บโดยใช้ 2 เกณฑ์ คืออะไหล่ที่สามารถทดแทน กับอัตราส่วนความคุ้มทุน (Cost ratio) ผู้วิจัยนำเสนอวิธีการใหม่โดยนโยบายเฉพาะกลุ่ม A และ B โดยกำหนดนโยบายของกลุ่ม Lumpy ให้ใช้นโยบาย สูงสุด ต่ำสุด ส่วนกลุ่ม Intermittent แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือกลุ่มอะไหล่ที่จัดหาภายในประเทศใช้นโยบายแบบ (s,S) และกลุ่มที่จัดหาจากต่างประเทศเลือกใช้นโยบายแบบ Periodic Review พบว่าค่าเฉลี่ยของมูลค่าคงคลังลดลงจาก 6.9 ล้านบาท/เดือน เป็น 6.3 ล้านบาท/เดือน ค่าเฉลี่ยอัตราการขาดอะไหล่ร้อยละ 1.16 เป็น 0.73 และคงระดับ Fill rate = 99%

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA)

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ (2004) ศึกษา FMEA หรือการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (Failure Mode and Effect Analysis) เป็นเทคนิคสำหรับการเพิ่มความไว้วางใจแก่ผลิตภัณฑ์ และลดอัตราขัดข้องของผลิตภัณฑ์ในระยะเริ่มแรกและระยะการใช้งานปกติ

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

S = ความรุนแรงผลกระทบที่เกิดความล้มเหลว (Severity)

O = คือโอกาสที่จะเกิดขึ้นจากสาเหตุบ่อยครั้ง (Occurrence)

D = คือความสามารถตรวจจับความล้มเหลว (Detection)

จากสมการ (1) แสดงสมการการคำนวณค่าความวิกฤต โดยนำปัจจัยทั้งสามปัจจัยมาคูณกันทั้งหมด โดยการแบ่งช่วงของความวิกฤตตามมาตรฐานจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง วิกฤตสูงจะอยู่ช่วงคะแนนมากกว่า 15 ขึ้นไป วิกฤตกลางจะมีช่วงคะแนน 5-12 และความวิกฤตต่ำจะน้อยกว่า 5 ลงไป ค่าตัวเลขระดับความเสี่ยง (RPN) ค่าตัวเลขระดับหรือบางครั้งเรียกว่า Criticality Index แสดงถึงลักษณะข้อบกพร่องใดที่จะทำให้ กระบวนการผลิตประสบความผิดพลาดหรือล้มเหลวได้ช่วยให้การจัดลำดับลักษณะข้อบกพร่องที่มีความสำคัญจากมากไปสู่น้อย (วัฒนา เชียงกุล, 2011: 140)

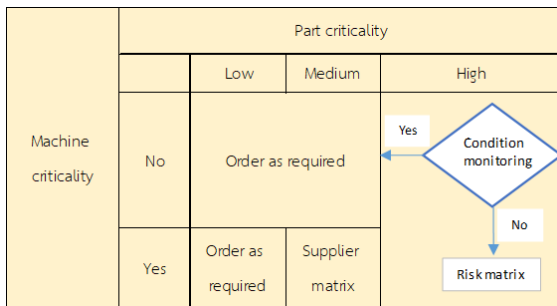
3. วิธีดำเนินงานวิจัย

จากปัญหาที่ได้กล่าวมาทั้งหมดทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าขั้นตอนการดำเนินงานจะแบ่งเป็นหลักๆได้ 2 หัวข้อได้แก่ 1. การกำหนดนโยบายการตัดสินใจในการเก็บอะไหล่ และ 2. การตัดสินใจจำนวนการเก็บอะไหล่

3.1 การกำหนดนโยบายการตัดสินใจในการเก็บอะไหล่

3.1.1 Part/Equipment critical matrix

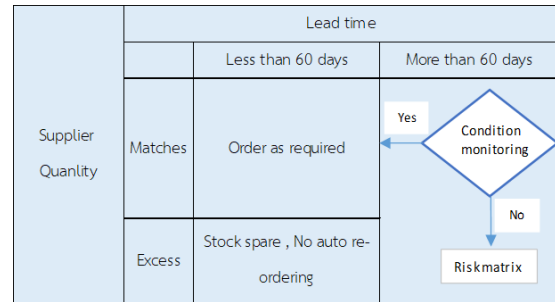
การคัดเลือกอะไหล่ที่จะเป็นอะไหล่วิกฤตขั้นแรกโดยประเมินจาก 2 ปัจจัย คือ ความวิกฤตของอะไหล่ย่อย (Part criticality) แบ่งเป็น ต่ำ (L) กลาง (M) และ สูง (H) โดย ต่ำ (L) หมายถึงเปลี่ยนก็ไม่มีผลกระทบต่อ กับไลน์ผลิต กลาง (L) หมายถึงต้องเปลี่ยนแต่สามารถรอได้ และสูง (H) หมายถึงรอไม่ได้ต้องเปลี่ยนทันที และความวิกฤตเครื่องจักร (Machine criticality) หมายความว่าอะไหล่ย่อยนั้นมีผลกระทบต่อเครื่องจักรหยุดการทำงานหรือไม่ มี (Yes) ไม่มี (No) หากผลการเลือกตกที่ความวิกฤตของอะไหล่ย่อย = H และความวิกฤตเครื่องจักร = H ผลจะตกที่คำถามที่ว่าสามารถทำการเผ้าสังเกตุอาการเสียของอุปกรณ์นั้นได้หรือไม่ ถ้าหากสามารถทำได้ก็จะไม่จำเป็นต้องเก็บสต็อก (Order as required) แต่ถ้าหากว่าไม่สามารถทำได้ ให้ไปที่การประเมินความเสี่ยงอะไหล่ (Slater, 2017: 2123)



รูปที่ 2 เมทริกซ์ความวิกฤตอะไหล่ และเครื่องจักร (Slater, 2017: 2123)

3.1.2 Supplier/lead-time matrix

การประเมินด้วยปัจจัยด้วยระยะเวลา และขั้นต่ำในการสั่ง หากกระบวนการตัดสินใจของเมทริกซ์ความวิกฤตอะไหล่ และเครื่องจักร มาตกที่การตัดสินใจด้วยเมทริกซ์ Supplier ให้ประเมินด้วย เมทริกซ์ตามรูป 3 โดยระยะเวลาจะถูกแบ่งเป็นน้อยกว่า 60 วัน ให้ถือว่าสามารถรับช่วงเวลาดังกล่าวได้ แต่ถ้าหากนานกว่า 60 ให้ถือว่าไม่สามารถยอมรับได้ ทางผู้วิจัยใช้คุณลักษณะของโรงงานกรณีศึกษาเป็นตัวตัดสินใจ และให้ประเมินควบคู่ไปกับขั้นต่ำในการสั่ง ถ้าหากจำนวนที่ต้องการสั่งเท่ากับจำนวนขั้นต่ำได้การสั่ง (Matches) ให้ทำการสั่ง และไม่ต้องเก็บสต็อกในกรณีที่ระยะเวลาน้อยกว่า 60 วัน แต่ถ้าหากจำนวนที่ต้องการสั่งมีปริมาณน้อยกว่าจำนวนอะไหล่ที่สั่งได้ (Excess) ให้ถือว่าเก็บอะไหล่ตัวนี้ แต่ไม่จำเป็นต้องตั้งการสั่งใหม่ (ROP) เพราะจำนวนที่ได้รับไปจะมีปริมาณเกินความต้องการจริง



รูปที่ 3 เมทริกซ์ระยะเวลา และจำนวนขั้นต่ำในการสั่ง (Slater, 2017: 2133)

3.1.3 Failure Modes, Effects and Criticality Analysis

การประเมินลำดับวิกฤตของอะไหล่จากอาการเสีย และวิเคราะห์ย้อนผ่านอาการเสียตามมาตรฐาน ISO 14224 เชื่อมโยงไปยังอุปกรณ์ย่อยของบีมซึ่งแต่ละอาการเสียนั้นได้รับการประเมินผ่านโอกาสที่จะเกิด x ผลที่ตามมาถ้าอุปกรณ์นั้นเสีย x โอกาสที่อาการเสียจะไม่ถูกตรวจจับ ผลออกมาเป็นค่าลำดับความวิกฤตอะไหล่ ซึ่งสามารถบ่งชี้ได้ว่าอะไหล่ย่อยนั้น มีสมรรถนะเป็นอย่างไร โดยค่าความวิกฤตสูงที่มีคะแนนตั้งแต่ 15 จะถูกตัดสินใจเก็บอะไหล่ไว้ เพราะผ่านการประเมินว่าเป็นอะไรที่วิกฤต ส่วนอะไหล่ที่มีคะแนนความวิกฤตน้อยกว่า 15 ต้องมาพิจารณาดูว่าเป็นวัสดุประเภทเปลี่ยนแปลงหรือไม่ จะถูกพิจารณาในด้านราคา หากราคาไม่เกิน 3% ของราคาบีมจะทำการเก็บสต็อก แต่ถ้าหากมากกว่าก็จะตัดสินใจสั่งเมื่อมีความต้องการ (OAR) เมื่อมีคะแนนน้อยกว่า 5 แต่ถ้าหากคะแนนช่วง 5-12 จึงจะถูกพิจารณาเก็บอะไหล่โดยผู้มีประสบการณ์

Tag	(1) Asset		(2) Consideration failure consequence				(3) FMECA process			
	Asset Bound	Function	Failure mode	Failure SM	Failure Cause	Consequence	Qualitative criticality (RPN)			
	Centrifugal pump									
BOP-20A/B/C	Packing / mechanical seal	Prevent external leakage	Worn out	Material	Normal wear	External leak	S	O	D	Avg. RPN
		Corrosion	Method	Chemical attacks caused by wrong material selection						

รูปที่ 4 เมทริกซ์ความวิกฤตการประเมินความเสี่ยง (Calixto, 2016: 227)

การประเมินความเสี่ยงเป็นการยืนยันสมรรถนะเครื่องจักรว่ามีสภาพดีอยู่หรือไม่ โดยมองสะท้อนจากอาการเสีย (Failure mode) ย้อนขึ้นไปในแต่ละอุปกรณ์ย่อย (Bottom-up analysis) โดยแต่ละอาการเสีย จะได้รับการประเมินอย่างมีหลักฐานสนับสนุนเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการประมาณลำดับความวิกฤตของอะไหล่ โดยหลักการให้คะแนนลำดับวิกฤตจะแบ่งเป็น 3 เกณฑ์ 1. ความถี่ที่มีโอกาสเกิด 2. โอกาสที่อะไหล่ชิ้นนั้นจะไม่ถูกตรวจสอบอาการเสีย 3. ผลกระทบหากอะไหล่ชิ้นนั้นไม่สามารถทำงานได้ตั้งที่มันถูกแบบมา โดยเกณฑ์การให้คะแนนจะให้จาก 1-5 คะแนน โดยมีหลักการเลือกดังนี้ (Sutton, 2010: 151)

โอกาสเกิดอาการเสีย (Occurrence)

สำหรับโอกาสเกิดอาการเสียของอุปกรณ์อะไหล่จะถูกพิจารณาจาก Failure mode ของอุปกรณ์ โดยแบ่งเป็น Failure mode ที่ไม่ได้อาจเกิดจากสาเหตุที่มาจากคนจะทำการประเมินผ่านสมการ Failure rate (2-9) และ Failure mode ที่มีสาเหตุจากคนจะทำการประเมินจากตารางความผิดพลาดที่เกิดจากกิจกรรมความผิดพลาด

Occurrence
1/10 cycle, 5
1/100 cycle, 4
1/1000 cycle, 3
1/10000 cycle, 2
>= 1/100000 cycle, 1

รูปที่ 5 โอกาสเกิดอาการเสีย (วัฒนา เชียงกุล, 2011: 140)

Failure rate ของอุปกรณ์อะไหล่ปั๊ม

$$\lambda_{Seal} = \lambda_{SE, B} \times C_P \times C_Q \times C_{DL} \times C_H \times C_F \times C_V \times C_T \times C_N \times C_{PV} \quad (2)$$

$$\lambda_{Mechseal} = \lambda_{M, B} \times C_Q \times C_F \times C_V \times C_T \times C_N \times C_{PV} \quad (3)$$

λ แทนอัตราการเสียต่อ 10^6 ชั่วโมง โดยค่า C ต่างๆคือค่า factor ที่เป็นพารามิเตอร์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ failure rate โดยค่า C นั้นได้มาจากการทดลองแสดงในรูปของกราฟการทดลองโดยให้บีมทำงานกันหลายๆหมื่นตัวแล้วจนบันทึกอาการเสียเมื่อเวลาผ่านไปโดยมีรายละเอียดดังนี้

λ_{Seal} = แทนอัตราการเสียของซีลต่อ 10^6 ชั่วโมง

$\lambda_{Mechseal}$ = แทนอัตราการเสียของแมคานิคอลซีลต่อ 10^6 ชั่วโมง

$\lambda_{M, B}$ = แทนอัตราการเสียของซีลแมคานิคอลโดยเป็นค่าคงที่ = $22.8/10^6$ ชั่วโมง

$\lambda_{SE, B}$ = แทนอัตราการเสียของซีลโดยเป็นค่าคงที่ = $2.4/10^6$ ชั่วโมง

C_P = เป็นค่า Factor ตัวคูณที่พิจารณาแรงดันของไหล

C_Q = เป็นค่า Factor ตัวคูณที่พิจารณาอัตราการรั่วไหลที่สามารถยอมรับได้

C_{DL} = เป็นค่า Factor ตัวคูณที่พิจารณาขนาดของซีล

C_H = เป็นค่า Factor ตัวคูณที่พิจารณาความเครียดของซีล

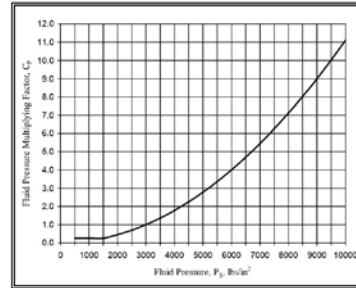
C_F = เป็นค่า Factor ตัวคูณที่พิจารณาผิวชนิดของซีล

C_V = เป็นค่า Factor ตัวคูณที่พิจารณาความหนืดของของไหล

C_T = เป็นค่า Factor ตัวคูณที่พิจารณาความอุณหภูมิของของไหล

C_N = เป็นค่า Factor ตัวคูณที่พิจารณาสิ่งปนเปื้อนในระบบของไหล

C_{PV} = เป็นค่า Factor ตัวคูณที่พิจารณา Pressure velocity กับการเคลื่อนตัวของซีล

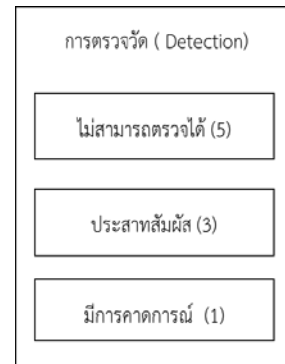


รูปที่ 6 Factor ตัวคูณที่พิจารณาแรงดันของไหล C_P (Handbook of reliability Naval Surface Warfare Cent, 2011: 69)

Task	Probability of Error
Totally unfamiliar, perform at speed, no idea of outcome	0.55
Restore system to new or original state on a single attempt without supervision or procedures checks	0.26
Complex task requiring high level of comprehension and skill	0.16
Fairly simple task performed rapidly or given scant attention	0.09
Routine highly practiced, rapid task involving relatively low level of skill	0.02
Restore system to new state following procedure checks	0.003
Totally familiar task, performed several times per hour, well motivated, highly trained staff, time to correct errors	0.0004
Respond correctly when there is augmented supervisory system providing interpretation	0.00002
Miscellaneous task—no description available	0.03

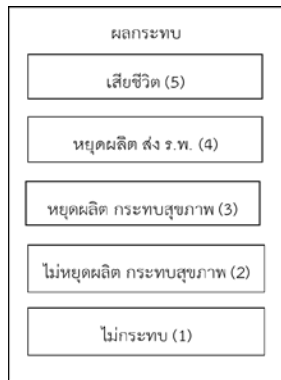
รูปที่ 7 ความผิดพลาดที่เกิดจากกิจกรรมการทำงานของคน Smith D.J (1997)

โอกาสที่อาการเสียจะไม่ถูกตรวจจับโดยวิธีการปัจจุบัน (Detection)



รูปที่ 8 โอกาสที่อาการเสียจะไม่ถูกตรวจจับ

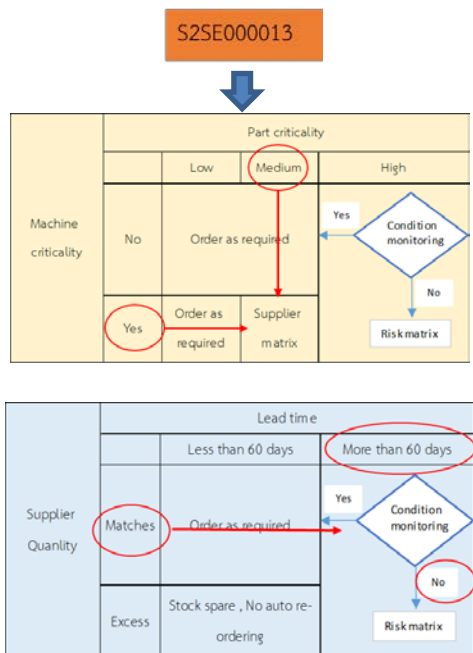
ผลกระทบของอาการเสีย (Severity)



รูปที่ 9 ผลกระทบของอาการเสีย

3.1.4 ตัวอย่างตัดสินใจเก็บอะไหล่ของอะไหล่ S2SE000013

อะไหล่ S2SE000013 เป็นอะไหล่ประเภทซีลที่เป็นอุปกรณ์ย่อยของบีม BOP-20A มีข้อมูลดังนี้ ระยะเวลาใช้งานมากกว่า 60 วัน, ความสำคัญของอะไหล่ระดับปานกลาง (M) และอุปกรณ์ BOP-20A หากหยุดจะส่งผลให้ไลน์ผลิตหยุดทำงาน เริ่มจากการพิจารณา Machine criticality เป็น yes และ part criticality เป็น M ทำให้ไปตก supplier matrix จากนั้นพิจารณา supplier matrix พบว่ามีระยะเวลานานกว่า 60 วัน และขั้นต่ำการส่งกับการสั่งซื้อส่งผลให้ต้องพิจารณาว่าสามารถทำงานตรวจสอบอาการเสียล่วงหน้าอะไหล่ประเภทซีลได้หรือไม่ จากการศึกษาของผู้วิจัยพบว่าไม่มีวิธีการตรวจสอบอาการเสียล่วงหน้าของอะไหล่ซีลทำให้มาตกที่ No



จากนั้นการตัดสินใจในการเก็บจะตกไปที่ Risk matrix ซึ่งจะทำการประเมินความวิกฤติว่าจะเก็บอะไหล่หรือไม่ โดยคำนวณค่าผ่าน RPN ตามสมการที่ 1 โดยอะไหล่ตัวอย่างนั้นสามารถคำนวณค่าได้ดังรูป

λ_{seal}	$(\lambda SE, B)$	(C_p)	(C_d)	(C_{DL})	(C_u)	(C_r)	(C_v)	(C_s)	(C_m)
1252.7286	22.8	1	4.2	1.42	1	0.862428	19.43	0.21	2.618

รูปที่ 10 ตัวอย่างการคำนวณ λ_{Seal}

ตั้งอะไหล่ตัวอย่าง สามารถกำหนดคะแนนโอกาสของการเกิดการเสียเท่ากับ 3 คะแนนซึ่งมาจากการคูณกันของค่า C Factor ทั้งหมดที่ได้จากกราฟการทดลองเท่ากับ 1252.72 / million hrs ซึ่งแปลความหมายเท่ากับ 1/1000 cycle คะแนน Occurrence เท่ากับ 3 ดังรูปที่ 7 จากนั้นพิจารณา Detection ว่าไม่มีวิธีการตรวจสอบสภาพสำหรับซีลซึ่งให้คะแนนเท่ากับ 5 ดังรูปที่ 9 และ ผลกระทบที่ตามมาหากซีลรั่วไหลอาจจะส่งผลให้หยุดการผลิต และกระทบกับสุขภาพจึงประเมินให้ 3 คะแนนดังรูปที่ 10 จากนั้นรวม RPN = 3 x 5 x 3 = 45 คะแนน ซึ่งหมายความว่าอะไหล่ชนิดนี้มีความวิกฤติต้องเก็บในคลัง

3.2 การกำหนดนโยบายจำนวนการเก็บอะไหล่

การกำหนดนโยบายจำนวนการเก็บอะไหล่ จะพิจารณาจากพฤติกรรมของอุปสงค์ โดยพิจารณาหาโอกาสการเบิกใช้อะไหล่ผ่านการแจกแจงแบบปัวซองแบบสะสม จากนั้นจึงพิจารณา Base stock จากโอกาสจากการใช้อะไหล่จากการแจกแจงแบบปัวซอง หลังจากนั้นนำค่า CDF ที่ได้จากการแจกแจงไปทำการ simulation ด้วย Monte Carlo ทำทั้งหมด 30 โดยการสุ่มค่าความต้องการจาก CDF เพื่อแสดงว่านโยบายอะไหล่ที่เลือกระดับอะไหล่เริ่มต้นนั้นจะไม่ส่งผลทำให้อะไหล่ขาดมือ หลังจากนั้นจะทดสอบด้วยข้อมูลชุดการเบิกอะไหล่กับปี 2020-2021 เพื่อยืนยันว่านโยบายที่ถูกกำหนดขึ้นมาใหม่นั้นจะไม่ส่งผลให้อะไหล่ขาดมือ

Tag equipment	STD	Average	Poisson CDF		
			0	1	2
BOP-20A	0.703	0.625	0.54	0.87	1.0
BOP-20B	0.736	0.604	0.55	0.88	1.0
TP-21	0.589	0.313	0.73	0.96	1.0
FLP-30	0.684	0.500	0.61	0.91	1.0
RCP-20	0.472	0.229	0.80	0.98	1.0
RCP-21	0.565	0.354	0.70	0.95	1.0

รูปที่ 12 โอกาสการเบิกอะไหล่ของอุปกรณ์

จำนวนการเบิกอะไหล่ได้ถูกตรวจสอบว่ามีพฤติกรรมเป็นไปตามการแจกแจงแบบปัวซองผ่านโปรแกรม Minitab ที่มีค่า P value > 0.05 จากนั้นจึงคำนวณหาค่า CDF ต่างๆเช่นในรูปที่ 12 หมายความว่าอุปกรณ์ย่อยของบีม BOP-20A นั้นมีโอกาสการเบิกใช้อะไหล่ซีลไม่เกิน 1 ชิ้นด้วยโอกาส 87% ซึ่งหากต้องการความเชื่อมั่นที่ 87% จะต้องเก็บ

อะไหล่ชนิดนี้ 1 ชิ้น แต่จากการหา นโยบายการตัดสินใจการเก็บอะไหล่ จะพบว่าอะไหล่ที่เหลือจากขั้นตอนนี้จะเป็นอะไหล่วิกฤติทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าอะไหล่จะถูกเก็บที่ความเชื่อมั่น 100% ไม่มีอะไหล่ขาดมือจึงเลือกเก็บที่ 2 ชิ้น จากนั้นนำ 2 ชิ้นไปเป็น inventory ตั้งต้นของการทำ model Monte Carlo เพื่อให้แน่ใจว่าจะไม่มีอะไหล่ขาดมือ

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการกำหนดนโยบายการตัดสินใจในการเก็บอะไหล่

จากการประเมินความวิกฤติอะไหล่ที่จำเป็นจะต้องเก็บพบว่ามูลค่าอะไหล่ และระดับอะไหล่ลดลงทุกรายการ

ตารางที่ 3 ผลการดำเนินงานจากนโยบายการการเก็บอะไหล่

มูลค่าอะไหล่ (ล้านบาท)				
ประเภทอะไหล่	มูลค่าเฉลี่ยก่อน (บาท)	มูลค่าเฉลี่ยหลัง (บาท)	SKU ก่อน	SKU หลัง
แมคซีล	3,412,037.00	3,074,384.00	22	20
ปั๊ม	2,330,887.83	0.00	5	0
ซีล	1,085,860.82	606,841.15	115	80
โบลท์	654,685.63	0.00	35	0
แบริ่ง	599,854.94	0.00	40	0
อุปกรณ์เสริม	327,405.71	0.00	23	0
ใบพัด	269,489.22	0.00	2	0
ยอย	96,140.82	0.00	4	0
เรือนปั๊ม	86,220.14	0.00	2	0
เพลลา	12,265.02	0.00	2	0
รวม	8,251,851.14	2,585,357.85	250	100

4.2 ผลการกำหนดนโยบายการตัดสินใจจำนวนการเก็บอะไหล่

อะไหล่	ราคาอะไหล่	ระดับอะไหล่			มูลค่าคลังเฉลี่ย			อะไหล่ขาดมือ
		นโยบายเดิม	นโยบายใหม่	ผลต่าง	นโยบายเดิม	นโยบายใหม่	ผลต่าง	
		Base stock	Base stock					
S2SE000013	5,935.50	4.00	2.00	2.00	23,742.00	11,871.00	11,871.00	-
S3SE000014	6,800.00	4.00	2.00	2.00	27,200.00	13,600.00	13,600.00	-
S3SE000018	6,800.00	4.00	2.00	2.00	27,200.00	13,600.00	13,600.00	-
S3SE000066	6,702.70	3.00	2.00	1.00	20,108.10	13,405.40	6,702.70	-
S3SE000081	5,757.00	3.00	2.00	1.00	17,271.00	11,514.00	5,757.00	-
S3SE000082	2,964.00	3.00	2.00	1.00	8,892.00	5,928.00	2,964.00	-
S3SE000083	2,964.00	3.00	2.00	1.00	8,892.00	5,928.00	2,964.00	-
S3SE000084	1,064.00	3.00	2.00	1.00	3,192.00	2,128.00	1,064.00	-
S3SE000090	5,757.00	3.00	2.00	1.00	17,271.00	11,514.00	5,757.00	-

รูปที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบระดับอะไหล่ระหว่างนโยบายก่อน-หลัง

จากรูปที่ 14 เป็นผลที่ได้จากการทำ Monte Carlo simulation หลังจากแสดงว่านโยบายจำนวนอะไหล่ที่ปรับปรุงจะไม่ส่งผลต่อให้อะไหล่ขาดมือ และเปรียบเทียบกับนโยบายอะไหล่ก่อนพบว่าระดับอะไหล่ Seal ลดลง 26% mechanical seal ลดลง 52% และมูลค่าคลังของอะไหล่ Seal ลดลง 43% และ mechanical seal ลดลง 34%

5.สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการประยุกต์ใช้เมทริกซ์จากการกำหนดนโยบายการตัดสินใจในการเก็บอะไหล่ พบว่ามูลค่าอะไหล่เฉลี่ยลดลง 68% และระดับอะไหล่ลดลง 60% และจากนโยบายการตัดสินใจจำนวนการเก็บส่งผลให้มูลค่าคลังเฉลี่ยลดลงจาก 8.7 ล้านเหลือ 2.3 ล้าน, อัตราการหมุนเวียนอะไหล่เฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 0.060 เป็น 0.220 และระดับอะไหล่ลดลงทั้งหมดจาก 450 ชิ้น เหลือเพียง 60 ชิ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Eduardo Calixto, Gas and Oil Reliability Engineering Modeling and Analysis. (UK: Elsevier 2016)
- [2] Eric Porras, และ Rommert Dekker. 2007. An inventory control system for spare parts at a refinery an empirical comparison of different re-order point methods. Rotterdam, The Netherlands.
- [3] Naval Surface Warfare Center, Handbook of reliability prediction procedure for mechanical equipment, First edition (Maryland: West Bethesda, 2011)
- [4] Ian Sutton, Process risk and reliability management, First edition (USA: Elsevier, 2010)
- [5] P. Gopala Krishnan, Maintenance and Spare part management, (Delhi: PHI leaning Private Limited, 2013)
- [6] Phillip Slater, Spare part inventory management A Complete Guide to Sparesology, (USA: Ipaight Pty Ltd, 2017)
- [7] Smith D.J., Reliability and Risk, 5th (Oxford UK: 1997)
- [8] วิพัฒนา เชียงกุลการ, จัดการงานบำรุงรักษาด้วย Reliability, (กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2011)
- [9] Catarina Teixeira and Isabel Lopes. 2017. Multi-criteria classification for spare parts management
- [10] ธงชัย วุฒิจันทร์. 2013. การปรับปรุงระบบจัดการอะไหล่ในโรงงานบรรจุภัณฑ์กล่องกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การออกแบบไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุ Product Design of Cane for the Elderly

ธนาวัต เพชรยศ ฤฎวัลย์ จันทรส
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: thanawad@eng.buu.ac.th*

Thanawadee Pedyod, Ruephuwan Chantrasa
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: thanawad@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบไม้เท้าที่ตอบสนองความต้องการใช้งานสำหรับผู้สูงอายุ เริ่มจากสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านกายภาพบำบัดศูนย์เพชรรัตนการุญ สภากาชาดไทย โดยสำรวจความต้องการและสังเกตพฤติกรรมของผู้สูงอายุด้วยเครื่องมือของการคิดเชิงออกแบบ จากนั้นสำรวจความต้องการและความพึงพอใจด้วยแบบสอบถามปลายปิด วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เพื่อบ่งชี้ข้อกำหนดทางเทคนิคที่สำคัญของการออกแบบและพัฒนาไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุ ขั้นตอนต่อมาได้ออกแบบแนวคิดทางเลือกผลิตภัณฑ์จำนวน 5 แนวคิดด้วยเทคนิค Concept Combination Table และคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุดด้วยการให้ผู้สูงอายุจำนวน 30 คนและทีมงานเป็นผู้ประเมิน แนวคิดที่ได้รับการคัดเลือกจะนำมาออกแบบอย่างละเอียด จากนั้นได้สร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (Prototype) ของไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุซึ่งมีลักษณะสำคัญ ได้แก่ มีไฟฉาย มีปุ่มสัญญาณแจ้งเตือนด้วยเสียงเมื่อเกิดอุบัติเหตุ และช่วยให้พกไม้เท้าไปยังสถานที่ต่างๆได้อย่างสะดวกสบาย

คำสำคัญ: ไม้เท้า, ผู้สูงอายุ, เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

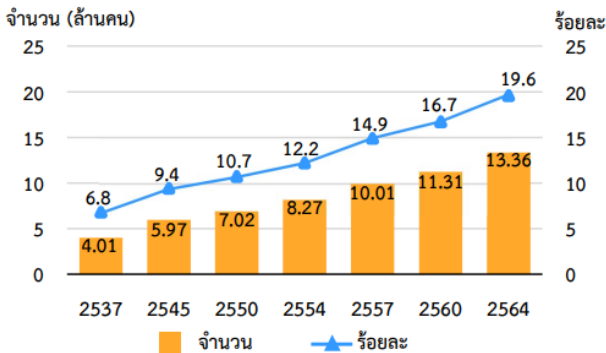
Abstract

The objective of this project is to design cane that meet the needs of the elderly. Starting by interviewing a physical therapy expert at Thepparat Karun Center, Thai Red Cross Society. By exploring the needs and observing the behaviors of the elderly with the tools of Design Thinking. The needs and satisfactions are explored with a closed-ended questionnaire. The data are analyzed with Descriptive Statistics and applying the Quality function deployment technique (QFD). To identify the key technical specification of the design and development of cane for the elderly. The next step is to design 5 product alternative concepts using the Concept Combination Table technique. The most suitable concept is selected by having 30 elderly people and the team evaluate. Selected concepts will be carefully designed. Then, a prototype of a cane for the elderly is created, which has important characteristics such as having a flashlight, a button to alert with sound in the event of an accident and portable to various places comfortably.

Keywords: Cane, Elderly, QFD

1. บทนำ

ในปัจจุบันความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยี การบริการด้านการแพทย์และสาธารณสุขมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ประชากรมีอายุที่ยืนยาวขึ้น สำหรับแนวโน้มของผู้สูงอายุ (ผู้ที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป) พบว่าประเทศไทยมีจำนวนและร้อยละของผู้สูงอายุ เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง โดยเพิ่มจาก ร้อยละ 6.8 ในปี 2537 เป็นร้อยละ 19.6 ในปี 2564 ดังข้อมูลจากการสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2564 ดังรูปที่ 1 [1]



รูปที่ 1 จำนวนและร้อยละของผู้สูงอายุ พ.ศ. 2537 - 2564

คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล ได้ศึกษาว่า “ไม้เท้า” เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างมากต่อผู้สูงอายุ เพราะต้องช่วยพยุงเดินในชีวิตประจำวัน โครงการนี้จึงมุ่งเน้นในการออกแบบไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุโดยการศึกษา วิเคราะห์ และออกแบบไม้เท้าเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุ

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อออกแบบไม้เท้าที่ตอบสนองต่อความต้องการและมีความเหมาะสมในการใช้งานสำหรับผู้สูงอายุ

3. ขอบเขตของโครงการ

- 3.1 กลุ่มผู้สูงอายุที่ใช้เป็นตัวอย่างในการศึกษา เป็นผู้สูงอายุที่มาใช้บริการที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี และบริเวณรอบๆ มหาวิทยาลัยบูรพา
- 3.2 กลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุที่ใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงอายุ 60 ปีขึ้นไป
- 3.3 ออกแบบและพัฒนาไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุ โดยการประยุกต์หลักการของการศาสตร์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ การคิดเชิงออกแบบ และเทคนิคการกระจายน้ำหนักเชิงคุณภาพ
- 3.4 ออกแบบรายละเอียดของไม้เท้าตามข้อกำหนดจริง และสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบของไม้เท้า

4. ประโยชน์ของโครงการที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 ทราบปัญหาในการใช้ไม้เท้าและความต้องการที่มีต่อไม้เท้าของผู้สูงอายุ
- 4.2 ได้ออกแบบและพัฒนาไม้เท้าต้นแบบที่ตอบสนองความต้องการและมีความเหมาะสมในการใช้งาน
- 4.3 สามารถประยุกต์กระบวนการวิจัยที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าเป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับผู้สูงอายุประเภทอื่นต่อไป

5. แผนการดำเนินงาน

- 5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 5.2 สำรวจปัญหาการใช้ไม้เท้าของผู้สูงอายุในปัจจุบันด้วยการตอบแบบสอบถาม
- 5.3 สำรวจและวิเคราะห์ความต้องการของผู้สูงอายุที่มีต่อไม้เท้าด้วยแบบสอบถามปลายเปิด
- 5.4 สำรวจและวิเคราะห์ความต้องการด้วยแบบสอบถามปลายปิด
- 5.5 ประยุกต์ใช้ QFD ในการกำหนดคุณลักษณะเชิงเทคนิคของไม้เท้า
- 5.6 ออกแบบแนวคิดของไม้เท้า
- 5.7 ประเมินและคัดเลือกแนวคิดของไม้เท้าที่เหมาะสม
- 5.8 การประเมินความพึงพอใจของการใช้งานไม้เท้า
- 5.9 สรุป อภิปรายผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1.1 การศึกษาองค์ประกอบของไม้เท้า

องค์ประกอบของไม้เท้าแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ด้ามจับ ด้ามไม้เท้า และฐาน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 องค์ประกอบของไม้เท้า

5.2.1 การสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านกายภาพบำบัด จำนวน 1 คน

ผู้จัดทำได้ศึกษาพฤติกรรมและปัญหาในการใช้ไม้เท้าของผู้สูงอายุ ซึ่งอยู่ในลักษณะของแบบสอบถามปลายเปิด ได้คำตอบว่า ผู้สูงอายุโดยส่วนใหญ่จะมีปัญหาด้านการทรงตัว ผู้สูงอายุแต่ละคนจะมีปัญหาในการเคลื่อนที่ไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับว่าเป็นโรคที่เกี่ยวข้องกับการเดินหรือไม่ ไม้เท้าเป็นจุดลงน้ำหนัก ถ้าเรายืนตรงจุดศูนย์ถ่วง (CG) จะอยู่ตรงที่เท้าไม่ทำให้ล้ม ไม้เท้าต้องมีความแข็งแรงพอสมควร มีจุดรับน้ำหนักที่ดี สามารถปรับระดับได้ให้สมส่วนกับผู้สูงอายุที่ใช้ ไม้เท้าควรมีตัววางที่ยึดเกาะพื้นที่ที่ติดกัน มีที่จับแบบหนีงๆ นุ่ม จับแล้วไม่ลื่น ไม่

หลุด ถ้ายากให้พับเก็บได้ ก็ควรจะมีที่เก็บหรือแพ็คเกจให้พกพาง่าย ไม่ทำควมไม่หนักมาก และควรทำให้น่าใช้มีรูปลักษณ์ที่แปลกใหม่

5.2.2 การสังเกตและสัมภาษณ์พฤติกรรมการใช้ไม้เท้าของผู้สูงอายุ บริเวณรอบมหาวิทยาลัยบูรพา จำนวน 5 คน

แปลงปัญหาเป็นความต้องการดังนี้ จับถนัดมือ ตามจับนุ่ม มีน้ำหนักเบา พกพาสะดวก พับเก็บได้ สามารถปรับระดับได้ ตามจับสั้น ยาก มีหลายขา มีเซนเซอร์จับระดับพื้นผิว แจ้งเตือนได้ และปรับระดับได้ง่าย

5.3.1 การสำรวจความต้องการที่มีต่อไม้เท้าของผู้สูงอายุเบื้องต้น จำนวน 30 คน

แบบสอบถามที่ใช้ในการสำรวจประกอบด้วย 4 ส่วน ได้แก่ 1. ข้อมูลทั่วไปของผู้สูงอายุ 2. ภาวะสุขภาพของผู้สูงอายุ 3. พฤติกรรมการใช้ไม้เท้าของผู้สูงอายุ และ 4. การศึกษาความต้องการการออกแบบไม้เท้า ทั้งนี้ได้แปลงข้อมูลดิบเป็นความต้องการที่มีต่อไม้เท้าของผู้สูงอายุ ดังนี้ มีความแข็งแรงและมั่นคง สามารถพยุงตัวได้ มีน้ำหนักเบา สามารถปรับระดับได้ พกพาสะดวก ใสในที่แสงน้อยได้ พับเก็บได้ มีหลายขา จับถนัดมือ ตั้งตรงได้ มีริม ทันสมัย มีปุ่มฉุกเฉิน ฐานแข็งแรง และมั่นคง ฯลฯ

5.3.2 การจัดกลุ่มความต้องการของผู้สูงอายุที่มีต่อไม้เท้า

จัดกลุ่มความต้องการได้ 12 กลุ่ม ดังนี้ 1) ไม้เท้าช่วยประคองหรือพยุงตัวได้ 2) ไม้เท้ามีความแข็งแรง 3) ไม้เท้ามีขนาดที่เหมาะสม 4) ไม้เท้าจัดเก็บได้ง่าย 5) ไม้เท้ามีฟังก์ชันการใช้งานเพิ่มเติม 6) ไม้เท้ามีความสมดุล 7) ไม้เท้ายืดเกาะดี 8) ไม้เท้ามีความทนทาน 9) ไม้เท้าเพิ่มความมั่นใจ 10) ไม้เท้าราคาถูก 11) ไม้เท้ามีความสะดวกในการใช้งาน 12) ไม้เท้ามีรูปลักษณ์สวยงามทันสมัยสร้างความมั่นใจในการใช้งาน ใส่ในความต้องการของลูกค้า ส่วน A ดังรูปที่ 3

5.3.3 การทดสอบความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม

ใช้ค่าการวิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้องของแบบสอบถามกับจุดประสงค์ (IOC : index of Item objective congruence) ซึ่งเป็นสูตรของโลวีเนลลีและแอมเบลตัน [3] ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลหัวข้อ 5.3.2 มาทำแบบประเมินแบบจำลองดัชนีวัดผลสำเร็จ และส่งให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา และประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ 1

$$IOC = \frac{\sum R}{N} \quad (1)$$

โดยที่ IOC = ดัชนีความสอดคล้องของแบบสอบถามกับจุดประสงค์
 $\sum R$ = ผลรวมของคะแนนความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด
 N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญที่ประเมิน

ทั้งนี้ผู้เชี่ยวชาญได้มาจากอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยบูรพา จำนวน 2 คน และผู้อำนวยการพิเศษนักกายภาพบำบัด จำนวน 1 คน ผู้วิจัยได้คัดเลือกจากผู้ที่มีความรู้และประสบการณ์เกี่ยวกับการทำ QFD และการใช้งานไม้เท้าตามลำดับ

ผลลัพธ์ คือ ข้อ 6) ไม้เท้ามีความสมดุล และข้อ 7) ไม้เท้ายืดเกาะดีได้เป็นควรปรับปรุง ผู้จัดทำจะปรับปรุงข้อคำถามให้อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ขึ้นไปและตัดข้อคำถามที่ไม่จำเป็นต่องานวิจัยออกไป จากข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของผู้เชี่ยวชาญ ควรเพิ่มคำถามเข้าไป 1 ข้อคือ ไม้เท้ามีรูปลักษณ์สวยงามทันสมัยสร้างความมั่นใจในการใช้งาน

5.4 สสำรวจและวิเคราะห์ความต้องการและความพึงพอใจด้วยแบบสอบถามปลายปิด

การกำหนดจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่ใช้สำรวจ จะใช้วิธีของ Taro Yamane เพื่อหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยกำหนดความคลาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมให้เกิดขึ้นระหว่างค่าจริงและค่าประมาณร้อยละ 10 ดังสมการที่ 2

$$n = \frac{N}{1 + N(e)^2} \quad (2)$$

โดยที่ n = จำนวนขนาดตัวอย่างประชาชนที่ต้องการ

N = จำนวนประชากรผู้สูงอายุทั้งหมดในจังหวัดชลบุรี [4] มีเท่ากับ 194,605 คน

e = ค่าความคลาดเคลื่อน (0.1)

เมื่อแทนค่าจะได้
$$n = \frac{194,605}{1 + 194,605 (0.1)^2}$$

$$n = 99.949 \approx 100 \text{ คน}$$

จากการแทนค่าลงในสมการที่ 2 พบว่า จำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ เท่ากับ 100 คน การสำรวจด้วยแบบสอบถามปลายปิดจะใช้ google forms สร้างแบบสอบถาม โดยแชร์ลิงค์ของ google forms ผ่านแอปพลิเคชันทางไลน์และประเมินผ่านทางผู้สำรวจ

5.5 ประยุกต์ใช้ QFD ในการกำหนดคุณลักษณะเชิงเทคนิคของไม้เท้า

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเป็นผู้สูงอายุในจังหวัดชลบุรีที่มีอายุ 60 ปีขึ้นไป จำนวน 105 คน ผู้สูงอายุที่ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ผู้สูงอายุเป็นเพศหญิงร้อยละ 58.10 ส่วนใหญ่มีอายุระหว่าง 66-70 ปีร้อยละ 30.50 ส่วนใหญ่มีน้ำหนักระหว่าง 51-60 กิโลกรัม ร้อยละ 38.10 ส่วนใหญ่มีส่วนสูงระหว่าง 161-170 เซนติเมตร ร้อยละ 49.50 ส่วนใหญ่ไม่ได้ทำงานร้อยละ 34.30 ส่วนใหญ่ผู้สูงอายุอาศัยอยู่กับครอบครัวร้อยละ 81.90 โรคประจำตัวส่วนใหญ่ของผู้สูงอายุคือ โรคข้อเข่าเสื่อมร้อยละ 39.61 ผู้สูงอายุใช้ไม้เท้าบ้างเวลาตอนเดินระยะทางไกลร้อยละ 44.29 จุดประสงค์หลักของการใช้ไม้เท้าส่วนใหญ่ คือ

+ แสดงความขึ้นที่ขึ้นเชิงบวก
- แสดงความขึ้นที่ขึ้นเชิงลบ

		≥10	1	≥100 - <120	≥70 - <100	≥3	<500	<60	มี	≥3	≥4	≥3	≥3	≥3	ไม่	≥3	≥3	≥3					
		เทคนิค	ขา	ปีกกลม	เทคนิค	เทคนิค	กับ	เทคนิค	รายการ	เทคนิค 1-5	อัน	เทคนิค 1-5	เทคนิค 1-5	เทคนิค 1-5	ไม่/ไม่ได้	เทคนิค 1-5	เทคนิค 1-5	เทคนิค 1-5					
		↑	○	↑	↑	↑	←	←	○	↑	○	↑	↑	↑	○	↑	↑	↑					
	คุณลักษณะเชิงเทคนิค	ความกว้างของฐาน	จำนวนขา	การขึ้นน้ำหนัก	ความถี่ของไม้เท้า	ระดับความเสถียรในการปรับระดับน้ำหนักของไม้เท้า	ความยาวมือจับไม้เท้า	ฟองซีเมนต์ในการใช้งานเพิ่มเติม	ระดับการหล่อของไม้เท้า	จำนวนปุ่มยาง	ระดับการยึดเกาะพื้น	ระดับความหนาของสายรัด	ข้อสังเกตเพิ่มเติม	ระดับความมั่นคงในการใช้งาน	ระดับความเหมาะสมของราคา	ระดับความเสถียรในการใช้งาน	ระดับความสวยงาม น่าใช้	ระดับความถี่	ระดับความพอดี	จุดเชื่อมต่อ	อัตราส่วนการปรับปรุง	คะแนนเต็ม	คะแนนเต็มปกติ
ความต้องการของลูกค้า	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	B-1	B-2	B-4	B-5	B-7	B-8
1. ไม่ให้ช่วยประคองหรือพยุงตัวได้ดี	3	0	3			3				1	1			1				4.21	3.05	3	0.78	3.28	6.61
2. ไม่ให้มีความแข็งแรง			3			3						3	1					4.43	3.73	5	1.34	5.94	11.97
3. ไม่ให้มีความถี่ที่เหมาะสม (ปรับระดับได้เหมาะสมกับความสูงของผู้ใช้งาน)				9	5										1			4.06	3.61	4	1.11	4.50	9.06
4. ไม่ให้กำจัดเก็บได้ง่าย (ที่บ้านและในอาคารทพหา)	1	3		1		3	9								3	1		3.04	3.41	5	1.47	5.63	11.35
5. ไม่ให้มีฟังก์ชันในการใช้งานเพิ่มเติม (มีปุ่มฉุกเฉิน มีไฟฉาย เป็นต้น)							1	9						1	1	1		3.17	3.32	4	1.20	3.02	7.70
6. ไม่ให้ช่วยให้ทรงตัวได้ดีขณะใช้งาน	3	3	3						1	3				1				3.95	3.60	3	0.83	3.29	6.63
7. ไม่ให้มีส่วนเพื่อช่วยในการยึดเกาะดี								3	9	3				1				4.33	3.60	3	0.83	3.61	7.27
8. ไม่ให้มีความทนทาน			3									9	1		1			3.99	3.50	4	1.14	4.56	9.19
9. ไม่ให้เพิ่มความมีใจในการใช้งาน			1						1	1	1			1		3		3.74	3.50	3	0.86	3.21	6.46
10. ไม่ให้มีความถี่ที่เหมาะสม															9			3.23	3.51	3	0.85	2.76	5.56
11. ไม่ให้มีความสะดวกในการใช้งาน (จับถนัดมือ เป็นต้น)	1			3			3								3			3.07	3.61	5	1.39	5.36	10.00
12. ไม่ให้มีความซับซ้อนสวยงามทันสมัยสร้างความมั่นใจในการใช้งาน														3	1	9		3.03	3.30	4	1.21	3.67	7.40
NO.	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	รวม				รวม	
ค่าน้ำหนักคุณลักษณะเทคนิค	51.08	124.23	109.65	92.93	59.60	77.63	102.11	101.67	21.81	85.14	54.78	125.06	21.15	56.87	74.35	83.20	97.33	1336.60				49.63	100
ค่าน้ำหนักคุณลักษณะเทคนิคปกติ	3.82	9.28	8.19	6.94	4.45	5.80	7.63	7.60	1.63	6.36	4.09	9.34	1.58	4.25	5.55	6.22	7.27	100					

รูปที่ 3 บ้านคุณภาพ (House of quality)

เพิ่มความปลอดภัยหรือความมั่นใจในการเดินว่าจะไม่ล้ม ร้อยละ 38.70

จากแบบสอบถามหาระดับความสำคัญ (B1) และระดับความพึงพอใจ (B2) ของคุณลักษณะไม่เท้าของผู้สูงอายุ กำหนด จุดมุ่งหมาย (B4) จะอยู่ในระดับ 4 เท่ากัน หมายถึง จะทำให้เกิดความพึงพอใจของผู้ใช้งานในระดับสูง จากนั้นหา อัตราส่วนการปรับปรุง (B5) คะแนนดิบ (B7) และ คะแนนดิบปกติ (B8) ดังรูปที่ 3

จากนั้น หาคุณลักษณะเชิงเทคนิค ส่วน C มีดังนี้ รายการเมตริก หน่วยวัด ทิศทางการปรับปรุง และค่าเป้าหมาย ดังรูปที่ 3

จากนั้น หาความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับความ ต้องการเชิงเทคนิค ส่วน D ดังรูปที่ 3

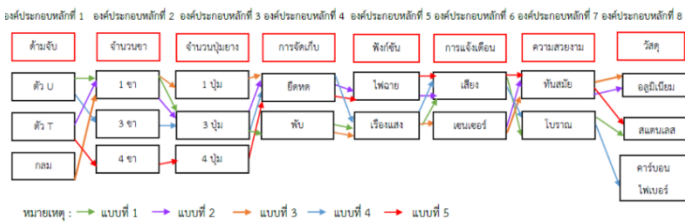
จากนั้น หาความสัมพันธ์ร่วมกันของคุณลักษณะเชิงเทคนิคส่วน E ดังรูปที่ 3

จากนั้น หาส่วนเทคนิค F ดังรูปที่ 3

จากข้อมูลรูปที่ 3 ได้นำค่าน้ำหนักคุณลักษณะเชิงเทคนิคปกติ ส่วน F ไปใช้ประกอบในการออกแบบผลิตภัณฑ์ทางเลือกต่อไป

5.6 ออกแบบแนวคิดของไม้เท้า

ผู้จัดทำได้ออกแบบแนวคิดทางเลือกแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การกำหนดแนวคิดทางเลือก

และได้ออกแบบแนวคิดผลิตภัณฑ์ที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้เป็น 5 แนวคิด ดังนี้ และได้ไม้เท้าที่ออกแบบ ดังรูปที่ 6

แบบที่ 1 เน้นเรื่องการปรับระดับที่ง่าย การประเมินราคา 750 บาท

จุดเด่น : มีปุ่มแฉงเตือนขอความช่วยเหลือ ปรับระดับง่าย

จุดด้อย : ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก เนื่องจากต้องพับไม้เท้าเป็นท่อน

แบบที่ 2 เน้นการพกพาที่สะดวก การประเมินราคา 500 บาท

จุดเด่น : พกพาได้อย่างสะดวก ประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ

จุดด้อย : ความสะดวกในการกางก่อนข้างน้อย เนื่องจากต้องหมุนง่านไม้เท้าเพื่อให้เข้าล็อคแต่ละล็อค

แบบที่ 3 เน้นการกางที่ง่ายและรวดเร็ว การประเมินราคา 650 บาท

จุดเด่น : สามารถกางไม้เท้าเพื่อให้ใช้งานได้รวดเร็ว และมีเซนเซอร์แฉงเตือนขณะที่ไม่เท้าล้มลง

จุดด้อย : ใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก เนื่องจากต้องพับไม้เท้าเป็นท่อน

แบบที่ 4 เน้นที่น้ำหนักเบา และยังรับน้ำหนักได้ดี การประเมินราคา 1,590 บาท

จุดเด่น : มีฐานในการรับน้ำหนักได้ดี มีน้ำหนักที่เบา

จุดด้อย : ใช้พื้นที่จัดเก็บค่อนข้างมาก ไม่มีความสะดวกในการพกพา **แบบที่ 5** เน้นความแข็งแรงและการกระจายการรับน้ำหนักที่เท่ากัน

การประเมินราคา 890 บาท

จุดเด่น : มีฐานเพื่อกระจายน้ำหนักและรับน้ำหนักได้ดี

จุดด้อย : ไม่เท่ามึขนาดที่ใหญ่ ไม่มีความสะดวกในการพกพา และมีน้ำหนักค่อนข้างมาก



รูปที่ 5 ไม้เท้าที่ออกแบบ

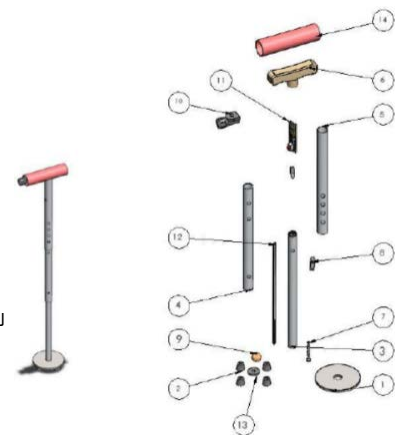
การประเมินราคาของแบบผลิตภัณฑ์ ได้มาจาก 8 ปัจจัย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินราคาของแบบผลิตภัณฑ์

แบบ/ ปัจจัย	ค่า จับ	จำนวน ขา	จำนวน ปุ่มยาง	การ จัดเก็บ	ฟังก์ชัน	แฉง เตือน	ความ สวยงาม	วัสดุ
แบบที่ 1	ตัว U	1 ขา	3 ปุ่ม	พับ	เรื่องแฉง	เสียง	โบราณ	สแตนเลส
แบบที่ 2	ตัว T	1 ขา	3 ปุ่ม	ยึดหด	ไฟฉาย	เสียง	ทันสมัย	อลูมิเนียม
แบบที่ 3	กลม	1 ขา	1 ปุ่ม	พับ	เรื่องแฉง	เซนเซอร์	ทันสมัย	อลูมิเนียม
แบบที่ 4	ตัว U	3 ขา	3 ปุ่ม	ยึดหด	เรื่องแฉง	เสียง	โบราณ	คาร์บอนไฟเบอร์
แบบที่ 5	ตัว T	4 ขา	4 ปุ่ม	ยึดหด	ไฟฉาย	เสียง	ทันสมัย	สแตนเลส

5.7 ประเมินและคัดเลือกแนวคิดของไม้เท้าที่เหมาะสม

ผู้สูงอายุประเมินจำนวน 30 คน คณะผู้จัดทำประเมินจำนวน 3 คน การคำนวณประเมินแนวคิดผลิตภัณฑ์สรุปได้ว่าแนวคิดแบบที่ 2 มีค่าน้ำหนักโดยรวมมากที่สุดถึง 4.03 จึงได้แนวคิดแบบที่ 2 เป็นแนวคิดหลักและนำข้อดีของแนวคิดแบบที่ 5 และแนวคิดที่ 4 ที่มีค่าเฉลี่ยสูงของแต่ละคุณลักษณะผลิตภัณฑ์มาพิจารณาร่วมกันเพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ผลิตภัณฑ์ต้นแบบมีต้นทุนรวม 1,111 บาท ตั้งราคาขายที่ 1,590 บาท ทั้งนี้ได้ประมาณการต้นทุนและราคาขาย ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การประมาณต้นทุนและราคาขายของผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

ลำดับ	รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคา (บาท)
1	ฐาน	1 อัน	60.00	60.00
2	ปุ่มยาง	4 ตัว	7.50	30.00
3	ท่อลูมิเนียม	3 ท่อน	226.67	680.00
4	ไม้	1 ท่อน	50.00	50.00
5	น็อต	5 ตัว	1.00	5.00
6	ตัวล็อค	2 ตัว	0.50	1.00
7	เชือกถักยางยืด	1 ตัว	25.00	25.00
8	ไฟฉาย	1 ตัว	60.00	60.00
9	ตัวส่งสัญญาณเสียง	1 ตัว	200.00	200.00
ต้นทุนรวม				1,111
ราคาขาย				1,590

5.8 การประเมินความพึงพอใจของการใช้งานไม้เท้า

การประเมินทำโดยผู้สูงอายุจำนวน 10 คน สรุปผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปผลการประเมินระดับความพึงพอใจของไม้เท้าผู้สูงอายุ

คุณลักษณะผลิตภัณฑ์ (ส่วน A)	ระดับความพึงพอใจ
A-3, A-4, A-10, A-11	มาก
A-1, A-2, A-5ถึงA8	ปานกลาง
A-9, A-12	น้อย

5.9.1 สรุปผลการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่ออกแบบโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพที่ผลิตขึ้นมาจริงกับค่าเป้าหมายของคุณลักษณะทางคุณภาพ ส่วน C ของบ้านคุณภาพ ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบคุณลักษณะทางคุณภาพกับผลที่ได้จากการสร้างไม้เท้าผู้สูงอายุ

คุณลักษณะทางคุณภาพ	ผลเปรียบเทียบ
C-1, C-2, C-4ถึงC-17	ผ่าน
C-3	-

หมายเหตุ

เนื่องจากผู้จัดทำไม่ได้ใช้วัสดุตามที่กำหนดไว้ จึงไม่สามารถวัดหาค่าการรับน้ำหนักจริงได้ (C-3 การรับน้ำหนัก)

5.9.2 อภิปรายผลการทดลอง

จากผลการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุ พบว่าการสำรวจความต้องการของผู้สูงอายุและประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ทำให้การออกแบบผลิตภัณฑ์ไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุสามารถตอบสนองความต้องการของผู้สูงอายุได้ โดยสามารถช่วยให้ผู้สูงอายุพกพาไปยังสถานที่ต่างๆ ได้อย่างสะดวกสบาย แต่มีข้อจำกัดคือ ความสะดวกในการกางค่อนข้างน้อย อาจส่งผลให้ผู้สูงอายุ

บางคนหยุดขณะการหรือพับเก็บได้ เนื่องจากคณะผู้จัดทำเน้นไปที่ขนาดตอนพับเก็บให้มีความกะทัดรัด และเหมาะสม

5.9.3 ข้อเสนอแนะ

จากการทำโครงการนี้พบว่าประเด็นที่น่าสนใจในการศึกษาต่อ ดังนี้

1) การสอบถามผู้สูงอายุด้านการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ควรมีตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไปประกอบการเก็บแบบสอบถาม เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่แม่นยำมากยิ่งขึ้น

2) สามารถนำผลิตภัณฑ์ไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุมาเป็นแนวคิดในการสร้างผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับไม้เท้ารูปแบบอื่นได้

3) ผลิตภัณฑ์ไม้เท้าสำหรับผู้สูงอายุ สามารถนำไปพัฒนาในเรื่องของฟังก์ชัน ในการใช้งานที่เพิ่มขึ้นได้ เช่น การมีเซนเซอร์ที่ตรวจจับอุบัติเหตุต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับผู้สูงอายุ และมีจีพีเอสในตัวไม้เท้า ในอนาคตฟังก์ชันเหล่านี้จะช่วยให้สามารถช่วยเหลือผู้สูงอายุได้อย่างทันท่วงที และป้องกันการหลงทางของผู้สูงอายุอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานสถิติแห่งชาติ. การสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2564, ISSN 1906-2869, 2564.
- [2] นภัทรวรรณ ผ่องใส, อภินันท์ สุทธิวุฒิ และลลิตา กิจวิทย์. การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ภาชนะบรรจุยาเม็ดสำหรับผู้สูงอายุ. ปรียญวารวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2562.
- [3] พรพรรณ เครื่องอรุณรัตน์, อุดมศักดิ์สาริบุตร และธนศ ภิรมย์การ. การศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ช่วยพยุงตัวสำหรับผู้สูงอายุ. วารสารศิลปะศาสตร์ สาขาวิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรมและการออกแบบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2561.
- [4] เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณกุล, โกลัญญา กิจจรณะ, สิริธร สุขสงคราม และสุนิสา คำสุข. การประดิษฐ์รองเท้ากันลื่นตามหลักการยศาสตร์สำหรับผู้สูงอายุ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2561.
- [5] วิไลน์โพธิ์ดักข์. ท่อและอุปกรณ์พีวีซี, ข้อมูลจาก [https:// www.torpv.com/pvc-begin](https://www.torpv.com/pvc-begin). (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 กรกฎาคม 2563), 2563.
- [6] ศติมา สุขสว่าง. Design Thinking คืออะไร, ข้อมูลจาก <https://www.sasimasuk.com/16886644/design-thinking>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 12 มิถุนายน 2563), 2563.

การวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ของเครือข่ายสถานีขนส่งในจังหวัดนครพนม ประเทศไทย: การระบุตำแหน่งสถานีปลายทางที่เหมาะสมที่สุด

Potential Surface Analysis of Bus Terminal Networks in Nakhon Phanom, Thailand: Identifying Optimal Terminal Locations

เมธาวุฒิ สีหามาศย์ กานต์ มุลศรี* ธนิสรา บุตรสิงขรณ์
สาขาวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม
E-mail: k.moonsri@npu.ac.th*

Maytarvut Seehamart, Karn Moonsri*, Tanissara Butsingkorn
Department of Logistics Engineering, Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University
E-mail: k.moonsri@npu.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์การออกแบบโครงข่ายสถานีขนส่งและตำแหน่งสถานีขนส่งจังหวัดนครพนม ประเทศไทย โดยใช้การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ที่มีศักยภาพ การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาศักยภาพของแต่ละโซนภายในโครงข่ายสถานีขนส่งโดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความหนาแน่นของประชากรและความหนาแน่นของจุดสนใจ โดยแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสมได้รับการพัฒนาเพื่อกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมของสถานีขนส่ง ผลการวิเคราะห์พบว่า 3 โซนมีศักยภาพสูงสุดของที่ตั้งสถานีขนส่งและคำนวณศักยภาพสูงสุดรวมได้ 427,755 ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบขนส่งสาธารณะในจังหวัดนครพนม ประเทศไทย

คำสำคัญ: ศักยภาพเชิงพื้นที่, ตำแหน่งสถานีขนส่ง, แบบจำลองจำนวนเต็มเชิงเส้นผสม

Abstract

This paper presents an analysis of bus terminal network design and bus terminal location in Nakhon Phanom, Thailand using potential surface analysis. The study aims to determine the potential of each zone within the bus terminal network by considering factors such as population density and the density of points of interest. A mixed-integer linear programming is developed to determine the optimal position of bus stations. The results of the analysis show that 3 zones have the highest potential for bus terminal locations and the total maximum potential is calculated to be 427,755. The findings of this study can be used to improve the overall efficiency of public transportation systems in Nakhon Phanom, Thailand.

Keywords: Potential Surface, Bus Terminal Locations, Mixed-Integer Linear Programming

1. บทนำ

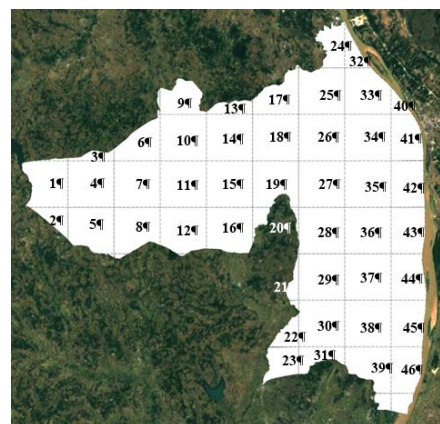
จังหวัดนครพนมเป็นหนึ่งในจังหวัดที่อยู่ในแผนกระตุ้นเศรษฐกิจด้วยโครงการเที่ยวเมืองรอง จากข้อมูลกองเศรษฐกิจการท่องเที่ยวและกีฬา กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬาพบว่า หลังวิกฤตการณ์โควิด 2019 ในช่วงปี 2565 จังหวัดนครพนมมีการฟื้นตัวของนักท่องเที่ยวมากเป็นอันดับ 1 ของภาคอีสานมากถึงร้อยละ 132 มีประชาชนและนักท่องเที่ยวเข้ามาในพื้นที่ มากกว่า 1.5 ล้านคน สร้างรายได้เงินหมุนเวียนสะพัด มากกว่า 1,600 ล้านบาท จากการขยายตัวของนักท่องเที่ยวจึงทำให้มีการดึงดูดนักท่องเที่ยวและยาพาหนะเข้ามาในพื้นที่มากขึ้น รวมถึงการขยายตัวของเมืองและการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อรองรับธุรกิจท่องเที่ยวที่กำลังขยายตัวมีแนวโน้มสูงขึ้น หากไม่มีการบริหารจัดการที่ดีอาจทำให้เกิดปัญหาต่าง ๆ ตามมา อาทิเช่น ปัญหาการจราจรและขนส่ง ปัจจุบันอำเภอเมืองนครพนมยังไม่มีระบบขนส่งสาธารณะให้บริการ ดังนั้นการศึกษาเพื่อนำเสนอแนวทางในการวางตำแหน่งสถานีขนส่งสาธารณะที่เหมาะสมจึงมีความสำคัญในการรองรับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต เพื่อทำการหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของสถานีขนส่งจังหวัดนครพนม จำเป็นต้องรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเมือง รวมถึงข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งปลายทางที่เป็นไปได้และความต้องการใช้บริการขนส่งสาธารณะ รวมไปถึงเครือข่ายการขนส่งของเมือง และสิ่งสำคัญที่ต้องแก้ไขปัญหาคือที่ตั้งสถานีขนส่งในนครพนมนี้ต้องอาศัยความเชี่ยวชาญของนักวางแผนและวิศวกรด้านการขนส่ง ตลอดจนข้อมูลและความร่วมมือจากหน่วยงานท้องถิ่นและผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อนำไปประเมินถึงจุดที่มีความเป็นไปได้สูงสุดในการจัดตั้งสถานีขนส่งและเป็นข้อมูลนำเข้าให้กับวิธีการแม่นยำ (Exact method) หรือวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบมาเพื่อหาทางออกที่เหมาะสมสำหรับปัญหาภายในระยะเวลาที่จำกัด ในบริบทของปัญหาค่าเหมาะสำหรับสถานีขนส่ง วิธีการที่แม่นยำนั้นเกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสถานีขนส่ง

2. พื้นที่ทำการศึกษ

การศึกษาครั้งนี้ใช้พื้นที่อำเภอเมืองนครพนมมาทำการศึกษโดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นตารางกริด (Grid) ซึ่งมีระยะ 5 x 5 กิโลเมตร ทำให้สามารถแบ่งโซนออกเป็น 46 โซน แสดงดังรูปที่ 1 โดยแต่ละโซนถูกระบุให้เป็นตัวแทนผู้สมัคร (Candidate) เพื่อเป็นพื้นที่ในการตั้งสถานีขนส่งสาธารณะ โดยบทความนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาตำแหน่งสถานีขนส่งสาธารณะที่มีศักยภาพรวมมากที่สุด แต่การหาค่าศักยภาพรวมนั้นจำเป็นต้องทราบค่าศักยภาพผู้สมัครเพื่อตั้งสถานีขนส่งสาธารณะของแต่ละโซน (Candidate Potential) เพื่อใช้เป็นข้อมูลรับเข้าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นการศึกษานี้จึงใช้เทคนิคการวิเคราะห์หาค่าศักยภาพเชิงพื้นที่ (Potential Surface Analysis : PSA) มาทำการวิเคราะห์หาค่าศักยภาพเชิงพื้นที่ของแต่ละโซน

3. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

[1] บทความนี้นำเสนอการการทบทวนที่เกี่ยวกับปัญหาค่าเหมาะสำหรับสถานีขนส่ง รวมถึงแบบจำลองต่าง ๆ และแนวทางการแก้ปัญหาที่ได้รับ การเสนอ ผู้เขียนจำแนกแบบจำลองที่มีอยู่ออกเป็นสามประเภท: เชิงกำหนด ความน่าจะเป็น และรวมถึงแนวทางที่แน่นอนและการวิเคราะห์ พฤติกรรม เอกสารฉบับนี้ยังทบทวนการประยุกต์วิธีการต่าง ๆ ใน สถานการณ์จริง และจากการทบทวนวรรณกรรมพบว่าได้มีการประยุกต์ แนวทางของฮิวริสติกหรือเมตาฮิวริสติกและเสนอแนวทางแก้ปัญหา โดยปัญหาค่าเหมาะสำหรับสถานีขนส่งจัดเป็นปัญหา NP-hard [2] ผู้อ่านสามารถอ่านเพิ่มเติมจากงาน [3-7] ซึ่งผู้เขียนได้อธิบายโดยสังเขปดังนี้ [3] นำเสนอโมเดลหลายวัตถุประสงค์สำหรับปัญหาค่าเหมาะสำหรับ สถานีขนส่งที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางทั้งหมดสำหรับ ผู้โดยสาร และเพิ่มรายได้ทั้งหมดของบริษัทรถโดยสาร โดยนำ อัลกอริทึมทางพันธุกรรมเพื่อหาทางออกที่เหมาะสมที่สุด [4] แสดง แนวทางการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์แบบคลุมเครือสำหรับการเลือก ตำแหน่งที่ดีที่สุดสำหรับสถานีขนส่ง โดยใช้เกณฑ์ ได้แก่ ความใกล้ชิดกับใจกลางเมือง, การเข้าถึงและความพร้อมของที่ดิน เพื่อประเมินความ เหมาะสมของสถานที่ต่าง ๆ และแสดงให้เห็นว่าสามารถเลือกตำแหน่งที่ ดีที่สุดสำหรับสถานีขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] นำเสนอแนวทาง ใหม่ในการแก้ปัญหาตำแหน่งสถานีขนส่งโดยใช้อัลกอริทึมการค้นหา พื้นที่ใกล้เคียงแบบแปรผัน ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อลดต้นทุนการเดินทาง ทั้งหมดสำหรับผู้โดยสาร โดยคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ เช่น ความพร้อม ของที่ดินและความใกล้เคียงอาคารผู้โดยสารไปยังใจกลางเมือง และ แสดงให้เห็นว่าสามารถหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสถานีขนส่ง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [6] นำเสนอวิธีการแบบบูรณาการสำหรับการ แก้ปัญหาตำแหน่งสถานีขนส่งและปัญหาการจัดสรร ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อ ค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสถานีขนส่งหลายแห่ง และการ จัดสรรเส้นทางไปยังสถานีขนส่งเหล่านี้ ผู้เขียนได้เสนอแบบโปรแกรม จำนวนเต็มแบบผสมสำหรับปัญหาและแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของ การคำตอบ [7] ได้พัฒนาฮิวริสติกแบบไฮบริดสำหรับปัญหาค่าเหมาะ สำหรับสถานีขนส่งแบบพีซีซี โดยผสมผสานฮิวริสติกเชิงพันธุกรรมกับการ ค้นหาพื้นที่ใกล้เคียง พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถจัดการกับปัญหา ขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 1 การแบ่งโซนในพื้นที่อำเภอเมืองนครพนม

4. วิธีการดำเนินการ

4.1 การวิเคราะห์หาค่าศักยภาพเชิงพื้นที่

สถานีขนส่งสาธารณะสามารถเป็นได้ทั้งจุดเริ่มต้นการเดินทางและจุดสิ้นสุดการเดินทาง ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงตั้งสมมติฐานโดยการนำเอาปัจจัยเชิงพื้นที่ที่ส่งผลต่อการสร้างการเดินทาง (Trip Production) และการดึงดูดการเดินทาง (Trip Attraction) ของแต่ละโซนมาแสดงถึงลักษณะการเดินทางไปมาระหว่างโซนในพื้นที่ทำการศึกษา จากนั้นจึงนำเอาปัจจัยเหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์หาค่าศักยภาพเชิงพื้นที่ในการตั้งสถานีขนส่งสาธารณะของแต่ละโซน แต่เนื่องจากขนาดของแต่ละโซนที่ทำการศึกษามีขนาดที่แตกต่างกัน ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้จึงได้ทำการแปลงค่าปัจจัยที่นำมาทำการศึกษาให้เป็นหน่วยความหนาแน่นต่อพื้นที่ ซึ่งปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์หาค่าศักยภาพเชิงพื้นที่มีดังนี้

- ปัจจัยความหนาแน่นของประชากร (Population density)

คือจำนวนประชากรต่อพื้นที่ของแต่ละโซน โดยโซนใดมีความหนาแน่นของประชากรสูงย่อมก่อให้เกิดการสร้างการเดินทาง (Trip Production) สูงกว่าโซนที่มีความหนาแน่นของประชากรต่ำ [8] คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$D_p = P/Ar \quad (1)$$

โดยที่ D_p คือ ความหนาแน่นของประชากร (คน/ตร.กม.), P คือ จำนวนประชากรในแต่ละโซน (คน), Ar คือขนาดพื้นที่ของแต่ละโซน (ตร.กม.) จากสมการที่ 1 การกำหนดจำนวนประชากรในแต่ละโซน (P) ได้นำเอาข้อมูลการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของประชากร แสดงดังรูปที่ 2 ซึ่งถูกพัฒนาโดย Facebook กับ Center for International Earth Science Information Network โดยใช้ปัญญาประดิษฐ์ประมวลผลข้อมูลสำมะโนร่วมกับข้อมูลอาคารจากภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อกระจายข้อมูลประชากรทั้งหมดไปตามความหนาแน่นของอาคารเพื่อประมาณจำนวนประชากรในระดับความละเอียดที่ 30 ตารางเมตร [9] มาใช้ในการคำนวณความหนาแน่นของประชากรในแต่ละโซน สรุปผลการคำนวณความหนาแน่นของประชากร แสดงดังตารางที่ 1

- ปัจจัยความหนาแน่นของจุดที่น่าสนใจ (Point of interest density) คือจำนวนจุดที่น่าสนใจต่อพื้นที่ของแต่ละโซน อาทิเช่น ร้านอาหาร, ร้านค้า, ห้างสรรพสินค้า, สถานที่ราชการ, สถานที่ท่องเที่ยว, สถานที่นันทนาการ, ศาสนสถาน, สถานศึกษาและสถานที่บริการด้านสุขภาพ เป็นต้น [10] ซึ่งจุดที่น่าสนใจจะเป็นสถานที่ที่ประชากรในพื้นที่ต้องเดินทางไปเพื่อทำกิจกรรมต่าง ๆ โดยโซนใดมีความหนาแน่นของจุดที่น่าสนใจสูงย่อมมีความเป็นไปได้ในการดึงดูดการเดินทาง (Trip Attraction) เข้ามาในโซนสูงกว่าโซนที่มีความหนาแน่นของจุดที่น่าสนใจต่ำ [8] คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$D_{POI} = POI/Ar \quad (2)$$

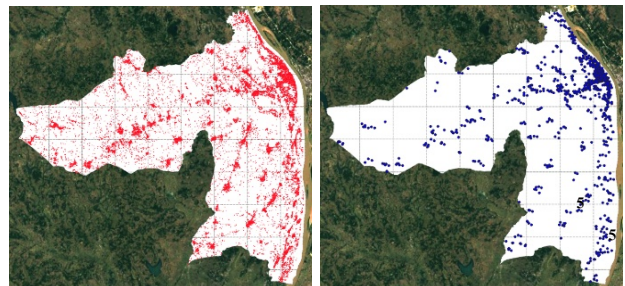
โดยที่ D_{POI} คือ ความหนาแน่นของจุดที่น่าสนใจ (จุด/ตร.กม.), POI (Point of interest) คือ จำนวนจุดที่น่าสนใจในแต่ละโซน (จุด), Ar คือ ขนาดพื้นที่ของแต่ละโซน (ตร.กม.) จากสมการที่ 2 จำนวนจุดที่น่าสนใจในแต่ละโซนถูกรวบรวมข้อมูลจาก Longdo Map ซึ่งเป็นผู้ให้บริการแผนที่ออนไลน์ที่มีการเผยแพร่ข้อมูล POI ให้นำมาใช้โดยไม่คิดค่าบริการ มาใช้ในการคำนวณความหนาแน่นของจุดที่น่าสนใจในแต่ละโซน ข้อมูลที่ถูกรวบรวม แสดงดังรูปที่ 2 สรุปผลการคำนวณความหนาแน่นของจุดที่น่าสนใจ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปผลการคำนวณความหนาแน่นของปัจจัย

ปัจจัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
D_p	16.98	726.99	133.01	131.27
D_{POI}	0	33.72	1.87	5.44

(หน่วย : ต่อตารางกิโลเมตร)

จากตารางที่ 1 พบว่าโซน 21 มีความหนาแน่นของประชากรต่ำที่สุด และโซน 40 มีความหนาแน่นของประชากรและความหนาแน่นจุดที่น่าสนใจสูงที่สุด โดยค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของประชากรและจุดที่น่าสนใจของทั้ง 46 โซนมีค่าเท่ากับ 133.01 คน/ตร.กม. และ 1.87 จุด/ตร.กม. ตามลำดับ ซึ่งความหนาแน่นของแต่ละปัจจัยในแต่ละโซนจะถูกนำไปคำนวณหาค่าศักยภาพเชิงพื้นที่โดยสมการที่ (3) ซึ่งถูกแทนให้เป็น x_j



รูปที่ 2 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของจำนวนประชากรและการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของจุดที่น่าสนใจ ตามลำดับ

หลังจากการคำนวณความหนาแน่นของปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้กล่าวมา ต้องทำการปรับค่าผลจากการคำนวณของทุกปัจจัยให้อยู่ในช่วงคะแนนเดียวกัน (Normalization) ก่อนนำไปวิเคราะห์หาค่าศักยภาพเชิงพื้นที่ของแต่ละโซน โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ปรับค่าช่วงคะแนนของแต่ละปัจจัย (Criteria Score) ให้อยู่ในช่วง [0-1]

ขั้นตอนต่อไปเป็นการกำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย (Weighting) โดยปัจจัยใดมีความสำคัญมากก็ได้รับค่าน้ำหนักมาก และปัจจัยใดมีความสำคัญน้อยก็ได้รับค่าน้ำหนักน้อย ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดค่าน้ำหนักความสำคัญทั้ง 2 ปัจจัยให้มีความสำคัญเท่ากัน เนื่องจากทั้งสองปัจจัยได้ถูกนำมาอธิบายถึงลักษณะการ

เดินทางไประหว่างกันของแต่ละโชนในพื้นที่การศึกษา จึงสามารถอนุมานได้ว่าทั้งสองปัจจัยมีค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากัน

จากนั้นใช้สมการ Simple Additive Weighting Methods (SAW) [11] เพื่อคำนวณหาค่าคะแนนศักยภาพของแต่ละโชนเพื่อตั้งสถานีขนส่งสาธารณะ คำนวณได้จากสมการที่ 3

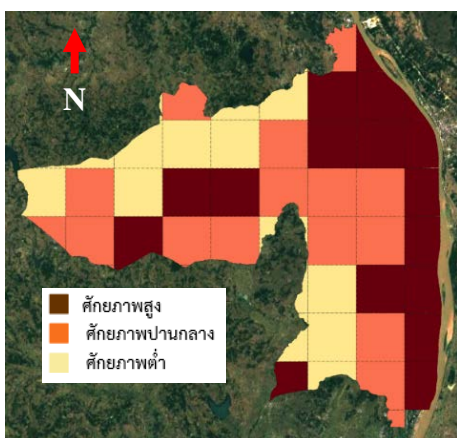
$$d_j = \sum_{j \in N} w_j x_j \quad (3)$$

โดยที่ d_j คือ ค่าคะแนนศักยภาพผู้สมัครเพื่อตั้งสถานีขนส่งสาธารณะของแต่ละโชน (Candidate Potential), w_j คือ ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย, x_j คือ ค่าช่วงคะแนนของแต่ละปัจจัย (Criteria Score) สรุปผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ 2 และได้ทำการกระจายตัวเชิงพื้นที่ที่ค่าคะแนนศักยภาพเพื่อตั้งสถานีขนส่งสาธารณะของแต่ละโชน โดยได้แบ่งระดับค่าศักยภาพของแต่ละโชนออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้ โชนที่มีศักยภาพต่ำ โชนที่มีศักยภาพปานกลาง และโชนที่มีศักยภาพสูง แสดงดังรูปที่ 3

ตารางที่ 2 สรุปผลการคำนวณค่าคะแนนศักยภาพ

ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.0126	1.0	0.1191	0.1650

จากตารางที่ 2 พบว่าโชน 40 มีค่าคะแนนศักยภาพเพื่อตั้งสถานีขนส่งสาธารณะ (Candidate Potential) สูงที่สุด และโชน 31 มีค่าคะแนนศักยภาพต่ำที่สุด ซึ่งค่าคะแนนศักยภาพของแต่ละโชนจะถูกนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าสู่แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Math model) ซึ่งถูกแทนให้เป็น d_j ในสมการที่ (4)



รูปที่ 3 การกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าคะแนนศักยภาพ

4.2 การวิเคราะห์หาระยะทางระหว่างโชน

หนึ่งในข้อมูลนำเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการศึกษาครั้งนี้ คือระยะทางระหว่างโชน ซึ่งถูกแทนให้เป็น c_{ij} ในสมการที่ (4) โดย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลโครงข่ายถนนในเขตอำเภอเมืองนครพนม และพื้นที่รอบข้างจาก OpenStreetMap มาเป็นเส้นเชื่อมต่อระหว่างโชน (Links) และเพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์การศึกษาครั้งนี้ได้สมมติให้จุดศูนย์กลางของแต่ละโชนเชื่อมต่อกับโครงข่ายด้วยเส้นเชื่อมต่อสมมติ (Dummy links) ในกรณีนี้จุดศูนย์กลางของแต่ละโชนถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า จุดศูนย์กลางร่วม (Centroid nodes) [12] จากนั้นทำการวิเคราะห์โครงข่ายเพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุด ทั้งขาไปและขากลับระหว่างโชนทั้งหมด ในโปรแกรม QGIS ซึ่งเป็นโปรแกรมประเภทจัดการข้อมูล GIS โดยใช้จุดศูนย์กลางร่วมของแต่ละโชนเป็นจุดอ้างอิงในการวัดระยะห่างระหว่างโชน [13] ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5

4.3 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ปัญหาการกำหนดสถานีขนส่งนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงเครือข่ายเส้นทางถนนและจำนวนสถานีขนส่งที่ต้องการ จึงจำเป็นต้องทำการพัฒนาแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม เพื่อเป็นการหาค่าเหมาะสมให้กับการกำหนดสถานีขนส่งสาธารณะสูงสุดให้กับจังหวัดนครพนม โดยมีดัชนี, ตัวแปร, และพารามิเตอร์แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงดัชนี, ตัวแปรและพารามิเตอร์

ดัชนี, ตัวแปรและพารามิเตอร์	ความหมาย
J	เซตของจำนวนโชนของเส้นทาง
I	เซตย่อยของ J ที่เป็นโชนของสถานีขนส่ง
J_i^*	เซตย่อยของ J ที่โชนทั้งหมดที่สามารถให้บริการได้จากโชน $i \{c_{ij} \leq r\}$
r	ค่าคงที่ของรัศมีของพื้นที่ใกล้เคียง
c_{ij}	ระยะทางจากโชน i ไป j
d_j	ศักยภาพของโชน j
k	จำนวนสถานีขนส่งที่ต้องการ
$f(c_{ij})$	ฟังก์ชันการลดแบบเอกซ์โพเนนเชียลของ $c_{ij} (f(c_{ij}) = e^{-c_{ij}})$
M	ค่าตัวเลขจำนวนมาก
ตัวแปรตัดสินใจ	
x_{ij}	ปริมาณของ $j \in J_i^*$ ที่ได้จาก $i \in I$
y_i	ไบนารี $y_i = 1$ ถ้า $i \in I$ ถูกเลือกเป็นสถานีขนส่ง, อื่น $y_i = 0$

การกำหนดเส้นทางที่เป็นไปได้ของระยะทางจาก i ไป j นั้นต้องมีระยะห่างน้อยกว่าเท่ากับรัศมีของพื้นที่ใกล้เคียง r เพื่อคำนึงถึงระยะทางที่เหมาะสมในการกำหนดสถานีขนส่ง และศักยภาพของโชน $j (d_j)$ จากสมการที่ (3) ซึ่งแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม แสดงดังต่อไปนี้

$$\text{Max} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i^*} d_j f(c_{ij}) x_{ij} \quad (4)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{i \in I: j \in J_i^*} x_{ij} \leq 1 \quad \forall j \in J - I \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J_i^*} x_{ij} \leq M y_i \quad \forall i \in I \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} y_i = k \quad (7)$$

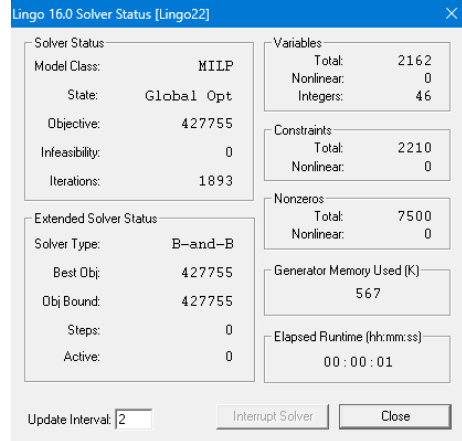
$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J_i^* \quad (8)$$

$$y_i = 0, 1 \quad \forall i \in I \quad (9)$$

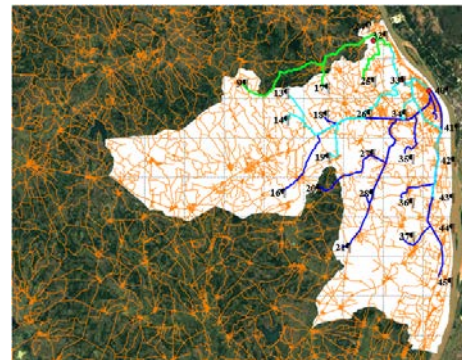
สมการที่ (4) สมการวัตถุประสงค์เพื่อให้ศักยภาพในการกำหนดสถานีขนส่งสูงสุดโดยที่ f แสดงถึงฟังก์ชันที่ลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียลเนื่องจากความจริงที่ระยะทางที่เพิ่มขึ้นต้องส่งผลให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ควรลดลง สมการข้อจำกัดที่ (5) แสดงถึงจำนวนของโหนดที่ถูกเลือกให้บริการที่สถานีขนส่งไม่เกินหนึ่งสถานีเท่านั้น ซึ่งอาจถูกเลือกหรือไม่เลือกก็ได้ สมการข้อจำกัดที่ (6) แสดงถึงกรณีที่ถ้าโหนด i ถูกเลือกให้เป็นสถานีขนส่ง ($y_i = 1$) ที่สามารถให้บริการโหนดอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียงได้ โดยต้องมาค่าเท่ากับจำนวนสถานีขนส่งที่ต้องการ (k) สมการข้อจำกัดที่ (7) จำนวนโหนดที่ถูกเลือกเป็นสถานีขนส่งต้องไม่เกินจำนวนสถานีขนส่งที่ต้องการ สมการข้อจำกัดที่ (8) และ (9) แสดงข้อจำกัดพื้นฐานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4. ผลการทดลอง

การนำข้อมูลนำเข้าดังที่กล่าวมาข้างบน เพื่อทำการหาตำแหน่งการกำหนดสถานีขนส่งเพื่อให้ศักยภาพรวมสูงสุด โดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผ่านโปรแกรม Lingo v16 และมีการกำหนดค่าคงที่ของรัศมีของพื้นที่ใกล้เคียง r เท่ากับค่าเฉลี่ยของระยะทั้งหมด 46 โหนด และจำนวนสถานีขนส่งที่ต้องการเท่ากับ 3 จุด เนื่องจากรูปที่ 3 สามารถแบ่งออกเป็นสามกลุ่มใหญ่ของการกระจายตัวเชิงพื้นที่ของค่าคะแนนศักยภาพโดยผลลัพธ์ที่ได้จากการรันโปรแกรม Lingo v16 แสดงดังรูปที่ 4 ตำแหน่งของสถานีขนส่งที่เหมาะสมแสดงดังรูป 5 และตารางที่ 4



รูปที่ 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการรันโปรแกรม Lingo v16



รูปที่ 5 เครือข่ายถนนและตำแหน่งของสถานีขนส่งที่เหมาะสม

ตารางที่ 4 แสดงการถูกใช้บริการของสถานีขนส่ง

ตำแหน่งของสถานีขนส่ง (d_j)	โหนดที่รับบริการ
24 (0.09) (เขียว)	[9,17,25,32]
33 (0.21) (ฟ้า)	[13,14,19,24,34,40,43]
40 (1.0) (น้ำเงิน)	[16,18,20,21,26,27,28,33,35,36,37,41,42,44,45]

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

บทความนี้ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถหาตำแหน่งสถานีขนส่งสาธารณะให้กับอำเภอเมือง จังหวัดนครพนม โดยทั้ง 3 โหนดที่มีศักยภาพสูงสุด ที่ได้พิจารณากรอบระยะทางที่เหมาะสมตามรัศมีของพื้นที่ใกล้เคียงและเนื่องจากข้อจำกัดของโปรแกรม Lingo ในการอ่านค่าทศนิยมจึงจำเป็นต้องทำการคูณ 10^6 ในฟังก์ชันการลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล โดยมีศักยภาพสูงสุดรวมเท่ากับ 427,755 และสถานีที่โหนด 24,33 และ 40 ดังนั้นหารระยะยิ่งไกลย่อมส่งผลต่อการลดลงของศักยภาพของโหนดของสถานีขนส่งให้บริการ นอกจากนั้นปัญหาการหาสถานีขนส่งสาธารณะควรมีการคำนวณความต้องการจำนวนสถานีขนส่งที่ต้องการผ่านแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รวมถึงการแบ่งสายการขนส่งและการจัดเส้นทางขนส่งของแต่ละสายทั้งการเชื่อมกันในแต่ละสถานีเพื่อให้เกิดความพึงพอใจ

สูงสุดทั้งด้านต้นทุนและเวลา จึงควรพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พิจารณาเงื่อนไขและข้อจำกัดเหล่านี้ด้วยในอนาคต

ในส่วนการประเมินศักยภาพเชิงพื้นที่พบว่าพื้นที่ที่มีศักยภาพสูงส่วนใหญ่เป็นพื้นที่บริเวณริมแม่น้ำโขงหรือทิศตะวันออกของเมืองและค่าศักยภาพมีแนวโน้มลดหลั่นลงไปในทางทิศตะวันตกของเมืองแต่บ่อยครั้งที่ผู้ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เข้าใจว่าผลทางกายภาพที่ได้จากการวิเคราะห์ในระบบ GIS คือคำตอบสุดท้ายที่สามารถนำไปใช้ได้เลย แต่เมื่อลองมือทำการวิเคราะห์แล้วพบว่าคำตอบที่เป็นพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดนั้นอาจจะมีหลายคำตอบหรือหลายพื้นที่ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการตัดสินใจร่วมกับการวิเคราะห์ในระบบ GIS ว่าจะเลือกใช้คำตอบใดได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ในครั้งนี้ได้ใช้ปัจจัยเชิงพื้นที่เพียง 2 ปัจจัยมาทำการวิเคราะห์ ดังนั้นการศึกษาในอนาคตควรเพิ่มปัจจัยที่นำมาทำการวิเคราะห์ศักยภาพเชิงพื้นที่ในการเลือกตำแหน่งสถานีขนส่งสาธารณะ เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อาทิเช่น ความหนาแน่นพื้นที่ที่รกร้างว่างเปล่า ความหนาแน่นการจ้างงาน มูลค่าที่ดิน ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและวัฒนธรรม ความต้องการของคนในพื้นที่ ลักษณะการเดินทางจากต้นทางถึงปลายทางของคนในพื้นที่ (Origin-Destination: O-D) เป็นต้น รวมถึงการรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่โดยเฉพาะข้อมูลจุดที่น่าสนใจในการศึกษาในอนาคตควรเพิ่มแหล่งรวบรวมข้อมูลจุดที่น่าสนใจเพื่อให้มีความครบถ้วนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น อาทิเช่น Google map , Bing map เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Farahani, R. Z., Fallah, S., Ruiz, R., Hosseini, S., & Asgari, N. (2019). OR models in urban service facility location: A critical review of applications and future developments. *European journal of operational research*, 276(1), 1-27.
- [2] Rahdar, S., Ghanbari, R., & Ghorbani-Moghadam, K. (2022). Tabu search and variable neighborhood search algorithms for solving interval bus terminal location problem. *Applied Soft Computing*, 116, 108367.
- [3] Taghavi, A., Ghanbari, R., Ghorbani-Moghadam, K., Davoodi, A., & Emrouznejad, A. (2022). A genetic algorithm for solving bus terminal location problem using data envelopment analysis with multi-objective programming. *Annals of Operations Research*, 309(1), 259-276.
- [4] Akin, D., & Kara, D. (2020). Multicriteria analysis of planned intercity bus terminals in the metropolitan city of Istanbul, Turkey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 132, 465-489.
- [5] DjeniĆ, A., RadojiĆiĆ, N., MariĆ, M., & MladenoviĆ, M. (2016). Parallel VNS for bus terminal location problem. *Applied Soft Computing*, 42, 448-458.
- [6] Ghanbari, R., & Mahdavi-Amiri, N. (2011). Solving bus terminal location problems using evolutionary algorithms. *Applied soft computing*, 11(1), 991-999.
- [7] Babaie-Kafaki, S., Ghanbari, R., & Mahdavi-Amiri, N. (2016). Hybridizations of genetic algorithms and neighborhood search metaheuristics for fuzzy bus terminal location problems. *Applied Soft Computing*, 46, 220-229.
- [8] de Dios Ortúzar, J., & Willumsen, L. G. (2011). *Modelling transport*. John Wiley & sons.
- [9] Tiecke, T. G., Liu, X., Zhang, A., Gros, A., Li, N., Yetman, G., & Dang, H. A. H. (2017). Mapping the world population one building at a time. *arXiv preprint arXiv:1712.05839*.
- [10] Melikov, P., Kho, J., Fighiera, V., Alhasoun, F., Audiffred, J., Mateos, J., & Gonzalez, M. C. (2021). Characterizing Urban Mobility Patterns: A Case Study of Mexico City. In (pp. 153-170).
- [11] Vafaei, N., Ribeiro, R. A., & Camarinha-Matos, L. M. (2022). Assessing Normalization Techniques for Simple Additive Weighting Method. *Procedia Computer Science*, 199, 1229-1236.
- [12] Jafari, E., Gemar, M., Ruiz-Juri, N., & Duthie, J. (2015). An Investigation of Centroid Connector Placement for Advanced Traffic Assignment Models With Added Network Detail. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 2498, 10.3141/2498-03
- [13] Ilayaraja, K. (2013). Road network analysis in Neyveli Township, Cuddalore district by using Quantum GIS. *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 4(1), 56-61.

พฤติกรรมของค่าความชื้น ความหวาน และสีส้มของกล้วยแผ่นต่อระยะเวลาการตากแดดธรรมชาติ Behavior of moisture content, sweetness and color of banana sheets on natural sun drying time.

วีระพล ทับทิมดี^{1*} บรรพจน์ มีสา² ประเวช เชื้อวงษ์³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิตอัตโนมัติ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

E-mail: weerapol@techno.rru.ac.th*

Weerapol Taptimdee^{1*}, Banpot Meesa², Prawach Chourwong³

¹Department of Automated Manufacturing Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

²Department of Industrial Manufacturing Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

³Master of Science Program in Industrial Management, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

E-mail: weerapol@techno.rru.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น ค่าความหวาน และสีส้มของกล้วยแผ่นเมื่อตากจนแห้ง ตามขั้นตอนการทำกล้วยแผ่น โดยเริ่มตั้งแต่การนำกล้วยที่มีความสุกพอดีมาปอกเปลือก แช่น้ำเกลือ จากนั้นนำมาทับให้มีความหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร จากนั้นจึงนำกล้วยแผ่นมาตากแดดตามธรรมชาติจนแห้ง โดยแบ่งเวลาการตากเป็น 2 ช่วง คือช่วงบ่าย อุณหภูมิในการตากแดดอยู่ในช่วง 30.75-44.44 องศาเซลเซียส และช่วงเช้าวันถัดไป อุณหภูมิในการตากแดดอยู่ในช่วง 29.5-41.63 องศาเซลเซียส ผลการศึกษาพบว่า น้ำหนักของกล้วยแผ่นจะลดลงเมื่อใช้เวลาในการตากกล้วยนานขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าความชื้นที่ลดลง ค่าความชื้นก่อนตากจะมีค่า 69.48 %d.b. และจะลดลงจนถึง 21.84 %d.b. เมื่อตากจนครบ 9 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 68.57 ค่าความหวานของกล้วยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อตากจนแห้ง ค่าความหวานของกล้วยแผ่นเริ่มต้นที่ 11.8 %Brix และเพิ่มสูงขึ้นเป็น 24.16 %Brix คิดเป็นร้อยละ 104.75 กล้วยน้ำหว้ามะลิอ่อนจะให้สีส้มที่สวยงามเหมาะแก่การนำมาทำเป็นกล้วยแผ่น โดยสีที่ได้จะมีสีเหลืองทองปนน้ำตาลในช่วงแรกและจะค่อยๆ เข้มขึ้นเมื่อตากจนแห้ง

คำสำคัญ: กล้วยแผ่น, ค่าความชื้น, ค่าความหวาน

Abstract

The objective of this research was to study the change behavior of moisture content, sweetness and color of dried banana sheets. According to the process of making banana sheets, it starts with peeling ripe bananas, soaking them in salt water, and then overlapping them to a thickness of about 2 millimeters. By dividing the drying time into 2 periods, the afternoon temperature was in the range of 30.75-44.44 degrees Celsius and the next morning, the temperature was in the range of 29.5-41.63 degrees Celsius. The results of the study showed that the weight of the banana sheets decreased with longer drying time corresponding to the lower moisture content. The moisture content before drying was 69.48 %d.b. and decreased to 21.84 %d.b. after drying for 9 hours, representing 68.57%. The sweetness of the banana sheets will gradually increase when dried in the sunshine. The sweetness value of banana sheets was started at 11.8 %Brix and increased to 24.16 %Brix, representing 104.75%. Nam Wah Mali Ong bananas will give a beautiful color suitable for making banana sheets. The resulting color is golden-Brown at first time and gradually becomes more intense as it dried in the sunshine.

Keywords: Banana sheets, Moisture content, Sweetness value

1. บทนำ

กล้วยเป็นผลไม้ที่ปลูกในทุกภาคของประเทศไทย นิยมปลูกกันมากในพื้นที่ว่างรอบๆบ้าน ในสวนหรือปลูกแซมในสวนผลไม้ชนิดอื่นเนื่องจากปลูกง่าย ให้ผลผลิตเร็ว และทุกส่วนของกล้วยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ใบใช้ห่ออาหารและขนมต่างๆ ลำต้นใช้เป็นอาหารสัตว์ และผลของกล้วยนำมารับประทาน เป็นต้น กล้วยที่นิยมปลูกในประเทศไทยมีหลากหลายสายพันธุ์ เช่น กล้วยหอมทอง กล้วยหอมเขียว กล้วยน้ำว้า กล้วยไข่ กล้วยหักมุก กล้วยเล็บมือนาง เป็นต้น กล้วยนอกจากจะนิยมกินผลสุกแล้ว ยังนิยมนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การทำกล้วยทอด กล้วยตาก กล้วยฉาบ กล้วยแผ่น เป็นต้น กล้วยแผ่นเป็นอีกผลิตภัณฑ์หนึ่งที่คนไทยนิยมบริโภคกันมาอย่างยาวนาน โดยทั่วไปกระบวนการผลิตกล้วยแผ่นนั้นจะเป็นการลดความชื้นที่อยู่ในกล้วยแผ่นลงโดยอาศัยพลังงานความร้อนจากแหล่งต่างๆ เช่น พลังงานธรรมชาติจากแสงอาทิตย์ [1] ตู้อบแห้งแบบลมร้อน [2] พลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับแสงอินฟราเรด [3-4] เป็นต้น กล้วยจะถูกตากจนแห้งสนิทเพื่อป้องกันเชื้อราและสามารถเก็บรักษาไว้รับประทานได้นานขึ้น

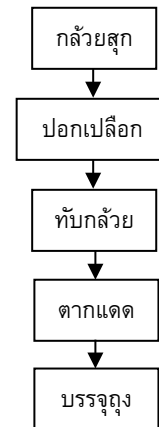
กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตเกษตร ตั้งอยู่ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นสถานที่แปรรูปผลผลิตเกษตรโดยผลิตสินค้าหลายอย่างด้วยกัน เช่น มะพร้าวแก้ว กล้วยตาก กล้วยเบรคแตก และกล้วยแผ่น เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ได้เลือกการผลิตกล้วยแผ่นเป็นกรณีศึกษา ปริมาณในการผลิตกล้วยแผ่นในแต่ละเดือนจะไม่เท่ากัน ทั้งนี้ปริมาณในการผลิตกล้วยแผ่นจะแปรผันตามคำสั่งซื้อของลูกค้าและจำนวนกล้วยที่มีในช่วงเวลานั้น กระบวนการผลิตจะเริ่มต้นจากการนำกล้วยที่มีความสุกพอดีมาปอกเปลือกและนำมาทับให้เป็นแผ่นบางตามต้องการ จากนั้นจึงนำมาเรียงใส่ถาดนำไปตากแดดจนแห้งเป็นเวลา 6-9 ชั่วโมง (ขึ้นอยู่กับปริมาณแดด) จึงนำมาบรรจุลงกล่องเพื่อรอจำหน่าย [5] จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ในขั้นตอนการตากกล้วยแผ่นจะใช้วิธีการตรวจสอบว่ากล้วยแผ่นแห้งหรือยังโดยอาศัยประสบการณ์และความเชี่ยวชาญรายบุคคลเท่านั้น จึงทำให้เกิดปัญหาการผลิต ส่งผลให้การควบคุมคุณภาพของสินค้าทำได้ยาก เช่น กล้วยหลังจากการตากมีความแห้งไม่เท่ากัน ส่งผลต่อระยะเวลาในการเก็บรักษาและอาจเกิดเชื้อราขึ้นได้ สีของกล้วยหลังตากแห้งไม่สม่ำเสมอ รสชาติ (ความหวาน) แตกต่างกันไป เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัยร่วมกับสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนจึงเล็งเห็นความสำคัญของการควบคุมคุณภาพของกล้วยแผ่น โดยศึกษาหาแนวทางในการควบคุมคุณภาพของการตากกล้วยแผ่นให้สม่ำเสมอ ด้วยการศึกษาระยะเวลาในการตากที่เหมาะสมรวมถึงค่าความหวานหลังการตากแห้งและความสวยงามของสีกล้วยแผ่นหลังตากแห้งอีกด้วย

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 ขั้นตอนการผลิตกล้วยแผ่น

ขั้นตอนการผลิตกล้วยแผ่น (รูปที่ 1) เริ่มต้นจากนำกล้วยสุก (กล้วยแก่จัด ที่ผ่านการบ่ม 4-7 วัน จนเปลือกมีสีเหลืองปนจุดสีน้ำตาลและเริ่มมีกลิ่นหอม ดังรูปที่ 2) มาปอกเปลือก โดยกล้วยที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ กล้วยน้ำว้ามะลิอ่อน ซึ่งต้องเป็นกล้วยที่แก่จัดนำมาบ่มให้มีความสุกสม่ำเสมอ จากนั้นนำมาปอกเปลือกแช่ในน้ำเกลือเพื่อป้องกันไม่ให้กล้วยดำ หลังจากแช่กล้วยในน้ำเกลือสักพักจึงนำขึ้นมาสะเด็ดน้ำและทำการทับให้เป็นแผ่นบางให้มีความหนาโดยประมาณที่ 2 มิลลิเมตร กล้วย 1 ผลจะทับได้กล้วยแผ่น 1 แผ่น จากนั้นนำกล้วยมาตากแดดโดยตากบนตะแกรงที่มีลักษณะเป็นรูรั้งผึ้ง และมีถุงพลาสติกรองอีกชั้นหนึ่ง (รูปที่ 3) จนแห้งสนิทจึงนำมาชั่งและบรรจุลง กล้วยในแต่ละผลจะถูกชั่งน้ำหนักหลังทับและวัดค่าความหวานของกล้วย โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 30 ตัวอย่าง ผลที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลด้วยโปรแกรมทางสถิติ



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตกล้วยแผ่น



รูปที่ 2 ผลกล้วยน้ำว้ามะลิอ่อนสุก



รูปที่ 3 การตากกล้วยแผ่น

2.2 ปริมาณความชื้น

หลังจากกล้วยถูกหีบแล้ว กล้วยแผ่นจะถูกนำมาตากแดด โดยเวลาในการตากแดดแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลาคือ ในช่วงที่ 1 กล้วยแผ่นจะถูกตากแดดเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้ผิวหน้าแห้ง จากนั้นจึงนำมาเก็บในหีบเป็นเวลา 1 คืนเพื่อให้กล้วยเซ็ดตัวและลอกง่าย และเริ่มตากอีกครั้งในวันต่อมา โดยก่อนตากจะลอกกล้วยแผ่นออกจากพลาสติกและวางพลิกอีกด้านขึ้นเพื่อให้ผิวหน้าแห้ง

การวัดปริมาณความชื้นของกล้วยแผ่นจะมีการบันทึกน้ำหนักของกล้วยแผ่นหลังการหีบ (ก่อนตาก) และน้ำหนักของกล้วยแผ่นหลังการตากแห้ง โดยทำการชั่งน้ำหนักในระหว่างตากแห้งทุกๆ 1 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 50 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นเก็บ 10 ช่วงเวลา (ทุก 1 ชั่วโมง) โดยตรวจสอบซ้ำ ช่วงเวลาละ 5 ตัวอย่าง การคำนวณค่าความชื้นของกล้วยแผ่นจะดำเนินการตามมาตรฐาน AOAC International (The Association of Analytical Communities International) [6] การวัดปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis) [7-8] ดังสมการ (1)

$$MC = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ MC = ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง (%d.b.) w = น้ำหนัก ณ เวลาใดๆ (g) และ d = น้ำหนักแห้ง (g)

2.3 การวัดค่าความหวาน

การวัดค่าความหวานของกล้วยจะใช้เครื่องวัดความหวานชนิดมือถือ (Handheld Refractometer) ยี่ห้อ OPTIK รุ่น B-32 ช่วงการวัด 0-32 %Brix ความแม่นยำ ± 0.2 มีหน่วยวัดเป็น %Brix ก่อนเริ่มต้นการวัดค่าความหวาน ควรปรับตั้งค่าเครื่องมือน้ำตาลกับน้ำกลั่นบริสุทธิ์เสียก่อน เพื่อให้เครื่องมือมีความเที่ยงตรงและแม่นยำที่สุด ขั้นตอนการวัดเริ่มจากการนำกล้วยมาทำการบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมกับน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:1 คนให้เข้ากัน จากนั้นนำมาหยดลงบนแผ่นปริซึมของเครื่องวัดความหวานแล้วอ่านค่าสเกลบนแถบแสดงค่าความหวาน นำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ การทดสอบค่าความหวานของกล้วยจะเก็บข้อมูลทั้งก่อนและหลังจากการตากแดดทุกๆ 1 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 50 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นเก็บ 10 ช่วงเวลา โดยตรวจสอบซ้ำ ช่วงเวลาละ 5 ตัวอย่าง

3. ผลการทดลอง

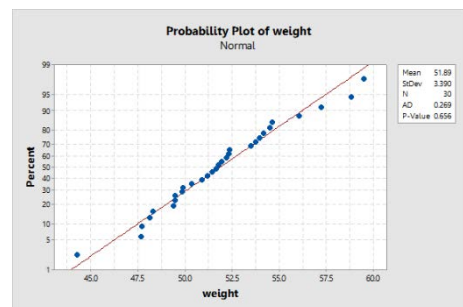
3.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูล

กล้วยน้ำหว้ามะลิอ่องจำนวน 30 ลูก จะถูกหีบก่อนนำมาซึ่งน้ำหนักและวัดความหวาน (ตารางที่ 1) เพื่อวิเคราะห์การกระจายตัวของข้อมูลผลการวิเคราะห์ (รูปที่ 4-5) พบว่า ค่าน้ำหนักและค่าความหวานของกล้วยแผ่นมีการกระจายตัวอย่างปกติ เนื่องจากค่า P-value ของน้ำหนักและความหวานของกล้วยแผ่นมีค่า 0.656 และ 0.362 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ข้อมูลจึงมี

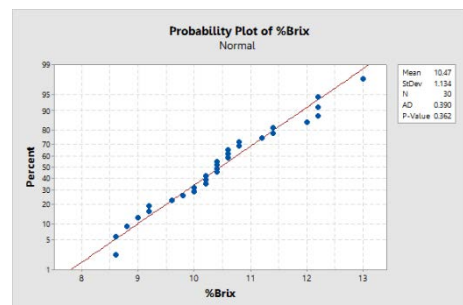
การแจกแจงแบบปกติ ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักกล้วยแผ่นอยู่ที่ 51.89 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 3.39 กรัม และ ค่าเฉลี่ยของความหวานกล้วยแผ่นอยู่ที่ 10.47 กรัม ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ 1.134 กรัม

ตารางที่ 1 น้ำหนักกล้วยและค่าความหวาน (ก่อนตากแดด)

	น้ำหนักกล้วย (g)	%Brix		น้ำหนักกล้วย (g)	%Brix
1	53.52	9.2	16	54.65	12.2
2	51.97	10.4	17	49.46	10.4
3	51.79	10.2	18	48.13	10.8
4	49.46	10.0	19	59.52	13.0
5	44.28	9.2	20	51.45	10.2
6	51.67	8.8	21	50.34	12.0
7	50.91	8.6	22	47.73	10.8
8	48.28	11.4	23	52.35	9.8
9	56.05	11.4	24	47.69	11.2
10	51.21	10.4	25	49.90	10.4
11	54.17	9.0	26	57.24	10.6
12	52.20	12.2	27	58.83	12.2
13	54.52	8.6	28	52.34	9.6
14	49.85	10.2	29	53.95	10.0
15	53.77	10.6	30	49.38	10.6
ค่าเฉลี่ยน้ำหนัก	51.89 g	ค่าเฉลี่ย (%Brix)	10.47		



รูปที่ 4 การแจกแจงแบบปกติของน้ำหนักกล้วยแผ่น



รูปที่ 5 การแจกแจงแบบปกติของค่าความหวานกล้วย

3.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

การชั่งน้ำหนักกล้วยแผ่นจะชั่งน้ำหนักทุกๆ 1 ชั่วโมง ผลค่าน้ำหนักของกล้วยแผ่นหลังตากแดดในช่วงวันที่ 1 (ตารางที่ 2) พบว่าวันที่ทำการทดลอง ท้องฟ้ามีลักษณะแจ่มใส ไม่มีเมฆบดบัง อุณหภูมิในการตากแดดอยู่ในช่วง 30.75-44.44 องศาเซลเซียส ซึ่งค่อนข้างสูงเนื่องจากเป็นช่วงเวลาบ่าย ค่าน้ำหนักเฉลี่ยของกล้วยแผ่นจะลดลงเมื่อเวลาในการตากแดดนานขึ้น โดยในชั่วโมงแรกค่าน้ำหนักจะลดลงมากที่สุด สอดคล้องกับค่าความชื้นที่ลดลงและค่าอุณหภูมิที่สูงขึ้น ค่าความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ เมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากในระหว่างตากแห้งจะเกิดการถ่ายเทความร้อนของอากาศไปยังผิวของกล้วยตากทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและน้ำจะระเหยออกไป ทำให้ปริมาณความชื้นลดลง

ผลค่าน้ำหนักหลังตากแดดในช่วงที่ 2 (ตารางที่ 3) พบว่า ท้องฟ้ายังคงมีลักษณะแจ่มใส ไม่มีเมฆบดบัง อุณหภูมิในการตากอยู่ในช่วง 29.5-41.63 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าการทดลองในช่วงวันที่ 1 เนื่องจากเป็นช่วงเวลาเช้าของอีกวัน ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและความชื้นยังคงลดลงเหมือนช่วงที่ 1 แต่ค่าจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ อย่างมีนัยสำคัญ (รูปที่ 6) ค่าความชื้นก่อนตากจะมีค่า 69.48 %d.b. และลดลงจนถึง 21.84 %d.b. เมื่อตากจนครบ 9 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 68.57%

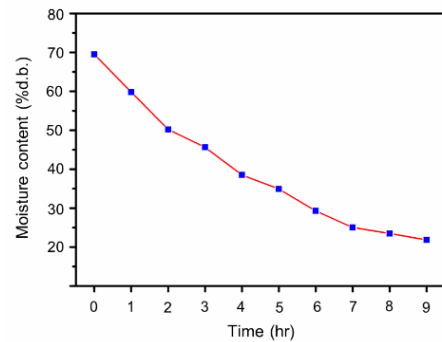
ตารางที่ 2 ค่าน้ำหนักกล้วยแผ่นหลังจากตากแดดในช่วงวันที่ 1

ตัวอย่างที่	เวลาในการตาก (ชม.)				
	0	1	2	3	4
1	53.52	40.26	33.16	30.61	29.76
2	51.97	37.94	30.28	27.79	27.00
3	51.79	36.70	29.42	26.83	26.07
4	49.46	37.48	30.39	27.77	27.02
5	44.28	38.19	30.60	27.89	27.09
ค่าเฉลี่ย	50.20	38.11	30.77	28.18	24.92
อุณหภูมิ (°C)	42.19	44.44	42.75	41.0	30.75
%MC	69.48	59.80	50.21	45.64	38.52

ตารางที่ 3 ค่าน้ำหนักกล้วยแผ่นหลังจากตากแดดในช่วงวันที่ 2

ตัวอย่างที่	เวลาในการตาก (ชม.)				
	5	6	7	8	9
1	25.26	23.19	22.06	21.69	21.12
2	23.46	21.72	20.65	20.20	19.87
3	22.45	20.59	18.40	17.92	17.63
4	23.30	21.49	20.79	20.54	20.15
5	23.19	21.31	20.26	19.76	19.25
ค่าเฉลี่ย	23.53	21.66	20.43	20.06	19.60

อุณหภูมิ (°C)	29.5	30.75	39.19	37.0	41.63
%MC	34.89	29.27	25.01	23.48	21.84



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของเวลาในการตากต่อค่าความชื้น

3.3 ผลการวัดค่าความหวาน

ค่าความหวานของกล้วยแผ่นจะถูกวัดทุกๆ 1 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 50 ตัวอย่าง โดยแบ่งเป็นเก็บ 10 ช่วงเวลา โดยตรวจสอบซ้ำ ช่วงเวลาละ 5 ตัวอย่าง ผลค่าความหวานของกล้วยแผ่นในช่วงที่ 1 (ตารางที่ 4) และช่วงที่ 2 (ตารางที่ 5) พบว่า ค่าความหวานของกล้วยแผ่นจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการตากแดดนานขึ้น ค่าความหวานจะเพิ่มขึ้นสูงตั้งแต่ชั่วโมงแรกไปจนถึงชั่วโมงที่ 3 และในชั่วโมงที่ 3-5 จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (รูปที่ 7) เนื่องจากเป็นเวลาเย็น (อุณหภูมิลดลง) และเป็นการเก็บรักษาในท้องเพื่อรอตากแดดในวันถัดไป ค่าความหวานของกล้วยแผ่นเริ่มต้นที่ 11.8 %Brix และเพิ่มขึ้นเป็น 24.16 %Brix คิดเป็นร้อยละ 104.75

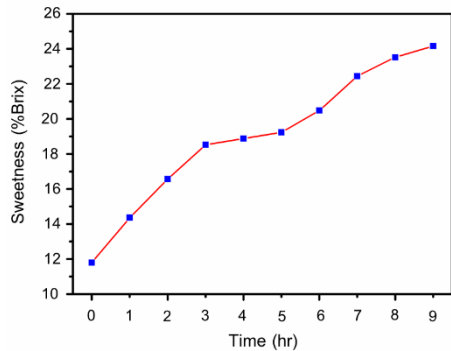
ตารางที่ 4 ค่าความหวานกล้วยแผ่นในช่วงวันที่ 1

ตัวอย่างที่	เวลาการตาก (ชม.)				
	0	1	2	3	4
1	12.2	16.2	19.0	21.6	22.2
2	11.0	14.4	16.8	18.4	18.8
3	12.6	14.8	15.6	18	18.2
4	11.8	12.4	13.8	14.6	15.2
5	11.4	14.0	17.6	20.0	20.6
ค่าเฉลี่ย	11.8	14.36	16.56	18.52	18.88

ตารางที่ 5 ค่าความหวานกล้วยแผ่นในช่วงวันที่ 2

ตัวอย่างที่	เวลาการตาก (ชม.)				
	5	6	7	8	9
1	22.6	23.0	25.2	26.0	26.6
2	19.0	20.4	22.4	23.8	24.0
3	18.4	20.0	21.6	22.2	23.8
4	15.4	17.2	19.0	20.8	21.2
5	20.8	21.8	24.0	24.8	25.2

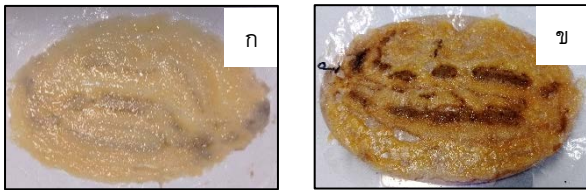
ค่าเฉลี่ย	19.24	20.48	22.44	23.52	24.16
-----------	-------	-------	-------	-------	-------



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของเวลาในการตากต่อค่าความหวาน

3.4 สีของกล้วยแผ่น

ในงานวิจัยนี้สีของกล้วยแผ่นจะถูกตรวจสอบด้วยสายตา (Visual test) เพื่อศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อตากแดดจนแห้ง ผลแสดงดังรูปที่ 8 กล้วยที่มีความสุกพอดีเมื่อหุบแล้วจะให้สีเหลืองทองปนส้มและจะมีลักษณะผิวฉ่ำน้ำ เนื่องจากมีความชื้นสูง (รูป 8ก) และเมื่อนำกล้วยแผ่นไปตากแดดจนแห้งจะพบว่า สีของกล้วยแผ่นมีความเข้มมากขึ้น สีสันสวยงาม (รูป 8ข)



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงของสีกล้วยแผ่น (ก) ในช่วงแรกและ (ข) หลังจากตากจนแห้ง

4. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงขั้นตอนการทำกล้วยแผ่น โดยเริ่มตั้งแต่การนำกล้วยมาปอกเปลือก แช่วิน้ำเกลือ แล้วนำมาทับให้มีความหนาตามต้องการ จากนั้นจึงนำมาตากแดดธรรมชาติ ผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ สรุปได้ดังนี้

1. น้ำหนักของกล้วยแผ่นจะลดลงเมื่อใช้เวลานานในการตากกล้วยนานขึ้นซึ่งสอดคล้องกับค่าความชื้นที่ลดลง
2. ค่าความหวานของกล้วยจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อตากจนแห้ง
3. กล้วยน้ำห่ามะลิอ่อนจะให้สีที่สวยเหมาะสมแก่การนำมาทำเป็นกล้วยแผ่น โดยสีที่ได้จะมีสีเหลืองทองปนน้ำตาลในช่วงแรกและจะค่อยๆ มีสีเข้มขึ้นเมื่อตากจนแห้ง

ข้อเสนอแนะ ในการเลือกใช้กล้วยเพื่อทำกล้วยแผ่น ควรใช้กล้วยที่มีความสุกอมพอดี หากเป็นกล้วยดิบหรือเพิ่งเริ่มสุกจะทำให้กล้วยแผ่น

มีสีส้มไม่สวยงาม และความหวานลดลง ซึ่งกล้วยแผ่นไม่ได้ทำการปรุงรสใดๆ ดังนั้นความหวานที่ได้จึงมาจากความสุกของกล้วยเท่านั้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณประธานกลุ่มและสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตเกษตร ตำบลปากน้ำ อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา ที่ให้ความอนุเคราะห์ทั้งในด้านข้อมูล สถานที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ให้กับทีมงานวิจัย งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชาลีตา บรมพิชัยชาติกุล. 2555. "เทคโนโลยีการทำแห้งแบบผสมผสาน : การนำมาเพื่อถนอมผลิตภัณฑ์อาหารที่ไวต่อความร้อน". วารสารวิจัยและพัฒนา มจร, 15: 269-283.
- [2] วิฐ ชูศรี, พรทิพย์ วิริยะวัฒนา, พันธุ์เลิศ พรหมสาขา ณ สกลนคร และ ชัชพงศ์ ชูศรี. 2563. "ผลของกระบวนการทำแห้งด้วยลมร้อนต่อสมบัติเชิงกลของกล้วยหอมสุกและพักทองอบแห้ง", วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม, 15: 38-52.
- [3] Saniso E, Prado M, Yayee F. Optimal condition of mushroom drying using solar energy combined with infrared radiation. Journal of Yala Rajabhat University 2013;8: 107-17.
- [4] คเนิ่งนิต ปทุมมาเกษตร, วันชลิ เฟิงพงศา, ดิณณภาพ จุ่มอิน และสายชล ทองคำ. 2021. "การอบแห้งปลาสดหมักชะครามด้วยเครื่องต้นแบบโดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ร่วมกับลมร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์". Journal of Energy and Environment Technology. 8(1): 22-31.
- [5] ธนาชัย แก้วประการ, ประเวศ เชื้อวงษ์. 2565. การพัฒนาเครื่องทับกล้วยแบบแผ่นสำหรับวิสาหกิจชุมชนแปรรูปผลผลิตเกษตร อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา (in Thai), การประชุมวิชาการชาวมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 7 , 1088-1093, 6-8 กรกฎาคม 2565 นครราชสีมา ประเทศไทย.
- [6] AOAC. (2019). Official Methods of Analysis. 21st Edition. Online document <https://www.aoac.org/about-aoac-international/> accessed on Jan 29, 2022.
- [7] พลวัฒน์ พลเดช และโสภา แคนสี. 2563. "การอบแห้งปลาสดด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก". วารสารสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 26(2): 58-64.
- [8] ธวัชชัย อ่องประเสริฐ, กมลวรรณ จิตจักร. 2020. "การศึกษาประสิทธิภาพโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ร่วมกับความร้อนเสริมจากอินฟราเรดสำหรับการอบแห้งมะเขือเทศราชินีแช่แข็ง". Kasam Bundit Engineering Journal. Vol10(3) : 62-83.

การคำนวณเวลามาตรฐานของพนักงานแผนกตัดเย็บเสื้อกีฬา

กรณีศึกษา : วิสาหกิจชุมชนแฮนด์อินแฮนด์

Calculating The Standard Time of Workers in Sportswear Tailoring Department: A Case Study of Hand in Hand Ruso Community Enterprise

อดิพันธ์ มหาหามะ วรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์ นัตพงษ์ โชติพันธ์ ปรุพพ์ มะยะเนี้ยว นิสิดา อุตมารัตน์
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาส

E-mail: adinanxmahamat@gmail.com*

Adinan Mahamat, Phanpen Thavornpravit, Paroon Mayachearw, Nattapong Chotipan, Nisida Utamarat
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, princess of naradhiwas University

E-mail: adinanxmahamat@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำเวลามาตรฐานของพนักงานตัดเย็บเสื้อกีฬาของวิสาหกิจชุมชนแฮนด์อินแฮนด์ โดยใช้วิธีการศึกษาเวลา (Time Study) เป็นการจับเวลาโดยตรงจากการทำงานพนักงาน (Direct Time Study) งานวิจัยนี้เริ่มต้นจากศึกษากระบวนการทำงานในแผนกตัดเย็บเสื้อผ้า ทำการแบ่งงานย่อย จับเวลาด้วยวิธี Repetitive Timing และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยเพื่อหาจำนวนรอบที่เหมาะสมในการจับเวลา ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ตาราง Maytag ในการหาจำนวนรอบที่เหมาะสมในการจับเวลา จากนั้นทำการประเมินอัตราเร็วการทำงานของพนักงาน (Rating Factor) ทำการหาค่าเวลาปกติ (Normal Time) กำหนดค่าเผื่อเวลา (Allowance Time) โดยใช้วิธีของ Westing House จากนั้นนำมาคำนวณหาเวลามาตรฐาน (Standard Time) จากการศึกษาวิสาหกิจชุมชนแฮนด์อินแฮนด์หรือเสาะพบว่า ในกระบวนการผลิตเสื้อกีฬาประเภทคอปก มีเวลามาตรฐานในการผลิตเสื้อคอปกแขนสั้นรวม 789.7164 วินาที/ชิ้น และเสื้อกีฬาคอปกแขนยาวรวม 824.5512 วินาที/ชิ้น ซึ่งจากการวิจัยยังพบว่าในสถานีงานที่ 2 งานย่อยที่ 1 คือขั้นตอนของการเจาะกระเป๋าของกระบวนการผลิตเสื้อกีฬาคอปกทั้งในแบบแขนยาวและแขนสั้นมีเวลามาตรฐานสูงที่สุดคือ 206.4568 วินาที/ชิ้น และ 232.4872 วินาที/ชิ้น การศึกษาเวลามาตรฐานในครั้งนี้สามารถนำไปใช้ในการวางแผนในการผลิต และนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับสมดุลในการผลิตเพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

คำสำคัญ: ค่าเผื่อเวลา, การศึกษาเวลา, เวลามาตรฐาน

Abstract

The purpose of the study was to calculate the standard working time of workers in the sportswear tailoring department: A Case Study of Hand-in Hand Ruso Community Enterprise by using Time study Method. It is timed directly from the employee's work (Direct Time Study). This research started by studying the working process in the department and identifying the element, using the Repetitive Timing method to measure time, and analyzing the data to find the accurate number of cycles for timing. In this research, the Maytag table is used to find the number of cycles for timing. Then, evaluate rating factor (Rating Factor), and the Normal Time is found, determining the allowance time using the Westing House method, then used to calculate the standard time (Standard Time). From the study, it was found that in the production process of sportswear of the type of polo shirt, the standard time for short-sleeved polo shirts is 789.7164 seconds/unit, and 824.5512 seconds/unit for long-sleeved polo shirts. The research also found that in workstation 2, Sub-work 1, which is part of the production process for polo shirts, has the highest total standard time of 206.4568 seconds/unit for short-sleeved and 232.4872 seconds/unit for long-sleeved. This study of standard time can be used in production planning and applied in balancing production to improve the efficiency of the production process.

Keywords: Allowance time, Time Study, Standard Time

1. บทนำ

ในปัจจุบันแนวโน้มการรักษาสภาพและออกกำลังกายเป็นที่ได้รับความนิยมน้อยลงมาก ดังนั้นสินค้าและบริการที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกายจึงมีความเติบโตอย่างก้าวกระโดด เช่น เครื่องแต่งกาย อุปกรณ์กระแสมวยของการออกกำลังกายยังได้สร้างโอกาสให้กับธุรกิจต่อเนื่องอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ธุรกิจเครื่องแต่งกายและอุปกรณ์กีฬาที่ยอดขายขยายตัวเฉลี่ยต่อปีกว่า 9% ในปี 2010-2014 ซึ่งขยายตัวเร็วกว่าค่าเฉลี่ยในอดีตที่ขยายตัวเพียง 5% [1] ดังนั้นผู้ผลิตต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการและสร้างความพึงพอใจแก่ลูกค้า

อุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มในพื้นที่ภาคใต้ตอนล่างมีกลุ่มผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปประเภทวิสาหกิจชุมชน 3 แห่งได้แก่ อำเภอหรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส อำเภอรามัน จังหวัดยะลา และอำเภอโคกโพธิ์ จังหวัดปัตตานี โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกวิสาหกิจชุมชน Hand in Hand Ruso เป็นกรณีศึกษา ซึ่งวิสาหกิจชุมชน Hand in Hand Ruso ผลิตชุดเสื้อผ้าสำเร็จรูปดังนี้ ชุดกีฬา ชุดออกกำลังกายและผลิตภัณฑ์ที่ระลึกต่าง ๆ ปัจจุบันมีพนักงานทั้งหมด 90 คน แบ่งเป็น 7 แผนกได้แก่ แผนกสำนักงาน แผนกออกแบบ แผนกพิมพ์ลาย แผนกงานตัดผ้า แผนกงานตัดเย็บ แผนกงานตรวจสอบคุณภาพ และแผนกงานรีด - บรรจุ

จากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลพบว่า วิสาหกิจชุมชนแฮนด์อินแฮนด์หรือเสาะพบว่า ในขั้นตอนกระบวนการผลิตเสื้อผ้าแผนกตัดเย็บยังไม่มีเวลามาตรฐาน ดังนั้นผู้วิจัยได้เห็นถึงโอกาสในการนำหลักการการศึกษาการทำงาน (Work Study) มาคำนวณหาเวลามาตรฐานในการทำงานเพื่อนำเวลามาตรฐานไปใช้ในการวิเคราะห์ในการแก้ปัญหาในขั้นตอนถัดไปเช่นในงานวิจัยการศึกษาเวลามาตรฐานในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก: กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด เรืองชนะแพ็คกิ้ง [2] ได้จัดทำเวลามาตรฐานในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกเพื่อหากระบวนการที่ใช้เวลามากและทำการปรับปรุงแก้ไข หรือในงานวิจัยการศึกษาเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จด้วยการจับเวลาโดยตรง [3] ได้ทำการกำหนดเวลามาตรฐานของกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จเพื่อใช้ในการวางแผนในการผลิต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการการศึกษาการทำงาน (Work Study) [4]

การศึกษาการทำงาน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า การเคลื่อนไหวของคนและเวลา ซึ่งมีความหมายในลักษณะเดียวกัน คือ เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ขั้นตอนของการปฏิบัติงานเพื่อขจัดงานที่ไม่จำเป็นออก และหาวิธีการทำงานที่ดีที่สุดอีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดในการปฏิบัติงานนั้นๆ รวมถึงการปรับปรุงมาตรฐานของวิธีการทำงาน และการกำหนดเวลามาตรฐานของพนักงาน เพื่อนำไปใช้สร้างแผนการผลิต รวมถึงการจ่ายค่าตอบแทนอันเหมาะสม และจูงใจให้พนักงานมีผลงานที่ดีกว่ามาตรฐาน อีกทั้งยังเป็นศาสตร์หนึ่งที่มีความสำคัญต่อการหาเวลามาตรฐาน เพื่อให้มีเวลามาตรฐานในสายการผลิต เพื่อปรับปรุงการ

ทำงานของสายผลิตแผนกตัดเย็บให้มีประสิทธิภาพ แม้ว่าในปัจจุบันวิวัฒนาการรวดเร็วของเทคโนโลยีจะมีบทบาทในการทำงานมากขึ้น แต่หลักการของการศึกษาการทำงานยังคงใช้ประโยชน์ได้ไม่สิ้นสุด ตราบเท่าที่มีการใช้แรงงานในการทำงาน เทคนิคในการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีของการศึกษาการทำงานที่กล่าวถึงในที่นี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์กับงานทั่วไปได้ ทั้งในโรงงานอุตสาหกรรมและงานบริการต่างๆ เช่น โรงงานผลิตเสื้อผ้า โรงแรม เป็นต้น คณะผู้จัดทำจึงสนใจในการนำเอาหลักการของการศึกษาการทำงานมาใช้

2.2 การหาเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงาน [5]

ในการหาเวลามาตรฐานนั้นมีสมการในการคำนวณดังนี้

$$\text{เวลามาตรฐาน (Std. Time)} = \text{เวลาปกติ (Normal T)} \times (1 + \text{ค่าเผื่อต่าง ๆ (\%AF)}) \quad (1)$$

ดังนั้นในการหาเวลามาตรฐานจำเป็นจะต้องทราบข้อมูลเหล่านี้คือ

1.ในการจับเวลาต้องคำนึงถึงการประมาณจำนวนรอบของการจับเวลาในการบันทึกเวลา จำนวนครั้งในการจับเวลายิ่งมากก็ทำให้เกิดความน่าเชื่อถือของข้อมูลมากยิ่งขึ้น ในการประมาณรอบของการจับเวลาทำให้สามารถผู้วิจัยทราบได้ว่าควรทำการจับเวลาจำนวนกี่ครั้ง โดยสามารถทำได้หลายวิธีเช่น การใช้สูตรในการคำนวณ การใช้ตารางของ Maytag หรือการใช้ Alignment Chart เป็นต้น

2.การหาปัจจัยอัตราความเร็ว เป็นขั้นตอนเพื่อทำการประเมินอัตราความเร็วของพนักงานในการปฏิบัติงาน สามารถทำได้หลายวิธี ตัวอย่างเช่นวิธี Westinghouse System of rating ที่พิจารณาการทำงาน 4 ด้านของพนักงานคือ ทักษะ (Skill) ความพยายาม (Effort) ความสม่ำเสมอ (Consistency) และสภาวะในการทำงาน (Condition) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางคะแนนในการประเมินอัตราความเร็วตามวิธีของ westing house [6]

ทักษะ (Skill)			ความพยายาม (Effort)		
0.15	A1	ชำนาญสูงมาก	0.13	A1	ชำนาญสูงมาก
0.13	A2		0.12	A2	
0.11	B1	ดีมาก	0.1	B1	ดีมาก
0.08	B2		0.08	B2	
0.06	C1	ดี	0.05	C1	ดี
0.03	C2		0.02	C2	
0	D	เฉลี่ย	0	D	เฉลี่ย
-0.05	E1	พอใช้	-0.04	E1	พอใช้
-0.1	E2		-0.18	E2	
-0.16	F1	ควรปรับปรุง	-0.12	F1	ควรปรับปรุง
-0.22	F2		-0.17	F2	
สภาพแวดล้อมในการ			ความสม่ำเสมอ (Consistency)		
0.06	A	ดีเยี่ยม	0.04	A	ดีเยี่ยม
0.04	B	ดีมาก	0.03	B	ดีมาก
0.02	C	ดี	0.01	C	ดี
0	D	เฉลี่ย	0	D	เฉลี่ย
-0.03	E	พอใช้	-0.02	E	พอใช้
-0.07	F	ควรปรับปรุง	-0.04	F	ควรปรับปรุง

3. การคำนวณหาเวลาปกติ

หลังจากทำการจับเวลาและคำนวณแล้ว ขั้นถัดไปเป็นการประเมินประสิทธิภาพในการทำงานหรือความเร็วในการทำงานของพนักงาน เพื่อนำค่าประสิทธิภาพในการทำงาน (Rating Factor) ที่ได้จากการประเมินค่า เพื่อมาคำนวณหาเวลาปกติ (Normal Time) ดังนี้

เวลาปกติ (NT) = เวลาเฉลี่ย (Selected Time) × ค่าประสิทธิภาพ (Rating Factor) (2)

4. การหาเวลาเผื่อ (Allowance Time)

ในการหาเวลามาตรฐานการทำงานทุกอย่างไม่สามารถทำงานโดยไม่หยุดพัก หรือเกิดความล่าช้าเลย ดังนั้นเพื่อความสมเหตุสมผล พนักงานจำเป็นต้องมีเวลาเผื่อไว้สำหรับกรณีต่างๆ เช่นการพักทำกิจกรรมส่วนตัว พักเหนื่อย รวมถึงเวลาเผื่อสำหรับการสูญเสียอันเนื่องมาจากสาเหตุที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยค่าเผื่อเหล่านี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

4.1 เวลาเผื่อสำหรับส่วนบุคคล

เป็นเวลาเผื่อเพื่อให้พนักงานทำกิจกรรมส่วนตัวเช่น ไปห้องน้ำ ล้างมือ ดื่มน้ำ เป็นต้นขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและชนิดของงาน โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 4.5% - 6.5% แต่ในอุตสาหกรรมทั่วไปมักจะกำหนดไว้ที่ 5% ของเวลาทำงานทั้งหมด

4.2 เวลาเผื่อสำหรับความเครียดตามลักษณะงาน

4.2.1 ค่าเผื่อความเครียดพื้นฐาน (Basic Fatigue Allowance) เป็นค่าคงที่สำหรับงานทั่ว ๆ ไป โดยองค์การแรงงานระหว่างประเทศหรือ ILO ได้กำหนดไว้ที่ 4 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 ค่าเผื่อความเครียดแปรผัน (Variable Fatigue Allowance) จะแปรผันตามลักษณะงาน เช่น การยืน สภาพแวดล้อม ทำทางการทำงาน เป็นต้น สามารถดูได้จากตารางเวลาเผื่อตามการศึกษาของ ILO โดยคิดเป็น % ของ Normal time

4.3 เวลาเผื่อความล่าช้า

ความล่าช้าอาจเกิดได้หลากหลายรูปแบบทั้งแบบหลีกเลี่ยงได้และหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดยวิธีการกำหนดค่าเผื่อสำหรับความล่าช้ามีอยู่ 2 วิธีคือ

1. การศึกษากระบวนการผลิต (Production Study) คือการสังเกตการณ์โดยละเอียดของกระบวนการทำงานทั้งวันเป็นเวลา 1-2 วัน

2. ใช้วิธีการสุ่มงาน (Work Sampling)

5. การหาเวลามาตรฐาน

เมื่อทราบเวลาปกติ (Normal Time) และเวลาเผื่อ (Allowances Time) แล้วนำค่าทั้งสองมาคำนวณหาเวลามาตรฐานของการทำงาน ดังนี้

เวลามาตรฐาน (Std. Time) = เวลาปกติ (Normal T) × (1+ค่าเผื่อต่าง ๆ (%AF)) (3)

3. วิธีการดำเนินงาน

การจัดทำเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงานของแผนกตัดเย็บเสื้อผ้ากีฬา กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนแอนดอินแอน มีรายละเอียดของการดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลปัจจุบันและขั้นตอนการการปฏิบัติงานของแผนกตัดเย็บเสื้อผ้ากีฬา เก็บรวบรวมข้อมูลปัจจุบัน เช่น ขั้นตอนการทำงาน จำนวนพนักงาน เป็นต้น

2. เลือกงานและบันทึกรายละเอียดของงานที่จะทำการศึกษา แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นงานย่อย สังเกตและบันทึกเวลาการทำงาน ของพนักงาน

3. คำนวณหาจำนวนรอบที่เหมาะสมในการจับเวลาโดยใช้ตาราง Maytag

4. ประเมินอัตราความเร็วในการทำงานของพนักงาน

5. กำหนดค่าเผื่อต่าง ๆ ในการทำงานโดยแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ค่าเผื่อส่วนบุคคล

2. ค่าเผื่อจากความเครียดตามลักษณะงาน

3. ค่าเผื่อของความล่าช้า

6. ทำการคำนวณหาเวลามาตรฐานดังนี้

1. หาค่าเฉลี่ยจากเวลาของงานย่อยที่บันทึกไว้

2. หาค่าเวลาปกติโดยคำนวณจากสมการ

เวลาปกติ = เวลาเฉลี่ย × (% ค่าประเมินความเร็ว) (4)

3. คำนวณเวลามาตรฐานจากสูตร

เวลามาตรฐาน = เวลาปกติ + ค่าเผื่อ (5)

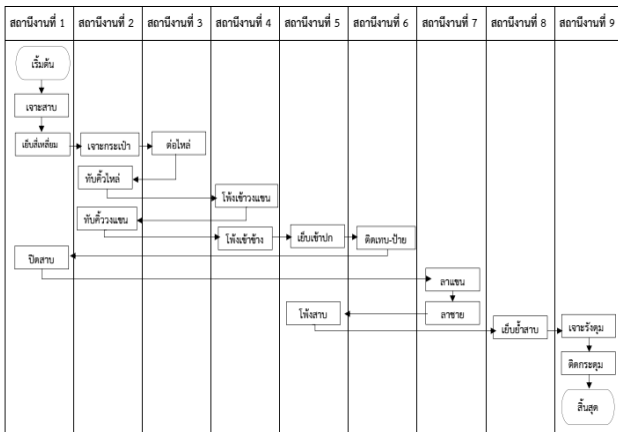
7. สรุปผลการศึกษาเพื่อนำเสนอหรือนำไปใช้งานต่อไป

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ศึกษาขั้นตอนในการทำงานในสายการผลิตเสื้อผ้าประเภทพอลิเอสเตอร์

กระบวนการผลิตเสื้อผ้าของวิสาหกิจชุมชน Hand in Hand จากการเก็บรวบรวมข้อมูล คณะผู้จัดทำได้เก็บรวบรวมข้อมูลของแผนกตัดเย็บ ซึ่งมีรูปแบบทั้งหมด 2 แบบ คือ แบบคอกลมและคอปก โดยทั้งสองแบบจะมีทั้งแบบแขนสั้น แขนยาวซึ่งในงานวิจัยนี้จะคำนวณเฉพาะในส่วนของเสื้อคอปกทั้งแขนสั้นและแขนยาว โดยเสื้อคอปกทั้งแขนสั้นและแขนยาวมีขั้นตอนในการผลิตทั้งหมด 9 สถานีงาน 17 ขั้นตอน สถานีงานที่ 1 ประกอบด้วย ขั้นตอนเจาะساب เย็บสี่เหลี่ยม และปิดساب สถานีงานที่ 2 ประกอบด้วย ขั้นตอนเจาะกระเป๋า ทับคิ้วต่อไหล่ และทับคิ้ววงแขน สถานีงานที่ 3 จะมีขั้นตอนเดียว คือ โฟ่งต่อไหล่ สถานีงานที่ 4 ประกอบด้วย ขั้นตอนโฟ่งเข้าวงแขนกับโฟ่งเข้าข้าง สถานีงานที่ 5 ประกอบด้วย ขั้นตอนเย็บเข้าปกกับโฟ่งساب สถานีงานที่ 6 ประกอบด้วยขั้นตอนติดเทปและป้าย สถานีงานที่ 7 ลาแขนกับลาชาย สถานีงานที่ 8 ประกอบด้วย ขั้นตอนเย็บย้าสบ สถานีที่ 9 ประกอบด้วย ขั้นตอนเจาะรังคุดและติดกระดุม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แผนผังกระบวนการผลิตเสื้อคอปก



4.2 การจับเวลากระบวนการผลิตเสื้อคอปก

คณะผู้จัดทำได้ทำการจับเวลาในกระบวนการผลิตทุกขั้นตอนของสถานีงาน ได้ทำการจับเวลา 10 รอบต่อหนึ่งขั้นตอนการทำงานของการผลิตเสื้อคอปกทั้งแขนสั้นและแขนยาว โดยมีผลการจับเวลาดังตารางที่ 3 - ตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการจับเวลาของกระบวนการผลิตเสื้อคอปกแขนสั้น

สถานีงาน	งานย่อย	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	เจาะสาคและผ่าสาค	34	42	42	35	40	40	36	42	42	42
	เย็บสี่เหลี่ยม	43	50	49	42	44	46	44	43	50	46
	เย็บปิดสาค (บน-ล่าง)	36	35	38	36	39	36	38	36	36	38
2	เจาะกระเปาะ	162	163	159	165	161	163	164	165	158	158
	เย็บทับคอต่อไหล่ (ซ้าย-ขวา)	19	17	19	19	17	18	20	17	19	19
	ทับคิ้ววงแขน	35	32	36	35	37	36	36	36	35	39
3	ต่อไหล่ (ซ้าย-ขวา)	18	17	18	20	18	22	19	20	18	18
4	โพ่งเข้าวงแขน (ซ้าย-ขวา)	40	39	38	40	39	40	40	36	35	40
	โพ่งเข้าข้าง (ซ้าย-ขวา)	45	42	43	45	42	42	44	42	45	42
5	เย็บเข้าปก	39	38	39	40	38	40	39	39	40	38
	โพ่งสาค	6	5	4	5	6	5	5	4	4	5
6	ติดเทปและป้าย	40	40	41	38	38	40	39	38	38	40
7	ลาแขน (ซ้าย-ขวา)	30	29	29	31	30	30	29	29	31	30
	ลาชาย	30	29	30	30	29	29	29	30	30	30
8	เย็บย้าสาค	6	5	5	5	4	5	5	4	6	4
9	เจาะรังคุด	19	19	16	17	18	18	20	21	20	19
	ติดกระดุม	14	14	13	16	13	14	15	16	14	13

ตารางที่ 4 ผลการจับเวลาของกระบวนการผลิตเสื้อคอปกแขนยาว

สถานีงาน	งานย่อย	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	เจาะสาคและผ่าสาค	42	42	34	35	40	42	40	34	40	36
	เย็บสี่เหลี่ยม	42	49	43	50	47	42	45	50	47	43
	เย็บปิดสาค (บน-ล่าง)	35	36	35	38	36	39	35	37	35	35
2	เจาะกระเปาะ	182	185	180	181	182	180	185	182	183	182
	ทับคอต่อไหล่ (ซ้าย-ขวา)	17	20	19	18	17	20	18	17	19	17
	ทับคิ้ววงแขน	32	35	32	35	37	36	33	35	36	32
3	ต่อไหล่ (ซ้าย-ขวา)	17	18	20	17	18	20	17	20	22	19
4	โพ่งเข้าวงแขน (ซ้าย-ขวา)	35	40	37	39	38	40	40	36	35	40
	โพ่งเข้าข้าง (ซ้าย-ขวา)	50	52	52	53	50	50	52	52	52	50
5	เย็บเข้าปก	39	38	39	40	39	38	42	38	42	39
	โพ่งสาค	5	5	6	5	6	7	6	5	5	6
6	ติดเทปและป้าย	38	39	40	39	40	39	39	40	38	39
7	ลาแขน (ซ้าย-ขวา)	30	31	30	32	29	30	31	30	29	30
	ลาชาย	31	32	32	30	31	30	33	32	33	31
8	เย็บย้าสาค	5	5	4	5	6	4	5	6	5	4
9	เจาะรังคุด	17	19	17	18	18	20	17	19	21	17
	ติดกระดุม	13	15	14	14	13	16	15	13	14	13

4.3 หาจำนวนรอบของการเก็บข้อมูล

ตัวอย่างแสดงการหาจำนวนรอบการจับเวลาก่อนการจัดทำเวลามาตรฐานจำนวน 10 ครั้ง เพื่อหาค่าพิสัยและหาค่าเฉลี่ย โดยใช้ข้อมูลของกระบวนการผลิต

ตารางที่ 5 ตัวอย่างการจับเวลาในกระบวนการเจาะสาคและผ่าสาค

งานย่อย / ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	avg
เจาะสาคและผ่าสาค	34	42	42	35	40	40	36	42	42	42	39.5

กำหนดให้จำนวนรอบในการจับเวลาที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 และความคลาดเคลื่อน \pm ร้อยละ 5 โดยมีรายละเอียดการคำนวณจำนวนรอบในการจับเวลาที่เหมาะสมดังนี้

3.3.1 หาค่าพิสัย

หาค่าพิสัยจากสมการ $R = H - L$ (6)

โดย $H = 42$ วินาที , $L = 34$ วินาที

$R = 42 - 34 = 8$ วินาที

3.3.2 หาค่าเฉลี่ย (Average: \bar{X})

$$\bar{X} = \frac{395}{10}$$

$$\bar{X} = 39.5 \text{ วินาที}$$

3.3.3 หาค่า $\frac{R}{\bar{X}}$ เพื่อนำไปเปิดตาราง Maytag

$$\frac{R}{\bar{X}} = \frac{39.5}{8}$$

$$\frac{R}{\bar{X}} = 0.202531646$$

4.4 อ่านค่าบนตาราง Maytag

ตารางที่ 6 ตาราง Maytag [7]

$\frac{R}{\bar{X}}$	N_0		$\frac{R}{\bar{X}}$	N_0		$\frac{R}{\bar{X}}$	N_0	
	5	10		5	10		5	10
	ค่า (n)			ค่า (n)			ค่า (n)	
0.1	3	2	0.42	52	30	0.74	162	93
0.12	4	2	0.44	57	33	0.76	171	98
0.14	6	3	0.46	63	36	0.78	180	103
0.16	8	4	0.48	68	39	0.8	190	108
0.18	10	6	0.5	74	42	0.82	199	113
0.2	12	7	0.52	80	46	0.84	209	119
0.22	14	8	0.54	86	49	0.86	218	125
0.24	17	10	0.56	93	53	0.88	229	131
0.26	20	11	0.58	100	57	0.9	239	138
0.28	23	13	0.6	107	61	0.92	250	143
0.3	27	15	0.62	114	65	0.94	261	149
0.32	30	17	0.64	121	69	0.96	273	156
0.34	34	20	0.66	129	74	0.98	284	162
0.36	38	22	0.68	137	78	1	296	169
0.38	43	24	0.7	145	83			
0.4	47	27	0.72	153	88			

จากหัวข้อที่ 3.3 ค่า $\frac{R}{\bar{X}} = 0.202531646$ นำมาอ่านค่าในตารางที่ 6 ตาราง Maytag ที่ $N_0 = 10$ พบว่าค่า $N = 7$ ดังนั้นการเก็บข้อมูลที่ 10 ข้อมูลเพียงพอแล้วระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 และความคลาดเคลื่อน \pm ร้อยละ 5

4.5 การหาค่าเวลาเมื่อ

ในการหาค่าเวลาเมื่องานวิจัยนี้ได้หาค่าเวลาเมื่อ 3 ส่วนดังนี้

1. เวลาเมื่อส่วนบุคคลที่ 5%
2. เวลาเมื่อสำหรับความเครียด 4% (ตาม ILO กำหนดไว้)
3. เวลาเมื่อสำหรับความล่าช้าสำหรับงานนั้น 1% (เนื่องจากลักษณะความยากของงานไม่ได้ยากจนเกินไป)
ดังนั้นเวลาเมื่อรวมทั้ง 3 ส่วนคือ 10%

4.6 ประเมินค่าความเร็ว

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินความเร็วในการทำงานโดยใช้วิธีการของ westing house ซึ่งทำการประเมินทั้งหมด 4 ด้านดังนี้

- | | |
|---------------------------------------|------------|
| 1. ความชำนาญ (Skill) | B1 = +0.10 |
| 2. ความพยายาม (Effort) | C1 = +0.05 |
| 3. สภาพการทำงาน (Condition) | D = +0.00 |
| 4. ความสม่ำเสมอการทำงาน (Consistency) | C = +0.01 |
| รวมคะแนน | = +0.16 |

4.7 คำนวณหาเวลามาตรฐาน

การคำนวณหาค่าเวลามาตรฐาน (Standard Time) คำนวณได้จาก การนำเอาเวลาปกติมาคำนวณร่วมกับเวลาเผื่อทั้งหมดซึ่งมีผลจากการคำนวณตั้งตารางที่ 7 - 8

ตารางที่ 7 ผลการคำนวณเวลามาตรฐานของการผลิตเสื้อกีฬาคอปก แขนสั้น

สถานีงาน	งานย่อย	STD. (s)
1	เจาะสับและผ่าสับ	50.402
	เย็บสี่เหลี่ยม	58.3132
	เย็บปิดสับ (บน-ล่าง)	46.9568
2	เจาะกระเปาะ	206.4568
	เย็บทับคิ้วต่อไหล่ (ซ้าย-ขวา)	23.4784
	ทับคิ้ววงแขน	45.5532
3	ต่อไหล่ (ซ้าย-ขวา)	23.9888
4	โพ่งเข้าวงแขน (ซ้าย-ขวา)	49.3812
	โพ่งเข้าข้าง (ซ้าย-ขวา)	55.1232
5	เย็บเข้าปก	49.764
	โพ่งสับ	6.2524
6	ติดเทปและป้าย	50.0192
7	ลาแขน (ซ้าย-ขวา)	38.0248
	ลาชาย	37.7696
8	เย็บยี่สาบ	6.2524
9	เจาะรังคุด	23.8612
	ติดกระดุม	18.1192

ตารางที่ 8 ผลการคำนวณเวลามาตรฐานของการผลิตเสื้อกีฬาคอปก แขนยาว

สถานีงาน	งานย่อย	STD. (s)
1	เจาะสับและผ่าสับ	49.126
	เย็บสี่เหลี่ยม	58.4408
	เย็บปิดสับ (บน-ล่าง)	46.0636
2	เจาะกระเปาะ	232.4872
	ทับคิ้วต่อไหล่ (ซ้าย-ขวา)	23.2232
	ทับคิ้ววงแขน	43.7668
3	ต่อไหล่ (ซ้าย-ขวา)	23.9888
4	โพ่งเข้าวงแขน (ซ้าย-ขวา)	48.488
	โพ่งเข้าข้าง (ซ้าย-ขวา)	65.4588
5	เย็บเข้าปก	50.2744
	โพ่งสับ	7.1456
6	ติดเทปและป้าย	49.8916
7	ลาแขน (ซ้าย-ขวา)	38.5352
	ลาชาย	40.194
8	เย็บยี่สาบ	6.2524
9	เจาะรังคุด	23.3508
	ติดกระดุม	17.864

5. สรุป

จากการจัดทำเวลามาตรฐานในการปฏิบัติงานของพนักงานผลิตเสื้อกีฬาประเภทคอปกแขนสั้นและแขนยาว โดยการวิจัยเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิตเสื้อกีฬาประเภทคอปกทั้งในแบบแขนสั้นและแขนยาว ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 9 สถานะนี้ 17 งานย่อย เมื่อนำมาคำนวณหาเวลามาตรฐานของแต่ละงานย่อยโดยใช้วิธีของการศึกษาเวลาโดยตรง โดยทั้งสองประเภทได้ประเมินอัตราเร็วของพนักงานด้วยวิธีของ Westing house มีผลประเมินที่ +0.16 และได้ประเมินเวลาเผื่อในการทำงาน 10 % พบว่ามีเวลามาตรฐานในการผลิตเสื้อคอปกแขนสั้นรวม 789.7164 วินาที และเสื้อกีฬาคอปกแขนยาวรวม 824.5512 วินาที ซึ่งจากการวิจัยยังพบว่าในสถานงานที่ 2 งานย่อยที่ 1 คือขั้นตอนของการเจาะกระเป๋าของกระบวนการผลิตเสื้อกีฬาคอปกทั้งในแบบแขนยาวและแขนสั้นมีเวลามาตรฐานสูงที่สุดคือ 206.4568 วินาที และ 232.4872 นาที

จากข้อมูลที่ได้ในการศึกษาเวลามาตรฐานในครั้งนี้ได้นำเสนอให้กับทางวิสาหกิจชุมชนเพื่อนำไปใช้ในการวางแผนในการผลิต และควบคุมเวลามาตรฐานในการผลิตและนำไปประยุกต์ในการปรับสมดุลในการผลิตเพื่อให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพสูงขึ้นต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การคำนวณเวลามาตรฐานของพนักงานแผนกตัดเย็บเสื้อกีฬา กรณีศึกษา : วิสาหกิจชุมชนแฮนด์อินแฮนด์ ผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณผู้ประกอบการและพนักงาน วิสาหกิจชุมชนแฮนด์อินแฮนด์ อ.เรือเสาะ จังหวัดนราธิวาส และมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บรวบรวมข้อมูลและให้คำแนะนำด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] “SCB EIC Article / กระแสนิยมการออกกำลังกายกับโอกาสของธุรกิจฟิตเนสไทยที่ไม่ควรมองข้าม”, SCBEIC. <https://www.scbeic.com/th/detail/product/1347> (สืบค้น 23 มกราคม 2021).
- [2] คมกริช เมืองมูล, นัตรีพร กาต, และ มนินทรา ใจคำปัน, “การศึกษาเวลามาตรฐานในการผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก: กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด เรื่องชนะแพ็คกิ้ง”, Kasem Bundit Engineering Journal, ปี 6, ฉบับที่ 1, Art. ฉบับที่ 1, 2016.
- [3] พรศิริ คำหล้า, เจษฎา ยาโสภา, ธัญญารัตน์ ไชยกำบัง, ปิยณัฐ โตอ่อน, และ รัชฎา แต่งภูเขียว, “การศึกษาเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ ด้วยการจับเวลาโดยตรง”, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, ปี 6, ฉบับที่ 2, Art. ฉบับที่ 2, ธ.ค. 2021.
- [4] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม, Industrial Work Study การศึกษา งานอุตสาหกรรม, ปี 2562. กรุงเทพฯ : หอศิลป์.

- [5] กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข, การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตแบบลีน, ครั้งที่ 1., ปี 2565, 800 เล่ม ปี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] ธนะรัตน์ รัตนกุล, กันต์ธรม สุขกระจ่าง, วันเพ็ญ ลับแสง, และ อัญชลีพร ดั่งเจริญ, “เวลามาตรฐานการปฏิบัติงานของพนักงานบริการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา”, นำเสนอที่ การประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติและนานาชาติ, ปี 2018.
- [7] ธรรมศักดิ์ ค่วยเทศ, “การคำนวณหาค่าเวลามาตรฐานการทำงานของพนักงาน: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมโรงแรม”, Journal of Logistics and Supply Chain College, ปี 7, ฉบับที่ 1, Art. ฉบับที่ 1, มิ.ย. 2021.

การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าสีแก้วโซดาไลม์ The Study of Factors Affecting Color of Soda Lime Glass

ทศพล สุเริงฤทธิ์^{1*} นภัสดวงศ์ โอสธสิลป์¹ พิชญ์รัตน์ อินทร์เอื้อ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

²บริษัท กลาสบริดจ์ จำกัด

E-mail: 6370110321@student.chula.ac.th*

Thodsapol Suroengrit^{1*}, Napassavong Osothsilp¹, Pitcharat Ineure²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

²Glass Bridge Co., Ltd.

E-mail: 6370110321@student.chula.ac.th *

บทคัดย่อ

ในการผลิตแก้วโซดาไลม์ ค่าสีของผลิตภัณฑ์ถือว่าเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ต้องควบคุม จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีและปัจจัยในกระบวนการผลิตแก้วโซดาไลม์ ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัย คือ การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสี a (สีเขียว-สีแดง) และค่าสี b (สีน้ำเงิน-สีเหลือง) กับปัจจัยที่มาจากวัตถุดิบและเตาหลอมทั้งหมด 10 ปัจจัย ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบขั้นตอน จากข้อมูลสายการผลิตทั้งหมด 3 สาย จำนวน 770 ค่า เพื่อหาแบบจำลองถดถอยของค่าสี a และค่าสี b พบว่าแบบจำลองถดถอยของค่าสี a มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าสี a มี 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณเหล็กออกไซด์รวม ปริมาณโคบอลต์ และค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจน ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้ เมื่อปริมาณเหล็กออกไซด์รวมเพิ่มขึ้น ค่าสี a จะลดลง ทำให้แก้วมีสีเขียวเข้มขึ้น แต่ถ้าปริมาณโคบอลต์และค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจนเพิ่มขึ้น ค่าสี a จะเพิ่มขึ้น ทำให้แก้วมีสีเขียวอ่อนลง
คำสำคัญ: แก้วโซดาไลม์, ค่าสี, การถดถอยแบบขั้นตอน, แบบจำลองถดถอย

Abstract

Product color is an important property to be controlled in the production of Soda-lime glass. Thus, it is essential to understand the relationship between the color and the factors in Soda-lime glass processing. This research aims to study the relationship between Color-a (green-red) & Color-b (blue-yellow) and 10 factors relating to raw materials and the furnace with Stepwise regression analysis. Regression model of Color-a and Color-b was analyzed using 770 data points from 3 production lines. The analysis revealed that the regression model of Color-a had the acceptable value of mean absolute percentage error and it had 3 significant factors which were the mixed iron oxide volume, the cobalt volume, the ratio of fuel gas to oxygen gas. It was found increasing the mixed iron oxide volume decreased Color-a value and made the glass more dark green. Moreover, increasing the cobalt volume and the ratio of fuel gas to oxygen gas increased Color-a value and made that glass more light green.

Keywords: Soda-lime glass, Color, Stepwise regression, Regression model

1. บทนำ

กระบวนการผลิตแก้ว (glass production process) ซึ่งอุตสาหกรรมถือว่าเป็นกระบวนการผลิตที่ค่อนข้างซับซ้อนและแตกต่างกันตามชนิดรูปแบบ ลักษณะการนำไปใช้งานของผลิตภัณฑ์ ซึ่งในภาพรวมของกระบวนการผลิตแก้วเชิงอุตสาหกรรมนั้น จะประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่ 1. ขั้นตอนการเตรียมและการผสมวัตถุดิบ (preparing and mixing of raw material) เป็นการควบคุมสัดส่วนและองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบให้ได้ตามสูตรการผลิตที่ได้คำนวณไว้ 2. ขั้นตอนการหลอมแก้ว (melting process) เป็นการเปลี่ยนวัตถุดิบต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปลักษณะผลึกของแข็งให้กลายเป็นของเหลว นั่นคือ น้ำแก้ว (glass melt) โดยผ่านความร้อนและปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างวัตถุดิบ 3. ขั้นตอนการขึ้นรูป (forming process) เป็นการกำหนดลักษณะ รูปร่าง และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์แก้ว ด้วยวิธีการขึ้นรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเป่า การรีด การดึง การกดอัด การหล่อแบบ เป็นต้น 4. ขั้นตอนการอบอ่อน (annealing process) เป็นการลดความเครียด (strain) ที่คงค้างในแก้ว เพื่อให้ผลิตภัณฑ์แก้วมีคุณสมบัติต่าง ๆ คงที่ ผน อุ่นภูมิห้อง และ 5. ขั้นตอนการตรวจสอบและตกแต่ง (inspection and finishing process) เป็นการตรวจสอบคุณภาพตามมาตรฐานที่ผู้ผลิตกำหนดไว้ เช่น ขนาดรอยตำหนิ การทนต่อแรงอัดแรงกระแทก การทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น [1]

แก้วโซดาไลม์จัดว่าเป็นชนิดแก้วที่ถูกนำไปผลิตเป็นอุตสาหกรรมมากที่สุด ได้แก่ ขวดแก้ว บล็อกแก้วก่อสร้าง เครื่องแก้ว หลอดไฟ และกระจกแปรรูป เนื่องจากมีลักษณะเป็นแก้วใส มีความทนทานอยู่ในระดับกลาง ต้นทุนการผลิตไม่สูงมาก และสามารถดัดแปลงทำให้มีสีอื่นต่าง ๆ ได้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตแก้วใสนั้น Katkova, Balandina, and Seregina [2] ได้ศึกษาการฟอกสีในกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วของโรงงาน จากการใช้ทรายแก้วที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์รวมในช่วงร้อยละ 0.05 ถึง 0.2 โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อใช้ทรายแก้วที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์รวมสูง ก็จะต้องเพิ่มปริมาณซีลีเนียมและโคบอลต์ที่เป็นสารฟอกสีให้มากขึ้นด้วยเช่นกัน Müller-Simon [3] ได้ศึกษาการฟอกสีแก้วด้วยซีลีเนียมในอุตสาหกรรมผลิตแก้วใส พบว่าปริมาณและความเข้มข้นของซัลเฟอร์ มีผลต่อการที่ซีลีเนียม (Selenium: Se⁰) ถูกรีดิวซ์ไปเป็นซีลีไนด์ (Selenide: Se²⁻) ซึ่งซีลีไนด์จะทำปฏิกิริยากับไอออนเหล็กเฟอร์รัส (Ferrous ions: Fe²⁺) เกิดเป็นเหล็กเฟอร์รัสซีลีไนด์ (Ferrous selenide: FeSe) ทำให้แก้วมีสีเหลืองน้ำตาล Hujova [4] ได้ศึกษาอิทธิพลของสารกำจัดฟองก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการหลอมแก้ว พบว่าสีเหลืองน้ำตาลของแก้วมาจากโครโมฟอร์ (Chromophore) ของไอออนเหล็กเฟอร์ริก (Ferric ions: Fe³⁺) และไอออนซัลเฟอร์ (Sulfur ions: S²⁻) และ Mirhadhi and Mehdkhani [5] ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิหลอมเหลวและสภาวะรีดออกซ์ของเหล็กออกไซด์รวมจากวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการผลิตแก้วโซเดียมซิลิเกต พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิหลอมเหลวให้สูงขึ้น ทำให้ปริมาณไอออนเหล็กเฟอร์รัสมากขึ้น ส่งผลให้แก้วมีสีน้ำตาลอมเขียว

งานวิจัยหลายฉบับในช่วงต้นจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสีแก้วด้วยการใช้แบบการทดลองทีละปัจจัย (one factor at a time) ซึ่งจะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีและปัจจัยได้ทีละปัจจัยเท่านั้น เนื่องด้วยผู้วิจัยต้องการศึกษาผลกระทบหลัก (main effect) ของปัจจัย ผลกระทบร่วม (interaction effect) ระหว่างปัจจัย และความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (curvature) ของปัจจัย ดังนั้นจึงนำแบบการทดลองพื้นที่ผิวผลตอบ (response surface design) และการวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) [6] มาใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสีและปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยไปพร้อมกัน ซึ่งสามารถนำไปหาค่าปัจจัยในกระบวนการผลิตแก้วโซดาไลม์ที่ทำให้ได้ค่าสีตามที่ต้องการได้ในอนาคต

2. วิธีการดำเนินงาน

2.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

ข้อมูลสายการผลิตในส่วนของวัตถุดิบและเตาหลอมแก้วทั้งหมด 3 สาย ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2563 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2564 ได้จำนวนข้อมูลตัวแปรตอบสนองและปัจจัยทั้งหมด 770 ค่า

2.2 การกำหนดตัวแปรตอบสนองและปัจจัย

ผู้วิจัยศึกษาตัวแปรตอบสนอง 2 ตัวแปร คือ ค่าสี a และค่าสี b ซึ่งค่าสีแก้วจะเป็นคู่อันดับ (a,b) ในกราฟ 2 แกน โดยแกนนอน แทน "ค่าสี a" เมื่อค่าลบเป็นทิศทางสีเขียว ส่วนค่าบวกเป็นทิศทางสีแดง และแกนตั้ง แทน "ค่าสี b" เมื่อค่าลบเป็นทิศทางสีน้ำเงิน ส่วนค่าบวกเป็นทิศทางสีเหลือง ซึ่ง ณ จุดกำเนิด (0,0) ไม่มีสีหรือแก้วจะใส

ต่อมาพิจารณาปัจจัยนำเข้าทั้งหมด 10 ปัจจัย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ปัจจัยที่มาจากวัตถุดิบ ได้แก่ X₁ คือ ปริมาณเหล็กออกไซด์รวม X₂ คือ ปริมาณโซเดียมซัลเฟต และ X₃ คือ ปริมาณโคบอลต์ ส่วนที่ 2 ปัจจัยที่มาจากเตาหลอม ได้แก่ X₄ คือ อัตราการดึงน้ำแก้ว X₅ คือ อุณหภูมิหลังคาเตาหลอมจุดที่สอง X₆ คือ อุณหภูมิหลังคาเตาหลอมจุดที่สาม X₇ คือ อุณหภูมิใต้เตาหลอมจุดที่สอง X₈ คือ อุณหภูมิใต้เตาหลอมจุดที่สาม X₉ คือ ค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจน และ X₁₀ คือ ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิง

2.3 การเตรียมข้อมูล

ผู้วิจัยนำข้อมูลทั้งหมด 770 ค่า มาแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดข้อมูลเรียนรู้ (training set) ร้อยละ 70 มีจำนวนข้อมูล 539 ค่า เพื่อนำไปหาแบบจำลองถดถอย และชุดข้อมูลทดสอบ (test set) ร้อยละ 30 มีจำนวนข้อมูล 231 ค่า เพื่อใช้ทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองถดถอยที่ได้จากชุดข้อมูลเรียนรู้

2.4 การหาแบบจำลองการถดถอย

ผู้วิจัยนำชุดข้อมูลเรียนรู้ของค่าสี a, ค่าสี b และค่าปัจจัยมาวิเคราะห์การถดถอยด้วยโปรแกรม Minitab 21 ในรูปแบบสมการควอดราติก (Quadratic) เพื่อทดสอบผลกระทบหลักของปัจจัย

ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย และความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งของปัจจัย จากนั้นใช้การวิเคราะห์การถดถอยแบบขั้นตอน (stepwise regression) เพื่อหาแบบจำลองถดถอยที่มีเฉพาะของปัจจัยที่มีนัยสำคัญเท่านั้น

ในการหาแบบจำลองถดถอยแต่ละครั้ง โปรแกรมจะรายงานข้อมูลผิดปกติ (unusual observations) ประเภท R ของค่าที่ออกมา ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีค่าสัมบูรณ์ของค่าส่วนตกค้างมาตรฐาน (standardized residual) มากกว่า 2 ถือว่าเป็นข้อมูลผิดปกติ หรือข้อมูลที่มีค่าส่วนตกค้างมาก เมื่อเทียบกับค่าส่วนเหลือของข้อมูลตัวอื่น ๆ ฉะนั้นการนำข้อมูลผิดปกติประเภทนี้มาสร้างแบบจำลองถดถอย จะทำให้แบบจำลองถดถอยที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนจากข้อมูลส่วนใหญ่ และค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้ว (adjusted R square: R^2_{adj}) ของแบบจำลองถดถอยจะมีค่าลดลง ดังนั้นในแต่ละครั้งของการสร้างแบบจำลองการถดถอย ผู้วิจัยจะตัดข้อมูลผิดปกติประเภท R ของค่า a และค่า b ไปพร้อมกัน เมื่อข้อมูลค่าที่ทั้งคู่เป็นข้อมูลผิดปกติประเภท R หรือข้อมูลค่า a หรือค่า b ค่าใดค่าหนึ่งเป็นข้อมูลผิดปกติประเภท R ก่อนจะทำการหาแบบจำลองถดถอยครั้งถัดไปเสมอ และเสร็จสิ้นการหาแบบจำลองถดถอยเมื่อไม่พบข้อมูลผิดปกติประเภท R เกิดขึ้น

การเลือกแบบจำลองถดถอยเพื่อใช้พยากรณ์ค่า a และค่า b ต่อไปนั้น จะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้ว และจำนวนข้อมูลที่เหลือหลังจากลบข้อมูลผิดปกติประเภท R ออกแล้ว ซึ่งค่าทั้งสองจะต้องอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

2.5 การทดสอบความแม่นยำ

ผู้วิจัยได้นำค่าปัจจัยนำเข้าของข้อมูลชุดทดสอบมาแทนค่าลงในแบบจำลองถดถอยที่ผ่านเกณฑ์การพิจารณาแล้ว จะได้ค่าพยากรณ์ของค่า a และค่า b มาใช้ทดสอบความแม่นยำกับค่าจริงของค่า a และค่า b ของข้อมูลชุดทดสอบ ด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (mean absolute percentage error: MAPE) เพื่อเลือกแบบจำลองถดถอยที่มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยกว่าร้อยละ 10 ซึ่งเป็นระดับที่ยอมรับได้ ทำให้ค่าพยากรณ์ของค่า a และค่า b ของแบบจำลองถดถอยมีความน่าเชื่อถือ

2.6 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ผู้วิจัยวิเคราะห์กราฟพื้นผิวผลตอบ (surface plot) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง ผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่า a และค่า b ในแบบจำลองการถดถอย พร้อมทั้งสรุปผลการทดลอง

3. ผลการทดลอง

ผู้วิจัยได้แบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b จากการตัดข้อมูลผิดปกติประเภท R ออกไปทั้งหมด 26 ครั้ง จะได้แบบจำลองถดถอยของค่า a ในรูปสมการควอดราติกที่แตกต่างกันแบ่งเป็นค่า a

26 แบบ และค่า b 26 แบบ พบว่าแบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b ครั้งที่ 26 ที่ไม่พบข้อมูลผิดปกติประเภท R เกิดขึ้นแล้วนั้น จะมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้วของแบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b ร้อยละ 74.44 และ 78.01 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ เพราะมีค่ามากกว่าร้อยละ 60 ขึ้นไป แต่กลับมีจำนวนข้อมูลที่เหลือ (n) 191 ค่า จากข้อมูลทั้งหมด 539 ค่า ซึ่งถือว่ามีความค่อนข้างน้อย ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้พิจารณาแบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b ครั้งอื่น ๆ ที่มีจำนวนข้อมูลที่เหลือมากกว่าแบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b ครั้งที่ 26 อีกทั้งต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้วมีค่าใกล้เคียงแบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b ครั้งที่ 26 จึงจะสามารถยอมรับได้ พบว่าแบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b ครั้งที่ 14 และ 16 นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจที่ปรับแล้วและจำนวนข้อมูลที่เหลืออยู่ในระดับที่ยอมรับได้

จากนั้นนำแบบจำลองถดถอยทั้งหมดไปทดสอบความแม่นยำด้วยค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ พบว่าแบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b ครั้งที่ 16 มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองการถดถอยของค่า a และค่า b ครั้งอื่น ๆ ดังตารางที่ 1 โดยแบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b จะมีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ 5.05 ถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้ เพราะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 10 แต่แบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b จะมีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ 538.38 ซึ่งมีค่าสูงมาก จึงไม่สามารถยอมรับได้ สาเหตุอาจจะเป็นเพราะค่าความจุความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงไม่คงที่ ส่งผลให้ค่าอุณหภูมิเตาหลอมแก๊วไม่คงที่ตามไปด้วย เมื่อทำการปรับเพิ่มหรือลดปริมาณก๊าซเชื้อเพลิง จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะของไอออนเหล็กออกไซด์ที่เป็นสารให้สีแก้วในช่วงสีน้ำเงิน-สีเหลือง ทำให้ช่วงสีในแนวแกนตั้งหรือค่า b มีค่าไม่คงที่ จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงเลือกเฉพาะแบบจำลองถดถอยของค่า a ไปใช้งานเท่านั้น ดังสมการที่ (1)

$$a = -21.07 - 5.202X_1 + 5187X_3 + 2.151X_9 + 117185X_3^2 - 601X_3X_9 \quad (1)$$

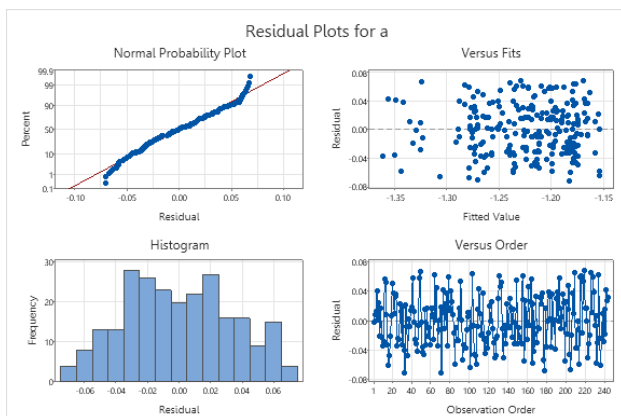
สำหรับแบบจำลองถดถอยของค่า b นั้น ผู้วิจัยจะหาแบบจำลองถดถอยใหม่ในอนาคต เมื่อโรงงานมีระบบควบคุมค่าความจุความร้อนของก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้รับมาจากผู้ผลิตให้คงที่มากขึ้น

ตารางที่ 1 ตัวชี้วัดของแบบจำลองถดถอยของค่า a และค่า b ครั้งที่ 14 16 และ 26

แบบจำลองการถดถอย	เทอมที่มีนัยสำคัญ	R^2_{adj} (%)	MAPE (%)	n
ค่า a ครั้งที่ 14	X_3^2, X_1X_3, X_3X_9	61.75	5.32	262
ค่า b ครั้งที่ 14	$X_7, X_2^2, X_6^2, X_8^2, X_2X_6, X_3X_6, X_6X_9, X_8X_9$	72.27	809.22	

แบบจำลองการถดถอย	เทอมที่มีนัยสำคัญ	R ² _{adj} (%)	MAPE (%)	n
ค่าสี a ครั้งที่ 16	X ₁ , X ₃ ² , X ₃ X ₉	62.45	5.05	244
ค่าสี b ครั้งที่ 16	X ₄ , X ₃ ² , X ₆ ² , X ₈ ² , X ₂ X ₆ , X ₂ X ₉ , X ₃ X ₆ , X ₆ X ₉	74.82	538.38	
ค่าสี a ครั้งที่ 26	X ₁ , X ₃ X ₉	74.44	5.20	191
ค่าสี b ครั้งที่ 26	X ₆ ² , X ₇ ² , X ₈ ² , X ₂ X ₆ , X ₂ X ₆ , X ₂ X ₆ , X ₃ X ₆ , X ₃ X ₆	78.01	808.15	

การตรวจสอบสมมติฐานความเหมาะสมของแบบจำลองถดถอยของค่าสี a ครั้งที่ 16 ว่ามีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือไม่ จะพิจารณาจากกราฟส่วนตกค้าง (residual plot) ดังรูปที่ 1 ซึ่งมีสมมติฐาน 3 ข้อ ได้แก่ สมมติฐานที่ 1 ส่วนตกค้างมีการแจกแจงปกติ พบว่ากราฟการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติจะมีลักษณะไม่เป็นเส้นตรง โดยเฉพาะที่ปลายกราฟจะมีลักษณะเป็นเฮฟวีเทล (Heavy-tailed) ซึ่งสอดคล้องกับกราฟฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นผลให้ค่าความน่าจะเป็น (p-value) น้อยกว่าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 เพราะการลบข้อมูลผิดปกติประเภท R ออกไปจำนวนมากขึ้น ทำให้จำนวนข้อมูลที่นำมาสร้างแบบจำลองถดถอยน้อยลง และส่งผลให้ข้อมูลที่มีค่าส่วนตกค้างน้อยกว่าข้อมูลผิดปกติประเภท R เพียงเล็กน้อย จะมีสัดส่วนมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนข้อมูลทั้งหมด สมมติฐานที่ 2 ส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน พบว่ากราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (observation order) ของแบบจำลองถดถอยของค่าสีทั้งสองนั้น มีการกระจายตัวอย่างสุ่ม และสมมติฐานที่ 3 ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนคงที่ พบว่ากราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (fitted value) ของแบบจำลองการถดถอยของค่าสีทั้งสองนั้นไม่มีลักษณะการกระจายตัวที่เป็นแนวโน้ม จึงสรุปได้ว่าแบบจำลองถดถอยของค่าสี a ครั้งที่ 16 มีความเหมาะสมกับข้อมูล



รูปที่ 1 กราฟส่วนตกค้างของแบบจำลองถดถอยของค่าสี a

ต่อมาวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองถดถอยของค่าสี a ดังรูปที่ 2 จะได้ว่าเทอมที่มีนัยสำคัญ นั่นคือ เทอมที่มีค่าความน่าจะเป็นน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 มีอยู่ 5 เทอม ได้แก่ เทอมผลกระทบหลัก

ปริมาณเหล็กออกไซด์รวม เทอมผลกระทบหลักปริมาณโคบอลต์ เทอมผลกระทบหลักค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจน เทอมกำลังสองปริมาณโคบอลต์ และเทอมผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณโคบอลต์และค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจน

Regression Equation

$$a = -21.07 - 5.202 \text{ Fe}_2\text{O}_3 (\%) + 5187 \text{ Co} + 2.151 \text{ Gas ratio} + 117185 \text{ Co}^*\text{Co} - 601 \text{ Co}^*\text{Gas ratio}$$

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	95% CI	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-21.07	7.70	(-36.25, -5.89)	-2.73	0.007	
Fe ₂ O ₃ (%)	-5.202	0.823	(-6.823, -3.581)	-6.32	0.000	1.18
Co	5187	1997	(1253, 9121)	2.60	0.010	29226.85
Gas ratio	2.151	0.802	(0.572, 3.730)	2.68	0.008	1185.34
Co*Co	117185	44359	(29799, 204571)	2.64	0.009	768.45
Co*Gas ratio	-601	208	(-1010, -192)	-2.89	0.004	29440.44

Model Summary

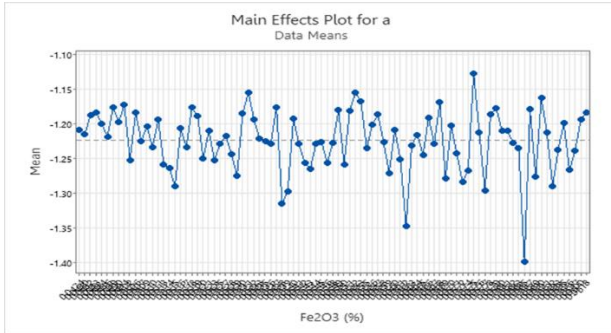
S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
0.0346084	63.22%	62.45%	0.300758	61.20%	-940.62	-916.62

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	5	0.489992	63.22%	0.489992	0.097998	81.82	0.000
Fe ₂ O ₃ (%)	1	0.002904	0.37%	0.047893	0.047893	39.99	0.000
Co	1	0.406216	52.41%	0.008080	0.008080	6.75	0.010
Gas ratio	1	0.064716	8.35%	0.008624	0.008624	7.20	0.008
Co*Co	1	0.006132	0.79%	0.008359	0.008359	6.98	0.009
Co*Gas ratio	1	0.010024	1.29%	0.010024	0.010024	8.37	0.004
Error	238	0.285062	36.78%	0.285062	0.001198		
Total	243	0.775054	100.00%				

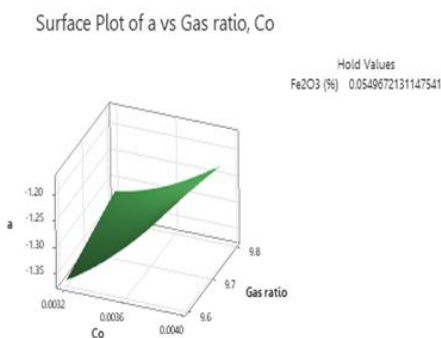
รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของแบบจำลองถดถอยของค่าสี a

การอธิบายเทอมผลกระทบหลักปริมาณเหล็กออกไซด์ด้วยกราฟผลกระทบหลัก ดังรูปที่ 3 พบว่าเมื่อปริมาณเหล็กออกไซด์รวมเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของค่าสี a มีการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน ดังนั้นจึงพิจารณาสัมประสิทธิ์ของเทอมปริมาณเหล็กออกไซด์รวมในแบบจำลองถดถอยของค่าสี a ซึ่งมีค่าเป็นลบ แสดงว่า เมื่อปริมาณเหล็กออกไซด์รวมเพิ่มขึ้น ค่าสี a จะลดลง ทำให้แก๊วมีสีเขียวมืดขึ้น เพราะเหล็กออกไซด์รวมจะมีไอออนเหล็กอยู่ร่วมกัน 2 สถานะ คือ ไอออนเหล็กเฟอร์รัส จะมีสีน้ำเงินอมเขียว และไอออนเหล็กเฟอร์ริก จะมีสีเหลือง เมื่อสีทั้งสองเกิดการผสมกันจะได้เป็นสีเขียว ดังนั้นเหล็กออกไซด์รวมจึงเป็นสารที่ทำให้แก๊วมีสีเขียวนอกจากนี้เหล็กออกไซด์รวมยังมีผลต่อค่าสี b ด้วยเช่นกัน คือ เมื่ออัตราส่วนไอออนเหล็กเฟอร์รัสต่อไอออนเหล็กเฟอร์ริกมีการเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อไอออนเหล็กเฟอร์รัสเพิ่มขึ้น ค่าสี b จะลดลง ทำให้แก๊วมีสีเขียวมืดลง แต่เมื่อไอออนเหล็กเฟอร์รัสลดลง ค่าสี b จะเพิ่มขึ้น ทำให้แก๊วมีสีเขียวมืดลง



รูปที่ 3 กราฟผลกระทบหลักปริมาณเหล็ก (III) ออกไซด์

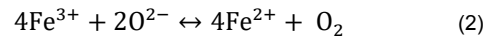
นอกจากนี้ทอมผลกระทบหลักปริมาณโคบอลต์ ทอมผลกระทบหลักค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจน ทอมกำลังสองปริมาณโคบอลต์ สามารถนำมาพิจารณาไปพร้อมกับทอมผลกระทบร่วมระหว่างปริมาณโคบอลต์และค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจน ด้วยกราฟพื้นผิวผลตอบ ดังรูปที่ 4 พบว่าการใช้ค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจนที่ระดับต่ำ (9.6) เมื่อเพิ่มปริมาณโคบอลต์จากระดับต่ำ (0.0032) ไปสู่ระดับกลาง (0.0036) ค่าสี a เพิ่มขึ้นจาก -1.37 เป็น -1.29 ต่อมาเพิ่มปริมาณโคบอลต์จากระดับกลางไปสู่ระดับสูง (0.0040) ค่าสี a เพิ่มขึ้นจาก -1.29 เป็น -1.16 ทำให้แก้วเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อน ซึ่งกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงายจากผลทอมกำลังสองของปริมาณโคบอลต์ และการใช้ค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจนที่ระดับสูง (9.8) เมื่อเพิ่มปริมาณโคบอลต์จากระดับต่ำ (0.0032) ไปสู่ระดับกลาง (0.0036) ค่าสี a เพิ่มขึ้นจาก -1.33 เป็น -1.29 ต่อมาเพิ่มปริมาณโคบอลต์จากระดับกลางไปสู่ระดับสูง (0.0040) ค่าสี a เพิ่มขึ้นจาก -1.29 เป็น -1.21 ทำให้แก้วเปลี่ยนจากสีเขียวเข้มเป็นสีเขียวอ่อน กราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งหงายจากผลทอมกำลังสองของปริมาณโคบอลต์เช่นกัน



รูปที่ 4 กราฟพื้นผิวผลตอบของทอมปริมาณโคบอลต์กับค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจน

การใช้ค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจนที่ระดับต่ำ เมื่อเพิ่มปริมาณโคบอลต์จากระดับต่ำไปสู่ระดับสูง ค่าสี a จะมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจนที่ระดับสูง ซึ่งการใช้ค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจนที่ระดับต่ำ ก๊าซ

ออกซิเจนจะมีปริมาณมาก จึงเกิดสภาวะออกซิเดชัน (oxidation state) ไอออนเหล็กเฟอร์สเปลี่ยนเป็นไอออนเหล็กเฟอร์ริก ดังสมการที่ 2 ซึ่งไอออนเหล็กเฟอร์ริกจะมีสีเหลือง เมื่อเพิ่มปริมาณโคบอลต์ที่เป็นสารให้สีน้ำเงินให้มากขึ้น อาจเกิดการผสมสีระหว่างสีเหลืองและสีน้ำเงิน ทำให้แก้วมีสีเขียวอ่อนลง ค่าสี a จึงมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าการใช้ค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจนที่ระดับสูง ซึ่งก๊าซเชื้อเพลิงหรือคาร์บอนจะมีปริมาณมาก เกิดสภาวะรีดักชัน (reduction state) ไอออนเหล็กเฟอร์ริกเปลี่ยนเป็นไอออนเหล็กเฟอร์ส โดยไอออนเหล็กเฟอร์สจะมีสีน้ำเงินอมเขียว เมื่อเพิ่มปริมาณโคบอลต์ให้มากขึ้น อาจเกิดการผสมสีระหว่างสีน้ำเงินเขียวและสีน้ำเงิน ทำให้แก้วมีสีเขียวอ่อนลงไม่มากนัก



4. สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของค่าสี a และค่าสี b กับปัจจัยในส่วนของวัตถุดิบและเตาหลอมของกระบวนการผลิตแก้วโซดาไลม์ ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบขั้นตอน ทำให้ได้แบบจำลองถดถอยของค่าสี a ที่มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ และปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อค่าสี a มี 3 ปัจจัย ได้แก่ ปริมาณเหล็กออกไซด์รวม ปริมาณโคบอลต์ และค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซออกซิเจน ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้ เมื่อปริมาณเหล็กออกไซด์รวมเพิ่มขึ้น ค่าสี a จะลดลง ทำให้แก้วมีสีเขียวเข้มขึ้น แต่ถ้าปริมาณโคบอลต์และค่าสัดส่วนก๊าซเชื้อเพลิงต่อก๊าซเพิ่มขึ้น ค่าสี a จะเพิ่มขึ้น ทำให้แก้วมีสีเขียวอ่อนลง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐพล เล่าห์รอดพันธุ์. อุตสาหกรรมการผลิตแก้ว, สาขาวิชาเคมี อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีสิ่งทอ: คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2558.
- [2] K.S. Katkova, T.I. Balandina and E.P. Seregina. 1989. Efficient use of decolorizing agent in production of colorless container glass. Science for the glass industry, Vol. 2: 6-7.
- [3] H. Müller-Simon. Investigation on selenium decolorization of industrially melted flint glasses. Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG), 75-77.
- [4] M.Hujova. 2017. Influence of Fining Agents on Glass Melting: A Review, Part 1. Ceramics - Silikaty, 119-126. doi:10.13168/cs.2017.0006
- [5] B. Mirhadi and B. Mehdikhani. 2011. Effect of Batch Melting Temperature and Raw Material on Iron Redox State in Sodium Silicate Glasses. Journal of the Korean Ceramic Society, 48(2), 117-120. doi:10.4191/kcers.2011.48.2.117
- [6] ปารเมศ ชูดีมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

การผลิตภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

Production of Food Containers from Coconut Coir Fiber Mixed with Polyethylene (HDPE) Powder

วรพงศ์ บุญช่วยแทน¹ ธัญวัลย์ จิรันดร² รุสมนต์ ยุระพันธ์³ ชาตรี หอมเขียว¹ ศศิประภา เต็มสิริมงคล¹ ปณัทศน์ หนูเขียว¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

²สาขาวิชาศึกษาทั่วไป คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

³สาขาวิชาระบบสารสนเทศ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

E-mail: worapong.b@rmutsv.ac.th*

Worapong Boonchouytan¹, Tanwalai Chirandorn², Russamon Yuraphan³, Chatree Homkhiew¹, Sasiprapa Temsirimongkon¹,
Panathat Nukhiao¹

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

²Department of General Education, Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Srivijaya

³Department of Information System, Faculty of Business Administration, Rajamangala University of Technology Srivijaya

E-mail: worapong.b@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) และศึกษาสมบัติของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวสำหรับการบริโภคของผู้สูงอายุ โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ดังนี้ 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 30:70 20:80 และ 10:90 (ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก) กระบวนการการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียส และเวลาในการอัดขึ้นรูปร้อน 3 ระดับ คือ 4 6 และ 8 นาที จากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกล และสมบัติทางกายภาพ ผลการทดสอบพบว่า การอัดขึ้นรูปร้อนภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน (HDPE) อัตราส่วนที่ 80:20 70:30 60:40 และ 50:50 สามารถอัดขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหารได้ และอัตราส่วนที่ 90:10 40:60 30:70 20:80 และ 10:90 ไม่สามารถอัดขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหารได้ สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้นำเสนอผลการทดสอบที่อัตราส่วน 50:50 ค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนเฉลี่ยสูงสุด 3.67 MPa ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลาในการอัดขึ้นรูปร้อน 8 นาที ค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างเฉลี่ยสูงสุด 0.43 MPa ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลาในการอัดขึ้นรูปร้อน 8 นาที ค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยสูงสุด 0.63 MPa ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลาในการอัดขึ้นรูปร้อน 8 นาที และมีค่าการดูดซึมน้ำที่ 59 นาที ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เวลาในการอัดขึ้นรูปร้อน 8 นาที

คำสำคัญ: ภาชนะบรรจุอาหาร เส้นใยกาบมะพร้าว ผงพอลิเอทิลีน (HDPE)

Abstract

The objectives of this research were to investigate the production of food container from coir fiber mixed with polyethylene (HDPE) powder and to study the properties of food container from coir fiber for the consumption of the elderly. Coir husk fiber mixed with polyethylene (HDPE) powder will be studied on the ratio between coir fiber mixed with polyethylene powder as follows: 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 30:70 20:80 and 10:90 (volume percent by weight). The hot forming process was carried out at two temperatures, 150 and 170 °C, and three levels of hot forming time: 4, 6, and 8 minutes. Then the mechanical properties and physical properties were tested. The test results showed that for hot forming into food container made from coir fiber mixed with polyethylene (HDPE), ratios of 80:20, 70:30, 60:40, and 50:50 can be formed into food container; and the ratio of 90:10, 40:60, 30:70, 20:80 and 10:90 cannot be formed into food container, for this research, the test results were presented at a ratio of 50:50. The upper mean compressive strength test was 3.67 MPa with a temperature of 170 °C, and a hot forming time of 8 min; The highest mean lateral compressive strength test was 0.43 MPa, at 150 °C, hot forming time of 8 minutes; The highest mean tensile strength was 0.63 MPa, at 170 °C, hot forming time of 8 min. and water absorption at 59 minutes, at 170 °C, hot forming time of 8 minutes.

Keywords: Food Containers, Coconut Coir Fiber, Polyethylene Powder (HDPE)

1. บทนำ

ปัจจุบันประชากรโลกได้เพิ่มมากขึ้น ปริมาณการใช้งานผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติกและโฟมเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ผลิตภัณฑ์จากพลาสติกและโฟมมีการผลิตขึ้นเป็นจำนวนมากเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการโดยบรรจุภัณฑ์ที่ได้ จากพลาสติกและโฟม ส่วนใหญ่จะถูกใช้งานครั้งเดียวแล้วทิ้งจนปริมาณขยะเหล่านั้นส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมากสถานการณ์ขยะพลาสติกและระบบการจัดการขยะโดยรวมของประเทศไทยว่า เดิมทีประเทศไทยมีระบบการจัดการขยะที่ค่อนข้างแย่ ในหนึ่งปีมีจำนวนขยะโดยรวมประมาณ 27-28 ล้านตัน มีขยะเพียงจำนวน 11.70 ล้านตัน เท่านั้นที่ถูกกำจัดโดยวิธีการฝังกลบ ซึ่งเป็นวิธีการที่ถูกต่อต้านที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเช่นกัน เพราะทำให้เกิดน้ำเสียทำให้ต้องมีมาตรการบำบัดน้ำเสียออกมารองรับเฉลี่ยแล้วคนหนึ่งคนสร้างขยะวันละ 1.13 กิโลกรัม เป็นขยะพลาสติกประมาณร้อยละ 12-13 ในขณะที่เขตกรุงเทพมหานครมีปริมาณขยะพลาสติก ประมาณร้อยละ 20 หรือ 2,000 ตันต่อวัน จากปริมาณขยะรวมของกรุงเทพมหานคร 10,500 ตันต่อวัน [1]

จากปริมาณประชากรที่เพิ่มมากขึ้นย่อมส่งผลทำให้มีขยะเพิ่มมากขึ้น แนวทางในการแก้ไขหรือพัฒนาจึงต้องใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถย่อยสลายได้ โดยที่ประเทศไทยทำอาชีพเป็นเกษตรกรรม ซึ่งคนไทยสืบทอดอาชีพนี้กันมายาวนาน มีการทำเกษตรกรรมในรูปแบบต่าง ๆ ให้มีรายได้จากการส่งออกผลผลิตทางการเกษตร ทั้งในรูปแบบผลิตภัณฑ์ปฐมภูมิอย่าง ข้าว ยางพารา มันสำปะหลัง มะพร้าว และส่วนหนึ่งในการส่งออกก็มาจากผลิตภัณฑ์แปรรูปจากผลผลิตทางการเกษตร [2] ซึ่งในทางเกษตรมีการปลูกมะพร้าวกันมากโดยเฉพาะทางภาคใต้เป็นแหล่งที่มีการปลูกมะพร้าวมากที่สุดในประเทศ โดยมีการปลูกกันในทุกจังหวัดมีพื้นที่เป็นส่วนมะพร้าวรวมกว่า 2 ล้านไร่ มะพร้าวจะเจริญงอกงามได้ดีในแหล่งที่มีฝนตกชุกอากาศอบอุ่นหรือค่อนข้างร้อน ภาคใต้จึงเป็นแหล่งที่มีความเหมาะสมในการปลูกมะพร้าวมากที่สุด และจังหวัดที่มีปริมาณการปลูกมะพร้าวมากที่สุด ได้แก่ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และปัตตานี นอกจากจังหวัดต่าง ๆ ในภาคใต้ดังกล่าวแล้วยังมีการปลูกมะพร้าวกันมากในจังหวัดชายทะเลของภาคอื่น ๆ ด้วย ซึ่งนอกจากนี้ในจังหวัดชายทะเล เช่น พระนครศรีอยุธยา สมุทรสงคราม สมุทรสาคร สมุทรปราการ ชลบุรี จันทบุรี เป็นต้น ก็มีการปลูกมะพร้าวเป็นจำนวนมาก ด้วยเหตุนี้มะพร้าวจึงเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของไทยที่สามารถทำรายได้ให้ประเทศเป็นจำนวนมากดังที่กรมส่งเสริมการเกษตรได้กล่าวไว้ว่า มะพร้าวเป็นพืชที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจพืชหนึ่งของประเทศไทยผลผลิตมะพร้าวในแต่ละปีมีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 3,000 ล้านบาทต่อปี โดยคนไทยรู้จักใช้เนื้อมะพร้าวในการบริโภคเป็นอาหารทั้งคาวและหวานในชีวิตประจำวัน [3]

อัตราการเพิ่มขึ้นของกระบวนการผลิตมะพร้าวยังคงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในตลาดของประเทศหรือตลาดโลก ซึ่งจากการเติบโตของกระบวนการผลิตก็ย่อมส่งผลให้อัตราขยะจากมะพร้าวเพิ่มจำนวนสูงขึ้นด้วยถึงแม้ว่าจะมีการจัดการกับขยะส่วนนี้แล้วก็ตามแต่ก็ยังมีส่วนที่เหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก กาบมะพร้าวหรือเปลือกมะพร้าว มีคุณสมบัติ

แข็งแรง คงทนต่อน้ำและน้ำทะเล มีความยืดหยุ่น และสปริงดี นำมาทำเชือก ทำพรม กระสอบ แปรงชนิดต่าง ๆ อวน ไม้กวาด เส้นโอบเส้นโซ่อดไส้ของที่นอน เบาะรถยนต์ เป็นต้น จึงได้เกิดงานวิจัยเพื่อนำกามะพร้าวที่เหลือทิ้งมาทำเป็นภาชนะบรรจุภัณฑ์ เพื่อใช้ประโยชน์และสร้างมูลค่าให้มากที่สุด

ในอดีตมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ ศศิกันต์ และคณะ [4] การผลิตโพลียออลิเอสเตอร์จากแป้งข้าวเจ้าเสริมแรงด้วยเส้นใยจากผักตบชวา มีปัจจัยที่ทำการศึกษาร่วมกับ เส้นใยผักตบชวาร้อยละ 0-20 กลิเซอร์ออลิเอสเตอร์ 0-15 และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ร้อยละ 0-7.5 โดยใช้แป้งข้าวเจ้าเป็นวัตถุดิบหลัก ใช้กลิเซอร์ออลิเอสเตอร์เป็นสารพลาสติกไซเซอร์ ใช้พอลิไวนิลแอลกอฮอล์เป็นสารเติมแต่ง ใช้เส้นใยผักตบชวาเป็นสารเสริมแรงและน้ำเป็นตัวช่วยในการผสมส่วนประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกัน และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพของโพลีที่ได้ประกอบด้วย ค่าความทนต่อแรงดึง ค่าการดูดซึมน้ำ ทำการวิเคราะห์ทางสถิติด้วย ANOVA เพื่อหาค่าความแปรปรวนของการทดลอง บัตติยา และคณะ [5] ศึกษาคุณสมบัติของภาชนะที่ผลิตจากเส้นใยหญ้าจอบและเส้นใยผักตบชวา และเพื่อศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการทาภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยทดลองผสมในอัตราส่วนต่าง ๆ ทั้งหมด 12 สูตร จากนั้นศึกษาคุณสมบัติของภาชนะ ดังนี้ การวัดความหนาโดยใช้ micrometer การศึกษาสันฐานวิทยาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์สแตไดโอการทดสอบแรงดึง และการหาค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ จากงานวิจัยทั้ง 2 เรื่องดังกล่าวยังไม่พบผลงานที่นำเส้นใยมะพร้าวผสมกับพลาสติก HDPE (พลาสติกชนิดความหนาแน่นสูง) ซึ่งเป็นพลาสติกที่มีความหนาแน่นสูง ยืดหยุ่น ทนทานต่อการ แตก หัก หรือ งอได้ดี ทนสารเคมี และป้องกันความชื้นได้ดี ทนความร้อนได้ดีเล็กน้อย และสามารถทนความเย็นต่ำกว่าจุดเยือกแข็งได้ นำมาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ที่สามารถประยุกต์ใช้กับอาหารได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษากระบวนการอัดขึ้นรูป (Compression Molding) โดยการนำเส้นใยมะพร้าวจากเปลือกมะพร้าวผสมพอลิเอทีลีน (HDPE) มาผลิตเป็นภาชนะบรรจุอาหารทดแทนพลาสติก โดยจะมุ่งเน้นศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหาร สมบัติทางกลของภาชนะบรรจุอาหาร ลักษณะทางกายภาพ และการนำไปใช้ทดแทน เพื่อศึกษาแนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำวัสดุเหลือใช้การเกษตรไปใช้ผลิตภาชนะบรรจุอาหารและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมทดแทนการใช้พลาสติกในอนาคตต่อไป

2. วัตถุประสงค์และวิธีการดำเนินงานวิจัย

การผลิตภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกามะพร้าวผสมพอลิเอทีลีน (HDPE) มีขั้นตอนกระบวนการขึ้นรูป การทดสอบสมบัติทางกล และการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ดังต่อไปนี้

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

เส้นใยเปลือกมะพร้าวซึ่งเป็นวัสดุหลักในการขึ้นรูปเป็นภาชนะบรรจุอาหาร โดยการนำเปลือกมะพร้าวมาเข้าสู่การแยกเส้นใยและขุย

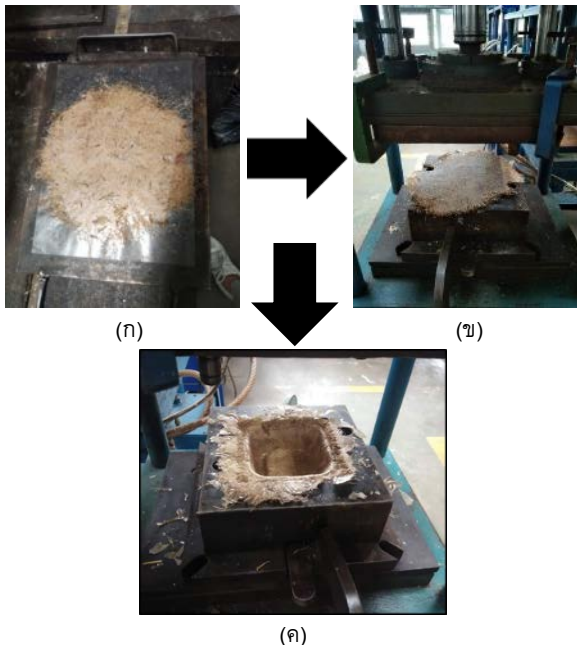
จากเปลือกมะพร้าวด้วยเครื่องแยกเส้นใยและขุยจากเปลือกมะพร้าว จะได้เส้นใยเปลือกมะพร้าวที่มีขนาด 1-2 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 1 นอกจากนี้ก็มี ผงพอลิเอทิลีน (HDPE) และน้ำมันพืช ประกอบด้วย



รูปที่ 1 เส้นใยเปลือกมะพร้าว

2.2 วิธีการดำเนินงานวิจัย

- (1) เตรียมเส้นใยจากมะพร้าวที่ได้จากการทำเป็นเส้นใยเสร็จแล้ว นำมาชั่งให้ได้ ปริมาณ 20 กรัม
- (2) ทำการตวงซึ่งผงพอลิเอทิลีน (HDPE) ในปริมาณ 10 กรัม ผสมกับน้ำมันพืช 4% และคลุกให้เข้ากัน
- (3) จากนั้นนำเส้นใยจากมะพร้าวเข้าเครื่องอัดรีด ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดันที่ 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เพื่อทำการอัดเป็นแผ่นและนำเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 2



- รูปที่ 2 ภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน
- (ก) แผ่นเส้นใยจากมะพร้าวที่ได้จากการอัดรีด
 - (ข) นำเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน และ
 - (ค) ภาชนะบรรจุอาหารหลังจากเข้าเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนแล้ว

(4) เมื่อได้ขอบเขตปัจจัยการทดลองอัดขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีนแล้ว จึงทำการอัดขึ้นรูปเส้นใยจากมะพร้าวที่เครื่องอัดขึ้นรูปร้อน แล้วนำออกจากแม่พิมพ์แล้วทำความสะอาดแม่พิมพ์ จะได้ภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน พร้อมนำไปทดสอบสมบัติทางกล และการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ต่อไป

ตารางที่ 2 ปัจจัยการทดลองการอัดขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

ความดัน (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
2,800	150	4
		6
		8
2,800	170	4
		6
		8

2.3 การทดสอบสมบัติทางกลและการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ

(1) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนและความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D790 - 10 ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine, ยี่ห้อ NRI รุ่น TS500-50) แรงที่ใช้ในการทดสอบสูงสุด 5 กิโลนิวตัน ความเร็วที่ใช้ในการกดขึ้นงาน (Crosshead Speed) เท่ากับ 1.3 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการทดสอบหาค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 10 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตร

(2) การทดสอบความต้านทานแรงดึง การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D828 มาตรฐานการทดสอบแรงดึงของกระดาษและกระดาษแข็ง ด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine, ยี่ห้อ NRI รุ่น TS500-50) แรงที่ใช้ในการทดสอบสูงสุด 5 กิโลนิวตัน ความเร็วที่ใช้ในการกดขึ้นงาน (Crosshead Speed) เท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการทดสอบหาค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 10 ชิ้นทดสอบในแต่ละสูตร

(3) การทดสอบดูดซึมน้ำ การทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D779 มาตรฐานการทดสอบความต้านทานต่อน้ำของกระดาษและวัสดุแผ่นอื่น ๆ ใช้สีผสมอาหารผสมกับน้ำในอัตราส่วน สีผสมอาหาร 1.5 กรัม กับน้ำ 100 มิลลิลิตร จากนั้นหยดลงบนพื้นผิวของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยเปลือกมะพร้าว แล้วเริ่มจับเวลาตั้งแต่น้ำสัมผัสกับพื้นผิวของภาชนะบรรจุอาหาร โดยทำการทดสอบหาค่าเฉลี่ยอย่างน้อย 5 จุดในแต่ละสูตร

(4) การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ โดยการศึกษาความพึงพอใจของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยจากมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน โดยมุ่งเน้นกลุ่มเป้าหมาย 4 กลุ่ม ได้แก่ ผู้ประกอบการร้านอาหาร

ผู้ให้บริการร้านอาหาร อาจารย์ และนักศึกษา จำนวนทั้งหมด 100 คน มีเกณฑ์ในการให้คะแนนระดับความพึงพอใจ และคำนวณค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจตามเกณฑ์ของแต่ละข้อ โดยเลือกใช้สภาวะที่เหมาะสมมาผลิตภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีนต้นแบบ แล้วนำมาวัดค่าระดับความพึงพอใจ

3. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

3.1 ผลการทดลองอัดขึ้นรูปร้อนภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปร้อนภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน โดยศึกษาอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ดังนี้ 90:10 80:20 70:30 60:40 50:50 40:60 30:70 20:80 และ 10:90 (ปริมาณร้อยละโดยน้ำหนัก) กระบวนการการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 150 และ 170 องศาเซลเซียส และเวลาในการอัดขึ้นรูปร้อน 3 ระดับ คือ 4 6 และ 8 นาที

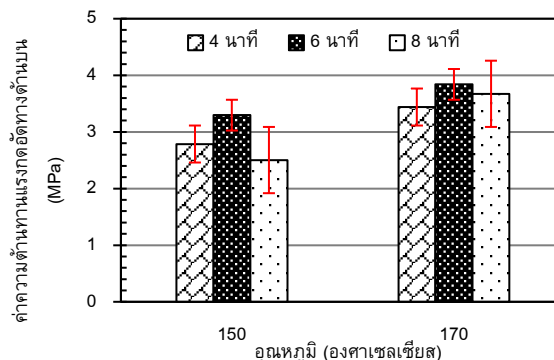
วิเคราะห์ผลการทดลองการอัดขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน พบว่า อัตราส่วนที่สามารถอัดขึ้นรูปได้ประกอบด้วย 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 นอกนั้นไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้ เนื่องจาก เส้นใยมะพร้าวมีอัตราส่วนที่น้อยเกินไปจนไม่สามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะได้ หรือ บางอัตราส่วนมีผงพอลิเอทิลีนมากเกินไปจนไม่สามารถนำมาเป็นภาชนะได้

ดังนั้นผลการวิจัยการทดสอบสมบัติทางกลและการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ จะนำเสนอการอัดขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ที่อัตราส่วน 50:50 เนื่องจากมีความสมบูรณ์ของผลิตภัณฑ์มากที่สุด ทั้งรูปร่าง ความคงตัว และความสมบูรณ์ของเส้นใย

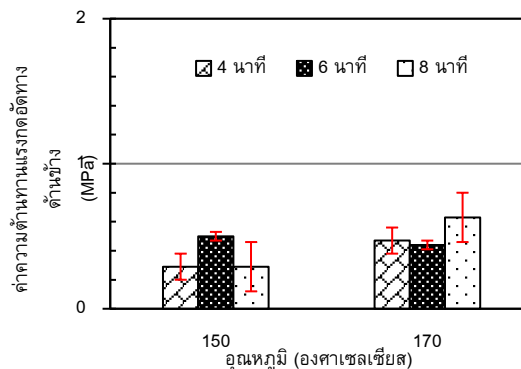
3.2 ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

(1) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน พบว่า ค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 3.67 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าแรงกดอัดด้านบนเท่ากับ 2.50 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบน ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้นในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน มีค่าการ

ทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 1.17 MPa สอดคล้องกับ ศศิกานต์ และคณะ [4] พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณการเติมเส้นใยผักตบชวามากขึ้น เซลล์จะมีขนาดเล็กลงเนื่องจากเส้นใยผักตบชวาจะเข้าไปยึดเกาะตัวกับโมเลกุลของแป้ง ส่งผลให้เซลล์ภายในชิ้นงานโม่ย่อยสลายได้มีขนาดเล็กลง ค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน



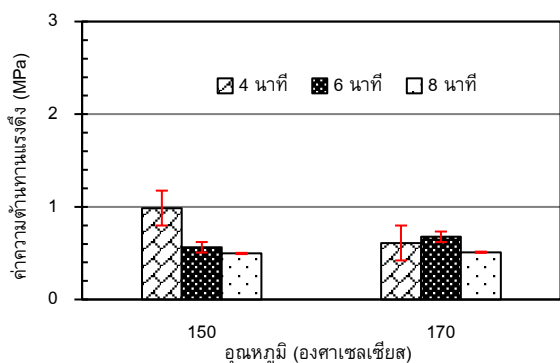
รูปที่ 4 ค่าความต้านทานแรงกดอัดทางด้านข้างภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

(2) ผลการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน พบว่า ค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาที มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท่ากับ 0.43 MPa และค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาที มีค่าแรงกดอัดด้านข้างเท่ากับ 0.17 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้าง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไปและใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย ภาชนะมีความเปราะและแข็ง สอดคล้องกับ ลดา

มาต เบ็ญชา และคณะ [6] การเพิ่มสัดส่วนของไบข้าวโพดจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีเข้มนมากขึ้น ค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน แสดงดังรูปที่ 4

3.3 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

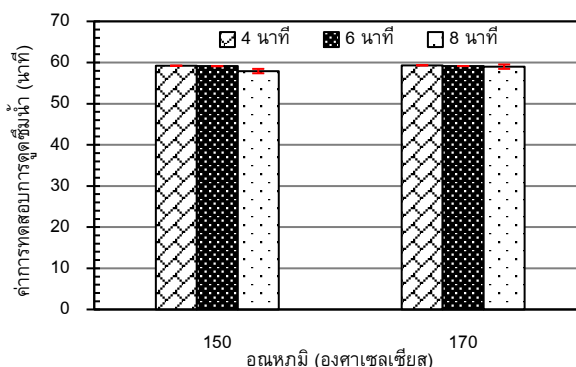
ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน พบว่า ค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าแรงดึงเท่ากับ 0.63 MPa และค่าความต้านทานแรงดึงต่ำที่สุดอยู่ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาที มีค่าแรงดึงเท่ากับ 0.29 MPa ซึ่งจากค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึง ในอุณหภูมิที่ไม่สูงเกินไป และใช้เวลาสูงขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันได้ดี และยึดเกาะกันแน่น เส้นใยไม่เสียหายเกิดการเสียหายเพราะไม่โดนความร้อนที่มากเกินไป แต่เมื่ออุณหภูมิที่มากขึ้น และเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยเกิดการเสียหาย สอดคล้องกันกับ นที ฐานมัน [7] และ บัตติยา ซออังชัน และคณะ [5] ว่าสูตรที่ไม่มีตัวประสานจะมีลักษณะคล้ายกระดาษสา มีโครงสร้างภายในเส้นใยไม่ยึดเกาะกัน และมีรูพรุนขนาดเล็กเกิดขึ้นทั่วทั้งภาชนะ ส่วนภาชนะที่มีตัวประสาน เส้นใยจะยึดติดกันแน่น ไม่มีความพรุน เนื่องจากตัวประสานจะเข้าไปเติมเต็มช่องว่างระหว่างเส้นใยขึ้นทดสอบจึงมีสมบัติที่ดีขึ้น ในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน มีค่าการทดสอบความต้านทานแรงดึงสูงที่สุดและต่ำสุด ต่างกันอยู่ที่ 0.34 MPa เนื่องจากเส้นใยที่มีความยาวมากจะมีสมบัติการต้านแรงดึงมาก เนื่องจากเส้นใยที่มีความยาวมากกว่าจะสามารถยึดเกาะตัวกันได้ดีกว่าเส้นใยสั้น เพราะมีผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยมาก สอดคล้องกับ มลสุดา ลิวโรสง [8] ค่าความต้านทานแรงดึงของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ค่าความต้านทานแรงดึงภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

3.4 ผลการทดสอบความต้านทานแรงดึงภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน พบว่า เมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีการเรียงตัวกันดีขึ้น ภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ที่มีการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 8 นาที มีค่าการดูดซึมน้ำเข้าสู่อยู่ที่ 59 นาที 33 วินาที และการอัดขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่เวลา 8 นาที มีค่าการดูดซึมน้ำเร็วสุดอยู่ที่ 57 นาที 95 วินาที ซึ่งจากค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำในกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อนภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ที่เวลา 3, 6 และ 8 นาที มีค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำเข้าสู่และเร็วสุดต่างกันเป็นเวลา 1 นาที 38 วินาที การใส่ตัวประสานนั้นทำให้ช่องว่างระหว่างเศษไม้ลดลงมาก และน่าจะเป็นสาเหตุที่ทำให้แรงยึดเกาะภายในชิ้นงานดีขึ้นจากการเติมตัวประสานดังกล่าว สอดคล้องกับ Kinoshita et al [9] ดังนั้น ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ภาชนะจากสูตรที่มีตัวประสานจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำต่ำกว่าภาชนะจากสูตรที่ไม่มีตัวประสาน และสูตรที่มีปริมาณเส้นใยมากจะทำให้ภาชนะดูดซึมน้ำได้ดี ค่าการดูดซึมน้ำของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ค่าการทดสอบการดูดซึมน้ำภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

3.5 ผลกระทบการที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

จากการทดลองในการอัดขึ้นรูปร้อนภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน การทดสอบสมบัติทางกลตามมาตรฐานของ American Society for Tasting and Materials (ASTM) พบว่าในอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที เหมาะสมที่สุดเนื่องจากภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน มีการอัดขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิที่พอเหมาะและเวลาที่เหมาะสม ทำให้เส้นใยที่เรียงตัวกันแน่นไม่เกิดการเสียหาย จึงทำให้ผิวสัมผัสมีลักษณะทางกายภาพที่เรียบทั่วกันทั้งภาชนะ มีความแข็งแรง และยังคง

สีธรรมชาติเดิมไม่มีสีที่เปลี่ยนไป มีการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านบนและค่าการทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างที่สูงที่สุดถึง 3.67 MPa และ 0.43 MPa และมีค่าความต้านทานแรงดึง 0.63 MPa และมีค่าการดูดซึมน้ำที่ 59 นาที 33 วินาที ซึ่งค่าที่ได้จากการทดสอบมีสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน

4. สรุป

(1) ภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีนสามารถขึ้นรูปได้ทุกอุณหภูมิ ในอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส มีผิวสัมผัสที่เรียบและมีความหนาแน่นมาก อุณหภูมิที่ 170 องศาเซลเซียส มีผิวสัมผัสที่เรียบ

(2) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดทางด้านบนของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านบนสูงสุด 3.67 MPa

(3) การทดสอบความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ในเวลา 4 นาที มีค่าความต้านทานแรงกดอัดด้านข้างสูงสุด 0.43 MPa

(4) การทดสอบความต้านทานแรงดึงของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด 0.63 MPa

(5) การทดสอบการดูดซึมน้ำของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกาบมะพร้าวผสมผงพอลิเอทิลีน ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ในเวลา 8 นาที มีการดูดซึมน้ำช้าอยู่ที่ 59 นาที 33 วินาที

(6) การวัดค่าระดับความพึงพอใจโดยรวมของภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยเปลือกมะพร้าว พบว่ามีค่าคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 3.08 คะแนน มีความพึงพอใจปานกลาง

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการจัดสรรจัดงบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปี พ.ศ. 2565 ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์ การวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] นวพร เรืองศรี, สองประเด็นขยะพลาสติกในเมืองช่วงโควิด ที่ Road map อาจไม่เพียงพอต่อการแก้ปัญหา, ข้อมูลจาก <https://www.greenpeace.org> (วันที่สืบค้นข้อมูล 2 มกราคม 2564)
- [2] กิตติศักดิ์ ทองมีทิพย์. 2564. "พัฒนาการเกษตรกรรมของประเทศไทย: ในมิติด้านการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต" วารสารพัฒนศาสตร์, ปีที่ 4, ฉบับที่ 1: 132-161.
- [3] วรณวิภา เพ็ชรแก้ว. 2545. "การใช้ประโยชน์จากมะพร้าวและผลกระทบต่อ ชาวบ้าน" วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- [4] ศศิกันต์ สุวรรณประทีป อุดลย์ หาญวิงม่วง และสมพงษ์ พิริยา ยนต์. 2562. "การผลิตโฟมบรรจุภัณฑ์จากแป้งข้าวเจ้าผสมด้วยเส้นใยเซลลูโลสจากผักตบชวา" รายงานการวิจัย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- [5] ปัตติยา ซ่ออั้งชัน, ชุตินันท์ คชสิทธิ์, กัญญารัตน์ คงมัน และธิดารัตน์ พรหมมา, ศึกษาคุณสมบัติของภาชนะที่ผลิตจากเส้นใยหญ้าขจรจบและเส้นใยผักตบชวา, การประชุมวิชาการระดับชาติสำหรับนักศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ครั้งที่ 2, 15 มีนาคม 2565, กำแพงเพชร.
- [6] ลดา มาศ เบญญา, ณัฐวดี ซ่อเจริญ, ญาณสินี สุมา และนิตยัตตะยา ผาสุกพันธ์, ความเป็นไปได้เบื้องต้นในการผลิตบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในพื้นที่จังหวัดเชียงราย, การประชุมวิชาการระดับชาติ นครศวรวิจัย ครั้งที่ 12 : วิจัยและนวัตกรรมกับการพัฒนาประเทศ, 21 กรกฎาคม 2559, พิษณุโลก.
- [7] นที ฐานมัน. 2557. การพัฒนาภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากต้นมันสำปะหลัง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [8] มลสุดา ลิวโรสง. 2556. การผลิตภาชนะย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากกาบกล้วย. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- [9] H. Kinoshita, K. Kaizu, M. Fukuda, H. Tokunaga, K. Koga and K. Ikeda. 2009. "Development of green composite consists of woodchips, bamboo fibers and biodegradable adhesive". Composites Part B: Engineering, Vol. 40 (7): 607-612.

การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพืชสดเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ สำหรับโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านรอตันบาตู จังหวัดนราธิวาส

Design and Construction of Fresh Plant Shredding Machine for Feeding Animals in Model Farm Project of Ban Ro Tan Ba Tu, Narathiwat Province

โกศล มุสโกปาศ^{1*} ปรุพท์ มะยะเฉี่ยว^{2*} พลากร พรหมเมศรี³ กรสิริณัฐ โรจนวรรณ⁴

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีและนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

E-mail: Koson.mskp7@ gmail.com^{1*}, Paroon27@hotmail.com^{2*}

Koson Musakopas^{1*}, Paroon Mayachearw^{2*}, Palakorn Prommet³, Kornsirinut Rothjanawan⁴

¹Master's degree student Technology and Innovation Management, Faculty of Engineering

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering

³Department of Electrical, Faculty of Engineering

⁴Major of Computer Engineering, Faculty of Engineering

Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

E-mail: Koson.mskp7@ gmail.com^{1*}, Paroon27@hotmail.com^{2*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพืชสดเป็นส่วนผสมของอาหารสัตว์ สำหรับโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านรอตันบาตูและหาทดสอบหาประสิทธิภาพเครื่องย่อยพืชสด ทำการทดสอบด้วยการกำหนดความเร็วรอบของเพลลาเครื่องย่อยพืชสดที่ 800 รอบต่อนาที วัสดุดิบเป็นพืชสด เช่น หญ้าเนเปียร์, ข้าวโพด, กระถินเบา วัสดุดิบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตสุด 2.5 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร มาทำการย่อยทดสอบ ต้นกำลังไซมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้าผ่านอัตราทด 2 ต่อ 1 เป็นต้นกำลังขับและใช้สายพานส่งกำลังไปยังชุดย่อย ในการทำการทดสอบมีการเก็บข้อมูลการทำงาน เช่น อัตราการย่อยของเครื่องย่อยพืชสดอัตราเปลืองกระแสไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย นำมาใช้เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยพืชสดและประเมินคุณภาพเครื่องย่อยจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ชำนาญการจำนวน 15 ท่านอยู่ในระดับดีมาก (\bar{X} = 4.08, S.D. = 0.21) แสดงว่าเครื่องย่อยพืชสดที่สร้างขึ้นมีคุณภาพดี เมื่อป้อนหญ้าเนเปียร์ ข้าวโพดและกระถินเบาที่ 800 รอบต่อนาทีสามารถย่อยพืชสดได้ทั้งสามชนิด เหมาะสมในการใช้เลี้ยงสัตว์ สามารถย่อยพืชสดทั้งสามชนิดได้ มีขนาด 0.5 - 2 เซนติเมตรและสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 0.88 กิโลวัตต์ และอัตราการผลิต 257 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

คำสำคัญ: เครื่องย่อยพืชสด, อัตรากำลังการผลิต, อัตราสิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้า

Abstract

The purpose of this research was to design and build a fresh plant shredding machine for the model farm project of Ban Ro Tan Ba Tu. To find Rate of production and electrical power consumption were performing. The test was done by constant the fresh plant shredding speed of the shaft 800 rpm is the appropriate for all materials. Fresh plants Napier grass, corn, and light acacia were used as testing raw materials with sizing a diameter of 2.5 cm, and length of 150 cm. This shredding machine 2 HP with a 2:1 shaft ratio of the electric motor as the main power source. In the test, the collected operating data of the machine was the power consumption rate, the size of fresh plants, and the efficiency of the fresh plant shredding machine. Assessment result of the quality of the shredding machine from experts of 15 persons was very good level (\bar{X} = 4.08, S.D. = 0.21), indicating that the fresh plant shredding machine had a good quality level. It was found that at the speed of 800 rpm, the machine could shred all three types of fresh plants and the produced fresh plants had fine appearances with sizing of 0.5-2 cm suitable for feeding animals. The average for all materials power consumption is 0.88 kW and all kinds of materials is 257 kilograms per hour.

Keywords: Fresh plant shredding machine, Rate of production, Electricity consumption.

1. บทนำ

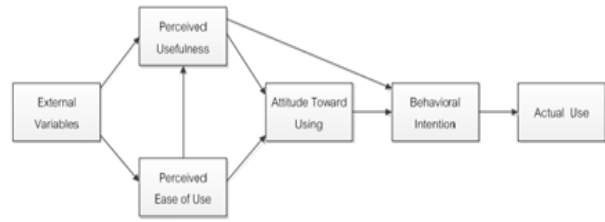
ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม วิถีชีวิตคนส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการเกษตร ทั้งเลี้ยงสัตว์ ทำสวนทำไร่ จังหวัดนครราชสีมา มีการเลี้ยงสัตว์หลากหลายชนิด แต่ที่นิยมเลี้ยงโดยทั่วไป ได้แก่ โคเนื้อ กระบือ สุกร แพะ ไก่ และเป็ด เป็นต้น ส่วนใหญ่เลี้ยงเพื่อการบริโภคภายในครัวเรือน ส่วนที่เหลือขายเป็นรายได้เสริมภายในครัวเรือน เกษตรกรที่เลี้ยงแพะ จะอยู่ในเขตที่มีประชากรที่นับถือศาสนาอิสลาม โดยจะกระจายทั่วทั้งจังหวัดการเลี้ยงเป็นการเลี้ยงแบบรายย่อย 3-5 ตัว/ครัวเรือน เลี้ยงเพื่อประโยชน์ในการทำพิธีทางศาสนาอิสลามและบริโภคที่เหลือจำหน่ายเป็นรายได้เสริม และยังมีหน่วยงานที่จัดทำโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ เช่น หมู่บ้านเศรษฐกิจพอเพียง และฟาร์มตัวอย่างบ้านรอดันบาตู อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา มีการเลี้ยงสัตว์หลายชนิด ได้แก่ แพะผสม 3 สายพันธุ์, โค, เป็ดไข่, ไก่พื้นเมือง, และปลานิล [1] ในการเลี้ยงสัตว์เกษตรกรมีการนำพืชสดมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตเป็นเสบียงอาหารสัตว์ และพืชสดที่เกษตรกรนำมาใช้เลี้ยงสัตว์จะเป็นหญ้าเนเปียร์, ต้นข้าวโพดอ่อน, และกระถินอ่อน, และต้นกล้วยน้ำว้า, กล้วยตานี, กล้วยหิน เนื่องจากกล้วยเหล่านี้จะมีรสไม่ขมจึงนิยมนำมาเลี้ยงสัตว์ ในอดีตเกษตรกรใช้วิธีนำพืชสดมาหั่นหรือสับโดยใช้มีด ให้เป็นชิ้นส่วนเล็กๆก่อนนำไปใช้เป็นส่วนผสมอาหารเพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ ซึ่งทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในการทำงานสูง เสียเวลาและต้องใช้แรงงานคน จึงเป็นปัญหาในด้านกรรมวิธีการย่อยพืชสดเพื่อเป็นอาหารสัตว์เลี้ยง [2]

ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาคิดสร้างเครื่องต้นแบบในการย่อยพืชสด โดยทำการทดสอบย่อยพืชสดหญ้าเนเปียร์ ข้าวโพด กระถินเบา รวมไปถึงการประเมินอัตราการผลิตค่าไฟฟ้าและมีการประเมินคุณภาพของเครื่องย่อยพืชสดโดยใช้ IOC

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โมเดลทฤษฎีการยอมรับ Technology Accept Model

เป็นทฤษฎีที่มีการยอมรับและมีชื่อเสียงในการเป็นตัวชี้วัดความสำเร็จของการใช้เทคโนโลยี โดยหลักการของ TAM จะศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจแสดงพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ ซึ่งประกอบด้วยปัจจัยหลัก 4 ประการ ได้แก่ ตัวแปรภายนอก (External variables) การรับรู้ถึงประโยชน์ที่ได้รับจากเทคโนโลยีสารสนเทศ (Perceived usefulness หรือ PU) การรับรู้ว่าเป็นระบบที่ง่ายต่อการใช้งาน (Perceived ease of Use หรือ PEOU) และทัศนคติที่มีต่อการใช้งาน (Attitude toward using) ความตั้งใจเชิงพฤติกรรมการใช้เทคโนโลยีซึ่งจะส่งผลถึงอิทธิพลต่อการยอมรับนวัตกรรมนั้น [3]



รูปที่ 1 โมเดลทฤษฎีการยอมรับ Technology Accept Model [3]

2.2 การออกแบบเครื่องย่อยพืชสด

การออกแบบขนาดรูปร่างและหลักการเลือกใช้วัสดุสำหรับทำชิ้นส่วนตามความเหมาะสมกับการใช้เครื่องจักรกลกับงานลักษณะต่างๆกันซึ่งได้ออกแบบตามหลักเกณฑ์สำหรับการออกแบบคือ 1) หน้าที่ของการนำไปใช้ (Function) 2) การประหยัด (Economy) 3) ความทนทาน (Durability) 4) วัสดุ (Material) 5) โครงสร้าง (Construction) 6) ความสวยงาม (Beauty) 7) ลักษณะเด่นเฉพาะอย่าง (Personality) ออกแบบคมเฉือนตัดของใบมีด มุมองศาใบมีด ความเร็วรอบมอเตอร์ [4]

2.3 วิเคราะห์ข้อมูลความสอดคล้อง

โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องของข้อคำถามในแบบประเมินระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับแบบประเมินโดยใช้ดุลพินิจของผู้เชี่ยวชาญ การหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับแบบประเมินคำนวณได้จากสูตร [5]

$$IOC = \frac{ER}{N} \quad (1)$$

IOC = ดัชนีความสอดคล้องระหว่างเครื่องที่สร้างขึ้นกับแบบประเมิน

ER = ผลรวมคะแนนจากแบบประเมินทั้งหมด

N = จำนวนผู้เชี่ยวชาญตอบแบบประเมินทั้งหมด

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณพล [6] การพัฒนาเครื่องย่อยและอัดหญ้าอาหารสัตว์ มีส่วนประกอบโครงสร้าง 4 ส่วนคือ 1.โครงเครื่อง 2.ชุดย่อยหญ้า 3.ชุดอัดหญ้า 4.ระบบส่งถ่ายกำลัง ชุดย่อยหญ้าใช้ใบมีดจำนวน 4 ใบ มีกระบอกอัดหญ้าไฮดรอลิกส์เส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 3 แรงม้า ผลการทดสอบพบว่า ความเร็วรอบมอเตอร์และมุมองศาใบมีดที่เหมาะสมเท่ากับ 1,500 รอบต่อนาที และ 40 องศาตามลำดับ สามารถทำงานได้เฉลี่ย 229.4 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.53 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 0.35 บาทต่อกิโลกรัม

2.5 สูตรอาหารโคขุนมีโปรตีน 20 เปอร์เซ็นต์ ลดต้นทุน

สูตรอาหารสำหรับขุนโคประกอบด้วย 1.รำละเอียด 30 กิโลกรัม 2. ข้าวโพดปน 40 กิโลกรัม 3.พืชสดย่อย 20 กิโลกรัม 4.กระดูกปน 1.5 กิโลกรัม 5.เกลือปน 0.5 กิโลกรัม รวม 100 กิโลกรัม [7]

3. วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพืชสดที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยมีขั้นตอนดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นที่เกษตรกรในโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านรอตันนาตุ ตำบล กะลูน อำเภ เมือง จังหวัด นครราชสีมา ได้ทำการย่อยพืชสดแบบภูมิปัญญาชาวบ้านดั้งเดิม

3.2 กำหนดกลุ่มประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ประชากรและกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยมี 2 กลุ่ม รวมจำนวน 15 ท่าน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.2.1 เกษตรกรผู้ชำนาญการ ซึ่งจะต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ทำงานในโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านรอตันนาตุ ผู้วิจัยได้เลือกแบบเจาะจงโดยเกษตรกรต้องมีประสบการณ์มากกว่า 10 ปี จำนวน 10 ท่าน

3.2.2 ผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างเครื่องจักรกล ซึ่งจะต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ในการสอนในสาขาเครื่องกลหรืออุตสาหกรรม ผู้วิจัยได้เลือกแบบเจาะจงโดยผู้เชี่ยวชาญต้องมีประสบการณ์มากกว่า 10 ปี จำนวน 5 ท่าน

3.2.3 สูตรการคำนวณค่าไฟฟ้า

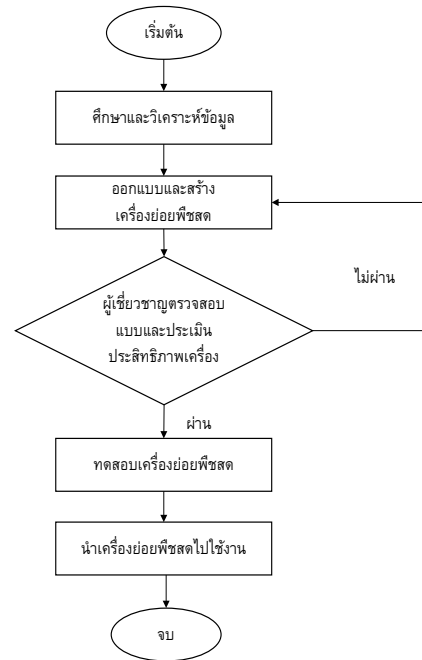
$$P = IE \quad (2)$$

กำลังไฟฟ้า (P) มีหน่วยเป็น วัตต์ (W)

แรงดันไฟฟ้า (E) มีหน่วยเป็น โวลต์ (V)

กระแสไฟฟ้า (I) มีหน่วยเป็น แอมป์ (A)

3.3 การสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างขั้นตอนการสร้างเครื่องย่อยพืชสดดังนี้ ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูล, ออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพืชสด, ทดสอบเครื่องย่อยพืชสด, นำเครื่องย่อยพืชสดใช้งานจริง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องย่อยพืชสด

จากรูปที่ 2 ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองในส่วนของการทดสอบหาประสิทธิภาพของเครื่องย่อยพืชสดโดยใช้หลักการในการกำหนดค่าความเร็วรอบในการทดลองเป็น 700 , 800, 950 รอบต่อนาที โดยมีดุมคม 40 องศา ซึ่งผลจากการทดสอบพบว่าที่ความเร็วรอบ 800 รอบต่อนาทีที่มีผลทำให้ได้คุณภาพของพืชสดที่ย่อยแล้วเหมาะในการใช้เลี้ยงสัตว์ซึ่งมีขนาดความยาว 0.5 – 2 เซนติเมตร

4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพืชสด โดยทำการทดลองและเก็บผลทดลองเป็นลำดับดังนี้

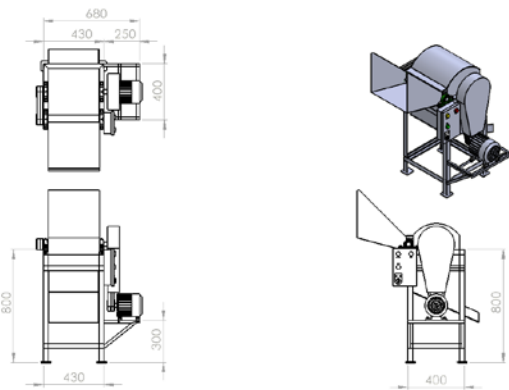
ส่วนที่ 1 การออกแบบและสร้างเครื่อง ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องจักร การออกแบบเพลาชุดสับย่อย ความแข็งแรงของวัสดุ และความปลอดภัยที่ใช้ในการย่อยพืชสด และได้ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญที่มีประสบการณ์ในการประเมินผลงานสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม

ส่วนที่ 2 การเชื่อมต่อชิ้นส่วน ผู้วิจัยศึกษาเกี่ยวกับงานเชื่อมและโลหะแผ่น และได้ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญจากสาขาวิชาเครื่องกลและอุตสาหกรรม

ส่วนที่ 3 การออกแบบระบบไฟฟ้า ที่ใช้ในการเชื่อมต่อไฟฟ้ากับเครื่องต้นแบบที่สร้างขึ้น ผู้วิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับงานไฟฟ้าเบื้องต้น และได้ปรึกษาผู้เชี่ยวชาญจาก สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง

ซึ่งลักษณะการออกแบบของเครื่องย่อยพืชสด ผู้วิจัยได้ออกแบบเพื่อให้มีความทันสมัยเหมาะสมกับขนาดรูปร่างและสะดวกในการป้อนพืชสดขณะใช้งานจริง โดยหลักเกณฑ์ทั่วไปในการออกแบบเครื่องจักรและชิ้นส่วน ประกอบไปด้วย 1) การวางแผน (Planning) 2) แนวคิด (Concept) 3) การออกแบบร่าง (Lay out) 4) การออกแบบรายละเอียด

เป็นการออกแบบรูปร่างชิ้นส่วนย่อยให้มีความเหมาะสม [8] โดยมีขนาดความกว้าง 40 cm ความยาว 43 cm ความสูง 80 cm ดังรูปที่ 3



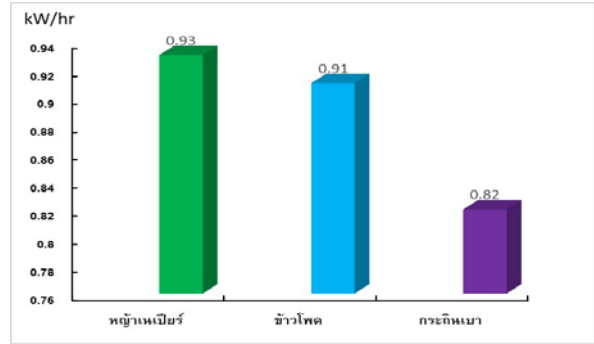
รูปที่ 3 แบบเครื่องย่อยพืชสด

ลักษณะของเครื่องย่อยพืชสดที่สร้างเสร็จสมบูรณ์และนำไปใช้ประโยชน์กับเกษตรกรในโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านรอตันนาตุ ตำบลกะลุวอ อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส มีส่วนประกอบดังนี้ 1) มอเตอร์ไฟฟ้า 2) โครงสร้างเหล็ก 3) สวิตช์ควบคุมไฟฟ้า 4) การ์ดสายพาน 5) ช่องทางเข้าวัตถุดิบ 6) ช่องทางออกวัตถุดิบ ดังรูปที่ 4



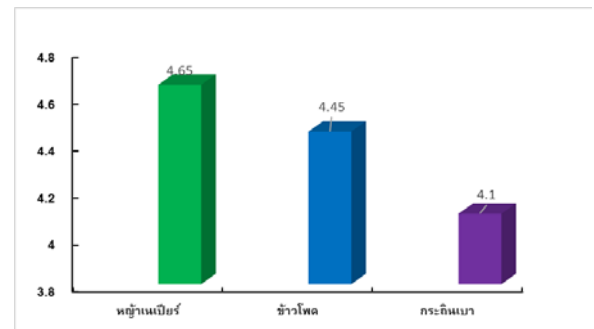
รูปที่ 4 เครื่องย่อยพืชสด

4.2 การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้า (kW) วัดกำลังไฟฟ้าเครื่องย่อยพืชสดโดยใช้เครื่อง Power clamp meter รุ่น MS2203 และวัตถุดิบเป็นพืชสดทั้ง 3 ชนิดคือ หญ้าเนเปียร์, ต้นข้าวโพดอ่อน, และกระถินเบา สามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าได้ดังนี้ 0.93 กิโลวัตต์, 0.91 กิโลวัตต์และ 0.82 กิโลวัตต์ ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.88 กิโลวัตต์ ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่าต่างกันเนื่องจากความแข็งของพืชแต่ละชนิดต่างกัน ดังรูปที่ 5



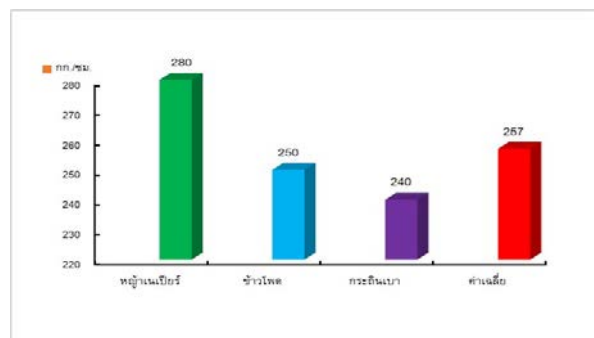
รูปที่ 5 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของเครื่องย่อยพืชสด

4.3 อัตราค่าไฟฟ้าของเครื่องย่อยพืชสด โดยทำการทดลองย่อยพืชสดจำนวน 3 ชนิด คือ หญ้าเนเปียร์, ต้นข้าวโพดอ่อน และกระถินเบา สามารถคิดอัตราค่าไฟฟ้าจากการใช้งานในเวลา 1 ชั่วโมงทำงาน จากความสัมพันธ์ ค่ากำลังไฟฟ้า (kW) x เวลา (Hr) x ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยยูนิท (5 บาท) ดังนี้ $0.93 \times 1 \times 5 = 4.65$ บาท, $0.91 \times 1 \times 5 = 4.55$ บาท และ $0.82 \times 1 \times 5 = 4.10$ บาท ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยอัตราค่าไฟฟ้าของเครื่องย่อยพืชสด เท่ากับ 4.43 บาทต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 อัตราค่าไฟฟ้าของเครื่องย่อยพืชสด

4.4 อัตรากำลังการผลิตของเครื่องย่อยพืชสด กำลังการผลิตของเครื่องย่อยพืชสดโดยทดลองกับพืชสดทั้ง 3 ชนิดคือ หญ้าเนเปียร์, ต้นข้าวโพดอ่อน, และกระถินเบา มีกำลังการผลิตได้ดังนี้ 280 กิโลกรัมต่อชั่วโมง, 250 กิโลกรัมต่อชั่วโมง, 240 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยกำลังการผลิตเท่ากับ 257 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 อัตรากำลังการผลิตของเครื่องย่อยพืชสด

4.5 ผลการวิเคราะห์การประเมินประสิทธิภาพของผู้เชี่ยวชาญ และผู้ชำนาญการ

ผลคะแนนการประเมินประสิทธิภาพจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ชำนาญการ จำนวน 15 ท่าน พบว่า ด้านโครงสร้าง ประเด็นการออกแบบมีความแข็งแรงมั่นคง มีค่า \bar{X} เท่ากับ 4.73 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.46 ด้านการใช้งาน ในส่วนของการสับพีชสตัดได้มากน้อยตามปริมาณการป้อน มีค่า \bar{X} เท่ากับ 4.80 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.56 ในประเด็นของด้านการบำรุงรักษาสามารถทำได้สะดวกไม่ยุ่งยาก มีค่า \bar{X} เท่ากับ 4.87 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.35 และด้านคุณภาพ ในประเด็นเครื่องย่อยพีชสตัดสามารถใช้งานได้จริง มีค่า \bar{X} เท่ากับ 4.67 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.49 ส่วนองค์ประกอบด้านอื่น ๆ ได้แสดงผลการวิจัยดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานระดับความพึงพอใจประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องย่อยพีชสตัด

หัวข้อประเมิน	ระดับความพึงพอใจต่อประสิทธิภาพของเครื่อง		ระดับความพึงพอใจ
	\bar{X}	$S.D.$	
1. ด้านโครงสร้าง			
1.1 การออกแบบมีความแข็งแรงมั่นคง	4.73	0.46	ดีมากที่สุด
1.2 การจับยึดชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันมีความถูกต้อง	3.53	0.52	ดีมาก
1.3 การจัดวางอุปกรณ์และชิ้นส่วนประกอบมีความเหมาะสม	3.27	0.70	ปานกลาง
1.4 วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้สร้างสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด	3.93	0.80	ดีมาก
1.5 ระบบการทำงานมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน	3.53	0.52	ดีมาก
2. ด้านการใช้งาน			
2.1 ขนาดและรูปทรงเครื่องมีสัดส่วนเหมาะสมกับผู้ใช้งาน	3.40	0.74	ปานกลาง
2.2 มีขั้นตอนการใช้งานง่าย สะดวกไม่ยุ่งยากซับซ้อน	3.20	0.68	ปานกลาง
2.3 มีความปลอดภัยขณะใช้งาน	4.33	0.62	ดีมาก
2.4 สับพีชสตัดได้มากน้อยตามปริมาณการป้อน	4.80	0.56	ดีมากที่สุด
2.5 ช่องทางเข้าของพีชสตัดผู้ใช้สามารถป้อนพีชสตัดเข้าได้ง่าย	3.93	0.80	ดีมาก
2.6 ช่องทางออกของพีชสตัด ผู้ใช้สามารถนำภาชนะที่รองรับไปใช้ได้ง่าย	4.40	0.63	ดีมาก

3. ด้านการบำรุงรักษา			
3.1 การบำรุงรักษาสามารถทำได้สะดวกไม่ยุ่งยาก	4.87	0.35	ดีมากที่สุด
3.2 การถอดอุปกรณ์เพื่อซ่อมแซมสามารถทำได้สะดวกไม่ซับซ้อน	4.27	0.59	ดีมาก
4. ด้านคุณภาพ			
4.1 เครื่องย่อยพีชสตัดมีความเหมาะสมกับต้นทุน	4.40	0.63	ดีมาก
4.2 เครื่องย่อยพีชสตัดสามารถใช้งานได้จริง	4.67	0.49	ดีมากที่สุด
รวม	4.08	0.21	ดีมาก

การอภิปรายผล

การดำเนินการวิจัยเรื่องการออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพีชสตัดเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ สำหรับโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านรอตันบาตู จังหวัดนครราชสีมา ได้กำหนดการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญด้านการสร้างเครื่องจักรกล และผู้ชำนาญการที่เป็นเกษตรกรในโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านรอตันบาตู สามารถอภิปรายผลได้ดังต่อไปนี้

ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้ชำนาญการ ส่วนใหญ่มีความคิดเห็นที่สอดคล้องกับเครื่อง ซึ่งประกอบด้วยกัน 4 ด้าน สามารถอภิปรายผลประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องย่อยพีชสตัด ดังนี้

ด้านโครงสร้าง ในหัวข้อประเมินการออกแบบมีความแข็งแรงมั่นคง มากที่สุด รองลงมา ในประเด็นที่เกี่ยวกับการจัดวางอุปกรณ์ และชิ้นส่วนประกอบมีความเหมาะสม

ด้านการใช้งาน ประเด็นสับย่อยพีชสตัดได้มากน้อยตามปริมาณการป้อน มีผู้เชี่ยวชาญ และผู้ชำนาญการได้ประเมินในระดับมากที่สุด ซึ่งส่งผลต่อการนำไปใช้ประโยชน์จริงในฟาร์มตัวอย่าง ตามความต้องการของเกษตรกร

ด้านการบำรุงรักษา ประเด็นการบำรุงรักษามีความสะดวกไม่ยุ่งยาก มีผลการประเมินอยู่ในระดับมากที่สุด ส่งผลต่อการนำไปใช้งานได้จริง และสามารถนำลงไปใช้งานในแปลงเกษตรได้

ด้านคุณภาพของพีชสตัดที่ย่อยแล้ว ผลของผู้เชี่ยวชาญ และผู้ชำนาญการ ได้ประเมินในประเด็นที่เกี่ยวกับเครื่องย่อยพีชสตัด มีผลประเมินมากที่สุด สามารถใช้งานได้จริง ซึ่งมีขนาด 0.5 – 2 เซนติเมตร ตรงตามความต้องการของเกษตรกรที่เป็นสมาชิกฟาร์มตัวอย่าง และเครื่องย่อยพีชสตัดสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกลุ่มเกษตรกรอื่นๆ ได้

5.สรุป

ผู้วิจัยได้ออกแบบและสร้างเครื่องย่อย มีผลสรุปดังนี้

1. ได้เครื่องย่อยพีชสตัดสามารถใช้งานได้จริง

2. เมื่อป้อนหญ้าเนเปียร์ ข้าวโพดและกระถินเบา ที่ 800 รอบต่อ นาทีสามารถย่อยพีชสตัดได้ทั้งสามชนิด เหมาะสมในการใช้เลี้ยงสัตว์ สามารถย่อยพีชสตัดทั้งสามชนิดได้ มีขนาด 0.5 – 2 เซนติเมตร สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 0.88 กิโลวัตต์ และอัตราการผลิต 257

กิโลกรัมต่อชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยของ สมพงษ์ สุขอุ๊ต [9] แต่มีลักษณะที่แตกต่างในส่วนของคุณสมบัติของชุดโบบีตที่ย่อยที่ส่งผลทำให้ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้น ถึง 257 กิโลกรัมต่อชั่วโมง เนื่องจากผู้วิจัยได้ออกแบบและปรับสัดส่วนของโครงสร้างให้เหมาะสมกับขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใช้เป็นกำลังในการผลิต

3. ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากผลการประเมินประสิทธิภาพเครื่องย่อยพืชสด ซึ่งมีจำนวนผู้เชี่ยวชาญและผู้ชำนาญการ 15 ท่าน ได้มีผลการประเมินดังต่อไปนี้ จากตารางที่ 1 ระดับความพึงพอใจประสิทธิภาพการใช้งานของผู้ตอบแบบสอบถามที่มีต่อเครื่องย่อยพืชสดเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ โดยภาพรวมอยู่ในระดับ ดีมาก มีค่า \bar{X} เท่ากับ 4.08 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.21 โดยด้านโครงสร้าง ประเด็นของการออกแบบมีความแข็งแรงมั่นคงมีความพึงพอใจในระดับ ดีมากที่สุด มีค่า \bar{X} เท่ากับ 4.73 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.46 รองลงมา คือ ประเด็นวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้สร้างสามารถหาได้ง่ายในท้องตลาด ส่วนด้านการใช้งาน ประเด็นสับพืชสดได้มากน้อยตามปริมาณการป้อน มีความพึงพอใจในระดับ ดีมากที่สุด มีค่า \bar{X} เท่ากับ 4.80 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.56 รองลงมา คือ ช่องทางออกของพืชสด ผู้ใช้สามารถนำภาชนะที่รองรับไปใช้ได้สะดวก ด้านการบำรุงรักษา ประเด็นการบำรุงรักษาสามารถทำได้สะดวกไม่ยุ่งยาก มีความพึงพอใจในระดับ ดีมากที่สุด มีค่า \bar{X} เท่ากับ 4.87 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.35 รองลงมา คือ ประเด็นการถอดอุปกรณ์เพื่อซ่อมแซมสามารถทำได้สะดวกไม่ซับซ้อน และด้านคุณภาพ ประเด็น เครื่องย่อยพืชสดสามารถใช้งานได้จริง มีความพึงพอใจในระดับ ดีมากที่สุด มีค่า \bar{X} เท่ากับ 4.67 และมีค่า $S.D.$ เท่ากับ 0.49 รองลงมา คือ เครื่องย่อยพืชสดมีความเหมาะสมกับต้นทุน

6.ข้อเสนอแนะและการนำไปใช้ประโยชน์

การดำเนินการวิจัย การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยพืชสดเพื่อเป็นส่วนผสมอาหารสัตว์ สำหรับโครงการฟาร์มตัวอย่างบ้านรอตันบาตู จังหวัดนราธิวาส เป็นการวิจัยที่มุ่งสร้างเครื่อง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการนำไปใช้งานได้จริง โดยการวิจัยในครั้งนี้ ได้เป็นผลประโยชน์ แก่กลุ่มเกษตรกรที่นำเครื่องไปใช้ และกลุ่มฟาร์มตัวอย่างในพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งในบางส่วนของผลการพิจารณาการใช้งานเครื่องย่อยพืชสด ยังต้องมีการปรับปรุงชิ้นส่วนของชุดบ่อนวดตุ้บ โดยการเพิ่มลูกกลิ้งตัวประกอบ วัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งถัดไป

7.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญ และผู้ชำนาญการ ที่ทำการประเมินเครื่องย่อยพืชสด ตลอดจนเกษตรกร ฟาร์มตัวอย่างบ้านรอตันบาตู ตำบล กะลุวอ อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส ที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณ วิทยาลัยเทคนิคนราธิวาส มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่ในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานเกษตรอำเภอ จังหวัดนราธิวาส พ.ศ. 2561.
- [2] ประเวศ วะสี. 2536. การศึกษาชาติกับภูมิปัญญาท้องถิ่น. ภูมิปัญญาชาวบ้านกับการพัฒนาชนบท. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: อัมรินทร์ปริ้นติ้งแอนพลีลชีง.
- [3] ภัทราวดี วงศ์สุเมธ 2556. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการยอมรับ ออนไลน์ www.bu.ac.th (วันที่สืบค้นข้อมูล 10 มีนาคม 2564)
- [4] นवलน้อย บุญวงษ์. หลักการออกแบบ, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
- [5] สุรพงษ์ คงสัตย์ และ ชีรชาติ ธรรมวงศ์ 2551. การหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม (IOC)
- [6] ณพล เหลืองพิพัฒน์สร. 2561. การพัฒนาเครื่องย่อยและอัดหญ้าอาหารสัตว์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [7] สูตรอาหารโคขุน [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.garsetclub.com> (วันที่สืบค้นข้อมูล 30 มีนาคม 2566)
- [8] มานพ ตันติบัณฑิต. 2540. การออกแบบเครื่องจักรและชิ้นส่วน.
- [9] สมพงษ์ สุขอุ๊ต. การพัฒนาเครื่องย่อยเนกประสงค์ขนาดเล็ก. สาขา วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต ; ว.ท.ม (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมเพื่อการพัฒนาท้องถิ่น)

**การปรับปรุงคุณภาพการบริการของโรงพยาบาล :
กรณีศึกษา โรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งในจังหวัดนราธิวาส**

**Service Quality Improvement of The Hospital :
Case Study in The State Hospital at Narathiwat Province**

ปวีณา อาแวโชะ¹ มูฮิบะห์ สาเมาะ² พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์^{3*} นิดดา อุตมารัตน์⁴ นัตพงษ์ โชติพันธ์⁵ อตินันท์ มาหามะ⁶
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

E-mail: 6260500109@pnu.ac.th¹, 6260500058@pnu.ac.th², Phanpen.p@pnu.ac.th^{3*}, nisida.u@pnu.ac.th⁴, N.Chotipan@gmail.com⁵,
Adinanxmahamat@gmail.com⁶

Paweena Awaesoh¹, Muhibbah Samoh², Phanpen Thavornprasit^{3*}, Nisida Utamarat⁴, Nattapong Chotipan⁵, Adinan Mahamat⁶

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

E-mail: 6260500058@pnu.ac.th¹, 6260500058@pnu.ac.th², Phanpen.p@pnu.ac.th^{3*}, nisida.u@pnu.ac.th⁴, N.Chotipan@gmail.com⁵,
Adinanxmahamat@gmail.com⁶

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบริหารจัดการคุณภาพของโรงพยาบาลกรณีศึกษาในจังหวัดนราธิวาส และเพื่อเสนอแนวทางการปรับปรุงคุณภาพการบริการของโรงพยาบาลกรณีศึกษาในจังหวัดนราธิวาส โดยได้รวบรวมแบบสอบถามจากผู้รับบริการที่ออกแบบตามมิติคุณภาพการบริการต่าง ๆ รวมถึงการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญ เพื่อให้ได้ประเด็นใหม่ๆ ในการพัฒนาคุณภาพการบริการ และทำการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment : QFD) โดยแปลงความต้องการของผู้รับบริการให้เป็นข้อกำหนดทางเทคนิค ใช้เครื่องมือดอกไม้แห่งการบริการจากการวิเคราะห์เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ ค่าระดับน้ำหนักลำดับความสำคัญในการปรับปรุงงานมากที่สุด และควรปรับปรุงอย่างเร่งด่วน 5 อันดับแรก คือ 1) การให้คำปรึกษา และตอบข้อซักถามเป็นอย่างดี (14.2%) 2) เต็มใจให้บริการ (12.7%) 3) ดูแลเอาใจใส่เป็นพิเศษ (10.4%) 4) มีมนุษยสัมพันธ์ที่ดี (10.2%) และ 5) การให้ข้อมูลทางการแพทย์ (5.3%) ในส่วนของข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีลำดับความสำคัญตั้งแต่ลำดับที่ 6 เป็นต้นไป เป็นข้อกำหนดที่ต้องปรับปรุงในระยะยาว

คำสำคัญ: คุณภาพการบริการ ดอกไม้แห่งการบริการ ผังแสดงเหตุและผล การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

Abstract

The objectives of this research were to study quality management of the hospital service in the case study in Narathiwat Province, and to propose guidelines for quality improvement of the hospital service in the case study in Narathiwat Province. The data collected by collecting questionnaires from service receiver designed according to service qualities dimensions as well as conducting interview with experts to get new ideas in the improvement of service quality. The QFD is then converted by converting service receiver requirements into technical requirements using Flower of Service tools. The analysis of the implementation of the QFD, it was found that the top five values of the relative technical weight scale, priority of improvement and urgent improvement were: 1) counselling and question & answer service (14.2%) 2) willingness to give service (12.7%) 3) willingness to give service (10.4%) 4) good human relationship (10.2%) and 5) giving medical information (5.3%). In terms of the technical requirements that are prioritized from the sixth order onwards, they need to be adjusted over the long term.

Keywords: Service Quality, Flower of Service, Cause and Effect Diagram, Quality Function Deployment

1. บทนำ

มาตรฐานของการบริการที่ดีนั้นจะถูกกำหนดโดยคำว่า “คุณภาพ” ซึ่งมุมมองในปัจจุบันนั้น จะแตกต่างไปจากความเข้าใจในอดีต แต่เดิมที่คุณภาพจะถูกกำหนดโดยผู้ให้บริการแต่ในปัจจุบันการตัดสินใจของคุณภาพได้ถูกเปลี่ยนมาเป็นความถูกต้องที่ผู้รับบริการเป็นผู้กำหนด และมีความต้องการ ซึ่งคุณภาพจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อผู้รับบริการได้สัมผัสได้ใช้บริการนั้น หากผู้รับบริการรับรู้ถึงสิ่งที่ได้รับเท่ากับหรือสูงกว่าสิ่งที่คาดหวัง ผู้รับบริการจะเกิดความพึงพอใจ และอยากใช้บริการนั้น แต่ในทางกลับกันหากผู้รับบริการได้รับบริการที่ต่ำกว่าความคาดหวังจะทำให้ไม่เกิดความพึงพอใจ และปฏิเสธที่จะใช้บริการนั้น [1]

เมื่อก้าวถึงโรงพยาบาลรัฐบาลจะปรากฏในเรื่องของจำนวนผู้มารับบริการสูงขึ้น ผู้ที่เข้ามา รับบริการส่วนใหญ่มักจะเป็นกลุ่มผู้รับบริการที่มีรายได้น้อย และในปัจจุบันผู้รับบริการกลุ่มนี้มีเพิ่ม มากขึ้นเรื่อย ๆ จึงทำให้โรงพยาบาลรัฐเปรียบเสมือนที่พึ่งที่สำคัญ ในทางกลับกันขณะที่ผู้ที่มีรายได้ น้อยกำลังขยายตัวเพิ่มขึ้น ข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ ก็เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน จนส่งผลกระทบต่อ การให้บริการของโรงพยาบาลรัฐบาลที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้รับบริการ การให้บริการของ โรงพยาบาลรัฐอาจจะมี การดูแลเอาใจใส่ผู้ป่วยได้ไม่ทั่วถึง เนื่องจากกลุ่มผู้รับบริการมีจำนวนมาก บุคลากรภายในโรงพยาบาลมีจำนวนไม่เพียงพอต่อความต้องการ บางครั้งผู้รับบริการต้องใช้เวลา ในการรอคิวการรักษา งบประมาณที่ทางรัฐบาลจัดสรรให้บางครั้งอาจไม่เพียงพอต่อการใช้จ่ายในการ สั่งซื้อสิ่งของจำเป็นประเภทยา และเวชภัณฑ์ [2]

จากปัญหาเรื่อง ความคาดหวังของประชาชนที่เพิ่มสูงขึ้น และความต้องการการบริการด้าน การแพทย์ของประชาชนที่เกินขีดความสามารถที่โรงพยาบาลรัฐบาลจัดให้ได้ ส่งผลให้เกิดปัญหาด้านการบริหารจัดการคุณภาพ ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาโรงพยาบาลกรณีศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการ ปรับปรุงคุณภาพการบริการของโรงพยาบาลภาครัฐให้สามารถตอบสนองความต้องการของประชาชน

2. การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพการบริการ

คุณภาพการบริการ (Service Quality) หมายถึง การให้บริการที่สามารถตอบสนองได้ตรง ตามความต้องการหรือเกินความคาดหวังของผู้รับบริการ และทำให้ผู้รับบริการเกิดความพอใจ คุณภาพบริการแตกต่างกันไปตามลักษณะ และมาตรฐานของผู้ใช้แต่ละคน ซึ่งการบริการที่ผู้รับบริการ ได้รับจริงในสถานการณ์นั้นเท่ากับหรือมากกว่าบริการที่ผู้รับบริการคาดหวัง ทำให้ผู้รับบริการพึงพอใจ ประทับใจ และกลับมาใช้บริการอีก และจะเป็นผู้รับบริการประจำ [2] ซึ่งจะประกอบไปด้วย 5 องค์ประกอบ ดังนี้ 1) ความเป็นรูปธรรมของบริการ หมายถึง ลักษณะทางกายภาพที่ปรากฏให้เห็นถึงสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ได้แก่ สถานที่ บุคลากร อุปกรณ์ เครื่องมือ รวมทั้งสภาพแวดล้อมที่ทำให้ ผู้รับบริการรู้สึก ว่า “ได้รับการดูแล ห่วงใย และความตั้งใจจากผู้ให้บริการ” 2) ความเชื่อถือไว้วางใจได้ หมายถึง ความสามารถในการ

ให้บริการให้ตรงกับสัญญาที่ให้ไว้กับผู้รับบริการ บริการที่ให้ทุกครั้งจะต้องมีความถูกต้อง เหมาะสม และได้ผลออกมาเช่นเดิมสม่ำเสมอ จะทำให้ผู้รับบริการรู้สึกว่าบริการที่ได้รับนั้นมีความน่าเชื่อถือ ไว้วางใจได้ เช่น ข้อมูลของผู้รับบริการได้รับการบันทึกอย่างถูกต้องและเป็นความลับ 3)การตอบสนองต่อลูกค้า หมายถึง ความพร้อม และความเต็มใจที่จะให้บริการ โดยสามารถตอบสนองความต้องการของผู้รับบริการได้อย่างทันท่วงที ผู้รับบริการสามารถเข้ารับบริการได้ง่าย และได้รับความสะดวกจากการใช้บริการ รวมทั้งจะต้องกระจายการให้บริการไปอย่างทั่วถึง รวดเร็ว เช่น มีขั้นตอนการให้บริการได้อย่างชัดเจนไม่ซับซ้อน 4) การให้ความเชื่อมั่นต่อลูกค้า หมายถึง ความสามารถในการสร้างความเชื่อมั่นให้เกิดขึ้นกับผู้รับบริการ ผู้ให้บริการจะต้องแสดงถึงทักษะความรู้ ความสามารถในการให้บริการ และตอบสนองความต้องการของผู้รับบริการด้วยความสุภาพ นุ่มนวล มีกิริยามารยาทที่ดี ใช้การ ติดต่อสื่อสารที่มีประสิทธิภาพ และให้ความมั่นใจว่าผู้รับบริการจะได้รับบริการที่ดีที่สุด เช่น มีความเชี่ยวชาญสามารถอธิบายเกี่ยวกับการบริการให้เป็นที่เข้าใจในข้อสงสัยต่างๆ และ 5) การรู้จักและเข้าใจลูกค้า หมายถึง ความสามารถในการดูแลเอาใจใส่ผู้รับบริการตามความต้องการที่แตกต่างของผู้รับบริการแต่ละคน สนใจต่อผู้รับบริการแต่ละคนเท่าๆ กัน เช่น มีความเห็นอกเห็นใจในปัญหาของ ท่านพร้อมให้ความช่วยเหลือ และเห็นความสำคัญ ของท่านถึงความจำเป็นในการมาขอรับบริการ [3-10]

2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

2.2.1 แผ่นตรวจสอบ (Check Sheet)

คือ แบบฟอร์มที่มีการออกแบบเพื่อจะใช้ในการบันทึกข้อมูล

2.2.2 ผังพาเรโต (Pareto Diagram)

คือ แผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญระหว่างสาเหตุข้อบกพร่องกับปริมาณความสูญเสียที่เกิดขึ้น

2.2.3 กราฟ (Graphs)

คือ กราฟภาพที่แสดงถึงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติที่ใช้เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูล และวิเคราะห์ผลของข้อมูล

2.2.4 แผนภูมิก้างปลา (Fishbone Diagram)

คือ ผังที่แสดงความสำคัญระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นเครื่องมือในการค้นหาสาเหตุ และผลกระทบที่เกิดขึ้น ช่วยให้สามารถหาสาเหตุของข้อบกพร่อง และความล้มเหลวในกระบวนการต่าง ๆ

2.2.5 ฮิสโตแกรม (Histogram)

คือ กราฟที่แสดงถึงความผันแปรของข้อมูลที่ได้มาจากการวัดสำหรับข้อมูลกลุ่มย่อยเดียวกัน

2.2.6 ผังการกระจาย (Scatter Diagram)

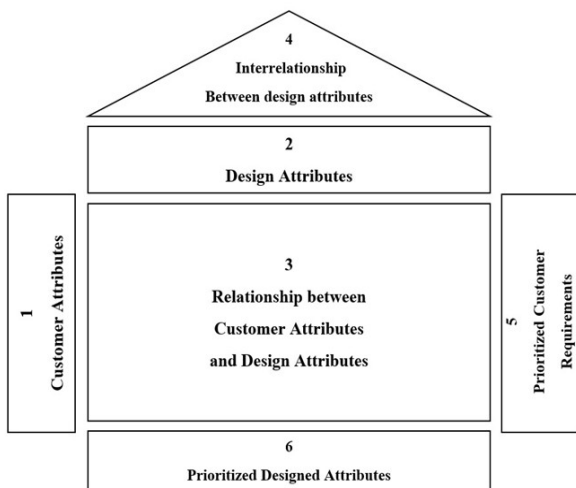
คือ ผังที่ใช้แสดงค่าของข้อมูลที่เกิดจากความสำคัญที่เกิดจากตัวแปรสองตัวว่ามีแนวโน้มไปในทางใดเพื่อใช้หาความสำคัญที่แท้จริง

2.2.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

คือ แผนภูมิที่การเขียนขอบเขตที่ยอมรับได้เพื่อนำไปเป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการ

2.3 การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ

การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment : QFD) คือ การเปลี่ยนความต้องการของผู้รับบริการให้ออกมาเป็นสินค้าหรือบริการ ซึ่ง QFD จะช่วยเชื่อมโยงความต้องการของผู้รับบริการกับสิ่งที่ ต้องการปรับปรุง และออกแบบได้อย่างชัดเจนทำให้ทราบว่าความต้องการใดเป็นเรื่องสำคัญควร ปรับปรุงก่อน และช่วยวิเคราะห์ความต้องการของผู้รับบริการได้อย่างถูกต้อง และมีแนวทางในการ ปรับปรุงที่ชัดเจน ซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่าย และระยะเวลาในการปรับปรุง และออกแบบงานบริการได้ รวมถึงมีการทำงานร่วมกันเป็นทีมทำให้ช่วยลดความขัดแย้งที่อาจจะเกิดขึ้นในแต่ละแผนก [11] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของบ้านแห่งคุณภาพ [11]

2.4 ดอกไม้แห่งการบริการ

ดอกไม้แห่งการบริการ (Flower of Service) จะเห็นได้ว่า บริการหลักเปรียบเสมือนเกสร ซึ่งอยู่ตรงกลางของดอกไม้ซึ่งเป็นส่วนสำคัญสำหรับการขยายพันธุ์ ส่วนบริการเสริมมีทั้งหมด 8 ประเภทแบ่งได้ 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ กลุ่มที่ 1 คือ องค์ประกอบอำนวยความสะดวก (Facilitating elements) : การให้ข้อมูลสารสนเทศเบื้องต้น (Information), การรับคำสั่งซื้อ (Order taking), การเรียกเก็บเงิน (Billing) และการรับชำระค่าบริการ (Payment) กลุ่มที่ 2 คือ องค์ประกอบเสริม (Enhancing elements) : การให้คำปรึกษา (Consultation), การรับรองอย่างเป็นมิตร (Hospitality), การดูแล

รักษาสິงมีค่า (Safekeeping) และ การบริการนอกเหนือเป็นพิเศษ (Exceptions) [12]

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การสำรวจความต้องการของผู้รับบริการ

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงปริมาณ (Quantitative Research Method) โดยมีแบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการของผู้รับบริการโรงพยาบาล กรณีศึกษาซึ่งไม่ทราบขนาดของประชากรที่แน่นอน และไม่ทราบค่าสัดส่วนของประชากร แต่ทราบว่ามีความถี่จำนวนมาก ผู้ศึกษาคำนวณหากลุ่มตัวอย่างได้จากสูตรของครอแกน (W.G. Cochran) [13] ได้จำนวน 385 ตัวอย่างที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ ±5 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนของลักษณะที่สนใจในประชากร เท่ากับ 0.5 โดยขนาดของประชากรที่ต้องการหาได้จากสมการที่ 1

$$n = \frac{P(1-P)z^2}{d^2} \quad (1)$$

โดยที่ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

P = สัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยต้องการ (0.5)

Z = ค่ามัน้ใจที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ

Z ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 มีค่าเท่ากับ 1.96 (มัน้ใจ 95%)

d = สัดส่วนของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้ (0.05)

แทนค่าในสูตร

$$n = \frac{0.5(1-0.5)(1.96)^2}{(0.05)^2}$$

$$n = \frac{0.25(3.8416)}{0.0025}$$

$$n = \frac{0.9604}{0.0025}$$

$$n = 384.16 \approx 385$$

การศึกษาในครั้งนี้ผู้ศึกษาได้เก็บข้อมูลทั้งหมด 418 ตัวอย่าง แต่ที่ใช้จริงในการวิเคราะห์ข้อมูล 400 ตัวอย่าง เพราะมีแบบสอบถามที่ไม่สมบูรณ์

รวมทั้งมีการศึกษาเชิงคุณภาพ (Qualitative Research Method) ซึ่งได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ผู้บริหารการพยาบาลหรือผู้ปฏิบัติการหรือผู้เชี่ยวชาญด้านการพยาบาล จำนวน 1 คน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง กรณีในการเลือก คือ ต้องมีความรู้หรือมีประสบการณ์ในการทำงานใน โรงพยาบาลกรณีศึกษาไม่น้อยกว่า 3 ปี และผู้เชี่ยวชาญทางด้านการพัฒนาคุณภาพการบริการ จำนวน 1 คน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง กรณีในการเลือก คือ

ต้องมีความรู้ทั้งด้านการพัฒนาคุณภาพการบริการหรือมีประสบการณ์ในการทำงานไม่น้อยกว่า 2 ปี

การออกแบบแบบสอบถามใช้วิธีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการบริการ ได้แก่ 1) ความเป็นรูปธรรมของบริการ 2) ความเชื่อถือไว้วางใจได้ 3) การตอบสนองต่อลูกค้า 4) การให้ความเชื่อมั่นต่อลูกค้า และ 5) การรู้จักและเข้าใจลูกค้า เพื่อสำรวจความคิดเห็นของผู้มารับบริการต่อความคาดหวัง และสิ่งที่ได้รับจริงจากการบริการของโรงพยาบาล ซึ่งมีการหาค่าความเที่ยงตรงของแบบสอบถาม หรือ IOC และใช้การหาค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาครอนบาค เพื่อหาค่าความเชื่อมั่นจากการตอบแบบสอบถาม

3.2 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

แนวคิดเทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Deployment : QFD) โดยมีสูตรในการคำนวณ ดังต่อไปนี้

3.2.1 คำนวณระดับความสำคัญของความต้องการของผู้รับบริการ (Self-State Importance)

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\text{Self-State Importance}_j = \frac{\sum x_{ij}}{n_i} \quad (2)$$

3.2.2 การคำนวณสัดส่วนของระดับคุณภาพที่คาดหวังเทียบกับการบริการที่ได้รับจริง (Service Quality Expectation: SQE)

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$SQE_j = \left[\prod_{i=1}^{n_j} \left(\frac{E_{ij}}{p_{ij}} \right) \right]^{1/n_i} \quad (3)$$

3.2.3 การคำนวณคะแนนความสำคัญที่แท้จริง (Adjust importance)

เป็นการคำนวณเพื่อที่จะนำไปคำนวณในขั้นตอนต่อไปของบ้านแห่งคุณภาพ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$\text{Adjust importance} = \text{SQE}_j \times \text{Self-State importance} \quad (4)$$

3.2.4 ค่าระดับน้ำหนัก (Absolute Requirement weight)

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\text{Absolute Requirement weight} = \text{Adjust importance} \times \text{Competition Ratio} \times \text{Sale Point} \quad (5)$$

3.2.5 เปอร์เซนต์ค่าระดับน้ำหนัก (Relative Requirement weight)

สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$\text{Relative Requirement weight} = \left(\frac{\text{Absolute Requirement weight}}{n_i} \right) \times 100 \quad (6)$$

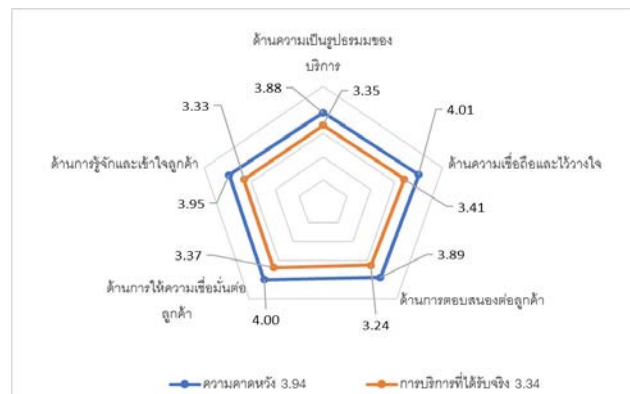
4. ผลการวิจัย

4.1 การสืบหาความต้องการ

เป็นขั้นตอนแรกของการออกแบบ “แบบสอบถาม” ผู้วิจัยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากผลสำรวจข้อร้องเรียนของประชาชนที่มาใช้บริการโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่งใน จังหวัดนครราชสีมา และการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพการบริการ

4.2 ผลจากการวิเคราะห์ความต้องการของผู้รับบริการ

ผลจากการเก็บข้อมูลของผู้รับบริการในช่วงเวลาที่กำหนด พบว่ามีผู้รับบริการช่วงอายุต่ำกว่า 20 ปี = 4.0%, ช่วงอายุ 21-30 ปี = 31.5%, ช่วงอายุ 31-40 ปี = 28.8%, ช่วงอายุ 41-50 ปี = 22.5%, ช่วงอายุ 51-60ปี = 11.0% และช่วงอายุ 60 ปีขึ้นไป = 2.2% และผลการวิเคราะห์ความต้องการของผู้รับบริการเป็นผลลัพธ์ที่มีความสำคัญที่สุด เนื่องจากเป็นข้อมูลตั้งต้นในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค QFD ผลการวิเคราะห์ความต้องการของผู้รับบริการต่อความแตกต่างคุณภาพการบริการ โดยวัดจากความคาดหวัง (Expected Service) และการบริการที่ได้รับจริง (Perceived Service) ในมิติต่างๆ ได้แก่ 1) ความเป็นรูปธรรมของบริการ 2) ความเชื่อถือไว้วางใจได้ 3) การตอบสนองต่อลูกค้า 4) การให้ความเชื่อมั่นต่อลูกค้า และ 5) การรู้จักและเข้าใจลูกค้า เพื่อเป็นคุณภาพการบริการเสริมในการปรับปรุงการบริการของโรงพยาบาลสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ผลลัพธ์ความคาดหวังและการบริการที่ได้รับจริงต่อคุณภาพการบริการของลูกค้าในมิติต่าง ๆ

4.3 ผลการวิเคราะห์จากการใช้เทคนิค QFD

4.3.1 ผลจากการวิเคราะห์ประเด็นความต้องการของผู้รับบริการ และคำนวณคะแนนความสำคัญที่แท้จริง ดังตารางที่ 1

ในส่วนของข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีลำดับความสำคัญตั้งแต่ลำดับที่ 6 เป็นต้นไปเป็น ข้อกำหนดที่ต้องปรับปรุงในภายหลัง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ โรงพยาบาลเยื่อเฉลิมพระเกียรติ ๘๐ พรรษา ที่ให้ความร่วมมือในการทำวิจัยนี้เป็นอย่างดี และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์ ผู้สนับสนุนทุนการนำเสนอผลงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] หทัยา แก้วกัม, ช่อทิพย์ บรมธนรัตน์ และวราภรณ์ จันท์คง. 2542. "ความคาดหวังและการรับรู้ของประชาชนต่อคุณภาพการบริการโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จังหวัดนครศรีธรรมราช." การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ครั้งที่ 2.
- [2] ศิริพร เจริญศรีวิริยะกุล. 2554. คุณภาพการให้บริการโรงพยาบาลทั่วไปของรัฐบาลในเขตจังหวัดปทุมธานี (ปริญญามหาบัณฑิต). ปทุมธานี. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. สืบค้นจาก <http://www.repository.rmutt.ac.th/handle/123456789/833>
- [3] ภูมิศย์ วงษ์เล็ก, วลัยยา ชูประดิษฐ์ และภูวกร อนันตรักษ์. 2564. "คุณภาพการบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการกลุ่มโรงพยาบาลจุฬารัตน์จังหวัดสมุทรปราการ." วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น, ปีที่ 15, ฉบับที่ 3.
- [4] นิภารัตน์ อู่เงิน และชินโสณ วิสิษฐนิธิกิจา. 2563. "การพัฒนาคุณภาพการให้บริการของโรงพยาบาลบางปะกอก9." วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏร้อยเอ็ด, ปีที่ 14, ฉบับที่ 1.
- [5] ไชชนะ จันทอารีย์, มาเรียม มะนิ และอัมพล ชูสนุก. 2559. "อิทธิพลของคุณภาพการให้บริการต่อความไว้นื้อเชื่อใจความพึงพอใจการบอกต่อและการกลับมาใช้บริการซ้ำของลูกค้าโรงพยาบาลพระราม2." วารสารปัญญาภิวัฒน์, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2.
- [6] ร้อยโทหญิง พัชรมน เชื้อนาคะ. 2560. คุณภาพการบริการที่มีผลต่อความพึงพอใจของผู้รับบริการในแผนกผู้ป่วยนอกของโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า (ปริญญามหาบัณฑิต). นครปฐม. มหาวิทยาลัยมหิดล. สืบค้นจาก <https://archive.cm.mahidol.ac.th/handle/123456789/2271>
- [7] ลัดดาวัลย์ จาดพันธุ์อินทร์, สมโภช รติโอพาร และอารยา ประเสริฐชัย. 2563. "ความคาดหวังและการรับรู้ของผู้รับบริการต่อคุณภาพการให้บริการของศูนย์ส่งเสริมสุขภาพแผนไทยกรมการแพทย์แผนไทยและการแพทย์ทางเลือก." วารสารวิทยาลัยบัณฑิตเอเชีย, ปีที่ 10, ฉบับที่ 4.
- [8] พานิดา อุตราววัฒน์, เขมิกา แสนโสม และนิศารัตน์ไซติเชย. 2562. "อิทธิพลของกลยุทธ์ตลาดบริการและคุณภาพการบริการที่ส่งผลต่อความได้เปรียบทางการแข่งขันของผู้รับบริการคลินิกแพทย์แผน

ไทยโรงพยาบาลสุทธาเวชจังหวัดมหาสารคาม." วารสารสหวิทยาการวิจัยฉบับบัณฑิตศึกษา, ปีที่ 8, ฉบับที่ 2.

- [9] อันรดา คงสินชัย และพัชรหทัย จารูทวีผลนุกุล, คุณภาพการให้บริการและส่วนประสมทางการตลาดบริการที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้บริการโรงพยาบาลสินแพทย์ลำลูกกาจังหวัดปทุมธานี, การประชุมนำเสนอผลการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาครั้งที่ 15 ปีการศึกษา 2563, วันที่ 13 สิงหาคม 2563
- [10] กิตติศักดิ์ แสงทอง, พุทธิวิมล คชรัตน์, บุปผชาติ แต่งเกลี้ยง, ศิริลักษณ์ หนูทอง และนภาพร เทพรักษา. 2563. ปัจจัยคุณภาพบริการที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกใช้บริการโรงพยาบาลนบอนจังหวัดนครศรีธรรมราช (ปริญญามหาบัณฑิต). สงขลา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. สืบค้นจาก <https://riss.rmutsv.ac.th/upload/doc/202004/dPckmm7jbUL3MbZD3mKS/dPckmm7jbUL3MbZD3mKS.pdf>
- [11] วราภรณ์ โยธินศิริกุล. 2556. การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปรหน้าที่เชิงคุณภาพกับเชิรฟโคล สำหรับศูนย์บริการลูกค้า (ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นจาก https://tdc.thailis.or.th/tdc/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=430409
- [12] ปฏิภาณ จารุมณี. 2557. การปรับปรุงระบบบริการยานพาหนะโดยประยุกต์แนวคิดลิน ชิกซ์ ชิกมา (ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพมหานคร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. สืบค้นจาก <https://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/56237?fbclid=IwAR0YNmSa0DgvcJ59kDhwqg9Nw8qFOXGzTAglZnCzH2TsdKgQ36ai6pup8BQ>
- [13] W.G. Cochran. Sampling Techniques, New York John & Sons, 1953.

การแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยเคมีน และการจัดเส้นทางรถขนส่งด้วยวิธีปีนเขา บนไมโครซอฟต์เอ็กเซลด้วยภาษาวีบีเอ

K – Means Clustering and Hill Climbing Algorithm to vehicle routing problem on Excel VBA

ชลรยา ทายศ* กัลยรัตน์ เมื่อบศรี คณศ พันธุ์สวาสดี กวินทร สัยเจริญ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

E-mail: thayod_c@silpakorn.edu*

Chonraya Thayod*, Kanyarat Mueabsri, Kanate Puntusavase*, Kawinthorn Saicharoen

Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

E-mail: thayod_c@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีจุดประสงค์เพื่อนำเสนอการจัดเส้นทางรถขนส่งโดยใช้วิธีการปีนเขา (Hill climbing algorithm: HCA) เปรียบเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีจำลองการอบเหนียว (Simulated annealing : SA) โดยมีการแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยของเค (K-Means Clustering) เพื่อจัดกลุ่มพิกัดพื้นที่การขนส่งของกลุ่มลูกค้า คิดต้นทุนการขนส่งตามระยะทาง โดยจะต้องหาเส้นทางรถขนส่งที่มีระยะทางสั้นที่สุด จากผลการทดลองพบว่า จัดกลุ่มลูกค้าได้เป็น 6 กลุ่ม การจัดเส้นทางรถขนส่งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีจำลองการอบเหนียว ทำให้ระยะทางในการขนส่งลดลงจาก 6,144 กิโลเมตร เป็น 5,928 กิโลเมตร ลดระยะทางได้ 216 กิโลเมตร ส่งผลให้ต้นทุนในการขนส่งลดลงจาก 5,805,888 บาทต่อปี เป็น 5,510,016 บาทต่อปี ลดต้นทุนได้ 295,872 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 5.10 ต่อปี

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง, การแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยของเค, วิธีการปีนเขา

Abstract

The purpose of this study is to present the transport routing using the hill climbing algorithm (HCA), compared with the simulated annealing algorithm (SA) by stratifying the customers by K-Means clustering to group the transport coordinates of customers. The cost of fuel is calculated by distance-based transportation costs; so, the transportation route with the shortest distance is needed for the calculation. As the experimental result, it was found that customers should be grouped into six groups. This transport routing cost is compared to the previous routing's cost, and it showed that the transportation distance was reduced from 6,144 kilometers to 5,928 kilometers, reducing the distance by 216 kilometers. This reduced the transportation costs from 5,805,888 baht per year to 5,510,016 baht per year, which was calculated to be 295,872 baht reduction per year, or 5.10 percent of cost reduction per year.

Keywords: Vehicle routing problem, K-means clustering, Hill climbing algorithm

การจัดการสินค้าคงคลังในร้านอาหารหลายสาขา Inventory Management in Restaurant Chain

ธนพล วิภูริยานันท์^{*} นัทธพงศ์ สงวนหมู่ ปัทมา บานชื่น กวินธร สัยเจริญ^{*}
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: Wipuariyanan_t@su.ac.th^{*}, saicharoen_k@silpakorn.edu

Thanapon Wipuariyanan^{*}, Nuttapong Sangunmu, Pattama Banchuen, Kawinthorn Saicharoen^{*}
Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University
E-mail: Wipuariyanan_t@su.ac.th^{*}, saicharoen_k@silpakorn.edu

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้ออาหารแช่แข็งในธุรกิจร้านอาหารหลายสาขาให้มีต้นทุนสินค้าคงคลังรวมต่ำที่สุดโดยลักษณะปัญหาจะเป็นการสั่งซื้อสินค้าหลายชนิดจากผู้ขายรายเดียวและเป็นการสั่งซื้อจากผู้ขายหลายราย สินค้าจะถูกนำมาเก็บที่คลังสินค้าภายนอกก่อนเรียกเข้ามาเก็บโดยคลังสินค้าในโรงงานซึ่งในปัญหานี้จะมีสินค้าแช่แข็ง 18 รายการจากผู้ขาย 13 ราย ผลการทดลองพบว่าสามารถลดต้นทุนสินค้าคงคลังรวมลดลงจากเดิมได้ 0.12 เปอร์เซ็นต์คิดเป็นจำนวนเงิน 671,609 บาท ผลการทดลองนี้ให้ข้อมูลเชิงลึกที่มีค่าสำหรับเจ้าของร้านอาหารที่มีหลายสาขาและผู้จัดการสินค้าคงคลังเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับกลยุทธ์ในการจัดการสินค้าคงคลังซึ่งนำไปสู่การปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการดำเนินงานและช่วยให้ประหยัดต้นทุน

คำสำคัญ: การจัดการสินค้าคงคลัง, สินค้าคงคลังหลายรายการ, การจัดการสินค้าคงคลังหลายระดับ

Abstract

This paper aims to quantify frozen food orders in restaurant chain to have the lowest total inventory cost, with the problem being multiple orders from a single vendor and orders from multiple vendors. The goods are stored at an external warehouse before being retrieved by a factory warehouse, which in this case study contains 18 frozen food from 13 vendors. The results showed that the total inventory cost could be reduced 0.12 percent representing 671,609 baht. This paper's findings provide valuable insights for restaurant chain owners and inventory managers to make informed decisions about inventory management strategies, resulting in increased operational efficiency and cost savings.

Keywords: Inventory management, Multi joint replenishment, Multi location inventory management

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมอาหาร การจัดการสินค้าคงคลังเป็นส่วนสำคัญของความสำเร็จของร้านอาหาร ซึ่งการจัดการสินค้าคงคลังช่วยให้ร้านอาหารสามารถควบคุมการไหลของสินค้าและวัสดุอื่น ๆ ตั้งแต่การสั่งซื้อจนถึงการจัดเก็บและการใช้งาน เป้าหมายคือการปรับปรุงการดำเนินงานโดยรวมเพื่อลดต้นทุน และสามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ ในอุตสาหกรรมร้านอาหารในปี 2566 มีการคาดการณ์ว่าธุรกิจร้านอาหารมีโอกาสเติบโตร้อยละ 2.7 ถึง ร้อยละ 4.5 จากปี 2565 หรือมีมูลค่า 4.18 ถึง 4.25 ล้านบาท โดยการเติบโตอยู่บนพื้นฐานความระมัดระวัง เนื่องจากเศรษฐกิจที่ยังฟื้นตัวไม่เต็มที่ ขณะที่ต้นทุนการดำเนินการมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การแข่งขันทางธุรกิจร้านอาหารที่สูงขึ้น [1]

ปัจจุบันร้านอาหารที่มีหลายสาขา มีสินค้ามากกว่า 100 รายการ หมุนเวียนเข้าออกในคลังของโรงงาน แต่พื้นที่ในการจัดเก็บสินค้ามีไม่เพียงพอ เนื่องจากปริมาณสินค้ามีจำนวนมากซึ่งไม่สอดคล้องกับพื้นที่การจัดเก็บ ทางบริษัทจึงได้ใช้บริการรับฝากสินค้าจากคลังของผู้ให้บริการรับฝากสินค้าที่มีการควบคุมอุณหภูมิ โดยให้ผู้ผลิตนำสินค้าไปส่งยังคลังของผู้ให้บริการรับฝากสินค้าก่อนที่ทยอยไปเก็บที่คลังของโรงงานเพื่อให้คลังของโรงงานมีพื้นที่ในการเก็บสินค้าเพียงพอ

ดังนั้นในบทความนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดนโยบายการสั่งซื้อสินค้าแข่งขันให้ได้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยคำนึงเฉพาะสินค้าคงคลังแบบสองระดับเฉพาะในส่วนของการสั่งซื้อแข่งขันที่ใช้บริการกับผู้ให้บริการรับฝากคลังสินค้าเข้า มีเวลานำคงที่ และเป็นช่วงปกติที่ร้านอาหารขายสินค้าโดยไม่มีโปรโมชันและส่วนลด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การสั่งซื้อทดแทนแบบร่วม (Joint Replenishment) [2, 3]

การสั่งซื้อทดแทนแบบร่วม (Joint Replenishment) คือ การสั่งซื้อหรือสั่งผลิตพัสดุคงคลังหลายๆ รายการไปพร้อมๆกัน เพราะในสภาพความเป็นจริงหลายๆ บริษัทมักจะทำการสั่งซื้อหรือสั่งผลิตพัสดุหลายๆ รายการไปพร้อมๆกัน สำหรับแนวคิดของการสั่งซื้อทดแทนแบบร่วมคือ ต้นทุนส่วนเพิ่มในการเพิ่มวัสดุหนึ่งรายการเข้าไปในใบสั่งเดิมจะต่อน้อยกว่าต้นทุนส่วนเพิ่มในการสั่งซื้อวัสดุทีละรายการดังกล่าวในภายหลัง ซึ่งทำให้การจัดส่งในแต่ละครั้งสามารถทำการจัดส่งได้ด้วยขนาดใหญ่มาก ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการจัดส่ง

2.2 การจัดการสินค้าคงคลังแบบสองระดับ (Two Echelon Inventory) [4]

คือการจัดการสินค้าคงคลังแบบสองระดับประกอบไปด้วยผู้ผลิตและผู้ขาย โดยวิธีการจัดการสินค้าคงคลังแบบสองระดับ ผู้ผลิตต้องได้รับข้อมูลความต้องการของผู้บริโภคจากผู้ขาย เพื่อสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์จัดการสินค้าคงคลังของผู้ขายให้สามารถจัดส่งสินค้าได้ปริมาณที่เหมาะสม โดยปกติผู้ผลิตต้องพยากรณ์ความต้องการของผู้บริโภคผ่านนโยบายการสั่งซื้อของผู้ขาย ด้วยวิธีการ

จัดการสินค้าคงคลังแบบสองระดับ ทำให้ผู้ผลิตสามารถทราบปริมาณความต้องการของผู้บริโภคเพื่อนำไปคิดวิเคราะห์หาปริมาณการจัดเก็บในพื้นที่ของผู้ขายได้เหมาะสม ด้วยวิธีการคำนวณหาต้นทุนรวมของสินค้าคงคลังแบบการจัดการสินค้าคงคลังแบบสองระดับ ซึ่งแบ่งประเภทของข้อมูลเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ข้อมูลต้นทุนของผู้ผลิตและข้อมูลต้นทุนของผู้ขาย ยกเว้นต้นทุนการสั่งซื้อของผู้ผลิตที่เป็นข้อมูลเดิม ด้วยวิธีการจัดการดังกล่าว เมื่อมีคำสั่งซื้อจากผู้บริโภคมายังผู้ขายหรือผู้ขายถึงจุดสั่งซื้อใหม่ค่าขอเดิมสินค้าถูกส่งไปยังผู้ผลิต และปริมาณการสั่งซื้อถูกส่งไปยังผู้ผลิตทันที ทำให้ผู้ผลิตสามารถตรวจสอบสินค้าคงคลัง และวางแผนการสั่งซื้อหรือกระบวนการผลิตของผู้ผลิต

2.3 ตัวแปร และสัญลักษณ์

เพื่อให้การอธิบายไปในทางเดียวกันจึงจะต้องแสดงสมการและตัวแปรดังต่อไปนี้

กำหนดให้

TC	=	ต้นทุนสินค้าคงคลังรวม
D	=	ปริมาณความต้องการสินค้าต่อปี
C	=	ราคาสินค้าต่อหน่วยของผู้ผลิต
c	=	ราคาสินค้าต่อหน่วยของผู้ขาย
S	=	ต้นทุนในการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งของผู้ผลิต
s'	=	ต้นทุนในการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งของผู้ขาย
Q	=	ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งของผู้ผลิต
q	=	ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งของผู้ขาย
H	=	ต้นทุนในการเก็บรักษาต่อปีของผู้ผลิต
h	=	ต้นทุนในการเก็บรักษาต่อปีของผู้ขาย
m	=	จำนวนเที่ยวในการขนส่ง
I	=	อัตราดอกเบี้ยของผู้ผลิต
i	=	อัตราดอกเบี้ยของผู้ขาย
σ_d	=	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการสินค้า
LT	=	ช่วงเวลารอคอยสินค้า หรือ ช่วงเวลานำ
Z	=	จำนวนของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากความต้องการสินค้า
α	=	ระดับความเชื่อมั่นต่าง ๆ
SS	=	สต็อกเพื่อความปลอดภัย
$\$a_{jk}$	=	มูลค่าความต้องการสินค้าต่อปีจากผู้ขาย j ไปสินค้า k ; j = {1,2,3,...,13} ; k = {1,2,3,...,18}
$\$A_{jk}$	=	มูลค่าความต้องการรวมต่อปีของสินค้า
w_{jk}	=	ค่าถ่วงน้ำหนักของผู้ขายที่ j ในรายการสินค้าที่ k
$\$Q_{jk}$	=	มูลค่ารวมการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งของผู้ขาย j ในช่วงราคาที่ k
$\$Q_k$	=	มูลค่าการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งของรายการสินค้าที่ k
Q_k	=	ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งของรายการสินค้าที่ k

2.4 สมการต้นทุนสินค้าคงคลังรวม

ต้นทุนสินค้าคงคลังรวม (TC) เกิดจากต้นทุนการสั่งซื้อสินค้า (SC) + ต้นทุนถือครองสินค้า (HC) + ต้นทุนราคาสินค้า (DC) ในส่วนของรายละเอียดต้นทุนจะประกอบไปด้วยต้นทุนของผู้ผลิตและต้นทุนของผู้ขาย ตามสมการที่ (1) โดยพิจารณาปริมาณการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้งของผู้ผลิต (Q) จะได้สมการปริมาณการสั่งซื้อสินค้าตามสมการที่ (2) ซึ่งเมื่อแทนสมการที่ (2) ใน สมการที่ (1) จะได้สมการที่ (3) และหาต้นทุนถือครองสินค้าของผู้ผลิตและผู้ขายตามสมการที่ (4) และสมการที่ (5) ตามลำดับ

$$TC = \frac{DS}{Q} + H(Q - \frac{m-1}{2}q) + DC + \frac{Ds'}{q} + \frac{hq}{2} \quad (1)$$

$$Q = m \times q \quad (2)$$

$$TC = \frac{DS}{Q} + \frac{HQ}{2} + (h-H)(\frac{Q}{2m}) + CD + \frac{Ds'm}{Q} \quad (3)$$

$$H = I \times C_k = h \times (\frac{Q}{2}) \quad (4)$$

$$h = i \times c_k \quad (5)$$

ขั้นแรกที่เราต้องหาคือ หาปริมาณการสั่งซื้อสินค้าอย่างประหยัดและจำนวนเที่ยวในการขนส่งสินค้าที่ทำให้ต้นทุนสินค้าต่ำที่สุด จากสมการที่ (7) และสมการที่ (8) ตามลำดับ

$$\frac{\partial TC}{\partial Q} = 0, \quad \frac{\partial TC}{\partial m} = 0 \quad (6)$$

$$Q = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \quad (7)$$

$$m = \sqrt{\frac{Q^2(H+h)}{2Ds'}} \quad (8)$$

ในกรณีที่สินค้าหลายรายการมาจากผู้ผลิตเดียวกันเราจะหาปริมาณการสั่งซื้อได้จากทฤษฎีการสั่งซื้อทดแทนแบบรวม (Joint Replenishment) โดยขั้นแรกเริ่มจากหามูลค่าความต้องการสินค้าต่อปี ตามสมการที่ (9) และมูลค่าความต้องการรวมของสินค้าต่อปี ตามสมการที่ (10)

$$S_{ijk} = D_k \times C_k \quad (9)$$

$$S_{A_{jk}} = \sum v_k D_k \times C_k \quad (10)$$

ในขั้นตอนต่อมา นำ (9) หาค่า (10) จะได้สมการที่ (11) เมื่อแทน (10) ใน (7) จะได้สมการที่ (12) และเมื่อนำ (12) คูณ (11) จะได้สมการที่ (13)

$$w_{jk} = \frac{S_{ijk}}{S_{A_{jk}}} \quad (11)$$

$$S_{Q_{jk}} = \sqrt{\frac{2 \times S_{A_{jk}} \times S}{i}} \quad (12)$$

$$S_{Q_k} = S_{Q_{jk}} \times w_{jk} \quad (13)$$

และหาปริมาณการสั่งซื้อสินค้าต่อครั้ง ตามสมการที่ (14) และหาสต็อกสินค้าเพื่อความปลอดภัย ตามสมการที่ (15)

$$Q_k = \frac{S_{Q_k}}{C_k} \quad (14)$$

$$SS = Z\sigma_d\sqrt{LT} \quad (15)$$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กวีรินทร์ สัยเจริญ (2555) ทำการศึกษาหาแนวทางในการลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังรวมระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายให้มีต้นทุนสินค้าคงคลังรวมน้อยที่สุดของโรงผลิตน้ำดื่มคิดปรากับร้านน้ำที่ขายในมหาวิทยาลัยโดยประยุกต์ใช้การจัดการสินค้าคงคลังโดยผู้ขายเป็นผู้จัดการ (Vendor Management Inventory, VMI) โดยการคำนวณหาต้นทุนสินค้าคงคลังรวมจะต้องพิจารณาต้นทุนสินค้าคงคลังของผู้ขายและต้นทุนสินค้าคงคลังของผู้ซื้อเพื่อนำมาพิจารณาต้นทุนสินค้าคงคลังรวม จากการศึกษาพบว่ากรณีที่นำ VMI มาประยุกต์ใช้สามารถทำให้ต้นทุนสินค้าคงคลังรวมลดลงเมื่อเทียบกับวิธีการดำเนินงานปัจจุบัน และวิธีที่ทำให้ต้นทุนสินค้าคงคลังต่อปีต่ำที่สุด คือวิธีแบบจำลองขนาดรุ่นการสั่งแบบ พลวัต (dynamic lot sizing) มีค่าเท่ากับ 1,130,071 บาท ต่อปี [5]

สมชาย เปรียงพรม (2564) ทำการศึกษาหาแนวทางการลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังของบรรจุภัณฑ์ชนิดกล่องโดยใช้วิธีการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม ปัญหาที่พบก่อนการแก้ไขคือปริมาณการสั่งซื้อสินค้าไม่สอดคล้องกับปริมาณการใช้สินค้าจริง ทำให้มีส่งผลให้ต้นทุนการจัดเก็บสินค้าและต้นทุนการถือครองสูงโดยไม่จำเป็น ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม (EOQ) มาแก้ไขปัญหาดังกล่าวผลการศึกษพบว่าสามารถลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังโดยรวมจาก 23,316.62 บาทต่อปีลดลงเหลือ 12,944.34 บาทต่อปี ลดลง 10,372.28 บาทต่อปี ลดลงคิดเป็นร้อยละ 44.48 [6]

Yao *et al.* (2005) ทำการศึกษารวมห่วงโซ่อุปทานในสินค้าคงคลังที่จัดการโดยผู้ขาย ซึ่งปัญหาที่พบ คือผู้ซื้อมีระดับสินค้าคงคลังที่มากทำให้มีต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูง โดยมีวัตถุประสงค์ต้องการแสดงให้เห็นว่าการใช้การจัดการสินค้าคงคลังโดยผู้ขาย (vendor managed inventory) ช่วยให้ประหยัดต้นทุนสินค้าคงคลัง โดยวิธีแก้ไข คือคำนวณหาความแตกต่างระหว่างการใช้ VMI กับการไม่ใช้ VMI ว่าการคำนวณแบบไหนที่มีต้นทุนการสั่งซื้อที่ต่ำกว่ากัน โดยในส่วนของกรณี

ใช้ VMI จะใช้แบบจำลองที่คล้ายกับการหาปริมาณการสั่งซื้อทางเศรษฐกิจ (EOQ) แบบคลาสสิกในการจัดการสินค้าคงคลัง ในส่วนของการใช้ VMI ให้พิจารณากรณีที่ซัพพลายเออร์และผู้ซื้อตกลงที่จะใช้ VMI ผลลัพธ์ที่ได้ คือซัพพลายเออร์มีความรู้เกี่ยวกับความต้องการอย่างเต็มที่และมีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดการสินค้าคงคลังสำหรับทั้งสองฝ่ายในห่วงโซ่อุปทาน จึงสามารถสรุปได้ว่า VMI เป็นสินค้าคงคลังที่ลดต้นทุนสำหรับซัพพลายเออร์และผู้ซื้อและระดับการบริการลูกค้าดีขึ้น [4]

จารุมาศ และวุฒิชัย (2560) ทำการศึกษาแบบจำลองสินค้าคงคลังแบบสองระดับสำหรับการจัดการสินค้าที่มีการกระจายตัวตามปกติและมีนโยบายการกักตุนสินค้าอย่างต่อเนื่อง จากการตรวจสอบความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างความต้องการสินค้าและการส่งคืนสินค้าเพื่อกำหนดจุดสั่งซื้อที่เหมาะสมที่สุด ปริมาณที่ต้องสั่ง และจำนวนรอบสำหรับการเพิ่มสินค้าเพื่อลดต้นทุนรวมในระบบสินค้าคงคลัง พบว่าการคำนวณเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของความต้องการส่งคืนสินค้าต่อหน่วยเวลามีผลกระทบอย่างมากต่อต้นทุนรวมในระบบสินค้าคงคลัง ในขณะที่ระยะเวลาการคอยสินค้าในคลังสินค้าไม่เป็นเช่นนั้น การวิจัยแนะนำให้ตรวจสอบกรณีของอัตราความต้องการที่ไม่คงที่ในการศึกษาในอนาคต เพื่อให้สอดคล้องกับสถานการณ์จริงของระบบสินค้าคงคลัง [7]

ณัฐพล และกาญจนาภา (2562) ทำการศึกษากำหนดนโยบายบริหารสินค้าคงคลังแบบเติมเต็มร่วมกันหลายรายการโดยมีข้อจำกัดการจัดส่งแบบเติมเต็มกรณีศึกษาบริษัทจำหน่ายอุปกรณ์สำนักงานทาง E-commerce แห่งหนึ่งในไทย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการสินค้าคงคลังสำหรับสินค้าหลายรายการที่มีการสั่งซื้อร่วมกันจากผู้ผลิต ปัญหาที่พบคือ สินค้าขาดมือ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดนโยบายสินค้าคงคลังแบบใหม่ซึ่งนำทฤษฎี Joint Replenishment Problem และ Can-Order System มาช่วยในการแก้ไข ผลการศึกษาพบว่านโยบายสินค้าคงคลังแบบใหม่ทั้ง 2 แบบนั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่านโยบายแบบเดิมของบริษัท [8]

Moueen *et.al.* (2014) ได้กล่าวถึงรูปแบบการสั่งซื้อสินค้าทดแทนร่วมกัน (Joint Replenishment) ที่ใช้ในระบบสินค้าคงคลังหลายรายการเพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมโดยที่จะลดต้นทุนการถือครองและต้นทุนการสั่งซื้อสินค้าในบทความนี้จะมุ่งเน้นไปที่สินค้าอุปโภคบริโภคที่เป็นกลุ่มสินค้าที่มีความเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลาวัตถุประสงค์ของบทความนี้ต้องการแสดงให้เห็นว่าการนำรูปแบบการสั่งซื้อสินค้าทดแทนร่วมกัน (Joint Replenishment) ทำให้ต้นทุนการถือครองและต้นทุนการสั่งซื้อต่ำกว่าการสั่งซื้อในแบบปัจจุบัน [9]

Tzu-Chun Weng.(2017). ต้องการนำเสนอระบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับสำหรับภาคตัดสินใจในการสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสมและการจัดเก็บสินค้าที่ถูกคืนโดยจุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้คือลดต้นทุนสินค้าคงคลังรวมและกำหนดปริมาณการสั่งซื้อและการคืนสินค้าที่เหมาะสมโดยแสดงตัวอย่างเชิงตัวเลขหลายตัวอย่างเพื่อสาธิตคุณลักษณะของระบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับและขั้นตอนการแก้ไขปัญหา [10]

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

ในขั้นตอนแรกคือคำนวณต้นทุนสินค้าคงคลังรวมของบริษัท ซึ่งต้นทุนสินค้าคงคลังรวมของบริษัทคือ 549,788,403 บาทต่อปี

ขั้นต่อมากำหนดหาปริมาณการสั่งซื้อสินค้าแบบประหยัดจากผู้ผลิตที่ขายสินค้ารายการเดียวและผู้ผลิตที่ขายสินค้าหลายรายการจากสมการที่ (7) และ (9)-(14) ตามลำดับ เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม หาสต็อกสินค้าเพื่อความปลอดภัย จากสมการที่ (15) โดยอาศัยข้อมูลจากตารางที่ 1 นำสต็อกสินค้าที่คำนวณได้จากสมการที่ (15) มารวมกับปริมาณการสั่งซื้อสินค้าแบบประหยัดและคิดหาต้นทุนสินค้าคงคลังรวมแบบประหยัด จากสมการที่ (3)

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดสินค้าแต่ละรายการ

รายการสินค้า	ปริมาณความต้องการต่อปี (กิโลกรัม)	ผู้ผลิต	ต้นทุนในการสั่งซื้อ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)	อัตราดอกเบี้ยต่อปี
A	25,899.36	1	887	320.95	0.1357
B	179,537.40	1	887	320.95	0.1357
C	96,984.00	1	887	320.95	0.1357
D	166,777.66	1	887	320.95	0.1357
E	239,413.20	1	887	320.95	0.1357
F	59,387.65	2	887	458.19	0.1357
G	114,819.60	2	887	278.55	0.1357
H	48,043.20	3	887	70.7	0.1357
I	67,090.80	4	887	251	0.1357
J	36,570.24	5	887	174.38	0.1357
K	19,647.59	6	887	327.17	0.1357
L	38,319.60	7	887	150.34	0.1357
M	45,788.40	8	887	129.61	0.1357
N	9,558.00	9	887	139.23	0.1357
O	23,6109.60	10	887	288.36	0.1357
P	41,435.69	11	887	80.1	0.1357
Q	8,368.90	12	887	176.47	0.1357
R	4,552.80	13	887	450	0.1357

3.2 การคำนวณ

การคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้งแบบผู้ผลิตที่ขายสินค้ารายการเดียวของสินค้า H จากสมการ (7)

$$Q = \sqrt{\frac{2 \times (48,043.20) \times 887}{0.1357 \times 70.7}}$$

$$Q = 2,980 \text{ กิโลกรัมต่อครั้ง}$$

กำหนดระดับบริการที่ 95 % จากสมการ (15)

$$SS = 1.65 \times 23\sqrt{I}$$

$$SS = 38 \text{ กิโลกรัมต่อครั้ง}$$

ดังนั้นปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้งของสินค้า H คือ 3,018 กิโลกรัมต่อครั้ง

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้งแบบผู้ผลิตที่ขายสินค้าหลายรายการ F และ G จากสมการ (9-15)

รายการสินค้า	$\$a_{jk}$ (บาท)	w_{jk}	$\$Q_k$ (บาท)	Q_k (kg.)	SS (kg.)
F	27,210,828.27	0.46	404,380.72	882	51
G	31,982,999.58	0.54	475,300.06	1,706	145
รวม	59,193,827.85				

ดังนั้นปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้งของสินค้า F คือ 933 กิโลกรัมต่อครั้ง และของสินค้า G คือ 1,851 กิโลกรัมต่อครั้ง

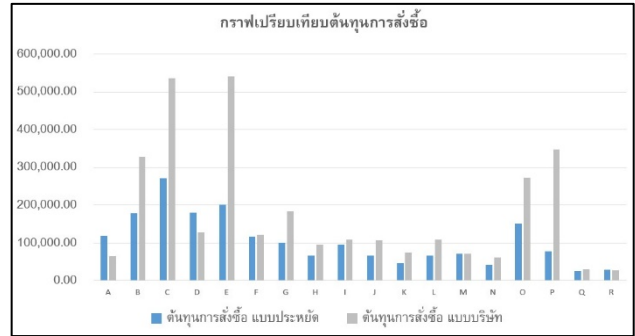
ตัวอย่างการคำนวณหาต้นทุนสินค้าคงคลังรวม จากสมการ (3)

$$TC = (141,248.28) + (14,486.4) + (761.26)(65.60) + 3,396,654.24 + (52,723.35)$$

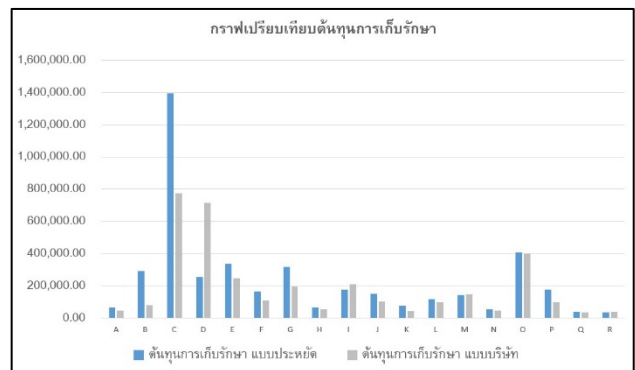
ดังนั้นต้นทุนสินค้าคงคลังรวมของสินค้า H คือ 3,594,700.65 บาท โดยได้รวมกับค่าบริการในการฝากคลังเช่าอยู่ที่ 1 กิโลกรัมต่อบาทต่อเดือน และมีค่าขนส่งจากผู้ให้บริการคลังเข้ามาจัดเก็บที่คลังของโรงงานอยู่ที่ 800 บาทต่อรถขนส่งหนึ่งคัน

4. ผลการทดลอง

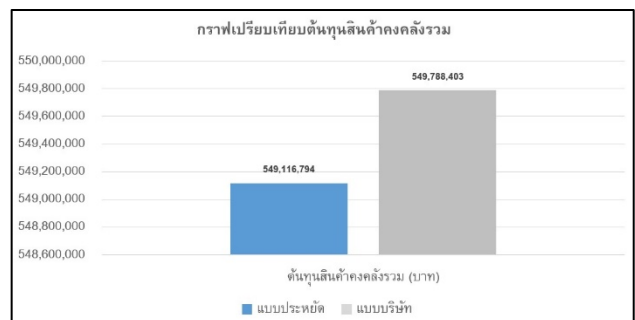
ศึกษาได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อสินค้าแซ่แข็งในอดีต ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2565 - ธันวาคม พ.ศ.2565 จำนวนทั้งสิ้น 18 รายการ มาทำการวิเคราะห์หาต้นทุนรวมของสินค้าคงคลังโดยวิธีการวิเคราะห์ มีการเปรียบเทียบต้นทุนรวม ปริมาณการสั่งซื้อทั้งหมด 2 วิธี ได้แก่ วิธีการคิดแบบประหยัดและวิธีการคิดแบบบริษัท แต่เนื่องจากสินค้ามีรูปแบบการสั่งซื้อแบบผู้ขายสินค้ารายการเดียวกับผู้ขายสินค้าหลายรายการ ทำให้การหาปริมาณการสั่งซื้อแตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องแยกคิดปริมาณการสั่งซื้อของแต่ละแบบก่อนนำมาวิเคราะห์หาต้นทุนรวมของสินค้าคงคลัง แสดงผลลัพธ์การคำนวณเปรียบเทียบต้นทุนรวมของสินค้าคงคลังของทั้ง 2 วิธี ได้ดังรูป



รูปที่ 1 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนในการสั่งซื้อ



รูปที่ 2 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนในการเก็บรักษา



รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนสินค้าคงคลังรวม

จากรูปที่ 1 และรูปที่ 2 เห็นได้ว่าถ้าต้นทุนในการสั่งซื้อสินค้าต่ำส่งผลให้ต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้าสูงและเมื่อต้นทุนในการสั่งซื้อสินค้าสูงส่งผลให้ต้นทุนในการเก็บรักษาต่ำ

รายละเอียดแสดงปริมาณการเรียกเข้าสินค้าจากคลังของผู้ให้บริการรับฝากเข้ามาเก็บที่คลังสินค้าของโรงงาน โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎี การสั่งซื้อทดแทนแบบร่วม (Joint Replenishment) ตามสมการที่ 6-15 ได้ดังตารางที่ 3 โดยมีข้อกำหนดของรถขนส่งของบริษัทที่จะไปรับสินค้าจากคลังของผู้ให้บริการสัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง

ตารางที่ 3 รายละเอียดปริมาณการสั่งซื้อของผู้ขาย

รายการ สินค้า	ปริมาณความต้องการต่อปี (กิโลกรัม)	ปริมาณการสั่งซื้อต่อครั้ง (กิโลกรัม)
A	25,899.36	97
B	179,537.40	526
C	96,984.00	2,954
D	166,777.66	477
E	239,413.20	644
F	59,387.65	165
G	114,819.60	343
H	48,043.20	132
I	67,090.80	208
J	36,570.24	207
K	19,647.59	87
L	38,319.60	124
M	45,788.40	171
N	9,558.00	28
O	23,6109.60	663
P	41,435.69	127
Q	8,368.90	22
R	4,552.80	14

5. สรุปผล วิเคราะห์ และข้อเสนอแนะ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลัง โดยนำทฤษฎีการจัดการสินค้าคงคลังแบบสองระดับและการสั่งทดแทนแบบร่วมมาทำการวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้อ สามารถทำให้ต้นทุนสินค้าคงคลังรวมลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.12 หรือคิดเป็นมูลค่าต้นทุนรวมที่ลดลง 671,609 บาท โดยค่าใช้จ่ายที่ลดลงไปนั้นเกิดจากค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อต่อครั้ง เนื่องจากมีปริมาณการสั่งซื้ออย่างเหมาะสมมากขึ้น และค่าใช้จ่ายที่ลดลงไปนั้นบริษัทสามารถนำไปใช้จ่ายในกิจกรรมอื่นๆได้

จากกราฟที่ 1- 3 พบว่าต้นทุนสินค้าคงคลังรวมของแบบประหยัดต่ำกว่าของบริษัทเมื่อพิจารณาต้นทุนสินค้าแต่ละชนิดพบว่าสินค้าบางชนิดมีต้นทุนสินค้าคงคลังรวมของบริษัทที่ต่ำกว่าของแบบประหยัดเนื่องจาก ปริมาณความต้องการในแต่ละวันมีการกระจายตัวออกจากค่าเฉลี่ยปริมาณความต้องการในแต่ละวันมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีความแปรปรวนหรือข้อมูลมีการกระจายตัวสูง

จากการเก็บรวบรวมข้อมูล พบว่าการสั่งซื้อสินค้าในแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงพื้นที่ในการจัดเก็บ ซึ่งผู้ศึกษาพบว่าในคลังของโรงงานยังไม่มีแบบแผนหรือแผนผังในการจัดเก็บที่เหมาะสมและเมื่อส่งสินค้าไปยังร้านอาหารพบว่าปริมาณสินค้ามีมากกว่าความสามารถในการบรรจุของรถขนส่งซึ่งส่งผลในสินค้าเสียหายระหว่างการขนส่งเนื่องจากขาดตัวช่วยในการตัดสินใจในการจัดของขึ้นรถขนส่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชูติมา มุสิกะเจริญ. 2565. "ศูนย์วิจัยกสิกรข มงมูลค่าธุรกิจร้านอาหารขยายตัวในปี 2565-2566 ท่ามกลางโจทย์ท้าทายด้านต้นทุนและการรักษากำไรของผู้ประกอบการ". ข้อมูลจาก <https://www.efinancethai.com/LastestNews/LatestNewsMain.aspx?ref=A&id=bGVtZEU3WGNyE9&security=KBANK> (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 มีนาคม 2566)
- [2] พิกพ พลิตาภรณ์. 2552. การบริหารพัสดุคงคลัง, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ, 2552.
- [3] จุฑารัตน์ และคณะ. 2561, การหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมสำหรับสินค้าหลายรายการร่วมกันและมีส่วนลด, บทความสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติประจำปี พ.ศ.2561, 23-24 เมษายน พ.ศ.2561, ชลบุรี, ประเทศไทย.
- [4] Yao *et.al.* 2005. Supply chain integration in vendor-managed inventory. College of Business and Economics, Lehigh University.
- [5] กวินธร สัยเจริญ. 2555, การประยุกต์การจัดการสินค้าคงคลังโดยผู้ขายเป็นผู้จัดการ กรณีน้ำดื่มกิลดา, บทความสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมประจำปี พ.ศ. 2555, 17-19 ตุลาคม พ.ศ.2555, เพชรบุรี, ประเทศไทย.
- [6] สมชาย เปรียงพรม. 2564. "การหาแนวทางการลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังด้วยการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์ชนิดกล่อง." วารสารศรีนครินทรวิโรฒวิจัยและพัฒนา, ปีที่ 13, ฉบับที่ 26 กรกฎาคม-ธันวาคม 2564: 13.
- [7] จารุมาศ และวุฒิชัย. 2560. "ตัวแบบสินค้าคงคลังแบบสองระดับที่มีเวลานำและการคืนสินค้าขึ้นอยู่กับความต้องการสินค้า." วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา, ปีที่ 22, ฉบับที่ 2 : 145-153.
- [8] ณัฐพล และกาญจน์ภา. 2562. "การกำหนดนโยบายบริหารสินค้าคงคลังแบบเติมเต็มร่วมกันหลายรายการโดยมีข้อจำกัดการจัดส่งแบบเติมคันรถ: กรณีศึกษาบริษัทจำหน่ายอุปกรณ์สำนักงานทาง E-Commerce แห่งหนึ่งในไทย." วารสารสถิติประยุกต์และเทคโนโลยีสารสนเทศ, ปีที่ 4, ฉบับที่ 2 :18-30.
- [9] Moueen *et.al.* 2014. Joint replenishment model with substitution. Engineering Management Program, Faculty of Engineering and Architecture, American University of Beirut, Lebanon.
- [10] Tzu-Chun Weng. 2017. "An Optimal Replenishment Policy for Retailer Inventory System With Refurbishing". Journal of Research in Business and Management, Volume 5, Issue 5 : 1-6. ISSN(Online) : 2347-3002

การประยุกต์ใช้เทคนิค CPM และ SMED เพื่อลดเวลาในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร กรณีศึกษาโรงงานผลิตขนมอบกรอบ

Application of CPM and SMED Techniques to Reduce Machine Maintenance Time Case Study of A Snack Plant

จันทร์ชานา นาควชิระตระกูล กฤษดา ประสพชัยชนะ สุณิสสา คำสุข
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: krisadap@eng.buu.ac.th*

Chantra Nakvachiratrakul, Kritsada Prasopchaichana, Sunisa Khamsuk
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: krisadap@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการประยุกต์แนวคิดการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (SMED) และวิธีเส้นทางวิกฤติ (CPM) ในโรงงานผู้ผลิตขนมอบกรอบ วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาเพื่อลดเวลาสูญเสียเปล่าในกิจกรรมบำรุงรักษาเครื่องจักรในพื้นที่การผลิตของโรงงานกรณีตัวอย่างมีสายพานเตาอบขนมอบกรอบแบบต่อเนื่องจำนวน 26 เตาอบ แผนการบำรุงรักษาเตาอบเหล่านี้ถูกกำหนดตารางบำรุงรักษาทุก 1 ปี ของการใช้งานในความเป็นจริงแล้วงานบำรุงรักษาแบบยกเครื่องนี้เป็นปัญหาที่ถูกใช้เวลา 21 วัน แต่คุณภาพของงานบำรุงรักษาอยู่ในระดับที่ไม่น่าพอใจ จะพบว่ามีปัญหาสินค้าขาดส่งให้ลูกค้าเสมอๆ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องปรับปรุงการจัดการโครงการบำรุงรักษาแบบยกเครื่องนี้ด้วยการวางแผนและควบคุมโครงการบำรุงรักษาแบบยกเครื่อง ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิควิธีเส้นทางวิกฤติและการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็วผ่านการระดมสมองของกลุ่มผู้เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดมาตรการปรับปรุงให้งานบำรุงรักษาแบบยกเครื่องเสร็จเร็วขึ้นได้ ผลการศึกษาก็เป็นเวลาสำหรับการบำรุงรักษาแบบยกเครื่องลดลงเหลือ 10 วันตามเป้าหมายของโรงงาน

คำสำคัญ: การบำรุงรักษาแบบยกเครื่อง วิธีเส้นทางวิกฤติ การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว

Abstract

This research is into the applying the concept of single minute exchange of die (SMED) together with critical path method (CPM) in a snack manufacturing plant. The main aim of this work is to reduce the time losses of the machine maintenance activity. In the case study plant, the production floor of manufacturing snack consists of 26 continuous baking ovens. The plant's maintenance plan of baking ovens is scheduled to perform overhaul maintenance every two years of working hours. In reality, the overhaul implementation is in trouble. It took too long 21 days but the quality of work was unsatisfactory. As a result, there is always a problem of missing the delivery plan to the customer. So that it is necessary to improve the management of the overhaul project, namely regarding the planning to controlling the overhaul project. By using the CPM and SMED via focus group discussion and brainstorming to set improvement measures to accelerate overhaul work. The results obtained from this study was that the overhaul work time was reduced to 10 days, in line with the plant's target.

Keywords: Overhaul maintenance, Critical path method, Single minute exchange of die

1. บทนำ

ปัญหาของงานซ่อมบำรุงที่เกิดความสูญเปล่าโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ ส่วนหนึ่งเกิดจากผู้บริหารหน่วยงานซ่อมบำรุงขาดความรู้และเทคนิค การจัดการที่อาจมีขั้นตอนงานที่ไม่จำเป็นแฝง หรือการจัดลำดับขั้นตอน งานที่ไม่เหมาะสม การบำรุงรักษาแบบยกเครื่อง (Overhaul: OH) เป็นการบำรุงรักษาตามวงรอบอายุการใช้งานแบบหนึ่งๆ ที่ดำเนินการ ตรวจสอบ ซ่อมแซม หรือเปลี่ยนชิ้นส่วนที่สำคัญของเครื่องจักรทุก ชิ้นส่วน ซึ่งการปฏิบัติการนี้มักจะมีกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อม บำรุงที่หลากหลายและซับซ้อน มีความจำเป็นที่จะต้องออกแบบการ บริหารงานบำรุงรักษาแบบยกเครื่องอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อหลีกเลี่ยง ความสูญเปล่าโดยไม่จำเป็น การศึกษาฉบับนี้แสดงให้เห็นว่าสถาน ประกอบการในอุตสาหกรรมผลิตอาหารขนาดกลางที่ขาดระบบการ บริหารงานซ่อมบำรุงที่ดีจะก่อให้เกิดความสูญเปล่าจากกิจกรรมการ บำรุงรักษาแบบยกเครื่อง และการประยุกต์ใช้แนวคิดการปรับปรุงเพื่อ ลดเวลาการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรของ ดร.ซีจีไอเอ ซิงโกะเพื่อแก้ไข ปัญหา

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การลดเวลาปรับเปลี่ยนเครื่องจักร [1]

เวลาปรับเปลี่ยนเครื่องจักร (Machine Setup Time) หมายถึง เวลา ทั้งหมดที่ใช้ตั้งแต่เครื่องจักรหยุด เพื่อทำการถอด เปลี่ยน ติดตั้ง อุปกรณ์แม่พิมพ์ เครื่องมือต่างๆ รวมถึงการปรับค่าต่างๆ ให้ถูกต้อง จนกระทั่งเครื่องจักรสามารถทำงานได้อย่างปกติ งานพื้นฐานของการ ปรับเปลี่ยนเครื่องจักรประกอบด้วยงาน 3 กลุ่ม คือ 1) งานจัดเตรียม ความพร้อม สัดส่วนของเวลา 30% ของการปรับเปลี่ยนเครื่องจักร ทั้งหมด 2) งานถอดเปลี่ยนอุปกรณ์และแม่พิมพ์ต่างๆ คิดเป็นสัดส่วน ของเวลา 5% ของการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรทั้งหมด 3) งานปรับตั้งค่า ความถูกต้องของอุปกรณ์ แม่พิมพ์ต่างๆ สัดส่วนของเวลา 65% ของ การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรทั้งหมด เทคนิคการปรับปรุงการลดเวลา ปรับเปลี่ยนเครื่องจักรแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ 1) ขั้นที่ 0 การศึกษา สภาพปัจจุบันและการเตรียมการเบื้องต้น 2) การปรับปรุงขั้นที่ 1 การ แยกงานเตรียมงานนอก (outside exchange of die : OED) ออกจาก การทำงานขณะหยุดเครื่องจักร 3) การปรับปรุงขั้นที่ 2 การ ปรับปรุงงานที่ต้องทำขณะหยุดเครื่องจักรที่อาจมีค่าใช้จ่ายสูงแต่มีความ จำเป็นต้องปรับปรุง และ 4) การปรับปรุงขั้นที่ 3 การลดเวลาหรือ ขั้นตอนของงานที่จำเป็นโดยใช้เทคนิคทางด้านวิศวกรรมและอุปกรณ์ ช่วย

2.2 เทคนิคเส้นทางวิกฤติ [2,3]

เทคนิคเส้นทางวิกฤติ (Critical path method: CPM) เป็นเทคนิคที่ เป็นที่นิยมมากอย่างหนึ่งที่ใช้ในการบริหารงานขนาดเล็กและงาน โครงการขนาดใหญ่ ซึ่งประกอบด้วยกิจกรรมต่างๆ ที่มีความสัมพันธ์ กันมากมายจำเป็นต้องมีการวางแผน กำหนดขั้นตอนในการทำงาน และควบคุมความก้าวหน้าของงานและโครงการเป็นอย่างดี

ประสิทธิภาพที่คิดค้นขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญแห่งบริษัทดูปองต์ (Dupont) เพื่อใช้ในโครงการก่อสร้างและซ่อมบำรุงเครื่องจักรในโรงงานเคมีด้วย วิธีการสร้างแผนภาพข่ายงาน (Network) แทนกิจกรรมต่างๆ ที่ต้องทำ ในโครงการ โดยแสดงลำดับก่อนหลังของกิจกรรม [4] สามารถนำมา วิเคราะห์เพื่อหาเส้นทางวิกฤติ ซึ่งก็คืองานต่างๆ ที่มีความสำคัญเป็น งานที่กำหนดและควบคุมการเสร็จของโครงการ ซึ่งเวลาที่ใช้สำหรับแต่ละ กิจกรรมบนเส้นทางวิกฤตินี้จะมีระยะเวลายาวนานที่สุดของโครงการ จึงถูกเรียกว่า ระยะเวลาวิกฤติ (Critical time) การคำนวณหาเส้นทาง วิกฤติ กำหนดให้จุดเชื่อมก่อนและหลังกิจกรรมหนึ่งเป็น i และ j การ คำนวณเส้นทางวิกฤติ CPM ที่ปฏิบัติงาน $i-j$ ด้วยระยะเวลาปฏิบัติการที่ แน่นนอน D_{ij} , ES_i เป็นเวลาที่เร็วที่สุดของกิจกรรมที่เริ่มจากจุดเชื่อม i จะ เริ่มต้นได้ ES_j เป็นเวลาที่เร็วที่สุดของกิจกรรมที่เริ่มจากจุดเชื่อม j จะ เริ่มต้นได้ LF_i เป็นเวลาที่ล่าช้าที่สุดของกิจกรรมที่เริ่มจากจุดเชื่อม i จะ เริ่มต้นได้ และ LF_j เป็นเวลาที่ล่าช้าที่สุดของกิจกรรมที่เริ่มจากจุดเชื่อม j จะเริ่มต้นได้ การคำนวณด้วยวิธีกำหนดเวลาไปข้างหน้าเพื่อหาเวลา ES_i , ES_j และการคำนวณด้วยวิธีกำหนดเวลาย้อนหลังเพื่อหาเวลา LF_i , LF_j ตามที่แสดงในสมการ (1) และ (2) ตามลำดับ กำหนดให้ ES_i ที่จุดเริ่มต้นของโครงการเท่ากับศูนย์ และ n เป็นจุดเชื่อมสุดท้ายของ โครงการ

$$ES_j = \max.\{ES_i + D_{ij}\}$$

(1)

$$LF_i = \min.\{LF_j - D_{ij}\}$$

(2)

การซึ่งงานหรือกิจกรรมวิกฤติจากเวลายืดหยุ่นทั้งหมดของ กิจกรรม (Total Float: TF_{ij}) เป็นเวลาที่สามารถเลื่อนเวลาการทำงาน ออกไปได้มีค่าเท่ากับ $LF_i - ES_i - D_{ij}$ ซึ่งใช้พิจารณาว่ากิจกรรมใดๆจะเป็น งานวิกฤติเมื่อ TF_{ij} เท่ากับศูนย์ซึ่งเป็นงานที่อยู่ในเส้นทางวิกฤติซึ่งมี อิทธิพลใช้สำหรับควบคุมการเสร็จสิ้นของโครงการ

3. การดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาสภาพปัญหา

โรงงานกรณีศึกษาเป็นอุตสาหกรรมผลิตขนมอบกรอบที่มี ผลิตภัณฑ์หลักหลายชนิด มีการใช้เตาอบขนมจำนวน 26 เตา ที่ ประกอบด้วยแม่พิมพ์หยอดวัตถุดิบเตละ 30 แม่พิมพ์ โดยหน่วยงาน ซ่อมบำรุงกำหนดให้เตาอบและแม่พิมพ์ทุกตัวต้องมีการซ่อมบำรุงแบบ ยกเครื่อง (Overhaul: OH) ทุกรอบการใช้งานครบ 2 ปี (เรียกชื่อว่า โครงการ OH2Y) ซึ่งใช้เวลาหยุดเครื่องจักรเพื่อซ่อมบำรุงดังกล่าวเป็น เวลา 21 วันต่อเนื่องกัน จึงส่งผลกระทบต่อขาดส่งสินค้าให้ลูกค้าตาม ยอดคำสั่งซื้อ (ผลิตภัณฑ์นี้ผลิตเพื่อสต็อกไว้ได้ไม่เกิน 7 วัน เพราะ ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์) การประมาณการผลกระทบต่อล่วงหน้าในปี 2562 ซึ่งจะต้องทำการซ่อมบำรุงแบบยกเครื่องเตาอบทั้งหมด 15 เตา

อาจทำให้ขาดส่งสินค้าได้ถึง 3.59 ล้านชิ้น แม้จะพยายามผลิตในวันอาทิตย์ที่มีค่าแรงเป็น 2 เท่าและทำให้เกิดการเสียโอกาสการขายทำกำไร คิดเป็นมูลค่ารวมประมาณ 5.26 ล้านบาท

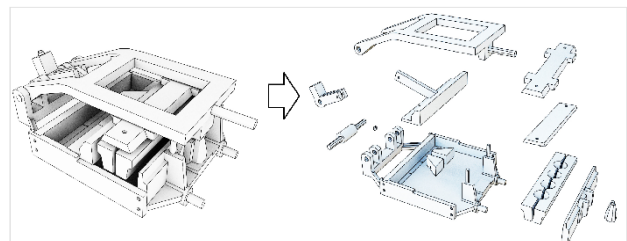
การดำเนินโครงการ OH2Y ตามที่เคยปฏิบัติกันมาก่อนหน้าผู้บริหารซ่อมบำรุงจะจัดช่างจำนวน 1 กลุ่ม ประกอบด้วยช่างเทคนิค 3 คน ช่วยกันถอดรีโอแม่พิมพ์จำนวน 30 แม่พิมพ์ ขนย้ายแม่พิมพ์ที่ถูกถอดออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ บนเตาอบ เคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่ถูกถอดรีโอออกไปซ่อมแซมที่โรงซ่อมของโรงงาน และขนย้ายกลับมาประกอบชิ้นส่วนเข้ากับเตาอบและเริ่มเดินเครื่องจักร ซึ่งช่างเทคนิคจะทำการซ่อมไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเสร็จใช้เวลาโดยประมาณ 21 วัน โดยไม่มีการวางแผนงานขั้นตอนปฏิบัติงานโดยละเอียดแต่อย่างใด ซึ่งพบว่าหลังการดำเนินโครงการ OH2Y กับเตาอบแต่ละเตา เมื่อเดินเครื่องเตาอบในช่วงแรกจะเกิดของเสียจำนวนมากกว่ปกติถึง 50% โดยใช้เวลาประมาณอีกอย่างน้อย 3 วันกว่าจะเริ่มเดินเครื่องและมีระดับของเสียลดลงเป็นปกติซึ่งก็ยังมีปัญหาของเสียอย่างต่อเนื่อง ยิ่งไปกว่านั้นชิ้นส่วนอุปกรณ์บางชิ้นที่ใช้งานได้ไม่ถึงสัปดาห์ก็เริ่มมีการขัดข้องล้มเหลวลงและหยุดซ่อมแซมไปเรื่อยๆ เป็นระยะๆ จากข้อเท็จจริงที่พบว่าการปฏิบัติงาน OH2Y บางชิ้นส่วนต้องยกเลิกการเปลี่ยนชิ้นส่วนลงเนื่องจากทำการซ่อมไม่ทันตามกำหนด 21 วัน และบางส่วนก็ทำอย่างขาดคุณภาพเนื่องจากความรีบเร่งในการซ่อม

3.2 การวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหา

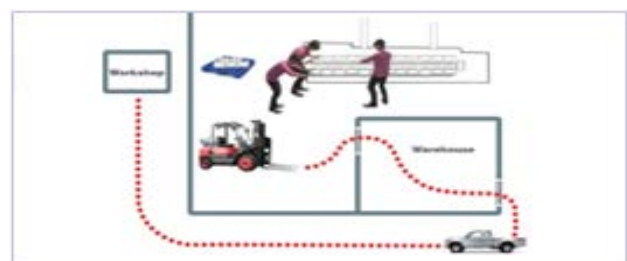
จากการระดมสมองโดยการเขียนข้อปัญหาและข้อเสนอแนะของพนักงานรวมทั้งผู้บริหารที่เกี่ยวข้องจากหน่วยงานซ่อมบำรุงและหน่วยงานผลิต พบว่าสาเหตุปัญหาที่ทำให้การทำโครงการ OH2Y ต่อเครื่องต้องใช้เวลาถึง 21 วัน มีการดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษา OH2Y ต่างๆที่ทำให้เกิดความล่าช้า ประกอบด้วยสาเหตุหลัก 11 ประการ คือ 1) ไม่มีการวางแผนงานปฏิบัติการ ปล่อยให้หัวหน้างานสั่งงานตามดุลยพินิจ 2) ผู้ช่วยช่างซ่อมบำรุงขาดทักษะการถอดรีโอและประกอบที่ตีพร้อมถึงไม่ทราบรายละเอียดขั้นตอนงานทั้งหมด 3) การทำงานเป็นกลุ่มเดียว ทำที่ละงาน จึงมีการรองาน 4) การถอดรีโอ ประกอบแม่พิมพ์ทำได้ยาก ใช้เวลานาน และอาจทำให้ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ชำรุดเสียหายในระหว่างเปลี่ยนชิ้นส่วน (ไม่มีเครื่องมือถอดรีโอเพลาสลักหรือลูกปืนที่เหมาะสม) 5) การถอดรีโอชิ้นส่วนอุปกรณ์แม่พิมพ์และแขนเปิดแม่พิมพ์ที่ละชิ้นส่วนประกอบย่อยตามรูปที่ 1 การถอดรีโอบนเครื่องจักรผ่านช่องเปิดด้านข้างขนาดเล็ก ทำให้ทำงานได้ลำบากและอันตราย รวมถึงใช้เวลานาน การถอดรีโอก็ทำได้เพียงคนเดียว ผู้ช่วยช่างอีก 2 คนยืนรอถอดเสร็จเพื่อขนลำเลียง 6) การขนย้ายแม่พิมพ์และอุปกรณ์จากเครื่องจักรไปที่โรงซ่อมบำรุงภายนอก แสดงรูปที่ 2 มีทางขนย้ายออกที่ต้องขนย้ายผ่านคลังเก็บสินค้าสำเร็จรูปพร้อมส่ง ซึ่งต้องรอขนย้ายได้เฉพาะเวลาที่ไม่มีรถเตรียมสินค้าส่งมอบ และคลังสินค้าจะเปิดและปิดเฉพาะเวลา 08.00-17.00 น. เท่านั้น ทำให้การทำงานซ่อมบำรุงต้องรีบหยุดก่อนคลังสินค้าปิด จึงสามารถทำงานได้เพียงช่วงเช้าและบ่ายที่ไม่มีกิจกรรมขนถ่ายสินค้าเท่านั้นไม่สามารถทำงานช่วงกลางคืนได้ 7)

การขนย้ายผ่านคลังสินค้าจะใช้เวลานานย้ายอ้อมคลังสินค้าไปโรงซ่อมเป็นระยะทางไกลมากกว่า 100 เมตรซึ่งใช้เวลาขนย้ายนานขึ้น ทั้งที่โรงซ่อมอยู่ข้างสายการผลิตประมาณ 10 เมตร เพียงแต่มีผนังโรงงานผลิตปิดกั้นเท่านั้น 8) การขนย้ายจำเป็นต้องขอยืมรถกระบะจากหน่วยงานคลังสินค้าซึ่งหากไม่มีรถกระบะขนย้ายก็จำเป็นต้องรอรถว่างในขณะที่จัดวางชุดแม่พิมพ์และอุปกรณ์ที่ถอดออกมาในสายการผลิตมีพื้นที่จำกัด ถ้าพื้นที่จัดวางเต็มและไม่มีรถขนย้ายก็ไม่สามารถถอดรีโอชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่อไปได้ ต้องหยุดรอ 9) ชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ขนย้ายด้วยรถกระบะมักพบว่ามีรถชำรุดเสียหายจากการขนย้ายบางส่วน ทำให้เกิดงานซ่อมแซมเพิ่มและการซ่อมลักษณะนี้จะต้องส่งให้ผู้รับจ้างช่วงภายนอกเป็นผู้ซ่อมแซมชิ้นส่วน 10) ไม่มีการจัดเตรียมชิ้นส่วนอะไหล่สำรองที่มีโอกาสชำรุดเสียหายได้มาก เช่น แขนเปิดแม่พิมพ์ รางสไลด์ ลูกกลิ้ง เฟลาแขนเปิด กรณีที่พบว่าเสียหายส่งผู้รับเหมาภายนอกซ่อมแซมซึ่งบางครั้งใช้เวลา 5-7 วัน หรือมากกว่านั้น 11) การกำหนดเวลาซ่อมบำรุง 21 วันตั้งแต่ที่ผ่านมา ไม่เคยมีครั้งไหนเลยที่สามารถซ่อมบำรุงงานได้สำเร็จครบถ้วนและงานซ่อมบำรุงมีคุณภาพเพียงพอ เมื่อเดินเครื่องจักรก็จะมีปัญหาด้านคุณภาพ มีของเสียเกิดขึ้นมาก และชิ้นส่วนอาจเสียหายหลังซ่อมบำรุง

การศึกษานี้ได้เชิญช่างเทคนิคและผู้บริหารที่เกี่ยวข้องเพื่อร่วมระดมสมองประเมินขั้นตอนการปฏิบัติงาน OH2Y ซึ่งถูกแบ่งออกเป็นขั้นตอนปฏิบัติงานย่อยจำนวน 100 ขั้นตอน รายการขั้นตอนงานซ่อมบำรุง OH2Y จะใช้เวลาสำหรับการซ่อมบำรุงรวมทั้งสิ้น 17,875 นาที หรือ 28.79 วัน ซึ่งเป็นไปไม่ได้เลยที่จะบำรุงรักษา OH2Y ให้แล้วเสร็จภายใน 21 วัน แผนภาพสายงานวิกฤติ (Critical Path Method: CPM) ดังรูปที่ 3 แสดงให้เห็นงานวิกฤติบนสายงานวิกฤติจำนวน 16 งานย่อยและใช้เวลากิจกรรมบนสายงานวิกฤติรวมทั้งสิ้น 8,925 นาทีตามที่แสดงในแผนภาพสายงานวิกฤติ CPM ในส่วนของลูกศรเส้นทึบ



รูปที่ 1 ลักษณะเครื่องจักรที่ต้องถอดรีโอชิ้นส่วนผ่านช่องเปิดขนาดเล็ก



รูปที่ 2 ผังแสดงเส้นทางขนย้ายแม่พิมพ์และอุปกรณ์เครื่องจักรไปที่โรงซ่อมบำรุง

3.3 การดำเนินงานปรับปรุง

เนื่องจากเวลาภาระของกิจกรรม OH2Yรวมทั้งสิ้น 17,875 นาที หรือ 28.79 วัน และงานวิกฤติบนสายงานวิกฤติจำนวน 16 ขั้นตอน และใช้เวลากิจกรรมบนสายงานวิกฤติรวมทั้งสิ้น 8,925 นาที จำเป็นต้องกำหนดให้มีการปรับปรุงแบบงานแบบอนุกรมต่อเนื่องเป็นรูปแบบงานคู่ขนาน เพื่อกำหนดขั้นตอนปฏิบัติงานให้ช่างซ่อมบำรุงทั้ง 3 คนทำงานคนละไม่เกิน 10 วัน หรือ 4,800 นาที ดังนั้นแนวคิดการปรับปรุงเพื่อลดเวลาหยุดเครื่องบำรุงรักษาแบบยกเครื่อง OH2Y ที่จำเป็นจึงต้องประกอบด้วยแนวคิดการปรับปรุง 6 ส่วน คือ 1) กำหนดรายละเอียดขั้นตอนงานและพิจารณาลำดับขั้นตอนงานก่อนและหลัง 2) จัดทำแบบเอกสารอธิบายรายละเอียดของงานมาตรฐาน แสดงเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็น รวมถึงระดับทักษะช่างที่จำเป็นของแต่ละขั้นตอน และระยะเวลาของการปฏิบัติงานซ่อมแซมแต่ละขั้นตอนงานย่อย 3) ประเมินเส้นทางวิกฤติลำดับที่ 1 และเส้นทางวิกฤติลำดับที่ 2 เพื่อจัดสรรสายงานหลักสำหรับช่างเทคนิค 2 ทีมงาน 4) ปรับปรุงประสิทธิภาพการปฏิบัติงานวิกฤติทั้ง 2 ลำดับให้ใช้เวลาร่วมกับกิจกรรมขั้นตอนงานนอกสายงานวิกฤติแล้วทำให้ช่างเทคนิคแต่ละคนใช้เวลาปฏิบัติกิจกรรมงานย่อยไม่เกิน 4,800 นาที 5) การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ให้พร้อมก่อนเริ่มงาน 6) การสำรองชิ้นส่วนอะไหล่ที่ชำรุดสึกหรอแล้วใช้เวลาซ่อมแซมนานหรือต้องส่งซ่อมภายนอกอย่างเพียงพอ จากแนวคิดปรับปรุงทั้ง 6 แนวคิดถูกนำไปศึกษารายละเอียดเพื่อกำหนดมาตรการปรับปรุง

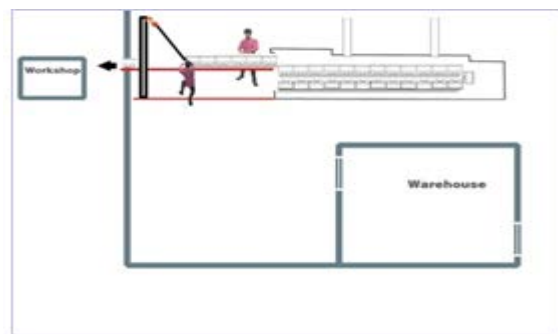
การวิเคราะห์เส้นทางวิกฤติของขั้นตอนปฏิบัติงานพบว่าเส้นทางสายงานวิกฤติลำดับที่ 1 และสายงานวิกฤติลำดับที่ 2 การประเมินสายงานวิกฤติลำดับที่ 2 พบว่างานที่มีรูปแบบงานอนุกรมที่ใช้เวลานานมากที่สุดคือส่วนของขั้นตอนงานบางส่วนบนสายงานวิกฤติลำดับที่ 1 ได้แก่ ขั้นตอนงาน A-J ซึ่งใช้เวลาภาระของกิจกรรมเป็น 2,055 นาที และกิจกรรมขั้นตอนงาน L1, L2, L3, ..., M5, M6 ซึ่งใช้เวลาภาระงานอีก 3,060 นาที จึงใช้เวลาภาระกิจกรรมบนสายงานวิกฤติลำดับ 2 รวมทั้งสิ้น 5,115 นาที จากนั้นทำการระดมสมองภายในหน่วยงานซ่อมบำรุงเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงลดเวลาภาระงานบนสายงานวิกฤติลำดับที่ 1 และสายงานวิกฤติลำดับที่ 2 มีข้อเสนอการปรับปรุงแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการแยกงานวิกฤติออกมาเป็นงานนอกหรือขั้นตอนงานขนานกับขั้นตอนอื่น ๆ ซึ่งต้องพัฒนาทักษะช่างเทคนิคให้มีความสามารถซ่อมบำรุงได้โดยลำพัง มีการปฏิบัติงานซ่อมแซมให้เป็นไปตามมาตรฐานงานซ่อมบำรุง เพื่อให้การปฏิบัติงานใช้เวลา น้อยที่สุด ไม่ต้องแก้ไขงานผิดพลาดซ้ำ

ขั้นตอนที่ 2 คือการเพิ่มประสิทธิภาพงานในแต่ละขั้นตอน โดยการ ใช้เครื่องมือช่วยสำหรับการถอดและประกอบชิ้นส่วน การใช้เครื่องมือทุ่นแรง การใช้วัสดุที่ไม่ขึ้นสนิมหรือการทำสารหล่อลื่นเพื่อลดการเกาะยึดของชิ้นส่วนองค์ประกอบย่อยซึ่งจะมีผลต่อการถอดชิ้นส่วนเหล่านี้ง่ายขึ้นในครั้งต่อไป การเปลี่ยนสลักเกลียวยึดเป็นการใช้แคลมป์ล็อก

เร็ว (Quick Locking) ร่วมกับการเจาะรูแนวรูประฆังเพื่อให้ไม่จำเป็นต้องถอดโบลต์หรือสลักเกลียวออกทุกตัว

ข้อเสนอแนะมาตรการปรับปรุงต่างๆ ที่ยังไม่ต้องลงทุนมากนัก มี 9 มาตรการ คือ 1) กำหนดรายละเอียดขั้นตอนงานและพิจารณาลำดับขั้นตอนงานก่อนและหลัง 2) จัดทำแบบเอกสารอธิบายรายละเอียดของงานมาตรฐาน แสดงเครื่องมือ วัสดุและอุปกรณ์ที่จำเป็น รวมถึงระดับทักษะช่างที่จำเป็นของแต่ละขั้นตอน และระยะเวลาของการปฏิบัติงานซ่อมแซมแต่ละขั้นตอนงานย่อย 3) ใช้สลักเกลียวทางปลาขนแน่นด้วยมือเปล่าหรือแคลมป์ล็อกเร็ว 4) จัดทำโต๊ะไฮดรอลิกปรับความสูงขนาดเท่ากับตำแหน่งแม่พิมพ์ จัดหารอกยกและสายพานลูกกลิ้งช่วยผ่อนแรงเพื่อลดการยกวางกับพื้นและขนย้ายง่าย 5) เจาะผนังอาคารเพื่อทำทางเปิดออกไปโรงซ่อม ตามที่แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังแสดงการเจาะผนังอาคารเพื่อลดระยะทางการเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ออกไปโรงซ่อม

6) ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยการถอดและประกอบ ประกอบด้วย บล็อกลม ประแจปอนด์ ไชควงท้ออ่อนในที่คับแคบ ชุดถอดประกอบ ตลับลูกปืนและบูชไฮดรอลิก 3 ขาดูด (Extractor) 7) จัดเตรียมสำรองชิ้นส่วนประกอบย่อยที่ชำรุดสึกหรอแล้วใช้เวลาซ่อมนานหรือต้องส่งซ่อมภายนอก ประกอบด้วย แขนเปิดแม่พิมพ์ งานลูกเบี้ยว รางลูกกลิ้ง แผ่นยึดรางลูกกลิ้ง เคียวตลับลูกปืน ดุมเพลากลางขั้วและ รางลูกปืนเล็ก หน้า 8) ปรับปรุงเทคนิคการตรวจวัดสปริงกดแหวนกดแม่พิมพ์เพื่อลดเวลาขั้นตอนทดลองเดินเครื่องจักรได้ถึง 360 นาที 9) พัฒนาทักษะช่างเชื่อมโลหะ การปรับปรุงทั้ง 9 มาตรการนี้ช่วยลดขั้นตอนงานลงจาก 100 ขั้นตอนงานเหลือเพียง 95 ขั้นตอน และลดเวลาขั้นตอนงานย่อยลงเหลือเพียงประมาณ 8,785 นาที หลังจากนั้นจึงจัดสรรงานซึ่งเป็นการพิจารณาลำดับงานก่อนและหลังเพื่อให้เวลารอคอยเกิดขึ้นน้อยที่สุด หรือไม่มีเลยเพื่อจะทำการดำเนินกิจกรรมซ่อมบำรุงของช่างเทคนิคเป็นไปอย่างต่อเนื่องและใช้เวลาโดยรวมไม่เกิน 10 วันตามเป้าหมาย โดยมีเกณฑ์พิจารณาลำดับความสำคัญการจัดสรรงานเป็น 5 ลำดับ คือ

1) งานสำคัญลำดับที่ 1 คือ ขั้นตอนงานในสายงานวิกฤติ ประกอบด้วยขั้นตอนงาน A, B, C, D, E1 - E4, X3, K0 - K7, X10, X11, L1 - L7, M1 - M6, Q, R2 ซึ่งเป็นขั้นตอนงานหลักที่ต้องมีการถอดและประกอบบนสายพานเตาอบโดยช่างเพียงคนเดียว หรือเป็นงานที่ต้องใช้ทักษะและประสบการณ์สูง ซึ่งมี 35 ขั้นตอนงานย่อย ใช้

เวลาทุกชั้นตอนรวม 4,415 นาทีต่อเนื่อง ดังนั้นงานที่มีความสำคัญลำดับที่ 1 กลุ่มนี้จึงถูกจัดสรรให้หัวหน้าช่างซ่อมบำรุงเป็นผู้ปฏิบัติงาน

2) งานสำคัญลำดับที่ 2 คือ กลุ่มงานย่อยอื่นที่ไม่อยู่บนสายงานวิกฤติที่มีงานย่อยชั้นตอนอื่นหลายชั้นตอนที่ต้องรอชั้นตอนงานนี้

3) งานสำคัญลำดับที่ 3 คือ กลุ่มงานย่อยอื่นที่ไม่อยู่บนสายงานวิกฤติที่มีงานย่อยชั้นตอนอื่นรอ แต่ใช้เวลาภาระงานไม่สูงมาก

4) งานสำคัญลำดับที่ 4 คือ กลุ่มงานย่อยอื่นที่ไม่อยู่บนสายงานวิกฤติ ที่รอชั้นตอนงานอื่น และเป็นลำดับงานที่ไม่มีงานอื่นรอคอย เรียกว่า “งานยืดหยุ่น”

5) งานสำคัญลำดับที่ 5 คือ กลุ่มงานย่อยอื่นที่ไม่อยู่บนสายงานวิกฤติ ที่ไม่รอชั้นตอนงานอื่น และไม่มีงานอื่นรอคอย จึงสามารถจะเริ่มต้นงานและสำเร็จงานเมื่อใดก็ได้ เรียกว่า “งานอิสระ”

โดยงานสำคัญลำดับที่ 2 ถึง 5 มีจำนวน 60 ชั้นตอน ใช้เวลารวมทั้งสิ้น 4,285 นาที งานกลุ่มนี้จะถูกจัดสรรให้ผู้ช่วยช่างซ่อมบำรุงทั้ง 2 คน ไปดำเนินการในช่วงที่รองานต่อเนื่องจากงานในสายงานวิกฤติ แสดงในตารางที่ 1

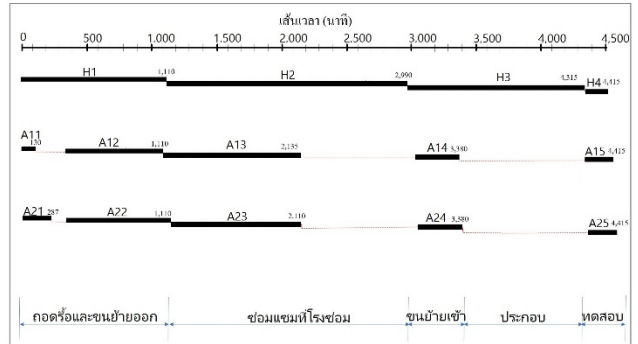
ตารางที่ 1 การจัดสรรงานแก่ผู้รับผิดชอบ

ผู้รับผิดชอบ	กลุ่มงาน	ชั้นตอนงานย่อย
หัวหน้าช่าง	H1	A-B-C-D-E1-E2-E3-E4-J
	H2	X3-K0-K1-K2-K3-K4-K5-K6-K7
	H3	X10-X11-L1 ถึง L7-M1 ถึง M6
	H4	Q-R2
ผู้ช่วยช่าง คนที่ 1	A11	X38-X40 ถึง X42-X2
	A12	J
	A13	X20 ถึง X23-X7-X8-X5-X26 ถึง X28-F-H
	A14	X12-X13-X4
	A15	X32 ถึง X35-R1-X37
ผู้ช่วยช่าง คนที่ 2	A21	N1-X39-X43-N3-X24-X25
	A22	J
	A23	X1-X14 ถึง X17-X6-X19
	A24	G1 ถึง G5-X4
	A25	X36-X37-R1

3.4 ผลการปรับปรุง

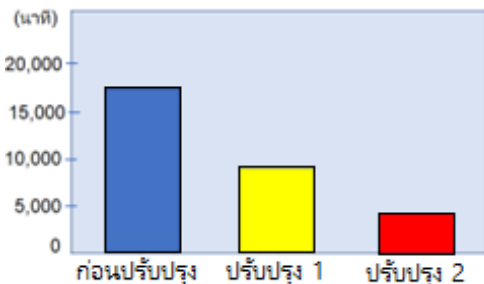
การปรับปรุงครั้งที่ 1 ด้วยการศึกษาแยกงานวิกฤติลำดับที่ 1 และลำดับที่ 2 ออกเป็นงานขนานหรืองานนอกตามหลักการ SMED และพัฒนาทักษะผู้ช่วยช่างซ่อมบำรุงให้มีความสามารถซ่อมบำรุงได้โดยลำพัง สร้างมาตรฐานงานซ่อมบำรุงนี้เพื่อให้งานปฏิบัติงานใช้เวลา น้อยและไม่ต้องแก้ไขงานผิดพลาดซ้ำ ทำให้สามารถลดเวลาทำงาน OH2Y จาก 17,875 นาที เหลือ 8,925 นาที และการปรับปรุงครั้งที่ 2 ปรับปรุงประสิทธิภาพงานบนสายงานวิกฤติและงานย่อยอื่นๆ ประกอบด้วย ปรับปรุงวิธีการขนย้ายชิ้นงานไปโรงซ่อม การใช้แคลมป์ ล็อคเร็ว การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ช่วยถอดและประกอบ การสำรอง

ชิ้นส่วนอะไหล่ที่ชำรุดและใช้เวลาซ่อมแซมมากซึ่งสามารถตัดชั้นตอนงานซ่อมแซมชิ้นส่วนเหล่านี้ออกไปได้ ทำให้ชั้นตอนปฏิบัติงานลดลงเหลือ 95 ชั้นตอน และเวลาภาระงานรวมของกิจกรรม OH2Y ลดลงเหลือ 8,785 นาที โดยที่งานสำคัญบนสายงานวิกฤติใช้เวลาปฏิบัติการรวมทั้งสิ้น 4,415 นาที ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6



รูปที่ 5 แผนภาพเส้นเวลาเมื่อจัดสรรงาน OH2Y หลังปรับปรุงครั้งที่ 2

ส่วนงานในชั้นตอนงานอื่นๆ ถูกกำหนดให้เป็นงานคู่ขนานกับสายงานวิกฤติที่สามารถจัดสรรให้ผู้ช่วยช่างซ่อมบำรุง 2 คน ที่ได้รับการฝึกปฏิบัติการให้มีทักษะงานซ่อมบำรุงที่เกี่ยวข้องอย่างเพียงพอให้ปฏิบัติงานอีก 4,370 นาทีที่เหลือได้ ซึ่งการจัดสรรงานให้ผู้ช่วยช่างซ่อมบำรุงคนที่ 1 และ 2 ปฏิบัติงานเป็นเวลารวม 2,190 นาที และ 2,180 นาทีตามลำดับ โดยเวลาปฏิบัติงาน OH2Y ก่อนและหลังการปรับปรุง ทั้ง 2 ครั้งแสดงผลได้ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟเวลาปฏิบัติงาน OH2Y ก่อนและหลังการปรับปรุง

4. สรุปและอภิปรายผล

ปัญหาของงานซ่อมบำรุงส่วนหนึ่งเกิดจากผู้บริหารหน่วยงานขาดความรู้ในด้านการบริหารจัดการและการวางแผนงาน จึงทำให้เกิดความล่าช้าในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตโดยรวมของโรงงาน ในการศึกษานี้ได้นำเทคนิคการจัดการชั้นตอนงานที่อาจมีชั้นตอนงานที่ไม่จำเป็นแฝง หรือการจัดลำดับชั้นตอนงานที่ไม่เหมาะสม และเทคนิคการลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรมาประยุกต์ใช้ในโรงงานซ่อมบำรุง ทำให้สามารถลดเวลาการบำรุงรักษาแบบยกเครื่องของโรงงานกรณีตัวอย่างไปได้มากกว่า 50% หรือลดจากระยะเวลา 21 วัน ลงเหลือประมาณ 10 วัน ซึ่งเป็นผลให้ความสามารถของ

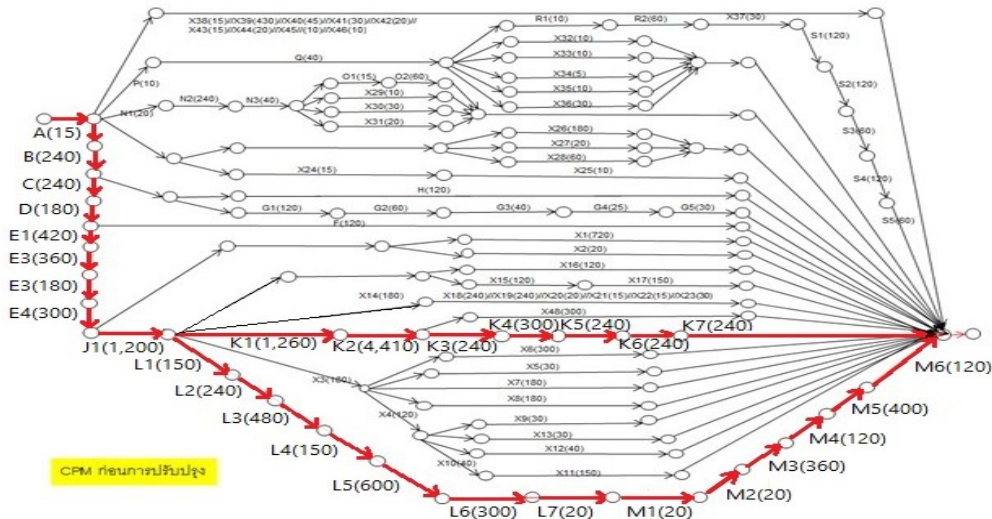
กระบวนการผลิตสามารถรองรับปริมาณการผลิตตามการประมาณการล่วงหน้าได้ และการปรับปรุงดังกล่าวนี้จะถูกกำหนดให้เป็นมาตรฐานปฏิบัติงานบำรุงรักษาแบบยกเครื่องสำหรับเตาอบขนมอบกรอบทุกเครื่องในโรงงานต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

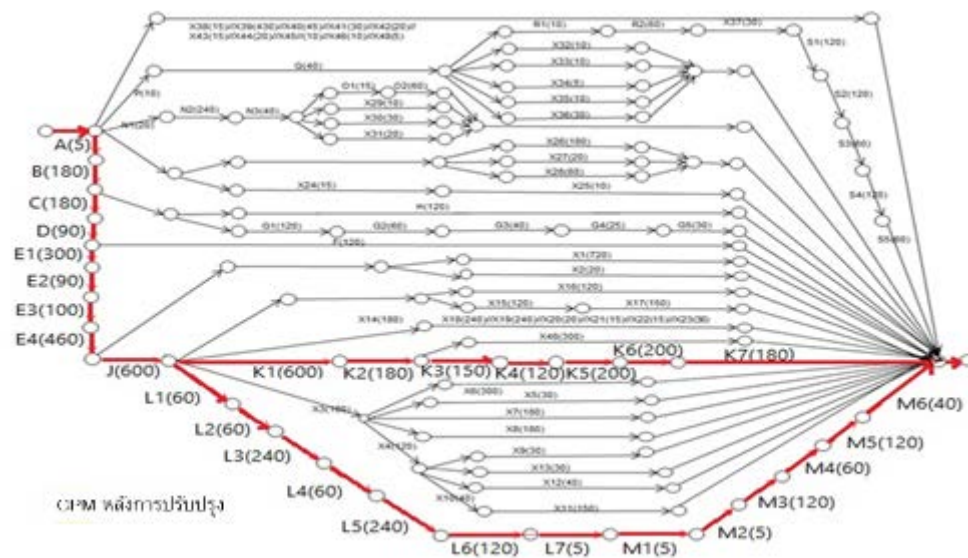
ขอขอบคุณผู้บริหารและพนักงานทุกๆ ท่านของโรงงานกรณีศึกษาที่มีส่วนร่วมและให้ความร่วมมือในการศึกษานี้จนสำเร็จลุล่วง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Shigeo Shingo. 1985. A Revolution in Manufacturing : The SMED System. Productivity Press, Portland, Oregon, USA.
- [2] Duffuaa S.O., Raouf A., Campbell J.D., Planning and Control of Maintenance Systems : Modeling and Analysis, John Willeyand Sons, Inc., USA, 1999 page 90-110
- [3] Winston Wayne L., Operation Research: Applications and Algorithms 3rd Edition, International Thomson Publishing, USA 1994.
- [4] Brown, Michael, "Audel Maintenance Planning&Scheduling" Wiley Publishing, Inc.2004.



รูปที่ 3 แผนภาพสายงานวิกฤติก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 6 แผนภาพสายงานวิกฤติหลังการปรับปรุง

การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือเพื่อวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของระบบเคลือบเม็ดยา: กรณีศึกษาโรงงานผลิตยา

Reliability Analysis for Preventive Maintenance Planning of Film Coat System: A Case Study of Pharmaceutical Manufacturing Plant

อดิพงษ์ พุทธรจ^{1*} จักรพันธ์ อรามพงษ์พันธ์² กฤษ วงษ์เกษม³

¹สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

^{2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: adipong.p@ku.th^{1*}, chuckaphun.a@ku.th², fengkrw@ku.ac.th³

Adipong Puttajon^{1*}, Chuckaphun Aramphongphun², Kris Wonggasem³

¹Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

^{2,3}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

E-mail: adipong.p@ku.th^{1*}, chuckaphun.a@ku.th², fengkrw@ku.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือสำหรับการกำหนดรอบการเปลี่ยนอะไหล่ในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของระบบเคลือบเม็ดยา เครื่องเคลือบเม็ดยา FC No.3 Cap. 400 Kg. ถูกเลือกเป็นเครื่องกรณีศึกษา โดยมีข้อมูลการชำรุดรวมในช่วงปี พ.ศ. 2561-2565 ทั้งหมด 114 ครั้ง คิดเป็น 18.1% ของข้อมูลการชำรุดของระบบเคลือบเม็ดยาทั้งหมด การศึกษาในงานวิจัยนี้ เริ่มจากการรวบรวมประวัติงานซ่อมบำรุงและทำการแบ่งกลุ่มตามระบบหลักและระบบย่อยของเครื่องจักร โดยระบบย่อยถูกแบ่งออกเป็น (1) ระบบย่อยหลัก และ (2) ระบบย่อยรอง หลังจากนั้น จึงนำข้อมูลที่จัดกลุ่มแล้วมาวิเคราะห์เวลาการใช้งานจนชำรุด เพื่อหาค่าความน่าเชื่อถือ โดยกำหนดค่าความน่าเชื่อถือไม่น้อยกว่า 90% จากผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องเคลือบเม็ดยา FC No.3 Cap. 400 Kg. ด้วยการใช้การแจกแจงไวบูล พบว่า ระบบย่อยมีค่าพารามิเตอร์รูปร่าง มากกว่า 1 ซึ่งเป็นอัตราการชำรุดในช่วงสึกหรอของเส้นโค้งอ่างอาบน้ำหรือช่วงหมดอายุการใช้งาน ผลจากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือสามารถนำไปใช้ในการกำหนดแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันได้อย่างเหมาะสม และช่วยลดการชำรุดของเครื่องเคลือบเม็ดยา นอกจากนี้ หลักการและวิธีการของการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือในการศึกษานี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มค่าความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ในระบบอื่น ๆ ต่อไป

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ, การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, ระบบเคลือบเม็ดยา, โรงงานผลิตยา

Abstract

This research aims to analyze the reliability of a pill film coat system for determining the spare part replacement interval in preventive maintenance (PM). FC No.3 Cap. 400 Kg. was selected as a case study pill film coat machine where the failure data in total from Year 2018 to 2022 consisted of 114 times accounting for 18.1% of the total failure data of the pill film coat system. The study in this research started by collecting the maintenance work history and categorized into main systems and sub-systems of the machine. The sub-systems were then divided into (i) main sub-systems and (ii) secondary sub-systems. After that, the time-to-failure data of each sub-system was then analyzed to determine the reliability in which the reliability should not be less than 90%. According to the reliability analysis of the FC No.3 Cap. 400 Kg. film coat machine with Weibull distribution, it was found that the sub-systems had the shape parameters greater than 1, which implied that the failure rate was in the wear-out region of the bathtub curve or the end-of-life period. The results from the reliability analysis could be used to determine the suitable PM plan and reduce the failure of the pill film coat machine. In addition, concept and method of the reliability analysis in this study could apply for suitable PM planning to increase the reliability of equipment in other systems.

Keywords: Reliability Analysis, Preventive Maintenance Planning, Film Coat System, Pharmaceutical Manufacturing Plant

1. บทนำ

โรงงานผลิตยากรณีศึกษา ดำเนินธุรกิจยาและเวชภัณฑ์ ซึ่งมีผลิตภัณฑ์ในการรักษาโรค มากกว่า 200 รายการ ในทุกชนิด ซึ่งยาในการรักษาส่วนใหญ่จะเป็นยาประเภทยาเม็ดที่มีการใช้ในการรักษาอย่างหลากหลายและมีเครื่องจักรหลายชนิดซึ่งมีหน้าที่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้คัดเลือกเครื่องจักร Rank A หรือเครื่องจักรที่ใช้ผลิตที่มีความสำคัญมาก ไม่สามารถหาเครื่องจักรอื่นมาทดแทนได้ เช่น เครื่องผสมยา (มีสัดส่วน 14%) เครื่องแรงยา (มีสัดส่วน 11%) เครื่องอบยา (มีสัดส่วน 28%) เครื่องตอกเม็ดยา (มีสัดส่วน 28%) ระบบเคลือบเม็ดยา (มีสัดส่วน 6%) และเครื่องบรรจุยาแผง (มีสัดส่วน 13%) จากข้อมูลสัดส่วนเครื่องจักร Rank A ของกระบวนการผลิตยาเม็ด พบว่าระบบเคลือบเม็ดยามีสัดส่วนจำนวนเครื่องจักรน้อย เพียง 6% เมื่อเทียบกับเครื่องจักรผลิตยาประเภทอื่น ๆ แต่มีความถี่ในการชำรุดมากที่สุด ทำให้กระบวนการเคลือบยาเม็ดหยุดชะงัก ปัญหาเหล่านี้เกิดจากการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่ขาดประสิทธิภาพ ขาดการวางแผนในการเปลี่ยนอะไหล่ตามรอบเวลา ซึ่งงานบำรุงรักษาส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแบบซ่อมเมื่อเครื่องจักรชำรุด (Breakdown Maintenance) ส่งผลให้เสียโอกาสในการผลิต ส่งมอบไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า ในงานวิจัยนี้ ข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงของระบบเคลือบเม็ดยาจากโรงงานผลิตยากรณีศึกษาถูกนำมาวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Reliability Analysis) เพื่อวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้มีประสิทธิภาพ ลดการชำรุดของเครื่องจักร ทำให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

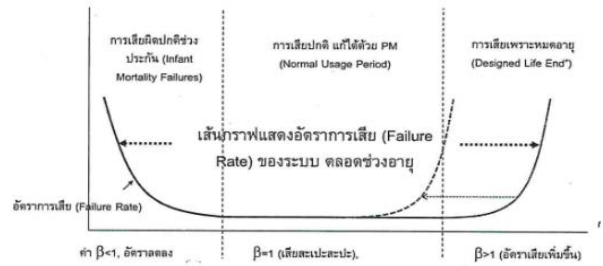
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)

เป็นการบำรุงรักษาเครื่องจักร เช่น การหล่อลื่น การทำความสะอาด การปรับแต่ง และการเปลี่ยนอะไหล่ เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรให้ใช้งานได้ยาวนานขึ้น [4] โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลการเสียของเครื่องจักร เพื่อนำมากำหนดรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสม [7]

2.2 การวิเคราะห์รูปแบบการชำรุด

เส้นกราฟรูปร่างอ่างอาบน้ำ (Bathtub Curve) ดังรูปที่ 1 แสดงอัตราการชำรุด (Failure Rate) ของอุปกรณ์เครื่องจักร ตั้งแต่ช่วงเริ่มใช้งานจนถึงช่วงสึกหรอ ตามค่า Shape Parameter (β) ของการแจกแจงไวบูล ซึ่งสามารถบอกถึงวิธีการจัดการกับการชำรุดเหล่านั้น [3]



รูปที่ 1 เส้นกราฟรูปร่างอ่างอาบน้ำ (Bathtub Curve) [1]

ทั้งนี้ β ที่มีค่า $0 < \beta < 1$ แสดงถึงอัตราการชำรุดที่ลดลง $\beta = 1$ แสดงถึงอัตราการชำรุดที่คงที่ และ $\beta > 1$ แสดงถึงอัตราการชำรุดที่เพิ่มขึ้น [5,8]

2.3 การแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution)

เป็นการแจกแจงทางสถิติชนิดหนึ่งที่น่าสนใจอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์รูปแบบของอัตราการเกิดเหตุชำรุดของอุปกรณ์และเครื่องจักร โดยมีฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของการแจกแจงไวบูลแสดงดังสมการที่ (1,2,3,4 และ 5) [1,2,6]

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \times \left[\frac{t}{\eta} \right]^{(\beta-1)} \times e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

$$R(t) = 1 - F(t) \quad (4)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (5)$$

โดย $f(t)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงการชำรุด ณ เวลานั้น $F(t)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงการชำรุดสะสม ณ เวลานั้น $R(t)$ คือ ค่าความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร t คือ ระยะเวลาที่เครื่องจักรทำงาน ตั้งแต่เริ่มเดินเครื่องจนชำรุด β คือ Shape Parameter และ η คือ Scale Parameter

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลการชำรุด

รวบรวมประวัติการแจ้งซ่อมย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2561-พ.ศ. 2565) ของระบบเคลือบเม็ดยาของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อนำมาวิเคราะห์หาข้อมูลการชำรุดของอุปกรณ์

3.2 นำข้อมูลการชำรุดมาวิเคราะห์ เพื่อจำแนกประเภทระบบย่อยของเครื่องจักร

ทำการจำแนกระบบเคลือบเม็ดยา FC No.3 Cap. 400 Kg. ออกเป็นระบบย่อย โดยทำการแบ่งระบบย่อยออกเป็น ระบบย่อยหลัก ซึ่งมีจำนวนข้อมูลการชำรุดของอุปกรณ์ที่เกิดขึ้นมากกว่าหรือเท่ากับ 5 ครั้ง และระบบย่อยรอง ซึ่งมีจำนวนข้อมูลการชำรุดของอุปกรณ์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่า 5 ครั้ง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบย่อยได้ จึงรวมข้อมูลการชำรุดของอุปกรณ์ในระบบย่อยรองที่ทำงานในสภาวะใกล้เคียงกัน รวมให้เป็นระบบย่อยหลักที่มีข้อมูลการชำรุดมากกว่า 5 ครั้ง

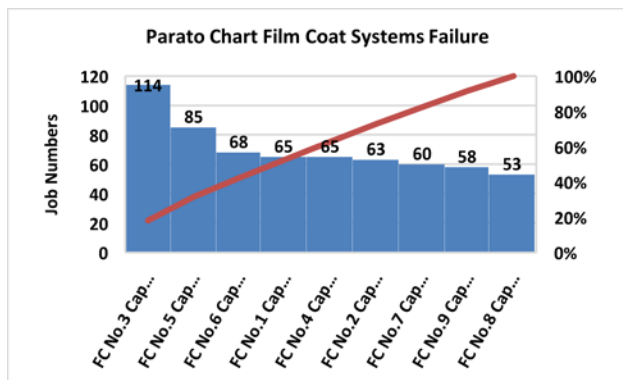
3.3 วิเคราะห์ข้อมูลและหาค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability)

นำข้อมูลเวลาการใช้งานจนชำรุด (Time to Failure, TTF) มาทำการวิเคราะห์หาค่าความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ที่ 90% เพื่อกำหนดรอบระยะเวลาในการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสม ด้วยโปรแกรม Minitab Version 18

4. ผลการวิจัย

4.1 การรวบรวมข้อมูลประวัติการชำรุดของระบบเคลือบเม็ดยา

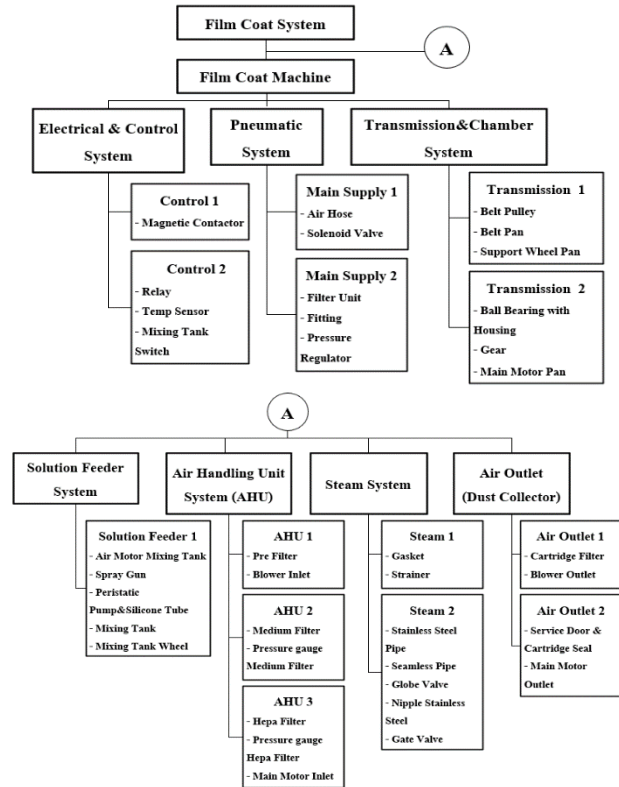
จากการรวบรวมข้อมูลประวัติการซ่อมย้อนหลัง 5 ปี (พ.ศ. 2561-พ.ศ. 2565) พบว่าระบบเคลือบเม็ดยา FC No.3 Cap. 400 Kg. มีความถี่ในการชำรุดมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ข้อมูลความถี่ในการชำรุดของระบบเคลือบเม็ดยา

4.2 การนำข้อมูลการชำรุดมาวิเคราะห์ เพื่อจำแนกประเภทระบบย่อยของเครื่องจักร

ทำการจำแนกระบบเคลือบเม็ดยา FC No.3 Cap. 400 Kg. ออกเป็นระบบย่อย โดยแบ่งกลุ่มตามระบบหลักและระบบย่อยของเครื่องจักร ระบบย่อยถูกแบ่งออกเป็น ระบบย่อยหลัก และระบบย่อยรอง แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การจำแนกระบบเคลือบเม็ดยา FC No.3 Cap. 400 Kg.

- ระบบย่อย Electrical & Control แบ่งออกเป็น ระบบย่อยหลัก Control 1 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ครั้ง โดยมีอุปกรณ์ คือ Magnetic Contactor และระบบย่อยรอง Control 2 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์น้อยกว่า 5 ครั้ง มีอุปกรณ์ คือ Relay, Temp Sensor และ Mixing Tank Switch
- ระบบย่อย Pneumatic แบ่งออกเป็น ระบบย่อยหลัก Main Supply 1 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ครั้ง โดยมีอุปกรณ์ คือ Air Hose และ Solenoid Valve และระบบย่อยรอง Main Supply 2 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์น้อยกว่า 5 ครั้ง มีอุปกรณ์ คือ Filter Unit, Fitting และ Pressure Regulator
- ระบบย่อย Transmission & Chamber แบ่งออกเป็น ระบบย่อยหลัก Transmission 1 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ครั้ง โดยมีอุปกรณ์ คือ Belt Pulley, Belt Pan และ Support Wheel Pan และระบบย่อยรอง Transmission 2 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์น้อยกว่า 5 ครั้ง มีอุปกรณ์ คือ Ball Bearing with Housing, Gear และ Main Motor Pan
- ระบบย่อย Solution Feeder แบ่งออกเป็น ระบบย่อยรอง Solution Feeder 1 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์น้อยกว่า 5 ครั้ง คือ Air Motor Mixing Tank, Spray Gun, Peristaltic Pump & Silicone Tube, Mixing Tank และ Mixing Tank Wheel
- ระบบย่อย Air Handling Unit (AHU) แบ่งออกเป็น ระบบย่อยหลัก AHU 1 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ครั้ง โดยมีอุปกรณ์ คือ Pre Filter และ Blower Inlet ระบบย่อยรอง

AHU 2 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์น้อยกว่า 5 ครั้ง มีอุปกรณ์ คือ Medium Filter และ Medium Filter Pressure gauge และระบบย่อยรอง AHU 3 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์น้อยกว่า 5 ครั้ง มีอุปกรณ์ คือ HEPA Filter, HEPA Filter Pressure gauge และ Main Motor Inlet

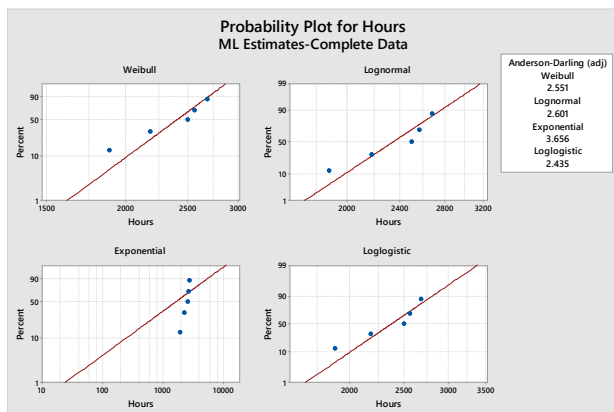
6. ระบบย่อย Steam แบ่งออกเป็น ระบบย่อยหลัก Steam 1 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ครั้ง โดยมีอุปกรณ์ คือ Gasket และ Strainer และระบบย่อยรอง Steam 2 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์น้อยกว่า 5 ครั้ง มีอุปกรณ์ คือ Stainless Steel Pipe, Seamless Pipe, Globe Valve, Nipple Stainless Steel และ Gate Valve

7. ระบบย่อย Air Outlet แบ่งออกเป็น ระบบย่อยหลัก Air Outlet 1 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ครั้ง โดยมีอุปกรณ์ คือ Cartridge Filter และ Blower Outlet และระบบย่อยรอง Air Outlet 2 ซึ่งมีข้อมูลการชำรุดของแต่ละอุปกรณ์น้อยกว่า 5 ครั้ง มีอุปกรณ์ คือ Service Door & Cartridge Seal และ Main Motor Outlet

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลและหาค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability)

4.3.1 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาการแจกแจงที่เหมาะสมของระบบย่อย

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเวลาการใช้งานจนชำรุด เพื่อหาการแจกแจงที่เหมาะสม (Distribution Analysis) ด้วยโปรแกรม Minitab Version 18 แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างการวิเคราะห์รูปแบบการแจกแจงของอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1

หลังจากนั้น จึงทำการทดสอบความเหมาะสม (Goodness of Fit Test) ของการแจกแจงทางสถิติแบบต่าง ๆ ดังรูปที่ 5 จากผลการทดสอบความเหมาะสมของอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1 พบว่า การแจกแจงที่เหมาะสมสำหรับของอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1 นี้ คือ การแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution) เนื่องจากมีค่า Anderson-Darling ที่ต่ำ และมีค่า P-Value มากกว่า 0.05 โดยลักษณะของกราฟการกระจายตัว

ของข้อมูลเป็นเส้นตรง และสามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์ห้อัตรการชำรุดในช่วงต่าง ๆ ของกราฟเส้นโค้งรูปร่างอ่างอาบน้ำ (Bathtub Curve) ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้การแจกแจงไวบูล สำหรับของอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1 เพื่อทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือต่อไป

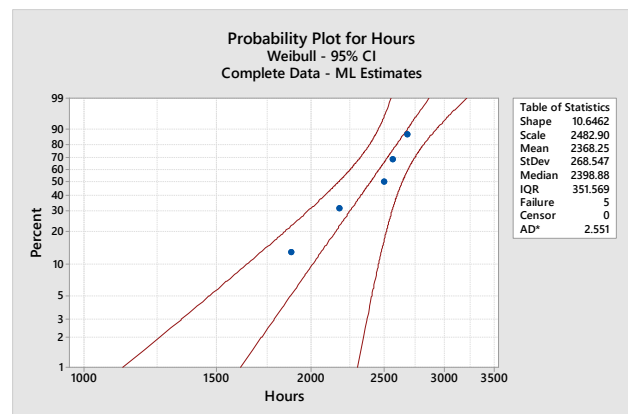
Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT P
Normal	0.294	0.437	
Box-Cox Transformation	0.229	0.631	
Lognormal	0.326	0.355	
3-Parameter Lognormal	0.347	*	0.536
Exponential	1.788	0.009	
2-Parameter Exponential	0.640	0.104	0.000
Weibull	0.320	>0.250	
3-Parameter Weibull	0.291	>0.500	0.662
Smallest Extreme Value	0.290	>0.250	
Largest Extreme Value	0.394	>0.250	
Gamma	0.368	>0.250	
3-Parameter Gamma	1.620	*	1.000
Logistic	0.320	>0.250	
Loglogistic	0.347	>0.250	
3-Parameter Loglogistic	0.320	*	0.567

รูปที่ 5 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ค่า P-Value ของอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1

4.3.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Reliability)

ทำการหาค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงที่เหมาะสม โดยใช้วิธี Maximum Likelihood ยกตัวอย่างเช่น การแจกแจงไวบูล สำหรับอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1 และใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้หาค่าความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1 ที่ 90% กราฟ Weibull Probability Plot ของอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1 และค่าประมาณของพารามิเตอร์ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตัวอย่างกราฟ Weibull Probability Plot ของการแจกแจงไวบูล สำหรับอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1

จากกราฟ Weibull Probability Plot ของอุปกรณ์ Magnetic Contactor ในระบบย่อยหลัก Control 1 พบว่า ข้อมูลเวลาการใช้งานจน

ชำรุด มีการเรียงตัวเป็นแนวเส้นตรง มีลักษณะการกระจายของข้อมูล อยู่ในขอบเขตความเชื่อมั่นที่ 95%

เมื่อทราบค่าของพารามิเตอร์การแจกแจงที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการหาเวลาการใช้งานของระบบย่อยที่มีความน่าเชื่อถือ เท่ากับ 90% เพื่อนำไปกำหนดรอบเวลาการเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบย่อยอื่น ๆ ต่อไป

จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่าง ๆ ข้างต้น สำหรับระบบย่อยอื่น ๆ ที่เหลือ โดยเริ่มจากการเลือกการแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสม ประมาณค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจงนั้น และหาเวลาการใช้งานที่ความน่าเชื่อถือ 90% เพื่อใช้ในการกำหนดรอบเวลาของการเปลี่ยนอะไหล่ อุปกรณ์ในระบบย่อย ผลของการวิเคราะห์ ค่าพารามิเตอร์ของการแจกแจง และรอบเวลาของการเปลี่ยนอุปกรณ์ สำหรับระบบย่อยต่าง ๆ ทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 สรุปผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบย่อยหลักที่มีข้อมูลการชำรุดมากกว่าหรือเท่ากับ 5 ครั้ง ของระบบเคลือบเม็ดยา

ระบบย่อยหลัก	การแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution)				รอบการเปลี่ยน (เดือน)
	Shape Parameter	Scale Parameter	AD	P-Value	
Control 1	10.6462	2482.9	2.551	>0.25	8
Main Supply 1	6.05633	1766.17	1.879	>0.25	5
Main Supply 1	2.9342	2616.49	2.577	>0.25	5
Transmission 1	10.7443	2315.1	2.506	>0.25	8
Transmission 1	2.8417	2374.52	2.458	>0.25	4
Transmission 1	4.2316	2636.47	2.443	>0.25	6
AHU 1	6.9921	872.197	1.07	>0.25	2
AHU 1	10.4292	2391.3	2.537	>0.25	8
Steam 1	5.81	2532.13	2.487	>0.25	7
Steam 1	4.6413	1464.2	1.815	0.154	3
Air Outlet 1	39.3103	2482.14	2.705	0.182	10
Air Outlet 1	24.4871	2527.93	2.49	>0.25	10

สำหรับการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบย่อยรองที่มีข้อมูลการชำรุดน้อยกว่า 5 ครั้ง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบย่อยรองที่มีข้อมูลการชำรุดน้อยกว่า 5 ครั้ง ของระบบเคลือบเม็ดยา

ระบบย่อยรอง	การแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution)				รอบการเปลี่ยน (เดือน)
	Shape Parameter	Scale Parameter	AD	P-Value	
Control 2	3.1592	2109.35	2.364	0.197	4
Main Supply 2	3.27665	2804.45	2.825	0.056	6
Transmission 2	8.50254	2476.53	2.579	>0.25	8
Solution Feeder 1	1.03902	24713.1	24.46	-	12
AHU 2	16.3243	2906.16	2.61	>0.25	11
AHU 3	11.9059	3182.2	2.784	0.094	11
Steam 2	7.08929	2455.55	2.774	0.104	7
Air Outlet 2	4.98569	2616.54	2.433	0.095	7

หมายเหตุ ระบบย่อยรอง Solution Feeder 1 ไม่สามารถหาค่า P-Value ได้ เนื่องจากข้อมูลการวิเคราะห์เป็นแบบ Censored Data

5. สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของแต่ละระบบย่อยหลักและระบบย่อยรองจากข้อมูลการชำรุดของระบบเคลือบเม็ดยา FC No.3 Cap. 400 Kg. ด้วยการแจกแจงไวบูล โดยโรงงานผลิตยากรณีศึกษา ยอมรับค่าความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของแต่ละระบบย่อยหลักและระบบย่อยรองไม่น้อยกว่า 90% ในภาพรวมพบว่าระบบย่อยหลักและระบบย่อยรองมีค่า Shape Parameter มากกว่า 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าลักษณะการชำรุดอยู่ในช่วงสึกหรอ (Wear-Out) ของกราฟเส้นโค้งรูปร่างอ่างอาบน้ำ คือ เป็นการเสียในช่วงหมดอายุการใช้งาน

1. ระบบย่อย Electrical & Control ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยหลัก Control 1 มีอุปกรณ์ คือ Magnetic Contactor มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 8 เดือน และระบบย่อยรอง Control 2 มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 4 เดือน

2. ระบบย่อย Pneumatic ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยหลัก Main Supply 1 มีอุปกรณ์ คือ Air Hose และ Solenoid Valve มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมเท่ากับอยู่ที่ 5 เดือน และระบบย่อยรอง Main Supply 2 มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 6 เดือน

3. ระบบย่อย Transmission & Chamber ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยหลัก Transmission 1 มีอุปกรณ์ คือ Belt Pulley, Belt Pan และ Support Wheel Pan มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 8 เดือน, 4 เดือน และ 6 เดือน ตามลำดับ และระบบย่อยรอง Transmission 2 มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 8 เดือน

4. ระบบย่อย Solution Feeder ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยรอง Solution Feeder 1 มีอุปกรณ์ คือ Air Motor Mixing Tank, Spray Gun, Peristaltic Pump & Silicone Tube, Mixing Tank และ Mixing Tank Wheel มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 12 เดือน

5. ระบบย่อย Air Handling Unit (AHU) ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยหลัก AHU 1 มีอุปกรณ์ คือ Pre Filter และ Blower Inlet มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 2 เดือน และ 8 เดือน ตามลำดับ และระบบย่อยรอง AHU 2 และ AHU 3 มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมเท่ากับอยู่ที่ 11 เดือน

6. ระบบย่อย Steam ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยหลัก Steam 1 มีอุปกรณ์ คือ Strainer และ Gasket มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 7 เดือน และ 3 เดือน ตามลำดับ และระบบย่อยรอง Steam 2 มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 7 เดือน

7. ระบบย่อย Air Outlet ซึ่งประกอบด้วยระบบย่อยหลัก Air Outlet 1 มีอุปกรณ์ Cartridge Filter และ Blower Outlet มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมเท่ากับอยู่ที่ 10 เดือน และระบบย่อยรอง Air Outlet 2 มีรอบการเปลี่ยนอะไหล่ที่เหมาะสมอยู่ที่ 7 เดือน

จากค่าความน่าเชื่อถือที่กำหนดไว้ ของระบบเคลือบเม็ดยา FC No.3 Cap. 400 Kg. ของโรงงานผลิตรายการณศึกษา สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มค่าความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ในระบบอื่น ๆ ต่อไป

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Reliability Analysis) มีข้อดี คือ สามารถทราบระยะเวลาการเปลี่ยนอะไหล่ ได้อย่างแม่นยำ ถูกต้องตามหลักทางสถิติ และสามารถนำไปใช้งานกับโรงงานผลิตรายการณศึกษาได้จริง แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Reliability Analysis) นี้ ก็มีข้อด้อย คือ ไม่สามารถทำการวิเคราะห์ประวัติการชำรุดของอุปกรณ์ที่มีข้อมูลการชำรุดน้อยกว่า 5 ครั้ง ได้ หากจะทำการวิเคราะห์ควรนำข้อมูลการชำรุดของอุปกรณ์ที่มีจำนวนข้อมูลการชำรุดน้อยกว่า 5 ครั้ง มารวมข้อมูลการชำรุดของอุปกรณ์ในระบบย่อยรองที่ทำงานในสภาวะใกล้เคียงกัน รวมให้เป็นระบบย่อยหลักที่มีข้อมูลการชำรุดมากกว่า 5 ครั้ง ดังนั้น เพื่อลดการชำรุดของเครื่องจักร ทางโรงงานผลิตรายการณศึกษา ควรสนับสนุนให้ความรู้กับบุคลากรภายในหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวางแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร ให้เห็นถึงความสำคัญของการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ให้กับเครื่องจักรประเภทต่าง ๆ

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานผลิตรายการณศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ รวมถึงผู้เกี่ยวข้องกับการงานวิจัยนี้ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] วัฒนา เชียงกุล, เกรียงไกร ดำรงรัตน์ และ ดลดิษฐ์ เมืองแมน. การจัดการงานบำรุงรักษาด้วย Reliability, พิมพ์ครั้งที่ 3, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2553.
- [2] สุพัฒน์ เขียวศิริวัฒนา, วัฒนา เชียงกุล และ เกรียงไกร ดำรงรัตน์. สมรรถนะของงานบำรุงรักษา, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2549.
- [3] วิกรม สุวิกรม. 2540. การใช้ประโยชน์จากข้อมูลประวัติการซ่อมบำรุงเครื่องจักร กรณีศึกษาเครื่องจักรกลหลักเหมืองแม่เมาะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [4] สมศักดิ์ สัมฤทธิ์. 2552. การลดเวลาการสูญเสียในการผลิตโดยวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันบนพื้นฐานทฤษฎีความน่าเชื่อถือ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนคอนกรีตสำเร็จรูป. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- [5] R. Ahmad. 2018. Reliability analysis comparison on punching tool sets due to different maintenance decisions: a case study from the pulp manufacturing industry. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 94: 1969-1979.
- [6] O.B. Tomus, D. Jula and A.C. Rada. 2017. Reliability Analysis of The Braking System of The Industrial Loader/Transporter Machines. Annals of the University of Petrosani, Mechanical Engineering, 19: 135-142.
- [7] Y.J. Yang, X.Y. Zhang, Z.J. Zhao, G.H. Wang, Y.J. He, Y.L. Wu and J. Li. 2020. Applying Reliability Centered Maintenance (RCM) to Sampling Subsystem in Continuous Emission Monitoring System, 8: 55054-55062.
- [8] Q. Zeng, W. Lio, L. Wan, C. Wang and K. Gao. 2020. Maintenance Strategy Based on Reliability Analysis and FMEA: A Case Study for Hydraulic Cylinders of Traditional Excavators with ERRS, Vol 2020: 1-11.

การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับการแพร่ระบาดของเชื้อโควิด-19 ในกรุงเทพมหานคร

Comparison of Forecasting Methods for Spread of Covid-19 in Bangkok

ปิ่นมณัส เหนวบุตร¹, ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา², สุวิษภรณ์ วิชกุล³
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: pinmanat.n@ku.th*

Pinmanat Noavabutra¹, Prapaisri Sudasna-Na-Ayudhya², Suwitchaporn Witchakul³
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University
E-mail: pinmanat.n@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์พยากรณ์ข้อมูลกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) และกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) และเพื่อกำหนดวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกลุ่มผู้ป่วยโควิด-19 ข้อมูลที่ใช้สำหรับงานวิจัยเป็นรายงานสถานการณ์โควิด-19 ระลอก 3 แยกตามรายจังหวัด ศึกษาเฉพาะที่กรุงเทพมหานคร ทำการพยากรณ์ล่วงหน้าระยะสั้น 1 เดือน (4 สัปดาห์) ผลจากการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ พบว่า วิธีที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) คือ วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น ค่า MAPE เท่ากับ 22.72 วิธีที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) คือ วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ ค่า MAPE เท่ากับ 1.21 กลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) วิธีที่เหมาะสม คือ วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น ค่า MAPE เท่ากับ 33.07

คำสำคัญ: การพยากรณ์ โควิด-19 วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์

Abstract

The purpose of this research was to compare forecasting methods: Double Exponential Smoothing method, Holt-Winters method, and Box-Jenkins method. The forecast groups are the new case group (S), cumulative case group (I), and recovered group including death patients (R) to determine the appropriate forecasting method for each Covid-19 case group. The data used for this research are reported of the 3rd spread of Covid-19 separated by province. This study emphasized specifically Bangkok. The report was from the Department of Disease Control Ministry of Public Health and the short-term forecast will be made for one month (4 weeks). From comparison of forecasting methods, the results indicate that the appropriate method for new case group (S) is Double Exponential Smoothing method with MAPE of 22.72. The appropriate method for cumulative case group (I) is Box-Jenkins method with a MAPE value of 1.21. For the recovered group including death patients (R), the appropriate method is Double Exponential Smoothing method with a MAPE value of 33.07.

Keywords: Forecasting, Covid-19, Double exponential smoothing method, Holt-Winters method, Box and Jenkins method

1. บทนำ

ปัจจุบันโลกกำลังเผชิญกับการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา-19 ซึ่งทำให้มีจำนวนผู้ป่วยและผู้เสียชีวิตเพิ่มมากขึ้นในแต่ละวัน จากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา-19 ในกรุงเทพมหานคร ระลอก 1 ถึงระลอก 2 มีจำนวนผู้ป่วยที่ติดเชื้อไวรัสโคโรนา-19 และจำนวนผู้เสียชีวิตเพิ่มขึ้น วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมมีความสำคัญในการหาแนวโน้มการแพร่ระบาดของเชื้อโคโรนา-19 ในอนาคต ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ พยากรณ์แต่ละกลุ่มผู้ป่วยโคโรนา-19 ในกรุงเทพมหานคร เพื่อเปรียบเทียบและกำหนดวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกลุ่ม พิจารณาความเหมาะสมจากค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error : MAPE) ค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนกำลังสอง (Mean Square Deviation : MSD) และค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Deviation: MAD) การแบ่งกลุ่มผู้ป่วยโคโรนา-19 [1] กล่าวว่า แบบจำลอง SIR (Susceptible, Infectious, Recovered) เป็นแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายเกี่ยวกับการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา-19 แบบจำลองนี้แบ่งกลุ่มเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มผู้ที่เสี่ยงต่อการติดเชื้อ (Susceptible : S) กลุ่มผู้ที่ติดเชื้อ (Infectious : I) และกลุ่มผู้ที่หายจากการติดเชื้อ (Recovered : R) ซึ่งกลุ่มนี้จะรวมกลุ่มของผู้ที่รักษาหายและผู้เสียชีวิต กลุ่มคนที่หายป่วยจะมีภูมิคุ้มกัน ทำให้ไม่กลับมาเป็นโรคเดิมซ้ำ เนื่องจากกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) และกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้เสียชีวิต (R) จำนวนผู้ป่วยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลง โดยมีอิทธิพลของฤดูกาล และกลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เหตุผลที่เลือกใช้วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น เนื่องจากมีการเกิดแนวโน้ม วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ เพราะ สามารถศึกษาอิทธิพลของฤดูกาลได้ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ เพราะ เป็นวิธีที่สามารถศึกษาอิทธิพลของแนวโน้ม และฤดูกาลได้เช่นกัน ทำการพยากรณ์ล่วงหน้า 1 เดือน (4 สัปดาห์) ด้วยโปรแกรม MINITAB 18

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการพยากรณ์ของวิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น

[2,3] กล่าวว่า ใช้ในกรณีที่ข้อมูลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งจะต่างจากวิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ค่อนข้างคงที่ สมการที่ใช้ในการพยากรณ์ ดังสมการที่ (1) - (3)

$$FIT_t = F_t + T_t \quad (1)$$

$$F_t = \alpha(A_{t-1}) + (1 - \alpha)(F_{t-1} + T_{t-1}) \quad (2)$$

$$T = \beta(F_t - F_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (3)$$

โดยที่ FIT_t คือ ค่าพยากรณ์เมื่อมีแนวโน้ม ณ ช่วงเวลา t

F_t คือ ค่าพยากรณ์เอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบ ณ ช่วงเวลา t

T_t คือ ค่าแนวโน้มเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบ ณ ช่วงเวลา t

A คือ ข้อมูลจริง ณ ช่วงเวลา t

α คือ ค่าคงที่ปรับเรียบ โดย $0 \leq \alpha \leq 1$

γ คือ ค่าคงที่ปรับเรียบแนวโน้ม โดย $0 \leq \gamma \leq 1$

2.2 วิธีของโฮลท์-วินเทอร์

[4] กล่าวว่า เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีแนวโน้ม มีอิทธิพลของฤดูกาล ใช้พยากรณ์ระยะสั้นถึงปานกลาง ข้อมูลควรเป็นรายเดือน รายสัปดาห์ หรือรายวัน มีค่าปรับให้เรียบ 3 ค่า ได้แก่ ค่าคงที่การปรับเรียบ (Level : α) ค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (Trend : γ) และค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับฤดูกาล (Seasonal : δ) สมการมี 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบการคูณ (Multiplicative Seasonal Method) และรูปแบบการบวก (Additive Seasonal Method) ซึ่งเลือกใช้รูปแบบการบวก (Additive Seasonal Method) เพราะ เหมาะสมกับแนวโน้มของแต่ละกลุ่มผู้ป่วยโคโรนา-19 ดังสมการที่ (4)

$$F_{t+m} = L_t + mb_t + S_{t+m-s} \quad (4)$$

โดยที่ F_{t+m} คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t ไปล่วงหน้า

L_t คือ ระดับของข้อมูล

b_t คือ ส่วนของแนวโน้ม

S_t คือ ส่วนของฤดูกาล

m คือ ระยะเวลาที่ต้องการพยากรณ์ไปล่วงหน้า

s คือ จำนวนฤดูกาลใน 1 ปี ($s = 12$ เดือน)

2.3 วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์

[5] กล่าวว่า ใช้ข้อมูลในอดีต เพื่อกำหนดรูปแบบในปัจจุบัน และอธิบายแนวโน้มของข้อมูลในอนาคต แบบจำลอง ARIMA ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 AR(p) คือ Y_t ที่กำหนดด้วย Autoregressive process ย้อนไป p คาบ

ส่วนที่ 2 I(d) คือ อันดับความหุตุหนึ่งของ Y_t โดย $d = 0, 1, 2, \dots, d$

ส่วนที่ 3 MA(q) คือ Y_t ที่กำหนดด้วย Moving average process ย้อนไป q คาบ

เมื่อ p และ q คือ ลำดับของคาบเวลาในอดีต (Lag length) ที่เหมาะสม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยจะศึกษาวิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ เพื่อเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมของกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I)

กลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้เสียชีวิต (R) สำหรับการพยากรณ์การแพร่ระบาดของเชื้อโควิด-19 ในกรุงเทพมหานคร มีวิธีการวิจัยดังนี้

3.1 รวบรวมข้อมูลรายงานสถานการณ์โควิด-19 ระลอก 3 ในกรุงเทพมหานคร

เก็บรวบรวมข้อมูลรายงานสถานการณ์โควิด-19 ระลอก 3 แยกตามรายจังหวัด ศึกษาเฉพาะที่กรุงเทพมหานคร ของกรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข ข้อมูลที่เก็บ ได้แก่ กลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) กลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้เสียชีวิต (R) โดยจะรวมกับผู้เสียชีวิต ตั้งแต่วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2564 ถึง 31 สิงหาคม พ.ศ. 2565 โดยจะรวมยอดเป็นสัปดาห์ [6]

3.2 พยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์

นำข้อมูลแต่ละกลุ่มผู้ป่วยโควิด-19 มาพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ ในการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ พิจารณารูปแบบโมเดล จากการระบุ I (d) ของ Correlogram ระบุ AR (p) จาก Partial Autocorrelation Function (PACF) และระบุ MA (q) จาก Autocorrelation Function (ACF) จากนั้นประมาณค่าพารามิเตอร์ ตรวจสอบ Autocorrelation ด้วยวิธี Ljung-Box เพื่อทดสอบค่าทางสถิติของ Autocorrelation และวิธี F-test เพื่อเปรียบเทียบค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานความแปรปรวน และเปรียบเทียบวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสม

3.3 ตรวจสอบความเหมาะสมของวิธีการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์

ตรวจสอบความเหมาะสมวิธีการพยากรณ์แต่ละวิธีจากค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (MAPE) ค่าเฉลี่ยความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ (MAD) และค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ยกำลังสอง (MSD)

4. ผลการวิจัย

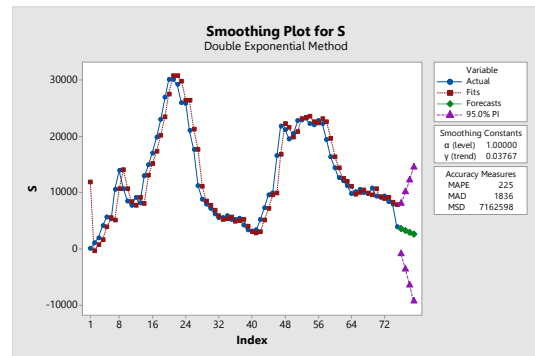
จากการรวบรวมข้อมูลมาพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ ในแต่ละกลุ่มผู้ป่วยโควิด-19 ในกรุงเทพมหานคร ได้ผลการวิจัย ดังนี้

4.1 ผลการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์แต่ละกลุ่มผู้ป่วยโควิด-19

4.1.1 ผลการพยากรณ์ของกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S)

คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) และค่าปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) โดยใช้ Excel Solver พบว่า ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) เท่ากับ 1 และค่าปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) เท่ากับ 0.03767 จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ในโปรแกรม

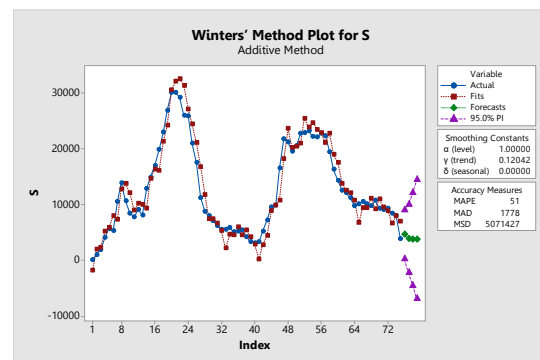
Minitab 18 ได้ผลการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้นของกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) ดังนี้



รูปที่ 1 ผลการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้นของกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S)

จากรูปที่ 1 พบว่า กลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) ในสัปดาห์ที่ 76 – 79 มีแนวโน้มลดลง และช่วงสัปดาห์ที่ 21 (วันที่ 15 - 21 สิงหาคม พ.ศ. 2564) มีจำนวนผู้ติดเชื้อรายใหม่สูงที่สุด

คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) ค่าปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) ค่าคงที่ปรับเรียบฤดูกาล (δ) โดยใช้ Excel Solver พบว่า ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) เท่ากับ 1 ค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) เท่ากับ 0.12042 และค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับฤดูกาล (δ) เท่ากับ 0 จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab 18 ได้ผลการพยากรณ์วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ของกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) ดังนี้

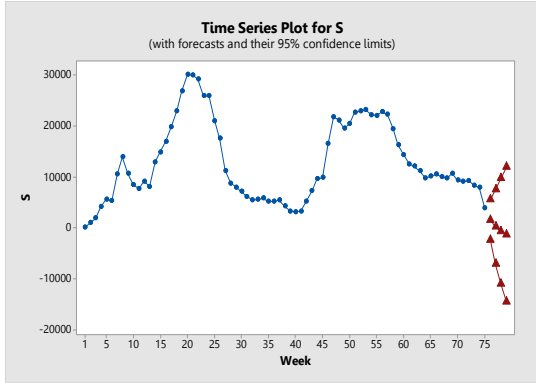


รูปที่ 2 ผลการพยากรณ์วิธีของโฮลท์-วินเทอร์กลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S)

จากรูปที่ 2 พบว่า กลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) ในสัปดาห์ที่ 76 – 79 มีแนวโน้มลดลง มีจำนวนสูงที่สุดในช่วงสัปดาห์ที่ 21 (วันที่ 15 - 21 สิงหาคม พ.ศ. 2564) ช่วงทุกๆ 8 สัปดาห์ มีแนวโน้มฤดูกาล

ผลการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ของกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) ดังนี้

จากการพิจารณารูปแบบโมเดลได้ 2 รูปแบบ คือ โมเดลเติมรูป ARIMA (1,2,1) และโมเดลลดรูป ARIMA (0,2,1) โมเดลที่มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ คือ โมเดลเติมรูป ARIMA (1,2,1) ดังรูปที่ 3

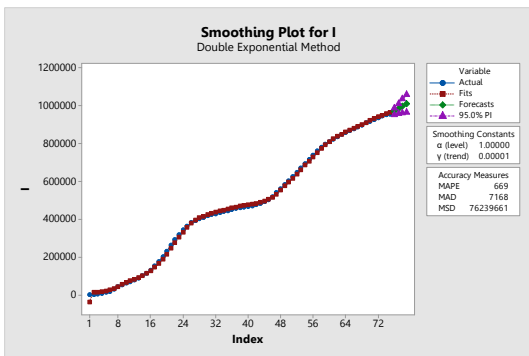


รูปที่ 3 ผลการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์กลุ่มผู้ติดเชือรายใหม่ (S)

จากภาพที่ 3 พบว่า กลุ่มผู้ติดเชือรายใหม่ (S) ในสัปดาห์ที่ 76 – 79 มีแนวโน้มลดลง ในช่วงสัปดาห์ที่ 20 (วันที่ 8 - 14 สิงหาคม 2564) มีจำนวนสูงที่สุด

4.1.2 ผลการพยากรณ์ของกลุ่มผู้ป่วยสะสม (I)

คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) และค่าปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) โดยใช้ Excel Solver พบว่า ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) เท่ากับ 1 และค่าปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) เท่ากับ 0.00001 จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab 18 ได้ผลการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้นของกลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) ดังนี้

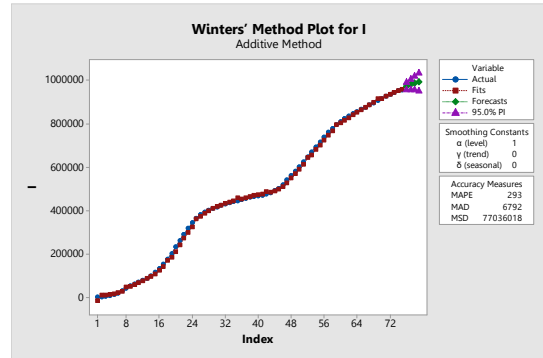


รูปที่ 4 ผลการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้นของกลุ่มผู้ป่วยสะสม (I)

จากรูปที่ 4 พบว่า กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) ในสัปดาห์ที่ 76 – 79 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) ค่าปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) และค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับฤดูกาล (δ) โดยใช้ Excel Solver พบว่า ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) เท่ากับ 1

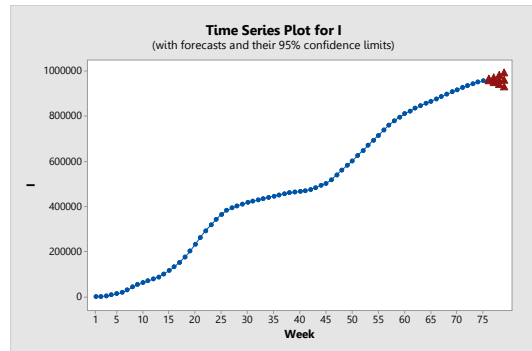
ค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) เท่ากับ 0 และค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับฤดูกาล (δ) เท่ากับ 0 จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab 18 ได้ผลการพยากรณ์วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ของ กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) ดังนี้



รูปที่ 5 ผลการพยากรณ์วิธีของโฮลท์-วินเทอร์กลุ่มของผู้ป่วยสะสม (I)

จากรูปที่ 5 พบว่า กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) ในสัปดาห์ที่ 76 – 79 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากกลุ่มผู้ติดเชือรายใหม่ (S) ที่เพิ่มขึ้น ช่วงทุกๆ 17 มีแนวโน้มฤดูกาล

ผลการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ของกลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) ดังนี้ จากการพิจารณารูปแบบโมเดลได้โมเดลที่มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ คือ โมเดล ARIMA (1,2,1) ดังรูปที่ 6



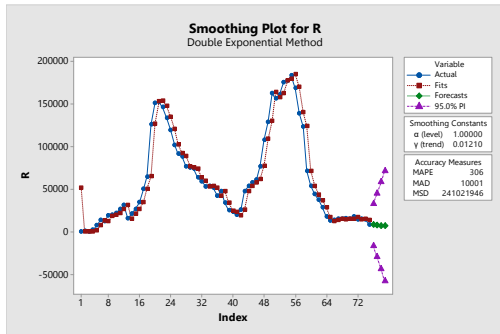
รูปที่ 6 ผลการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ของกลุ่มผู้ป่วยสะสม (I)

จากรูปที่ 6 พบว่า กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) ในสัปดาห์ที่ 76 – 79 มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

4.1.3 ผลการพยากรณ์ของกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับ ผู้เสียชีวิต (R)

คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) และค่าปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) โดยใช้ Excel Solver พบว่า ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) เท่ากับ 1 และค่าปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) เท่ากับ 0.01210 จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ในโปรแกรม

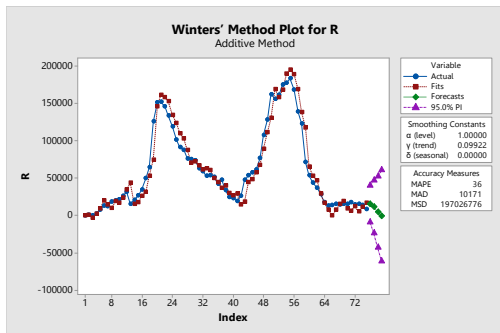
Minitab 18 ได้ผลการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้นของกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) ดังนี้



รูปที่ 7 ผลการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้นของกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R)

จากรูปที่ 7 พบว่า กลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) ในสัปดาห์ที่ 76 – 79 มีแนวโน้มลดลง ในช่วงสัปดาห์ที่ 51 (วันที่ 13 - 19 มีนาคม พ.ศ. 2564) มีจำนวนสูงที่สุด

คำนวณค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) ค่าปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) และค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับฤดูกาล (δ) โดยใช้ Excel Solver พบว่า ค่าคงที่การปรับเรียบ (α) เท่ากับ 1 ค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับแนวโน้ม (γ) เท่ากับ 0.09922 และค่าคงที่ปรับเรียบสำหรับฤดูกาล (δ) เท่ากับ 0 จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์มาวิเคราะห์ในโปรแกรม Minitab 18 ได้ผลการพยากรณ์วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ของกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) ดังนี้

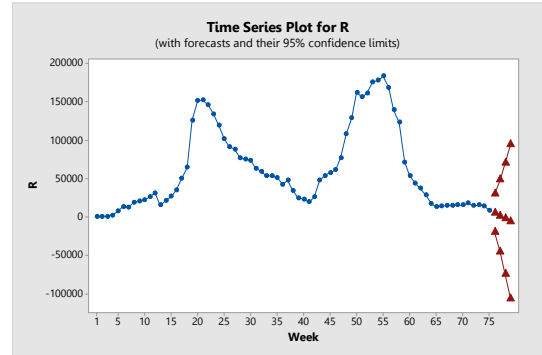


รูปที่ 8 ผลการพยากรณ์วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ของกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R)

จากรูปที่ 8 พบว่า กลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) ในสัปดาห์ที่ 76 – 79 มีแนวโน้มลดลง ช่วงทุกๆ 7 สัปดาห์ มีแนวโน้มฤดูกาล

ผลการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ของกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) ดังนี้

จากการพิจารณารูปแบบโมเดลได้ 2 รูปแบบ คือ โมเดลเต็มรูป ARIMA (1,2,1) และโมเดลลดรูป ARIMA (0,2,1) โมเดลที่มีความเหมาะสมในการพยากรณ์ คือ โมเดลลดรูป ARIMA (0,2,1) ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการพยากรณ์วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ของกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R)

จากรูปที่ 9 พบว่า กลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) ในสัปดาห์ที่ 76 – 79 มีแนวโน้มลดลง

4.2 เปรียบเทียบและตรวจสอบความเหมาะสมวิธีการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์

ผลการเปรียบเทียบความเหมาะสมของวิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ ของกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) และกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) ได้แบ่งข้อมูลที่รวบรวม 75 สัปดาห์แรกใช้ในการสร้างสมการตัวแบบ และ 4 สัปดาห์สุดท้าย เป็นชุดทดสอบ (สัปดาห์ที่ 76 - 79) เนื่องจากการพยากรณ์วิธีอนุกรมเวลาเหมาะสมในการพยากรณ์ระยะสั้น ชุดทดสอบจึงใช้เพียง 4 สัปดาห์ ค่าความคลาดเคลื่อนชุดทดสอบของกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) และกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้ป่วยเสียชีวิต (R) ดังตารางที่ 1 – 3

ตารางที่ 1 ค่าความคลาดเคลื่อนชุดทดสอบกลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S)

วิธีการพยากรณ์	MAPE	MAD	MSD
วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น	22.72	899.92	1,907,811.89
วิธีของโฮลท์-วินเทอร์	49.10	1,434.51	2,343,940.34
วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์	110.99	3,588.00	14,493,861.43

จากตารางที่ 1 พบว่า วิธีที่เหมาะสม คือ วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น เนื่องจากมีค่า MAPE MAD และ MSD น้อยที่สุด

ตารางที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อนชุดทดสอบกลุ่มผู้ป่วยสะสม (I)

วิธีการพยากรณ์	MAPE	MAD	MSD
วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น	2.52	24,391.25	729,112,700.3
วิธีของโฮลท์-วินเทอร์	1.79	17,321.00	311,404,582.50
วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์	1.21	11,748.25	152,784,561.75

จากตารางที่ 2 พบว่า วิธีที่เหมาะสม คือ วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ เนื่องจากค่า MAPE MAD และ MSD น้อยที่สุด

ตารางที่ 3 ค่าความคลาดเคลื่อนชุดทดสอบกลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับ ผู้เสียชีวิต (R)

วิธีการพยากรณ์	MAPE	MAD	MSD
วิธีเอกซ์โปเนนเชียล ปรับเรียบสองชั้น	33.07	2,767.75	10,669,834.75
วิธีของโฮลท์-วินเทอร์	94.72	5,946.9	48,029,543.51
วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์	101.93	9,122.47	110,961,496.25

จากตารางที่ 3 พบว่า วิธีที่เหมาะสม คือ วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับ
เรียบสองชั้น เนื่องจากค่า MAPE MAD และ MSD น้อยที่สุด

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการพยากรณ์แต่ละกลุ่มผู้ป่วยโควิด-19 ในกรุงเทพมหานคร ด้วยวิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ ตรวจสอบความแม่นยำของการพยากรณ์จากค่า MAPE MSD MAD ผลการเปรียบเทียบ พบว่า กลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S) วิธีที่เหมาะสม คือ วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I) วิธีที่เหมาะสม คือ วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ กลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวมกับผู้เสียชีวิต (R) วิธีที่เหมาะสม คือ วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น ดังรูปที่ 10

กลุ่มผู้ป่วยโควิด-19	วิธีพยากรณ์ที่เหมาะสม	MAPE	MAD	MSD
กลุ่มผู้ติดเชื้อรายใหม่ (S)	วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับ เรียบสองชั้น	22.72	899.92	1,907,811.89
กลุ่มผู้ป่วยสะสม (I)	วิธีบ็อกซ์และเจนกินส์	1.21	11,748.25	152,784,561.75
กลุ่มผู้ป่วยรักษาหายรวม กับผู้เสียชีวิต (R)	วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับ เรียบสองชั้น	33.07	2,767.75	10,669,834.75

รูปที่ 10 สรุปวิธีพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกลุ่มผู้ป่วยโควิด-19

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับ
เรียบสองชั้น วิธีของโฮลท์-วินเทอร์ และวิธีบ็อกซ์และเจนกินส์ พยากรณ์
แต่ละกลุ่มผู้ป่วยโควิด-19 ใช้ข้อมูลรายงานสถานการณ์โควิด-19 ระลอก
3 แยกตามรายจังหวัด ศึกษาเฉพาะที่กรุงเทพมหานคร ดังนั้น ควร
ศึกษาวิธีพยากรณ์อื่น ๆ และจังหวัดอื่นเพิ่มเติมในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] กวิน เอี่ยมตระกูล และนรพัทธ์ อัครวัลลภ, การใช้แบบจำลอง
คณิตศาสตร์คาดการณ์การระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโควิด-19,
ข้อมูลจาก <https://thaipublica.org/2021/05/epidemic-sir-model/>.
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 ตุลาคม 2564)

- [2] กลิน คงเกียรติขจร, วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบสองชั้น, ข้อมูล
จาก <https://sites.google.com/site/kmaths55/mba/operations-management/forecasting>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 ตุลาคม 2564)
- [3] มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, วิธีเอกซ์โปเนนเชียลปรับเรียบแบบมี
แนวโน้ม, ข้อมูลจาก
https://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2556/enin40356sb_ch2.pdf
(วันที่สืบค้นข้อมูล 6 ตุลาคม 2564)
- [4] เฉลิมชาติ ชีระวิริยะ. การวิเคราะห์ข้อมูลสถิติด้วยโปรแกรม Minitab,
พิมพ์ครั้งที่ 1, ซิมพลีฟาย, 2563.
- [5] เฉลิมพล จตุพร, การพยากรณ์ด้วยวิธี ARIMA (Box-Jenkins),
ข้อมูลจาก <https://cj007blog.files.wordpress.com/2020/04/07-time-series-forecasting.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ตุลาคม 2564)
- [6] กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข, รายงานสถานการณ์
COVID-19 ระลอกที่ 3 (ตั้งแต่ 01/04/2021 –ปัจจุบัน) แยกตามราย
จังหวัด, ข้อมูลจาก <https://covid19.ddc.moph.go.th/api/Cases/timeline-cases-by-provinces>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 6 ตุลาคม 2564)

การปรับปรุงคุณภาพการจัดส่งของผู้ส่งมอบของบริษัทกรณีศึกษา Supplier Delivery Improvements of Case Study Company

ศราวดี จันทร์อ้อม* ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์

ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี

E-mail: s6206011620091@email.kmutnb.ac.th*

Sarawat Chanaim*, Prasert Sriboonchandr

Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Management Technology,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus

E-mail: s6206011620091@email.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพการจัดส่งของผู้ส่งมอบภายในประเทศของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อช่วยลดโอกาสในการเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพในการจัดส่ง จากการเก็บข้อมูล พบว่ามีผู้ส่งมอบภายในประเทศ 14 ราย มีจำนวนการจัดส่งทั้งหมด 11,180 ครั้ง และมีปัญหาจากคุณภาพในการจัดส่งทั้งหมด 448 ครั้ง โดยเป็นปัญหาที่เกิดจากหัวข้อปัญหา 9 หัวข้อ ผู้วิจัยได้ใช้แผนภูมิพาเรโตในการคัดเลือกหัวข้อปัญหา ซึ่งได้ทั้งหมด 3 หัวข้อได้แก่ ปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ ปัญหาไม่มีการแจ้งข้อมูลล่วงหน้า และปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาด และได้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยทฤษฎี Why Why Analysis จากนั้นหามาตรการป้องกันปัญหา โดยปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ มาตรการที่ได้นำเสนอ คือให้พนักงานจัดทำกิจกรรม KYT เพื่อให้พนักงานทุกคนมีส่วนร่วมในการค้นหาปัญหา ปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ มาตรการที่ได้นำเสนอ คือให้ผู้ส่งมอบจัดส่งแผนการผลิตให้กับบริษัท และปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาด มาตรการที่ได้นำเสนอ คือใช้การควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) ช่วยในการตรวจสอบข้อมูล ผลจากการเสนอมาตรการป้องกันปัญหาไปยังผู้ส่งมอบและเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง พบว่าปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อลดลงจาก 37.28% เป็น 14.29% ปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาดลดลงจาก 21.65% เป็น 19.05% และปัญหาไม่มีการแจ้งข้อมูลล่วงหน้า เพิ่มขึ้นจาก 21.21% เป็น 23.81% ซึ่งต้องหาแนวทางการปรับปรุงต่อไป

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพ การจัดส่ง ผู้ส่งมอบ

Abstract

This research aims to improve the delivery quality of domestic suppliers and to reduce the quality problems in the delivery of a case study company. From data collection, there were 14 domestic suppliers with a total of 11,180 deliveries and 448 delivery quality problems. There are 3 main problems, which are the number of deliveries does not match the order amount, no advance notification, and the wrong part number. Next, we analyzed the cause of the problem with the theory of Why Why Analysis and find a policy to prevent the problem. The proposed policies were organizing KYT activities for employees so everyone can participate in finding problems, letting the suppliers deliver the production plan to the company, and using visual control to help verify the data. The result of the proposed policies showed that the number of shipments that did not match the order amount decreased from 37.28% to 14.29%, the problem of wrong part number information decreased from 21.65% to 19.05%, and the problem of no advance notification increased from 21.21% to 23.81%, which we must find the ways to further improve.

Keywords: Quality Improvements, Delivery, Supplier

1. บทนำ

ในโลกปัจจุบันที่เต็มไปด้วยการซื้อขายแลกเปลี่ยน การจัดส่งสินค้าจึงเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีผลต่อธุรกิจเป็นอย่างมาก เนื่องจากคุณภาพในการจัดส่งไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการจัดส่ง จำนวนสินค้าที่จัดส่ง ความถูกต้องของเอกสาร หรือแม้กระทั่งสภาพของบรรจุภัณฑ์ ปัจจัยเหล่านี้ถือเป็นสิ่งที่สามารถสร้างผลกระทบต่อกระบวนการต่างๆ ของผู้ส่งมอบหรือผู้สั่งซื้อได้ หากไม่มีคุณภาพที่มากพอ โดยในมุมมองของผู้ส่งมอบการจัดส่งที่ไม่มีคุณภาพจะส่งผลให้ต้องสูญเสียเวลาในการเปลี่ยนสินค้าที่ถูกต้อง หรือเสียค่าใช้จ่ายที่ต้องใช้ในการผลิตสินค้าที่ถูกต้องมาทดแทน และในมุมมองของผู้สั่งซื้อการจัดส่งที่ไม่มีคุณภาพจะทำให้ผู้สั่งซื้อไม่สามารถรับสินค้าในระยะเวลาที่ต้องการใช้งานได้ ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อไปยังปัญหาอื่นๆ ได้ ดังนั้นการปรับปรุงและรักษาคุณภาพของการจัดส่งให้อยู่ในระดับที่มีคุณภาพอย่างสม่ำเสมอจึงถือว่าเป็นเรื่องที่ดี

บริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับระบบความปลอดภัยในรถยนต์ โดยมีกลุ่มลูกค้าที่ทำการซื้อขายระหว่างกันทั้งภายในและภายนอกประเทศ ซึ่งหลังจากที่ผู้วิจัยได้เข้ามาปฏิบัติงานเป็นระยะเวลาหนึ่ง พบว่ามีผู้ส่งมอบจำนวนหนึ่งต้องพบกับปัญหาด้านคุณภาพการจัดส่ง จึงทำให้ผู้วิจัยได้เริ่มศึกษาและเก็บข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาด้านคุณภาพการจัดส่งของผู้ส่งมอบแต่ละราย แต่ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลเฉพาะผู้ส่งมอบภายในประเทศเท่านั้น เนื่องจากบริษัทมีสัดส่วนการสั่งซื้อภายในประเทศเท่ากับ 70% ของการสั่งซื้อทั้งหมด จากที่ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลย้อนหลัง พบว่าจากจำนวนผู้ส่งมอบทั้งหมด 14 ราย มีการจัดส่งทั้งหมด 11,180 ครั้ง และพบปัญหาทั้งหมด 448 ครั้ง โดยปัญหาทั้งหมดที่เกิดขึ้นเป็นปัญหาที่ทำให้บริษัทไม่สามารถนำงานที่มีปัญหาดังกล่าวเข้าไปใช้ในกระบวนการผลิตได้ทันที ซึ่งเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อแผนการผลิตและแผนการส่งออกชิ้นงานที่ได้วางเอาไว้

จากข้อมูลข้างต้นทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงคุณภาพการจัดส่งของผู้ส่งมอบ เพื่อช่วยลดปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นจากการจัดส่งที่ไม่ได้คุณภาพ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 Why Why Analysis

เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงของปัญหาด้วยการถามหาสาเหตุด้วยคำว่า ทำไม เพื่อหาว่าสาเหตุของปัญหามาจากอะไร และถามซ้ำเพื่อหาว่าทำไมสาเหตุดังกล่าวจึงเกิดขึ้นได้ และจะถามซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา [1]

2.1.2 การควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control)

การควบคุมด้วยการมองเห็นเป็นระบบควบคุมการทำงานที่ทำให้พนักงานทุกคนสามารถเข้าใจขั้นตอนการทำงาน และเป้าหมายของการทำงานได้อย่างชัดเจน โดยการใช้บอร์ด บ้าย สัญลักษณ์ กราฟ สี และ

อื่น ๆ เพื่อสื่อสารให้พนักงานและบุคลากรที่เกี่ยวข้องทุกคนทราบถึงข้อมูลที่สำคัญของสถานที่ทำงาน [2]

2.1.3 แผนภูมิพาร์โรว์ (Pareto diagram)

แผนภูมิพาร์โรว์เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่ใช้แสดงรายละเอียดของสิ่งที่เราสนใจในรูปแบบของกราฟผสมระหว่างกราฟแท่งกับกราฟเส้น โดยเรียงลำดับของรายละเอียดในแต่ละหัวข้อ ตามลำดับความถี่มากไปหาความถี่น้อย หลังจากนั้นจะมีการใช้กฎ 80:20 หรือกฎของพาร์โรว์ในการตั้งเอาสาเหตุหลักออกมาพิจารณา ซึ่งกฎ 80:20 หรือกฎของพาร์โรว์เป็นกฎที่กล่าวว่ามีสาเหตุหลักเพียง 20% ส่งผลทำให้เกิดผลลัพธ์ได้ถึง 80% [3]

2.1.4 KYT

เครื่องมือ KYT เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ความปลอดภัยที่คิดค้นมาจากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์หรือคาดการณ์ถึงอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากการทำงาน พร้อมทั้งกำหนดมาตรการหรือวิธีการจัดการไม่ให้อันตรายเหล่านั้นเกิดขึ้นได้ [4]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชนเนษฎ์ และคณะ [5] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาเพื่อปรับปรุงความปลอดภัยในกระบวนการผลิตด้วยการฝึกอบรม โดยใช้หลักการ Why – Why Analysis และหลักการ ECRS กรณีศึกษา บริษัท ยาคูลท์ (ประเทศไทย) จำกัด โดยผู้วิจัยได้สัมภาษณ์จาก คุณปาริชาติ กองอินทร์ พนักงานแผนกควบคุมคุณภาพ ซึ่งได้พบว่าในส่วนของโรงงานผลิตมีอุบัติเหตุเกิดขึ้นประมาณ 0.67 ครั้ง / 4 เดือน และปัญหาที่พบส่วนใหญ่เกิดจากความประมาทของตัวพนักงาน หลังจากการฝึกอบรมพบว่า จำนวนการเกิดอุบัติเหตุลดลงจาก 0.67 ครั้ง/4เดือน ลดเป็น 0 ครั้ง/4เดือน แสดงว่าหลังจากการปรับปรุงแล้วจำนวนการเกิดอุบัติเหตุลดลง 100% ทำให้ในส่วนของโรงงานผลิตมีความปลอดภัยในกระบวนการผลิตมากขึ้น

ภาวัต และคณะ [6] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการจัดซื้อและจัดส่งสินค้าเกษตรของ บริษัท โคโค้นทสยามเอ็กพอร์ท จำกัด โดยใช้แนวคิดแบบลีน โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลขั้นตอนการจัดซื้อ และจัดส่งของ บริษัท โคโค้นทสยามเอ็กพอร์ท จำกัด ทุกวันจันทร์ พุธ ศุกร์เป็นระยะเวลา 3 เดือน หลังจากนั้นทำการหาสาเหตุของปัญหา โดยการใช้เครื่องมือ 5W1H และทำการสรุปด้วยแผนภูมิแกงปลา จากนั้นทำการปรับปรุงด้วยแนวคิดแบบลีน โดยใช้เครื่องมือ ECRS หลังจากใช้กระบวนการจัดซื้อและจัดส่งหลังการปรับปรุงทุกวันจันทร์ พุธ ศุกร์เป็นเวลา 15 วัน พบว่าสามารถลดระยะเวลาในขั้นตอนการจัดซื้อและจัดส่งลงจากเดิมที่ใช้เวลาเฉลี่ย 192 นาที เหลือเพียง 61 นาที ซึ่งลดลงกว่า 68%

สุชาติ และคณะ [7] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มผลผลิตการผลิตการขนถ่ายสินค้า กรณีศึกษา บริษัท เอ.บี.ซี จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของบริษัท เอ.บี.ซี

จำกัด โดยใช้การระดมสมองและแผนภูมิเหตุและผลในการวิเคราะห์ปัญหา โดยแบ่งตามประเภทของงานเป็น 3 ประเภท ได้แก่ งานพาเลทงานกล่อง และงานรางยาว ซึ่งพบปัญหาหลัก 3 ประการ โดยผู้วิจัยได้ทำการทดลองและแก้ไขปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยใช้ทฤษฎี ECRS จากผลของการปรับปรุงพบว่าเวลารวมของกระบวนการขนถ่ายสินค้างานแต่ละประเภทลดลง โดยงานพาเลทลดลงจากเดิม 526.38 วินาที เป็น 379.23 วินาที คิดเป็นร้อยละ 27.96 งานกล่องเวลาลดลงจากเดิม 935.70 วินาที เป็น 639.95 วินาที คิดเป็นร้อยละ 31.61 และงานรางยาวเวลาลดลงจากเดิม 769.17 วินาที เป็น 519.27 วินาที คิดเป็นร้อยละ 32.49

ภัทรพล และสาลินี [8] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบที่มีคุณภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินและคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบในเขตอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับธุรกิจวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้าง โดยใช้กระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (AHP) และ TOPSIS เป็นเครื่องมือในการช่วยตัดสินใจ โดยกลุ่มผู้ตัดสินใจเป็นผู้บริหารและพนักงานของห้างหุ้นส่วนวิศวะพาณิชย์ จำกัด รวมทั้งสิ้น 7 ราย เก็บข้อมูลแบบสอบถามโดยการเปรียบเทียบเชิงคู่ และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล (Microsoft Excel) ผลของการศึกษาพบว่าผลลัพธ์ของแบบจำลองของวิธี AHP มีความสอดคล้องกับผลลัพธ์ของแบบจำลองวิธี TOPSIS

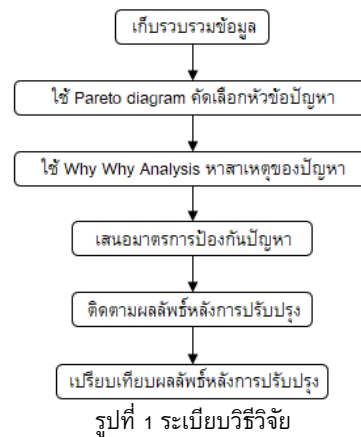
กฤตกร [9] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการคัดเลือกผู้แทนจำหน่ายกรณีศึกษาโรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นได้ ซึ่งบทความนี้ใช้หลักการของระบบการจัดการคุณภาพ (ISO9001) กระบวนการประเมินในอุตสาหกรรมรถยนต์ (IATF16949) และแนวคิดการจัดการกระบวนการ (VDA6.3) เพื่อสร้างความพึงพอใจในประเด็นคุณภาพการจัดส่งและบริการทั้งหมด คู่มือการเลือกและประเมินซัพพลายเออร์ของกรณีศึกษา ซัพพลายเออร์ที่พิจารณานั้นรวมถึง ผู้จัดการจำหน่ายชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยการวิเคราะห์หลักการจะพิจารณาห้ามิติหลัก ดังนี้ 1) ระบบการจัดการทั่วไป 2) การวางแผนและการพัฒนากระบวนการ 3) การจัดการห่วงโซ่อุปทาน 4) กระบวนการทำงาน และ 5) การสนับสนุนลูกค้า คู่มือฉบับร่างได้รับการทดสอบและใช้งานแล้ว การเปลี่ยนแปลงบางอย่างเกิดขึ้นจากการทดสอบและสามารถกำหนดเป็นคู่มือตรวจประเมินขั้นสุดท้าย

กนกพร [10] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องมือสำหรับช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บริหาร โดยใช้กรณีศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตเฟอร์นิเจอร์แห่งหนึ่ง ในปัญหาขั้นตอนของการประเมินและคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบหลักประเภทไม้ ซึ่งเป็นวัตถุดิบเชิงกลยุทธ์ของอุตสาหกรรมนี้ เป้าหมายของการพัฒนาเกณฑ์ประเมิน เพื่อแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับผู้ส่งมอบ เพื่อตอบสนองการแข่งขันในเชิงกลยุทธ์ เริ่มจากทบทวนวรรณกรรมเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผู้ส่งมอบ รวบรวมผลวิเคราะห์ปัจจัยเสนอให้กับกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดซื้อของกรณีศึกษาจำนวน 3 ท่าน โดยใช้ดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์ ประเมินความเหมาะสมของการใช้เป็นเกณฑ์หลักและรอง หลังจากนั้นประยุกต์ใช้

กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ซึ่งเป็นเครื่องมือของการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ มาหาค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์โดยกลุ่มผู้บริหาร แล้วจึงนำผลสรุปที่ได้มากำหนดแนวทางการประเมินผู้ส่งมอบ ผลการศึกษาพบว่า เกณฑ์หลักที่มีความสำคัญที่สุดสามลำดับแรกคือ คุณภาพผลิตภัณฑ์ การจัดส่ง และความยืดหยุ่น ผลการทดลองประเมินผู้ส่งมอบหลักทั้ง 3 ราย พบว่าสัดส่วนการจัดซื้อในปัจจุบันไม่สอดคล้องกับผลประเมินผู้ส่งมอบมุ่งเน้นราคา ผู้ส่งมอบที่มีผลประเมินสูงสุด กลับมีสัดส่วนการจัดซื้อเพียง 12% ถือเป็นลำดับ 3 ส่วนผู้ส่งมอบที่ผลประเมินเป็นลำดับรองสุดท้ายกลับมีสัดส่วนการจัดซื้อสูงสุด ถึง 35% เห็นได้ว่าเกณฑ์ที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถสะท้อนถึงผลการดำเนินงานและเชื่อมโยงไปยังการแก้ปัญหาและกำหนดแนวทางในการจัดการความสัมพันธ์เพื่อพัฒนาผู้ส่งมอบเชิงกลยุทธ์ได้ในอนาคต

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการจัดทำงานวิจัยเล่มนี้ ผู้วิจัยได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังรูปที่ 1



3.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

จะทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2560 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2565 พร้อมทั้งทำการสรุปจำนวนของหัวข้อปัญหาในแต่ละหัวข้อที่เกิดขึ้น

3.2 ใช้แผนภูมิพาเรโตคัดเลือกหัวข้อปัญหา

หลังจากที่ทราบถึงจำนวนของหัวข้อปัญหาทั้งหมด ลำดับถัดไปจะเป็นการใช้แผนภูมิพาเรโตในการคัดเลือกหัวข้อปัญหาที่จะนำออกมาแก้ไข

3.3 ใช้ Why Why Analysis หาสาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้จะใช้ทฤษฎี Why Why Analysis ในการวิเคราะห์ปัญหาในแต่ละหัวข้อ เพื่อหาถึงสาเหตุที่ทำให้ปัญหาในแต่ละหัวข้อเกิดขึ้น

3.4 เสนอมาตรการป้องกันปัญหา

ทำการออกมาตรการป้องกันปัญหาให้สัมพันธ์กับสาเหตุที่ทำให้ปัญหาในแต่ละหัวข้อเกิดขึ้น

3.5 ติดตามผลลัพธ์หลังการปรับปรุง

ติดตามผลลัพธ์หลังการปรับปรุงจากผู้ส่งมอบที่ได้นำเอามาตรการป้องกันปัญหาไปทดลองใช้

3.6 เปรียบเทียบผลลัพธ์หลังการปรับปรุง

เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การเกิดปัญหาของแต่ละหัวข้อปัญหาในช่วงก่อนและหลังการปรับปรุง

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูล

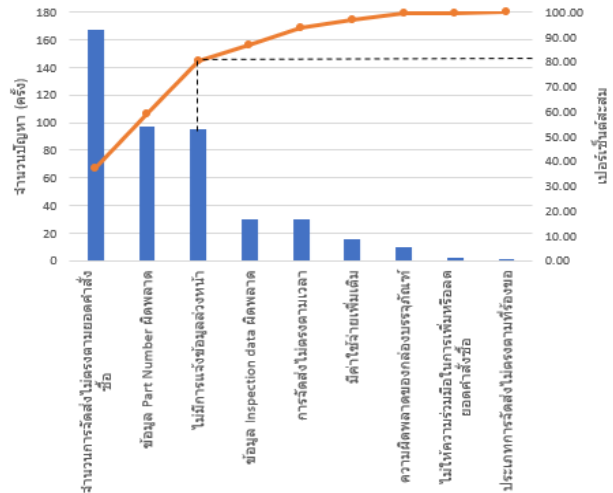
จากการเก็บข้อมูล พบว่าจากผู้ส่งมอบในประเทศทั้งหมด 14 ราย มีจำนวนการจัดส่งทั้งหมด 11,180 ครั้ง และพบปัญหาทั้งหมด 448 ครั้ง ซึ่งปัญหาทั้งหมด 448 ครั้งเกิดมาจากหัวข้อปัญหา 9 หัวข้อ โดยจะแสดงจำนวนของปัญหาในแต่ละหัวข้อได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนของปัญหาในแต่ละหัวข้อ

พบปัญหาทั้งหมด (ครั้ง)	หัวข้อปัญหา	เกิดปัญหาเดิมซ้ำ (ครั้ง)	คิดเป็น (%)	เปอร์เซ็นต์สะสม (%)
448	จำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ	167	37.28	37.28
	ข้อมูล Part Number ผิดพลาด	97	21.65	58.93
	ไม่มีการแจ้งข้อมูลล่วงหน้า	95	21.21	80.13
	ข้อมูล Inspection data ผิดพลาด	30	6.70	86.83
	การจัดส่งไม่ตรงตามเวลา	30	6.70	93.53
	มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม	16	3.57	97.10
	ความผิดพลาดของกล่องบรรจุภัณฑ์	10	2.23	99.33
	ไม่ให้ความร่วมมือในการเพิ่มหรือลดยอดคำสั่งซื้อ	2	0.45	99.78
	ประเภทการจัดส่งไม่ตรงตามที่ร้องขอ	1	0.22	100.00

4.2 ผลการวิเคราะห์ปัญหา

หลังจากการเก็บข้อมูลจะเห็นได้ว่าปัญหาในแต่ละหัวข้อมีเปอร์เซ็นต์ในการเกิดปัญหาที่ต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้แผนภูมิพาริตโต้ในการคัดเลือกหัวข้อปัญหาที่จะนำออกมาแก้ไข ซึ่งจะสามารถแสดงผลจากการใช้แผนภูมิพาริตโต้ ได้ดังรูปที่ 2

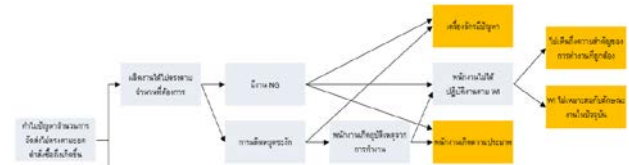


รูปที่ 2 คัดเลือกปัญหาด้วยแผนภูมิพาริตโต้

จากรูปที่ 2 แสดงการคัดเลือกปัญหาด้วยแผนภูมิพาริตโต้ พบปัญหาที่ต้องแก้ไข ได้แก่ ปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ ปัญหาข้อมูล Part number ผิดพลาด และปัญหาไม่มีการแจ้งข้อมูลล่วงหน้า ซึ่งปัญหาทั้ง 3 หัวข้อมีเปอร์เซ็นต์การเกิดปัญหาอยู่ที่ 37.28%, 21.65% และ 21.21% ตามลำดับ โดยปัญหาทั้ง 3 หัวข้อมีเปอร์เซ็นต์สะสมอยู่ที่ 80.13%

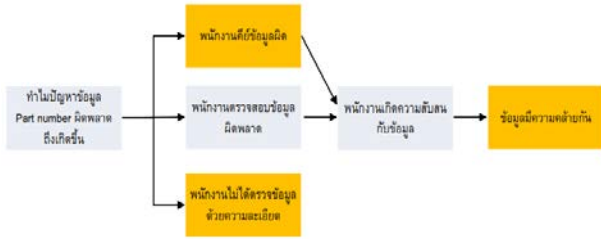
4.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากการวิเคราะห์ Why Why ทำให้ทราบถึงสาเหตุที่ทำให้ปัญหาทั้ง 3 ปัญหา โดยจะสามารถแสดงภาพการวิเคราะห์ Why Why ของปัญหาทั้ง 3 ปัญหา แสดงดังรูปที่ 3-5



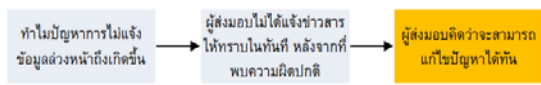
รูปที่ 3 สาเหตุปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ

จากรูปที่ 3 แสดงถึงสาเหตุของปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ มีสาเหตุทั้งหมด 5 สาเหตุ ได้แก่ 1.ผู้ส่งมอบไม่ได้จัดเก็บ Safety stock ตามจำนวนที่ได้ตกลงกันไว้ 2.เครื่องจักรมีปัญหา 3. พนักงานเกิดความประมาท 4.พนักงานไม่เห็นถึงความสำคัญของการทำงานที่ถูกต้อง และ 5. คู่มือการทำงาน (WI) ไม่เหมาะสมกับลักษณะงานในปัจจุบัน



รูปที่ 4 สาเหตุปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาด

จากรูปที่ 4 แสดงสาเหตุของปัญหา Part number ผิดพลาด มีสาเหตุทั้งหมด 3 สาเหตุ ได้แก่ 1.พนักงานคีย์ข้อมูลผิด 2.พนักงานไม่ได้ตรวจสอบข้อมูลด้วยความละเอียด 3.ข้อมูลมีความคล้ายกัน



รูปที่ 5 สาเหตุปัญหาการไม่แจ้งข้อมูลล่วงหน้า

จากรูปที่ 5 แสดงสาเหตุของปัญหาการไม่แจ้งข้อมูลล่วงหน้า มีสาเหตุทั้งหมด 1 สาเหตุ ได้แก่ สาเหตุที่เกิดจากผู้ส่งมอบไม่ได้แจ้งข่าวสารให้ทราบในทันทีหลังจากที่พบความผิดปกติ เนื่องจากผู้ส่งมอบคิดว่าจะสามารถแก้ไขปัญหาได้ทันที

4.4 ผลการเสนอมาตรการป้องกันปัญหา

จากการวิเคราะห์ Why Why ทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาทั้ง 3 ปัญหา ซึ่งสามารถเสนอมาตรการป้องกันปัญหาไปยังผู้ส่งมอบแต่ละรายดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2 มาตรการป้องกันปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ

สาเหตุที่	สาเหตุของปัญหา	มาตรการป้องกันปัญหา
1	พนักงานไม่เห็นถึงความสำคัญของการทำงานที่ถูกต้อง	เสนอให้มีการจัดอบรมพนักงานให้เห็นถึงความสำคัญในการปฏิบัติงานที่ถูกต้องตามขั้นตอน และอธิบายให้พนักงานเห็นถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้น หากมีการทำงานที่ผิดพลาด
2	WI ไม่เหมาะสมกับลักษณะงานในปัจจุบัน	เสนอให้มีการตรวจสอบความเหมาะสมของ WI ทุก ๆ 3 เดือน พร้อมทั้งให้พนักงานทำแบบสอบถามเกี่ยวกับความพึงพอใจในขั้นตอนการทำงานในปัจจุบัน โดยให้ผลลัพธ์และความคิดเห็นที่ได้จากแบบสอบถามวิเคราะห์และหาแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้ดีขึ้น
3	พนักงานเกิดความประมาท	เสนอให้พนักงานจัดกิจกรรม KYT อาทิตย์ละ 1 หัวข้อ ในช่วงก่อนการทำงานของทุกวัน เพื่อให้พนักงานทุกคนมีส่วนร่วมในการค้นหาปัญหา พร้อมทั้งกำหนดวิธีการป้องกัน
4	เครื่องจักรมีปัญหา	เสนอให้มีการจัดทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)
5	ผู้ส่งมอบไม่ได้จัดเก็บ Safety stock ตามจำนวนที่ได้ตกลงกันไว้	เสนอให้มีการจัดทำสัญญา MOA ระหว่างผู้ส่งมอบกับบริษัท เอ บี ซี หากในอนาคตยังพบว่าผู้ส่งมอบไม่ได้มีการจัดทำ Safety stock ตามที่ตกลงกันไว้ เสนอให้ผู้ส่งมอบจัดส่งแผนการผลิตให้กับบริษัท เอ บี ซี เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงจำนวนที่ผู้ส่งมอบจะทำการผลิตในแต่ละวัน และจำนวน Safety stock ที่มีอยู่ในแต่ละวัน

ตารางที่ 3 มาตรการป้องกันปัญหาในหัวข้อ ข้อมูล Part number ผิดพลาด

สาเหตุที่	สาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา	มาตรการป้องกันปัญหา
1	พนักงานไม่ได้ตรวจสอบข้อมูลด้วยความละเอียด	เสนอให้มีการใช้เทคนิค Visual Control เข้ามาช่วยในการตรวจสอบข้อมูล โดยใช้ Color Tag สีต่างๆ บน Part number ซึ่งในแต่ละคำสั่งซื้อที่ จะทำการจัดส่งในรอบเดียวกัน ไปยังบริษัทเดียวกัน จะต้องมีการติด Color tag ที่แตกต่างกัน
2	ข้อมูลมีความคล้ายกัน	
3	พนักงานคีย์ข้อมูลผิด	เสนอให้ยกเลิกการใช้พนักงานคีย์ข้อมูล เพราะเป็นปัญหา human error โดยให้เปลี่ยนมาใช้ระบบบาร์โค้ดในการแสดงข้อมูลแทน

ตารางที่ 4 มาตรการป้องกันปัญหาในหัวข้อการไม่แจ้งข้อมูลล่วงหน้า

สาเหตุที่	สาเหตุของปัญหา	มาตรการป้องกันปัญหา
1	ไม่มีการแจ้งข้อมูลล่วงหน้าในกรณีที่มีความผิดปกติเกิดขึ้น	เสนอให้มีการจัดทำแบบฟอร์ม Update status ของตัวสินค้าที่จะทำการจัดส่ง โดยให้บริษัท เอ บี ซี จัดส่งแบบฟอร์ม Update status ให้ผู้ส่งมอบเป็นจำนวน 2 ครั้ง โดยครั้งแรกให้ส่งแบบฟอร์มก่อนวันจัดส่งจริง 3 วัน และส่งแบบฟอร์มให้ผู้ส่งมอบครั้งที่สองก่อนวันจัดส่งจริง 1 วัน เพื่อเป็นการยืนยันสถานะของตัวสินค้ามีความพร้อมในการจัดส่งหรือไม่

จากมาตรการป้องกันปัญหาที่ได้เสนอไปยังผู้ส่งมอบแต่ละราย จะสามารถสรุปมาตรการป้องกันปัญหาที่นำมาประยุกต์ใช้กับผู้ส่งมอบได้ดังตารางที่ 5

4.5 ผลการนำไปทดลองใช้

จากมาตรการป้องกันปัญหาสามารถสรุปมาตรการป้องกันปัญหาที่นำมาประยุกต์ใช้กับผู้ส่งมอบได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 มาตรการป้องกันปัญหาที่ถูกนำไปใช้

ลำดับที่	มาตรการที่เสนอ	เป็นมาตรการในหัวข้อ	รายชื่อของผู้ส่งมอบที่ได้ไปเอามาตรการป้องกันปัญหาไปใช้
1	เสนอให้พนักงานจัดกิจกรรม KYT สัปดาห์ละ 1 หัวข้อ ในช่วงก่อนการทำงานของทุกวัน เพื่อให้พนักงานทุกคนได้มีส่วนร่วมในการค้นหาปัญหา พร้อมทั้งกำหนดวิธีการป้องกัน	หัวข้อปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ	KK
2	เสนอให้ผู้ส่งมอบจัดส่งแผนการผลิตให้กับบริษัท เอ บี ซี เพื่อเป็นการแสดงให้เห็นถึงจำนวนที่ผู้ส่งมอบจะทำการผลิตในแต่ละวัน และจำนวน Safety stock ที่มีอยู่ในแต่ละวัน	หัวข้อปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ	EE
3	เสนอให้มีการใช้เทคนิค Visual Control เข้ามาช่วยในการตรวจสอบข้อมูล โดยใช้ Color Tag สีต่างๆ บน Part number ซึ่งในแต่ละคำสั่งซื้อที่ จะทำการจัดส่งในรอบเดียวกัน ไปยังบริษัทเดียวกัน จะต้องมีการติด Color tag ที่แตกต่างกัน	หัวข้อปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาด	EE

ตารางที่ 5 แสดงมาตรการป้องกันปัญหา โดยปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ มาตรการที่นำเสนอได้เสนอแนวทาง คือ ให้พนักงานจัดทำกิจกรรม KYT เพื่อให้พนักงานทุกคนมีส่วนร่วมในการค้นหาปัญหา ผลแสดงดังรูปที่ 6 ปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ มาตรการที่นำเสนอได้เสนอแนวทาง คือ ให้ผู้ส่งมอบจัดส่งแผนการผลิตให้กับบริษัท ผลแสดงดังรูปที่ 7 ปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาด มาตรการที่นำเสนอได้เสนอแนวทาง คือ ใช้การ

ควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) ช่วยในการตรวจสอบข้อมูลผลแสดงดังรูปที่ 8

4.6 ผลการวิจัย

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลหลังจากที่ผู้ส่งมอบได้นำเอามาตรการไปประยุกต์ใช้ หลังการปรับปรุงพบว่าการจัดส่งทั้งหมด 187 ครั้ง และ มีปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพในการจัดส่งทั้งหมด 21 ครั้ง ซึ่งปัญหาทั้งหมด 21 ครั้ง แสดงจำนวนของปัญหาดังตารางที่ 6

จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุง ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 6 พบว่า ปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อลดลงจาก 37.28% เป็น 14.29% ปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาดลดลงจาก 21.65% เป็น 19.05% และปัญหาไม่มีการการแจ้งข้อมูลล่วงหน้า เพิ่มขึ้นจาก 21.21% เป็น 23.81% ซึ่งต้องหาแนวทางการปรับปรุงต่อไป

KYT ACTIVITY							
ลำดับ	ชื่อ	รายชื่อ/กิจกรรม	เลือกอันตรายที่สำคัญ	เลือกมาตรการป้องกันที่สำคัญ	ประเภท KYT	วันที่ประเมิน KYT	สถานะ (OK)
1	Mr Kidsana	อันตรายจากการเข้าไป Clean Room Heat Treatment	สารGG อากาศระเด็นเข้าตาผอด แสบจุก แสบมือ	ใส่อุปกรณ์ป้องกันขณะทำการล้างทุกครั้ง	สวมแว่น ครอบงจุก ไ้ถุงมือ "OK"	1-Nov-22	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Mr Chovalit	อันตรายจากการเข้าไป Clean Room Heat Treatment	สารGG อากาศระเด็นเข้าตาผอด แสบจุก แสบมือ	ใส่อุปกรณ์ป้องกันขณะทำการล้างทุกครั้ง	สวมแว่น ครอบงจุก ไ้ถุงมือ "OK"	2-Nov-22	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Mr Nattasit	อันตรายจากการเข้าไป Clean Room Heat Treatment	สารGG อากาศระเด็นเข้าตาผอด แสบจุก แสบมือ	ใส่อุปกรณ์ป้องกันขณะทำการล้างทุกครั้ง	สวมแว่น ครอบงจุก ไ้ถุงมือ "OK"	3-Nov-22	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Mr Wasan	อันตรายจากการเข้าไป Clean Room Heat Treatment	สารGG อากาศระเด็นเข้าตาผอด แสบจุก แสบมือ	ใส่อุปกรณ์ป้องกันขณะทำการล้างทุกครั้ง	สวมแว่น ครอบงจุก ไ้ถุงมือ "OK"	4-Nov-22	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Mr Wittaya	อันตรายจากเครื่องเชื่อม CO2	ควหนีงที่แขนไหม้ จากความร้อนขณะเชื่อมเหล็ก	สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันขณะใช้เครื่อง	สวมใส่ปลอกแขนทุกครั้งก่อนเชื่อม "OK"	7-Nov-22	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Mr Pradit	อันตรายจากเครื่องเชื่อม CO2	ควหนีงที่แขนไหม้ จากความร้อนขณะเชื่อมเหล็ก	สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันขณะใช้เครื่อง	สวมใส่ปลอกแขนทุกครั้งก่อนเชื่อม "OK"	8-Nov-22	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Mr Sawai	อันตรายจากเครื่องเชื่อม CO2	ควหนีงที่แขนไหม้ จากความร้อนขณะเชื่อมเหล็ก	สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันขณะใช้เครื่อง	สวมใส่ปลอกแขนทุกครั้งก่อนเชื่อม "OK"	9-Nov-22	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Mr Kidsana	อันตรายจากเครื่องเชื่อม CO2	ควหนีงที่แขนไหม้ จากความร้อนขณะเชื่อมเหล็ก	สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันขณะใช้เครื่อง	สวมใส่ปลอกแขนทุกครั้งก่อนเชื่อม "OK"	10-Nov-22	<input checked="" type="checkbox"/>
9	Mr Chovalit	อันตรายจากเครื่องเชื่อม CO2	ควหนีงที่แขนไหม้ จากความร้อนขณะเชื่อมเหล็ก	สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันขณะใช้เครื่อง	สวมใส่ปลอกแขนทุกครั้งก่อนเชื่อม "OK"	11-Nov-22	<input checked="" type="checkbox"/>

รูปที่ 6 เอกสารสำหรับการทำกิจกรรม KYT ของผู้ส่งมอบ KK

MC	No.	Part Name	Part Code	MC	Stock	Nov	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Press Total	Press Plan	Press Actual	PC Diff	Remarks
P-11	1	COLLAR	DLE9100117	P-11	Plan	40	40	40																												420.00	420.00				
					Stock	129.7	130	170	210	250	250	250	290	330	370	410	390	430	470	490	460	400	400	400	400	400	400	340	340	280	280	280	280	190	360.00			Dec=180,000			
					Shipment	78	58	59																																	
P-11	2	COLLAR	DLE9100118	P-11	Plan	40	40	40																													440.00	440.00			
					Stock	368.0	290	232	232	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	173	253	253	293	333	373	413	453	493	493	533	573	613	194.66			Dec=636600				
					Shipment	210	1,997	1,347																																	
P-34	3	COLLAR	DLE9100118	P-34	Plan	40	40	40																													960.00	960.00			
					Stock	271.1	101	139	179	218	218	258	298	248	288	238	278	318	358	308	348	298	298	338	378	328	368	318	358	358	398	438	478	753.34			Dec=600,000				

	Stock Dec	FC Dec	%
DLE9100117	189.73	180.00	105%
DLE9100118	1,091.10	1,236.60	88%

รูปที่ 7 แผนการผลิตของผู้ส่งมอบ EE

Lot Label	
Customer	ABC (Thailand) Co., Ltd.
ETD DATE	4-Nov-22
P/O No.	200114
Part Name	COLLAR
Part No.	DLE9100118
Q'ty in carton	4'ly
Total Q'ty	1,010 pcs. 1,010 Pcs.
Number of Carton	1/1
Remarks	B-1049-039
EE (THAILAND) CO., LTD.	

Lot Label	
Customer	ABC (Thailand) Co., Ltd.
ETD DATE	4-Nov-22
P/O No.	200114
Part Name	COLLAR
Part No.	DLE9100117
Q'ty in carton	4'ly
Total Q'ty	1,010 pcs. 1,010 Pcs.
Number of Carton	1/1
Remarks	B-1049-039
EE (THAILAND) CO., LTD.	

รูปที่ 8 การใช้ Color Tag บน Label ของผู้ส่งมอบ EE

ตารางที่ 6 จำนวนปัญหาหลังการปรับปรุง

พบปัญหาทั้งหมด (ครั้ง)	หัวข้อปัญหา	เกิดปัญหาเดิมซ้ำ (ครั้ง)	คิดเป็น (%)
21	จำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ	3	14.29
	ข้อมูล Part Number ผิดพลาด	4	19.05
	ไม่มีการแจ้งข้อมูลล่วงหน้า	5	23.81
	ข้อมูล Inspection data ผิดพลาด	0	0.00
	การจัดส่งไม่ตรงตามเวลา	9	42.86
	มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม	0	0.00
	ความผิดพลาดของกล่องบรรจุภัณฑ์	0	0.00
	ไม่ให้ความร่วมมือในการเพิ่มหรือลดยอดคำสั่งซื้อ	0	0.00
	ประเภทการจัดส่งไม่ตรงตามที่ร้องขอ	0	0.00

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพการจัดส่งของผู้ส่งมอบภายในประเทศของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อช่วยลดโอกาสในการเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพในการจัดส่ง จากการเก็บข้อมูล พบว่ามีผู้ส่งมอบภายในประเทศ 14 ราย มีจำนวนการจัดส่งทั้งหมด 11,180 ครั้ง และมีปัญหาจากคุณภาพในการจัดส่งทั้งหมด 448 ครั้ง จากหัวข้อปัญหาทั้ง 9 หัวข้อ ผู้วิจัยได้ใช้แผนภูมิพาเรโตในการคัดเลือกเอาหัวข้อปัญหาที่มี 3 หัวข้อได้แก่ ปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ ปัญหาไม่มีการแจ้งข้อมูลล่วงหน้า และปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาด และได้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยทฤษฎี Why Why Analysis จากนั้นหามาตรการป้องกันปัญหา โดยปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ มาตรการที่นำเสนอได้เสนอแนวทาง คือ ให้นักงงานจัดทำกิจกรรม KYT เพื่อให้พนักงานทุกคนมีส่วนร่วมในการค้นหาปัญหา ปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อ มาตรการที่นำเสนอได้เสนอแนวทาง คือ ให้ผู้ส่งมอบจัดส่งแผนการผลิตให้กับบริษัท และปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาด มาตรการที่นำเสนอได้เสนอแนวทาง คือ ใช้การควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) ช่วยในการตรวจสอบข้อมูล ผลจากการเสนอมาตรการป้องกันปัญหาไปยังผู้ส่งมอบและเก็บข้อมูลหลังการปรับปรุง พบว่าปัญหาจำนวนการจัดส่งไม่ตรงตามยอดคำสั่งซื้อลดลงจาก 37.28% เป็น 14.29% ปัญหาข้อมูล Part Number ผิดพลาดลดลงจาก 21.65% เป็น 19.05% และปัญหาไม่มีการแจ้งข้อมูลล่วงหน้า เพิ่มขึ้นจาก 21.21% เป็น 23.81% ซึ่งต้องหาแนวทางการปรับปรุงต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] สมชัย อัครทิวา, Why Why Analysis เทคนิคการวิเคราะห์ห้อย่างถึงแก่น เพื่อปรับปรุงสถานประกอบการ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 7, 2550.
- [2] สมชัย อัครทิวา, เทคนิคการควบคุมดูแลด้วยการมองเห็น, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2549.
- [3] วันรัตน์ จันทกิจ, 17 เครื่องมือนักคิด Problem Solving Devices, สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, กรุงเทพฯ, 2547.
- [4] ชัยยุทธ ขวลิตนิธิกุล และ Tadashi Teraoka, คู่มือปฏิบัติเหตุเป็น 0 โดยวิธี KYT, สมาคมส่งเสริมความปลอดภัยและอนามัยในการทำงานแห่งประเทศไทย (ประเทศไทย), กรุงเทพฯ, พิมพ์ครั้งที่ 3, 2540.
- [5] ชนเนษฎี ศรีละออ, กรองแก้ว ล้าภูเงิน, จิรดา คลาดโรด, กฤตธี มุกตาสนิท, จารุวรรณ จีระออน และจิระศักดิ์ จันทร์หอม. 2563. "การศึกษาเพื่อปรับปรุงความปลอดภัยในกระบวนการผลิตด้วยการฝึกอบรม โดยใช้หลักการ Why – Why Analysis และหลักการ ECRS กรณีศึกษา บริษัท ยาคุลท์(ประเทศไทย) จำกัด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา." วารสารการบริหารและจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปีที่ 10, ฉบับที่ 1.
- [6] กาวัด เดชะศิริกุล และพัฒน พิลิษฐเกษม. 2564. "การปรับปรุงกระบวนการจัดซื้อและจัดส่งสินค้าเกษตรของ บริษัท โคโค้นท์สยาม เอ็กพอร์ท จำกัด โดยใช้แนวคิดแบบลีน." วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์, ปีที่ 7, ฉบับที่ 3.
- [7] สุชาติ ช่างสุข, พนิตนาฏ ทองนิม และอัยลดา ศรีบุญ. 2564. "การเพิ่มผลผลิตการจัดการขนถ่ายสินค้า กรณีศึกษา บริษัท เอ.บี.ซี จำกัด." วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 5, ฉบับที่ 1.
- [8] ภัทรพล สุภาคุณ และสาลินี สันติธรรมากุล, 2560, "การคัดเลือกผู้ส่งมอบวัตถุดิบสำหรับวัสดุและอุปกรณ์ก่อสร้างในเขตอำเภอเมืองจังหวัดเชียงใหม่ โดยห้่างหุ้นส่วนวิยาพาณิชย์ จำกัด." วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [9] กฤติกร พูลเจริญ, 2561, "การคัดเลือกผู้แทนจำหน่าย กรณีศึกษาโรงงานผลิตแผงวงจรไฟฟ้าชนิดยืดหยุ่นได้." คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [10] กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์, 2565, "การพัฒนาเครื่องมือการประเมินผู้ส่งมอบเชิงกลยุทธ์ กรณีศึกษาผู้ส่งมอบวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์." วารสารเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 39, ฉบับที่ 2

การศึกษาการทำงานและปรับปรุงกระบวนการผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุก Work Study and Improvement of the Trailer Coupling Manufacturing Process

อนนท์ วิภาตะไวทยะ¹ สุมนา ล้อมสุชา¹ พงศกร ภูปา¹ ปิยะ รนต์ละออง^{1*} ภาษิต ทินนาม¹ ศุภพัชร พวงแก้ว²
¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการโซ่อุปทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
E-mail: rontlaong.p@gmail.com *

Anon Vipatawaitaya¹, Sumana Lomsukha¹, Pongsakorn Phupa¹, Piya Rontlaong^{1*}, Pasit Tinam¹, Supapat Phuangkaew²

¹Department of Industrial Engineering and Supply Chain Management, Faculty of Engineering and Technology
Bansomdejchaopraya Rajaphat University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Krungthep
E-mail: rontlaong.p@gmail.com *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดเวลาในการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นของอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุก (Trailer Coupling) โดยทำการศึกษากระบวนการทำงานพร้อมกับทำการวิเคราะห์ขั้นตอนด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) ร่วมกับแผนผังการทำงาน (Flow Diagram) และปรับปรุงขั้นตอนการทำงานใหม่ด้วยหลักการ ECRS ภายหลังจากปรับปรุงสามารถปรับกระบวนการใหม่โดยตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก ทำให้เหลือขั้นตอนในการทำงานจาก 25 ขั้นตอนเหลือ 20 ขั้นตอน ลดลงไป 5 ขั้นตอน ผลการวิจัยพบว่าการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน ก่อนปรับปรุงใช้เวลา 1,600.3 วินาที และหลังปรับปรุงใช้เวลา 1,517.2 วินาที เวลาลดลง 83.1 วินาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 5.19 %

คำสำคัญ: อุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุก, การปรับปรุงกระบวนการผลิต

Abstract

The objective of this research is to improve the production process and reduce the production time to be more efficient and find the standard time of the work piece (Trailer Coupling) by studying the work process with analyzing the steps with Flow Process Chart combine with Flow Diagram and improving the workflow with the ECRS principle. After the improvement, the process can be readjusted by cutting out unnecessary steps. The work step was reduced from 25 steps to 20 steps, down to 5 steps. The results showed that, workflow improvement before the improvement is 1600.3 seconds, and after the adjustment is 1517.2 seconds, the time reduced by 83.1 seconds representing 5.19%.

Keywords: Trailer coupling, Improve the production process

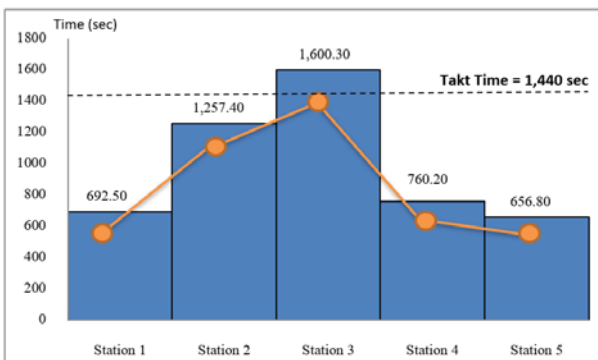
1. บทนำ

ในสภาวะการแข่งขันทางธุรกิจในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีอยู่ตลอดเวลาทั้งทางด้านการค้าที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ผู้บริหารในแต่ละองค์กรต่างมองหากลยุทธ์เพื่อที่จะทำให้องค์กรของตนเองอยู่รอดได้ การบริหารอุตสาหกรรมหรือการบริหารการผลิตและผู้บริหารส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นที่จะประยุกต์ใช้กลยุทธ์ต่างๆที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต เพิ่มขีดความสามารถในการทำกำไรให้กับองค์กร การศึกษาขั้นตอนการทำงานในการผลิตเป็นส่วนหนึ่งที่เพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อลดความสูญเปล่าและลดการรอคอยให้น้อยลงที่เกิดจากการผลิตไม่ให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มและทำให้สายการผลิตประสบปัญหาของความสูญเปล่า การนำเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมเข้าช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เพื่อลดความสูญเปล่าจากกระบวนการผลิต ส่งผลให้กระบวนการผลิตเกิดความคล่องตัวมากขึ้นและผลิตได้เร็วขึ้นอีกด้วย



รูปที่ 1 อุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุก

ในปัจจุบัน การผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุกแสดงดังรูปที่ 1 นำไปใช้ในการประกอบเข้ากับรถบรรทุกเพื่อใช้ในการลากจูงหรือพ่วงรถบรรทุกทำให้รถบรรทุกสามารถขนถ่ายสินค้าได้มากขึ้นและทำให้ไม่เสียเวลาในการทำงานและสะดวกต่อการใช้งานอีกด้วย ทำให้เกิดความต้องการการผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุกเพิ่มมากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าและนำไปใช้ในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและแสดงเวลาการทำงานของแต่ละสถานีงานทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เวลาของแต่ละสถานีงานในการผลิตข้อต่อพ่วงรถบรรทุก

จากการตรวจสอบข้อมูลในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา พบว่าสถานีงานที่ 3 ใช้เวลาในการประกอบมากที่สุดเท่ากับ 1,600.30 วินาที มีระยะเวลามากกว่าเวลาเป้าหมาย (Takt Time) 1,440 วินาที และปัญหาที่พบ คือมีขั้นตอนการทำงานมากโดยมีขั้นตอนทั้งหมด 25 ขั้นตอน ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการประกอบอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุก พบว่าในกระบวนการผลิต 1 วัน สามารถผลิตได้จำนวน 8 ตัว และ 1 ตัว ใช้เวลาในการผลิต 1 ชั่วโมง จากข้อมูลปัจจุบันพบว่าทางโรงงานไม่ได้ทำการปรับปรุงเวลาของการปฏิบัติงานมานาน ดังนั้นผู้วิจัยงานวิจัยจึงได้ปรับปรุงเวลาของการปฏิบัติงานการผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุกขึ้นมาใหม่ และปรับปรุงขั้นตอนการทำงานเพื่อลดเวลาในการผลิต ซึ่งเป็นสาเหตุที่ผู้วิจัยมีหน้าที่รับผิดชอบในกระบวนการผลิต และนำมาทำการศึกษาในครั้งนี้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม ได้แก่

2.1 การศึกษาการทำงาน

ในการบันทึกข้อมูลวิธีการทำงานใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

(1) แผนผังกระบวนการไหล (Flow Process Chart) [1] เพื่อศึกษากระบวนการทำงานผลิต

(2) แผนผังบริเวณปฏิบัติงาน (Flow Diagram) [1] เพื่อศึกษาแผนผังภาพรวมในการเคลื่อนที่ของพนักงานในการปฏิบัติงาน

2.2 การศึกษาวิธีการทำงาน

ในการวิเคราะห์วิธีการทำงานใช้เครื่องมือดังต่อไปนี้

แผนผังกิจกรรมของกระบวนการ (Process Activity Mapping) ในการพิจารณา [2]

(1) กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (Non-Value Added: NVA) และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็นต้องทำ (Necessary but Non-Value Added: NNVA) ต้องทำการตัดทิ้งไป

(2) กิจกรรมที่มีลักษณะของความสูญเปล่า (WASTE) 8 ประการมาวิเคราะห์ได้แก่ 1. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการผลิตมากเกินไป (Overproduction) 2. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการผลิตของเสีย (Defect) 3. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการล่าช้าหรือการรอคอย (Delay or Waiting) 4. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการมีวัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็น (Inventory / working-process) 5. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการขนส่งหรือขนย้าย (Transport) 6. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการกระบวนการผลิต (Process) 7. ความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Motion) 8. การใช้คนไม่เต็มความสามารถ (Underutilized People)

2.3 หลักการ ECRS

เทคนิคการปรับปรุง "หลักการ ECRS" ซึ่งประกอบด้วย 1. การกำจัด (Eliminate) คือการพยายามกำจัดความสูญเปล่า ทั้ง 8 ประการที่พบออกไป 2. การรวมกัน (Combine) คือการพิจารณาว่าสามารถรวม

ขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้ หรือไม่ 3. การจัดเรียงใหม่ (Rearrange) คือการจัดเรียงขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อลดการเคลื่อนที่ หรือการรอคอย
4. การทำให้ง่าย (Simplify) คือการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น โดยอาจจะออกแบบอุปกรณ์ช่วยยึดจับชิ้นงาน (Jig & Fixture) เข้ามาช่วยในการทำงาน

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ได้จัดทำเวลามาตรฐาน และการปรับปรุงของการผลิตลูกชิ้น [3] การเพิ่มอัตราการทำงานของเครื่องจักรบีบโลหะแผ่น [4] การปรับปรุงกระบวนการบรรจุน้ำผึ้ง [5] การปรับปรุงวิธีการทำงานในการบรรจุชิ้นงานขึ้นรูปพลาสติก [6] จาก การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยได้นำเทคนิค และเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ ดังนั้นผู้วิจัยได้นำเครื่องมือดังกล่าว มาประยุกต์ใช้ และแนวทางการวิเคราะห์หาค่ากิจกรรมในแต่ละขั้นตอนการทำงานตลอดทั้งสายการผลิต เพื่อจำแนกประเภทกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าให้อยู่ในรูปของความสูญเปล่าแต่ละประเภท จากนั้นทำการแก้ไขปรับปรุงเพื่อลดความสูญเปล่าและกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต จากนั้นทำการกำหนดแนวทางในการปรับปรุงวิธีการทำงาน และทำการปรับปรุงวิธีการทำงาน โดยการเลือกใช้เทคนิคการปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS มากำจัดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาวิธีการทำงานของกระบวนการผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุก

สามารถแบ่งขั้นตอนกระบวนการผลิตหลักได้ 5 สถานีงาน ได้แก่ สถานีงานที่ 1 Trailer coupling press HYD ข้อต่อพ่วง HYD มีเวลารวมของสถานีงานเท่ากับ 692.5 วินาที

สถานีงาน 2 Ratchet locking housing sub assembly ประกอบย่อยตัวเรือนล็อกวงล้อ มีเวลารวมของสถานีงานเท่ากับ 1,257.4 วินาที

สถานีงาน 3 Trailer coupling main assembly ประกอบหลักคัปปลิ้งรถพ่วง มีเวลารวมของสถานีงานเท่ากับ 1,600.3 วินาที

สถานีงาน 4 Painting trailer coupling ฟันสีคัปปลิ้งรถพ่วง มีเวลารวมของสถานีงานเท่ากับ 760.2 วินาที

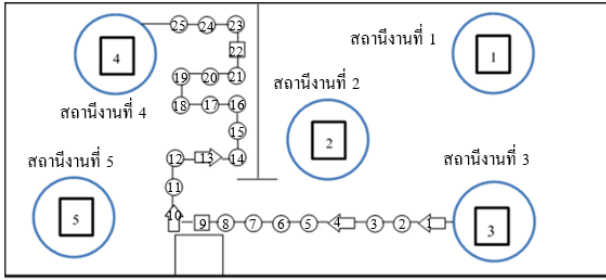
สถานีงาน 5 Packing trailer coupling บรรจุหีบห่อข้อต่อพ่วง มีเวลารวมของสถานีงานเท่ากับ 656.8 วินาที

จากข้อมูลเวลารวมของสถานีงานทั้ง 5 สถานีงาน พบว่าสถานีงานที่ 3 ใช้เวลามากที่สุด (1,600.3 วินาที) มีขั้นตอนการทำงาน 25 ขั้นตอน ดังนั้นผู้วิจัยจึงพิจารณาสถานีงานที่ 3 เพื่อมาทำการศึกษางาน โดยแผนภูมิกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) ร่วมกับแผนผังการทำงาน (Flow Diagram) เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงขั้นตอนการทำงานที่ก่อให้เกิดความสูญเปล่า แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนภูมิกระบวนการผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุกทุกสถานีงานที่ 3

ขั้นตอนการทำงาน	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์
1.เดินหยิบชิ้นส่วนประกอบ Funnel	1	11.60	⇒
2.ทาสีที่ Funnel		19.40	○
3.นำ Funnel ประกอบกับ Frame		63	○
4.เดินไปหยิบ Funnel Spring	1	10.70	⇒
5.ประกอบ Funnel Spring กับ Base Plate		6.40	○
6.ประกอบ Base Plate กับ Lower Bush		6.60	○
7.ประกอบ Hexagon Bolt with Flange Locking ยึด Base Plate กับ Lower Bush		74.50	○
8.ขันให้แน่นด้วยบล็อกลม		14.60	○
9.ตรวจสอบการทำงานของ Funnel		20	□
10.เดินไปหยิบ Coupling Bolt	1	10	⇒
11.จัดเตรียม Coupling บนโต๊ะประกอบ		3.60	○
12.ประกอบ Dowel Pin กับ Coupling Bolt		38.20	○
13.เดินไปหยิบ Lock Funnel	1	10.60	⇒
14.ทาสีที่ Lock Funnel		46.30	○
15.ประกอบ Conical Spring 25x4 & Conical Spring 36x46 กับ Lock Funnel		23.90	○
16.ทาสีที่ Coupling Bolt และ Lock Funnel		22	○
17.ทาสีที่ตัว Coupling Bolt		15	○
18.ประกอบ Coupling Bolt & Lock Funnel เข้ากับ Frame with Drawbar		95.20	○
19.ทาสีที่ชุด Ratchet Locking Housing Assembly		32.60	○
20.ประกอบ Ratchet Locking Housing Assembly กับ Frame with Drawbar		25.60	○
21.ประกอบ Hexagon Head Screw Bolt & Spring Lock Washer Nominal ยึดเข้ากับ Ratchet Locking Housing Assembly ให้แน่น		85	○
22.ตรวจเช็คการทำงาน		20	□
23.ทาสีบนผิวแกน Frame with Drawbar		25.90	○
24.ประกอบ Rubber Buffer, Spring Cap Support Plate, Attachment Bearing, Back-up Ring, Spring Cap (back) Cattle Nut เข้ากับ Frame with Drawbar		319.60	○
25.ใช้เครนเกี่ยว Trailer Coupling วางบน Pallet เพื่อส่งกระบวนการถัดไป		600	○
รวม	4	1600.3	

จากข้อมูลขั้นตอนการทำงาน ณ สถานีงานที่ 3 สามารถนำมาสร้างเป็นแผนภูมิการไหล แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิการไหลของสถานีงานที่ 3

3.2 วิเคราะห์ขั้นตอนของการเกิดความสูญเปล่า

จากการบันทึกข้อมูลด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิตดังตารางที่ 1 ทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดความสูญเปล่า ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์โดยใช้แนวคิดในการผลิตแบบลีน (Lean) ในการพิจารณาเพื่อจำแนกประเภทของกิจกรรมและความสูญเปล่าในแต่ละขั้นตอน โดยประยุกต์ใช้แผนผังกิจกรรมของกระบวนการ (Process Activity Mapping) ในการวิเคราะห์เพื่อจำแนกขั้นตอนย่อย ๆ แต่ละขั้นตอนว่าเป็นกิจกรรมที่ทำแล้วเกิดคุณค่า (Value Added: VA), กิจกรรมที่ทำแล้วไม่เกิดคุณค่า (Non Value Added: NVA), และกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็น (Necessary but Non Value Added: NNVA) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ประเภทของการเกิดความสูญเปล่า

ขั้นตอนการทำงาน	ประเภทกิจกรรม
2, 3, 5, 6, 7, 8, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24	Value Added (VA)
1, 4, 10, 11, 13	Non Value Added (NVA)
9, 22, 25	Necessary but Non Value Added (NNVA)

3.3 วิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดความสูญเปล่า

โดยการตรวจสอบสัญลักษณ์แต่ละตัวในแผนภูมิที่เราได้บันทึกข้อมูลของการทำงานไว้และทำการสอบถามจากพนักงานโดยตรงเกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตในสถานีงานที่ 3 พบว่าในสถานีงานนี้มีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 25 ขั้นตอน ทำให้ใช้เวลาในการประกอบนาน และนำสถานีงานนี้มาทำการวิเคราะห์และหาแนวทางในการแก้ไขทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าขั้นตอนของงานหรือกิจกรรมที่ทำอยู่นั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ หากมีความไม่เหมาะสมแล้วก็จะได้อาวิวิธีเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงปัญหาในกระบวนการผลิตต่อไป

จากแผนภูมิกระบวนการผลิตในกระบวนการผลิตในสถานีงานที่ 3 ได้มีการเดินหีบขึ้นชิ้นส่วนประกอบหลายรอบทำให้เสียเวลาในการประกอบเกิดขึ้นและไม่มีอุปกรณ์จับยึดในการช่วยยึดชิ้นงานทำให้ใช้เวลาในการประกอบนานดังนี้

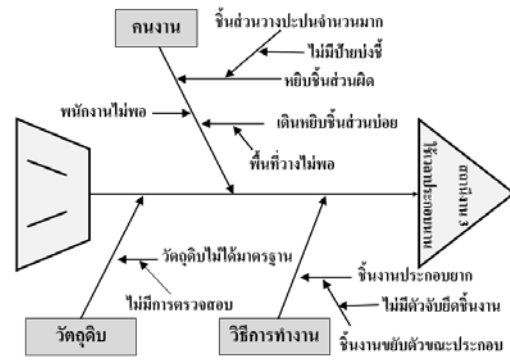
ขั้นตอนที่ 1 เดินไปหีบขึ้นชิ้นส่วนประกอบ 11.60 วินาที

ขั้นตอนที่ 4 เดินไปหีบขึ้นชิ้นส่วนประกอบ 10.70 วินาที

ขั้นตอนที่ 10 เดินไปหีบขึ้นชิ้นส่วนประกอบ 10.00 วินาที
ขั้นตอนที่ 11 นำ Coupling bolt วางบนโต๊ะประกอบ 3.60 วินาที
ขั้นตอนที่ 12 นำ ประกอบ Dowel Pin 10*20 เข้ากับ Coupling Bolt แล้วใช้ค้อนตี 38.20 วินาที

ขั้นตอนที่ 13 เดินไปหีบขึ้นชิ้นส่วนประกอบ 10.60 วินาที
ขั้นตอนที่ 22 ตรวจสอบเช็คกลไกการทำงาน 20.00 วินาที

จากขั้นตอนการทำงานที่กล่าวมาพบว่าเป็นขั้นตอนการทำงานประเภททำแล้วไม่เกิดคุณค่า (Non Value Added: NVA) ที่ได้จากการวิเคราะห์ดังตารางที่ 2 แล้วนั้น ส่งผลให้กระบวนการผลิตเกิดประสิทธิภาพน้อยลง เกิดความล่าช้า และเกิดค่าใช้จ่ายที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่ม เช่น ค่าไฟฟ้า ค่าน้ำ ค่าวัสดุที่สูญเปล่า เป็นต้นเหตุทำให้สายการผลิตเกิดปัญหาความสูญเปล่าจึงได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาและหาสาเหตุด้วยแผนผังก้างปลาของสถานีงานที่ 3 ที่ใช้เวลาในการประกอบนานเกินไปแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์ปัญหา

3.4 กำหนดแนวทางการปรับปรุงแก้ไข

สาเหตุของปัญหาการผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุก คือใช้เวลาในการประกอบมากเกินไป พบว่าพนักงานค้นหา และเดินหีบขึ้นชิ้นส่วนบ่อยเป็นระยะเวลารวม 42.9 วินาที เนื่องจากพื้นที่ในการประกอบไม่เพียงพอที่จะวางชิ้นงาน ทำให้เดินหีบขึ้นชิ้นงานบ่อย และไม่มีตัวจับยึดชิ้นงานทำให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ได้ ส่งผลให้ผลิตสินค้าไม่ทันตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจจะเกิดข้อบกพร่องในเรื่องเวลาของการทำงานในกระบวนการผลิต

จากการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลาดังรูปที่ 3 สามารถกำหนดแนวทางปรับปรุงจากปัจจัยการผลิตได้ดังนี้

ปัจจัยคนงาน (Man) โดยจัดทำป้ายบังซี่ชิ้นงานเพื่อที่จะได้หีบขึ้นชิ้นงานได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น จะได้ไม่เสียเวลาในการหาและตรวจสอบชิ้นงานทุกครั้งเมื่อนำมาประกอบจะได้ไม่เกิดข้อบกพร่องและสอดคล้องกับการวางแผนการผลิต เพื่อควบคุมเวลาผลิตให้ทันตามกำหนดเวลาที่ตั้งเป้าหมายไว้ได้ โดยปัจจัยเหล่านี้จะสามารถควบคุมเวลาให้ลดลงได้ จึงทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยเห็นพววยังไม่มีป้ายบังซี่บล็อกรวมชิ้นส่วนประกอบทำให้การหีบขึ้นชิ้นส่วน

ประกอบเกิดความล่าช้าในการหยิบทำให้เสียเวลาในการประกอบ จึงทำการแก้ไขเพื่อลดเวลาในการประกอบ

ปัจจัยวิธีการทำงาน (Method) พบว่าเกิดปัญหาในกรณีชิ้นงานประกอบยาก เนื่องจากชิ้นงานขยับตัวระหว่างประกอบจึงทำให้ใช้เวลาประกอบนาน ดังนั้นจึงจัดสร้างอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน (Jig & Fixture) เพื่อช่วยให้ทำงานได้สะดวก รวดเร็วขึ้นและเกิดความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

โดยการเก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการ ECRS เข้ามาช่วยในกระบวนการผลิตว่าสามารถลดขั้นตอนไหนได้บ้างที่ไม่จำเป็นหรือว่าทำบ่อยครั้ง หรือใช้อุปกรณ์อื่นๆช่วย เช่น ตัวยึดชิ้นงานและการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิต หรือทำป้ายบ่งชี้ เพื่อให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและทำให้ผลผลิตของเราเพิ่มสูงขึ้นอีกด้วย

ส่วนที่ 1 คือ การทำป้ายบ่งชี้บอกชิ้นส่วนประกอบเพื่อให้เดินหยิบชิ้นส่วนประกอบได้สะดวกขึ้นและทำให้การทำงานเร็วขึ้นแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การทำป้ายบ่งชี้

ส่วนที่ 2 คือ เป็นอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน โดยมีการออกแบบจากหน้างานว่าขนาดของ Coupling bolt สามารถวางชิ้นงานได้พอดีหรือไม่ ถ้าพอดีแล้วจะทำให้การทำงานของเราสะดวกยิ่งขึ้นและช่วยในขั้นตอนที่ 11 โดย Coupling bolt วางบน Jig ประกอบ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน

การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงขั้นตอนการผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุกด้วยการวิเคราะห์ประเภทของการเกิดความสูญเสียเปล่าดังตารางที่ 2 นั้น จึงนำขั้นตอนการปฏิบัติงานที่เป็นประเภทกิจกรรมที่ไม่

ก่อให้เกิดคุณค่า (NVA) มาปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS สรุปได้ดังตารางที่ 3 ถึง 8

ตารางที่ 3 การปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS ขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 1 เดินไปหยิบชิ้นส่วนประกอบ Funnel	
Eliminate	ไม่สามารถตัดขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Combine	สามารถรวมขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Rearrange	ไม่สามารถจัดลำดับงานใหม่ได้
Simplify	ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วย
การปฏิบัติงานใหม่	หยิบชิ้นส่วนประกอบทั้งหมดเตรียมไว้

ตารางที่ 4 การปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS ขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 เดินไปหยิบชิ้นส่วนประกอบ Funnel Spring	
Eliminate	สามารถตัดขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Combine	สามารถรวมขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Rearrange	ไม่สามารถจัดลำดับงานใหม่ได้
Simplify	ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วย
การปฏิบัติงานใหม่	นำไปรวมกับขั้นตอนที่ 1

ตารางที่ 5 การปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS ขั้นตอนที่ 10

ขั้นตอนที่ 10 เดินไปหยิบชิ้นส่วนประกอบ Coupling bolt	
Eliminate	สามารถตัดขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Combine	สามารถรวมขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Rearrange	ไม่สามารถจัดลำดับงานใหม่ได้
Simplify	ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วย
การปฏิบัติงานใหม่	นำไปรวมกับขั้นตอนที่ 1

ตารางที่ 6 การปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS ขั้นตอนที่ 11 และ 12

ขั้นตอนที่ 11 นำ Coupling bolt วางบนโต๊ะประกอบ	
ขั้นตอนที่ 12 ประกอบ Dowel Pin เข้ากับ Coupling bolt	
Eliminate	ไม่สามารถตัดขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Combine	ไม่สามารถรวมขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Rearrange	ไม่สามารถจัดลำดับงานใหม่ได้
Simplify	จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วย
การปฏิบัติงานใหม่	สร้างอุปกรณ์ช่วยจับชิ้นงาน

ตารางที่ 7 การปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS ขั้นตอนที่ 13

ขั้นตอนที่ 13 เดินไปหยิบชิ้นส่วนประกอบ Lock funnel	
Eliminate	สามารถตัดขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Combine	สามารถรวมขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Rearrange	ไม่สามารถจัดลำดับงานใหม่ได้
Simplify	ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วย
การปฏิบัติงานใหม่	นำไปรวมกับขั้นตอนที่ 1

ตารางที่ 8 การปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS ชั้นตอนที่ 22

ชั้นตอนที่ 22 ตรวจสอบหลักการ ECRS	
Eliminate	สามารถตัดขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Combine	สามารถรวมขั้นตอนการทำงานนี้ได้
Rearrange	ไม่สามารถจัดลำดับงานใหม่ได้
Simplify	ไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ช่วย
การปฏิบัติงานใหม่	สามารถตัดขั้นตอนงานออกได้

จากตารางที่ 3 ถึง 8 สามารถสรุปวิธีการปรับปรุงด้วยหลักการ ECRS ได้ดังนี้ ได้แก่ การขจัดออก (Eliminate) ลดได้ 1 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 22 ตรวจสอบหลักการ ECRS จะไม่เสียเวลาในการตรวจสอบ สามารถตรวจสอบอุปกรณ์ไว้ก่อนได้เลยก่อนที่จะนำมาประกอบ การรวมกัน (Combine) : ลดได้ 6 ขั้นตอน โดยรวมขั้นตอนที่ 1,4,10,11 และ 13 เข้าด้วยกันได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 เดินไปหยิบชิ้นส่วนประกอบ ทำให้ไม่ต้องเสียเวลาในการเดินหลายรอบ และเวลาที่เดินไปทำอย่างอื่นได้โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น การทำให้่ง่าย (Simplify) เปลี่ยนวิธีการทำงานในขั้นตอนที่ 11 และ 12 โดยการนำ Jig มาวางช่วยในการยึดชิ้นงานไม่ให้ชิ้นงานเคลื่อนที่ทำให้พนักงานทำงานสะดวกและทำงานได้คล่องตัวขึ้น และสรุปเวลาหลังจากการปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปขั้นตอนการทำงาน ระยะทางและเวลาหลังการปรับปรุง

ขั้นตอนปรับปรุง	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)
4. เดินไปหยิบชิ้นส่วน Funnel Spring	1	10.7
10. เดินไปหยิบชิ้นส่วนประกอบ Coupling bolt	1	10.0
11. นำ Coupling bolt วางบนโต๊ะประกอบ	-	3.60
12. ประกอบ Dowel Pin เข้ากับ Coupling bolt	-	28.20
13. เดินไปหยิบชิ้นส่วนประกอบ Lock funnel	1	10.60
22. ตรวจสอบหลักการ ECRS	-	20.0
รวม	3	83.1

5. สรุปผล

การวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำเทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรมมาใช้ในการศึกษากระบวนการผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุก และบันทึกข้อมูลกระบวนการผลิตด้วยแบบด้วยแบบฟอร์มบันทึก แผนภูมิกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Diagram) ดำเนินการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยหลักการ ECRS แล้ววิเคราะห์ผล และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนทำการปรับปรุงจากนั้นสรุปผลที่ได้จากการปรับปรุง โดยผลการปรับปรุงของกระบวนการผลิตอุปกรณ์ต่อพ่วงรถบรรทุก พบว่าเวลาผลิตของสถานีงานที่ 3 ก่อนปรับปรุงใช้เวลาทั้งหมด 1,600.3 วินาที มีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 25 ขั้นตอน หลังการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนวิธีการทำงานใหม่และตัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกโดยใช้เวลาทั้งหมด 1,517.2 วินาที พบว่าขั้นตอนในการทำงานลดลงไป 5 ขั้นตอน จากเดิม

25 ขั้นตอน ลดลงเหลือ 20 ขั้นตอน เวลาลดลง 83.1 วินาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 5.19 % จะเห็นได้ว่ากำลังการผลิตต่อวันเพิ่มขึ้น 1 ตัว เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ลดลงและทำให้กระบวนการทำงานง่ายขึ้นและผลผลิตเพิ่มขึ้นทำให้ผลผลิตสินค้าได้ทันตามความต้องการของลูกค้าและประโยชน์ในการทำวิจัยครั้งนี้ทำให้เห็นว่า การทำงานครั้งนี้มีการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานต่างๆให้สะดวกขึ้น และทำให้พนักงานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและลดความเมื่อยล้าในการทำงานอีกด้วย

6. ข้อเสนอแนะ

เสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงงานสถานีงานที่ 3 ขั้นตอนการทำงานที่ 18, 21 และ 24 ที่ยังไม่ดีทำการปรับปรุง เนื่องจากมีเวลาในการทำงานเป็นระยะเวลานาน โดยทำการออกแบบอุปกรณ์จับชิ้นงานเพื่อทำให้กระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและทำให้เวลาการทำงานของสถานีงานที่เหลือลดลงเพื่อให้ได้เวลาตามเป้าหมาย (Takt Time) ที่ตั้งไว้ และงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอุตสาหกรรมการผลิตโดยหรืองานบริการทั่วไปได้ โดยความสำคัญอยู่ที่การวิเคราะห์ค้นหาความสูญเปล่า (Waste) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการและกำหนดแนวทางการแก้ไขเพื่อกำหนดวิธีการทำงานที่มีประสิทธิภาพขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. การศึกษางานอุตสาหกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2552.
- [2] Don Tapping, Tom Leyster, Tom Shuker. มุ่งสู่ "ลีน" ด้วยการจัดการสายธารคุณค่า, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์ อี.ไอ.เอสแควร์, 2550.
- [3] พงษ์ธีรวัฒน์ ผ่องใส ณัฐพงษ์ นกตอ และรัฐพล ทะเสนอด. 2560. "การศึกษาวิธีการทำงานและหาเวลามาตรฐานเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตลูกชิ้น กรณีศึกษา: โรงงานลูกชิ้น ป.บางใหญ่." ปริญญาโท คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.
- [4] ชิตษณ ภัคดีวานิช และศุภชัย วีระเดช. 2564. "การเพิ่มอัตราการทำงานของเครื่องจักรบีบโลหะแผ่นด้วยหลักการ ECRS." PBRU Science Journal, ปีที่ 18, ฉบับที่ 2: 86-97.
- [5] วรพจน์ ศิริรักษ์, นิวัติชัย โจ้คำ, อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล, ธวัชชัย คล่องดี และศรีธัญญา ศิริแสน. 2565. "การใช้เทคนิค ECRS เพื่อปรับปรุงกระบวนการบรรจุน้ำผึ้ง." วารสารเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2: 1-10.
- [6] จิรวัฒน์ วรวิชัย, ภาควิชา ใจชมพู, ธวัชชัย ไชยลังการ และณัฐภัทร กาญจนเรืองรอง. 2563. "การปรับปรุงวิธีการทำงานในการบรรจุชิ้นงานขึ้นรูปพลาสติก กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์." วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, ปีที่ 10, ฉบับที่ 2: 148-164

การพัฒนาการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษาสินค้าประเภทวัสดุก่อสร้าง

Improvement of Inventory Management: A Case Study of Construction Products

ภาณุวัฒน์ แก้วสงขลา^{1*} วณิดา รัตนนามณี² กุลภัสร์ ทองแก้ว² วันฐัมพงษ์ คงแก้ว²
¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
²ศูนย์วิจัยอุตสาหกรรมอัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: 5910110252@psu.ac.th*

Panuwat Kaewsongkhla^{1*}, Wanida Rattananamee², Kunlaphat Thongkaew², Wanatchapong Kongkaew²

¹Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

²Smart Industry Research Center, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

E-mail: 5910110252@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจซื้อขายสินค้าประเภทวัสดุก่อสร้าง เครื่องมือช่างและของตกแต่งภายใน ซึ่งมีสินค้ามากกว่า 30,000 รายการ จากการสำรวจพนักงานใช้เวลาในการจัดเก็บสินค้าในคลังโดยเฉลี่ย 12 นาทีต่อใบสั่งซื้อ ซึ่งใช้เวลามากกว่าเวลามาตรฐานที่ถูกกำหนดไว้ 9 นาที เมื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่าการบริหารจัดการพื้นที่ภายในคลังสินค้าไม่เหมาะสมกับปริมาณสินค้าและการดำเนินหยิบสินค้าไม่มีมาตรฐานกำหนดส่งผลให้เกิดข้อผิดพลาดแสดงสินค้าในระบบกับในคลังจริงที่เกิดขึ้นมีความแตกต่าง ทำให้มีการสูญเสียเวลาในการเดินหาและหยิบสินค้าในคลังเพื่อจัดเก็บ สิ่งนี้ส่งผลบริษัทด้านค่าใช้จ่ายของเวลาจัดเก็บสินค้าที่สูญเสียและลดศักยภาพการแข่งขันในการค้าขาย ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาการจัดการคลังสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บสินค้า ลดระยะทางและเวลาในการหยิบสินค้า โดยการวิจัยเริ่มจากศึกษากระบวนการจัดเก็บสินค้าเพื่อวิเคราะห์สาเหตุของความสูญเสียที่เกิดขึ้นเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงผังคลังสินค้าและกำหนดมาตรฐานการจัดเก็บสินค้า ผลจากการดำเนินงานพบว่าการปรับปรุงผังคลังสินค้าโดยให้กลุ่มสินค้าที่มีมูลค่าสูงและมีความถี่ในการหยิบสูงอยู่ใกล้บริเวณทางออก และการกำหนดวิธีปฏิบัติงานมาตรฐานจำนวน 15 ขั้นตอน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าคลังสินค้าและสามารถลดระยะทางรวมการจัดเก็บสินค้าลงได้ 61.5%

คำสำคัญ: การจัดการคลังสินค้า สินค้าประเภทวัสดุก่อสร้าง วิธีปฏิบัติงานมาตรฐาน

Abstract

The case study company is a business that trades in construction materials, tools, and interior decoration products, with over 30,000 items in stock. According to employee surveys, storing each item in the warehouse takes an average of 12 minutes, which is more than the recommended time of 9 minutes. After determining the root of the issue, it was discovered that the picking process lacked established methods and that the warehouse management was insufficient for the volume of products. Due to the differences between the system's product presentation and the warehouse's real inventory, it took longer to locate and choose the right items for storage. This issue has increased the company's costs due to the time wasted storing products and decreased its market competitiveness. Consequently, the purpose of this study is to establish warehouse management in order to increase the efficiency of product storage and reduce the distance and time required for item picking. The research began by examining the storage process and analyzing the causes of losses so that the data could be used to optimize the warehouse layout and standardize storage procedures. The results demonstrated that by optimizing the warehouse layout, grouping high-value and frequently picked items near the exit, and standardizing storage procedures into 15 steps, the efficiency of warehouse management could be enhanced and the distance and time required for picking items could be reduced by 61.5%.

Keywords: Warehouse management, Construction products, Standard work instruction

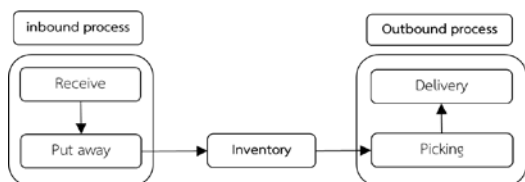
1. บทนำ

การจัดเก็บสินค้าในคลังของบริษัทกรณีศึกษา ประเภทสินค้าวัสดุ ก่อสร้าง ประกอบด้วย สี กระจกเบื้องสุกัณฑ์ และเหล็กเส้น มีรายการสินค้ามากกว่า 30,000 รายการ มียอดซื้อประมาณ 350 คำสั่งต่อวัน และ 3-5 รายการต่อคำสั่งซื้อ คลังสินค้ามีพื้นที่สำหรับเก็บสินค้าทั้งหมด ประมาณ 7,080 ตารางเมตร ปัญหาที่บริษัทประสบคือการจัดเก็บสินค้า มีความล่าช้ากว่าเวลามาตรฐาน และเมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุพบว่า ข้อมูลสินค้าในคลังไม่ตรงกับข้อมูลสินค้าในระบบ ทำให้สูญเสียเวลาในการค้นหาหยิบสินค้าเพื่อเบิก-จ่ายสินค้า ทำให้ลูกค้าเกิดการรอสินค้านานและบริษัทสูญเสียโอกาสการขาย จากปัญหาดังกล่าวทำให้อุบัติการณ์วิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวเพื่อหาสาเหตุที่มีผลทำให้เกิดความสูญเสีย โดยใช้ฟังก์ชันการวิเคราะห์หาสาเหตุของความแตกต่างของข้อมูลคลังสินค้า (Stock error) ดังแสดงในรูปที่ 2 และใช้แผนภูมิการไหล (ดังตารางที่ 1) ศึกษากระบวนการเบิก-จ่ายสินค้าเพื่อวิเคราะห์หาความสูญเสียที่เกิดขึ้น จากการวิเคราะห์ฟังก์ชันการไหลพบว่า มี 2 สาเหตุ คือ ขาดขั้นตอนการทำงานที่มีมาตรฐาน และการจัดวางผังสินค้าไม่เหมาะสม ดังนั้นทางโครงการนี้จึงมีความต้องการพัฒนาระบบการจัดการคลังสินค้าให้สามารถรองรับกับการขยายตัวของธุรกิจ โดยการออกแบบคลังสินค้าให้มีการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการจัดการคลังสินค้าสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บสินค้า ลดระยะทางและเวลาในการหยิบสินค้า โดยการวิจัยเริ่มจากการศึกษากระบวนการจัดเก็บสินค้าเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเสียที่เกิดขึ้นเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงผังคลังสินค้า และกำหนดมาตรฐานการจัดเก็บสินค้า ประโยชน์จากการดำเนินงานวิจัยนอกเหนือจากการลดระยะเวลาในการเบิกจ่ายสามารถช่วยลดความผิดพลาดระหว่างจำนวนสินค้าจริงและจำนวนสินค้าในระบบ เพิ่มยอดขายสินค้าและศักยภาพการแข่งขันให้แก่บริษัทได้

ในการทำงานของบริษัท พบว่าปัญหาหนึ่งที่สำคัญและเกิดขึ้นคือ จำนวนสินค้าที่แสดงในระบบการจัดการคลังสินค้าไม่ตรงกับจำนวนสินค้าจริงที่อยู่ในคลังสินค้า หากพิจารณาขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับจำนวนสินค้าในระบบจะแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน คือ

1. การรับสินค้าจากซัพพลายเออร์ (inbound process)
2. การนำสินค้าออกจากคลัง (outbound process)

ทั้งสองขั้นตอนเป็นสิ่งที่ส่งผลให้การรายงานยอด stock สินค้ามีความผิดพลาดเกิดขึ้นแสดงกระบวนการไหลของสินค้าดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการไหลของสินค้า

การวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานของคลังสินค้าว่ามีขั้นตอนใดบ้างที่ ยังมีความสูญเสียเกิดขึ้นไม่ว่าจะเป็นการสูญเสียเวลา แรงงาน หรือค่าใช้จ่าย ผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือการวิเคราะห์การทำงานได้แก่ แผนภูมิการไหล (flow process chart) ในการวิเคราะห์หาขั้นตอนการทำงานที่ก่อให้เกิด การรายยอดไม่ตรงและการทำงานที่ก่อให้เกิดความสูญเสียด้านแรงงานและค่าใช้จ่าย โดยการแยกขั้นตอนการทำงานในการวิเคราะห์ เช่น ขั้นตอนการรับสินค้า ขั้นตอนการจัดเก็บ และขั้นตอนการหยิบออก พร้อมทั้งจับเวลาการทำงานและวัดระยะทางของทุกขั้นตอน ซึ่งการเก็บข้อมูลเวลาและระยะทางจะเก็บไปพร้อมกันและเก็บซ้ำ 3 ครั้งเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยเวลาที่เป็นตัวแทนเวลาการทำงานของกระบวนการได้ แสดงตัวอย่างแผนภูมิการไหล

ตารางที่ 1 ตัวอย่างแผนภูมิการไหลของกระบวนการรับสินค้า

Flow process chart : คน		สัญลักษณ์				เวลา	ระยะทาง	Loss	STE
	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	○	□	D	⇒				
1	เคลื่อนย้ายสินค้าลง				⇒	ไม่คิด	ไม่คิด		
2	ตรวจสอบจำนวนและการชำรุด		■		⇒	10.00			
3	เดินกลับไปไปยังห้องทำงาน				⇒	0.833	30.5		
4	บันทึกข้อมูลการรับสินค้า	●			⇒	1.03			
5	เดินไปยังแผนกบัญชี				⇒	3.48	127.4		
6	ส่งเอกสารให้พนักงานบัญชี	●			⇒	0.91			
7	เดินกลับมายังแผนก				⇒	3.32	127.4		
	รวม	2	1	-	4	-	19.57	285.3	2

- ขั้นตอนที่ทำให้เกิดความสูญเสีย
- ขั้นตอนที่ทำให้เกิด Stock error

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่า มีขั้นตอนที่ทำให้พนักงานเกิดการรอคอยทั้งหมด 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเก็บสินค้าของทุกกลุ่ม และขั้นตอนการหยิบออกกรณีรับเองของทุกกลุ่ม ทำให้เกิดการสูญเสียจากขั้นตอนที่รอคอยเป็นเวลา 12 นาทีต่อคำสั่งซื้อของการทำงาน จากแผนภูมิการไหลของงานสามารถสรุปขั้นตอนที่เกิดความสูญเสียได้ดังนี้

1) การส่งเอกสารไปยังแผนกบัญชีที่มีความสูญเสีย คือ การใช้เวลาไม่เกิดประโยชน์ซึ่งทำให้ขั้นตอนการทำงานถัดไปเกิดการรอคอยสาเหตุมาจากพนักงานไม่ยอมเดินซ้ำหลายรอบเนื่องจากระยะทางไกล

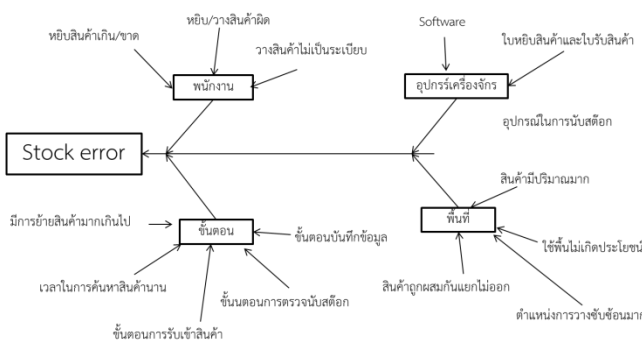
2) การลงสินค้าเพื่อตรวจสอบจำนวนและการชำรุดของสินค้ามีความสูญเสีย คือ พนักงานเกิดการรอคอยเป็นจำนวนมากจากปริมาณสินค้าที่เดินไปยังพื้นที่ทางเดินทำให้จราจรติดขัด มีสาเหตุมาจากการตรวจสอบนานจากสินค้าที่มีปริมาณมากและใช้เวลาการทำรับเข้าระบบที่นานเพราะมีขั้นตอนการทำงานหลายขั้นตอน

3) การหยิบสินค้ามีความสูญเสีย คือ ทำให้พนักงานเกิดการรอคอยซึ่งเกิดจากหลายปัจจัย ได้แก่ พนักงานหาสินค้าไม่เจอ พนักงานหยิบสินค้าผิด พนักงานรอ бил จากลูกค้า ระยะทางที่ไกล และสินค้าที่หยิบลำบาก ทั้งหมดมีสาเหตุมาจากพื้นที่ที่ไม่เพียงพอสำหรับหยิบสินค้ามากองเพื่อรอให้ลูกค้ามารับ พนักงานจัดเก็บสินค้าผิดตำแหน่ง พนักงานไม่รู้จักรหัสสินค้า และระบบการจัดเก็บสินค้าที่ยังขาดประสิทธิภาพคือเมื่อข้อมูลเข้าสู่ระบบแต่สินค้ายังอยู่นอกชั้นวางสินค้า

เมื่อวิเคราะห์ความสูญเสียที่เกิดขึ้นทางผู้วิจัยได้ทำการหาสาเหตุของความสูญเสียที่เกิดขึ้นพบว่า ขั้นตอนการเก็บสินค้ากลุ่มเหล็กเกิดการรอกอยนั้นสาเหตุคือ พนักงานรอกเอกสารในการจัดเก็บสินค้าจากแผนกบัญชี เนื่องจากขั้นตอนนี้ต้องให้แผนกบัญชีเป็นผู้บันทึกข้อมูลเข้าในระบบสินค้าคงคลัง และการรอกอยที่เกิดจากขั้นตอนการหยิบออกกรณีสิ่งนั้น มีสาเหตุคือ ไม่มีพื้นที่เพียงพอสำหรับการวางสินค้าสำหรับรอให้ลูกค้ามารับ ซึ่งต้องรอให้พื้นที่บริเวณนั้นว่างก่อนถึงจะไปนำสินค้าตามใบหยิบมาวางได้

การหาสาเหตุของการรายงานยอดสินค้าไม่ตรงกับในระบบ โดยผู้จัดทำได้นำหลักการหาสาเหตุจากแผนภาพกังปลา แสดงดังรูปที่ 2 พบว่ามีสาเหตุเกิดจากขั้นตอนการทำงาน ได้แก่ การรับสินค้า การจัดเก็บสินค้า และการหยิบสินค้า ซึ่งมี 3 สาเหตุหลักได้แก่

- 1) ในขั้นตอนการรับสินค้าและการหยิบสินค้าไม่มีมาตรฐานในการทำงานอย่างชัดเจน เช่น หลักการตรวจสอบสินค้าของพนักงานแตกต่างกัน การใช้อุปกรณ์ในการนับจำนวนสินค้าที่แตกต่างกัน
- 2) ในขั้นตอนการรับและการหยิบสินค้ามีการบันทึกข้อมูลเข้าในระบบที่ผิดพลาด เช่น พนักงานบัญชีรอกตัวเลขผิดและไม่มี การทวนสอบซ้ำ และพนักงานตรวจสอบสอยฝ่าย QC ตรวจสอบจำนวนผิดพลาดและไม่มี การทวนสอบซ้ำ
- 3) การเก็บสินค้าที่ผิดตำแหน่งทำให้หาสินค้าไม่เจอเมื่อต้องการนับสินค้าคงคลัง มีสาเหตุรองหลายอย่าง เช่น พื้นที่เก็บสินค้าไม่เพียงพอ ตำแหน่งสินค้าที่ไม่เหมาะสม และขาดระบบการจัดเก็บที่มีประสิทธิภาพจากการวิเคราะห์หาสาเหตุ พบว่าคลังสินค้ามีขั้นตอนการทำงานให้เกิดความสูญเสียด้านแรงงานและเวลาของขั้นตอนการรับสินค้า การเก็บสินค้าและการหยิบสินค้าออกซึ่งส่งผลกระทบต่อทำให้เกิด Stock error ดังนั้นจึงแก้ไขปัญหาด้วย 2 แนวทาง ได้แก่ 1 แนวทางการปรับปรุงผังคลังสินค้าเพื่อลดการเคลื่อนที่ของพนักงานและอุปกรณ์ขนถ่าย 2 การปรับปรุงขั้นตอนการทำงานที่ทำให้เกิดความสูญเสียซึ่งได้แก่ ขั้นตอนของการรับสินค้า การเก็บสินค้าและการหยิบสินค้าออก ซึ่งทั้ง 2 แนวทางสามารถอธิบายขั้นตอนการปรับปรุงในหัวข้อที่ 3



รูปที่ 2. แผนภาพกังปลาแสดงสาเหตุ

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ามีการพัฒนาแบบจำลองโซ่อุปทานในการทำงานร่วมกันระหว่างธุรกิจค้าส่ง-ค้าปลีก [1] มีการใช้ทฤษฎีการจัดวางโดยเรียงตามประเภทความถี่ในการเข้าออกของสินค้าเพื่อกำหนดกระบวนการเลือกหยิบสินค้า การจัดเก็บและนำสินค้าออกจากคลังสินค้า นอกจากนี้มีการปรับปรุงคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [2] จากการจัดวางตำแหน่งสินค้าให้มีการทำงานที่ง่ายและรวดเร็วในการทำงานด้วยหลักทฤษฎีการวิเคราะห์ ABC และรูปแบบการจัดคลังสินค้าที่เหมาะสมกับการทำงานเพื่อลดเวลาการทำงานและต้นทุนตามหลักทฤษฎีการจัดการคลังสินค้า วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพตามหลักการการจัดการสินค้าคงคลังเพื่อให้เกิดการทำงานที่รวดเร็วขึ้นซึ่งส่งผลให้ได้ต้นทุนลดลง โดยการสุ่มเลือกใบออกลูกค้ามาทดลองในวิธีการหยิบ และเก็บข้อมูลด้านเวลา เพื่อเปรียบเทียบหาเวลาที่ที่ดีที่สุด ซึ่งพบว่าสามารถลดต้นทุนได้ ลดเวลาทำงานได้ 14.48% และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ 13.2% ปรานี กัมมาระบุตร [3] ได้มีการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยผังกังปลา และการจัดการสินค้าคงคลังแบ่งรายการสินค้าด้วย ABC ทฤษฎีการสั่งซื้อแบบประหยัด (EOQ) เพื่อลดต้นทุนการเก็บสินค้า ภาวิณี อาจปฐ [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการลดเวลาสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต เพื่อขจัดงานที่ไม่เกิดมูลค่าต่อผลิตภัณฑ์ โดยการดำเนินงานวิจัยรวบรวมข้อมูล เพื่อวิเคราะห์หาความสูญเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตจริงแผนภูมิกังปลาและเทคนิคการเพิ่มผลผลิตโดยการลดความสูญเสียผลที่เกิดขึ้นคือ ทำให้สัดส่วนของเวลาที่ไม่มีมูลค่าลดลง สมศักดิ์ ตรีสัตย์ [5] ได้ออกแบบผังโรงงานโดยพิจารณาการไหลของวัสดุ เพื่อลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายวัสดุ ส่งผลให้สามารถออกแบบผังโรงงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จุฬาลักษณ์ ตั้งวิวัฒน์วงศ์ [6] ศึกษาใช้การวิเคราะห์หลักการของเสีย 7 ประการเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพ ข้อมูลปฐมภูมิเก็บรวบรวมโดยวิธีจากการสังเกตและสัมภาษณ์เชิงลึก และรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากสถิติการเบิกจ่ายของคลังสินค้า ผลปรากฏว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพโดยการปรับพื้นที่จัดเก็บ ย้ายสถานที่จัดเก็บ และจัดเรียงรายการพัสดุใหม่เพื่อให้ง่ายต่อการหยิบและวางบนชั้นวางสามารถลดการหยิบสินค้าโดยพื้นที่จัดเก็บใหม่เพิ่มขึ้น 40% ทำให้ใช้พื้นที่ได้ดีขึ้น วิธีการนี้ยังช่วยลดความซับซ้อนของกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เช่น การนับ ค้นหาและจัดเก็บสินค้าได้ มีงานวิจัยได้เสนอแนวคิดเกี่ยวกับการจัดวางสินค้าและเครื่องมือที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าที่เหมาะสมกับสินค้าแต่ละประเภท [7-9]

3. ขั้นตอนการปรับปรุง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการปรับปรุงการจัดการคลังสินค้าประกอบด้วย

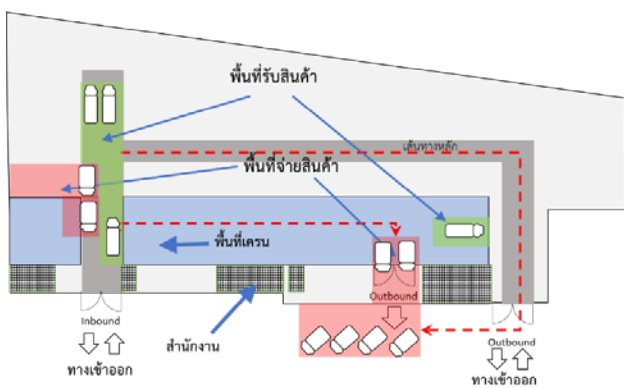
1. การปรับปรุงผังคลังสินค้า และ
2. จัดทำวิธีปฏิบัติงานมาตรฐาน (Work Instruction: WI) และรายละเอียดการปฏิบัติงาน (Work Details: WD) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การปรับปรุงผังคลังสินค้า

การปรับปรุงผังคลังสินค้าจะประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินงาน 7 ขั้นตอน คือ

1) กำหนดวัตถุประสงค์ในการออกแบบ โดยเป็นการออกแบบผังคลังสินค้าที่ทำให้มีเวลาสูญเสียในการทำงานน้อยสุดนั้น ถ้าใช้ตัวชี้วัดเรื่องเวลาอาจทำได้ยากเนื่องจากเวลามีปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้หลายอย่าง ดังนั้นผู้จัดทำจึงใช้ระยะทางเฉลี่ยของกลุ่มสินค้าที่มีมูลค่าสูงและมีความถี่ในการหยิบสูง (กลุ่ม AF) ในการกำหนดตัวชี้วัดสำหรับการออกแบบผังในครั้งนี้เนื่องจากระยะทางที่ลดลงส่งผลให้เวลาดลดลงตามไปด้วย โดยระยะทางเฉลี่ยมีการวิเคราะห์มาจากการวัดระยะห่างระหว่างจุดเริ่มต้น (จุดทางเข้า/ทางออก) กับตำแหน่งสินค้า แล้วคูณกับความถี่ในการหยิบสินค้า โดยความถี่การหยิบของสินค้าได้นำข้อมูลมาจากฝ่ายขาย (ข้อมูลที่เก็บย้อนหลัง 3 เดือน) คูณกับระยะทาง จากนั้นรวมกันเป็นระยะทางเฉลี่ยที่มีการหยิบสินค้าในคลังตลอด 3 เดือน

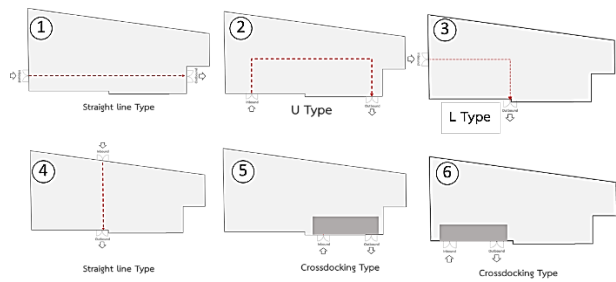
2) ออกแบบเส้นทางการไหลของวัสดุ โดยออกแบบการไหลของสินค้าจากพื้นที่รับสินค้าไปยังพื้นที่จัดเก็บ จากพื้นที่จัดเก็บไปประกอบบรรจุหีบห่อและไปยังพื้นที่จัดส่ง จะต้องทำอย่างมีประสิทธิภาพ คือระยะเวลาในการเคลื่อนที่ของทั้งพนักงานและสินค้าสั้นที่สุด ซึ่งการไหลของคลังสินค้าในปัจจุบัน ดังรูปที่ 3 ถึงแม้จะมีการกำหนดการไหลของวัสดุเป็นแบบรูปตัวยู แต่เนื่องจากปริมาณสินค้ามีมากเกินกว่าพื้นที่คลังที่มีอยู่ทำให้การวางสินค้ากีดขวางทางเดินทำให้ไม่สามารถเดินในบางช่องทางได้ส่งผลต่อเส้นทางการไหลที่ซับซ้อนและมีระยะทางเพิ่มมากขึ้น โดยจากรูปที่ 3 พื้นที่ตารางเส้นประแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถภายในพื้นที่สีฟ้า พื้นที่สีเขียวสำหรับการรับสินค้า พื้นที่สีแดงสำหรับการจ่ายสินค้า พื้นที่สีเทาเชื่อมช่องทางแคบ และพื้นที่ตาข่ายแสดงตำแหน่งสำนักงาน



รูปที่ 3 เส้นทางการไหลของวัสดุภายในคลัง

ในการออกแบบเส้นทางการไหลของวัสดุเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพคลังสินค้า ผู้จัดทำได้วิเคราะห์เส้นทางการไหลของคลังสินค้าได้ 4 ประเภท ได้แก่ 1) การไหลเส้นตรง (Straight line Type) 2) การไหลรูปตัวยู (U-Type) 3) การไหลรูปตัวแอล (L-Type) 4) การไหลแบบครอสด็อกกิ้ง (Cross docking Type) จากการไหลดังกล่าว ผู้จัดทำได้

ออกแบบผังการไหลที่เป็นไปได้ ซึ่งจะได้แบบการไหลของคลังทั้งหมด 6 แบบการไหลดังรูปที่ 4 โดยแบบที่ 1 และ 4 เป็นการไหลแบบเส้นตรง แบบที่ 2 เป็นการไหลแบบตัวยู แบบที่ 3 เป็นการไหลแบบตัวแอล และแบบที่ 5 และ 6 เป็นการไหลแบบแบบครอสด็อกกิ้ง ผู้จัดทำได้เลือกแบบที่ 3 ซึ่งเป็นการไหลรูปตัวแอลมาเป็นแนวทางตั้งต้นในการออกแบบขั้นตอนถัดไป เนื่องจากมีระยะทางที่ใช้ขนถ่ายน้อยที่สุด เก็บสินค้าได้มากกว่าเมื่อเทียบกับแบบตัวยู จุดทางเข้าออกสินค้าซึ่งจะทำให้การลำเลียงสินค้าไม่ทับซ้อนกันเช่นเดียวกับกรณีแบบครอสด็อกกิ้ง



รูปที่ 4 แบบทางเลือกผังคลังสินค้า

3) ออกแบบพื้นที่รับสินค้า เก็บสินค้า และส่งสินค้า ในขั้นตอนนี้จำเป็นต้องมีการคำนวณพื้นที่ที่ต้องการในการรับสินค้าที่เพียงพอต่อปริมาณสินค้าขาเข้า พื้นที่การเก็บสินค้าที่เหมาะสม และพื้นที่ในการรอส่งสินค้าที่เพียงพอต่อปริมาณสินค้าขาออก โดยต้องคำนึงถึงอัตราการเติบโตของคลังสินค้าต่อปีอีกด้วย ซึ่งสามารถใช้สมการดังต่อไปนี้

$$X_n = X_1 * (1 + A)^{n-1} \quad (1)$$

โดยปีที่ n = ปีที่ต้องการประมาณค่า X_1 = ความต้องการในปีเริ่มต้น X_n = ความต้องการในปีที่จะประมาณค่า A = อัตราการเติบโต ในการคำนวณความต้องการผู้จัดทำคิดในหน่วยของ Unit Load คือ พาเลท ซึ่งจะทำให้การคำนวณพื้นที่ทำได้ง่ายที่สุด หลังจากได้ความต้องการในหน่วยพาเลทจะเปลี่ยนกลับเป็นหน่วยของพื้นที่เพื่อใช้ในการคำนวณหาจำนวนของชั้นวางสินค้าเพื่อจัดเก็บสินค้าให้เพียงพอ

4) ออกแบบแนวการวางของชั้นวางสินค้า ในขั้นตอนนี้จะใช้หลักการแนวของชั้นวางเพื่อให้การจัดเก็บและการหยิบออกของสินค้าได้ง่ายที่สุด โดยทำการเปรียบเทียบจากระยะทางเฉลี่ย และเลือกแนวการวางที่ดีที่สุดจากระยะทางเฉลี่ยที่น้อยที่สุดของแต่ละแนว

5) ออกแบบตำแหน่งสินค้า ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการลดระยะทางเฉลี่ยลดลง ซึ่งผู้จัดทำได้ใช้หลักการจัดวางตำแหน่งสินค้าแบบ เรียงลำดับความถี่และเรียงลำดับมูลค่าของสินค้า โดยกลุ่มสินค้าที่มีมูลค่าและความถี่สูง (กลุ่ม AF) จะถูกจัดให้อยู่ใกล้ทางเดินหลักมากที่สุด ถัดจากกลุ่ม F จะเป็นกลุ่มสินค้าที่มีความถี่ต่ำ (กลุ่ม S) และกลุ่มที่มีมูลค่าต่ำ (กลุ่ม C) และกลุ่มสุดท้ายคือกลุ่มสินค้าที่มีความถี่ต่ำสุดหรือไม่มีการเคลื่อนไหวเลย จะถูกจัดให้อยู่ด้านในสุดหรือชั้นบนสุดของชั้นวางสินค้า

6) ประเมินผลการออกแบบคลังสินค้า ในขั้นตอนนี้ผู้จัดทำจะประเมินผลการออกแบบผังที่ดีที่สุด ด้วยการคำนวณจุดคุ้มทุนตามหลักการเศรษฐศาสตร์ทางวิศวกรรม และความเป็นไปได้ของผังเพื่อใช้ในการปรับปรุงจริง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีการคำนวณ 2 อย่าง ได้แก่ 1 ต้นทุน ซึ่งจะถูกรวมเป็นต้นทุนค่าก่อสร้างใหม่ และต้นทุนการปรับพื้นที่ โดยไม่คิดต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร 2 รายได้ ซึ่งการประเมินรายได้จะต้องอ้างอิงข้อมูลจากฝ่ายบัญชี แสดงรายละเอียดค่าก่อสร้างดังตารางที่ 3 และแสดงรายละเอียดประเมินยอดขายที่เพิ่มขึ้นตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ต้นทุนค่าก่อสร้าง

ค่าก่อสร้าง		
กิจกรรมหลัก	กิจกรรมย่อย	ต้นทุน(บาท)
1.ปรับพื้นที่	1.1 ทบกำแพง	169,000
	1.2 ย้ายเครน	300,000
2.สร้างใหม่	2.1 เพิ่มชั้นวางสินค้า	4,165,100
	2.2 รถรางขนส่งสินค้า	274,000
	2.3 เพิ่มท่ารับสินค้า	537,000
รวม		5,445,100

ตารางที่ 4 ประเมินยอดขายที่เพิ่มขึ้น

ยอดขายที่เพิ่มขึ้น		
กลุ่มสินค้า	จำนวนใบหยิบ	กำไรเฉลี่ยต่อใบหยิบ(บาท)
SW	149	60
SC	182	40
CC	122	100
WP	217	80
รวม	670	280
รวมยอดขายที่เพิ่มขึ้น	670 x 280 = 187,600 บาทต่อเดือน	

7) จัดทำแบบพิมพ์เขียว หลังจากการประเมินแบบทางผู้จัดทำจะใช้โปรแกรมเขียนแบบทางวิศวกรรมในการจัดทำแบบ ซึ่งอาจต้องใช้วิศวกรผู้ที่ชำนาญในการเขียนแบบร่วมด้วย

3.2 จัดทำวิธีปฏิบัติงานมาตรฐาน

การปรับปรุงขั้นตอนการทำงานที่ทำให้เกิดความสูญเสียมี 3 ส่วนหลัก คือ

1) ปรับปรุงขั้นตอนการส่งเอกสารไปยังแผนกบัญชี โดยการให้พนักงานรับสินค้าถ่ายรูปเอกสารส่งผ่านกลุ่มไลน์เพื่อให้พนักงานฝ่ายบัญชีทำรับสินค้าก่อน ซึ่งพนักงานฝ่ายรับสินค้าจะรวบรวมเอกสารไปส่งให้ฝ่ายบัญชีช่วงเวลาพักเที่ยง 1 รอบ และรอบที่ 2 จะส่งก่อนเลิกงาน

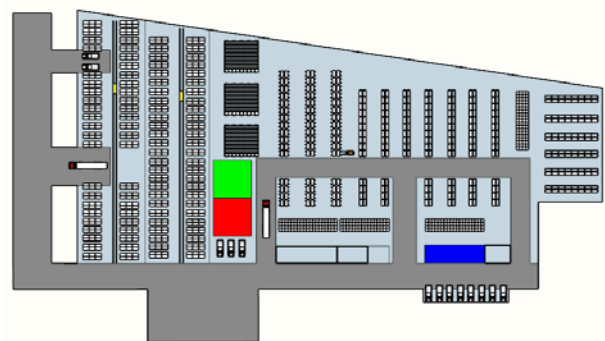
2) ปรับปรุงขั้นตอนการลงสินค้าเพื่อรอตรวจสอบจำนวนและการชำรุดของสินค้า โดยให้พนักงานลงสินค้าทั้งหมดก่อนการตรวจสอบ และต้องลงสินค้าในเขตบริเวณที่ถูกกำหนดในแบบผังใหม่ เพื่อการตรวจสอบสินค้าที่ง่ายโดยให้มีการแยกสินค้าที่มีมูลค่าสูงให้ตรวจสอบ 2 รอบ และสินค้าที่มีมูลค่าปานกลางหรือต่ำให้ตรวจสอบ 1 รอบ

3) ปรับปรุงขั้นตอนการหยิบสินค้า โดยพนักงานคลังรับใบหยิบจากจุดจ่าย จากนั้นเข้าไปหยิบสินค้ามาวางที่บริเวณจุดจ่ายสินค้าก่อนเท่านั้น โดยที่พนักงานหยิบสินค้าไม่ต้องรอให้รถลูกค้าเข้ามาจากนั้นพนักงาน QC ตรวจสอบสินค้าก่อนส่งให้ลูกค้า

4. ผลการปรับปรุง

ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบการกำหนดตำแหน่งสินค้าในคลัง โดยเริ่มจากการปรับปรุงคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพ ลดความสูญเสียด้านแรงงาน และเวลาจากการปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้เกิดเป็นมาตรฐาน จากนั้นออกแบบคลังสินค้าให้เหมาะสมกับการทำงาน ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของพนักงานในการหยิบสินค้า จากนั้นวัดขนาดคลังสินค้าจริงก่อนนำไปสร้างเป็นโมเดล 3 มิติในการปรับปรุงผังคลังสินค้านั้น เดิมแล้วผังของสินค้าแต่ละบริเวณพื้นที่นั้นมีการเก็บสินค้าแบบเดียวกัน โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางการเดินทางของรถโฟล์คลิฟท์ ซึ่งจะมีผลต่อเวลาและระยะทางการนำสินค้าเข้าและออกอย่างมาก ดังนั้นจึงมีการออกแบบเส้นทางการเดินทางของรถโฟล์คลิฟท์ให้สามารถเข้าถึงสินค้าได้ทุกตำแหน่งและสะดวกที่สุด โดยให้มีจุดกลับและจุดเลี้ยวทุกจุดซึ่งการออกแบบเส้นทางแบบนี้จะไม่มีทางตัน การไหลของสินค้าภายในคลังจะเป็นรูปแบบการไหลรูปตัวยูที่ชัดเจนขึ้น ซึ่งการไหลแบบนี้จะทำให้สามารถจัดการสินค้าเข้าออกภายในคลังได้ชัดเจนและไม่ซับซ้อนเมื่อเทียบกับผังเดิม และปรับปรุงพื้นที่รับ(สีเขียว)จ่ายสินค้า(สีแดง)แสดงดังรูปที่ 5

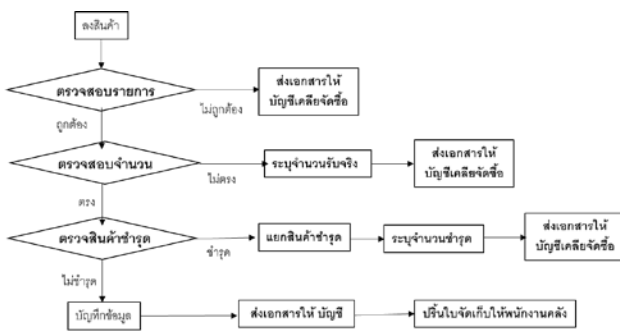
การจัดตำแหน่งสินค้ามีการจัดเรียงสินค้าตามความถี่ของการขายและมูลค่าของสินค้า โดยกลุ่มสินค้าที่มีความถี่สูงจะถูกจัดให้อยู่ใกล้ทางเดินหลักให้มากที่สุด กลุ่มความถี่กลางและต่ำจะถูกจัดเรียงถัดกันไปตามลำดับทำให้สามารถหยิบได้ง่ายและรวดเร็วและการจัดวางสินค้าในผังใหม่มีค่าความจุในหน่วย Unit Load มากกว่าเดิมซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 ซึ่งมีผลมาจากการปรับเปลี่ยนและเพิ่มชั้นวางสินค้า ทำให้มีพื้นที่วางในแนวตั้งได้มากกว่าเดิม



รูปที่ 5 แบบผังใหม่

การปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน (WI) 15 ขั้นตอน ตัวอย่างขั้นตอนการทำงานที่ถูกปรับปรุง (WI) เช่น การรับสินค้า การจัดเก็บสินค้าและการหยิบสินค้าออก ดังต่อไปนี้ ขั้นตอนการรับสินค้า ขั้นตอนการรับ

สินค้า เมื่อลงสินค้าจากรถบรรทุก สินค้าจะถูกวางกองไว้บริเวณพื้นที่กองสินค้าเข้าเข้า พนักงานคลังสินค้าจะเริ่มตรวจสอบรายการสินค้าตามเอกสารที่แนบมากับผู้จัดส่งว่ามีสินค้าครบตามรายการหรือไม่ หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบจำนวนสินค้าตามที่ถูกระบุในเอกสารซึ่งในขั้นตอนนั้นพนักงานจะต้องตรวจสอบสินค้าชำรุดควบคุมไปด้วย จากนั้นบันทึกข้อมูลการตรวจสอบสินค้าและส่งเอกสารการตรวจสอบไปยังฝ่ายบัญชีเพื่อทำการปรับข้อมูลสินค้าในระบบต่อไป แต่เมื่อพบสินค้าชำรุดเสียหายหรือจำนวนสินค้าขาดเกินจะส่งเรื่องไปให้ฝ่ายจัดซื้อตัดสินใจแก้ไขปัญหาคตามขั้นตอนต่อไป สามารถแสดงแผนภูมิกระบวนการได้ดังรูปที่ 6 ปรับปรุงขั้นตอนการส่งเอกสารไปยังแผนกบัญชี



รูปที่ 6 กระบวนการไหลของขั้นตอนการรับสินค้า

จากการดำเนินงานปรับปรุงฝั่งคลังสินค้าและสร้างมาตรฐานวิธีปฏิบัติการหยิบสินค้าเมื่อพิจารณาระยะทางเฉลี่ยรวมของสินค้ากลุ่มสีก่อนพบว่าสามารถลดระยะทางเดินหยิบสินค้ารวมจาก 61,343 เมตร เหลือเพียง 23,598 เมตร คิดเป็นการลดลงร้อยละ 61.5 ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ดำเนินการพัฒนาการจัดการคลังสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บสินค้า ลดระยะทางและเวลาในการหยิบสินค้า โดยการวิจัยเริ่มจากศึกษากระบวนการจัดเก็บสินค้าสินค้าด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิต วิเคราะห์หาสาเหตุของความสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยฝั่งก้างปลาและจัดประเภทกลุ่มสินค้าตามมูลค่าสินค้าและมีความถี่ในการหยิบสินค้าเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการปรับปรุงฝั่งคลังสินค้าที่ นอกจากนี้มีกำหนดวิธีปฏิบัติงานมาตรฐานและรายละเอียดการดำเนินงานเพื่อลดขั้นตอนการหยิบจำที่สูญเปล่า สามารถทำงานเป็นและระบบส่งผลต่อการลดค่าความแตกต่างของข้อมูลสินค้าในคลังและในระบบ ผลจากการดำเนินงานการจัดการคลังสินค้าโดยฝั่งคลังสินค้าใหม่โดยใช้ค่าใช้จ่ายประมาณ 5.4 ล้านบาท และมีการดำเนินงานตามวิธีปฏิบัติจำนวน 15 ขั้นตอน พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าคลังสินค้า ลดระยะทางรวมการจัดเก็บสินค้าคลังได้ 61.5% นำไปสู่รวมยอดขายที่เพิ่มขึ้นประมาณ 187,600 บาทต่อเดือน เพิ่มศักยภาพการแข่งขันในการค้าขายของบริษัทได้

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ผลจากการปรับปรุงการจัดการคลังสินค้าดังกล่าวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บสินค้าในคลังได้ อย่างไรก็ตามวิธีจัดการนี้เหมาะสมสำหรับกรณีที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงสินค้าในกลุ่มมูลค่าและความถี่ในการหยิบสูง ดังนั้นเพื่อให้การจัดการคลังสินค้ามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นเหมาะสมกับการขายสินค้าปลีกที่มีการเปลี่ยนแปลงประเภทความนิยมของสินค้าตลอดเวลา ทางผู้วิจัยจึงวางแผนพัฒนาระบบการออกแบบตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าในคลังที่สามารถรองรับการปรับเปลี่ยนสินค้าตามความต้องการของลูกค้า

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก โครงการเครือข่ายการอุดมศึกษาเพื่ออุตสาหกรรม (Hi-Fi) ประจำปีการศึกษา 2563 คณะผู้วิจัยขอขอบคุณความอนุเคราะห์และให้ความร่วมมืออย่างดีจากบริษัทกรณีศึกษา และผู้ให้ทุนวิจัยในโครงการขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทยา สุทธิพิตร, วิชัย รุ่งเรืองอนันต์, ณัฐพล อารีรัชชกุล และคณะ, การพัฒนาจำแบบลองโซอุปทานในการทำงานร่วมกันระหว่างธุรกิจค้าส่ง-ค้าปลีก และการพัฒนาดัชนีชี้วัดสมรรถนะโซอุปทาน ธุรกิจการค้าปลีก, รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, โดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, 2550
- [2] เยาวลักษณ์ ซาหนองหว้า และ ชฎาพร ศรีชาอุตมาร, การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารสินค้าคงคลัง ของ บริษัท ซี.เอส.สตีล โปรดักส์จำกัด, โครงการบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, จังหวัดสมุทรสาคร คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง, 2562
- [3] ปราณี กัมมาระบุตร, การจัดการการคลังสินค้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชีบัณฑิต วิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2522
- [4] กาวิณี อาจปรุ, การลดเวลาสูญเปล่าในกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์เบรคเกอร์, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551
- [5] สมศักดิ์ ตรีสัตย์, การออกแบบและการวางผังโรงงาน, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 18, สำนักพิมพ์ สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ 2550
- [6] จุฬาลักษณ์ ตั้งวิวัฒน์วงศ์, ระบบรวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษากิจกรรมของคลังพัสดุ, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542
- [7] E. F. Bolten. 1997. "Managing Time and Space in the Modern Warehouse". USA: American Management Association.
- [8] D. J. Bowersox and Closs D.J. 1996. "Logistic management: The integrated supply chain process". USA: McGraw Hill.

- [9] A. Ibrahim. 2014. "Facility layout design of library using systematic layout planning". International Journal of Library and Information Studies Vol.4 (3): 1-5.

การพัฒนาเครื่องมือวางแผนการสั่งซื้อวัตถุดิบเมื่อพิจารณาหลายสินค้าร่วมกัน: กรณีศึกษา

Developing a Material Purchase Planning Tool with Joint Orders: A Case Study

ณัฐพล เจริญโตะ, พรชิตา เชื้อซัง, วัลย์ลดา กลั่นเครือวัลย์, อธิวัฒน์ บุญมี, วรญา เนื่องมัจฉา
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: atiwat.bo@ku.th*

Natthaphon Charoentoa, Pornchita Chuachang, Vallada KlanKhruewan, Atiwat Boonmee*, Woraya Neungmacha

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University

E-mail: atiwat.bo@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการจัดการสินค้าคงคลังของบริษัทกรณีศึกษา วิธีการที่นำเสนอได้กำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมด้วยวิธีซิลเวอร์-มีล ภายใต้เงื่อนไขการพิจารณาหลายสินค้าร่วมกัน วิธีการดังกล่าวนี้ได้พัฒนาให้ง่ายต่อการใช้งานโดยประยุกต์โปรแกรมมิซเวลเบสิกฟอร์แอปพลิเคชันบนโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล คณะผู้วิจัยทำการเปรียบเทียบต้นทุนรวมในการควบคุมสินค้าคงคลังและคำนวณค่าร้อยละการปรับปรุงในการวัดประสิทธิภาพระหว่างวิธีการของกรณีศึกษาและวิธีที่นำเสนอ โดยข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คือข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าและปริมาณการใช้สินค้าคงคลังในปี พ.ศ. 2565 จำนวน 4 เดือน จากบริษัทผู้จัดจำหน่ายที่บริษัทกรณีศึกษาทำการสั่งซื้อเป็นประจำทั้งหมด 14 บริษัท ผลการทดลองพบว่าค่าร้อยละการปรับปรุงค่าตอบต้นทุนรวมในการควบคุมสินค้าคงคลังของวิธีที่นำเสนอกับวิธีการกรณีศึกษาในแต่ละเดือนลดลงระหว่าง 2,189 บาท ถึง 4,412 บาท ที่ค่าเฉลี่ย 3,529 บาทต่อเดือน นั่นคือค่าร้อยละการปรับปรุงค่าตอบเฉลี่ยอยู่ที่ 9.47

คำสำคัญ: การจัดการสินค้าคงคลัง, การกำหนดปริมาณการสั่งซื้อ, วิธีซิลเวอร์-มีล

Abstract

This research aims to increase the efficiency and reduce the cost of inventory management of a case study company. The proposed method determines the optimum purchase volume by the silver-meal method under the condition of considering multiple products. This method has been developed to be easy to use by applying Visual Basic Applications on Microsoft Excel. The research team compared the total cost of inventory control and calculated the percentage improvement in performance measures between the case study method and the proposed method. The data used in the analysis is data on purchase orders and inventory consumption in 2022, totaling 4 months from 14 suppliers that the case study companies place orders regularly. The experimental results showed that the percent improvement in total cost responses in inventory control of the proposed method versus the case study method each month decreased between 2,189 baht and 4,412 baht, with an average of 3,529 baht per month. That is the average answer improvement percentage is 9.47.

Keywords: Inventory management, Order quantity determination, Silver-meal method

การสร้างรหัสคิวอาร์โค้ดด้วย Excel VBA เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในระบบการจัดการสินค้า QR Code Creation with Excel VBA for Application in Production Management System

กรรณา คงนาค¹ ประจวบ กล่อมจิต

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

E-mail: Khongnakh_k@silpakorn.edu*

Karuna Khongnakh¹, Prachuab Klomjit

Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

E-mail: Khongnakh_k@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการนำระบบสารสนเทศเข้ามาประยุกต์ใช้ในการบริหารจัดการคลังสินค้า ทำการศึกษาสภาพปัญหาปัจจุบัน พบว่าลักษณะการออกเอกสารการส่งสินค้าข้อมูลไม่เพียงพอกับความต้องการของลูกค้าขาดข้อมูลผลทดสอบผลิตภัณฑ์และข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต เช่น วัตถุดิบที่ใช้ผลิต แบบงานที่ใช้ผลิต ขนาดชิ้นงาน เป็นต้น ทำให้ต้องออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นมา ซึ่งเป็นการเพิ่มงาน และยังใช้เวลานานในการออกเอกสารเพิ่ม นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ส่งไปยังสภกกลับข้อมูลการผลิตได้ยาก เนื่องจากเอกสารระบุข้อมูลผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน ใช้การเขียนข้อมูลลงกระดาษสติกเกอร์ขนาดเล็ก ซึ่งพื้นที่ไม่พอที่จะเขียนข้อมูลผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ทำให้ต้องเปลี่ยนลักษณะการระบุข้อมูลผลิตภัณฑ์เป็น QR Code Sticker เนื่องจากสามารถระบุข้อมูลได้มาก วิเคราะห์เพิ่มเติมโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหล เก็บข้อมูล ในแผนกทดสอบแกนเหล็ก ตั้งแต่การเก็บข้อมูลการทดสอบจนถึงจัดส่งสินค้า พบว่า ใช้ระยะเวลาในการทำรวม 281 นาที เกิดการรอคอยการจัดทำเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ 57 นาที ผู้จัดทำจึงได้มีการนำพัฒนาโปรแกรมด้วย Excel VBA ให้สามารถสร้าง QR Code ที่ระบุข้อมูลเฉพาะของตัวผลิตภัณฑ์ติดไปกับตัวสินค้าและส่งออกข้อมูลเฉพาะของผลิตภัณฑ์เข้าสู่ระบบ SMEMOVE ของบริษัท เพื่อลดเวลาในการจัดทำเอกสารไปส่งสินค้า เอกสารรับรองผลิตภัณฑ์และเอกสารระบุข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่ และเพื่อให้ทราบระดับคงคลังสินค้าแบบทันที โดยเมื่อทำการขายสินค้า สินค้าจะถูกเบิกออกจากระบบและสามารถออกใบรับรองผลิตภัณฑ์ได้ทันที ซึ่งหลังจากที่นำโปรแกรมสร้าง QR Code มาประยุกต์ใช้กับระบบ SMEMOVE ได้มีการวิเคราะห์กระบวนการทำงานหลังปรับปรุง พบว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานและลดเวลาในการทำงานได้ 83 นาที และในการทดลองใช้โปรแกรมสร้าง QR Code และระบบ SMEMOVE เก็บข้อมูลความถูกต้องของการใช้งานจำนวน 150 เฟส พบว่าสามารถใช้งานได้จริงและข้อมูลมีความถูกต้อง

คำสำคัญ: คิวอาร์โค้ด, การบริหารจัดการคลังสินค้า, ระบบขายหน้าร้าน

Abstract

This article examines the application of an information system in warehouse management. Studies the present problems it was found that the delivery document data is insufficient to customer need lack of Product test result and Production Information It is causing issuance of more Product Certificate, which increase work and take a long time to issue. In addition, products are difficult to trace production data because the current product data identification document uses a small sticker that writes data on. Therefore, must be changed to a QR code sticker as it can recognize a large amount of information. Use the Flow Process Chart for more detailed analysis by collect data from the Core testing section of the Testing process upon delivery. The study found that the total time was 281 minutes and 57 minutes delay to complete the product certificate. Therefore, the organizers developed the program using Excel VBA to be able to create a QR code of identify information's product stick on finished goods and able to upload product information in the SMEMOVE Company's point-of-sale system to reduce the time it takes to prepare delivered documents, certificate and product information for Traceability production data. And to know the level of inventory in a timely manner when selling the product Products will be withdrawn from the system and product certificates can be issued immediately. After applying the QR code program with the SMEMOVE system, it can improve workflow is analyzed. The workflow can be merged and reduced by 83 minutes of working time. Experiments to trying use the QR code program and SMEMOVE system by recoding the data 150 phases of core it is found that it can actually be used.

Keywords: QR code, Warehouse management, Point of sale

1. บทนำ

ระบบการจัดการคลังสินค้าเป็นระบบการจัดการสิ่งต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับสินค้าในคลังสินค้า ซึ่งในการบริหารจัดการคลังสินค้าจำเป็นต้องมีการวางแผนเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดการและจัดเก็บสูงสุด นอกจากนี้ในการจัดการคลังสินค้าจำเป็นต้องมีการตรวจสอบระดับสินค้าคงคลังได้ง่ายและข้อมูลต้องมีความเป็นปัจจุบันเพื่อเป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจต่าง ๆ เกี่ยวกับกาวางแผนการผลิต ในการจำหน่ายแกนเหล็กในหม้อแปลงไฟฟ้าของบริษัท สินค้าจำเป็นต้องมีระบบการจัดการสินค้าคงคลังที่ดีเนื่องจากในข้อกำหนดของลูกค้าทุกรายได้ระบุไว้ว่า สินค้าที่จำหน่ายจำเป็นต้องตรวจสอบย้อนกลับได้ทุกกระบวนการผลิต และจำเป็นต้องมีการออกเอกสารรับรองทุกครั้งที่มีการส่งออกสินค้าถึงมือลูกค้า ในบทความฉบับนี้จึงได้มีการเสนอแนวคิดในการนำระบบขายหน้าร้าน (Point of Sale System) และระบบแท็กคิวอาร์โค้ด (QR Code Tag) มาประยุกต์ใช้ในระบบการจัดการสินค้าคงคลัง เพื่อลดเวลาในการรับสินค้าเข้าระบบโดยระบบจะต้องสามารถตรวจสอบระดับสินค้าคงคลังในระบบได้อย่างตลอดเวลาและเบิกจ่ายสินค้าออกจากระบบเมื่อมีการจัดจำหน่ายไปยังลูกค้าโดยในการส่งออกจะมีการออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ประกอบการส่งสินค้าด้วยทุกครั้ง โดยในเอกสารจะต้องระบุข้อมูลที่สำคัญเฉพาะตัวของสินค้าชิ้นนั้น ๆ ซึ่งสินค้าในแต่ละชิ้นจะมีข้อมูลเฉพาะที่แตกต่างกันออกไป ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการออกแบบระบบการจัดการสินค้าคงคลังให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของลูกค้าและต้องมีความน่าเชื่อถือ โดยข้อมูลจะต้องมีความเป็นปัจจุบันและสามารถสอบกลับได้อยู่ตลอดเวลา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการระบบสารสนเทศ

[1] ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ (Management Information System: MIS) คือ ระบบสารสนเทศที่ผู้บริหารนำมาใช้ในการบริหารงานภายในองค์กร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ขององค์กร โดยการรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และออกแบบรายงาน โดยจะใช้ข้อมูลสารสนเทศ ทั้งภายในและภายนอกองค์กร

2.2 QR Code

[2] ความสามารถในการเก็บข้อมูลของ QR Code นั้นมีมากกว่า 2D Code อื่นๆ อีกทั้งขนาดนั้นก็สามารถที่จะทำให้เล็กได้ นอกไปจากนี้ก็ยังมีความสามารถแสดงผลได้เร็วกว่า 2D Code ตัวอื่นๆสามารถบรรจุข้อมูลได้ในปริมาณสูง บาร์โค้ดแบบธรรมดา นั้น สามารถบรรจุข้อมูลได้สูงสุดเพียง 20 Digits (ตัวเลขจำนวนเดียว 20 ตัว) แต่ QR Code นั้นสามารถบรรจุข้อมูลได้มากกว่า บาร์โค้ดธรรมดาหลายเท่าตัว และการบรรจุข้อมูลของ QR Code นั้น ก็ยังไม่ได้จำกัดอยู่เพียงแค่ ตัวเลขเท่านั้น แต่ยังสามารถบรรจุ ตัวอักษรเลข (Alphanumeric) ตัวอักษรภาษาญี่ปุ่น (ทั้ง Kanji และ Hiragana) สัญลักษณ์ ตัวเลขฐานสอง (binary) และรหัสสี (colure code) อีกด้วย โดยทั้งหมดนี้สามารถจะบรรจุไว้ได้ในคราวเดียวกัน QR Code นั้นเดิมถูกใช้ในอุตสาหกรรมและการขนส่ง แต่

ปัจจุบันด้วยความสามารถในการบรรจุข้อมูลได้ในปริมาณจำนวนมาก ก็ได้ถูกพัฒนาให้มาเป็นเครื่องมือในการสื่อสารให้กับผู้บริโภคได้รับรู้ และเข้าถึงสิ่งที่เจ้าของผลิตภัณฑ์ต้องการจะให้ผู้รับรู้อย่างดี

2.3 การบริหารจัดการสินค้าคงคลัง

[3] การบริหารสินค้าคงคลังเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งในองค์ประกอบของการวางแผนและควบคุมการผลิต โดยต้องพิจารณาขนาดของคงคลังว่าควรจะมีมากน้อยเพียงใดจึงจะประหยัดที่สุด การควบคุมของคงคลัง เป็นงานที่มีขอบเขตกว้าง และจะมีความสำคัญมากน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับจำนวนของคงคลังที่มี ผลจากการจัดการไม่เหมาะสมทำให้ไม่มีสินค้าเพียงพอที่จะตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้มีผล สืบเนื่องถึงผลกำไรที่ควรจะได้ลดลง

2.4 SMEMOVE

[4] SMEMOVE โปรแกรมบัญชีออนไลน์ที่สามารถจัดการเอกสารวางบิล ใบเสร็จ หรือการจัดการเงินสดรวมไปถึง สรุปงบการเงิน ได้แบบเรียลไทม์ ทุกที่ทุกเวลา พีเจอาร์การใช้งานโปรแกรมบัญชี SMEMOVE ในส่วนของการขาย ช่วยให้ขั้นตอนการขายง่ายขึ้น ตั้งแต่การออกใบเสนอราคา ใบวางบิล ใบกำกับภาษี และใบเสร็จ โดยมีการอำนวยความสะดวกในขั้นตอนต่างๆ ในส่วนของสินค้า บริหารจัดการสินค้า ทั้งการนับสต็อกสินค้า วัตถุดิบ ค่าใช้จ่าย งานบริการต่างๆ เช่น การสร้าง Barcode หลังสร้างรายการสินค้าใหม่, การตั้งค่าสูตรการผลิตเพื่อผลิตสินค้าโดยต้องตั้งค่ารูปแบบธุรกิจ ตั้งค่าวัตถุดิบ และตั้งค่าสินค้าที่ต้องมีสูตรการผลิตจึงจะส่งผลิตสินค้าตามสูตรได้ และการลบข้อมูลสินค้าที่ไม่ต้องการออก

2.7 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต

[7] แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) เป็นแผนภูมิที่เขียนขึ้นเพื่อบันทึกกระบวนการทำงานรูปแบบแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตลงในใบบันทึกแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต โดยใช้สัญลักษณ์แสดงการทำงานทั้ง 5 รูปแบบ คือ การทำงาน (Operation) การขนส่ง (Transportation) การตรวจสอบ (Inspection) การรอคอย (Delay) และการจัดเก็บ (Storage)

การไหลของกระบวนการผลิต แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ขั้นตอนการทำงานของคน (Man Type) และขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบ (Material Type)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Shukran และคณะ [8] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มขึ้นของสารเคมีและอุปกรณ์ที่อยู่ในห้องปฏิบัติการเคมีของ National Defence University of Malaysia (NDUM) แนวคิดหลักของงานวิจัยนี้คือการพัฒนาแอปพลิเคชันที่ใช้ฐานข้อมูลของตนเองโดยจะใช้ร่วมกับซอฟต์แวร์สต็อกที่มีคอมพิวเตอร์เป็นโฮสต์และเชื่อมต่อกับเครือข่ายเฉพาะ เมื่อจบงานวิจัยนี้พบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถติดตามตำแหน่งของสินค้า

คงคลังทั้งหมดแบบเรียลไทม์ได้จากการสแกน QR Code Tag ระบบสต็อก QR Code ที่ได้รับการพัฒนาอย่างเต็มที่ในงานวิจัยนี้ได้พิสูจน์แล้วว่า QR Code สามารถจัดการข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Ting และ Tsang [9] นำเสนอระบบการควบคุมและจัดการสินค้าคงคลังสำหรับอุตสาหกรรมการผลิต มีวัตถุประสงค์เพื่อรวบรวมข้อมูลที่ต้องการและเวลาจริงที่เกี่ยวข้องกับรายการสินค้าคงคลังเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การจัดการ Product's life cycle

จุฑาทิพย์ และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาแผนกคลังสินค้าเพื่อทบทวนพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับแนวคิดบทบาทหน้าที่แผนกสินค้าคงคลัง การจัดการสินค้าคงคลังและการนำมาประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการกำหนดกลยุทธ์ในการบริหารจัดการและพัฒนาธุรกิจและเพื่อการเสนอกรอบแนวคิดการบริหารจัดการสินค้าคงคลังอย่างมืออาชีพ โดยจากการศึกษาพบว่าการจัดการสินค้าคงคลังนั้นมีความสำคัญกับธุรกิจ โดยจะต้องมีการลงทุนในการจัดเก็บสินค้าคงคลังและวัตถุดิบที่น้อยแต่วัตถุดิบต้องเพียงพอที่จะใช้ทำการผลิต และสินค้าสำเร็จรูปต้องเพียงพอสำหรับการขาย และสินค้าคงคลังและวัตถุดิบต้องอยู่ในสภาพที่พร้อมที่จะใช้และขายอยู่ตลอดเวลาดังนั้นต้องจัดเก็บสินค้าอย่างถูกต้องเพื่อไม่ให้เกิดปัญหา

อภิชาล และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบคิวอาร์โค้ดในการเพิ่มประสิทธิภาพในองค์กร โดยทำการศึกษาจาก 4 องค์กรซึ่งพบว่า 1) หน่วยงานด้านการศึกษา มีการพัฒนาระบบสื่อการสอนเทคโนโลยีร่วมสมัยบนคิวอาร์โค้ด 2) หน่วยงานด้านการท่องเที่ยว มีการนำมาประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี QR Code ในพิพิธภัณฑ์ 3) หน่วยงานด้านสาธารณสุข นำมาประยุกต์ใช้ภายในโรงพยาบาล ใช้ QR Code ในการระบุตัวตนของบุคคลของผู้เข้ารับบริการ 4) หน่วยงานด้านการผลิตและบริการอื่นๆ ใช้ QR Code เพื่อเป็นเครื่องมือทางการตลาด นำ QR Code มาใช้เป็นเครื่องมือโฆษณาบนมือถือแบบโต้ตอบ นำมาใช้กับระบบการจัดการสินค้าคงคลัง เป็นต้น

อัจฉรา และคณะ [12] กล่าวว่าปัจจุบันมีผู้ป่วยเข้ามาใช้บริการรักษาในโรงพยาบาลต่างๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งปัญหาหลักๆ มักเกิดขึ้นที่ขั้นตอนการรับชำระเงินค่ารักษาพยาบาล และข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการจ่ายยา ดังนั้นโรงพยาบาลจึงต้องมีการพัฒนาและนำเทคโนโลยีมาใช้ในการกระบวนการต่าง ๆ เพื่อลดข้อผิดพลาด โดยจะรับชำระเงินด้วย QR Code และประยุกต์ใช้เทคโนโลยี QR Code ใน Application RDU รู้เรื่องยา ผู้ป่วยสามารถอ่านข้อมูลยาที่ผู้ป่วยได้รับจากโรงพยาบาล

ปรกรณ์ และคณะ [13] ได้ทำการพัฒนาระบบสืบค้นข้อมูลต้นไม้ด้วยคิวอาร์โค้ด (QR Code) เพื่อใช้ในการสืบค้นข้อมูลพรรณไม้ โดยได้ทำการออกแบบและพัฒนาระบบ จากนั้นได้นำมาทำการทดลองใช้งานพบว่าระบบสืบค้นข้อมูลต้นไม้โดยใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ดสามารถระบุตัวตนของต้นไม้ได้ด้วยการกำหนด พิกัดบนแผนที่กูเกิล (Google Maps) การสืบค้นด้วยคำค้นผ่านหน้าเว็บไซต์ และสามารถสแกนรูปคิวอาร์โค้ดที่เป็นป้ายติดตามต้นไม้ ผ่านโทรศัพท์มือถือแบบสมาร์ตโฟนได้

กิติพงษ์ [14] ได้ทำการพัฒนาระบบทะเบียนพรรณไม้สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียนโดยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรหัสคิวอาร์โค้ด โดยพัฒนาระบบสารสนเทศและจัดทำทะเบียนพรรณไม้ผ่านรหัสคิวอาร์และประเมินผล

พุมรินทร์ [15] ได้ทำการศึกษาและทดลองนำเทคโนโลยีบาร์โค้ดใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เครื่องอ่านบาร์โค้ด ที่มีระบบ STOCK DATABASE เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการคลังสินค้า โดยลดเวลาขั้นตอนการทำงานให้สั้นลงและลดขั้นตอนการตรวจนับ โดยระยะเวลาในการทำงานลดลงจาก 60 นาทีเหลือเพียง 25 นาที และลดขั้นตอนการทำงานลงเหลือ 3 ขั้นตอน

จินตนา [16] ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID ในกิจกรรมคลังสินค้าเพื่อการจัดเก็บ ติดตามและตรวจสอบสถานะของสินค้าคงคลังให้พอดีกับระดับความต้องการของลูกค้า

จรรุภา [17] ได้ทำการศึกษาข้อมูลที่ศูนย์จำหน่ายผลิตภัณฑ์นม หจก. ชัยภูมิแดรี่ เพื่อวิเคราะห์สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจากการจัดการสินค้าคงคลังที่ขาดประสิทธิภาพและหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการสินค้าคงคลัง จากการแก้ปัญหาได้ทำการลดขั้นตอนการปฏิบัติงานการบันทึกข้อมูล Stock Card และนำระบบ Scan Barcode เข้ามาทำแทนในการเพิ่ม-ลดยอดสินค้าในระบบ ทำให้เกิดความรวดเร็วในการตรวจเช็คและนำจำนวนสินค้าคงคลัง และทำให้ทราบข้อมูลสินค้าคงคลังแบบ Real Time ทำให้ลดระยะเวลาในการปฏิบัติงาน และลดการสูญหายของสินค้าคงคลัง

3. วิธีการดำเนินงาน

ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการคลังสินค้าโดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาและออกแบบโปรแกรมสำหรับสร้างแท็กคิวอาร์โค้ดที่ระบุข้อมูลเฉพาะของสินค้าและนำมาประยุกต์เข้ากับระบบขายหน้าร้าน เพื่อนำระบบมาใช้ในการจัดการคลังสินค้าที่เหมาะสมกับบริษัทและสอดคล้องกับข้อกำหนดของลูกค้า เพื่อลดเวลาและลดขั้นตอนในการทำงาน

3.1 ข้อกำหนดของลูกค้า

ต้องทำการทดสอบค่าความสูญเสียของแกนเหล็ก ซึ่งน้ำหนัก วัดขนาด ระบุเกรดวัตถุดิบและเลข Type มากับตัวสินค้าสำเร็จรูป

3.2 ข้อมูลที่ใช้ในการดำเนินงาน

ข้อมูลที่ใช้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือข้อมูลปฐมภูมิและข้อมูลทุติยภูมิ ข้อมูลปฐมภูมิ ได้แก่ ข้อมูลจากโรงงานเกี่ยวกับกระบวนการจัดการคลังสินค้าในส่วนของบริษัทสำเร็จรูปก่อนทำการปรับปรุงที่ได้จากการสัมภาษณ์สอบถามพนักงานรวมถึงศึกษาขั้นตอนการปฏิบัติงานจนถึงกระบวนการส่งมอบสินค้า ข้อมูลทุติยภูมิ ได้แก่ ข้อมูลจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.3 ลักษณะการทำงานปัจจุบัน

3.3.1 รูปแบบเอกสารปัจจุบัน

การซึบ่งสินค้าสำเร็จรูปในปัจจุบันพบว่า ข้อมูลระบุกับตัวชิ้นงานไม่เพียงพอที่กับข้อกำหนดของลูกค้า การออกไปส่งสินค้าในปัจจุบันพบว่า พบข้อผิดพลาดในการออกเอกสารและข้อมูลยังไม่เพียงพอต่อข้อกำหนดของลูกค้า ทำให้ต้องออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์เพิ่ม การออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันพบว่า ใช้เวลาในการออกเอกสาร เนื่องจากต้องนำข้อมูลจาก Process Inspection Sheet มาพิมพ์เป็นเอกสารและต้องรอเซ็นต่ออนุมัติ ทำให้ไม่สามารถออกเอกสารได้ในทันที การออกเอกสารนับสต็อกปัจจุบันพบว่า ไม่สามารถตรวจสอบระดับสินค้าได้อย่างทันที่

3.3.2 การวิเคราะห์การไหลของกระบวนการผลิตปัจจุบัน

ตารางที่ 1 Flow Process Chart ปัจจุบัน

Flow Process Chart				
Location: DTC(DM)		Summary		
Activity: FINISH GOODS TESTING	Event	Present	Proposed	Savings
Date: 23/10/2565	Operation	112	-	-
Operator: จุฬาลงกรณ์ B. Analyst: Keruna JG	Transportation	5	-	-
Circle appropriate Method and Type:	Delay	57	-	-
Method: Present Propose	Inspection	136	-	-
Type: Worker Material Machine	Storage	28	-	-
Remark: วิเคราะห์กระบวนการทำงานในแผนกทดสอบ	Time(min)	281	-	-
แผนแม่ข่าย คือ แผนกเก็บข้อมูลการทดสอบจนถึงจัดส่ง	Distance(m)	-	-	-
สินค้า เชื้อเพลิงดีเซล แผนแม่ข่าย 3D จำนวน 12 ลูก	Cost	-	-	-
Event Description	Symbol	Time(min)	Remarks	
1. ทำหน้าจอสั่งและจองชิ้นงาน	● → □	17	ทำที่ 1 ลูก	
2. ใช้วิธีนับชิ้นงานที่ปริมาตร	○ → □	54	ทำการภาที่ 5 และ 3 ครั้งละ 1 ลูก ทำจำนวนการที่ 2 และ 3 จนครบ 12 ลูก	
3. นับที่ข้อมูลระดับสินค้าสำเร็จรูป	● → □	6		
4. เชื่อมสายทดสอบชิ้นงานและทำการทดสอบค่าสูงของชิ้นงาน	○ → □	82	ทำการภาที่ 4 และ 5 ครั้งละ 1 ลูก ทำจำนวนการที่ 4 และ 5 จนครบ 12 ลูก	
5. นับที่ข้อมูลระดับสินค้าสำเร็จรูป	● → □	5		
6. เชื่อมสายกับเครื่องนับสินค้าสำเร็จรูป	● → □	16		
7. จัดเก็บชิ้นงานส่งทาง	○ → □	28		
8. จัดทำเอกสารใบส่งสินค้า	● → □	11		
9. มอซีนำมาไปรอเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ที่มีรายการจัดส่ง	○ → □			
10. จัดทำเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์โดยนำข้อมูลจากใบส่งสินค้าและนับที่	● → □	57		
11. จัดส่งสินค้าไปยังลูกค้า	○ → □	5		

ก่อนปรับปรุง มีทั้งหมด 11 กระบวนการทำงาน ใช้เวลาทั้งหมด 281 นาที เกิดการรอคอยในกระบวนการที่ 9 57 นาที คือการรอการออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 1 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (Flow Process Chart) ก่อนปรับปรุงกระบวนการทำงาน

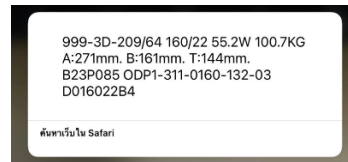
3.4 การออกแบบการดำเนินการ

ทำการสร้างโปรแกรม FG QR Code Tag Generation โดยใช้ Excel VBA ดังรูปที่ 4 เพื่อใช้ในการสร้าง QR Code ซึ่งข้อมูลของตัวสินค้า ดังรูปที่ 1 ซึ่งในรหัสคิวอาร์โค้ดจะเป็นการระบุข้อมูลเฉพาะของตัวสินค้า เช่น ข้อมูลผลทดสอบและข้อมูลเกี่ยวกับการผลิต ดังรูปที่ 2

และส่งข้อมูลของตัวสินค้ากับระบบสต็อก SMEMOVE ดังรูปที่ 5 เพื่อเก็บข้อมูลของสินค้า เพื่อให้ง่ายต่อการสอกลับข้อมูลสินค้า เพื่อรับเข้า-เบิกออกสินค้าจากระบบ และออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ได้ในทันที โดยใช้ใบวางบิลควมรวมเป็นใบตรวจสอบและใบส่งสินค้าใบเดียว ดังรูปที่ 3 และทำการติดตั้งในทันทีที่มีการออกเอกสารเพื่อให้ทราบระดับคงคลังสินค้าอย่างทันที่



รูปที่ 1 ตัวอย่าง FG QR CODE STICKER TAG



รูปที่ 2 ตัวอย่างข้อมูลที่สแกนอ่านจากรูปที่ 1

ใบตรวจสอบและใบส่งสินค้า		DOCUMENT NO.:	DTC-202300099
CUSTOMER: JPP		วันที่คิด:	THAI MAXWELL ELECTRIC
		DATE:	25/10/2566
NO.	PART NO.	DESCRIPTION	
1	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	
2	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	
3	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	
4	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	
5	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	
6	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	

รูปที่ 4 ตัวอย่างใบตรวจสอบและใบส่งสินค้า

DELTA TRANSFORMER CORE CO., LTD		DATE:	10/10/2023
CUSTOMER: JPP		DATE:	25/10/2023
DR NO.:	3D-209/64	DATE:	10/10/2023
DRAW NO.:	00P-311-0160-02-03	DATE:	10/10/2023
NO. CORE NO.:	999	PHASE NO.:	100.7
PHASE NO.:	999	WINDING:	100.7
PHASE NO.:	999	WINDING:	100.7
PHASE NO.:	999	WINDING:	100.7
PHASE NO.:	999	WINDING:	100.7
PHASE NO.:	999	WINDING:	100.7
PHASE NO.:	999	WINDING:	100.7

รูปที่ 5 ตัวอย่างการกรอกข้อมูลโปรแกรม FG QR Code Tag

NO.	PART NO.	DESCRIPTION	QTY	UNIT	DATE	TIME	OPERATOR	REMARKS
1	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
2	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
3	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
4	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
5	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
6	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
7	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
8	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
9	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
10	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	
11	3D-209/64-999	999-3D-209/64 160/22 55.2W 100.7KG A:271mm, B:161mm, T:144mm B23P085 ODP1-311-0160-132-03 D016022B4	1	KG	25/10/2023	10:00	JPP	

รูปที่ 5 ตัวอย่างข้อมูล สำหรับอัปโหลดข้อมูลสินค้าสำเร็จรูป เข้าสู่ซอฟต์แวร์สต็อกสินค้าสำเร็จรูป SMEMOVE

4. ผลการวิจัย

ทำการวิเคราะห์กระบวนการไหลของการผลิตหลังปรับปรุง พบว่าสามารถรวบรวมกิจกรรม ดังนี้ 1) ในส่วนของขั้นตอนที่ 3 และ 5 การบันทึกข้อมูลชิ้นงานลงในบันทึกคุณภาพสินค้าสำเร็จรูป เป็นการรอกข้อมูลลงในโปรแกรม FG QR Code Tag Generation และลดขั้นตอนที่ 6 การเขียนสติ๊กเกอร์บ่งชี้ข้อมูลผลิตภัณฑ์เนื่องจากโปรแกรมสามารถออกสติ๊กเกอร์ FG QR Code Tag ติดกับตัวชิ้นงานได้เลย 2) ในส่วนของขั้นตอนที่ 8 และ 10 การออกไปส่งของและการออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเมื่ออัปเดตข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม FG QR Code Tag Generation เข้าระบบ SMEMOVE ระบบสามารถตัดสต็อกสินค้า หลังจากทำการวางบิลและสามารถออกเอกสารได้ทันที ทำให้ลดขั้นตอนที่ 9 การยกชิ้นงานไปยังพื้นที่จัดเก็บเพื่อรอการออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถลดระยะเวลาการทำงานได้ทั้งหมด 83 นาที

ในการทดลองใช้โปรแกรมสร้าง QR Code และระบบ SMEMOVE ได้ทำการทดลองสร้าง QR Code อ่านข้อมูลจาก QR Code ทำการรับเข้า-เบิกออกและออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ด้วยระบบ SMEMOVE เก็บข้อมูลความถูกต้องของการใช้งานจำนวน 150 เฟส พบว่าสามารถใช้งานได้จริงมีความถูกต้องของข้อมูล อัตราร้อยละ 100

5. สรุปและอภิปรายผล

หลังจากที่นำโปรแกรมสร้าง QR Code มาประยุกต์ใช้กับระบบ SMEMOVE ได้มีการวิเคราะห์กระบวนการทำงานหลังปรับปรุง พบว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานและลดเวลาในการทำงานได้ 83 นาที ดังนี้ 1) ในส่วนของขั้นตอนที่ 3 และ 5 การบันทึกข้อมูลชิ้นงานลงในบันทึกคุณภาพสินค้าสำเร็จรูป เป็นการรอกข้อมูลลงในโปรแกรม FG QR Code Tag Generation และลดขั้นตอนที่ 6 การเขียนสติ๊กเกอร์บ่งชี้ข้อมูลผลิตภัณฑ์เนื่องจากโปรแกรมสามารถออกสติ๊กเกอร์ FG QR Code Tag ติดกับตัวชิ้นงานได้เลย 2) ในส่วนของขั้นตอนที่ 8 และ 10 การออกไปส่งของและการออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเมื่ออัปเดตข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม FG QR Code Tag Generation เข้าระบบ SMEMOVE ระบบสามารถตัดสต็อกสินค้าหลังจากทำการวางบิลและสามารถออกเอกสารได้ทันที ทำให้ลดขั้นตอนที่ 9 การยกชิ้นงานไปยังพื้นที่จัดเก็บเพื่อรอการออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์

และในการทดลองใช้โปรแกรมสร้าง QR Code และระบบ SMEMOVE ได้ทำการทดลองสร้าง QR Code อ่านข้อมูลจาก QR Code ทำการรับเข้า-เบิกออก และออกเอกสารรับรองผลิตภัณฑ์ เก็บข้อมูลความถูกต้องของการใช้งานจำนวน 150 เฟส พบว่าสามารถใช้งานได้จริงมีความถูกต้องของข้อมูล อัตราร้อยละ 100

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท เดลต้า ทรานส์ฟอร์มเมอร์ คอร์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนในด้านข้อมูลเพื่อใช้ในการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปรีชญา นวนแก้ว. "ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ" Online document <http://www.pratya.nuankaew.com/wp-content/uploads/2019/12/08-02.-Chapter-04-Document-Management-Information-System.pdf> accessed on April 11,2022
- [2] เกศินี เนาสุวรรณ. "QR Code คืออะไร" Online document <https://sites.google.com/a/srm.ac.th/krukate/> accessed on April 11, 2022
- [3] นิรนาม. "การควบคุมของคลังหรือการควบคุมสต็อก" Online document https://www.research-system.siam.edu/images/independent/Inventory_Management_Improvement_in_the_Production_of_Soft_Slings/07_ch2.pdf?fbclid=IwAR28NewbQlb0qW18ERghRTRvLUpWZH_V85AI_XdzpZr2J6vKar8oUR0eA accessed on April 11,2022
- [4] บริษัท เอสเอ็มอีมูฟ จำกัด. "SMEMOVE" Online document <https://smemove.com/> accessed on April 11, 2022
- [5] ประจวบ กล่อมจิตร. การออกแบบโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเพิ่มผลผลิตและความปลอดภัย, โรงพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2555.
- [6] M. A. M. Shukran, M. S. Ishak, M. N. Abdullah. 2017. "Enhancing Chemical Inventory Management in Laboratory through a Mobile-Based QR Code Tag". IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 226
- [7] J.S.L. Ting, A.H.C. Tsang. 2012. "Design of an RFID-based Inventory Control and Management System: A Case Study. Department of Industrial and Systems Engineering". ISSN 0511-5728 The West Indian Journal of Engineering Vol.34, Nos.1/2: 70-79
- [8] จุฑาทิพย์ สีลาธนาพิพัฒน์ และ ชีระวัฒน์ จันทิก. 2561. "การจัดการสินค้าคงคลังอย่างมืออาชีพ." Veridian E-Journal, Silpakorn University
- [9] อภิขล ทองมั่ง กำเนิดว่า และ เสาวลักษณ์ ยกฉวี. 2563. "ระบบคิวอาร์โค้ดและการประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในองค์กร." บทความวิชาการ วารสารวิชาการ. วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 14 ฉบับที่ 2
- [10] อัจฉรา กิจเดช และ กิตติศักดิ์แก้วบุตรดี. 2561. "QR CODE ในประเทศไทยและการประยุกต์ใช้ภายในโรงพยาบาลในยุคไทยแลนด์ 4.0. วารสาร Mahidol R2R e-Journal ปีที่ 5 ฉบับที่ 2"
- [11] ปกรณ์ สุนทรเมธ และคณะ. 2560. "ระบบสืบค้นข้อมูลต้นไม้โดยใช้เทคโนโลยีคิวอาร์โค้ด." วารสารราชชมกลล้านนา ปีที่ 5 ฉบับที่ 1
- [12] กิตติพงษ์ จันทรถาวร และ ชุตินันท์ วาฤทธิ. การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีรหัสคิวอาร์เพื่อจัดทำทะเบียนพรรณไม้สวนพฤกษศาสตร์โรงเรียน. สาขาวิชาระบบสารสนเทศคอมพิวเตอร์ คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยวังษวลติกุล

- [13] พุมรินทร์ พรหมเพชร. (2561). การเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดการคลังสินค้าด้วยเทคโนโลยีบาร์โค้ด กรณีศึกษาธุรกิจจำหน่ายเสื้อผ้าสำเร็จรูป. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน. วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยศรีปทุม
- [14] จินตนา สีหาพงษ์. 2556. "RFID เทคโนโลยีอัจฉริยะกับการจัดการคลังสินค้ายุคใหม่." วารสารมหาวิทยาลัยพายัพ ปีที่ 23 ฉบับที่ 2
- [15] จารุภา อุ้นจางวาง. (2556). การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสินค้าคงคลัง. วิทยาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโซ่อุปทานแบบบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์.

เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติสู่การใช้ประโยชน์

Hot Compression Machine for Natural Material Compression into Utilization

วรวงศ์ บุญช่วยแทน^{*} ชาตรี หอมเขียว จักรนรินทร์ ฉัตรทอง สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ กฤษดาภรณ์ หนูเชื้อ ปุณยวัจน์ แก้วซัง
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

E-mail: worapong.b@rmutsvac.th*

Worapong Boonchouytan^{*}, Chatree Homkhiew, Jaknarin Chatthong, Surasit Rawangwong, Krisadakon Nuchua,
Punyawat Kaewsang

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya

E-mail: worapong.b@rmutsvac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ และทดสอบเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์วัสดุธรรมชาติ หลักการทำงานของเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติจะใช้แม่พิมพ์ในการอัด มีฮีตเตอร์แผ่นให้ความร้อนโดยตรงกับแม่พิมพ์และสามารถปรับระดับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ได้ และใช้แรงกดจากกระบอกไฮดรอลิก เมื่อฮีตเตอร์ให้ความร้อนกับแม่พิมพ์จนถึงอุณหภูมิที่กำหนด ทำการกดแม่พิมพ์เพื่อทำการขึ้นรูปให้มีลักษณะตามต้องการ ส่วนประกอบของเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ สามารถแยกชุดโครงสร้างออกเป็น 5 ชุด ดังนี้ คือ ชุดโครงสร้าง ชุดส่งกำลังในการอัดขึ้นรูป ชุดให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ชุดรองรับแม่พิมพ์ และชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ มีความสามารถในการส่งกำลังอัดขึ้นรูปสูงสุดที่ 2,000 – 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิอัดร้อน 100 – 250 องศาเซลเซียส เวลาอัดขึ้นรูป ไม่จำกัด และสามารถปรับเปลี่ยนแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปได้ เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติสามารถอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ผง ใบ เส้นใย ผสม เป็นต้น และสามารถปรับช่วงของอุณหภูมิอัดร้อน และเวลาอัดขึ้นรูป ได้อย่างหลากหลาย เพื่อให้เป็นประโยชน์แก่นักวิจัยความเสถียรในการอัดขึ้นรูปวัสดุต่างชนิดกันที่ต้องการปัจจัยในการอัดขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ที่จะสามารถทำให้วัสดุธรรมชาตินั้นคงรูปและมีสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้นได้

คำสำคัญ: อัดขึ้นรูปร้อน วัสดุธรรมชาติ การใช้ประโยชน์ เครื่องจักร

Abstract

The objectives of this study were to design and build a compression molding machine for natural materials and to perform the performance test of the compression molding machine for the production of natural material products. This compression molding machine for natural materials is equipped with heating plates for direct heating of the mold and adjusting the mold temperature. The compression pressure is provided by the hydraulic cylinder. After the mold temperature reaches a set temperature, the hydraulic cylinder applies pressure to the mold to form natural materials into the desired shape. This compression molding machine consists of 5 units which are the frame, the compression transmission unit, the mold heating unit, the mold support and the control unit. It has a maximum compression capacity of 2000–3000 psi, compression temperature of 100–250 °C with unlimited compression time and removable molds. This compression molding machine can be used for a variety of natural materials such as powders, leaves and mixed fibers and its compression temperature and time can be adjusted over a wide range. This is to facilitate the compression of different materials which require different compression parameters for good dimensional stability and properties of the product.

Keywords: Hot compression, Natural material, Utilization, Machine

1. บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกกำลังรณรงค์ลดภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นทั้งในระดับชุมชนไปจนถึงระดับโลก ต่างก็ให้ความสำคัญในการช่วยลดภาวะโลกร้อน ความหมายภาวะโลกร้อน (Global Warming) เกิดจากการเพิ่มขึ้นของก๊าซที่ปกคลุมชั้นบรรยากาศของโลก ทำให้อุณหภูมิภายในโลกสูงขึ้น เป็นเหตุให้ฤดูกาลทั่วโลกเปลี่ยนแปลง และก๊าซที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล ดังนั้นภาวะโลกร้อน หรือภาวะภูมิอากาศเปลี่ยนแปลง (Climate Change) ได้เป็นปัญหาใหญ่ของโลก อุณหภูมิของโลกที่สูงขึ้นมีสาเหตุหลักของมาจากก๊าซเรือนกระจก เพราะก๊าซจำพวกคาร์บอนไดออกไซด์หรือมีเทนจะกักเก็บความร้อนบางส่วนไว้ในโลก ไม่ให้สะท้อนกลับสู่อากาศทั้งหมด สภาพภูมิอากาศของโลกที่เปลี่ยนแปลง นำมาซึ่งปัญหาต่างๆมากมายและเป็นสิ่งใกล้ตัวเราทุกคน ไม่ว่าจะเป็นปัญหาการสะสมของฝุ่นละอองขนาดเล็กในช่วงหน้าแล้งของทุกปี ปัญหาหน้าทะเลกัดเซาะชายฝั่งทะเลของไทย ฝนตกหนัก ปัญหาน้ำท่วม โคลนถล่ม ภัยแล้ง หรือแม้กระทั่งภาวะแมลงปีกแข็งจำนวนมากทำลายพืชผลทางการเกษตร ฯลฯ [1] ดังนั้นประชาชนทุกคนต้องให้ความร่วมมือในการที่จะช่วยลดภาวะโลกร้อน เพื่อที่จะช่วยลดผลกระทบต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นตามมาไม่ว่าจะเป็นการปลูกต้นไม้ การประหยัดน้ำ ประหยัดไฟ การลดใช้ถุงพลาสติกแล้วหันมาใช้ถุงผ้ากันแทน ก็เป็นอีกวิธีที่ช่วยลดภาวะโลกร้อนโดยไม่ใช้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพลาสติก

โลกกำลังเผชิญปัญหาวิกฤติจากขยะพลาสติกสังเคราะห์ เช่นเดียวกับประเทศไทยกำลังมีปัญหามลพิษทางน้ำ โดยเฉพาะขยะจากบรรจุภัณฑ์ ถุง ภาชนะที่ใช้พลาสติกนานาชนิดทำให้ประเทศไทยมีขยะในทะเลมากเป็นอันดับ 6 ของโลก ซึ่งเป็นอันตรายต่อระบบนิเวศสัตว์ทะเล และห่วงโซ่อาหารของมนุษย์ [2] ด้วยเหตุนี้ ความต้องการของตลาดภาชนะที่ย่อยสลายได้ง่าย จึงกลายเป็นตลาดที่น่าจับตามองและกำลังเติบโตอย่างรวดเร็วทั้งในประเทศและตลาดส่งออกต่างประเทศ ซึ่งรัฐบาลหลายประเทศโดยเฉพาะสหภาพยุโรปก็ต่างสนับสนุนให้ภาคเอกชนขยายการผลิตวัสดุชีวภาพ แทนพลาสติกสังเคราะห์อยู่แล้ว จึงได้มีการพัฒนาภาชนะทดแทนที่ทำจากวัสดุธรรมชาติกันอย่างหลากหลาย เพื่อที่จะนำมาใช้แทนผลิตภัณฑ์จากพลาสติกและผลิตภัณฑ์จากโฟม โดยวัสดุที่ใช้ค่อนข้างหาง่ายและมีในพื้นที่ชุมชนสามารถนำมาใช้ได้ อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์จากเส้นใยจากกล้วย เส้นใยมันสำปะหลัง เส้นใยสับปะรด เป็นต้น [3] อีกทั้งยังมีการพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ใช้วัสดุจากธรรมชาติออกมาใช้อย่างมากมาย เพื่อเป็นการอนุรักษ์ธรรมชาติ ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม โดยมุ่งเน้นไปที่วัสดุธรรมชาติ [4 – 5] ในอีกด้าน ก็เป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรให้เกิดประโยชน์ เสริมสร้างเศรษฐกิจหมุนเวียน การรีไซเคิลวัสดุธรรมชาติมาสร้างมูลค่าเพิ่ม เกษตรกรและผู้ปลูกต้นไม้ไม่มีรายได้ ส่งเสริมโอกาสในการส่งออก รวมถึงวัสดุธรรมชาติอื่นที่มีศักยภาพ ให้สามารถส่งออกไปท่าตลาดได้ทั่วโลก ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายและเทรนด์ของโลกที่ประกาศเลิกใช้ถุงและภาชนะพลาสติกหลายชนิด ในอีกด้านก็สอดคล้องกับการสนับสนุนนโยบายรัฐบาลไทยที่

ส่งเสริมให้ประชาชนปลูกไม้มีค่าในพื้นที่ตนเองและใช้ประโยชน์ได้อย่างที่กล่าวมาแล้วด้วย

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดศึกษาและหาแนวทางการสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปรีไซเคิลสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติสู่การใช้ประโยชน์เพื่อให้ได้เครื่องจักรที่สามารถใช้งานกับวัสดุธรรมชาติได้อย่างหลากหลาย มีความรวดเร็ว และมีราคาถูก

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครื่องอัดขึ้นรูปรีไซเคิลสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องหลายเรื่อง ซึ่งในแต่ละเรื่องมีความน่าสนใจที่แตกต่างกัน ทั้งวัสดุที่ใช้สร้าง และวัตถุประสงค์ของการสร้างที่แตกต่างกัน จึงขอยกตัวอย่างดังนี้

เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ [5] เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ แทนการใช้กล่องโฟมที่ใช้ใส่อาหาร ซึ่งส่งผลเสียต่อธรรมชาติ คณะผู้วิจัยได้สร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะ จากวัสดุธรรมชาติเพื่อนำมาทำการอัดขึ้นรูปภาชนะใส่อาหาร ประกอบด้วย บีมลขนาด 8 บาร์ กระบอกลมนิวแมติกส์ ตัวควบคุมระบบไฟฟ้าวาล์วควบคุมต่าง ๆ และชุดรับแรงกดรวมถึงแม่พิมพ์ ภาชนะใส่อาหาร ซึ่งเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาตินี้สามารถอัดขึ้นรูปภาชนะใส่อาหารได้ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 มิลลิเมตร ได้ครั้งละ 1 ชิ้น ผลการวิจัย พบว่า จากการทดลองขึ้นรูปที่ความดัน 6 บาร์ ขึ้นรูปใช้วัสดุจากหมาก ขนาดด้วย 5 นิ้ว ที่แช่น้ำในเวลา 15 นาที พบว่า ความชื้นที่มีค่า ร้อยละ 2.74 – 5.71 นั้นขึ้นงานมีความเสถียร ไม่บดองหลังจากการขึ้นรูป โดยเวลาที่น้อยที่สุด 3 นาทีที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และการขึ้นรูปด้วย ขนาด 5 นิ้ว ใช้วัสดุจากกล้วย แช่น้ำในเวลา 20 วินาที พบว่าความชื้นที่มีค่า ร้อยละ 2.25 – 6.41 นั้นขึ้นงานมีความเสถียร ไม่บดองหลังจากการขึ้นรูป โดยเวลาที่ใช้น้อยที่สุด 2 นาที เมื่ออุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ในการผลิต 1 วันทำงาน 8 ชั่วโมง สามารถผลิตถ้วยจากหมากได้ 20 ใบต่อชั่วโมง และจากกล้วย สามารถผลิตได้ 30 ใบต่อชั่วโมง โดยถ้วยที่ใช้ได้คิดเป็น 70% ของถ้วยทั้งหมดที่ผลิตได้

การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ [6] เพื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากเส้นใยธรรมชาติเพื่อขึ้นรูปภาชนะที่สามารถย่อยสลายตัวเองตามธรรมชาติได้เพื่อลดขยะจากภาชนะโฟม โดยใช้เยื่อกระดาษชานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุที่เหลือจากโรงงานน้ำตาลผสมกับน้ำเป็นวัสดุในการขึ้นรูป โดยจะทำการศึกษารวมวิธีและความเป็นไปได้ในการขึ้นรูปภาชนะ 2 ชนิด ได้แก่ งานขนาด 6 นิ้ว ขามขนาด 4 นิ้ว การออกแบบและสร้างเครื่องจะเป็นในรูปแบบการทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วนหลักคือ 1) แทนกดควบคุมด้วยนิวแมติกส์สามารถควบคุมเวลาได้ 2) ชุดสูญญากาศสำหรับดูดน้ำออกจากแม่พิมพ์ 3) ชุดควบคุมอุณหภูมิแผ่นความร้อนของแม่พิมพ์ จากการทดลองพบว่าเมื่อขึ้นรูปที่ความดัน 6 บาร์ พบว่า การขึ้นรูปงานขนาด 6 นิ้ว พบว่าความชื้นที่มีค่า ร้อยละ 2.74 – 6.20 นั้นขึ้นงานมีความเสถียร ไม่บดองหลังจากขึ้นรูป โดยเวลา

ที่น้อยที่สุดคือ 35 นาที เมื่ออุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส และการขึ้นรูปด้วยขนาด 4 นิ้ว พบว่า ความชื้นที่มีค่า ร้อยละ 2.25 – 6.41 นั้นชิ้นงานมีความเสถียร ไม่มีตองหลังจากขึ้นรูป โดยเวลาที่น้อยที่สุดคือ 20 นาที เมื่ออุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส ส่วนในการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดพบว่าความดันขณะขึ้นรูปของชิ้นงานแปรผันตรงต่อค่าความต้านทานแรงกด โดยการขึ้นรูปจานขนาด 6 นิ้ว พบว่า มีค่าต้านทานแรงกดที่ 78 99 และ 126 นิวตัน ที่ความดัน 4 5 และ 6 บาร์ ตามลำดับ และการขึ้นรูปด้วยขนาด 4 นิ้ว พบว่า มีค่าต้านทานแรงกดที่ 233 358 และ 466 นิวตัน ที่ความดัน 4 5 และ 6 บาร์ ตามลำดับ

เครื่องอัดขึ้นรูปจานโดยใช้วัสดุธรรมชาติ [7] มีขนาดความกว้าง 45 เซนติเมตร ความยาว 45 เซนติเมตร ความสูง 65 เซนติเมตร มีบี้มลมเป็นเครื่องต้นกำลังและใช้วาล์วเป็นตัวควบคุมการทำงานของกระบอกสูบ เพื่อให้กระบอกสูบกดแม่พิมพ์ โดยใช้เวลา 2 นาที ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส 1) เครื่องอัดขึ้นรูปจานโดยใช้วัสดุธรรมชาติ ที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้เป็นเครื่องต้นแบบในการสร้าง เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติและลดต้นทุนการซื้อเครื่องจากท้องตลาดได้ และ 2) เครื่องอัดขึ้นรูปจานโดยใช้วัสดุธรรมชาติ ที่พัฒนาขึ้นสามารถผลิตจานจากวัสดุธรรมชาติ ที่สามารถย่อยสลายได้โดยธรรมชาติ และไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่า เครื่องอัดขึ้นรูปจะใช้ความร้อนควบคู่กับแรงดันอัดเพื่อให้วัสดุคงรูปตามต้องการ โดยมีแม่พิมพ์จะกำหนดรูปร่างของภาชนะที่จะอัดขึ้นรูป และส่วนใหญ่จะสามารถอัดขึ้นรูปได้เฉพาะวัสดุที่ต้องการเป็นการเฉพาะเท่านั้น ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับวัสดุอื่น ๆ ได้ เช่น วัสดุผสม วัสดุเส้นใย วัสดุกาบใบ เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงจำกัดข้อต่อยเหล่านี้ันออกไปด้วยการออกแบบที่สามารถปรับแรงดันอัด ความร้อน รวมถึงรูปแบบของแม่พิมพ์ที่จะทำการอัดขึ้นรูปได้

3. เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ

หลักการการทำงานของเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุธรรมชาติและกระบวนการอัดขึ้นรูป จึงได้นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบกลไกการทำงานของเครื่อง โดยหลักการทำงานจะใช้แม่พิมพ์ในการอัดโดยใช้ฮีตเตอร์แผ่นให้ความร้อนโดยตรงกับแม่พิมพ์และสามารถปรับระดับอุณหภูมิของแม่พิมพ์ได้เป็นอย่างดี และใช้แรงกดจากกระบอกไฮดรอลิก เมื่อฮีตเตอร์ให้ความร้อนกับแม่พิมพ์จนถึงอุณหภูมิที่ได้ทำการกดแม่พิมพ์เพื่อทำการขึ้นรูปให้มีลักษณะตามต้องการ ส่วนประกอบของเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ แสดงดังรูปที่ 1 สามารถแยกชุดโครงสร้างออกเป็น 5 ชุด ดังนี้ คือ ชุดโครงเครื่อง ชุดส่งกำลังในการอัดขึ้นรูป ชุดให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ ชุดรองรับแม่พิมพ์ และชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง

3.1 ชุดโครงเครื่อง

ออกแบบให้มีขนาด 800 x 350 x 1,300 มิลลิเมตร โดยโครงเครื่องได้ออกแบบมาให้สามารถรองรับแรงอัดของแม่พิมพ์ ที่นำมาเป็นส่วนประกอบเป็นชุดส่งกำลังในการอัดขึ้นรูป

3.2 ชุดส่งกำลังในการอัดขึ้นรูป

ออกแบบโดยนำกระบอกไฮดรอลิกมาใช้ยกหรือกดแม่พิมพ์ควบคุมโดยไฮดรอลิกบี้มและวาล์วควบคุมความดันเป็นตัวสั่งการ การทำงานกระบอกไฮดรอลิก เพื่อทำการยกหรืออัดแม่พิมพ์



รูปที่ 1 เครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ

1) การคำนวณแรงของกระบอกไฮดรอลิก ซึ่งกระบอกไฮดรอลิกที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปเป็นกระบอกไฮดรอลิก ทำงานสองทางมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก้านกระบอกไฮดรอลิก 50 มิลลิเมตร แรงเสียดทาน 10 เปอร์เซ็นต์ และใช้แรงดันได้สูงสุด 3500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

กำหนดให้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกไฮดรอลิก = 80 มิลลิเมตร = 8 เซนติเมตร

ขนาดผ่านศูนย์กลางก้านกระบอกไฮดรอลิก = 50 มิลลิเมตร = 5 เซนติเมตร

แรงดัน 4 บาร์ = 4×10^5 นิวตัน/ตารางเมตร

คำนวณพื้นที่หน้าตัดของกระบอกไฮดรอลิกเพื่อนำไปคำนวณแรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกไฮดรอลิกขณะเคลื่อนที่ออกจากสูตร

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi \times 8^2}{4}$$

$$A = 50.24 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

คำนวณพื้นที่หน้าตัดวงแหวนของกระบอกไฮดรอลิกเพื่อนำไปคำนวณแรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบขณะเคลื่อนที่กลับจากสูตร

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$A = \frac{\pi}{4} (8^2 - 2^2)$$

$$A = 47.1 \text{ ตารางเซนติเมตร}$$

2) การคำนวณแรงที่คำนวณได้ทางทฤษฎีของกระบอกไฮดรอลิกแบบ 2 ทาง

ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$F_{th} = A \cdot P$$

$$F_{th} = (50.24 \times 10^{-4}) \times (5 \times 10^5)$$

$$F_{th} = 2,512 \text{ นิวตัน} \approx 257 \text{ กิโลกรัมแรง}$$

ขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$F_{th} = A' \cdot P$$

$$F_{th} = (47.1 \times 10^{-4}) \times (5 \times 10^5)$$

$$F_{th} = 2,355 \text{ นิวตัน} \approx 241 \text{ กิโลกรัมแรง}$$

แรงเสียดทานมีค่า 10 เปอร์เซ็นต์ ของแรงทางทฤษฎี

∴ แรงเสียดทานขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$= 257 \times \frac{10}{100} = 25.7 \text{ กิโลกรัมแรง}$$

∴ แรงเสียดทานขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$= 241 \times \frac{10}{100} = 24.1 \text{ กิโลกรัมแรง}$$

3) การคำนวณแรงที่เกิดขึ้นจริงของกระบอกสูบขณะทำงาน

ขณะลูกสูบเคลื่อนที่ออก

$$F_n = (A \times P) - F_R$$

$$F_n = 257 - 25.7$$

$$F_n = 231.3 \text{ กิโลกรัมแรง}$$

ขณะลูกสูบเคลื่อนที่กลับ

$$F_n = (A' \times P) - F_R$$

$$F_n = 241 - 24.1$$

$$F_n = 216.9 \text{ กิโลกรัมแรง}$$

เนื่องจาก kgf มีค่าเท่ากับหน่วย กิโลกรัม

∴ จากการคำนวณแรงในขณะกระบอกสูบเคลื่อนที่ออกสามารถรับน้ำหนักได้ 231.3 กิโลกรัมแรงและขณะกระบอกสูบเคลื่อนที่กลับสามารถรับน้ำหนักได้ 216.9 กิโลกรัมแรง ดังนั้นจึงมั่นใจได้ว่า กระบอกสามารถรับน้ำหนักของแม่พิมพ์ที่มีน้ำหนัก 40 กิโลกรัมได้

4) การคำนวณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการปฏิบัติงาน ใช้กระแสไฟฟ้า 1 เฟส 220 v โดยมีฮีตเตอร์เพื่อให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์จำนวน 2 แผ่น แต่ละแผ่นใช้กระแสไฟอยู่ที่ 2500 w คำนวณจากสมการ 2.3 จะได้

$$\text{จากสูตร} \quad P = V \times I$$

$$5000 = 220 \times I$$

$$I = \frac{5000}{220}$$

$$I = 22.73 \text{ แอมป์}$$

∴ ในการอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์โดยใช้ฮีตเตอร์ 2500 วัตต์ จำนวน 2 แผ่นใช้กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ 22.73 แอมป์

3.3 ชุดให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์

ฮีตเตอร์แผ่น ขนาด 2,500 วัตต์ จำนวน 2 แผ่น เพื่อให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์

3.4 ชุดรองรับแม่พิมพ์

ออกแบบให้มีลักษณะหน้าเรียบ มีรูปร่างเป็นฐานสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำหน้าที่รองรับการเปลี่ยนแม่พิมพ์ได้หลากหลาย แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ชุดรองรับแม่พิมพ์และฮีตเตอร์

3.5 ชุดควบคุมการทำงานของเครื่อง

ออกแบบและสร้างตู้ Electrical Control เพื่อทำการควบคุมการทำงานของชุดส่งกำลังในการอัดขึ้นรูป และชุดให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะตู้ Electrical Control ควบคุมการทำงาน

4. ผลการทดสอบการใช้งานและวิเคราะห์ผล

(1) กระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้อัดจากชีเลื่อยไม้ไผ่ โดยใช้เศษไม้ไผ่ ปริมาณ 300 กรัม ผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 300 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากันจนกาวแป้งมันสำปะหลังเคลือบทั่วเศษไม้ไผ่ทั้งหมด นำเศษไม้ไผ่ที่ผสมเสร็จแล้วใส่ลงในบล็อกแม่พิมพ์ที่มีขนาดกว้าง x ยาว x หนา 20 x 30 x 1 เซนติเมตร เกลี่ยส่วนผสมให้กระจายทั่วจนเต็มแม่พิมพ์ นำเข้าอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ใช้แรงดันอัด 2,400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) อุณหภูมิอัดร้อน 170 องศาเซลเซียส และเวลาอัดขึ้นรูป 15 นาที จะได้แผ่นไม้ไผ่จากเศษไม้ไผ่ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผ่นไม้อัดจากชีเลื่อยไม้ไผ่

(2) กระบวนการอัดขึ้นรูปแผ่นไม้ไผ่จากเศษไม้ไผ่ โดยใช้เศษไม้ไผ่ ที่มีขนาดความกว้างประมาณ 25 - 30 มิลลิเมตร จากนั้นทากาวแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 300 กรัม ให้ทั่วบริเวณผิวหน้าเศษไม้ไผ่ โดยการวางเศษไม้ไผ่ได้จำนวน 3 ชั้น นำเศษไม้ไผ่ที่ทากาวเสร็จแล้วนำเข้าอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ใช้แรงดันอัด 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิอัดร้อน 150 องศาเซลเซียส และเวลาอัดขึ้นรูป 10 นาที จะได้แผ่นไม้ไผ่จากเศษไม้ไผ่ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผ่นไม้ไผ่จากเศษไม้ไผ่

(3) กระบวนการอัดขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกามมะพร้าว โดยใช้เส้นใยกามมะพร้าวที่ได้จากการทำเป็นเส้นใยเสร็จแล้วนำมาซังให้ได้ ปริมาณ 20 กรัม ผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 30 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากันจนกาวแป้งมันสำปะหลังเคลือบทั่วเส้นใยกามมะพร้าวทั้งหมด นำเข้าอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ใช้แรงดันอัด 2,400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิอัดร้อน 150 องศาเซลเซียส และ

เวลาอัดขึ้นรูป 4 นาที จะได้ภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกามมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ภาชนะบรรจุอาหารจากเส้นใยกามมะพร้าว

(4) กระบวนการอัดขึ้นรูปภาชนะบรรจุอาหารจากใบตาลโตนด โดยใช้ใบตาลโตนดให้ได้ขนาดความยาวประมาณ 20 เซนติเมตร แล้วเช็ดทำความสะอาด จากนั้นนำใบตาลโตนดที่ตัดแล้วมาคลี่ออกโดยการกดทับเพื่อรอกการติดกันเป็นแผ่น จากนั้นทากาวแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 200 กรัม ให้ทั่วบริเวณผิวหน้าใบตาลโตนด นำเข้าอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ใช้แรงดันอัด 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิอัดร้อน 160 องศาเซลเซียส และเวลาอัดขึ้นรูป 7 นาที จะได้ภาชนะบรรจุอาหารจากใบตาลโตนด แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ภาชนะบรรจุอาหารจากใบตาลโตนด

(5) กระบวนการอัดขึ้นรูปไม้รีกซ์โลกจากชีเลื่อยไม้ยางพาราผสมเส้นใยเปลือกมะพร้าว โดยใช้ชีเลื่อยไม้ยางพาราที่ได้จากโรงงานนำมาทำการกรองด้วยเครื่องร่อนที่มีความละเอียด 200 แมช และเส้นใยเปลือกมะพร้าวมาตัดให้มีขนาดความยาว 1 - 5 เซนติเมตร ผสมกับกาวแป้งมันสำปะหลัง ปริมาณ 300 กรัม คลุกเคล้าให้เข้ากันจนกาวแป้งมันสำปะหลังเคลือบทั่วชีเลื่อยไม้ยางพาราผสมเส้นใยเปลือกมะพร้าวทั้งหมด นำชีเลื่อยไม้ยางพาราผสมเส้นใยเปลือกมะพร้าวที่ผสมเสร็จแล้วใส่ลงในบล็อกแม่พิมพ์ เกลี่ยส่วนผสมให้กระจายทั่วจนเต็มแม่พิมพ์ นำเข้าอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปร้อน ใช้แรงดันอัด 2,800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) อุณหภูมิอัดร้อน 200 องศาเซลเซียส และเวลาอัดขึ้นรูป 5 นาที จะได้ไม้รีกซ์โลกจากชีเลื่อยไม้ยางพาราผสมเส้นใยเปลือกมะพร้าว แสดงดังรูปที่ 8

จากผลการทดสอบการใช้งานเครื่องอัดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติจะเห็นได้ว่าสามารถอัดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ผง ใย เส้นใย ผสม เป็นต้น และสามารถปรับ

ช่วงของอุณหภูมิอัดรีด และเวลาอัดรีดขึ้นรูป ได้อย่างหลากหลาย เพื่อให้เป็นประโยชน์แก่อำนวยความสะดวกในการอัดรีดขึ้นรูปวัสดุต่างชนิดกันที่ต้องการปัจจัยในการอัดรีดขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ที่จะสามารถทำให้วัสดุธรรมชาตินั้นคงรูปและมีสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้นได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 8 แม่พิมพ์จากซีเมนต์อย่างพาราผสมเส้นใยเปลือกมะพร้าว

ตารางที่ 1 ความสามารถของเครื่องอัดรีดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดรีดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ

ลำดับ	ปัจจัยการผลิต	ความสามารถของเครื่อง
1	แรงดันอัด	2,000 – 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
2	อุณหภูมิอัดรีด	100 – 250 องศาเซลเซียส
3	เวลาอัดรีดขึ้นรูป	ไม่จำกัด
4	วัสดุในการขึ้นรูป	ไม่จำกัด
5	แม่พิมพ์อัดรีดขึ้นรูป	ภายใต้ขนาดของชุดรองรับแม่พิมพ์

5. สรุป

เครื่องอัดรีดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดรีดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติสามารถอัดรีดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติได้หลากหลายรูปแบบ เช่น ผง ใย เส้นใย ผสม เป็นต้น และสามารถปรับช่วงของอุณหภูมิอัดรีด และเวลาอัดรีดขึ้นรูป ได้อย่างหลากหลาย เพื่อให้เป็นประโยชน์แก่อำนวยความสะดวกในการอัดรีดขึ้นรูปวัสดุต่างชนิดกันที่ต้องการปัจจัยในการอัดรีดขึ้นรูปที่แตกต่างกัน ที่จะสามารถทำให้วัสดุธรรมชาตินั้นคงรูปและมีสมบัติต่าง ๆ ที่ดีขึ้นได้

เครื่องอัดรีดขึ้นรูปร้อนสำหรับการอัดรีดขึ้นรูปวัสดุธรรมชาติ มีความสามารถในการส่งกำลังอัดรีดขึ้นรูปสูงสุดที่ 2,000 – 3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว อุณหภูมิอัดรีด 100 – 250 องศาเซลเซียส เวลาอัดรีดขึ้นรูปไม่จำกัด และสามารถปรับเปลี่ยนแม่พิมพ์อัดรีดขึ้นรูปได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการจัดสรรจัดงบประมาณผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ประจำปี พ.ศ. 2565 ภายใต้แผนงานยุทธศาสตร์ การวิจัยและพัฒนานวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Manatsayaporn, แนวทางป้องกันและแก้ไขปัญหาภาวะโลกร้อน, ข้อมูลจาก <https://goo.gl/WSqBTo> (วันที่สืบค้นข้อมูล 23 มีนาคม 2564)
- [2] เจษฎา ชัยโฉม, เครื่องขึ้นรูปผลิตงานไบโไม้ รักษาโลก ลดขยะพิษพลาสติก สร้างงานดีไซน์ เพิ่มรายได้จากการส่งออก, ข้อมูลจาก <https://www.salika.co/2018/10/13/eco-friendly-plate-innovation/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 23 ธันวาคม 2565)
- [3] ณัฐพล ไชแสงศรี อรพิน เกิดชูชื่น ณัฐรา เลหากุลจิตต์ และสุพจน์ ประทีปถิ่นทอง. 2553. “การพัฒนาภาคโปมจากแป้งมันสำปะหลังในการบรรจุส้มโอตัดแต่งสด”. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, ปีที่ 41, ฉบับที่ 3/1 (พิเศษ): 669-672.
- [4] ธีรภัทร หลิมบุญเรือง และนิตต์อลิน พันธุ์ภัย, การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะแบบย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยผักตบชวา, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31, 4 – 7 กรกฎาคม 2560, นครนายก.
- [5] กิตติศักดิ์ เมืองกลาง ณัฐพงษ์ รักด่านกลา ณัฐวุฒิ ดงกระโทก ทักษิณัย จันทินอก วรรณธร ชิดการ. 2564. “เครื่องขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุธรรมชาติ”, Industrial Technology Journal, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2: 65-76.
- [6] นพดล จันทรลักษณ์ และสมนึก วัฒนศรียกุล, การออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ.2555, 17-19 ตุลาคม 2555, เพชรบุรี.
- [7] ชัชวิน กันภัย สุเมธ วรศรี พงศ์เทพ ทิพย์นุ้ย ธวัชชัย รอดไฟ และคำรณ ด้วงทับ, เครื่องอัดขึ้นรูปงานโดยใช้วัสดุธรรมชาติ, ข้อมูลจาก <https://www.thailandinnovationportal.com/info/innovation/item/2012> (วันที่สืบค้นข้อมูล 29 มกราคม 2566)

การประยุกต์ใช้ Solver ใน Microsoft Excel เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรการเลือกห้องวิจัย ของนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

An Application of Solver in Microsoft Excel for Solving the Problem of Research Labs Selection and Allocation of Engineering Students at Mahasarakham University

จรรยาวรรณ เสสูงเนิน¹ สริญญา ศาลางาม²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

²สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

E-mail: Sarinya.sa@msu.ac.th*

Janyawant Sasoongnon¹, Sarinya Sala-ngam²

¹Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University

²Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Mahasarakham University

E-mail: Sarinya.sa@msu.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดสรรห้องวิจัยของนิสิตสาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยประยุกต์ใช้ Solver ใน Microsoft Excel ร่วมกับตัวแบบคณิตศาสตร์ ปัจจุบันสาขาวิศวกรรมการผลิตมีการจัดสรรห้องวิจัยที่ให้นิสิตเข้าหาอาจารย์ห้องวิจัยนั้น ๆ หากห้องวิจัยดังกล่าวยังไม่เต็มนิสิตก็จะได้ห้องวิจัยที่ตัวเองเลือก แต่ถ้าห้องวิจัยนั้นเต็มนิสิตต้องติดต่อสอบถามห้องวิจัยอื่น ๆ ที่ยังว่างซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีการที่ไม่มีประสิทธิภาพ ใช้เวลานานเกินความจำเป็น และนิสิตหลาย ๆ กลุ่มได้ห้องวิจัยที่ตัวเองไม่ต้องการ ส่งผลต่อความพึงพอใจในการทำวิจัยหรือโครงการวิศวกรรมการผลิตของนิสิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้ Solver เพื่อเป็นเครื่องมือในการประมวลผลการจัดสรรห้องวิจัยแบบอัตโนมัติ ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจความต้องการเลือกห้องวิจัย 3 อันดับแรกของนิสิตกลุ่มเป้าหมายชั้นปีที่ 4 ทั้งหมด 28 กลุ่ม และเก็บรวบรวมข้อมูลห้องวิจัย เงื่อนไขการจัดสรรห้องวิจัยของสาขาวิศวกรรมการผลิต หลังจากนั้นทำการออกแบบตัวแบบทางคณิตศาสตร์แทนปัญหาการจัดสรรห้องวิจัย แล้วทำการประมวลผลเพื่อหาคำตอบของปัญหาโดยอัตโนมัติ ผลการศึกษาผู้วิจัยสามารถนำเสนอวิธีการหาคำตอบการจัดสรรห้องวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ใช้เวลาประมวลผลเพียง 4 วินาที จากเดิมที่ใช้เวลาประมวลผลไม่ต่ำกว่า 4 ชม. และคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ตรงตามเงื่อนไขการจัดสรรห้องวิจัยของสาขาวิศวกรรมการผลิตทุกเงื่อนไข

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดสรร ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เครื่องมือโซลเวอร์ในไมโครซอฟท์เอ็กเซล

Abstract

The objective of this study is to present the solution of the research labs selection and allocation problem of manufacturing engineering (MFE) students at Mahasarakham University using Solver in Microsoft Excel and a mathematical model. In the present research lab allocation, the MFE students must contact the head of that lecturer's research lab, if that research lab is not full, they will be allocated to the research lab that they chose. If it is full, they must contact and ask the other research labs. This method would likely be inefficient and take a long time unnecessarily. Moreover, many groups of students will be allocated to the research lab they don't want to choose. This would have an effect on students unsatisfied with doing MFE projects. Therefore, this study focuses on applying Solver to automatically analyze the allocation problem of research labs. The researchers assigned the questionnaires to 28 groups of junior students targeted to answer the questions about the top 3 research labs that they want to choose. Then, information about the research labs of the MFE department, allocation, and selection conditions were collected. Next, a mathematical model which took the place of the research lab allocation problem has been developed and solved to find the problem's solution automatically. The result showed that the allocation problem's solution is presented efficiently within 4 seconds while the old method took at least 4 hours, and the answers are found under the conditions of the MFE department research labs allocation.

Keywords: The allocation problem, Mathematical model, Solver in Microsoft Excel

1. บทนำ

สถาบันอุดมศึกษาในประเทศไทยต่างก็มีการกิจหลักที่คล้าย ๆ กัน คือ สร้างบัณฑิต ส่งเสริมงานวิจัย บริการวิชาการ และอื่น ๆ โดยเฉพาะภารกิจด้านการสร้างบัณฑิต เพื่อให้บรรลุภารกิจดังกล่าว สถาบันอุดมศึกษาหรือมหาวิทยาลัยได้มีนโยบายให้ทุกคณะหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องผลิตบัณฑิตที่มีคุณภาพพร้อม ๆ กับการบริหารและการจัดการด้านนิสิต รวมถึงด้านวิชาการที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นคณะและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในมหาวิทยาลัยจำเป็นต้องดำเนินการที่ตอบสนองนโยบายของมหาวิทยาลัยอย่างเคร่งครัด โดยส่วนใหญ่ในปีแรกนิสิตหรือนักศึกษาจะเริ่มเรียนวิชาพื้นฐานที่กำหนดจนครบตามเกณฑ์เรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจะศึกษารายวิชาเอกที่สำคัญหรือเป็นเงื่อนไขการจบการศึกษาของสาขานั้น ๆ เพื่อเตรียมความพร้อมในการทำวิจัยเพื่อให้ตัวเองมีความรู้ด้านวิชาการ และเรียนรู้กระบวนการด้านวิจัยในคณะหรือสาขาที่ตัวเองเรียนอยู่เมื่ออยู่ในระดับชั้นปีที่ 3 หรือปีที่ 4

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีหลักสูตรที่เปิดสอนทั้งหมด 8 หลักสูตร (หรือสาขา) [1] และมีจำนวนนิสิตเข้าศึกษาโดยเฉลี่ยปีละ 900 คน [2] สำหรับสาขาวิศวกรรมการผลิตเป็นสาขาที่ศึกษาเกี่ยวกับเทคโนโลยีและการจัดการด้านการผลิต ในทุก ๆ ปีจะมีนิสิตเลือกกลงเรียนสาขาวิศวกรรมการผลิตปีละ 90 คน และสาขาการผลิตมีจำนวนอาจารย์ประจำสาขาทั้งหมด 7 คน ทำให้อาจารย์แต่ละท่านสามารถรับนิสิตเข้าห้องวิจัยและเป็นพี่เลี้ยงในการทำโครงการวิศวกรรมสาขาการผลิต (Manufacturing Engineering Project) ได้เพียงเฉลี่ยท่านละ 13 คน (หรือประมาณ 6 – 7 กลุ่ม) และทุก ๆ ปีที่มีการเลือกห้องวิจัย จะมีการประชุมเพื่อแนะนำความเชี่ยวชาญของอาจารย์แต่ละท่าน หลังจากนั้นให้นิสิตตัดสินใจว่าต้องการหรือสนใจเข้าห้องวิจัยของอาจารย์ท่านใด ซึ่งกระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการดั้งเดิม ไม่มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีหรือเครื่องมือที่ทันสมัยในการแก้ปัญหา ส่งผลทำให้การบริหารและการจัดการเกี่ยวกับการจัดสรรนิสิตเข้าห้องวิจัยใช้เวลาค่อนข้างเกินความจำเป็น (ไม่ต่ำกว่า 4 ชม.) มีข้อผิดพลาดเยอะและทำให้นิสิตสูญเสียโอกาสในการสำรองที่นั่งห้องวิจัยที่ตัวเองสนใจลำดับถัดไป (เนื่องจากเต็มจำนวนที่อาจารย์แต่ละท่านรับได้) จะเห็นได้ว่าหากมีเครื่องมือหรือเทคโนโลยีที่ช่วยวิเคราะห์และประมวลผลการจัดสรรการเลือกห้องวิจัยให้กับนิสิต จะส่งผลทำให้การจัดการเพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรห้องวิจัยของสาขาวิศวกรรมการผลิตมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ใช้ระยะเวลาที่น้อยลง และมีความแม่นยำมากขึ้น นิสิตถูกจัดสรรให้อยู่ห้องวิจัยที่ตัวเองสนใจถึงแม้จะพลาดห้องวิจัยที่ตัวเองเลือกในลำดับที่ 1 ได้

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีนักวิชาการหลาย ๆ ท่านได้นำเสนอเครื่องมือต่าง ๆ ทั้งเครื่องมืออย่างง่ายไปจนถึงเครื่องมือที่ยุ่ยากและซับซ้อน ราคาแพง เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรร (The allocation problem) บัทยา และคณะได้ทำการศึกษาค้นคว้าการจัดตารางเวลาในการเดินทางขนส่งมวลขนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยประยุกต์ใช้เครื่องมือ Solver ใน Microsoft Excel เพื่อจัดตารางเวลาในการเดินทาง

ให้เหมาะสมกับจำนวนผู้มาใช้บริการแต่ละวันและแต่ละช่วงเวลา ผลการศึกษาผู้วิจัยสามารถจัดตารางการขนส่งได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ต้นทุนการดำเนินงานลดลงคิดเป็นร้อยละ 30.92 [3] พรรตน์ และคณะได้ทำการศึกษาค้นคว้าการจัดลำดับการผลิตแบบหลายงานและหลายเครื่องจักรของบริษัทกรณีศึกษา เพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตและเวลาของการจัดตารางการผลิต โดยใช้ VBA ใน Microsoft Excel เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรตารางการผลิตของงาน 5 งานกับเครื่องจักร 4 เครื่องจักร ผลการวิจัยพบว่าการใช้ VBA สามารถแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพขึ้น [4] ในขณะที่อาริต และคณะได้ทำการศึกษาเพื่อนำเสนอวิธีการจัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลที่ทำงานแบบคู่ขนานของอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อจัดลำดับงานและจัดสรรทรัพยากรที่มีให้คุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด โดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ผลการศึกษาผู้วิจัยสามารถจัดตารางการผลิตได้อย่างเหมาะสม และใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ [5]

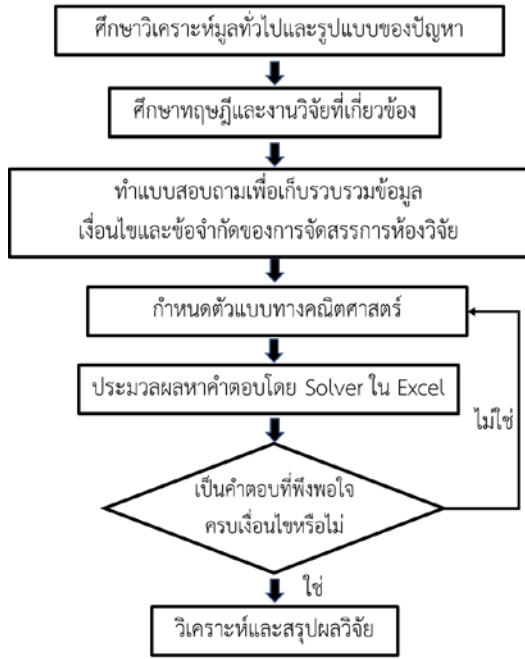
ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้โปรแกรม Microsoft Excel เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรการเลือกห้องวิจัยของนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยออกแบบตัวแบบทางคณิตศาสตร์แทนปัญหาการจัดสรร และใช้เครื่องมือ Solver ที่มีอยู่ใน Microsoft Excel ในการประมวลผลเพื่อหาคำตอบของปัญหาดังกล่าว

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

เพื่อเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดสรรการเลือกห้องวิจัยของนิสิตสาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยประยุกต์ใช้ Solver ใน Microsoft Excel ซึ่งเป็นเครื่องมือสำเร็จรูปอย่างง่าย และไม่มีค่าใช้จ่าย มีวิธีการใช้ที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน แต่สามารถแก้ปัญหาและหาคำตอบได้ดีในระดับที่น่าพอใจผู้วิจัยได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น จำนวนอาจารย์ประจำสาขา จำนวนนิสิตชั้นปีที่ 3 (ปีการศึกษา 2564) เงื่อนไขต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องและเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการเลือกห้องวิจัยของนิสิตกลุ่มเป้าหมาย โดยการสร้างแบบสำรวจความต้องการเลือกห้องวิจัย หลังจากนั้นออกแบบสมการทางคณิตศาสตร์แทนปัญหาการจัดสรรการเลือกห้องวิจัยของนิสิต แล้วทำการประมวลผลหาคำตอบของปัญหาการจัดสรรการเลือกห้องวิจัยของนิสิตสาขาวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังรูปที่ 1

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ 1) คอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ (Intel © core (TM) i5-8500 CPU@ 3.00 GHz 4 GB) สำหรับบันทึกและประมวลผลข้อมูล 2) แบบสำรวจหรือสอบถามความต้องการเลือกห้องวิจัยของนิสิต 3) โปรแกรม Microsoft Excel และเครื่องมือ Solver



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินวิจัย

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลจำเป็นในการแก้ปัญหาการจัดการสรรหาห้องวิจัยของนิสิตกลุ่มเป้าหมาย ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบสำรวจนิสิตกลุ่มเป้าหมาย (รูปที่ 2) โดยแบบสำรวจความต้องการเลือกห้องวิจัยจะให้นิสิตเลือกห้องวิจัยที่ต้องการ 3 อันดับแรก กำหนดให้นิสิตใช้คะแนนตั้งแต่ 0 – 100 ในการลำดับห้องวิจัยที่ตัวเองต้องการเลือก 3 ลำดับแรก กล่าวคือ ถ้าต้องการเลือกห้องวิจัย A อันดับ 1 นิสิตจะให้คะแนนห้องวิจัยนี้มากที่สุด (แต่ต้องไม่เกิน 100) และให้คะแนนห้องวิจัยที่ตัวเองเลือกอันดับ 2 และ 3 ลดหลั่นกันไปตามลำดับ เป็นต้น สำหรับนิสิตกลุ่มเป้าหมาย ผู้วิจัยได้ทำการเลือกนิสิตชั้นปีที่ 3 สาขาวิศวกรรมการผลิต (ปีการศึกษา 2564) ที่มีคุณสมบัติสามารถลงทะเบียนรายวิชา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาการผลิต ได้ และมีคู่ที่จะทำโครงการร่วมกันเรียบร้อยแล้วเป็นนิสิตกลุ่มเป้าหมาย ซึ่งนิสิตกลุ่มเป้าหมายมีทั้งสิ้น 56 คนนี้ หรือ 28 กลุ่ม เนื่องจากนิสิตมีพันสภาพ และลงโปรแกรมสหกิจศึกษา ทั้งนี้ด้วยข้อจำกัดของโปรแกรมคือ 200 ตัวแปร หลังจากผู้วิจัยได้นั้นนำแบบสอบถามไปทำการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการเลือกห้องวิจัยของนิสิตในรูปแบบ Google Form (ตามมาตราการการป้องกันกระระบาดของ COVID-19)

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการตอบแบบสำรวจของ นิสิตกลุ่มเป้าหมายทั้งหมด 28 กลุ่มแสดงดังตารางที่ 1 นอกจากนี้แล้ว ดั่งที่กล่าวในข้างต้นว่า อาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มีจำนวนทั้งสิ้น 7 คน แต่ละคนต้องรับนิสิตเข้าห้องวิจัยเท่า ๆ กันคือ 4 กลุ่ม และเงื่อนไขหรือคุณสมบัติของนิสิต เช่น เกรดเฉลี่ย เกรดในรายวิชาต่าง ๆ เป็นต้น ไม่ใช่เงื่อนไขในการพิจารณาของอาจารย์ว่าจะรับนิสิตคนไหนเข้าห้องวิจัยหรือไม่

แบบสำรวจความต้องการเลือกอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานวิศวกรรมการผลิต

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เพศ หญิง ชาย

ขณะนี้กำลังศึกษาชั้นปีที่.....

แบบสอบถามมี 2 ตอน

ตอนที่ 1 ให้นิสิตทำแบบสำรวจความต้องการเลือกอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานวิศวกรรมการผลิต โดยเรียงลำดับห้องวิจัย 3 อันดับแรกที่ต้องการเลือกที่สุด พร้อมทั้งให้คะแนนลำดับที่เลือกนั้น โดยมีเงื่อนไขว่าคะแนนที่ให้อาจอยู่ระหว่างช่วง 0 – 100 คะแนน และคะแนนที่ให้อาจลดหลั่นกันตามลำดับที่เลือก

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานวิศวกรรมการผลิต	เลือกเป็นลำดับที่	คะแนน (0 - 100 คะแนน)
ห้องวิจัย A ตัวอย่างงานวิจัย • การพัฒนาเส้นทางขนส่ง • การเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมที่สุด รายวิชาที่เกี่ยวข้อง - การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน - การวิจัยการดำเนินงานสำหรับวิศวกร		
ห้องวิจัย B ตัวอย่างงานวิจัย • การผลิตแม่พิมพ์ด้วยเครื่องซีเอ็นซี • การผลิตแม่พิมพ์เทียนติดพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์ 3 มิติ รายวิชาที่เกี่ยวข้อง - คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต - คอมพิวเตอร์ช่วยในการเขียนแบบและออกแบบ		
ห้องวิจัย C ตัวอย่างงานวิจัย • การทนการสึกหรอของเหล็กหล่อขาวที่เติมธาตุผสมหลายชนิดที่ผ่านการอบชุบที่ 1050 องศา รายวิชาที่เกี่ยวข้อง		

รูปที่ 2 ตัวอย่างแบบสำรวจความต้องการเลือกห้องวิจัย

ตารางที่ 1 ผลการสำรวจการเลือกห้องวิจัยของนิสิตกลุ่มเป้าหมาย

ห้องวิจัย \ นิสิต	A	B	C	D	E	F	G
กลุ่ม 1	80		90		100		
กลุ่ม 2	90		80			100	
กลุ่ม 3		80			90		100
กลุ่ม 4		100			90	80	
กลุ่ม 5			80			70	100
กลุ่ม 6	50		100		99		
กลุ่ม 7		80	100		90		
กลุ่ม 8		90			100	80	
...
กลุ่ม 22	80		100		90		
กลุ่ม 23		100			80	90	
กลุ่ม 24	90		100			80	
กลุ่ม 25			90	80	100		
กลุ่ม 26			90	80	100		
กลุ่ม 27			90	80	100		
กลุ่ม 28	100			80	90		

2.3 ตัวแบบและสมการทางคณิตศาสตร์

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดสรรห้องวิจัยของนิสิตกลุ่มเป้าหมายอย่างที่ได้กล่าวไว้ในข้างต้นผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการหาคำตอบ โดยเปลี่ยนปัญหาการจัดสรรห้องวิจัยเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดของตัวแบบทางคณิตศาสตร์มีดังนี้

ดัชนี

i คือ ดัชนีชี้กลุ่มนิสิตเป้าหมาย ($i = 1, \dots, n$)

j คือ ดัชนีชี้ห้องวิจัย ($j = 1, \dots, m$)

พารามิเตอร์

S_{ij} คือ คะแนนที่กลุ่มนิสิตให้เพื่อเลือกห้องวิจัย ($0 \leq S_{ij} \leq 100$)

n คือ จำนวนกลุ่มนิสิตทั้งหมด (โดยที่ $n = 28$)

m คือ จำนวนห้องวิจัยทั้งหมด (โดยที่ $m = A - G = 7$)

ตัวแปร

X_{ij} คือ ตัวแปรตัดสินใจ มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อนิสิตกลุ่ม i ถูกจัดสรรให้อยู่ห้องวิจัย j และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆ

ตัวแบบ (Model)

Objective Function

$$\text{Maximum } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (X_{ij} S_{ij}) \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} = 1 \quad ; \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 4 \quad ; \quad \forall j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (3)$$

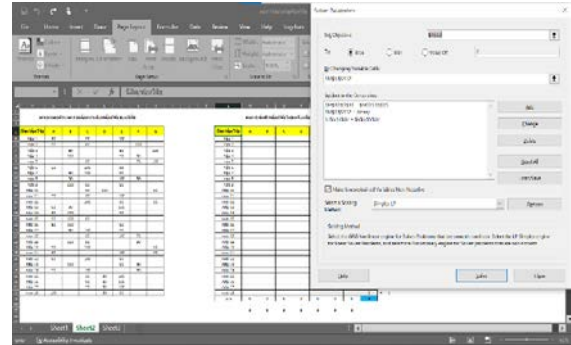
$$X_{ij} \in \{0, 1\} \quad (4)$$

โดยที่สมการที่ (1) เป็นสมการฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อจัดสรรห้องวิจัยให้ตรงตามความต้องการของนิสิตกลุ่มเป้าหมาย สมการที่ (2) เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดให้นิสิตทุกกลุ่มต้องถูกจัดสรรให้อยู่ห้องวิจัยเพียง 1 ห้องวิจัยเท่านั้น สมการที่ (3) เป็นสมการเงื่อนไขที่แสดงว่าจำนวนกลุ่มนิสิตจะถูกจัดสรรให้อยู่ในห้องวิจัยเท่า ๆ กัน และสมการที่ (4) เป็นการกำหนดคุณสมบัติของตัวแปรตัดสินใจที่ต้องไม่เป็นลบ (Non-negativity Constraints) และมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้น

2.4 การประมวลผลโดย Solver บน Microsoft Excel

เครื่องมือ Solver เป็นโปรแกรมย่อย (Add-in) ใน Microsoft Excel เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์ คำนวณหาคำตอบอัตโนมัติ โดยการพิจารณาสมการทางคณิตศาสตร์และเงื่อนไขที่ถูกป้อนลงในหน้าต่างเครื่องมือ Solver และเมื่อประมวลผลได้คำตอบแล้ว Solver จะทำการคืนค่าคำตอบนั้นมายังเซลล์ใน Microsoft Excel ที่ผู้ใช้กำหนด นอกจากนี้แล้วเครื่องมือ Solver ยังสามารถประมวลผลเพื่อหาคำตอบที่ยืดหยุ่นได้ กล่าวคือ สามารถคำนวณและส่งคืนค่าคำตอบทั้งที่เป็นค่าตอบค่าเดียว (value of) และค่าตอบที่เป็นค่ามาก (Max) หรือน้อย (Min) ที่สุดได้ซึ่งขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ผู้ใช้กำหนดป้อนลงไป ใน Solver [6] ถึงอย่างไรก็ตาม บางกรณีหรือบางปัญหาเครื่องมือ Solver อาจไม่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุด แต่เป็นคำตอบที่เพียงพอที่จะยอมรับได้

เพื่อประมวลผลหาคำตอบของปัญหาการจัดสรรห้องวิจัย ผู้วิจัยได้เปลี่ยนตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้กล่าวในหัวข้อ 2.3 ให้อยู่ในรูปแบบที่เครื่องมือ Solver สามารถอ่านและประมวลผลได้ ดังแสดงในรูปที่ 3 หลังจากนั้นกดปุ่ม Solve โปรแกรมจะทำการประมวลผลเพื่อหาคำตอบของปัญหาอัตโนมัติ



รูปที่ 3 การป้อนสมการทางคณิตศาสตร์ลงในเครื่องมือ Solver

3. ผลการวิจัย

ผลการประมวลเพื่อหาคำตอบของแก้ปัญหาการจัดสรรห้องวิจัยของนิสิตสาขาวิศวกรรมการผลิต มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ด้วยเครื่องมือ Solver ใน Microsoft Excel แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการแก้ปัญหาการจัดสรรห้องวิจัยด้วย Excel Solver

ห้องวิจัย \ นิสิต	A	B	C	D	E	F	G	Total
กลุ่ม 1	0	0	0	0	1	0	0	1
กลุ่ม 2	0	0	0	0	0	1	0	1
กลุ่ม 3	0	0	0	0	0	0	1	1
กลุ่ม 4	0	1	0	0	0	0	0	1
กลุ่ม 5	0	0	0	0	0	0	1	1
กลุ่ม 6	0	0	1	0	0	0	0	1
กลุ่ม 7	0	0	1	0	0	0	0	1
...
กลุ่ม 23	0	0	0	0	0	1	0	1
กลุ่ม 24	1	0	0	0	0	0	0	1
กลุ่ม 25	0	0	0	1	0	0	0	1
กลุ่ม 26	0	0	0	1	0	0	0	1
กลุ่ม 27	0	0	0	1	0	0	0	1
กลุ่ม 28	1	0	0	0	0	0	0	1
Total	4	4	4	4	4	4	4	2640

คำตอบที่แสดงในตารางที่ 2 เครื่องมือ Solver ใช้เวลาในการประมวลผลเพียง 5 วินาที (โดยประมาณ) ซึ่งเป็นเวลาที่น้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเดิม จากคำตอบที่แสดงในตารางที่ 2 สามารถอธิบาย

ได้ดังนี้ นิสิตกลุ่มที่ 1 ถูกจัดสรรให้อยู่ห้องวิจัย E ซึ่งนิสิตได้เลือกไว้เป็นอันดับ 1 นิสิตกลุ่มที่ 2 ถูกจัดสรรให้อยู่ห้องวิจัย F ซึ่งนิสิตได้เลือกไว้เป็นอันดับ 1 เช่นกัน นิสิตกลุ่มที่ 23 ถูกจัดสรรให้อยู่ในห้องวิจัย F ซึ่งนิสิตได้เลือกไว้เป็นอันดับที่ 2 นิสิตกลุ่มที่ 24 ถูกจัดสรรให้อยู่ในห้องวิจัย 4 ซึ่งนิสิตได้เลือกไว้เป็นอันดับที่ 2 และนิสิตกลุ่มที่ 25 ถูกจัดสรรให้อยู่ในห้องวิจัย D ซึ่งนิสิตได้เลือกไว้เป็นอันดับที่ 3 นิสิตกลุ่มที่ 26 ถูกจัดสรรให้อยู่ในห้องวิจัย D ซึ่งนิสิตได้เลือกไว้เป็นอันดับที่ 3 เป็นต้น และห้องวิจัยแต่ละห้องจะได้กลุ่มนิสิต 4 กลุ่มหรือ 8 คน กล่าวคือนิสิตทุกกลุ่มถูกจัดให้อยู่ในห้องวิจัยที่ตัวเองเลือก 3 อันดับแรกทุกกลุ่ม และถูกจัดให้อยู่เพียงห้องวิจัยเดียวเท่านั้น ตามเงื่อนไขที่กำหนด ผลการจัดตรงตามเงื่อนไขทุกประการ กล่าวคือ แต่ละห้องวิจัยจะมีนิสิตถูกจัดสรรด้วยจำนวนที่เท่า ๆ กัน คือ 4 กลุ่มต่อห้องวิจัย สำหรับผลการคำนวณคะแนนตามสมการที่ (1) ค่าคะแนนที่มากที่สุดภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดที่กล่าวไปข้างต้น คือ 2640 คะแนน

4. สรุปและวิจารณ์ผลการวิจัย

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยได้มองถึงปัญหาที่เกิดขึ้นภายในสถานศึกษา คือ การจัดสรรการเลือกห้องวิจัยของนิสิตหรือนักศึกษา โดยเลือกศึกษาปัญหาการเลือกสาขาของนิสิตสาขาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยปกติแล้วประธานหลักสูตรของสาขาจะนัดประชุมอาจารย์และนิสิตชั้นปีที่ 3 ทุกคนเข้าร่วมประชุมเพื่อนำเสนอห้องวิจัย หลังจากนั้นให้นิสิตลงชื่อกับห้องวิจัยที่ตัวเองต้องการเพียง 1 ห้อง และอาจารย์ประจำห้องวิจัยจะประกาศผลการเลือกตั้งกล่าว นิสิตที่ไม่ได้รับการคัดเลือกก็จะติดต่อห้องวิจัยอื่น ๆ ที่ยังเหลือที่นั่ง ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ใช้เวลาเกินความจำเป็น และไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เพราะนิสิตที่ไม่ได้รับการคัดเลือกในครั้งแรก ก็จะต้องดำเนินการติดต่อห้องวิจัยอื่น ๆ ใหม่เพื่อสอบถามเรื่องที่นั่งหรือโควตา (Quota) อีกทั้งยังผลการจัดห้องวิจัยด้วยวิธีนี้นิสิตไม่ค่อยพึงพอใจเท่าที่ควร ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะแก้ไขปัญหาการจัดสรรห้องวิจัยของนิสิตกลุ่มเป้าหมายนี้ โดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือหรือเทคโนโลยีอย่างง่ายในการวิเคราะห์และประมวลผล เพื่อการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดระยะเวลาที่สูญเปล่า หรือเกินความจำเป็น พร้อม ๆ กับสามารถตอบสนองความพึงพอใจต่อการจัดสรรห้องวิจัยให้แก่ นิสิตกลุ่มเป้าหมาย

จากผลการศึกษาพบว่า นิสิตที่ได้ห้องวิจัยตามที่ได้เลือกคะแนนอันดับ 1 มี 18 กลุ่มคิดเป็น 64% นิสิตที่ได้ห้องวิจัยตามที่ได้เลือกคะแนนอันดับ 2 มี 6 กลุ่มคิดเป็น 21 % และนิสิตที่ได้ห้องวิจัยตามที่ได้เลือกคะแนนอันดับ 3 มี 4 กลุ่มคิดเป็น 14 % คณะผู้วิจัยสามารถนำเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดสรรห้องวิจัยโดยการประยุกต์ใช้ Solver ใน Microsoft Excel และตัวแบบทางคณิตศาสตร์แทนปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพแม่นยำ และใช้เวลาในการประมวลผลเพียงแค่ 5 วินาที (เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีเดิมที่ใช้เวลาไม่ต่ำกว่า 4 ชม.เป็นอย่างน้อย) และคำตอบของปัญหาการจัดสรรห้องวิจัยเป็นคำตอบอยู่ภายใต้เงื่อนไขของปัญหาทุกเงื่อนไข เช่น นิสิตถูกจัดสรรให้อยู่ในห้องวิจัยที่ตัวเองเลือก

ห้องวิจัยทุกห้องมีจำนวนกลุ่มนิสิตจำนวนที่เท่า ๆ กัน เป็นต้น เครื่องมือ Solver เป็นเครื่องมือที่ไม่มีค่าใช้จ่าย มีวิธีการใช้งานที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก แต่สามารถประยุกต์และปรับใช้งานสำหรับการแก้ปัญหาการจัดสรรได้จริงและมีประสิทธิภาพ

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ในกรณีที่ปัญหาการจัดสรรหรือการจัดตารางงานเป็นปัญหาที่ประกอบด้วยตัวแปรและเงื่อนไขที่จำนวนมาก ผู้วิจัยควรพิจารณาวิธีหรือแนวทางในการแก้ปัญหาที่สามารถหาคำตอบได้ยืดหยุ่นกว่าการใช้เพียงแค่ Solver ใน Microsoft Excel เช่น การประยุกต์ใช้การเขียนภาษา VBA (Visual Basic for Applications) ที่มีอยู่ใน Microsoft Excel หรือการประยุกต์การเขียนโปรแกรมภาษาคอมพิวเตอร์อื่น ๆ เช่น Python, C++, Java เป็นต้น เพื่อช่วยในการประมวลผลหาคำตอบของปัญหา จะช่วยให้การหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เนื่องจาก Solver จะมีข้อจำกัดเรื่องของตัวแปรที่นำมาประมวลผล ตลอดจนเงื่อนไขที่ซับซ้อนเกินไป ดังนั้น ผู้ที่สนใจต่อยอดงานวิจัยนี้หากเป็นปัญหาที่มีเงื่อนไข หรือตัวแปรจำนวนมาก ควรประยุกต์ใช้เครื่องมืออื่นเพื่อการใช้ประโยชน์ได้จริง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Faculty of Engineering Mahasarakham University. "Bachelor Program of Engineering". Online document <https://eng.msu.ac.th/en/bachelor-of-engineering/> accessed on Feb 1, 2023
- [2] Division of Registration Mahasarakham University. "Annual Report of Division of Registration Mahasarakham University". Online document <http://regpr.msu.ac.th/th/> accessed on Feb 1, 2023
- [3] ปัทมา อยู่เย็น และลัดดา ตันวานิชกุล. 2557. "การจัดตารางเวลาในการเดินทางขนส่งมวลชนภายในมหาวิทยาลัยขอนแก่น โดยใช้โปรแกรมเอกเซลโซลเวอร์." วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 30, ฉบับที่ 2: 79-84.
- [4] พรรัตน์ ช่างวุฒิ, นรา สมัตถภาพงศ์ และพรศิริ จงกล. 2561. "การหาลำดับการผลิตที่ดีที่สุดด้วยวิธีโปรแกรมไมโครซอฟต์เอกเซล." วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ปีที่ 38, ฉบับที่ 1: 31-39.
- [5] อาริต ธรรมโน และอัจฉรา ภู่อ่าง. 2556. "การจัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานในอุตสาหกรรมการผลิต." วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศลาดกระบัง, ปีที่ 2, ฉบับที่ 1
- [6] S. Sala-ngam, An Application of Solver in Microsoft Excel for Solving Travelling Salesman Problem: A Case Study of Logistics Company, The 7th Rajamangala Manufacturing & Management Technology Conference, 6-8 Jul 2022, Thailand.

การศึกษานโยบายการจัดการสินค้าคงคลังประเภทยางรถยนต์ กรณีศึกษาร้านบริการขายและเปลี่ยนยางรถยนต์

Study of Automotive Tires Inventory Management Policy

A Case Study of Sales and Replacement Service Shop

อมเรศ สมุทรานุกูล¹, บรรหาญ ลิลา, จิตติมา พันธุ์จิตรศิริ, อติศักดิ์ นาวเหนียว, บัญชา อริยะจรรยา
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: Amarase_oat@hotmail.com*

Amarase Samuttranukul¹, Banhan Lila, Jittima Phanvijitsiri, Adisak Nowneow, Bancha Ariyajanya
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University

E-mail: Amarase_oat@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาแนวทางการประยุกต์เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลบนไมโครซอฟท์ เอ็กเซล เพื่อศึกษานโยบายการควบคุมพัสดุคงคลังประเภทยางรถยนต์ของสถานประกอบการกรณีศึกษาซึ่งเป็นผู้ให้บริการขายและเปลี่ยนยางรถยนต์ โดยเปรียบเทียบจากดัชนีต้นทุนรวมในการจัดการสินค้าคงคลังและระดับบริการ ระหว่างตัวแบบการควบคุมสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่อง และแบบช่วง ภายใต้สถานการณ์ความต้องการไม่แน่นอนแต่สามารถวิเคราะห์ห้รูปแบบการแจกแจงของปริมาณความต้องการได้ ด้วยตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) กับยางรถยนต์ที่มีปริมาณการขายสูง 2 รุ่น ได้แก่ R401 และ R702 ผลการวิเคราะห์พบว่าความต้องการของรุ่น R401 แจกแจงแบบปกติ ในขณะที่ความต้องการของรุ่น R702 แจกแจงแบบไม่ต่อเนื่อง ผลการศึกษาเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนรวมของการจัดการระหว่างแบบเดิมกับการใช้ตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) ของรุ่น R401 และ R702 พบว่าทั้งตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการจัดการแบบเดิม โดยตัวแบบ (Q, r) มีต้นทุนรวมต่ำกว่าแบบเดิมร้อยละ 54.5 และ 17.6 ตามลำดับ ในขณะที่ตัวแบบ (T, S, s) มีต้นทุนรวมต่ำกว่าแบบเดิมร้อยละ 58.8 และ 28.4 สำหรับรุ่น R401 และ R702 ตามลำดับ ด้านระดับบริการตัวแบบทั้ง 2 สูงกว่าร้อยละ 95 ซึ่งยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) พบว่าตัวแบบ (T, S, s) มีต้นทุนรวมของการจัดการต่ำกว่าตัวแบบ (Q, r) ร้อยละ 9.5 และ 13.0 และมีระดับบริการสูงกว่าเท่ากับร้อยละ 1.6 และ 2.7 สำหรับรุ่น R401 และ R702 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า (T, S, s) เป็นตัวแบบที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ควบคุมสินค้าคงคลังประเภทยางรถยนต์ เมื่อประเมินจากต้นทุนรวมและระดับบริการ

คำสำคัญ: การควบคุมสินค้าคงคลัง, การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โล, ยางรถยนต์

Abstract

This paper presents a study on the application of Monte Carlo simulation techniques using Microsoft Excel to study the tire inventory control policy of a case study that provides selling and replacement services of automotive tires. The (Q, r) and (T, S, s) model have been used as the continuous and periodic control policies, respectively. The results have been evaluated based on the total cost (TC) and service levels (SL), under uncertain demand but known distribution. Two high demand of tire products (R401 and R702) have been selected in the study. The analysis of historical demand data has indicated that the demands are normally and empirically discretely distributed for the R401 and R702 respectively. The study results showed that the (Q, r) model led to 54.5% and 17.6%, while the (T, S, s) model led to 58.8% and 28.4% lower TC for the R401 and R702 respectively, The SL that is higher than 95% when is acceptable. Results of comparison between both studied models showed that the TC of the (T, S, s) model is 9.5% and 13.0% lower with 1.6% and 2.7% higher than that of the (Q, r) model for R401 and R702 respectively. Therefore, it can be concluded that the (T, S, s) model dominates the (Q, r) model based on the TC and the SL indexes for this case study and is recommended as the inventory control policy the automotive tire service shop.

Keywords: Inventory control, Monte carlo simulation, Automotive tires

1. บทนำ

การจัดการสินค้าคงคลังมีความสำคัญต่อการบริการและการซื้อขายสินค้าทุกชนิด สินค้าคงคลังหากมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าอาจทำให้สูญเสียโอกาสในขณะที่การมีสินค้าคงคลังมากเกินไปจะส่งผลต่อต้นทุน องค์กรจึงต้องควบคุมสินค้าคงคลังให้มีปริมาณเหมาะสม เพื่อรักษาระดับการให้บริการและทำให้ธุรกิจมีกำไรสูงสุด [1] วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์และควบคุมของคลังคือ การจัดเตรียมของคลังให้เพียงพอกับการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าด้วยค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมด้วยการกำหนดนโยบายการควบคุม (inventory control policy) กำหนดปริมาณการสั่งซื้อหรือสั่งผลิต (order/production quantity) และจุดสั่งเพิ่ม (re-order point) เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ด้วยค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม [1] สถานประกอบการที่ศึกษาของงานวิจัยนี้ประกอบธุรกิจด้านการจำหน่ายทั้งปลีก-ส่ง บริการติดตั้งยางรถยนต์ ล้อแม็ก และใช้คอปให้กับลูกค้าทั่วไปและผู้ประกอบการร้านจำหน่าย ติดตั้ง สถานประกอบการมีการสั่งสินค้ามาสำรองไว้ในโกดังจัดเก็บ รอการสั่งซื้อ โดยมีแนวทางการจัดการที่ต้องการจัดเตรียมสินค้าไว้ให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้มากที่สุด แต่เนื่องจากความต้องการของลูกค้ามีความผันแปรสูงจึงส่งผลให้ต้องสั่งสินค้าเข้ามาจำนวนมาก ส่งผลต่อต้นทุนการถือครองสินค้า (inventory carrying cost) และภาระด้านการดำเนินงานของโกดังจัดเก็บ โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะสินค้าประเภทยางรถยนต์เท่านั้น

2. ที่มาของปัญหา

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลการสั่งซื้อและการขายยางรถยนต์ซึ่งเป็นสินค้าหลักของสถานประกอบการที่ศึกษาพบว่ายังไม่มีมีการกำหนดนโยบายการควบคุมสินค้าคงคลังอย่างชัดเจน มีการบันทึกปริมาณยางที่ขายลงในสมุดส่งผลให้ต้องใช้เวลามากในการตรวจสอบจำนวนที่ขายได้ของแต่ละยี่ห้อในแต่ละช่วงเวลา ไม่มีมีการใช้ข้อมูลปริมาณการขายย้อนหลัง ในการวิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อและช่วงเวลาในการสั่งซื้อที่เหมาะสม มีการสั่งยางรถยนต์เข้ามาสำรองโดยใช้การสังเกตจำนวนยางสำรองที่มีอยู่เท่านั้น การติดตามเวลาการสั่งเข้าก่อน/หลังของยางรถยนต์ไม่สะดวก จึงอาจทำให้บางช่วงเวลามียางรถยนต์สำรองมากเกินไป เกิดปัญหาด้านการจัดเก็บ ส่งผลต่อความสามารถในการจัดการด้วยวิธีเข้าก่อนออกก่อน (first in first out, FIFO) ทำให้มียางที่อาจถูกจัดเก็บเป็นระยะเวลานานมีมูลค่าลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาเพื่อป้องกันนโยบายการควบคุมสินค้าคงคลังที่เหมาะสม ภายใต้สถานการณ์ของความไม่คงที่ โดยใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ด้วยกระบวนการมอนติคาร์โล (Monte carlo process, MCP) บนไมโครซอฟท์ เอ็กเซล (Microsoft excel, MS) เพื่อศึกษาป้องกันนโยบายที่ส่งผลให้มีต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังรวม (Total Cost, TC) ต่ำด้วยระดับบริการ (Service level, SL) ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 95 ซึ่งเป็นระดับที่สถานประกอบการที่ศึกษายอมรับได้

2.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะใช้แนวทางการประยุกต์เทคนิคการจำลองสถานการณ์ด้วย MCP ด้วย MS เอ็กเซล เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการควบคุมสินค้าคงคลังประเภทยางรถยนต์ของสถานประกอบการที่ศึกษา โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านต้นทุนรวมของการจัดการสินค้าคงคลังและระดับบริการ ระหว่างตัวแบบการควบคุมสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่องและแบบช่วง เพื่อป้องกันนโยบายการควบคุมสินค้าคงคลังที่เหมาะสมสำหรับยี่ห้อยางรถยนต์และรุ่นที่มีปริมาณการขายสูงและสม่ำเสมอที่สุด

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาเปรียบเทียบการควบคุมสินค้าคงคลังประเภทยางรถยนต์ ภายใต้สถานการณ์ความต้องการที่มีความไม่แน่นอน งานวิจัยนี้ได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเน้นด้านการศึกษาการจัดการสินค้าคงคลังหรือพัสดุคงคลัง รวมไปถึงเครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล โดยสังเขปดังนี้ งานวิจัย สุภิษา และบรรพหลาญ [1] ศึกษาแนวทางการจัดการวัสดุคงคลังที่เหมาะสมที่สอดคล้องกับความต้องการ มีการประยุกต์ตัวแบบ (Q, r) กับวัสดุคงคลัง ซึ่งวิเคราะห์หึ่งชี้พฤติกรรมความต้องการ ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการจัดการวัสดุคงคลัง โดย กิรณา และคณะ [3] ศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบการจัดการ เมื่อมีปริมาณความต้องการต่ำ ไม่ต่อเนื่องแต่มีความผันแปรสูง โดยเปรียบเทียบระหว่างตัวแบบ (Q, r) และตัวแบบคณิตศาสตร์ชนิดโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม พบว่าตัวแบบทั้งสองให้ผลลัพธ์ด้านต้นทุนที่ต่ำกว่าการใช้ตัวแบบ (EOQ) โดยไม่พิจารณาการแจกแจงของความต้องการอย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยจักรกฤษ [4] ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการพยากรณ์การในการประเมินปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม และการกำหนดจุดสั่งซื้อใหม่ พบว่าสามารถลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าคงคลัง ส่งผลให้ต้นทุนในการจัดการสินค้าคงคลังลดลง วิถีมา และบรรพหลาญ [5] ศึกษาเปรียบเทียบตัวแบบการจัดการเพื่อประเมินนโยบายการควบคุมสินค้าคงคลังที่เหมาะสมเมื่อไม่ทราบความต้องการ แต่ทราบว่ามีพฤติกรรมการแจกแจงแบบช่วงและไม่คงที่ เปรียบเทียบระหว่างตัวแบบ (Q, r), (Min-Max), (T, S) และ (T, S, s) โดยใช้การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลพบว่าตัวแบบทั้ง 4 ตัวแบบให้ผลลัพธ์ด้านต้นทุนการจัดการที่ต่ำกว่าการควบคุมวัสดุคงคลังที่ใช้อยู่เดิมอย่างมีนัยสำคัญ วรัญญา และบรรพหลาญ [6] ศึกษาเปรียบเทียบนโยบายการจัดการควบคุมวัสดุคงคลังเมื่อมีปริมาณความต้องการต่ำและไม่ทราบความต้องการที่แน่นอน แต่สามารถวิเคราะห์การแจกแจงจากข้อมูลในอดีตได้ เปรียบเทียบตัวแบบการจัดการ (Q, r), (T, S) และ (Max-Min) พิจารณาผลจากดัชนีค่าใช้จ่ายรวมและระดับบริการพบว่านโยบาย (Max-Min) และ (Q, r) มีผลลัพธ์ทั้งค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย และระดับบริการ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญและดีกว่านโยบาย (T, S) การเลือกตัวแบบเพื่อการจัดการสินค้าคงคลังจึงจำเป็นต้องพิจารณารูปแบบการแจกแจงของความต้องการร่วมด้วย และ วิทยา [7] ศึกษาแบบปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมโดยการประยุกต์ใช้ MCP เช่นเดียวกับงานวิจัย วิถีมา และ

บรรพชาญ [5] เพื่อวิเคราะห์ห้ซึ่งปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม พบว่ารูปแบบของนโยบายการสั่งซื้อแบบใหม่ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์สามารถลดต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังลงจากนโยบายการสั่งซื้อแบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

3. นโยบายการควบคุมสินค้าคงคลัง

การเตรียมสินค้าหรือวัสดุเพื่อตอบสนองต่อความต้องการใช้งานอย่างเหมาะสมจะส่งผลต่อต้นทุนการจัดการอย่างมีนัยสำคัญ สินค้าที่จัดเตรียมไว้จะถือเป็นสินค้าคงคลัง ซึ่งหมายถึงสินค้าที่ถูกเก็บไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการดำเนินงาน อาจจะเป็นด้านการผลิต ด้านการขาย หรือด้านอื่น ๆ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าจะไม่เกิดเหตุการณ์วัสดุขาดมือเมื่อต้องการใช้ [2] โดยการจัดการวัสดุคงคลัง เป็นการกำหนดนโยบายเกี่ยวกับการกำหนดปริมาณการสั่ง (order quantity) ของวัสดุ การติดตามปริมาณของวัสดุที่มีสำหรับการใช้งาน (inventory review) การกำหนดระดับวัสดุสำรองเพื่อความปลอดภัย (safety stock) ตลอดจนการกำหนดจุดสั่งซื้อ (ระยะเวลาและ/หรือปริมาณ) การจัดเตรียมมาเพิ่ม (reorder point) เพื่อให้มีความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการ (service level) ได้อย่างสม่ำเสมอ ด้วยต้นทุน (total cost) ที่เหมาะสม [2] ในทางปฏิบัติความต้องการของสินค้าจะไม่คงที่ และอาจไม่สามารถคาดเดาปริมาณได้อย่างแม่นยำ เพื่อให้สามารถกำหนดนโยบายควบคุมที่เหมาะสมจึงจำเป็นต้องเลือกตัวแบบที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของความต้องการ เพื่ออธิบายรายละเอียดของการจัดการสินค้าคงคลัง จะใช้สัญลักษณ์ดังนี้

- T = ช่วงระยะเวลาในการตรวจนับ (หน่วยเวลา)
- S = ระดับวัสดุคงคลังสูงสุด (หน่วย)
- s = ระดับวัสดุคงคลังต่ำสุด (หน่วย)
- N = จำนวนครั้งในการสั่ง (หน่วย)
- D = ปริมาณความต้องการต่อหน่วย (หน่วย/หน่วยเวลา)
- P = ค่าใช้จ่ายการสั่งซื้อ (บาท/ครั้ง)
- H = ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (บาท/หน่วยเวลา)
- Q* = ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (หน่วย)
- r = จุดสั่งซื้อ (หน่วย)
- d̄ = ความต้องการเฉลี่ยต่อหน่วยเวลาย่อย
- L = ช่วงเวลานำ (หน่วยเวลา)
- SS = ปริมาณสินค้าสำรอง

ต้นทุนรวม (TC) ของการจัดการและระดับบริการ (SL) ประเมินได้จากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$TC = \text{ต้นทุนการสั่งซื้อ} + \text{ต้นทุนการเก็บรักษา} + \text{ต้นทุนค่าเสียโอกาส} \quad (1)$$

$$SL = \frac{\text{ความต้องการของบางรถยนต์ที่ตอบสนองได้}}{\text{ความต้องการของบางรถยนต์ทั้งหมด}} \quad (2)$$

จากผลการศึกษาที่สอดคล้องกันของงานวิจัย [1], [3], [5] และ [6] พบว่า (Q, r) และ (T, S, s) เป็นตัวแบบที่ให้ผลลัพธ์ค่อนข้างดีภายใต้สถานการณ์ที่ความต้องการไม่แน่นอน งานวิจัยนี้จึงเลือกตัวแบบทั้งสองเป็นนโยบายการจัดการยางรถยนต์ของรุ่นที่เลือกมาศึกษามีรายละเอียดดังอธิบายในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2

3.1 นโยบายการจัดการสินค้าคงคลัง ตัวแบบ (Q, r)

ตัวแบบ (Q, r) เป็นการควบคุมที่มีสมมติฐานของการตรวจติดตามระดับสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่อง สั่งซื้อครั้งละ Q* หน่วย และสั่งมาเติมเมื่อสินค้าคงคลังลดลงเหลือ r หน่วย หรือต่ำกว่า [2] กรณีกำหนดให้ความต้องการต่อหน่วยเวลามีค่าคงที่จะคำนวณ Q* ได้จากสมการที่ (3)

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DP}{H}} \quad (3)$$

ให้ α (ระดับนัยสำคัญ) แทนความน่าจะเป็นของการเกิดสินค้าขาดมือสั่งซื้อ r เมื่อความต้องการไม่คงที่คำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$r = \bar{d}L + SS \quad (4)$$

เมื่อ Safety Stock (SS) คือปริมาณสินค้าสำรองเพื่อทำให้มั่นใจ $(1 - \alpha) \times 100\%$ ว่าจะมีสินค้าพอในช่วง lead time ภายใต้พฤติกรรมการแจกแจงของความต้องการ

3.2 นโยบายการจัดการสินค้าคงคลัง ตัวแบบ (T, S, s)

ตัวแบบ (T, S, s) เป็นการควบคุมสินค้าคงคลังแบบช่วง ซึ่งตรวจนับระดับสินค้าคงคลังทุกช่วง T สั่งซื้อสินค้ามาเพิ่มเมื่อระดับสินค้าคงคลังเหลือเท่ากับหรือน้อยกว่า s โดยสั่งมาให้เต็มปริมาณ S ซึ่งประเมินดัชนีทั้ง 3 นี้ได้จากสมการที่ (5) ถึง (8) ตามลำดับ

$$N = \frac{D}{\alpha} \quad (5)$$

$$T = \frac{\text{ระยะเวลาการวางแผน}}{N} \quad (6)$$

$$S = Q^* + \bar{d}(T+L) \quad (7)$$

$$s = \bar{d}(T+L) + SS \quad (8)$$

4. ข้อมูลสถานประกอบการกรณีศึกษา

สถานประกอบการกรณีศึกษาประกอบธุรกิจด้านการจำหน่ายทั้งปลีกและส่งและบริการติดตั้งยางรถยนต์ให้กับลูกค้าทั่วไป จากการศึกษาพบว่าใช้แนวทางการควบคุมสินค้าคงคลังด้วยการตัดสินใจจากประสบการณ์ของหัวหน้างานที่รับผิดชอบโดยไม่มีแนวทางการใช้ข้อมูลปริมาณการขายย้อนหลังอย่างชัดเจน แต่มุ่งเน้นการเตรียมสินค้า

ไว้ให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด ยางรถยนต์รุ่นที่เลือกมาทำการศึกษาคือรุ่นที่มีปริมาณการขายสูงและสม่ำเสมอที่สุด 2 รุ่น ได้แก่รุ่น R401 และ R702 ปกติสถานประกอบการจะสั่งไม่เกิน 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ระยะเวลาในการสั่งเท่ากับ 1 สัปดาห์ ความต้องการและจำนวนยางคงคลัง จะประเมินจากจำนวนยางที่ขายได้ต่อสัปดาห์และจำนวนยางที่มีเหลือคงคลัง ณ ปลายสัปดาห์ จำนวนยางที่เหลือคงคลังสะท้อนถึงความสอดคล้อง/ไม่สอดคล้องของการสั่งยางมาเตรียมไว้ พฤติกรรมความต้องการและความสอดคล้อง/ไม่สอดคล้องนี้สามารถพิจารณาได้จากข้อมูลที่เกี่ยวข้องของยางทั้ง 2 รุ่น ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการสั่งซื้อ การขาย และจัดเก็บของยางรถยนต์ ข้อมูลความต้องการยางรายสัปดาห์ (1 ปี)

สัปดาห์	ปริมาณยางรถยนต์ (เส้น)					
	R401			R702		
	สั่งซื้อ	ขาย	คงคลัง	สั่งซื้อ	ขาย	คงคลัง
1	0	147	886	100	212	322
2	0	93	793	0	50	272
3	400	110	1083	0	47	225
4	0	24	1059	200	6	419
5	0	197	862	100	177	342
6	150	131	881	0	65	277
7	150	66	965	300	111	466
8	200	109	1056	0	0	466
9	0	104	952	100	157	409
10	0	73	879	100	58	451
11	200	42	1037	0	83	368
12	0	92	945	0	51	317
13	0	28	917	0	59	258
...
...
40	0	100	750	0	94	527
41	200	79	871	0	67	460
42	54	148	777	0	44	416
43	100	70	807	301	64	653
44	250	107	950	0	85	568
45	100	180	870	0	36	532
46	0	113	757	0	133	399
47	200	97	860	300	54	645
48	100	154	806	0	86	559
49	200	98	908	0	83	476
50	2	116	794	0	103	373
51	200	225	769	0	70	303
52	200	124	845	0	183	120

หมายเหตุ สินค้าคงคลังเริ่มต้นของรุ่น R401 และ R702 เท่ากับ 1,033 เส้น และ 434 เส้น ตามลำดับ

จากข้อมูลย้อนหลัง 1 ปี (52 สัปดาห์) ดังตารางที่ 1 พบว่ามีการสั่งซื้อเป็นจำนวน 32 ครั้ง ปริมาณรวม 5,553 เส้น เปรียบเทียบกับปริมาณขายรวม 5,741 เส้น หรือเฉลี่ย 110 เส้นต่อสัปดาห์ โดยมียางคงคลังเฉลี่ย 956 เส้นต่อสัปดาห์ สำหรับรุ่น R401 ในขณะที่รุ่น R702 มีการสั่งซื้อเป็นจำนวน 21 ครั้ง ปริมาณรวม 3,414 เส้น เปรียบเทียบกับปริมาณขายรวม 3,728 เส้น หรือเฉลี่ย 72 เส้นต่อสัปดาห์ มียางคงคลังเฉลี่ย 421 เส้นต่อสัปดาห์ จากปริมาณการสั่งซื้อและความถี่ในการสั่งซื้อของทั้งสองรุ่นส่งผลให้มียางเพียงพอขายสำหรับช่วงที่เก็บข้อมูล แต่มีปริมาณยางคงคลังสูงกว่าปริมาณที่ขายได้จริง (เฉลี่ยต่อสัปดาห์) ถึง 8.69 เท่า และ 5.85 เท่า สำหรับรุ่น R401 และ R702 ตามลำดับ ซึ่งบ่งชี้ความไม่สอดคล้องของปริมาณที่จัดเก็บและปริมาณที่ขายได้ ส่งผลให้ประเมินต้นทุนการจัดการได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังของยางรถยนต์ แบบเดิม

ต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลัง	รุ่นยางรถยนต์	
	R401	R702
รวม (บาท/ปี)	218,131	101,238

ตารางที่ 2 อ้างอิงจากข้อมูลปริมาณการสั่งซื้อ การขาย และจัดเก็บของยางรถยนต์ (ตารางที่ 1) พบว่าสถานประกอบการมีต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลัง ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนการสั่งซื้อ ต้นทุนการเก็บรักษา และต้นทุนค่าเสียโอกาสเท่ากับ 218,131 บาท และ 101,238 บาท สำหรับรุ่น R401 และ R702 ตามลำดับ ในขณะที่ระดับบริการของยางรถยนต์ทั้ง 2 รุ่น ไม่สามารถประเมินได้เนื่องจาก ไม่มีการบันทึกข้อมูลความต้องการจริงของลูกค้าในแต่ละสัปดาห์ เมื่อพิจารณาจากความไม่สอดคล้องของปริมาณที่จัดเก็บและปริมาณที่ขายได้ของทั้ง 2 รุ่นจะเห็นได้ว่า ต้นทุนรวมของการจัดการสินค้าคงคลังอาจลดลงได้จากการใช้นโยบายการควบคุมที่เหมาะสมยิ่งขึ้น

5. การศึกษาเปรียบเทียบนโยบายด้วยการจำลองสถานการณ์

การกำหนดพารามิเตอร์เริ่มต้นของตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) ทำโดยการคำนวณดัชนีของทั้ง 2 ตัวแบบโดยใช้สมการที่ (3) ถึง (8) ซึ่งทำให้ได้ดัชนีเริ่มต้น ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ดัชนีของตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s)

รุ่น	ตัวแบบ (Q, r)	ตัวแบบ (T, S, s)
R401	Q = 243 เส้น	T = 3 สัปดาห์
	r = 188 เส้น	S = 685 เส้น s = 520 เส้น
R702	Q = 200 เส้น	T = 3 สัปดาห์
	r = 134 เส้น	S = 492 เส้น s = 353 เส้น

จากตารางที่ 3 ค่า Q ของรุ่น R401 จากสมการที่ (3) คำนวณได้ 243 เส้น ใช้ค่า Q นี้เป็นค่าเริ่มต้นในการประเมิน TC และ SL กับความต้องการ ระยะเวลา 52 สัปดาห์ (ตารางที่ 1) ของยางรถยนต์รุ่นเดียวกัน โดยปรับเพิ่มและลดค่า Q ร้อยละ 10 ต่อครั้ง จะได้ค่า Q ตั้งแต่ 122 ถึง 389 เส้นต่อการส่งแต่ละครั้ง ซึ่งพบว่าค่า Q ที่ส่งผลให้ TC ต่ำที่สุดเท่ากับ 365 เส้นต่อครั้งที่ระดับ SL 98.17 (ค่า Q สูงกว่านี้พบว่า SL จะสูงกว่าร้อยละ 95 แต่ TC จะสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ ในขณะที่ค่า Q ต่ำกว่านี้ จะส่งผลให้ TC สูงขึ้นและ SL ต่ำลง) สำหรับค่า T ของรุ่น R401 นำมาประเมินในลักษณะเดียวกันแต่ปรับค่า T เป็น 2, 3 และ 4 พบค่า T ส่งผลให้ TC ต่ำที่สุดด้วย SL ที่มากกว่าร้อยละ 95 เท่ากับ 3 ทำการวิเคราะห์ลักษณะเดียวกันสำหรับรุ่น R702 ส่งผลให้สามารถประเมินพารามิเตอร์ที่เหลือของตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) เพื่อใช้ในการจำลองสถานการณ์สำหรับยางทั้ง 2 รุ่น ดังตารางต่อไป

5.1 การสร้าง Spreadsheet การจำลองสถานการณ์

การสร้างสเปรดชีต (Spreadsheet) สำหรับจำลองสถานการณ์ คือ การสร้างตัวแปรสุ่มฟังก์ชันเลขสุ่ม = Rand() จากพฤติกรรมแจกแจงของปริมาณความต้องการยางรถยนต์ มีปริมาณการสั่งซื้อ จุดสั่งซื้อ เป็นนโยบายในการจัดการสินค้าคงคลัง ประเมินผลลัพธ์ด้วยต้นทุนการจัดการสินค้าคงคลังและระดับบริการ

การจำลองสถานการณ์ด้วยตัวแบบ (Q, r) ต้องมีการตรวจนับจำนวนยางรถยนต์ทุกสัปดาห์ เมื่อมีสินค้าในคลังน้อยกว่าเท่ากับปริมาณจุดสั่งซื้อ จะทำการสั่งซื้อสินค้าให้เท่ากับปริมาณการสั่งซื้อ โดยที่การสั่งซื้อในแต่ละครั้งจะส่งเท่ากับ ส่วนตัวแบบ (T, S, s) มีการกำหนดรอบสัปดาห์ในการตรวจนับจำนวนยางรถยนต์ จะมีการสั่งซื้อได้เฉพาะสัปดาห์ที่มีการตรวจนับและสินค้าคงคลังน้อยกว่าเท่ากับระดับวัสดุคงคลังต่ำสุด โดยปริมาณการสั่งซื้อจะแปรเปลี่ยนไปในแต่ละรอบ ขึ้นอยู่กับระดับวัสดุคงคลังที่มีและจะสั่งให้เพียงพอเท่ากับระดับวัสดุคงคลังสูงสุด ซึ่งการจำลองสถานการณ์จำเป็นต้องมีการกำหนดปริมาณความต้องการยางรถยนต์ โดยใช้ฟังก์ชันรูปแบบพฤติกรรมแจกแจงของปริมาณความต้องการยางรถยนต์ที่ได้จากข้อมูลย้อนหลังเป็นตัวกำหนด

จากข้อมูลปริมาณความต้องการยางรถยนต์ย้อนหลัง 52 สัปดาห์ ดังตารางที่ 1 จะเห็นความต้องการไม่คงที่ ทำการประเมินพฤติกรรมแจกแจงของปริมาณความต้องการยางรถยนต์ทั้ง 2 รุ่น ด้วยการทดสอบแบบไคสแควร์ (Chi-Square test) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.95 โดยการใช้โปรแกรม Input analyzer ของ Arena [8] ซึ่งได้ผลลัพธ์รูปแบบการแจกแจงความต้องการของรุ่น R401 เป็นแบบปกติ (Normal distribution) และรุ่น R702 เป็นแบบไม่ต่อเนื่องที่ขึ้นกับข้อมูลตัวอย่าง (Empirical Discrete distribution) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 พฤติกรรมการแจกแจงของปริมาณความต้องการยางรถยนต์

รุ่น	พฤติกรรมการแจกแจงของปริมาณความต้องการยางรถยนต์
R401	Norm (110.4, 47.3)
R702	Empirical Discrete

ยางรถยนต์รุ่น R702 พฤติกรรมการแจกแจงของปริมาณความต้องการยางรถยนต์เป็นแบบ Empirical Discrete สามารถแบ่งข้อมูลตามหลักสถิติได้ 8 ชั้น (classes) มีการแจกแจงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ฟังก์ชันการแจกแจงแบบ Empirical (Discrete) ของปริมาณความต้องการยางรถยนต์รุ่น R702

ช่วงที่	ขอบเขตล่าง	ขอบเขตบน	ความถี่
1	0.00	26.50	4
2	26.55	53.05	14
3	53.10	79.60	19
4	79.65	106.15	7
5	106.20	132.70	1
6	132.75	159.25	3
7	159.30	185.80	3
8	185.85	212.35	1

5.2 การตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์

การตรวจสอบความถูกต้องของเงื่อนไขต่างของแบบจำลองบนสเปรดชีตไมโครซอฟท์ เอ็กเซล ทำโดยการกำหนดความต้องการให้คงที่ (เพื่อให้สามารถคำนวณผลลัพธ์ได้) และตรวจสอบผลลัพธ์ทุกจุดที่เกี่ยวข้อง ทำการแก้ไขเมื่อพบความผิดพลาดอย่างครบถ้วนจนได้ผลลัพธ์ตรงกับผลลัพธ์กำหนดจากความต้องการคงที่ทุกประการ

จำนวนครั้งในการ Run (n) แบบจำลองทำโดยการประมาณช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของค่าเฉลี่ย ของ TC และ SL เมื่อกำหนดให้ ความคลาดเคลื่อนของดัชนีทั้ง 2 ต้องไม่เกินร้อยละ 10 ของค่าเฉลี่ย ด้วยสมการ (9)

$$n = (n_0 \times \left(\frac{h_0}{h}\right)^2) \quad (9)$$

เมื่อกำหนดให้

h = ค่าความคลาดเคลื่อนของเป้าหมาย

n = จำนวนรอบอย่างต่ำที่ต้องการเพื่อให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน

h

n_0 = จำนวนรอบที่รันเบื้องต้น

h_0 = ค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อรันตัวแบบ n_0 รอบ

จากการ Run เบื้องต้นจำนวน (n_0) = 10 รอบ ประเมินช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ของค่าเฉลี่ยของ TC และ SL ของยางรถยนต์รุ่น R401 ได้

เท่ากับ 141,983 และ 94.56 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของ TC และ SL ของยางรถยนต์รุ่น R702 ได้เท่ากับ 106,727 และ 93.54 ตามลำดับ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนเกินร้อยละ 10 ที่กำหนด จากสมการที่ (9) พบว่าจำนวนครั้งในการรันที่เพียงพอสำหรับทุกกรณีเท่ากับ 30 ครั้ง จากนั้นจึงทำการรันแบบจำลองตามจำนวน n นี้

5.3 ผลการเปรียบเทียบนโยบายด้วยการจำลองสถานการณ์

การเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านต้นทุนรวมของการจัดการสินค้าคงคลังและระดับบริการยังเป็นที่ยอมรับได้ ด้วยนโยบายการจัดการสินค้าคงคลังตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) โดยผลลัพธ์การเปรียบเทียบตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) ของยางรถยนต์รุ่น R401 และ R702 ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์ตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) ของยางรถยนต์รุ่น R401 และ R702

รุ่น	นโยบาย	ต้นทุนรวม (บาท/ปี)	ระดับบริการ (%)
R401	แบบเดิม	218,131	-
	ตัวแบบ Q, r Q = 365, r = 221	99,216	98.17
	ตัวแบบ T, S, s T = 3, S = 588, s = 520	89,772	99.77
R702	แบบเดิม	101,238	-
	ตัวแบบ Q, r Q = 280, r = 137	83,418	96.32
	ตัวแบบ T, S, s T = 2, S = 419, s = 280	72,532	99.01

ผลการศึกษาพบว่าทั้งตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการจัดการแบบเดิม โดยตัวแบบ (Q, r) มีต้นทุนรวม (TC) เฉลี่ยต่ำกว่าแบบเดิมร้อยละ 54.5 และ 17.6 ในขณะที่ตัวแบบ (T, S, s) มี TC เฉลี่ยต่ำกว่าแบบเดิมร้อยละ 58.8 และ 28.4 สำหรับรุ่น R401 และ R702 ตามลำดับ ทั้งสองตัวแบบมีระดับบริการ (SL) เฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 95 ซึ่งอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างตัวแบบ (Q, r) กับ (T, S, s) พบว่า ตัวแบบ (T, S, s) ส่งผลให้ TC เฉลี่ยต่ำกว่า TC เฉลี่ยของตัวแบบ (Q, r) ร้อยละ 9.5 และ 13.0 ด้วย SL เฉลี่ยสูงกว่าร้อยละ 1.6 และ 2.7 สำหรับรุ่น R401 และ R702 ตามลำดับ จึงสรุปได้ว่า (T, S, s) เป็นตัวแบบที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ควบคุมสินค้าคงคลังประเภทยางรถยนต์เมื่อประเมินจากต้นทุนรวมและระดับบริการ โดยผลการจำลองสถานการณ์ พบว่าการควบคุมด้วยตัวแบบ (T, S, s) จะส่งผลให้มีการสั่งซื้อ 16 และ 17 ครั้งต่อปี มีจำนวนยางคงคลังเฉลี่ยเท่ากับ 362 และ 243 เส้นต่อสัปดาห์ สำหรับยางรถยนต์รุ่น R401 และ R702 ตามลำดับ ซึ่งในภาพรวมส่งผลให้ TC เฉลี่ยต่อปี

ลดลงจาก 218,131 บาทต่อปี เหลือ 89,772 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 58.8 สำหรับรุ่น R401 และลดลงจาก 101,238 บาทต่อปี เหลือ 72,532 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 28.4 สำหรับรุ่น R702 จึงเสนอให้ประยุกต์ตัวแบบ (T, S, s) ในการจัดการและควบคุมยางคงคลังทั้ง 2 รุ่น โดยกำหนด T = 3 สัปดาห์, S = 588 เส้น, s = 520 เส้น สำหรับรุ่น R401 และ กำหนด T = 2 สัปดาห์, S = 419 เส้น, s = 280 เส้น สำหรับรุ่น R702 ซึ่งบนสมมติฐานที่พฤติกรรมความต้องการแบบเดิมจะส่งผลให้มีต้นทุนการจัดการรวมต่ำกว่าแบบเดิมด้วยระดับบริการเกินร้อยละ 95

6. สรุปผล

จากปัญหาสถานการณ์ประกอบการกรณีศึกษาที่ยังไม่มีการกำหนดนโยบายการควบคุมสินค้าคงคลัง ไม่มีการใช้ข้อมูลปริมาณการขายย้อนหลังในการวิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อ และช่วงเวลาในการสั่งซื้อที่เหมาะสม เมื่อมีการทดสอบการใช้ตัวแบบการควบคุมสินค้าคงคลังทั้ง (Q, r) และ (T, S, s) ผลจากการจำลองสถานการณ์แบบจำลองมอนติคาร์โลกับข้อมูลความต้องการของยางรถยนต์ที่เลือกมาศึกษาทั้ง 2 รุ่นนี้ พบว่า (T, S, s) เป็นตัวแบบที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและมีความสอดคล้องกับการจัดการยางคงคลังจริงเนื่องจากไม่ต้องตรวจติดตามระดับยางคงคลังแบบต่อเนื่องแต่ตรวจนับตามรอบเวลา T และตัดสินใจสั่งมาเติมตามเงื่อนไขที่กำหนดของ S และ s เท่านั้น

อย่างไรก็ตามผลลัพธ์จากการประยุกต์ตัวแบบ (Q, r) และ (T, S, s) กับยางรถยนต์รุ่นอื่น หรือสินค้าชนิดอื่นอาจแตกต่างกันไป เนื่องจากความแตกต่างของพฤติกรรมและพารามิเตอร์การแจกแจงของความต้องการของยางรถยนต์หรือสินค้าที่ต้องการศึกษา การใช้แนวทางการศึกษาและการจำลองสถานการณ์ในลักษณะเดียวกับที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ และงานวิจัยอื่น ๆ [1], [3], [5] และ [6] เป็นต้น จะช่วยให้สามารถประเมินผลลัพธ์ที่คาดว่าจะเกิดขึ้นโดยยังไม่ต้องประยุกต์นโยบายการจัดการด้วยตัวแบบต่าง ๆ จริงได้

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถานประกอบการกรณีศึกษา เจ้าของสถานประกอบการ พนักงานฝ่ายขาย และพนักงานฝ่ายคลังสินค้า ที่ให้การสนับสนุนทางด้านข้อมูล ให้งานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุภิษา ศิลสัตย์ และบรรพตยา ลีลา, การศึกษา นโยบายการจัดการวัสดุคงคลังสำหรับวัสดุสิ้นเปลืองภายใต้เงื่อนไขความต้องการไม่คงที่ กรณีศึกษา โรงงานผลิตสุขภัณฑ์ในท้องถิ่น, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, 2564
- [2] บรรพตยา ลีลา, การวางแผนและควบคุมการผลิต, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ท็อป, 2553
- [3] ภิรมมา มหิตพันธ์, บรรพตยา ลีลา และจักรวาล คุณะดิลก, การศึกษานโยบายการจัดการพัสดุคงคลังชิ้นส่วนอะไหล่สำหรับงานซ่อม

- บำรุงเครื่องจักร, การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ด้าน
นวัตกรรมเทคโนโลยีและวิทยาศาสตร์วิศวกรรมศาสตร์, 2560
- [4] จักรกฤษ อรรถกฤษณ์, “การจัดการวัตถุดิบคงคลังโดยใช้เทคนิค
การพยากรณ์และปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม,” สารนิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,
2557.
- [5] วิดีมา เรืองหิรัญวิช และบรรพชาญ ลีลา, การศึกษาตัวแบบวัสดุคง
คลังประเภทชิ้นส่วนพลาสติกสำหรับผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ไฟฟ้า, การ
ประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านการบริหารจัดการ, 2561
- [6] วรัญญา ลิ้มบัว และบรรพชาญ ลีลา, การศึกษานโยบายการควบคุม
วัสดุคงคลังประเภทชิ้นส่วนอะไหล่, การประชุมวิชาการช่างงาน
วิศวกรรมอุตสาหกรรม, 2561
- [7] วิทยา มานชู, “การประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์แบบ
มอนติคาร์โลเพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม กรณีศึกษา การ
จัดซื้อไม้ยางพาราในอุตสาหกรรมผลิตพาลาท,” วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาห
การ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2554.
- [8] W.D. Kelton, R.P. Sadowski and N.B. Zupick. Simulation with
Arena, (6th ed.), Singapore: McGraw-Hill, 2015.

การศึกษาปัจจัยของการอบชุบด้วยความร้อนที่มีผลต่อความลึกชุบแข็งผิวของแกนข้อโซ่ รถจักรยานยนต์ โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

Effect of Heat Treatment Parameters on Case Hardening Depth for Motorcycle's Roller Chain using the Factorial Design of Experiments

พจนีย์ สุขหนา^{*}, พลชัย โชติปราชญ์กุล

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: 63601183@kmitl.ac.th*, pholchai.ch@kmitl.ac.th

Potjaneek Sukna^{*}, Pholchai Chotiprayanakul

Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

E-mail: 63601183@kmitl.ac.th*, pholchai.ch@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษารองรับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความลึกชุบแข็งผิวของแกนข้อโซ่จักรยานยนต์ ที่ได้จากการอบชุบการเผา แก๊สคาร์บูไรซิ่งและชุบแข็งด้วยน้ำมันเพื่อลดการยืดตัวของโซ่รถจักรยานยนต์และเพิ่มอายุการใช้งานโซ่ เนื่องจากปัจจุบันพบว่าโรงงานกรณีศึกษามี ปัญหาจากคุณภาพที่ส่งผลให้อายุการใช้งานของโซ่รถจักรยานยนต์มีความผันแปรสูง ซึ่งอาจจะส่งผลกระทบต่อยอดขายได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึง ตั้งเป้าหมายที่ต้องการเพิ่มระยะการชุบแข็งผิวให้ลึกมากกว่า 0.15 mm ที่อัตราส่วนมากกว่า 70% ของล็อตการผลิตหลังอบชุบ โดยขั้นตอน งานวิจัยเริ่มจากการคัดกรองกำหนดปัจจัยใช้หลักการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วน จากนั้นทำการทดลองหาความสัมพันธ์เชิงเส้น ของปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่าการชุบแข็งผิวของการชุบความแข็งผิว หลังจากนั้นทำการประเมินผลแนวโน้มของปัจจัยหลักต่อค่าการชุบแข็งผิว ด้วยการวิเคราะห์พื้นผิวของค่าความแข็งผิวเพื่อหาตำแหน่งของค่าปัจจัยที่ให้ค่าการชุบแข็งผิวที่ดีที่สุด จากการทดสอบเบื้องต้นด้วยการทดลองแบบ แฟคทอเรียลบางส่วน ทำให้สามารถกำหนดปัจจัยที่มีนัยสำคัญได้ 2 ปัจจัย ประกอบด้วย อุณหภูมิในการชุบแข็ง (°C) เวลาในการชุบแข็ง (นาที) โดย ตั้งค่าไว้ปัจจัยละ 3 ระดับ สำหรับทำการทดลองแบบแฟคทอเรียลแบบเต็มส่วน และ ปัจจัยที่กำหนดคงที่มี จำนวนชิ้นงานต่อล็อตควบคุมเป็นน้ำหนัก ที่ 150 kg และ อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง LPG ที่ 20 l/min โดยมีการควบคุมอุณหภูมิของน้ำมันชุบแข็งและการสุ่มชิ้นงานตรวจสอบหีบ ญ จุด เดียวกันทุกการทดสอบเพื่อนำมาหาผลการทดลองตรวจสอบโดยวัดความแข็งชุบแข็งผิวด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์ (Micro Vickers) โดยผลการทดลอง พบว่าค่าการชุบแข็งผิวจากอุณหภูมิในการชุบแข็งและเวลาในการชุบแข็ง สามารถหาค่าการชุบแข็งผิวที่สูงสุดอยู่ที่ 0.675 mm. ซึ่ง ให้ค่าการชุบแข็งผิวเพิ่มขึ้น 3.5 เท่าจากเดิมที่ 0.15 mm. โดยใช้อุณหภูมิการชุบแข็งอยู่ที่ 920°C และใช้เวลาในการชุบแข็งอยู่ที่ 148 นาที

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล อายุโซ่ลูกกลิ้ง ความลึกชุบแข็งผิว

Abstract

This paper purposes on the effect of gas carburizing hardening parameters on the case hardness depth of motorcycle-roller-chain's pin. At present, the roller chain's lifetime in case-study factory is fulgurated and varied. This occasion becomes more effected on sale order. Thus, the research focuses on increasing the case hardness depth of roller chain's pin and reducing chain's pin elongation to prolong the chain's lifetime. Case hardness depth is currently at 0.15 mm for 70% of production lot. To screen factors, researcher uses fractional factorial design for prelim parameter testing. After heat treatment, the case hardness depth will be measured by Micro Vickers tester. It found that there are 2 significant factors effect on the case hardness depth which are Quenching Temperature (°C) and Soaking Time (min). And other 2 controlled factors are weight of pin at 150 kg/lot and LPG flow at 20 l/min. The sampling method is fixed at the same sampling location and time. The test's results are analyzed in full factorial design and the extended experiment design to central composite points. The analyzed result shows the optimal solution is 920°C of quenching temperature and 148 min for soaking time. This condition gives the case hardness depth is at 0.675 mm. that is increased by 3.5 times from previous production condition.

Keywords: Factorial design of experiment, Roller chain, Case hardness depth

1. บทนำ

การศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ ได้ดำเนินการร่วมกับโรงงานผลิต โซ่ลูกกลิ้ง (Roller Chain) มีสถานที่ตั้งอยู่ในประเทศไทย สินค้าที่ผลิตได้ส่งออกขายทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยสัดส่วนการขายระหว่างในประเทศและต่างประเทศ อยู่ที่สัดส่วนในประเทศ 75 - 80% และต่างประเทศอยู่ที่ 20 - 25% ปัจจุบันพบว่ายอดขายสินค้าของโซ่ลูกกลิ้งรุ่น 428 มีแนวโน้มลดลง ซึ่งปัญหาเกิดจากอายุการใช้งานของโซ่ลูกกลิ้งสั้น โซ่ยึดเร็วกว่าคู่แข่งในตลาด ดังนั้นโรงงานกรณีศึกษาจึงสนใจที่จะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการเพิ่มอายุการใช้งานของโซ่ลูกกลิ้งให้เทียบเท่าหรือดีกว่าปัจจุบันที่เป็นอยู่

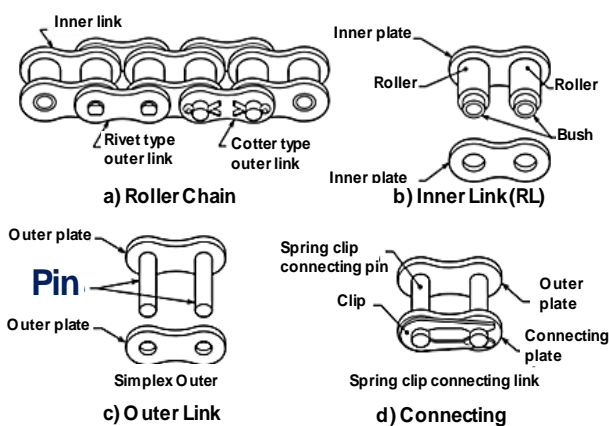
การเพิ่มอายุการใช้งานของโซ่ลูกกลิ้ง ทำได้โดยลดการสึกหรอของชิ้นส่วนโดยเฉพาะชิ้นส่วนสลักฟันแกนข้อโซ่ ซึ่งเป็นชิ้นส่วนที่มีการเสียดสีและสึกหรอสูงสุดและส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของโซ่ลูกกลิ้ง วิธีการลดการสึกหรอสามารถทำได้โดยการเพิ่มความลึกความแข็งผิวของชิ้นส่วนสลักฟันแกนข้อโซ่

ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงมีเป้าหมายที่จะทำการการศึกษาวิจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความลึกความแข็งผิวจากกระบวนการชุบแข็งและหาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มความลึกชุบแข็งผิวและหาสถานะของปัจจัยที่กำหนดให้ค่าการซึมลึกความแข็งผิวให้มากกว่า 0.25 mm.

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โซ่ลูกกลิ้ง ระยะพิทสัน

โซ่ลูกกลิ้ง [1] เป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายกำลังทางกล โดยทำงานร่วมกับเฟืองโซ่ โดยโซ่ลูกกลิ้งก็จะมี ลักษณะ องค์ประกอบ และ มิติหรือขนาดแสดงไว้ใน รูปที่ 1 การทดสอบอายุการใช้งานเป็นการวัดค่าความต้านทานแรงดึงและระยะยืดที่เกินพิกัดความเผื่อของระยะพิทโซ่



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของโซ่ลูกกลิ้งแบบแถวเดี่ยว (Simple Chain) (ที่มา : JIS B 1801 : 2020 (หน้าที่ 5). Short-pitch transmission Precision roller chains and bush)

2.2 กรรมวิธีทางความร้อน

การชุบแข็ง (Hardening) [2] เป็นกระบวนการปรับปรุงความแข็งของเหล็ก โดยใช้ความร้อนและทำให้ชิ้นงานเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว หรือเรียกว่าชุบแข็ง (Quenching) ซึ่งจะทำให้เฟสของเหล็กเปลี่ยนโครงสร้างเป็นมาร์เทนไซต์ (Martensite) ที่มีความแข็งสูง กระบวนการชุบแข็งเริ่มต้นจากการอบเหล็กกล้าด้วยความร้อน และแช่ชิ้นงานทิ้งไว้ที่อุณหภูมิที่ใช้ชุบแข็งเหล็กที่ระหว่าง 800°C-900°C ตามเวลาที่กำหนดให้ทำการจุ่มชิ้นงานนั้นลงในสารชุบที่ที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดการเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้โครงสร้างออสเทนไนท์ (Austenite) เปลี่ยนเป็นมาร์เทนไซต์อย่างทันที โดยการทำให้เย็นตัวเร็วกว่าอัตราการเย็นตัววิกฤตของเหล็กเกรดหรือส่วนผสมชนิดนั้น ๆ

2.3 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง [3] เป็นออกแบบการทดลองโดยใช้หลักการทางสถิติมาประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดตัวแปรและหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต้นกับตัวแปรตาม ซึ่งทำให้เราสามารถวางแผน การทดลองได้อย่างเป็นระบบและสามารถหาข้อสรุปของการทดลองได้อย่างสมเหตุสมผล ซึ่งการออกแบบการทดลองมีหลายรูปแบบ อย่างการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียลบางส่วนสำหรับปัจจัย 2 ระดับ (2^{k-p} Fractional Factorial Design) ซึ่งเป็นการทดลองเพียงบางตัวแปรจำเป็นเท่านั้นไม่ต้องทดลองทุกเงื่อนไข เหมาะกับการทดลองที่มีหลายปัจจัยเกี่ยวข้องเพื่อใช้คัดกรองปัจจัยที่มีอิทธิพล วิธีการนี้ช่วยในการประหยัดต้นทุนและเวลาในการทดลองงานได้ โดยที่ระดับของปัจจัยต้องมี 2 ระดับเท่านั้น คือ Low(-1) และ High(+1) หรือ การออกแบบทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบสำหรับปัจจัย 2 ระดับและตำแหน่งค่ากลาง (2^k Full Factorial Design and Center Point) โดยกำหนดระดับของปัจจัยที่มี 2 ระดับ คือ Low(-1) และ High(+1) แต่เพิ่มจุดตำแหน่งค่ากลาง Center (0) เข้าไป เพื่อการการทดสอบความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีต่อผลลัพธ์ที่ต้องการทดสอบว่าข้อมูลการทดลองมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นหรือไม่ และ อีกรูปแบบคือการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง (Central Composite Design; CCD) ที่มีความคล้ายคลึงกับแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบใช้สำหรับปัจจัยที่มี 2 ระดับ ใช้ในการทดลองที่ต้องการหาความสัมพันธ์แบบพื้นผิวตอบสนองที่ให้ผลลัพธ์จากการสอดแทรกกันระหว่างตัวแปร

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษอายุการใช้งานโซ่ลูกกลิ้งมีนักวิจัยหลายท่านนำเสนอกระบวนการทดสอบอย่าง Noguchi [4] พบว่าสลักแกนข้อโซ่ (Pin) และปลอกแกนข้อโซ่ (Bush) ไม่ได้สัมผัสกันในแนวเส้นตรงเดียวกัน และการสึกหรอจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ปลายสลักแกนข้อโซ่และพบการโก่งตัวเสียรูปเนื่องจากแรงเฉือนตามแนวหน้าตัดของสลักแกนข้อโซ่ที่เกิดขึ้นจากแรงดึงโซ่ขณะใช้งานมากกระทำ การศึกษาวิจัยที่มีผลต่อความแข็งผิวของชิ้นส่วนสลักแกนข้อโซ่

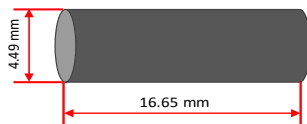
จากการระบวนการทางความร้อน โดยใช้หลักการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (2^k Full Factorial Design) [5] พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งผิวมีอยู่ 3 ปัจจัย คืออุณหภูมิการชุบ, เวลาในการชุบ และอัตราการไหลของแก๊ส ส่วนศึกษาพฤติกรรมการสึกหรอ [6] นำเสนอจากการเสียดสีของเกียร์เหล็ก AISI 8620 ที่มีความแตกต่างของค่าความลึกลงความแข็งผิวจากการคาร์บูไรซิ่ง และพบว่า ความลึกลงความแข็งผิวที่สูงกว่า จะต้านทานการสึกหรอได้ดีขึ้นและยังส่งผลให้ความแข็งแรงของวัสดุเพิ่มขึ้นตามมาด้วย

สมบัติเชิงกลและพฤติกรรมการกัดกร่อน [7] ถูกศึกษาเพื่อหาผลของกระบวนการทางความร้อนของเหล็กกล้า AISI420 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของออสเทนไนต์กับสมบัติเชิงกล จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิออสเทนไนต์มีผลกระทบต่อคุณสมบัติเชิงกลอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนของวิธีออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสม [8] นำเสนอวิธีการออกแบบการทดลองในการอบไม่ย่างพาราเพื่อให้ได้ความชื้นให้ได้ค่าตามมาตรฐานจากปัจจัยของอุณหภูมิและเวลาในการอบ ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การอบชุบแข็งสลักแกนข้อโช้

ชิ้นงานสลักแกนข้อโช้เป็นเหล็กแท่งกลมทรงกระบอก เกรด SCM420 โดยมีค่ามาตรฐานของส่วนผสมประกอบด้วย คาร์บอน %C 0.18 – 0.23 ซิลิกอน %Si 0.15 – 0.35 แมงกานีส %Mn 0.60 – 0.85 ฟอสฟอรัส %P 0.03 Max กำมะถัน %S 0.030Max โครเมียม %Cr 0.90 – 1.20 และ โมลิบดีนัม %Mo 0.15 – 0.30



รูปที่ 2 ชิ้นงานสลักแกนข้อโช้

สลักแกนข้อโช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.49 mm. และ มีความยาว 16.65 mm. พร้อมพิคัดความเผื่อของทางโรงงาน ดังแสดงในรูปที่ 2 มีน้ำหนักต่อชิ้นที่ 1.98 g โดยนำเข้าเตาเผาต่อล๊อตที่น้ำหนัก 100 kg ขั้นตอนการเผาปัจจุบันจะเผาที่อุณหภูมิที่ 860°C ด้วยอัตรา 6°C/min โดยแก๊ส LPG เผาในอัตรา 5 L/min เมื่ออุณหภูมิถึงจุดโครงสร้างออสเทนไนต์ทำการคงอุณหภูมิไว้ 120 นาที แล้วทำการเทชิ้นงานทั้งหมดลงในบ่อน้ำมันชุบแข็งที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิที่ ไม่เกินค่าควบคุมที่ 110 °C โดยใช้เวลาทั้งหมดประมาณ 5 นาที ในการชุบชิ้นงานทั้งหมดในเตา โดยอุณหภูมิชิ้นงานจะลดอย่างรวดเร็ว โดยการสูมตัวอย่างจะหยิบชิ้นงานที่ตำแหน่งหัวเตาตำแหน่งเดียวและเป็นชิ้นงานที่ลงบ่อชุบในชุดแรกของล๊อตเสมอ ลักษณะของเตาชุบและบ่อน้ำมันแสดงไว้ในรูปที่ 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการชุบแข็งมี 6 ปัจจัยที่โรงงานควบคุม แต่พบมี 4 ปัจจัยหลัก ที่มีการปรับเปลี่ยนตามคุณสมบัติของชิ้นงานที่ต้องการคือ อุณหภูมิในการชุบแข็ง, เวลาในการชุบ, ปริมาณ

ชิ้นงานและอัตราการไหลของแก๊ส ช่วงมาตรฐานค่าควบคุมแต่ละปัจจัยอ้างอิงตามหลักการการชุบแข็ง และมาตรฐานของโรงงาน



รูปที่ 3 เตาชุบแบบโรตารีและบ่อน้ำมันชุบแข็ง

3.2 การออกแบบการทดลองตามหลัก DOE

การออกแบบการทดลอง (DOE) ถูกแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การคัดกรองปัจจัย การหาความสัมพันธ์เชิงเส้น และการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง โดยการกำหนดระดับของปัจจัยได้มีหลักการพิจารณาดังต่อไปนี้ อุณหภูมิชุบแข็งได้อ้างอิงตามเฟสไดอะแกรมของเหล็กคาร์บอน ในส่วนของเวลา, ปริมาณชิ้นงาน และแก๊ส ได้ปรับระดับตามความเหมาะสมที่ไม่กระทบกับปัจจัยด้านต้นทุนและลักษณะของอุปกรณ์ที่ทำการทดลอง

ปัจจัยที่ควบคุมในขณะการทดลองได้ควบคุมชนิดแก๊ส, เตาชุบแข็ง, ชนิดน้ำมันชุบแข็ง, อุณหภูมิน้ำมัน, พนักงานควบคุมและช่วงเวลาทดลอง ซึ่งทุกการทดลองจะใช้ค่าเดียวกัน ส่วนปัจจัยที่ไม่ได้ควบคุมคือสภาพอากาศภายนอกที่ปล่อยให้เกิดขึ้นตามสภาพอากาศจริง

การคัดกรองปัจจัยด้วย 2^{k-p} Fractional Factorial Design เป็นขั้นตอนเบื้องต้นสำหรับหาปัจจัยที่มีผลหรือไม่มีผลโดยนัยสำคัญต่อผลค่าความลึกลงความแข็งผิว โดยปัจจัยที่นำมาศึกษามี 4 ปัจจัย ๑ ละ 2 ระดับคือ อุณหภูมิในการชุบแข็งให้ (-1) 840°C และ (+1) 880°C เวลาในการชุบให้ (-1) ที่ 90 นาที และ (+1) ที่ 120 นาที ปริมาณชิ้นงานให้ (-1) ที่ 100 kg และ (+1) 150 kg และ อัตราการไหลของแก๊ส ให้ (-1) ที่ 5 l/min และ (+1) ที่ 20 l/min ผลการทดลองทำให้สามารถลดปัจจัยการทดลองได้ 4 ปัจจัยเหลือ 2 ปัจจัยคือ อุณหภูมิในการชุบแข็งและเวลาในการชุบที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความลึกลงความแข็งผิว

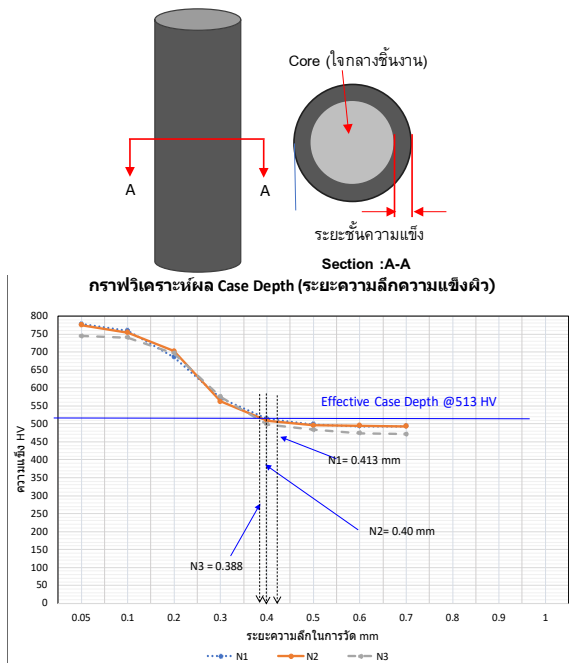
การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นด้วยวิธี 2^k Full Factorial Design และ 5 Center Points หลังจากการคัดกรองปัจจัย ปัจจัยที่มีอิทธิพลหลักคืออุณหภูมิและเวลาในการชุบแข็ง โดยในขั้นตอนนี้ทำการเพิ่มค่าปัจจัยหลักขึ้นอีก 1 ระดับ ที่จะทำหาค่าความลึกลงความแข็งผิว

เปลี่ยนแปลงเพื่อหาผลการตอบสนองของผลต่อปัจจัยว่ามีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นหรือไม่ใช่เชิงเส้น โดยกำหนดให้อุณหภูมิในการชุบแข็งมี 3 ระดับเป็น (-1) ที่ 840°C ระดับ (0) ที่ 880°C และ ระดับ (+1) ที่ 920°C และเพิ่มระดับเวลาในการชุบเป็น (-1) ที่ 90 นาที ระดับ (0) ที่ 120 นาที และ ระดับ (+1) ที่ 150 นาที ส่วนปัจจัยอื่นให้ใช้ที่ 150 kg ต่อลิตรการผลิต และ อัตราการไหลแก๊ส LPG ที่ 20 l/min

ขั้นตอนสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนองเพื่อหาจุดปัจจัยที่เหมาะสม ด้วยวิธี Central Composite Design จาก 2 ปัจจัยหลัก และพบว่ามีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์เป็นแบบเส้นโค้ง (Non-linear) จึงต้องศึกษาข้อมูลแบบพื้นผิวตอบสนองเพื่อหาค่าความลึกชุบแข็งผิวที่เหมาะสมที่สุด

3.3 การวัดความลึกชุบแข็งผิว

การวัดผลจากค่าการซึมลึกความแข็งผิวหรือความลึกชุบแข็งผิว จะใช้เครื่องมือโครวิกเกอร์ เป็นอุปกรณ์วัดผล โดยในแต่ละชุดการทดลอง จะทำการสุ่มชิ้นงานมา 3 ชิ้น ณ บริเวณเดียวในบ่อชุบและเป็นชิ้นงานหัวเตาที่ลงในบ่อน้ำมันชุบแข็งเป็นกลุ่มแรก



รูปที่ 4 กราฟวิเคราะห์ผลจากการซึมลึกความแข็งผิวและลักษณะชิ้นงาน

การประเมินผลจากระยะทางของค่าความแข็งที่วัดได้จากผิวนอกเข้ามาด้านในจนถึงชั้นใจกลางชิ้นงาน ดังแสดงตัวอย่าง ในรูปที่ 4 โดยจะทำการตัดชิ้นงานผ่ากลางตามแนวขวางกลางลำตัวชิ้นงานด้วยใบตัดเพชรโดยมีน้ำหล่อเย็นตลอดการตัดเพื่อไม่ให้เกิดการตัดส่งผลต่อความแข็งชิ้นงาน การกดวัดด้วยเครื่องมือโครวิกเกอร์จะกดหัววัดจากขอบข้างชิ้นงานเข้าสู่จุดศูนย์กลางขยับเข้าครั้งละ 0.1 mm. วัดหาจุดที่ความแข็งลดลงต่ำกว่าค่าความแข็งที่กำหนด ที่จุด effective case depth 513 HV เป็นตำแหน่งบ่งบอกระยะจากผิวชิ้นงานมายังจุดค่าความลึกชุบแข็งผิว

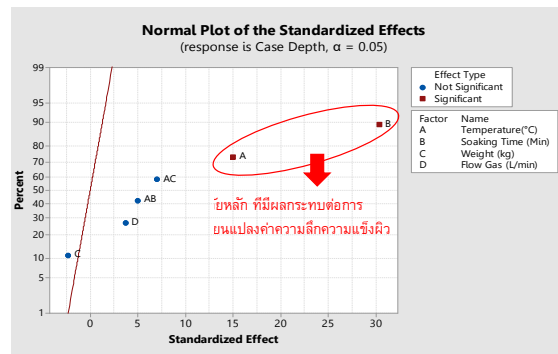
4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 คัดกรองปัจจัยด้วย 2^{k-p} Fractional Factorial Design

จากการคัดกรองปัจจัยพบว่าปัจจัยที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงค่าการซึมลึกความแข็งผิวอย่างมีนัยสำคัญมีอยู่ 2 ปัจจัยคืออุณหภูมิในการชุบแข็ง (ปัจจัย A) และเวลาในการชุบแข็ง (ปัจจัย B) ส่วนจำนวนชิ้นงาน (ปัจจัย C) และ อัตราการไหลของแก๊สเชื้อเพลิง LPG (ปัจจัย D) ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ที่แสดงในตารางที่ 1 และ ดังแสดงกราฟ Normal Plot ตามรูปที่ 5 ผลของค่า P-value จากการวิเคราะห์ด้วย ANOVA ดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 1 ผลจาก 2⁴⁻¹ Fractional Factorial Design

Run	ระดับแต่ละปัจจัย				Case Depth (mm)			ค่าเฉลี่ย (mm)
	A	B	C	D	N1	N2	N3	
1	+1	-1	-1	+1	0.25	0.26	0.25	0.25
2	-1	+1	-1	+1	0.41	0.42	0.41	0.41
3	-1	-1	-1	-1	0.2	0.21	0.20	0.20
4	-1	-1	+1	+1	0.16	0.14	0.15	0.15
5	-1	+1	+1	-1	0.32	0.32	0.32	0.32
6	+1	-1	+1	-1	0.30	0.31	0.30	0.30
7	+1	+1	+1	+1	0.56	0.55	0.55	0.55
8	+1	+1	-1	-1	0.48	0.49	0.48	0.48



ผลการทดลองทำให้สามารถบอกได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าความลึกชุบแข็งผิวคือปัจจัย A และ B และ ตัดปัจจัยที่ปฏิเสธสมมุติฐานจากการทดลองไปเป็นปัจจัยควบคุมที่ทำให้คงที่

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	0.139275	0.023213	206.33	0.053
Linear	4	0.130950	0.032738	291.00	0.044
Temperature(°C) A	1	0.025312	0.025312	225.00	0.042
Soaking Time (Min) B	1	0.103513	0.103513	920.11	0.021
Weight (kg)	1	0.000612	0.000612	5.44	0.258
Flow Gas (L/min)	1	0.001513	0.001513	13.44	0.170
2-Way Interactions	2	0.008325	0.004163	37.00	0.115
Temperature(°C)*Soaking Time (Min)	1	0.002812	0.002812	25.00	0.126
Temperature(°C)*Weight (kg)	1	0.005513	0.005513	49.00	0.090
Error	1	0.000113	0.000113		
Total	7	0.139388			

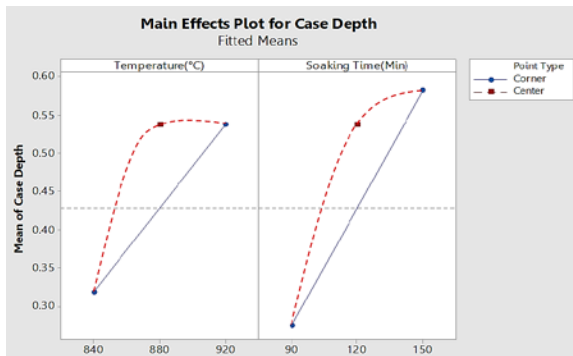
รูปที่ 6 ผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้หลักการ ANOVA

4.2 คัดกรองปัจจัยด้วย 2^k Full Factorial Design

ผลการทดลองแบบ 2^k Full Factorial Design และ 5 Center Points ดังแสดงในตารางที่ 2 ผลของค่าความลึกซบแข็งผิวหลังเพิ่มระดับของปัจจัย เพิ่มการทดสอบ เพื่อดูความสัมพันธ์ของปัจจัยต่อการตอบสนองของค่าความลึกซบแข็งผิวพบว่าไม่เป็นเชิงเส้น (Non Linear) เป็นแนวโค้ง จากที่แสดงในรูปที่ 7

ตารางที่ 2 ผลจาก 2² Full Factorial Design และ 5 Center Points

Run	ระดับของแต่ละปัจจัย		Case Depth (mm)			ค่าเฉลี่ย (mm)
	A	B	N1	N2	N3	
1	0	0	0.560	0.550	0.540	0.550
2	0	0	0.530	0.525	0.520	0.525
3	-1	-1	0.160	0.140	0.150	0.150
4	+1	+1	0.700	0.650	0.675	0.675
5	+1	-1	0.413	0.400	0.388	0.400
6	0	0	0.560	0.550	0.555	0.555
7	-1	+1	0.475	0.500	0.488	0.488
8	0	0	0.515	0.525	0.520	0.520
9	0	0	0.555	0.520	0.530	0.535



รูปที่ 7 จุด Center Point อยู่บนนอกเส้นตรง

4.3 การวิเคราะห์ที่พื้นผิวตอบสนองด้วย Central Composite Design (CCD)

จากตารางที่ 3 แสดงวิธีการปรับระดับของปัจจัยเพื่อให้เหมาะสมการนำไปหาความสัมพันธ์แบบไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากผลจาก 4.2

โดยจากตารางที่ 3 นำมาทำ ANOVA เพื่อหาความสัมพันธ์เห็นว่าอุณหภูมิการชุบแข็ง และ เวลาในการชุบแข็ง มีค่ากำลังสองที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความลึกความแข็งผิวอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในรูปที่ 8 (วงหมายเลข 1) เนื่องจากค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 และค่า Lack of Fit มีค่า 0.242 (วงหมายเลข 2) แสดงว่าสมการความสัมพันธ์ที่ได้มีความแม่นยำ สามารถสรุปได้ว่าพบว่าปัจจัย A อุณหภูมิการชุบแข็ง และ ปัจจัย B และ เวลาในการชุบแข็ง มีความสัมพันธ์แบบเส้นโค้งกับค่าความลึกความแข็งผิวจริง

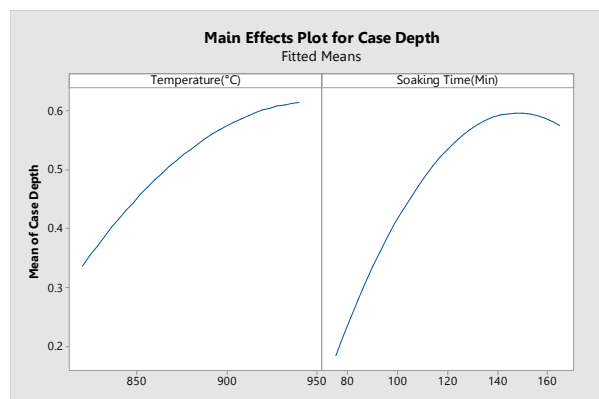
ตารางที่ 3 ผลจาก Central Composite Design

Run	ระดับของแต่ละปัจจัย		Case Depth (mm)			ค่าเฉลี่ย (mm)
	A	B	N1	N2	N3	
1	0	0	0.560	0.550	0.540	0.550
2	+α	0	0.595	0.615	0.605	0.605
3	0	+α	0.575	0.555	0.565	0.565
4	0	0	0.530	0.525	0.520	0.525
5	+1	+1	0.700	0.650	0.675	0.675
6	0	0	0.555	0.520	0.530	0.535
7	0	0	0.540	0.550	0.530	0.540
8	0	0	0.515	0.525	0.520	0.520
9	0	-α	0.215	0.235	0.225	0.225
10	-α	0	0.365	0.345	0.355	0.355
11	+1	-1	0.413	0.400	0.388	0.400
12	-1	+1	0.475	0.488	0.500	0.488
13	-1	-1	0.225	0.173	0.213	0.204

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	4	0.238702	0.059675	339.47	0.000
Linear	2	0.203415	0.101707	578.58	0.000
Temperature(°C) A	1	0.067998	0.067998	386.82	0.000
Soaking Time(Min) B	1	0.135417	0.135417	770.34	0.000
Square	2	0.035287	0.017644	100.37	0.000
A*A Temperature(°C)*Temperature(°C)	1	0.004885	0.004885	27.79	0.001
B*B Soaking Time(Min)*Soaking Time(Min)	1	0.033120	0.033120	188.41	0.000
Error	8	0.001406	0.000176		
Lack-of-Fit	4	0.000956	0.000239	2.13	0.242
Pure Error	4	0.000450	0.000113		
Total	12	0.240108			

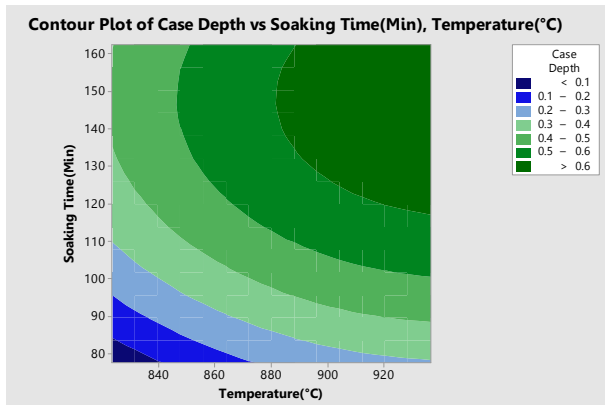
รูปที่ 8 ผลวิเคราะห์จากการออกแบบการทดลองแบบส่วนประสมกลาง



รูปที่ 9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลหลัก แสดงความเป็นเส้นโค้ง

จากกราฟอิทธิพลหลักดังแสดงในรูปที่ 9 ที่มีลักษณะเป็นเส้นโค้งสามารถยืนยันความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยและผลลัพธ์กำลังสอง ซึ่งบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงค่าการซึมลึกความแข็งผิว ที่จะลดลงได้เมื่อเวลาในการชุบแข็งและอุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นสูงถึงค่าหนึ่ง และ Contour Plot ตามที่แสดงในรูปที่ 10 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิในการชุบแข็งและเวลาในการชุบแข็ง สามารถเขียนขอบเขตความสัมพันธ์ของปัจจัย

ทั้ง 2 กับค่าความลึกชุบแข็งผิว และ นำมาใช้ในการพยากรณ์ค่าหาปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดของการชุบแข็งจาก Response Optimization พบว่า ต้องใช้เวลา 936.569 °C และใช้เวลา 147.856 นาที จะทำให้ได้ค่าความลึกความแข็งผิวอยู่ที่ 0.673698 mm ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 Contour Plot แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยและค่าความลึกชุบแข็งผิว

Response Optimization: Case Depth

Parameters

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
Case Depth	Maximum	0.3	0.6		1	1

Solution

Solution	Temperature(°C)	Soaking Time(Min)	Case Depth Fit	Composite Desirability
1	936.569	147.856	0.673698	1

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Temperature(°C)	936.569
Soaking Time(Min)	147.856

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Case Depth	0.6737	0.0113	(0.6475, 0.6999)	(0.6335, 0.7139)

รูปที่ 11 ค่าพยากรณ์ที่ทำให้ได้ค่าความลึกความแข็งผิวที่เหมาะสมที่สุด

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการเพิ่มความลึกชุบแข็งผิวให้มากกว่า 0.255 mm. ซึ่งจากการศึกษาและทดลอง พบว่า ค่าความลึกชุบแข็งผิวสามารถปรับปรุงได้เป็น 0.675 mm. เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 3.5 เท่า จากสถานะปัจจุบันของการผลิตที่ทำได้ 0.15 mm. การเพิ่มค่าความซึมลึกแข็งผิวทำให้ค่าที่ดีที่สุดในการทดลอง พบว่าต้องมีการใช้อุณหภูมิในการชุบแข็งที่ 936 °C และเวลาในการชุบแข็งนานถึง 148 นาที โดยกำหนด

จำนวนชิ้นงานโดยน้ำหนักที่ 150 kg/lot และ ปริมาณอัตราการไหลของแก๊ส LPG 20 l/min

ข้อเสนอแนะจากผลที่ได้ ถึงจะมีจุดของปัจจัยที่ให้ค่าความซึมลึกแข็งผิวสูงสุดได้ แต่ก็จะมีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นด้วย เนื่องจากต้องเพิ่มอุณหภูมิในการชุบแข็งเพิ่มประมาณ 80°C และต้องเพิ่มเวลาในการชุบแข็งอีกประมาณ 30 นาที ทำให้ต้องใช้แก๊สเพิ่มในการเผาอีกประมาณ 600 ลิตร ดังนั้นการเลือกสภาวะการอบชุบที่เหมาะสมใช้ในการผลิต จึงควรนำเอาปัจจัยด้านต้นทุนการผลิตเข้ามามีส่วนร่วมในการพิจารณา ซึ่งเป้าหมายจริงของค่าความซึมลึกแข็งผิวอยู่แค่เพียง 0.255 mm. และการหาอายุการใช้งานจริงจากระดับค่าความซึมลึกแข็งผิวยังจำเป็นต้องทำการทดลองเพื่อหาความเชื่อมโยง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Japanese Industrial Standards and Committee. 2020. Short-pitch transmission Precision roller chains and bush chains. Tokyo : Japanese Standard Association.
- [2] อุษณีย์ กิตติกำจร. “การอบชุบทางความร้อน.” [Online]. Available : http://personal.sut.ac.th/heattreatment/context/Quenching_And_Tempering.html
- [3] Douglas C. Montgomery. Design and Analysis of Experiments. Eight Edition. John Wiley & Sons, Inc. 2013
- [4] Noguchi, S., Yoshida, H., Nakayama, S., & Kanada, T. (2009). Evaluation of wear between pin and bush in roller chain. Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 3(4), 355-365.
- [5] สมโภชน์ ไชยแก้ว และ ศิริรัตน์ ชูติชูเดช. 2559. “การออกแบบการทดลองกระบวนการชุบแข็งโครมถักยานยนต์”. ใน การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ ประจำปี 2559. กรุงเทพฯ: สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- [6] Izciler, M. A. H. M. U. T., & Tabur, M. (2006). Abrasive wear behavior of different case depth gas carburized AISI 8620 gear steel. *Wear*, 260(1-2), 90-98.
- [7] Isfahany, A. N., Saghafian, H., & Borhani, G. (2011). The effect of heat treatment on mechanical properties and corrosion behavior of AISI420 martensitic stainless steel. Journal of alloys and compounds, 509(9), 3931-3936
- [8] สมศักดิ์ แก้วพลอย และ กุลยุทธ บุญเซ่ง. (2554). การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอบไม่ยางพารา. สงขลา : มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยกระบวนการเคมีสีเขียวโดยใช้สารสกัดใบกระท่อม
และสมบัติการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง

**Green Synthesis of CuO Nanoparticles from *Mitragyna Speciosa Korth* Leaf Extract and
Photocatalytic Property**

นุชชิตา สุขประสิทธิ์ วรณุศย์ ทองพูล*

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

E-mail: voranut_t@rmutt.ac.th*

Nuchita Sukprasit, Voranuch Thongpool*

Division of Physics, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi,

E-mail: voranut_t@rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยกระบวนการเคมีสีเขียว โดยใช้สารสกัดจากใบกระท่อม และศึกษา
สัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FESEM) ทำการยืนยันองค์ประกอบของธาตุ หมู่ฟังก์ชัน
ทางเคมี โครงสร้างผลึก และค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (EDS) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตร
มิเตอร์ (FTIR) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ (UV-vis) อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่
เตรียมได้ถูกนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการสลายสีของเมทิลีนบลูภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต ผลการศึกษาพบว่า อนุภาคนาโนคอปเปอร์
ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มีรูปร่างทรงกลม ขนาดเฉลี่ย 19.37 นาโนเมตร มีการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 264 นาโนเมตร เมื่อนำอนุภาค
นาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มาสลายสีของเมทิลีนบลูภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต พบว่าสามารถสลายสีของเมทิลีนบลูร้อยละ 80.821
เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 60 นาที

คำสำคัญ: กระบวนการเคมีสีเขียว, สีของเมทิลีนบลู, กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง, สารสกัดจากใบกระท่อม

Abstract

In this work, copper oxide nanoparticles were synthesized by green chemistry using the Kratom leaf extract. The morphology
of the as-synthesized copper oxide nanoparticles was confirmed by field emission scanning electron microscopy (FESEM). The elemental
composition, chemical functional group, crystalline structure and absorption spectrum were confirmed by an energy dispersive X-Ray
spectroscopy (EDS), Fourier transforms infrared spectrometer (FTIR), X-ray diffractometer (XRD), and UV-visible spectrophotometer (UV-
vis). The results showed that the as-synthesized copper oxide nanoparticles have a spherical shape with an average size of 19.37 nm
and a maximum absorption wavelength of 264 nm. The as-synthesized copper oxide nanoparticles were used to degrade methylene blue
dye under ultraviolet light, with a maximum degradation rate of 80.821% in 60 minutes.

Keywords: Green synthesis, Methylene blue dye, Photocatalytic, *Mitragyna Speciosa Korth* plant extract

1. บทนำ

การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำจากอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นปัญหามลพิษทางน้ำ แม้ว่าสีย้อมจะมีความเป็นพิษต่ำ แต่สีย้อมจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยทั่วไปเป็นที่ยากต่อการสลายตัวทางชีวภาพ [1] อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสภาพแวดล้อม ในปัจจุบันกระบวนการบำบัดสีย้อมมีหลายกระบวนการ เช่น การตกตะกอนทางเคมี [1] และการใช้โอโซน [2] แต่เนื่องจากกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้มีวิธีการค่อนข้างยุ่งยาก และต้นทุนสูง [1] กระบวนการโฟโตคะตะลิติก (Photocatalytic Process) เป็นกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแสง (Photocatalyst) และแสงอัลตราไวโอเล็ต ที่หมูนักวิจัยให้ความสนใจในการนำมาบำบัดสีย้อม [3] โดยโลหะที่นำมาใช้ในเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ได้แก่ ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) [4] ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และ คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) [5] คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) เนื่องจากเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p-type [6] มีแถบช่องว่างพลังงานช่วง 1.2 ถึง 2.25 eV มีความเสถียรที่สภาวะอุณหภูมิสูง และราคาถูก ด้วยคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ของคอปเปอร์ออกไซด์จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา [7] วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์มีกระบวนการสังเคราะห์หลายกระบวนการ ได้แก่ กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล [8] กระบวนการตกตะกอนด้วยสารเคมี [9] และกระบวนการเคมีสีเขียว [10 – 12] ซึ่งกระบวนการเคมีสีเขียวเป็นวิธีการที่มีมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สังเคราะห์ได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องใช้แรงดัน และพลังงานสูง [13]

สารสกัดจากพืชที่นำมาใช้ในกระบวนการเคมีสีเขียวจะต้องมีสารเทอร์พีนอยด์ (Terpenoid) โพลีฟีนอล (Polyphenol) แอลคาลอยด์ (Alkaloid) ฟีนอล (Phenolic) และโปรตีนต่าง ๆ ในสารสกัดเหล่านี้มีหน้าที่ในการลดไอออนของโลหะจนกลายเป็นอนุภาคนาโนโดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ [14] ซึ่งพืชที่มีสารสกัดเหล่านี้ เช่น ไบยูคาลิปตัส [15] ไบมะกอก [16] ใบชา [17] และใบกระท่อม [18]

พืชกระท่อม (Kratom) หรือ *Mitragyna Speciosa Korth* เป็นพืชในวงศ์ Rubiaceae เป็นพืชที่พบในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีประโยชน์ทางเภสัชกรรมและการแพทย์ สารเคมีที่พบในพืชกระท่อม ได้แก่ แอลคาลอยด์ (alkaloids) ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ไตรเทอร์พีน (triterpenes) ฟีนอล (phenolic) เป็นต้น [19]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ ด้วยกระบวนการเคมีสีเขียว โดยใช้สารสกัดจากใบกระท่อม และศึกษาสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FESEM) ทำการยืนยันองค์ประกอบของธาตุ หมู่ฟังก์ชันทางเคมี โครงสร้างผลึก และค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (EDS) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ (UV-vis) อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้ถูกนำไปศึกษาประสิทธิภาพในการสลายสีย้อมของเมทิลีนบลูภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต

2. วัสดุ และอุปกรณ์

2.1 วัสดุ

วัสดุในการศึกษานี้มีดังนี้ คอปเปอร์ไนเตรต (Cu(NO₃)₂) ความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เมทิลีนบลู ใบกระท่อม และน้ำกลั่น

2.2 การเตรียมสารสกัด

นำใบกระท่อมมาล้างน้ำกลั่นให้สะอาดนำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน แล้วบดเป็นผง จากนั้นผสมผงใบกระท่อม 25 กรัม และน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์ นำไปกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กด้วยความเร็ว 500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นกรองเพื่อแยกตะกอนออกจากสารสกัด และนำสารสกัดไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์

2.3 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ ในงานวิจัยนี้ใช้คอปเปอร์ไนเตรตเป็นสารตั้งต้น โดยมีขั้นตอนดังนี้ เติมน้ำคอปเปอร์ไนเตรต 1 โมลาร์ ลงในสารสกัดจากใบกระท่อม 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปสั่นด้วยเครื่องอัลตราโซนิกส์ เวลา 1 ชั่วโมง ปรับค่าพีเอชให้ได้เท่ากับ 8 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 2 โมลาร์ จากนั้นนำไปกรองตะกอน และล้างด้วยน้ำกลั่นจนพีเอชเท่ากับ 7 และนำไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาบดเป็นผงให้ละเอียด และนำมาเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เวลา 2 ชั่วโมง

2.4 วิเคราะห์ลักษณะของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์

สัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (FESEM) ทำการยืนยันองค์ประกอบของธาตุ หมู่ฟังก์ชันทางเคมี โครงสร้างผลึก และค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ (EDS) เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) และเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ (UV-vis)

2.5 การทดสอบประสิทธิภาพของในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต

นำอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ ปริมาณ 25 มิลลิกรัม ใส่ลงในสารละลายเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 25 ppm ปริมาตร 50 มิลลิลิตร เก็บไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เข้าสู่สมดุล จากนั้นทำการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงอัลตราไวโอเล็ต เป็นเวลา 60 นาที โดยทุก ๆ 10 นาที ดูดสีย้อมจำนวน 3 มิลลิลิตร นำมาแยกตะกอนด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงเป็นเวลา 10 นาที ด้วยความเร็ว 6,000 รอบต่อนาที ทำการวัดการดูดกลืน

คลื่นแสงที่มีความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรมิเตอร์ (UV-vis)

ประสิทธิภาพในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูคำนวณได้จากสมการ (1)

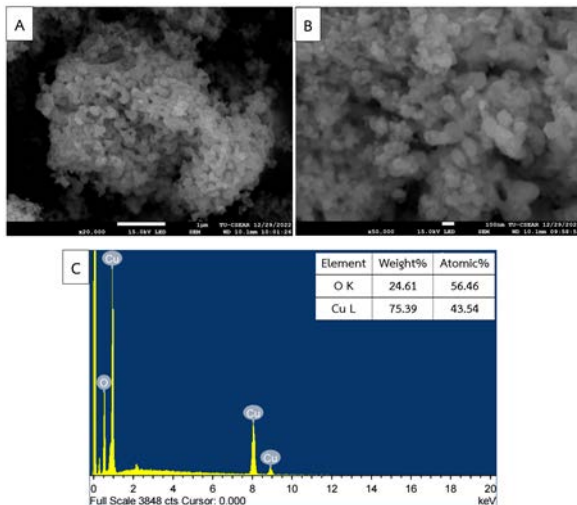
$$\% \text{ degradation} = \frac{A_0 - A_t}{A_0} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ A_0 คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ณ เวลาเริ่มต้น

A_t คือ ค่าการดูดกลืนคลื่นแสง ณ เวลาใด ๆ

3. ผลการวิจัย

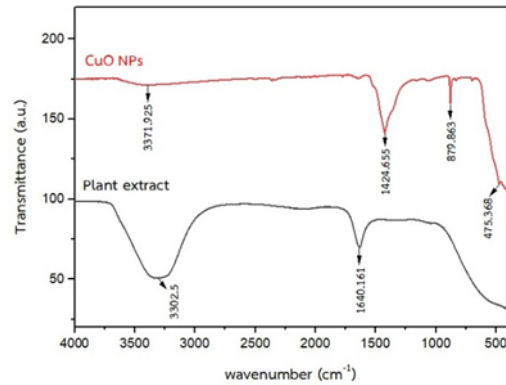
จากรูปที่ 1 แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ ออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่กระบวนการสีเขียว จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่กำลังขยาย 20,000 และ 50,000 เท่า จากภาพพบว่า อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีรูปร่างทรงกลมเกาะติดกันแน่น นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบของธาตุของคอปเปอร์ (Cu) และ ออกซิเจน (O) โดยน้ำหนัก คือ 75.39 และ 24.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งธาตุทั้ง 2 ชนิดนี้เป็นองค์ประกอบของคอปเปอร์ออกไซด์ แสดงดังรูปที่ 1(C)



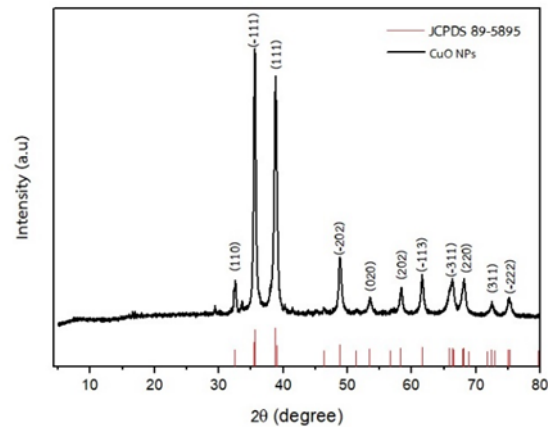
รูปที่ 1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ที่กระบวนการสีเขียว A) กำลังขยาย 20,000 เท่า B) กำลังขยาย 50,000 และ C) ยืนยันองค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุ

จากรูปที่ 2 สารสกัดจากใบกระเทียม พบพีคการดูดกลืนที่ 3302.5 cm^{-1} และ 1640.161 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของกลุ่ม O-H และ C=C ตามลำดับ [20] และอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ พบพีคการดูดกลืนที่ตำแหน่ง 3371.925 cm^{-1} 1424.655 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของกลุ่ม O-H และ C-C ตามลำดับ [21] และที่ตำแหน่ง 879.863

cm^{-1} และ 475.368 cm^{-1} สอดคล้องกับการสั่นแบบยืดของพันธะ Cu-O [20]



รูปที่ 2 สเปกตรัมจากเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ของสารสกัดจากใบกระเทียมและอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้



รูปที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

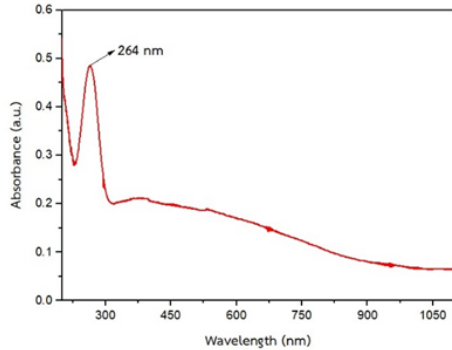
จากรูปที่ 3 อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มีพีคการเลี้ยวเบนที่ 2θ เท่ากับ 32.46° 35.61° 38.83° 48.81° 53.49° 58.34° 61.67° 66.35° 68.16° 72.57° และ 75.18° ซึ่งสอดคล้องกับระนาบผลึก (110) (-111) (111) (-202) (020) (202) (-113) (-311) (220) (311) และ (-222) ตามลำดับ สอดคล้องกับ JCPDS หมายเลข 89-5895) และมีโครงสร้างแบบ Monoclinic ขนาดผลึกเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จากสมการของ Debye-Scherrer ดังสมการที่ (2) โดยมีค่าเท่ากับ 19.37 นาโนเมตร

$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

เมื่อ D คือ ขนาดของผลึก (นาโนเมตร)

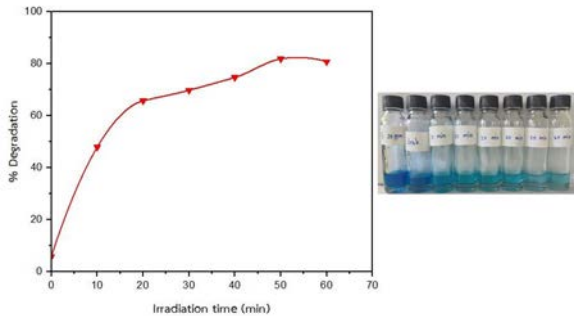
K คือ ค่าคงที่ เท่ากับ 0.94

λ คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ มีค่าเท่ากับ 1.5406 อังสตรอม
 β คือ full-width at half maximum (FWHM) ของพีคในหน่วยเรเดียน
 θ คือ มุมของแบรกก์ Bragg's angle ในหน่วยองศา



รูปที่ 4 สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

สเปกตรัมการดูดกลืนคลื่นแสงของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ แสดงให้เห็นการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วงความยาวคลื่น 228-312 นาโนเมตร เกิดปรากฏการณ์คลื่นผิวพลาสมอนเรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance, SPR) ขึ้นที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 264 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 5 กราฟประสิทธิภาพในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ ภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต

รูปที่ 5 แสดงประสิทธิภาพในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ จากผลการทดลองพบว่า อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการสลายสีย้อมเมทิลีนบลูได้ถึงร้อยละ 80.821 ที่เวลา 60 นาที

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์สีเขียว จากการทดลองพบว่าสัณฐานทางวิทยาของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีรูปร่างเป็นทรงกลม นอกจากนี้ยังพบองค์ประกอบของธาตุของคอปเปอร์ (Cu) และ ออกซิเจน (O) โดย

น้ำหนักคือ 75.39 และ 24.61 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พบหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของสารสกัดจากใบกระท่อม 3302.5 cm^{-1} และ 1640.161 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของกลุ่ม O-H และ C=C ตามลำดับ และอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ พบพีคการดูดกลืนที่ตำแหน่ง 3371.925 cm^{-1} 1424.655 cm^{-1} ซึ่งเกิดจากการสั่นแบบยืดของกลุ่ม O-H และ C-C ตามลำดับ และที่ตำแหน่ง 879.863 cm^{-1} และ 475.368 cm^{-1} สอดคล้องกับการสั่นแบบยืดของพันธะ Cu-O โครงสร้างผลึกของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์มีรูปร่างแบบ Monoclinic และมีขนาดผลึกเฉลี่ย 19.37 นาโนเมตร การดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 264 นาโนเมตร เมื่อนำอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มาสลายสีย้อมเมทิลีนบลูภายใต้แสงอัลตราไวโอเล็ต พบว่าสามารถสลายสีย้อมได้สูงสุทธ้อยู่ที่ 80.821 เปอร์เซ็นต์ ภายในเวลา 60 นาที

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ทูสนับสนุนการพัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภายใต้กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 รหัสโครงการวิจัย FRB66E0627

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุชาญชัย คหาปะนะ และ ณภัทร โพธิ์วัน, การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูโดยใช้วัสดุดูดซับที่เตรียมจากผักตบชวา, วารสารวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 15 ฉบับที่ 2 เดือน พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2563.
- [2] ทักษิชนก จรเชษฐ์ และ ต่อพงศ์ ภิรัชชาติ. (2019). การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการไอโซเนนชันร่วมกับแมงกานีสไดออกไซด์เคลือบบนผงอะลูมินา. วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ, 5(1), 22-27.
- [3] ชรรมศักดิ์ โรจน์วิรุฬห์, สัญญา สิริวิทยาภรณ์, อรรถวรรณ โรจน์วิรุฬห์, และกชกร สุรเนาวรัตน์. (2018). การบำบัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโฟโตคะตะลิติกร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยา Ag-TiO₂. Journal of Engineering, RMUTT, 16(2), 47-57.
- [4] Wang, C., Shi, H., Zhang, P., and Li, Y. (2011). "Synthesis and characterization of kaolinite/TiO₂ Nano photo catalysts". Applied Clay Science, Vol.53 (4), 646-649.
- [5] Shubha, J. P., Roopashree, B., Patil, R. C., Khan, M., Shaik, M. R., Alaqarbeh, M., and Adil, S. F. (2023). "Facile synthesis of ZnO/ CuO/ Eu Heterostructure photocatalyst for the Degradation of Industrial Effluent". Arabian Journal of Chemistry, 104547.
- [6] Dulta, K., Koşarsoy AĞçeli, G., Chauhan, P., Jasrotia, R., Chauhan, P. K., and Ighalo, J. O. (2022). "Multifunctional CuO nanoparticles with enhanced photocatalytic dye degradation and

- antibacterial activity". *Sustainable Environment Research*, Vol. 32(1), 1-15.
- [7] ณิชากร ภูตานนท์, การสังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยกระบวนการจัดเรียงตัวด้วยตัวเองบนกระดาษและการศึกษาถึงการประยุกต์ใช้งานเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาดำแสง, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [8] Chandrasekar, M., Subash, M., Logambal, S., Udhayakumar, G., Uthrakumar, R., Inmozhi, C., and Kanimozhi, K. (2022). "Synthesis and characterization studies of pure and Ni doped CuO nanoparticles by hydrothermal method". *Journal of King Saud University-Science*, Vol. 34(3), 101831.
- [9] Ding, S., and Wang, M. (2008). "Studies on synthesis and mechanism of nano-CaZn₂(PO₄)₂ by chemical precipitation". *Dyes and Pigments*, Vol. 76(1), 94-96.
- [10] Naika, H. R., Lingaraju, K., Manjunath, K., Kumar, D., Nagaraju, G., Suresh, D., and Nagabhushana, H. (2015). "Green synthesis of CuO nanoparticles using *Gloriosa superba* L. extract and their antibacterial activity". *Journal of Taibah University for Science*, Vol. 9(1), 7-12.
- [11] Karuppannan, S. K., Ramalingam, R., Khalith, S. M., Dowlath, M. J. H., Raiyaan, G. D., and Arunachalam, K. D. (2021). "Characterization, antibacterial and photocatalytic evaluation of green synthesized copper oxide nanoparticles". *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 31, 101904.
- [12] Ijaz, F., Shahid, S., Khan, S. A., Ahmad, W., and Zaman, S. (2017). "Green synthesis of copper oxide nanoparticles using *Abutilon indicum* leaf extract: Antimicrobial, antioxidant and photocatalytic dye degradation activities". *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, Vol. 16(4), 743-753.
- [13] Bouafia, A., Laouini, S. E., and Ouahrani, M. R. (2020). "A review on green synthesis of CuO nanoparticles using plant extract and evaluation of antimicrobial activity". *Asian Journal of Research in Chemistry*, Vol. 13(1), 65-70.
- [14] Qamar, H., Rehman, S., Chauhan, D. K., Tiwari, A. K., and Upmanyu, V. (2020). "Green synthesis, characterization and antimicrobial activity of copper oxide nanomaterial derived from *Momordica charantia*". *International Journal of Nanomedicine*, 2541-2553.
- [15] Dubey, M., Bhadauria, S., and Kushwah, B. S. (2009). "Green synthesis of nanosilver particles from extract of *Eucalyptus hybrida* (safeda) leaf". *Dig J Nanomater Biostruct*, Vol. 4(3), 537-543.
- [16] Khalil, M. M., Ismail, E. H., El-Baghdady, K. Z., and Mohamed, D. (2014). "Green synthesis of silver nanoparticles using olive leaf extract and its antibacterial activity". *Arabian Journal of Chemistry*, Vol. 7(6), 1131-1139.
- [17] Sun, Q., Cai, X., Li, J., Zheng, M., Chen, Z., and Yu, C. P. (2014). "Green synthesis of silver nanoparticles using tea leaf extract and evaluation of their stability and antibacterial activity". *Colloids and surfaces A: Physicochemical and Engineering aspects*, Vol. 444, 226-231.
- [18] Veltri, C., and Grundmann, O. (2019). "Current perspectives on the impact of Kratom use. Substance abuse and rehabilitation", 23-31.
- [19] จุไรทิพย์ หวังสินทวีกุล. เอกสารวิชาการระท่อม (Kratom). ข้อมูลจาก <https://ccpe.pharmacycouncil.org/showfile.php?file=251> (วันที่สืบค้น 29 ธันวาคม 2565)
- [20] Berra, D., Laouini, S. E., Benhaoua, B., Ouahrani, M. R., Berrani, D., and Rahal, A. (2018). "Green synthesis of copper oxide nanoparticles by *Pheonix dactylifera* L leaves extract". *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, Vol. 13(4), 1231-1238.
- [21] Theivandran, G., Ibrahim, S. M., and Murugan, M. (2015). "Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopic analysis of *Spirulina fusiformis*". *Journal of Medicinal Plants Studies*, Vol. 3(4), 30-32.

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตฟูกเหล็ก: กรณีศึกษา

Anchor Bolt Cost Analysis: A Case Study

จिरรัตน์ ธีระวารพฤษ^{1*} พงศกร ชื่นเจริญชัย¹ ศาสตราวุธ ผลสุวรรณ¹ ธราธร พชรฐิติกุล²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

²วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: tjirarat@eng.tu.ac.th*

Jirarat Teeravarapug^{1*}, Pongsakorn Chinchaoenchai¹, Satawut Ponsuwan¹, Tarathorn Podcharathitikul²

¹Faculty of Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University

²College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

E-mail: tjirarat@eng.tu.ac.th*

บทคัดย่อ

กรณีศึกษาเป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่ทำการผลิตฟูกเหล็ก จากการสัมภาษณ์ผู้บริหารพบว่า กรณีศึกษาไม่ทราบต้นทุนที่แท้จริงของการผลิตฟูกเหล็ก งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาค่าวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตฟูกเหล็กของกรณีศึกษา โดยใช้การคำนวณต้นทุนปกติ การศึกษาเริ่มจากการศึกษาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตของกรณีศึกษา ซึ่งพบว่า กรณีศึกษามีผลิตภัณฑ์ฟูกเหล็กจำนวน 7 ชนิด โดยฟูกเหล็ก 1 ตัวจะประกอบด้วยชิ้นส่วน 5 ชิ้นส่วน คือ แกน ปลายอก แหวนรองน็อต แหวนสปริง และหัวน็อต งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาค่าต้นทุนของชิ้นส่วนแต่ละชิ้นของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยแยกเป็นต้นทุนหลัก ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนค่าแรงงาน ต้นทุนค่าซัพพลายของเหลือ และต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิต ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลต้นทุนหลักของทุกส่วนประกอบอย่างละเอียด ส่วนต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตได้จากการประมาณการตามงบประมาณที่ได้วางแผนไว้ โดยใช้ต้นทุนค่าแรงงานทางตรงเป็นฐานการคำนวณ จากการคำนวณพบว่า ต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตมีค่าเป็น 11% ของค่าแรงงานจากการศึกษาพบว่า ต้นทุนของผลิตภัณฑ์ มีค่าเท่ากับ 1,596.43, 1935.00, 2333.50, 3268.30, 5731.05, 8554.03, และ 15,449.49 บาทต่อ 1000 ชิ้น ตามลำดับ ซึ่งผลการศึกษาเป็นที่ยอมรับจากผู้บริหารของกรณีศึกษา

คำสำคัญ: ฟูกเหล็ก ต้นทุนการผลิต ต้นทุนปกติ

Abstract

The case study was a small manufacturer of anchor bolts. By interviewing the case study's executive, he/she did not know exactly the product costs. The research then gave attempts to determine the product costs of the case study by using normal costing method. The study started with studying product types and production processes of all types. It was found that the case study has 7 product types of anchor bolts. Each type has 5 parts which are axle, sleeve, nut washer, spring washer, and nut. This research studied and analyzed the cost of each part and each product type. The cost can be divided into two types: prime costs including direct material and direct labor and manufacturing overhead. Using normal costing method, the manufacturing overhead is approximated based on direct labor cost by using manufacturing overhead budget. The manufacturing overhead is 11% of the direct labor cost. Based on the study, the product costs of anchor bolts were 1,596.43, 1935.00, 2333.50, 3268.30, 5731.05, 8554.03, and 15,449.49 baht per 1000 units, respectively. The result of this research was accepted by the case study's executive.

Keywords: Anchor bolt, Production cost, Normal costing

1. บทนำ

ในสภาวะที่มีการแข่งขันที่สูงเช่นในปัจจุบัน แต่ละองค์กรพยายามที่จะแสวงหาหนทางที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน อันจะส่งผลต่อความอยู่รอดขององค์กรอย่างยั่งยืน องค์กรขนาดเล็กโดยทั่วไปแล้วจะมีศักยภาพในการแข่งขันที่ต่ำกว่าองค์กรขนาดใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากประสิทธิภาพการผลิตและการดำเนินงานที่ต่ำกว่า กรณีศึกษาเป็นโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งนอกจากจะมีประสิทธิภาพการผลิตและการดำเนินงานที่ไม่ดีเท่าที่ควรแล้ว จากการสัมภาษณ์ผู้บริหารของกรณีศึกษา พบว่า กรณีศึกษายังไม่ทราบถึงต้นทุนผลิตภัณฑ์ที่แท้จริง ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการกำหนดราคา และกำหนดกลยุทธ์ต่าง ๆ ทางการตลาด งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์หาต้นทุนการผลิตที่แท้จริงของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ของกรณีศึกษาคือ พุกเหล็ก ซึ่งใช้ในการยึดวัตถุให้ติดอยู่กับปูน ผนัง หรือผนังที่ทำจากคอนกรีต โดยพุกเหล็กจะช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะ และพุกเหล็กเหมาะกับงานที่ต้องการรับน้ำหนักมากเป็นพิเศษ เช่น งานติดตั้งเสารับน้ำหนักบนคอนกรีต งานยึดเสาราวสะพานลอย งานยึดฝ้าเพดานเพื่อแขวน งานติดตั้งกันสาด เป็นต้น ซึ่งกรณีศึกษาได้ทำการผลิตพุกเหล็กจำนวน 7 รุ่น โดยแต่ละรุ่นมีส่วนประกอบ 5 ส่วนคือ แกน ปลอก แหวนรองน็อต แหวนสปริง และหัวน็อต งานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาหาต้นทุนของผลิตภัณฑ์ทั้ง 7 รุ่น ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์พุกเหล็กทั้ง 7 รุ่น

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ต้นทุนการผลิต คือ ต้นทุนที่ทำให้ได้สินค้าสำเร็จรูปใด ๆ ประกอบด้วย วัตถุดิบทางตรง แรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายการผลิต โดยวัตถุดิบทางตรง คือ วัตถุดิบส่วนสำคัญที่ใช้ในการผลิตสินค้าหรือบริการ ค่าแรงงานทางตรง คือ ค่าแรงที่เกิดขึ้นเพื่อเปลี่ยนสภาพวัตถุดิบให้เป็นสินค้าสำเร็จรูป และค่าใช้จ่ายการผลิต คือต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการสนับสนุนการผลิตสินค้าหรือบริการไม่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบ

ทางตรงและค่าแรงงานทางตรง และไม่เกี่ยวข้องกับส่วนของสำนักงาน [1]

วิธีการประเมินต้นทุนการผลิตที่นำมาใช้ในกิจการผลิตหลาย ๆ แห่ง ได้แก่ วิธีต้นทุนจริง (Actual Cost) และวิธีต้นทุนปกติ (Normal Cost) วิธีต้นทุนจริงใช้ข้อมูลวัตถุดิบจริง ค่าแรงงานจริงและค่าใช้จ่ายการผลิตจริงเพื่อการประเมินมูลค่าต้นทุนการผลิต ต้นทุนปกติจะใช้ข้อมูลวัตถุดิบจริง ค่าแรงงานจริง เพื่อการประเมินมูลค่าต้นทุนการผลิต แต่ค่าใช้จ่ายการผลิตที่จะรวมคำนวณต้นทุนการผลิตนั้นจะใช้ค่าใช้จ่ายการผลิตประมาณการ [2]

นอกจากต้นทุนทั้งสองประเภทแล้ว ยังมีต้นทุนอีกประเภทหนึ่งเรียกว่า ต้นทุนมาตรฐาน ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลต้นทุนต่าง ๆ และจัดทำเป็นมาตรฐาน ดังนั้น ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงก็มีจัดทำเป็นต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงต่อหน่วยมาตรฐาน และต้นทุนต่อหน่วยมาตรฐาน ต้นทุนค่าแรงงานมาตรฐาน ซึ่งประกอบด้วย ชั่วโมงแรงงานที่ใช้ในการผลิตมาตรฐานและ ต้นทุนค่าแรงงานมาตรฐานต่อชั่วโมง และค่าใช้จ่ายการผลิตมาตรฐาน [3] โดย [4] ได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระบบบัญชีต้นทุนจริงและระบบบัญชีต้นทุนปกติ และได้กล่าวว่าการคำนวณต้นทุนปกติเป็นการคำนวณต้นทุนที่สะดวกและง่ายกว่าการคำนวณต้นทุนจริง นอกจากนั้นแล้วการคำนวณต้นทุนปกติยังสามารถคำนวณได้อย่างรวดเร็วและทันต่อเวลา

3 การวิเคราะห์ต้นทุน

จากที่ได้กล่าวในเบื้องต้นว่าพุกเหล็กแต่ละตัวประกอบด้วย แกน ปลอก แหวนรองน็อต แหวนสปริง และหัวน็อต ในการวิเคราะห์ต้นทุนจึงจะทำการวิเคราะห์แยกตามส่วนประกอบ

3.1 แกน

แกนเป็นส่วนที่ทำจากลวดเหล็ก (รูปที่ 2) โดยพุกเหล็กแต่ละรุ่นจะใช้ลวดเหล็กที่แตกต่างกัน ในการผลิตแกนนั้นจะนำม้วนลวดมาขึ้นรูปโดยใช้เครื่องตีแกนและเครื่องรีดเกลียว (รูปที่ 3-4) ต้นทุนวัตถุดิบของแกนคือ ต้นทุนของลวดเหล็ก ตารางที่ 1 แสดงต้นทุนวัตถุดิบทางตรงของแกนต่อหนึ่งพันตัว



รูปที่ 2 ม้วนลวดเหล็กที่ใช้ทำแกน



รูปที่ 3 เครื่องตีแกน



รูปที่ 4 เครื่องรีดเกลียว

0.0058 ชั่วโมงต่อตัว และหารรวมเวลาเผื่อที่ 9% จะทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตแกนเป็น 0.0063 ชั่วโมงต่อตัว 6.322 ชั่วโมงต่อ 1000 ตัว โดยอัตราค่าจ้างเฉลี่ยของกรรมศึกษาคือ 774.13 บาทต่อวัน (8 ชั่วโมง) หรือคิดเป็น 96.77 บาทต่อชั่วโมง ดังนั้นค่าแรงงานทางตรงต่อ 1000 ตัวมีค่าเท่ากับ 611.78 บาท

3.2 ปลอก

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปลอกคือ แผ่นเหล็ก โดยขนาดความกว้างของแผ่นเหล็กขึ้นอยู่กับรุ่นของฟูกเหล็ก (รูปที่ 5) และในการผลิตจะทำโดยใช้เครื่องปั๊มปลอก (รูปที่ 6) ต้นทุนวัตถุดิบในการผลิตปลอกแสดงในตารางที่ 2

เวลาที่ใช้ในการปั๊มปลอกแต่ละรุ่นมีค่าแตกต่างกัน ทำให้สามารถคำนวณค่าแรงงานดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 5 วัตถุดิบของปลอก

ตารางที่ 1 ต้นทุนวัตถุดิบแกน

รุ่น	ต้นทุนต่อ กก (บาทต่อ กก.)	ตัวต่อ กก (ตัวต่อ กก.)	ต้นทุนต่อ 1000 ตัว (บาทต่อ 1000 ตัว)
1	22.60	240	94.17
2	24.00	100	240.00
3	24.00	50	480.00
4	24.50	30	816.67
5	25.00	12	2083.33
6	25.50	8	2187.50
7	26.00	5	5200.00

เวลาที่ใช้ในการผลิตแกนขึ้นอยู่กับค่าของเครื่องตีแกนและเครื่องรีดเกลียว ซึ่งกรรมศึกษาได้ตั้งค่าเครื่องทั้งสองเท่ากันในการผลิตฟูกเหล็กทุกรุ่น โดยเวลาของเครื่องตีแกนและเครื่องรีดเกลียวคือ 1.46 และ 19.37 วินาที ดังนั้นเวลาในการผลิตแกนคือ 20.83 วินาที หรือ

ตารางที่ 2 ต้นทุนวัตถุดิบปลอก

รุ่น	ต้นทุนต่อ กก (บาทต่อ กก.)	ตัวต่อ กก (ตัวต่อ กก.)	ต้นทุนต่อ 1000 ตัว (บาทต่อ 1000 ตัว)
1	30	520	57.69
2	30	270	111.11
3	30	150	200.00
4	30	120	250.00
5	30	56	535.71
6	30	27	1111.11
7	30	12	2500.00



รูปที่ 6 เครื่องปั๊มปลอก

ตารางที่ 3 ค่าแรงงานของการปั๊มปลอก

รุ่น	เวลา (วินาที)	เวลาเผื่อ (วินาที)	เวลารวม (วินาที)	ค่าแรงงานต่อ 1000 ตัว (บาทต่อ 1000 ตัว)
1	0.0039	0.0004	0.0043	411.37
2	0.0039	0.0004	0.0043	411.37
3	0.0023	0.0002	0.0025	242.60
4	0.0026	0.0002	0.0028	274.25
5	0.0024	0.0002	0.0026	253.15
6	0.0064	0.0006	0.0070	675.07
7	0.0064	0.0006	0.0070	675.07

3.3 แหวนร่อน

วัตถุดิบของแหวนร่อนคือเหล็กแผ่นชนิดเดียวกับปลอก (รูปที่

7) ต้นทุนวัตถุดิบของแหวนร่อนแสดงในตารางที่ 4

เวลาที่ใช้ในการผลิตแหวนร่อนมีค่าแตกต่างกันตามรุ่น รายละเอียดและค่าแรงงานต่อการผลิต 1000 ตัว แสดงในตารางที่ 5



รูปที่ 7 แหวนร่อน

ตารางที่ 4 ต้นทุนวัตถุดิบแหวนร่อน

รุ่น	ต้นทุนต่อ กก (บาทต่อ กก.)	ตัวต่อ กก (ตัวต่อ กก.)	ต้นทุนต่อ 1000 ตัว (บาทต่อ 1000 ตัว)
1	30	2100	14.29
2	30	1000	30.00
3	30	800	37.50
4	30	500	60.00
5	30	330	90.91
6	30	170	176.47
7	30	70	428.57

ตารางที่ 5 ค่าแรงงานของการผลิตแหวนร่อน

รุ่น	เวลา (วินาที)	เวลาเผื่อ (วินาที)	เวลารวม (วินาที)	ค่าแรงงานต่อ 1000 ตัว (บาทต่อ 1000 ตัว)
1	0.00026	0.0000	0.0003	27.42
2	0.00026	0.0000	0.0003	27.42
3	0.00026	0.0000	0.0003	27.42
4	0.00026	0.0000	0.0003	27.42
5	0.0042	0.0004	0.0046	443.01
6	0.0088	0.0008	0.0096	928.22
7	0.0088	0.0008	0.0096	928.22

3.4 แหวนสปริง

วัตถุดิบของแหวนสปริงคือลวดเหล็ก ซึ่งขนาดของลวดเหล็กที่ใช้ขึ้นอยู่กับพิกัดเหล็กแต่ละรุ่น ในการผลิตแหวนสปริงนั้นจะทำการผลิตโดยใช้เครื่องมือสปริงและตัดเป็นชิ้น ๆ เครื่องมือสปริงแสดงในรูปที่ 8 ต้นทุนวัตถุดิบของแหวนสปริงแสดงในตารางที่ 6

ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการผลิตแหวนสปริงแต่ละรุ่นมีค่าเท่ากัน โดยจะใช้เท่ากับ 0.000025 ชั่วโมงต่อตัว และเมื่อรวมเวลาเผื่อแล้ว จะได้ค่าแรงงานทางตรงต่อตัวเป็น 0.0026 บาทต่อตัว หรือคิดเป็น 2.64 บาทต่อ 1000 ตัว



รูปที่ 8 เครื่องม้วนสปริง

ตารางที่ 6 ต้นทุนวัตถุดิบแหวนสปริง

รุ่น	ต้นทุนต่อ กก. (บาทต่อ กก.)	ตัวต่อ กก	ต้นทุนต่อ 1000 ตัว (บาทต่อ 1000 ตัว)
1	24	2400	10.00
2	24	1480	16.22
3	24.5	900	27.22
4	24	510	47.06
5	23.5	240	97.92
6	25.5	130	196.15
7	26	100	260.00

3.5 หัวข้อ

กรณีศึกษาไม่ได้ทำการผลิตหัวน็อตเองแต่ทำการซื้อจากแหล่งอื่น โดยหัวน็อตที่ซื้อมานั้นเป็นหัวน็อตที่ซื้อมาของเครื่องเรียบร้อยแล้ว โดยมีต้นทุนดังแสดงในตารางที่ 7

3.6 การซื้อมาของเครื่องของส่วนประกอบ

ต้นทุนในการซื้อมาของเครื่องของแต่ละส่วนประกอบแต่ละรุ่นแสดงในตารางที่ 8

3.7 กระบวนการประกอบ

ตารางที่ 9 แสดงเวลาที่ใช้ในการประกอบส่วนประกอบทั้งหมดเข้าด้วยกัน และค่าต้นทุนแรงงานที่เกิดขึ้นจากการประกอบแต่ละรุ่น

3.8 ค่าใช้จ่ายการผลิต

ค่าใช้จ่ายการผลิตเป็นต้นทุนอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นทั้งหมดนอกจากต้นทุนค่าวัสดุทางตรง ค่าแรงงานทางตรง และค่าซื้อมา ซึ่งรวมถึง วัสดุทางอ้อม แรงงานทางอ้อม ค่าสาธารณูปโภค ค่าเสื่อมราคา ค่าภาษีที่ดิน เป็นต้น เนื่องจากกรณีศึกษาไม่ต้องการที่จะเปิดเผยต้นทุนทางอ้อม ซึ่งผู้วิจัยกำหนดให้ต้นทุนทางอ้อมที่เกิดขึ้นทั้งหมดแปรผันตรงกับค่าแรงงานทางตรง โดยคำนวณจากงบประมาณค่าใช้จ่ายการผลิตที่ได้ประมาณไว้หารด้วยต้นทุนค่าแรงงานทางตรง ซึ่งได้เท่ากับ 11% ของค่าแรงงานทางตรง

4. ผลการคำนวณต้นทุน

ตารางที่ 10 แสดงผลการคำนวณต้นทุนในแต่ละรุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับราคาขายแล้ว พบว่า กรณีศึกษาได้เปอร์เซ็นต์กำไรของแต่ละรุ่น แสดงในแถวสุดท้ายของตารางที่ 10

5. บทสรุปและวิเคราะห์

ผลการคำนวณต้นทุนที่ได้มาจากข้อมูลที่กรณีศึกษาได้ให้มา ความถูกต้องของการคำนวณจึงขึ้นอยู่กับข้อมูลเป็นสำคัญ โดยเฉพาะกรณีศึกษาได้ให้ข้อมูลในด้านของต้นทุนทางอ้อมน้อยมาก ทำให้อาจ

เกิดความผิดพลาดในการคำนวณได้ อย่างไรก็ตาม ต้นทุนทางอ้อมดูเหมือนเป็นต้นทุนที่มีค่าน้อยสำหรับกรณีศึกษา ทำให้การขาดข้อมูลในส่วนนี้อาจจะทำให้ได้รับผลกระทบต่อความถูกต้องของการคำนวณน้อย อย่างไรก็ตาม จากการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนที่คำนวณได้กับราคาพบว่า เปอร์เซ็นต์กำไรมีค่าน้อยในฟังก์ชันที่ 2 และรุ่นที่ 5 กรณีศึกษาปรับกลยุทธ์ในการขายฟังก์ชันให้สอดคล้องกับต้นทุนและเปอร์เซ็นต์กำไร

6 กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] อินทรา สุวรรณดี, ภัทรวดี พิมโกทา, พรทิวา ทมถา, สุพรรณษา อามาตย์สมบัติ, อัจฉราภรณ์ บุตรภักดี, ทศกัญญา เวียงหลวง, 2563, การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนการผลิตปลาร้าแปรรูป : กรณีศึกษา, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี.
- [2] วิวัฒน์ อภิสิทธิ์ภิญโญ, 2559, ระบบบัญชีต้นทุนงานสั่งทำ, Industrial Technology Review, 282.
- [3] 3 ชนิดของต้นทุน ต้นทุนที่เกิดขึ้นจริง ต้นทุนปกติ, รับทำบัญชี, รับทำบัญชี.com/ชนิดของต้นทุน, (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 กุมภาพันธ์ 2566)
- [4] M. Farkas, L. Kersting, and W. Stephens, 2016, "Modern Watch Company: An Instructional Resource for Presenting and Learning Actual, Normal, and Standard Costing Systems, and Variable and Fixed Overhead Variance Analysis," J. of Acc. Ed, 35, 56-68.

ตารางที่ 7 ต้นทุนหัวน็อตต่อ 1000 ตัว

รุ่น	1	2	3	4	5	6	7
บาท	80	150	320	740	880	1540	3170

ตารางที่ 8 ต้นทุนค่าชุบต่อ 1000 ตัว (บาทต่อ 1000 ตัว)

รุ่น	1	2	3	4	5	6	7
แกน	15.63	37.5	75	108.33	270.83	406.25	650
ปลอก	9.62	18.52	33.33	41.67	89.29	178.57	416.67
แหวนรองน็อต	2.38	5	6.25	10	15.15	29.41	71.43
แหวนสปริง	2.08	3.38	5.56	9.8	20.83	38.46	50

ตารางที่ 9 ค่าแรงงานของกระบวนการประกอบ

รุ่น	เวลา (วินาที)	เวลาเมื่อ (วินาที)	เวลารวม (วินาที)	ค่าแรงงานต่อ 1000 ตัว (บาทต่อ 1000 ตัว)
1	0.0012	0.0001	0.0013	126.58
2	0.0013	0.0001	0.0014	137.12
3	0.0014	0.0001	0.0015	147.67
4	0.0014	0.0001	0.0015	147.67
5	0.0016	0.0001	0.0017	168.77
6	0.0019	0.0002	0.0021	200.41
7	0.002	0.0002	0.0022	210.96

ตารางที่ 10 ต้นทุนต่อ 1000 ตัว (บาทต่อ 1000 ตัว) และเปอร์เซ็นต์กำไร

รุ่น	1	2	3	4	5	6	7
แกน	721.58	889.28	1166.78	1536.78	2965.94	3205.53	6461.78
ปลอก	478.68	541	475.93	565.92	878.15	1964.75	3591.74
แหวนรองน็อต	44.09	62.42	71.17	97.42	549.07	1134.1	1428.22
แหวนสปริง	14.72	22.24	35.42	59.5	121.39	237.25	312.64
หัวน็อต	80	150	320	740	880	1540	3170
ประกอบ	126.58	137.12	147.67	147.67	168.77	200.41	210.96
ทางอ้อม	129.78	130.94	113.53	117.01	162.73	265.99	267.15
รวม	1596.43	1935.00	2333.50	3268.30	5731.05	8554.03	15449.49
% กำไร	9.62	3.36	49.99	68.28	15.16	96.40	210.69

การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตขามไม้โดยใช้เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา

Productivity Improvement of Wooden Bowl Production using

Motion and Time Study Technique

ชนนาค กฤตวรกาญจน์*

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail: chonnanath.krit@gmail.com*

Chonnanath Kritworakarn*

Department of Industrial Engineering Faculty of Engineering, Chiang Mai University

E-mail: chonnanath.krit@gmail.com*

บทคัดย่อ

ผู้บริหารของโรงงานผลิตเครื่องใช้ในครัวที่ทำจากไม้แห่งหนึ่งมีความต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตสินค้าให้สูงขึ้น โรงงานแห่งนี้ผลิตสินค้าหลากหลายชนิด ทำให้การไหลของวัสดุค่อนข้างวุ่นวาย เครื่องจักรบางเครื่องทำงานไม่เหมาะสม ใช้เวลาในการผลิตมากเกินไป ทำให้มีอัตราการผลิตที่ไม่สอดคล้องกับกำลังการผลิตที่ต้องการ ผังโรงงานนี้เป็นแบบตามกระบวนการผลิต โดยมีกระบวนการผลิตหลัก 4 กระบวนการ คือ การตัดและขึ้นรูป การขัด การทำสี และการบรรจุ ผู้บริหารได้เลือกกระบวนการขัดมาทำการปรับปรุง เพราะเป็นกระบวนการที่มีความซับซ้อน ผู้วิจัยได้นำเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลามาประยุกต์ใช้ โดยเลือกศึกษาที่กระบวนการขัดขามไม้สี่เหลี่ยม ขนาด 8 นิ้ว เนื่องจากเป็นจุดที่มีการไหลค่อนข้างวุ่นวาย ผลการศึกษาพบว่า การขัดขามไม้จำนวน 10 ชิ้น ใช้เวลาโดยเฉลี่ย 15 นาที (อัตราการผลิตเป็น 0.67 ชิ้นต่อนาที) เมื่อนำหลักการ ECRS มาใช้ ทำให้บางขั้นตอนการทำงานถูกกำจัดออก และมีการจัดลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่ พบว่า เวลาโดยเฉลี่ยของการขัดขามไม้จำนวน 10 ชิ้น ลดลงเหลือ 9.75 นาที (อัตราการผลิตเป็น 1.05 ชิ้นต่อนาที) ดังนั้นการปรับปรุงครั้งนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยเฉลี่ยถึง 56.71%
คำสำคัญ: การปรับปรุงประสิทธิภาพ ไม้ การเคลื่อนไหวและเวลา

Abstract

The owners of a factory that produced wooden cooking utensils wanted to increase productivity. This company produces a wide variety of items. The material flow is quite turbulent. There are certain machines that don't work properly. The manufacturing rate is lower than the required production capacity because it takes too long to manufacture. This plant's layout is a model for a production process. There are four primary production steps: cutting and shaping; polishing; painting; and packaging. The management has decided to upgrade through polishing process because this process is quite complicate one. In this study, the researcher used motion and time study approaches. Because it is a location where the flow is highly turbulent, the research was chosen to examine the polishing procedure of an 8-inch square hardwood bowl. According to the study, polishing 10 wooden bowls takes an average of 15 minutes (0.67 pieces/minute). The ECRS concept has led to the elimination of several work phases. The average polishing time for 10 wooden bowls was lowered to 9.75 minutes after the workflow was rearranged (the new production rate is 1.05 pieces per minute). The average production efficiency can thus be raised by this enhancement by up to 56.71%.

Keywords: Productivity improvement, Wooden bowl, Motion and time study

1. บทนำ

การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเป็นกิจกรรมที่ผู้บริหารในโรงงานต่างๆให้ความสนใจดำเนินการมาโดยตลอด สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย เมื่อรัฐบาลไทยได้ประกาศปรับเพิ่มค่าแรงขั้นต่ำของแรงงานทั่วประเทศเป็น 300 บาทต่อวัน พ.ศ. 2555 [1] โรงงานอุตสาหกรรมในภูมิภาคต่างๆของประเทศล้วนได้รับผลกระทบอย่างรุนแรง และเมื่อเร็ว ๆ นี้ ได้มีการหยิบยกเรื่องการปรับขึ้นค่าแรงรายวันขึ้นมาเป็นนโยบายสำคัญของฝ่ายการเมือง อาจมีผลกระทบต่อต้นทุนแรงงานของโรงงานอุตสาหกรรมอีกครั้ง

อย่างไรก็ตาม การดำเนินนโยบายดังกล่าว มีผลทำให้โรงงานอุตสาหกรรมจำนวนมาก โดยเฉพาะโรงงานขนาดเล็กไม่สามารถรองรับผลกระทบดังกล่าวได้ จึงเกิดการลงมือส่งผลกระทบต่อพนักงานของโรงงานที่ตกงาน ผลของการปรับขึ้นค่าแรงขั้นต่ำนี้ ได้มีการศึกษาผลกระทบของนโยบายนี้ ในช่วงหลังปี พ.ศ. 2555 พบว่า ประสิทธิภาพของแรงงานโตไม่ทันค่าแรงที่เพิ่ม [2] จึงต้องเร่งปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานให้เพิ่มขึ้นโดยเร็ว

รัฐบาลไทยได้ตระหนักถึงผลกระทบนี้เช่นกัน จึงมีนโยบายให้หน่วยงานของรัฐต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโรงงานอุตสาหกรรม เช่น กระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม เป็นต้น เร่งให้ความช่วยเหลือแก่โรงงานอุตสาหกรรมในรูปแบบต่างๆ สถาบันอุดมศึกษาหลายแห่ง ได้ให้ความร่วมมือในการเข้าไปพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานโดยผ่านโครงการต่างๆ จำนวนมากของหน่วยงานของรัฐ

การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา เป็นเทคนิคที่เก่าแก่ที่สุดของสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และเป็นเทคนิคที่วิศวกรอุตสาหกรรมนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการปรับปรุงกระบวนการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการผลิต [3] สำหรับการศึกษาเวลานั้นเป็นเวลาที่เป็นเวลาที่ "คน" เป็นผู้ทำ (Manual time) ที่ต้องใช้ในการปฏิบัติงานในแต่ละกิจกรรม ไม่ใช่เวลาในส่วนของเครื่องจักร (Machine time)

เทคนิคหลักของการศึกษาเวลา [4] มี 3 เทคนิค ดังนี้ (1) การศึกษาเวลาโดยตรง (Direct time study) (2) ระบบประมาณเวลาล่วงหน้า (Predetermined motion time systems) และ (3) การสุ่มงาน (Work sampling) ซึ่งเทคนิคการศึกษาเวลาได้ถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในงานหลายประเภท

เทคนิคการศึกษาเวลาโดยตรง เป็นเทคนิคที่นิยมนำไปใช้เมื่อมีการปฏิบัติงานจริงแล้ว ยกตัวอย่าง เช่น งานแล็ชกรรม [5] งานก่อสร้าง [6] งานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ [7] เป็นต้น เทคนิคระบบประมาณเวลาล่วงหน้า นิยมนำไปใช้ในการกำหนดเวลาทำงานทั้งในลักษณะที่มีการปฏิบัติงานจริงและงานที่ยังไม่ได้ปฏิบัติจริง มีการใช้ตารางเวลาการทำการกิจกรรมพื้นฐานการทำงานบางอย่างมาประกอบ เช่น งานผลิตชิ้นส่วนเลนส์ [8] และงานประกอบอุปกรณ์สัญญาณไฟ [9] เป็นต้น ส่วนเทคนิคการสุ่มงาน มักถูกนำไปใช้เพื่อประเมินว่า ในช่วงเวลาทำงานที่กำหนด

พนักงานได้ทำงานลักษณะใดบ้าง เป็นสัดส่วนเท่าใด เช่น งานแล็ชกรรม [10] และงานธนาคาร [11] เป็นต้น

เทคนิคการศึกษาเวลาโดยตรงนับเป็นเทคนิคที่เป็นที่นิยมสูงสุดข้อดีของเทคนิคการศึกษาเวลา โดยตรงคือความง่ายในการประยุกต์ใช้ และมีความแม่นยำสูงในการหาเวลามาตรฐาน ข้อจำกัดคือต้องมี การประเมินความสามารถของคนงานโดยใช้วิจารณ์ญาณของผู้วิเคราะห์

สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กส่วนใหญ่มีการใช้แรงงานคนเป็นหลักในการผลิต มีการใช้เครื่องจักรแบบเก่า ทั้งยังมีการผลิตสินค้าหลายชนิด และขาดบุคลากรที่มีความรู้-ความสามารถ การปรับปรุงกระบวนการทำงานต่างๆภายในโรงงานจึงมีค่อนข้างน้อย จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตให้สูงขึ้น

2. การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา

2.1 การศึกษาการเคลื่อนไหว

เป็นการศึกษาขั้นตอนการทำงานตามความจริงในบริเวณงาน เครื่องมือในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลการเคลื่อนไหวได้แก่ แผนภูมิกระบวนการผลิต (Process Chart) โดยมีการแยกการทำงานออกเป็น 5 กลุ่มย่อย คือ การปฏิบัติงาน การเคลื่อนที่ การตรวจสอบ การรอ และการจัดเก็บ

ส่วนเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงการเคลื่อนที่มี 4 วิธี ดังนี้ การจัดการรวมงาน การจัดลำดับใหม่ และการทำให้ง่าย โดยมุ่งเป้าไปที่การลดการเคลื่อนที่ การรอ ให้เหลือเท่าที่จำเป็น

2.2 การศึกษาเวลา

จากขั้นตอนการทำงานในแผนภูมิการผลิตที่ได้ในหัวข้อ 2.1 ในแต่ละขั้นตอนจะมีการจับเวลาจากการปฏิบัติงานจริงหลายครั้ง แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เวลาเฉลี่ยที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงนี้ เรียกว่า เวลาจริง (Selected time)

นำเวลาจริงมาคำนวณหาเวลาปกติ ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ของหัวหน้างานนั้น หรือของผู้เก็บข้อมูล ให้อัตราการทำงาน (Rating factor) นั้นกับเวลาจริงที่เก็บมาได้ อัตราการทำงานเป็นค่าตัวเลขที่ใช้ปรับเวลาจริงให้เป็นเวลาปกติ เช่น ถ้าพนักงานใช้เวลาทำงานจริงมากเกินไป (ทำงานช้า) อัตราการทำงานจะช่วยทำให้เวลาจริงค่านั้นเป็นเวลาปกติที่มีเวลาน้อยลงกว่าเดิม เป็นต้น

การคำนวณหาเวลาปกติ (Normal Time) ของแต่ละงานย่อยได้จากสมการที่ 1

$$\text{Normal Time} = \text{Selected Time} \times \text{Rating Factor} \quad (1)$$

เมื่อทราบค่าเวลาปกติ (Normal Time) และเวลาลดหย่อน (Allowance Time) แล้วสามารถคำนวณหาเวลาของการทำงานมาตรฐานได้จากสมการที่ 2

$$\text{Std} = \text{NT} (1 + A) \quad (2)$$

เมื่อ Std = เวลามาตรฐาน (Standard Time)
NT = เวลาปกติ (Normal Time)
A = เวลาลดหย่อน (Allowance Time มักอยู่ ในรูป % ของ
เวลาปกติ)

ผลิตภาพ (Productivity) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างสิ่งที่ได้ (Output) กับสิ่งป้อนเข้า (Input) [12] สิ่งที่ได้ อาจหมายถึง สิ่งที่ได้ เช่น จำนวนเงินหรือผลผลิตที่ได้จากการทำงานนั้น และสิ่งป้อนเข้า หมายถึง สิ่งที่ต้องใช้ เช่น จำนวนเงินหรือเวลาที่ใช้ไปในการผลิตนั้น ดังแสดงใน สมการ (3)

$$Productivity = \frac{\text{output}}{\text{input}} \quad (3)$$

จากสมการที่ 3 สมมติว่า ถ้าการทำงานอย่างหนึ่ง ได้ผลผลิตที่ได้จากการทำงานนั้น (สิ่งที่ได้) จำนวน 100 ชิ้น และใช้เวลาทำงานนั้น 200 นาที (สิ่งป้อนเข้า) ผลิตภาพของงานนี้ จึงเป็น 0.5 ชิ้นต่อนาที

3. ข้อมูลเบื้องต้น

บริษัทตัวอย่างเป็นบริษัทที่ผลิตสินค้าประเภทเครื่องใช้ไม้ในครัวเรือนและบนโต๊ะอาหาร เช่น ถาดไม้ ชามไม้ ถ้วยกาแฟไม้ เป็นต้น ให้กับร้านค้าในกรุงเทพมหานครหลายร้าน เป็นการผลิตเข้าคลัง (Make to Stock) เป็นหลัก (ประมาณ 80%) วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิต ส่วนมากจะใช้ไม้ฉำฉา (ไม้จามจุรี) และไม้ยางพาราเป็นหลัก ส่วนการออกแบบผลิตภัณฑ์นั้น พนักงานของบริษัทจะเป็นผู้ออกแบบและนำเสนอต่อลูกค้าเพื่อให้ลูกค้าเลือก หรือเสนอความคิดเห็น จนนำมาสู่การสั่งซื้อ

บริษัทฯประสบปัญหาหลายประการ เช่น การซ่อมชิ้นงานที่มีเป็นจำนวนมาก ทำให้เสียเวลาในการผลิตมากเกินไป ส่งผลให้ผลผลิตไม่เป็นไปตามที่กำหนด มีการใช้อุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสมทำให้เกิดของเสียหรือชิ้นงานบกพร่องเป็นจำนวนมาก มีการจัดวางชิ้นงานระหว่างการผลิตรวมถึงสินค้าสำเร็จรูปไม่เป็นระเบียบ ทำให้เสียเวลาในการเคลื่อนย้าย เป็นต้น ผู้บริหารของบริษัทจึงมีความต้องการที่จะแก้ปัญหาดังกล่าวในทุกมิติ

ในการผลิตเครื่องครัวที่ทำจากไม้ เช่น ชามไม้ ถาดไม้ มีกระบวนการผลิตหลัก ดังนี้

1. การขึ้นรูป เป็นการนำไม้ขนาดต่างๆมา คัด และ ตัดให้ได้ขนาด แล้วนำเข้ารูปไม้ให้ได้ขนาดที่ต้องการ
2. การขัด เป็นการขัดผิวของไม้ที่ขึ้นรูปมาให้เรียบ
3. การทำสี เป็นการทำสีของผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้า
4. การบรรจุ เป็นการบรรจุสินค้าสำเร็จรูปลงกล่องเพื่อนำส่งลูกค้าต่อไป

ผู้บริหารได้เลือกปรับปรุงการทำงานของหน่วยงานขัด เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ใช้แรงงานจำนวนมาก มีการขนส่งเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานบ่อยครั้ง (จากรูปที่ 2 มีการขนส่งเกิดขึ้น 3 ครั้ง)

4. ผลการศึกษา

การศึกษางานของหน่วยงานขัด ได้เลือกศึกษาการขัดชามไม้สีเหลี่ยม ขนาด 8 นิ้ว ซึ่งมีลักษณะของผลิตภัณฑ์ตามที่แสดงใน รูปที่ 1

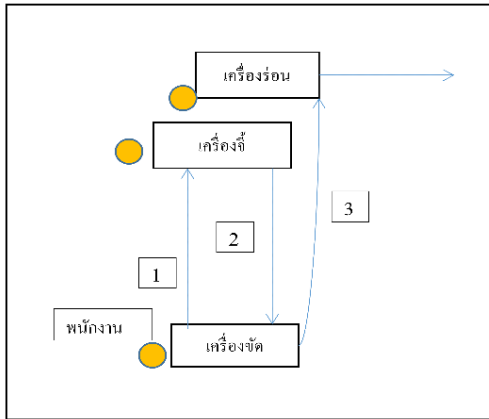


รูปที่ 1 ชามสีเหลี่ยม ขนาด 8 นิ้ว

การขัดชิ้นงาน พนักงานของหน่วยขัดจะขัดชิ้นงานเป็นชุดๆละ 10 ชิ้น นอกจากนี้ ภายในหน่วยงานขัดยังมีงานย่อยอีก 3 งาน คือ งานขัดงานสี และงานร่อน ลักษณะการทำงานของงานทั้งสาม แสดงไว้ในลำดับขั้นตอนการทำงาน

ลำดับขั้นตอนการทำงานของงานขัด มีลำดับดังนี้

1. ใส่จุกกระดาดทราย (1) เพื่อขัดผิวด้านใน
2. หยิบชิ้นงานขึ้นมาทีละ 1 ชิ้น
3. ขัดที่ผิวด้านในของชิ้นงานทีละชิ้น
4. เปลี่ยนจุกกระดาดทราย (2) เพื่อขัดมุมด้านในชิ้นงาน
5. ขัดที่มุมชิ้นงานด้านในทั้ง 4 มุมทีละชิ้น
6. เปลี่ยนจุกกระดาดทราย (3) เพื่อขัดผิวด้านนอกชิ้นงาน
7. ขัดผิวที่ด้านนอกทีละชิ้น
8. ขนชิ้นงานไปยังเครื่องจี ทั้ง 10 ชิ้น
9. ปาดมุมชิ้นงานด้วยเครื่องจีทีละชิ้น
10. ขนชิ้นงานกลับมาที่เครื่องขัดทั้ง 10 ชิ้น
11. เปลี่ยนจุกกระดาดทราย (4) เพื่อขัดผิวด้านนอกชิ้นงาน
12. ขัดตรงมุมด้านนอกชิ้นงานอีกครั้งทีละชิ้น
13. ขนชิ้นงานไปยังเครื่องร่อนทั้ง 10 ชิ้น
14. ร่อนขอบที่ปากชามทีละชิ้น
15. ร่อนบริเวณกันชามทีละชิ้น
16. วางชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น รอส่งต่อไป



รูปที่ 2 แผนภาพการไหลภายในหน่วยงานตัด

จากขั้นตอนการตัดชิ้นงานทั้ง 16 ขั้นตอน พบว่า พนักงานตัดต้องเปลี่ยนจุกกระดาษทรายเพื่อให้เหมาะสมกับการตัดชิ้นงานมากถึง 4 ครั้ง เนื่องจากต้องใช้กระดาษทรายคนละขนาด (เบอร์) ในการทำงานที่แตกต่างกัน การศึกษาวิจัยสนใจศึกษาการทำงานของพนักงานเครื่องตัดโดยเฉพาะ

นอกจากนี้ยังพบว่า การเปลี่ยนจุกกระดาษทราย ยังมีงานย่อยอีก 3 งานย่อย ดังนี้ 1) การถอดจุกกระดาษทราย 2) การค้นหาและเลือกจุกกระดาษทราย และ 3) การติดตั้งจุกกระดาษทราย เนื่องจากพนักงานตัดต้องใช้กระดาษทรายหลายขนาด (เบอร์) ให้เหมาะสมกับการตัดแบบต่างๆ เครื่องตัดที่ติดตั้งจุกกระดาษทราย และดึงใส่จุกกระดาษทราย ได้แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 เครื่องตัดที่ติดตั้งจุกกระดาษทราย และดึงใส่จุกกระดาษทราย

เนื่องจากโรงงานนี้เป็นโรงงานขนาดเล็กมีขั้นตอนการทำงานที่มีความไม่แน่นอนสูง จึงได้กำหนดหน่วยของเวลาของการศึกษาเป็นนาทีในการเก็บข้อมูลการทำงาน จำนวน 10 ครั้ง แล้วนำมาคำนวณหาเวลามาตรฐาน โดยใช้สมการ (1) และ (2) ผลของการคำนวณ ได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงานและเวลามาตรฐานโดยเฉลี่ย

ขั้นตอนการทำงาน	เวลามาตรฐาน (นาที)
1. ตัดจุกกระดาษทราย (1)	1
2. ขัดผิวชิ้นงานด้านใน	3.5
3. ตัดจุกกระดาษทราย (2)	1.5
4. ขัดมุมชิ้นงานด้านใน	0.5
5. ตัดจุกกระดาษทราย (3)	1.5
6. ขัดผิวชิ้นงานด้านนอก	5
7. ตัดจุกกระดาษทราย (4)	1.5
8. ขัดมุมชิ้นงานด้านนอก	0.5
รวม	15

จากตารางที่ 1 สรุปได้ว่า เวลามาตรฐานโดยเฉลี่ยของการตัด ใช้เวลา 15 นาที ต่อ ชิ้นงาน 10 ชิ้น จึงนำข้อมูลนี้มาคำนวณเพื่อหาผลิตภาพของงาน โดยใช้สมการ (3) อัตราผลิตภาพของงานตัดนี้ จึงเป็น 0.67 ชิ้นต่อนาที

จากตารางที่ 1 พบว่า พนักงานตัดต้องใช้เปลี่ยนจุกกระดาษทรายถึง 4 ครั้ง มีลำดับงาน ดังนี้

1. ใช้จุกกระดาษทราย (1) เพื่อขัดผิวชิ้นงานด้านใน
2. เปลี่ยนจุกกระดาษทราย (2) เพื่อขัดมุมชิ้นงานด้านใน
3. เปลี่ยนจุกกระดาษทราย (3) เพื่อขัดผิวชิ้นงานด้านนอก
4. เปลี่ยนจุกกระดาษทราย (4) เพื่อขัดมุมด้านนอกอีกครั้ง หลังผ่านเครื่องรีด

นอกจากนี้ จากรูปที่ 2 การตัดชิ้นงานนี้ยังมีการไหลของชิ้นงานเริ่มจากเครื่องตัด จนถึงสิ้นสุดการทำงานที่เครื่องร่อน จำนวน 3 ครั้ง เป็นระยะทางทั้งสิ้น 20 เมตร

จากการศึกษางานร่วมกับหัวหน้างานและพนักงานตัด จึงมีแนวทางการปรับปรุงงานดังนี้

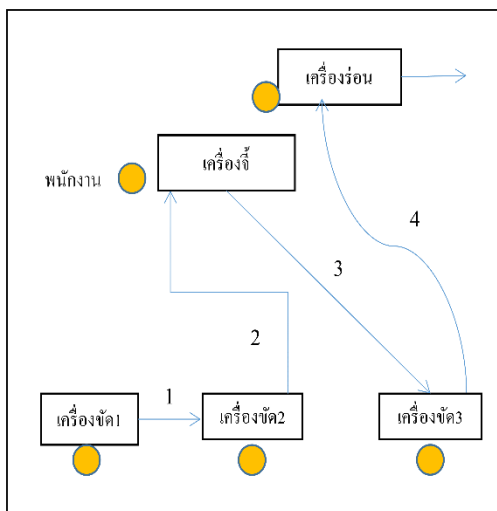
1. การขัดผิวชิ้นงานด้านในและด้านนอก ใช้กระดาษทรายขนาดเดียวกันได้ ส่วน การขัดมุมด้านใน และมุมด้านนอก มีความจำเป็นต้องใช้กระดาษทรายคนละขนาดกัน จึงเสนอว่า ควรมีเครื่องตัดที่ใช้กระดาษทรายต่างขนาดกัน 3 เครื่อง เครื่องที่ 1 ขัดผิวชิ้นงานทั้งภายในและภายนอก เครื่องที่ 2 ขัดเฉพาะบริเวณมุมภายในชิ้นงาน และเครื่องที่ 3 ขัดเฉพาะบริเวณมุมภายนอกชิ้นงาน
2. ปรับลำดับขั้นตอนการทำงานเสียใหม่ เริ่มจากเครื่องตัด 1 ส่งงานให้เครื่องตัด 2 แล้วส่งงานให้เครื่องรีด เมื่อทำงานเสร็จแล้วจึงส่งชิ้นงานกลับมาที่เครื่องตัด 3 เมื่อทำงานเสร็จจึงส่งงานไปยังเครื่องร่อน

จากนั้น จึงได้เพิ่มเครื่องขัตจำนวน 2 เครื่อง รวมเป็น 3 เครื่อง พร้อมติดตั้งจุกกระดาศทรายที่เหมาะสมกับการขัตชิ้นงาน ผังการไหลใหม่ของงานขัตได้แสดงไว้ในรูปที่ 4 และข้อมูลเวลามาตรฐานการทำงานขัตใหม่โดยเฉลี่ย จากเก็บข้อมูลการขัตหลังการปรับปรุงจำนวน 5 ครั้ง ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการทำงานใหม่และเวลามาตรฐานโดยเฉลี่ย

พนักงาน	ขั้นตอนการทำงาน	เวลา (นาที)
คนที่ 1	1. ขัตผิวชิ้นงานด้านใน	3.5
	2. ขัตผิวชิ้นงานด้านนอก	4.0
	ขนส่งชิ้นงานไปเครื่องขัต 2	0.25
คนที่ 2	1. ขัตมุมชิ้นงานด้านใน	1.0
คนที่ 3	1. ขัตมุมชิ้นงานด้านนอก	1.0
รวม		9.75

จากตารางที่ 2 พบว่า เวลาในการขัตผิวชิ้นงานด้านนอกของพนักงานขัตคนที่ 1 ลดลง เนื่องจาก พนักงานขัตสามารถทำงานได้ต่อเนื่องจากการขัตชิ้นงานด้านในโดยใช้จุกกระดาศทรายขนาดเดียวกันจึงทำงานได้รวดเร็วขึ้น ส่วนการขัตของพนักงานคนที่ 2 และ 3 ใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมเล็กน้อย เนื่องจากยังไม่คุ้นเคยกับการทำงานใหม่นี้ สรุปได้ว่า เวลามาตรฐานโดยเฉลี่ยของการขัตหลังการปรับปรุง ใช้เวลา 9.75 นาทีต่อ ชิ้นงาน 10 ชิ้น



รูปที่ 4 ผังการไหลใหม่ของหน่วยงานขัต

จากรูปที่ 4 พบว่า การเพิ่มเครื่องขัตขึ้นมาอีก 2 เครื่อง มีผลทำให้ระยะระยะทางการไหลของชิ้นงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 20 เมตรเป็น 21 เมตร เนื่องจากต้องขนส่งชิ้นงานจากเครื่องขัต 1 ไปยังเครื่องขัต 2 ส่วนระยะทางการไหลที่เหลือยังคงเหมือนเดิม ส่วนอัตราผลิตภาพของการ

ขัตชิ้นงานหลังการปรับปรุง เป็น 1.05 ชิ้นต่อนาที (จำนวนชิ้นงาน 10 ชิ้น ใช้เวลาผลิต 9.75 นาที)

นำอัตราผลิตภาพทั้งก่อนและหลังการปรับปรุงมาเปรียบเทียบกันโดยกำหนดช่วงเวลาทำงานไว้เท่ากันคือ 15 นาที พบว่า อัตราผลิตภาพก่อนการปรับปรุงงานเป็น 10.05 ชิ้น (0.67 x 15) และ อัตราผลิตภาพหลังการปรับปรุงเป็น 15.75 ชิ้น (1.05 x 15) ดังนั้น อัตราผลิตภาพที่เพิ่มขึ้นสามารถคำนวณโดยใช้สมการ (3) ได้ดังนี้

$$\text{อัตราผลิตภาพที่เพิ่มขึ้น} = \frac{(15.75 - 10.05)}{10.05} = 0.5671 \text{ หรือ } 56.71\%$$

5. สรุปผลการศึกษา

การปรับปรุงประสิทธิภาพของหน่วยงานขัตนี้ สามารถเพิ่มอัตราผลิตภาพได้มากกว่าเดิมถึง 56.71% โดยการใช้เทคนิคการศึกษาการเคลื่อนที่และเวลาในการเก็บข้อมูลการทำงาน ในการศึกษาครั้งนี้ใช้การจับเวลาโดยตรง เนื่องจากมีการทำงานที่เกิดขึ้นจริง นอกจากนี้ยังใช้หน่วยของเวลาเป็นนาที เนื่องจากเวลาที่ใช้ปฏิบัติงานจริงมีความผันแปรสูงหากใช้หน่วยเวลาเป็นวินาที ส่วนการปรับปรุงงานได้ใช้เทคนิค ECRS จำนวน 3 เทคนิค ดังนี้ เทคนิค E เพื่อลดงานขนส่งบางจุด เทคนิค C เพื่อรวมงานขัตผิวทั้งด้านในและด้านนอกให้กับพนักงานขัตคนที่ 1 และเทคนิค R เพื่อสลับลำดับงานขัตผิวด้านนอกกับงานขัต

อย่างไรก็ตาม การปรับปรุงงานดังกล่าวทำให้เกิดผลกระทบตามมา 3 เรื่อง คือ 1) ระยะทางการขนส่งที่เพิ่มขึ้น ถึงแม้ในแนวคิดจะสามารถทำให้ระยะทางลดลงได้ โดยการย้ายเครื่องขัต 3 ไปตั้งอยู่ระหว่างเครื่องจี้ และเครื่องร้อน แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถดำเนินการได้ เพราะบริเวณดังกล่าวนั้นมีฝุ่นค่อนข้างมาก 2) การเพิ่มจำนวนเครื่องขัต 2 เครื่อง เครื่องขัตที่เพิ่มนี้เป็นเครื่องขัตสำรองที่โรงงานมีอยู่แล้ว อีกทั้งเครื่องขัตมีราคาไม่สูงมาก 3) การเพิ่มคนงานจำนวน 2 คน เป็นการหมุนเวียนเอาคนงานที่ว่างจากการทำงานอื่นมาช่วย พนักงานส่วนใหญ่มีอายุการทำงานหลายปี มีความชำนาญในการทำงานได้หลายงาน

ดังได้กล่าวมาข้างต้นว่า โรงงานตัวอย่างแห่งนี้เป็นโรงงานขนาดเล็ก แม้จะมีระบบการผลิตแบบผลิตเข้าคลัง แต่ก็มีการผลิตไม่มากนัก อีกทั้งยังมีการผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้าอีกด้วย ทำให้โรงงานต้องมีการปรับเปลี่ยนทั้งชนิดและขนาดของผลิตภัณฑ์อยู่บ่อยครั้ง พนักงานฝ่ายผลิตจึงมีการโยกย้ายไปทำงานตามจุดต่างๆตามความเหมาะสม

จากการทำงานร่วมกับหัวหน้างานและพนักงานของโรงงานแห่งนี้ ผู้วิจัยพบว่า พนักงานที่มีความรู้และประสบการณ์มากพอ สามารถมองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้น และสามารถเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหานั้นหลายมุมมองได้ หากมีการสนับสนุนจากผู้บริหารระดับสูง ได้เปิดโอกาสให้ทำงานเป็นกลุ่ม และมีการทำงานเป็นระบบ เช่น กลุ่มควบคุมคุณภาพ (Quality control Circle, QCC) ร่วมกับการใช้เครื่องมือปรับปรุงการทำงานเทคนิคการศึกษาการเคลื่อนที่และเวลา เป็นต้น เชื่อว่าพนักงานเหล่านั้นจะสามารถช่วยเพิ่มผลผลิตให้แก่องค์กรได้อย่างแน่นอน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองนิติการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย “ผลกระทบการเพิ่มค่าแรงขั้นต่ำเป็น 300 บาทต่อวัน” ข้อมูลจาก department.utcc.ac.th/legal/index.php/8-news-event/20-europe (วันที่สืบค้น 1 มีนาคม 2558)
- [2] ผู้จัดการออนไลน์ “รายงาน 2 ปี: ค่าแรงขั้นต่ำ 300 บาท” 10 ส.ค. 2557 ข้อมูลจาก www.manager.co.th/Home/vIewNews.aspx?NewsID95700000 90890 (วันที่สืบค้น 1 มีนาคม 2558)
- [3] อิศรา ธีระวัฒน์สกุล, การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2548.
- [4] พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์, การศึกษาเวลาโดยตรงเพื่อการวัดผลงานของคอนกรีต, วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2555 (12-21).
- [5] ลักขณา โกรธา และ ซาญชัย จารุภาชนัน, การศึกษาเวลามาตรฐานและการเปรียบเทียบการจ่ายค่าตอบแทนตามผลการการศึกษาเวลามาตรฐานและการเปรียบเทียบการจ่ายค่าตอบแทนตามผลการปฏิบัติงาน กลุ่มงานเภสัชกรรม โรงพยาบาลมหาสารคามราชสีมา, วารสารเภสัชศาสตร์อีสาน 2559; 11(ฉบับพิเศษ): 144-155.
- [6] ธรรมบุญ สังข์รักษ์, การประมาณค่าเวลามาตรฐานและค่าอัตราผลผลิตโดยวิธีการสังเคราะห์ กรณีศึกษา: งานประกอบและติดตั้งโครงหลังคาเหล็กแบบสมาร์ททรัส (Smart Truss) และงานมุงหลังคาด้วยกระเบื้องซีแพคโมเนีย, วิทยานิพนธ์ หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรมบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, พ.ศ. 2551.
- [7] สฤชต์ ไตโพธิ์กลาง, การศึกษาการลดเวลาในกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตเครื่องปรับอากาศที่สูงขึ้น ของบริษัทชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งในนิคมอุตสาหกรรมอมตะนคร, งานนิพนธ์ หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สาขาวิชาบริหารธุรกิจ สำหรับผู้บริหารวิทยาลัยพาณิชยศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, พ.ศ. 2559.
- [8] ธัญวรรณ มาศวิวัฒน์, การกำหนดเวลามาตรฐานในอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเลนส์ โดยใช้เทคนิค MOST, การค้นคว้าอิสระหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2559.
- [9] อลงกรณ์ เมืองไหว และ ธนิตา ไชยงนุช, การปรับปรุงการทำงานในสายการประกอบอุปกรณ์ควบคุมสัญญาณไฟ (HF-1000W) กรณีศึกษา : บริษัท พี อี เทคโนโลยี จำกัด, วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทพสตรี I-TECH ปีที่ 10 ฉบับที่ 12 มกราคม-มิถุนายน 2558, น. 55-88.
- [10] เชิดชัย สุนทรภาส รัชฎาพร สุนทรภาส และผัสนุ สุวรรณรายี “การวัดงานโดยใช้เทคนิคการสุ่มงานในงานเภสัชกรรม”ข้อมูลจาก http://www.smj.ejnal.com/e-journal/showdetail/?show_detail=T&art_id=1306 (วันที่สืบค้น 11 มกราคม 2566)
- [11] สมหญิง ชื่นชุ่ม และ ไพบุลย์ ดาวสดใส, การศึกษาสัดส่วนเวลาการทำงานของพนักงานธนาคาร ด้วยวิธีการสุ่มงานในลักษณะหลายมิติ: กรณีศึกษานักการกรุงเทพ จำกัด (มหาชน) สาขา ร้อยเอ็ด, วารสารวิทยาลัยบัณฑิตศึกษากิจการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น Volume 8 No. 2 (2015) ข้อมูลจาก (<https://so04.tci-thaijo.org/index.php/mbakku-journal/article/view/64440>) (วันที่สืบค้น 11 มกราคม 2566)
- [12] ชัชวาล โต๊ะทอง, การปรับปรุงผลิตภาพการทำงานของสายการผลิตประกอบอุปกรณ์เครื่องรับโทรศัพท์ โดยการจัดสมดุลสายการผลิต กรณีศึกษาบริษัทตัวอย่างจำกัด, สารนิพนธ์หลักสูตรปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยี ไทย – ญี่ปุ่น, พ.ศ. 2553.

การจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม pathfinder กรณีศึกษา อาคารพ่นสีรถยนต์

Simulation of Fire Evacuation Using Pathfinder Program : A Case Study of Car Painting Building

สุพัตรา ระหงษ์¹ สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล กลุ่มวิจัยวิศวกรรมความปลอดภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: Supattra.Rah@ku.th *

Supattra Rahong¹, Supat Patvichaichod²

¹Safety Engineering and Environmental Management Program, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

² Department of Mechanical Engineering, Safety Engineering Research Group, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

E-mail: Supattra.Rah@ku.th *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอพยพหนีไฟออกจากอาคารพ่นสีรถยนต์ อาคาร 2 ชั้น สูง 12 เมตร พื้นที่รวม 31,050 ตารางเมตร มีผู้ใช้งานอาคารจำนวน 155 คน ใช้โปรแกรม Pathfinder ในการจำลอง ทั้งหมด 9 สถานการณ์ แบ่งเป็นสถานการณ์จำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง (155 คน) 4 สถานการณ์ และสถานการณ์จำลองจากคนใช้งานอาคารที่ได้จากการคำนวณ (429 คน) 5 สถานการณ์ ผลการจำลองพบว่า สถานการณ์จำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง (155 คน) สถานการณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ใช้เวลาอพยพหนีไฟ คือ 307.5 วินาที, 305.0 วินาที, 307.5 วินาที และ 306.3 วินาทีตามลำดับ สถานการณ์จำลองจากคนใช้งานอาคารจากการคำนวณ (429 คน) สถานการณ์ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ใช้เวลาอพยพหนีไฟ คือ 349.8 วินาที, 352.5 วินาที, 406.5 วินาที, 407.3 วินาที และ 351.0 วินาทีตามลำดับ ซึ่งเกินกว่าที่กฎหมายกำหนดภายใน 5 นาที [1] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางในการแก้ไข 5 แนวทาง คือ 1) การแบ่งโซนในการอพยพ 2) ขยายขนาดประตูหนีไฟ 3) เปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล 4) เพิ่มตำแหน่งจุดรวมพล และ 5) ขยายขนาดประตูร่วมกับเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล ผลการจำลองพบว่า ผู้อพยพไม่ได้เกิดการรอคิวที่ประตู จำนวนประตูเพียงพอต่อจำนวนผู้ใช้อาคาร ขนาดของประตูเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด แต่พบวาระยะอันตรายจากผู้อพยพที่อยู่ไกลที่สุดจากจุดรวมพลมีระยะทางที่ไกลและส่งผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพ ถึงแม้ว่าจะมีการแบ่งโซนการอพยพหรือเพิ่มขนาดประตูก็ไม่สามารถลดเวลาการอพยพได้ เว้นแต่การเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพลหรือเพิ่มจุดรวมพลเพื่อลดระยะอันตรายจึงจะทำให้ผู้อพยพ อพยพไปถึงยังจุดที่ปลอดภัยได้ตามเวลาที่กฎหมายกำหนด

คำสำคัญ: การจำลองอพยพหนีไฟ เวลาอพยพหนีไฟ โปรแกรม Pathfinder

Abstract

This research is a study of fire evacuation from a 2-storey automotive painting building with 12 meters high, a total area of 31,050 square meters, and 155 occupants using the Pathfinder program to simulate 9 scenarios. These scenarios were divided into 4 simulation scenarios from the actual number of people using the building (155 people) and 5 simulation scenarios from the calculated number of people using the building (429 people). The simulation results showed that the simulated actual number of people using the building (155 people) in the fire evacuation in scenarios 1, 2, 3, and 4 took 307.5 seconds, 305.0 seconds, 307.5 seconds, and 306.3 seconds respectively. Accordingly, the simulation from the calculated number of people using the building (429 people) in the fire evacuation in scenarios 1, 2, 3, 4, and 5 took 349.8 seconds, 352.5 seconds, 406.5 seconds, 407.3 seconds, and 351.0 seconds respectively. These results exceeded the legal limit which must be within 5 minutes, therefore, this research proposed 5 solutions: 1) division of the evacuation zone 2) expand the size of the fire exit 3) change the assembly point 4) increase the assembly point, and 5) enlarge the door size together with the change of the assembly point. The simulation results demonstrated that the occupants did not have to queue at the gate, the number of doors was sufficient for the number of building users, the size of the door was according to the requirement of the law, but it was found that the travel distance from the occupants farthest from the assembly point had a large effect on the length of time it took to evacuate. Even dividing the evacuation zones or increasing the door size could not reduce the evacuation

time unless changing the assembly point or increasing the assembly points to reduce the travel distance will cause the evacuation to a safe place within the time required by law.

Keywords: Fire evacuation, Fire evacuation time, Pathfinder program

1. บทนำ

เส้นทางและเวลาการอพยพหนีไฟถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้เกิดความปลอดภัยในกรณีที่มีเหตุการณ์เพลิงไหม้เกิดขึ้น ซึ่งในปัจจุบันจะเห็นว่ามีการเกิดเพลิงไหม้เกิดขึ้นหลายต่อหลายเหตุการณ์ จากสถิติสาธารณภัยของประเทศไทยรอบปี 2564 พบว่ามีอัคคีภัยเกิดขึ้น 1,999 ครั้ง ในพื้นที่ 74 จังหวัด [2] เมื่อเกิดขึ้นแล้วล้วนแต่ก่อให้เกิดความสูญเสียทั้งต่อชีวิตและทรัพย์สิน

โรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี มีอาคารพ่นสีรถยนต์ที่เป็นอาคารขนาดใหญ่ เป็นอาคารสูง 2 ชั้น มีเนื้อที่ใช้สอยจัดอยู่ในประเภทอาคารขนาดใหญ่พิเศษ มีลักษณะการใช้สอยพื้นที่ภายในอาคารใช้เป็นไลน์การผลิตพ่นสี เคลือบสีผลิตภัณฑ์ จัดเก็บวัตถุดิบการผลิตและงานสำนักงาน โดยภายในอาคารมีการใช้งานและจัดเก็บสารเคมีที่ไวไฟหลายชนิดในปริมาณมากเพื่อใช้ในกระบวนการพ่นสีและเคลือบสีผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเป็นอาคารขนาดใหญ่ ทำให้เส้นทางหนีไฟภายในอาคารมีความซับซ้อนสามารถเลือกออกได้หลายเส้นทางจึงอาจส่งผลทำให้การอพยพหนีไฟออกไปสู่ภายนอกอาคารเกิดความสับสนและอาจเกินเวลาที่กฎหมายกำหนด

ซึ่งปัจจุบันจะพบว่าหลายงานวิจัยได้นำโปรแกรม Pathfinder มาประเมินและวิเคราะห์การอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคาร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะศึกษาจำลองการอพยพหนีไฟออกจากอาคารโรงพ่นสีรถยนต์โรงงานดังกล่าวนี้กรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้โดยการสร้างแบบจำลองการอพยพหนีไฟเพื่อคำนวณหาเวลาในการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder [3-5] เพื่อศึกษาระยะเวลาการอพยพแต่ละกรณีตามสถานการณ์จำลอง วิเคราะห์การอพยพเพื่อให้ออกไปสู่จุดที่ปลอดภัยได้เร็วที่สุดและสอดคล้องตามกฎหมายและเสนอแนะแนวทางแก้ไขในกรณีที่ไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนดเพื่อความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้อาคาร

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อจำลองการอพยพหนีไฟออกจากอาคารพ่นสีรถยนต์ของโรงงานแห่งหนึ่งกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้โดยใช้ โปรแกรมจำลองการอพยพหนีไฟ

2.2 เพื่อเสนอแนะแนวทางสำหรับการออกแบบเส้นทางอพยพหนีไฟให้สอดคล้องกับกฎหมาย และเกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร

3. วิธีดำเนินการ

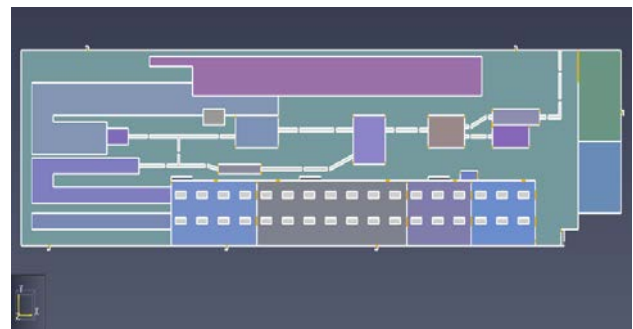
งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Pathfinder ในการจำลองการอพยพหนีไฟเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ในอาคารพ่นสีรถยนต์ของโรงงานแห่งหนึ่ง การดำเนินงานประกอบด้วย การสร้างแบบจำลอง 3 มิติ การกำหนด

สถานการณ์จำลอง การจำลองการอพยพหนีไฟออกจากอาคารด้วยโปรแกรม Pathfinder โดยระบุข้อมูลดังต่อไปนี้

1. การสร้างแบบจำลองการอพยพหนีไฟออกจากอาคารพ่นสีรถยนต์โรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี ด้วยโปรแกรม Pathfinder รายละเอียดของโปรแกรม Pathfinder จะประกอบไปด้วย ห้อง ทางเดิน ประตู บันได เป็นการสร้างพื้นที่สำหรับการเคลื่อนที่ของผู้อพยพ ประตูเป็นส่วนเชื่อมต่อระหว่างห้องพื้นที่ภายในภายนอกอาคาร บันไดเชื่อมระหว่างห้องที่อยู่ในระดับที่แตกต่างกัน [3] ซึ่งงานวิจัยนี้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลและใช้ข้อมูลจริงจากอาคารพ่นสีรถยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรี และดำเนินการสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Pathfinder ดังรูปที่ 1 และ 2



รูปที่ 1 แบบจำลองอาคารพ่นสีรถยนต์ชั้นที่ 1



รูปที่ 2 แบบจำลองอาคารพ่นสีรถยนต์ชั้นที่ 2

2. การกำหนดจำนวนผู้ใช้อาคาร งานวิจัยนี้กำหนดจำนวนผู้ใช้อาคารจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริงจำนวน 155 คน และจากคนที่ได้จากการคำนวณตามมาตรฐาน NFPA 101 Safety Life Code [6] จำนวน 429 คน

3. การกำหนดลักษณะผู้ใช้งานอาคารและพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร โดยลักษณะผู้ใช้อาคาร และพารามิเตอร์ประกอบด้วย เพศ แบ่งเป็นเพศชายและหญิง อายุ แบ่งเป็นช่วงอายุน้อยกว่า 30 ปี, อายุ 30-50 ปี และอายุมากกว่า 50 ปี ความสูง, ความกว้างของไหล่ อ้างอิงจากข้อมูล

จริงของผู้ใช้งานอาคาร และความเร็วในการเคลื่อนที่ ป้อนลงในโปรแกรม Pathfinder [7] พฤติกรรมของผู้ใช้งานอาคารแบ่งเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 กลุ่มผู้ใช้งานอาคารที่สามารถอพยพออกประตูหนีไฟประตูใดก็ได้ กลุ่มที่ 2 พนักงานซ่อมบำรุงต้องทำการตัดระบบพลังงานก่อนการอพยพกำหนดเวลาในการตอบสนอง (Response time) 1 นาที และกลุ่มที่ 3 พนักงานที่ควบคุมเครื่องจักรต้องดำเนินการปิดเครื่องจักรหลังได้ยินเสียงสัญญาณแจ้งเตือน กำหนดเวลาในการตอบสนอง (Response time) 0.5 นาที

4. กำหนดสถานการณ์ที่ใช้ในการจำลองการอพยพโดยใช้หลักการ Performance-Based Fire Safety Design ตามมาตรฐาน NFPA 101 Safety Life Code [6] ทั้งหมด 10 ขั้นตอน

1. เลือกสถานที่เกิดเหตุ กำหนดสถานที่ที่จะจำลองสถานการณ์เกิดเหตุเพลิงไหม้ โดยผู้วิจัยกำหนด 4 สถานที่ ได้แก่ ห้อง Mixing room ชั้น 1, ห้องสำนักงานชั้น 1, ห้องเก็บของชั้น 1 และ spray booth primer ชั้น 2
2. ระบุชนิดของเชื้อเพลิงที่มีอยู่ในพื้นที่เกิดเหตุ
3. ระบุอันตรายจากไฟไหม้ที่อาจจะเกิดขึ้น
4. ระบุระบบป้องกันและระงับอัคคีภัยที่มีผลต่ออัคคีภัยทั้งระบบ Passive และ Active
5. ระบุการตอบสนองของผู้ใช้อาคาร เช่น ความรู้ความสามารถในการอพยพหนีไฟมากน้อยเพียงใด สามารถอพยพได้ในทันทีหรือไม่
6. สร้างแผนภูมิต้นไม้ของแต่ละสถานที่ที่ใช้จำลอง
7. พิจารณาความน่าจะเป็น
8. พิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้น
9. ประเมินลำดับความเสี่ยง ด้วยตารางประเมินความเสี่ยง
10. คัดเลือกขั้นสุดท้าย เลือกจากสถานการณ์ในตารางประเมินลำดับความเสี่ยง

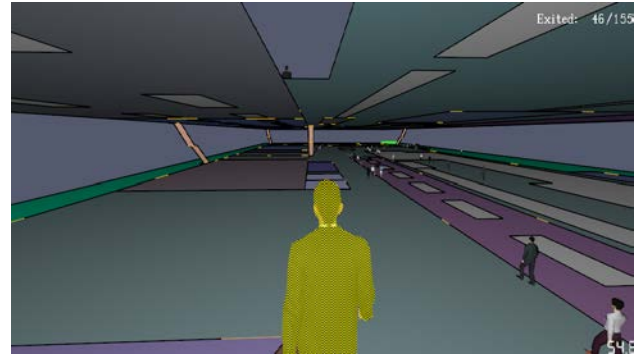
หลังจากดำเนินการครบ 10 ขั้นตอนสามารถเลือกสถานการณ์การเกิดเหตุเพลิงไหม้ได้ 9 สถานการณ์ แบ่งเป็นสถานการณ์จำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง (155 คน) จำนวน 4 สถานการณ์ และสถานการณ์จำลองจากคนใช้งานอาคารที่ได้จากการคำนวณ (429 คน) จำนวน 5 สถานการณ์

5. ดำเนินการจำลองสถานการณ์ทั้ง 9 สถานการณ์ ด้วยโปรแกรม Pathfinder รวมถึงเสนอแนะแนวทางการแก้ไขกรณีเวลาที่ใช้ในการอพยพไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด และสรุปผลการจำลอง

4. ผลการวิจัย

ผลการจำลองสถานการณ์เกิดเหตุเพลิงไหม้ทั้งหมด 9 สถานการณ์ โดยจำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง 4 สถานการณ์ และ จำลองจากคนใช้งานอาคารที่ได้จากการคำนวณ 5 สถานการณ์ด้วย pathfinder program พบว่า

1. สถานการณ์จำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง (155 คน)



รูปที่ 2 สถานการณ์จำลองการอพยพโดยโปรแกรม pathfinder

สถานการณ์ที่ 1 เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้อง Mixing room ชั้น 1 ขณะเกิดเหตุประตูห้องปิดอยู่ไม่มีผลต่อเส้นทางอพยพหนีไฟ จากการจำลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย เท่ากับ 307.5 วินาที คนสุดท้ายออกจากอาคารใช้เวลา 258 วินาที

สถานการณ์ที่ 2 เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องสำนักงานชั้น 1 ขณะเกิดเหตุประตูห้องปิดอยู่ไม่มีผลต่อเส้นทางอพยพหนีไฟ จากการจำลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย เท่ากับ 305 วินาที คนสุดท้ายออกจากอาคารใช้เวลา 262.3 วินาที

สถานการณ์ที่ 3 เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องเก็บของชั้น 1 ขณะเกิดเหตุประตูห้องปิดอยู่ไม่มีผลต่อเส้นทางอพยพหนีไฟ จากการจำลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย เท่ากับ 307.5 วินาที คนสุดท้ายออกจากอาคารใช้เวลา 257.8 วินาที

สถานการณ์ที่ 4 เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ spray booth primer ชั้น 2 ขณะเกิดเหตุประตูห้องเปิดอยู่ส่งผลให้ไม่สามารถใช้เส้นทางอพยพหนีไฟบริเวณหน้าห้องได้ จากการจำลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย เท่ากับ 306.3 วินาที คนสุดท้ายออกจากอาคารใช้เวลา 263.4 วินาที

2.สถานการณ์จำลองจากคนใช้งานอาคารที่ได้จากการคำนวณ (429 คน)

สถานการณ์ที่ 1 เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้อง Mixing room ชั้น 1 ขณะเกิดเหตุประตูห้องเปิดอยู่ส่งผลให้ไม่สามารถใช้เส้นทางอพยพหนีไฟบริเวณหน้าห้องได้ จากการจำลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย เท่ากับ 349.8 วินาที คนสุดท้ายออกจากอาคารใช้เวลา 297.8 วินาที

สถานการณ์ที่ 2 เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้อง Mixing room ชั้น 1 ขณะเกิดเหตุประตูห้องปิดอยู่ไม่มีผลต่อเส้นทางอพยพหนีไฟ จากการจำลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย เท่ากับ 352.5 วินาที คนสุดท้ายออกจากอาคารใช้เวลา 299.7 วินาที

สถานการณ์ที่ 3 เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องสำนักงานชั้น 1 ขณะเกิดเหตุประตูห้องเปิดอยู่ส่งผลให้ไม่สามารถใช้เส้นทางอพยพหนีไฟบริเวณหน้าห้องได้ จากการจำลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย เท่ากับ 406.5 วินาที คนสุดท้ายออกจากอาคารใช้เวลา 353.9 วินาที

สถานการณ์ที่ 4 เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ห้องเก็บของชั้น 1 ขณะเกิดเหตุประตูห้องเปิดอยู่ส่งผลให้ไม่สามารถใช้เส้นทางอพยพหนีไฟบริเวณหน้าห้องได้ จากการจำลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย เท่ากับ 407.3 วินาที คนสุดท้ายออกจากอาคารใช้เวลา 354.5 วินาที

สถานการณ์ที่ 5 เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่ spray booth primer ชั้น 2 ขณะเกิดเหตุประตูห้องเปิดอยู่ส่งผลให้ไม่สามารถใช้เส้นทางอพยพหนีไฟบริเวณหน้าห้องได้ จากการจำลองพบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัย เท่ากับ 351 วินาที คนสุดท้ายออกจากอาคารใช้เวลา 313 วินาที

ตารางที่ 1 เวลาที่ใช้ในการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัยในแต่ละสถานการณ์

สถานการณ์	เวลาที่ใช้ในการอพยพ (วินาที)
สถานการณ์จำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง (155 คน)	
1	307.5
2	305.0
3	307.5
4	306.3
สถานการณ์จำลองจากคนใช้งานอาคารจากการคำนวณ (429 คน)	
1	349.8
2	352.5
3	406.5
4	407.3
5	351.0

ผลการจำลองสถานการณ์เกิดเหตุเพลิงไหม้โดย pathfinder program ทั้ง 9 สถานการณ์ตามตารางที่ 1 พบว่าเวลาที่ใช้ในการอพยพไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในโรงงาน พ.ศ. 2552 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ต้องจัดเส้นทางหนีไฟที่อพยพคนงานทั้งหมดออกจากบริเวณที่ทำงานสู่บริเวณที่ปลอดภัยภายใน 5 นาที (300 วินาที) [1] ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะแนวทางการแก้ไข 5 แนวทางคือจัดโซนการอพยพ ขยายขนาดประตู เปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล เพิ่มจุดรวมพล และขยายประตูร่วมกับเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล

ในสถานการณ์จำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง (155 คน) ผลการจำลองตามตารางที่ 2 พบว่า แนวทางการจัดโซนในการอพยพ และขยายขนาดประตูหนีไฟไม่สามารถลดเวลาการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัยให้ต่ำกว่า 300 วินาทีได้ เนื่องจากผู้อพยพไม่ได้เกิดการรอคิวที่ประตู ประตูมีจำนวนเพียงพอต่อการอพยพ การแบ่งโซนอพยพและการเพิ่มขนาดประตูจึงไม่ส่งผลต่อเวลาในการอพยพ และเนื่องจากผู้อพยพที่อยู่ไกลที่สุดมีระยะสัญจรที่ไกลส่งผลต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล เพิ่มจุดรวม

พล และขยายประตูร่วมกับเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล ทำให้ระยะสัญจรลดลง จนส่งผลให้ระยะเวลาในการอพยพลดลงสามารถอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัยใช้เวลาต่ำกว่า 300 วินาทีเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด

ในสถานการณ์จำลองจากคนใช้งานอาคารที่ได้จากการคำนวณ (429 คน) ผลการจำลองตามตารางที่ 2 พบว่า แนวทางการจัดโซนการอพยพ ขยายขนาดประตู เปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล และขยายประตูร่วมกับเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล ไม่สามารถทำให้เวลาการอพยพออกจากอาคารถึงจุดที่ปลอดภัยต่ำกว่า 300 วินาที สามารถแก้ไขด้วยวิธีเพิ่มจุดรวมพลเพื่อลดระยะสัญจรจึงจะส่งผลให้ระยะเวลาในการอพยพถึงจุดที่ปลอดภัยใช้เวลาต่ำกว่า 300 วินาทีได้

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้ในการอพยพหลังจากดำเนินการแก้ไขตามแนวทางต่าง ๆ

สถานการณ์	จัดโซนประตู	ขยายขนาดประตู	เปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล	เพิ่มจุดรวมพล	ขยายประตูร่วมกับเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล
สถานการณ์จำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง (155 คน)					
1	328.5	307.5	216.5	206.8	222.0
2	328.5	305.3	215.8	264.8	214.3
3	356.8	307.5	221.8	264.8	219.8
4	343.5	306.6	223.3	218.5	224.5
สถานการณ์จำลองจากคนใช้งานอาคารจากการคำนวณ (429 คน)					
1	566.0	350.3	345.8	259.5	342.8
2	566.0	349.5	333.5	259.5	349.0
3	566.0	357.0	351.3	260.3	392.5
4	566.0	357.0	350.8	260.3	342.8
5	568.5	351.5	299.3	259.5	304.8

ผลการจำลองตามตารางที่ 3 พบว่า แนวทางการแก้ไข 4 แนวทางคือการจัดโซนการอพยพ การเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล การเพิ่มจุดรวมพล และการขยายประตูร่วมกับเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล สามารถลดระยะเวลาของคนที่สุดท้ายที่อพยพออกจากตัวอาคารได้เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาก่อนการดำเนินการแก้ไขด้วยแนวทางต่างๆ ซึ่งเป็นการเพิ่มโอกาสการลดความเสี่ยงของการบาดเจ็บหรือเสียชีวิตภายในอาคาร

ตารางที่ 3 เวลาที่คนสุดท้ายออกจากอาคารหลังการแก้ไข 5 แนวทาง

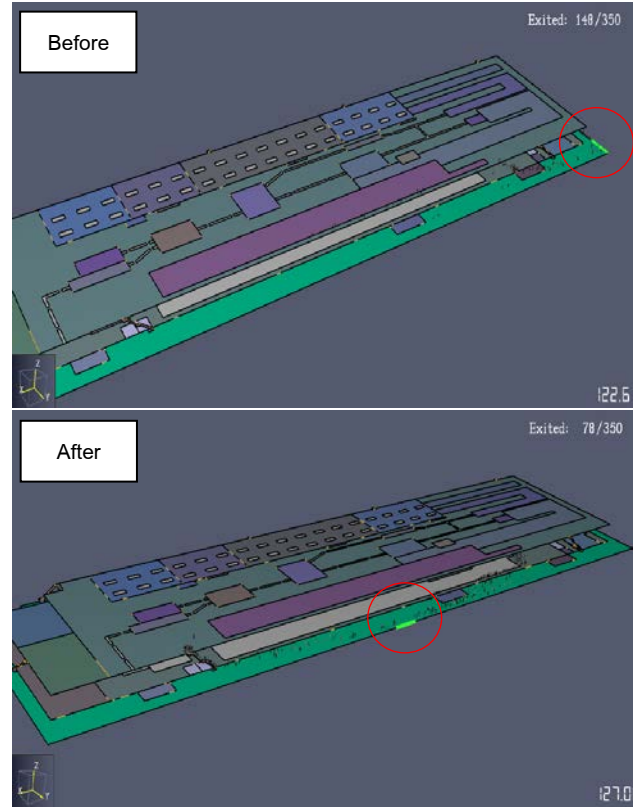
สถานการณ์	ไม่ได้ดำเนินการแก้ไขใดๆ	จัดโซนการอพยพ	ขยายขนาดประตู	เปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล	เพิ่มจุดรวมพล	ขยายประตูร่วมกับเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล
สถานการณ์จำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง (155 คน)						
1	245.6	142.3	258	182.7	175	183.5
2	261.7	142	262.3	165.6	172.2	168.8
3	246.4	166.5	257.8	185	175	183
4	262.8	152.7	263.4	184.2	192	182.6
สถานการณ์จำลองจากคนใช้งานอาคารจากการคำนวณ (429 คน)						
1	297.8	175.3	297.1	222.7	199.2	215.3
2	299.7	174.8	296.5	213	199.7	205.9
3	353.9	158	303.8	218.8	186.6	211.9
4	354.5	158.2	303.5	218.5	175.6	213.8
5	313	158.4	312.8	202.3	199.4	194.2

ตารางที่ 4 จำนวนคนที่มากที่สุดจากการคำนวณและวิธีการแก้ไขให้สามารถอพยพสู่บริเวณที่ปลอดภัย ภายใน 5 นาที

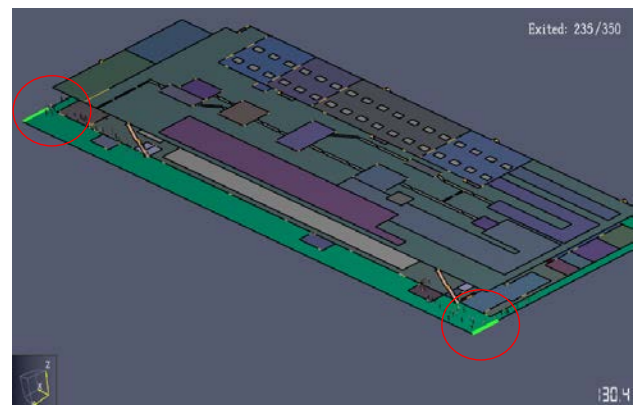
แนวทางแก้ไข	สถานการณ์จำลอง				
	1	2	3	4	5
จำนวนคนคำนวณมากที่สุด 350 คนสามารถแก้ไขได้ 2 วิธี					
เปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล	274.8	273.8	281.3	290.3	280.3
ขยายประตู+เปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล	299.3	291.0	277.5	282.8	259.3
จำนวนคนคำนวณมากที่สุด 690 คนสามารถแก้ไขได้ 1 วิธี					
เพิ่มจุดรวมพล	289.9	289.8	296.8	292.3	293.5

นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ศึกษาต่อว่า หากต้องการแก้ไขด้วยแนวทางการเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล การขยายประตูร่วมกับการเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล และการเพิ่มจุดรวมพล จะสามารถมีผู้ใช้งานอาคารได้มากที่สุดเท่าไร โดยเมื่อทำการอพยพแล้วเวลายังคงไม่เกินตามที่กฎหมายกำหนดภายใน 5 นาที (300 วินาที) ผลการจำลองตามตารางที่ 4 พบว่า แนวทางการเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล และการขยายประตูร่วมกับการเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล ต้องมีผู้ใช้งานอาคารไม่เกิน 350 คน จึงจะสามารถอพยพใช้เวลาไม่เกิน 5 นาที และ การแก้ไขด้วยแนว

ทางการเพิ่มจุดรวมพล สามารถมีผู้ใช้งานอาคารได้สูงสุดถึง 690 คน ที่จะสามารถอพยพไปสู่พื้นที่ปลอดภัยได้ภายใน 5 นาทีตามกฎหมายกำหนดในกรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ โดยตำแหน่งจุดรวมพลที่มีการเปลี่ยนหรือการเพิ่มจุดรวมพลในการจำลองในโปรแกรม Pathfinder แสดงตามรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 สถานการณ์จำลองเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพล



รูปที่ 4 สถานการณ์จำลองเพิ่มตำแหน่งจุดรวมพล

4. อภิปรายผล

จากการจำลองการอพยพหนีไฟของอาคารพ่นสีรถยนต์โดยโปรแกรม Pathfinder ทั้งหมด 9 สถานการณ์ ผลการจำลองพบว่า สถานการณ์จำลองจากจำนวนคนที่ใช้งานอาคารจริง (155 คน)

สถานการณ์ที่ 1, 2, 3 และ 4 ใช้เวลาในการอพยพ คือ 307.5 วินาที, 305 วินาที, 307.5 วินาที และ 306.3 วินาทีตามลำดับ สถานการณ์จำลองจากคนใช้งานอาคารจากการคำนวณ (429 คน) สถานการณ์ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ใช้เวลาในการอพยพ คือ 349.8 วินาที, 352.5 วินาที, 406.5 วินาที, 407.3 วินาที และ 351.0 วินาทีตามลำดับ ไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด ซึ่งเกินกว่าที่กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การป้องกันและระงับอัคคีภัยในโรงงาน พ.ศ. 2552 ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ต้องจัดเส้นทางหนีไฟที่อพยพคนงานทั้งหมดออกจากบริเวณที่ทำงานสู่บริเวณที่ปลอดภัยภายใน 5 นาที (300 วินาที) [3] แต่จากการวิเคราะห์ผลการจำลองพบว่าผู้อพยพไม่ได้เกิดการรอคิวที่ประตู จำนวนประตูเพียงพอต่อจำนวนผู้ใช้อาคาร ขนาดของประตูเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด แต่พบว่าระยะสัญจรจากผู้อพยพที่อยู่ไกลที่สุดจากจุดรวมพลมีระยะทางที่ไกลและส่งผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพ ถึงแม้ว่าจะมีการแบ่งโซนการอพยพหรือเพิ่มขนาดประตูก็ไม่สามารถลดเวลาการอพยพได้ เว้นแต่การเปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมพลหรือเพิ่มจุดรวมพลเพื่อลดระยะสัญจรและทำให้ผู้อพยพ อพยพไปถึงยังจุดที่ปลอดภัยได้ตามเวลาที่กฎหมายกำหนดเพื่อเพิ่มความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้ใช้อาคาร โดยขอบเขตงานวิจัยนี้ไม่รวมความไม่แน่นอนเช่น พฤติกรรมของมนุษย์ที่มีความซับซ้อน การอพยพเป็นกลุ่ม การตัดสินใจเปลี่ยนเส้นทางเมื่อเจอกับสัญญาณเพลิงไหม้แหล่งใหม่ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้อาจส่งผลให้ใช้เวลาในการอพยพมากขึ้น แต่งานวิจัยนี้ได้จำลองการอพยพหนีไฟจากการคำนวณผู้ใช้งานอาคารที่มากที่สุดที่จะสามารถเกิดขึ้นได้ เพื่อคาดการณ์ว่า ผู้ใช้งานอาคารจะสามารถอพยพไปสู่จุดที่ปลอดภัยภายใน 5 นาทีตามที่กฎหมายกำหนดได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม pathfinder กรณีศึกษา อาคารพ่นสีรถยนต์ สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีเนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจากคณาจารย์ทุกท่าน และได้รับการอำนวยความสะดวก การช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากครอบครัวและเพื่อนร่วมงานในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535, ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการป้องกันและระงับอัคคีภัยในโรงงาน พ.ศ. 2552. [ลงวันที่ 30 กันยายน 2552]
- [2] กรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย, สถิติสาธารณภัย ปี 2564, ข้อมูลจาก http://110.78.23.203/cmsdetail.datacenter-5.289/41490/inner_2732/5287.1. (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 กันยายน 2565)

- [3] กรทิพย์ ศรีพรหม. 2560. การเปรียบเทียบเวลาในการอพยพหนีไฟระหว่างการอพยพแบบปกติและการอพยพแบบหน่วงเวลาด้วยโปรแกรม Pathfinder. ชลบุรี: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] ชลธิชา วงศ์เสงี่ยม, การจำลองการอพยพหนีไฟของโรงงานผลิตยางรถยนต์โดยใช้โปรแกรม Pathfinder, การประชุมวิชาการและประกวดนวัตกรรมบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 2, 17-18 พฤษภาคม 2561, เชียงใหม่, ประเทศไทย.
- [5] วีระศักดิ์ ต่ายเนาวิง, การจำลองเวลาอพยพหนีไฟสำหรับอาคารแบบผสมผสานด้วยโปรแกรม Pathfinder, การประชุมวิชาการวิศวกรรมความปลอดภัยแห่งชาติ ครั้งที่9, 20 มิถุนายน 2561, ชลบุรี, ประเทศไทย.
- [6] National Fire Protection Association n.d. NFPA101, Life Safety Code, Edition 2015,US. National Fire Protection Association. Quincy. Massachusetts.
- [7] Thunderhead Engineering, "Pathfinder Technical Reference", 2018,https://www.thunderheadeng.com/wpcontent/uploads/dlm_uploads/2011/07/users_guide-3.pdf, (Accessed: Dec 2022).

การประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาพนักงานขายแบบกำหนดสี
สำหรับการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด กรณีศึกษาบริษัทปฐพี เซอร์วิส จำกัด
An Application of the Colored Traveling Salesman for Route Optimization
A Case Study: Patapee Service Co.,Ltd

ธัญชา บุญศักดิ์ศรี, บุญธริกา ภูพัฒนะกุล, ธัญญา กิรติจินดา, วันหยก อติเศรษฐพงษ์
สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: wanyok@mathstat.sci.tu.ac.th*

Thanatcha Boonsaksri, Boontharika poophattanakool, Thanya Keeratchinda, Wanyok Atisattapong*
Department of Mathematics and Statistics, Faculty of Science and Technology, Thammasat University

E-mail: wanyok@mathstat.sci.tu.ac.th*

บทคัดย่อ

การวางแผนและจัดสรรเส้นทางที่เหมาะสมให้แก่พนักงานในการเดินทางไปปฏิบัติงานสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานงานวิจัยนี้ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า ปัญหาพนักงานขายแบบกำหนดสี (Colored Traveling Salesman Problem: CTSP) ในการจัดสรรเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด ผู้วิจัยใช้ข้อมูลของพนักงานติดตั้งและพนักงานซ่อมบำรุงจากบริษัทปฐพี เซอร์วิส จำกัด เป็นกรณีศึกษา จุดประสงค์ของงานวิจัยคือการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดให้พนักงานเดินทางไปยังพื้นที่ทำงานได้อย่างครอบคลุม ในขณะที่ใช้ระยะทางและระยะเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด CTSP เป็นการจัดสรรเส้นทางที่เหมาะสมให้พนักงานหลายคนพร้อมกัน โดยแต่ละเขตบริการจะต้องมีพนักงานเดินทางไปหนึ่งครั้ง และต้องกลับมาที่จุดเดิมเหมือนกับปัญหา TSP แต่จะเพิ่มการใช้สีเพื่อแบ่งเขตบริการให้พนักงาน โดยมีเขตที่ให้บริการร่วมและเขตที่มอบหมายให้เฉพาะพนักงานคนใดคนหนึ่ง พนักงานจะต้องทำงานในเขตที่ได้รับมอบหมายพร้อมทั้งจะถูกเลือกให้ทำงานในเขตบริการร่วม ผลการทำงานชี้ให้เห็นว่า เมื่อใช้เส้นทางที่ได้จากวิธี CTSP ตารางการทำงานช่วยให้พนักงานสามารถเดินทางไปให้บริการครอบคลุมพื้นที่ที่ได้รับมอบหมาย โดยใช้ระยะเวลาในการทำงานรวมกับเวลาเดินทางไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน เราสามารถนำแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดตารางการทำงานรายสัปดาห์และรายเดือนที่มีประสิทธิภาพ ในหน่วยงานหรือองค์กรที่มีลักษณะงานคล้ายกันได้

คำสำคัญ: การจัดสรรเส้นทางที่เหมาะสม ปัญหาพนักงานขาย ปัญหาพนักงานขายแบบกำหนดสี

Abstract

One of the most important aspects of a successful firm is the establishment of a good management system. Route optimization is the key to productivity improvement. In this paper, we applied a mathematical model called the colored traveling salesman problem (CTSP) for route optimization. The data of installers and maintenance workers from Patapee Service Co. Ltd. were used as a case study. Our main objective is to construct a family of routes for workers to work locations covering all areas while minimizing distance and time. The CTSP is a variant of multiple traveling salesman problems (TSP). In the CTSP, each destination must be visited exactly once and then back to the starting point as the TSP, but colors are used to differentiate the cities and salesmen. It has shared cities and exclusive cities, so that each salesman not only implements the shared task, but also preforms the exclusive task. The results indicated that by implementing route optimization obtained from the CTSP, work scheduling allowed workers to be able to give service in all assigned area with balanced workloads, while the working time was limited in eight hours per day. The schedule generated by the CTSP was more flexible and practical in real situations. Our model may be used to identify weekly and monthly optimal timetables that are most cost-effective in the real world.

Keywords: Route optimization, Traveling salesman problem, Multiple traveling salesman problem

1. บทนำ

การจัดเส้นทางของพนักงานเป็นงานหนึ่งที่จะช่วยให้การทำงานในบริษัทมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งมีงานวิจัยที่พัฒนาและแก้ปัญหาการจัดเส้นทางนี้หลายวิธี วิธีที่เป็นที่รู้จักกันโดยทั่วไปคือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problems: TSP) [1] โดยปัญหาเริ่มต้นจากคำถามที่ว่าหากกำหนดให้มีเมืองมากกว่าสามเมือง เราจะสามารถหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest route) เพื่อเดินทางไปยังแต่ละเมืองเพียงหนึ่งครั้งเท่านั้น และเดินทางกลับมาที่เมืองเริ่มต้นอีกครั้งได้อย่างไร ถึงแม้ปัญหา TSP สามารถอธิบายให้เห็นภาพได้ง่าย แต่การแก้ปัญหานี้ก็กลับมีลักษณะเป็นปัญหาแบบ NP-complete [2] กล่าวคือ เมื่อจำนวนเมืองหรือจุดที่พนักงานขายต้องเดินทางไปมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจะยิ่งเพิ่มมากขึ้นไปด้วย แต่เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบนี้ไม่อยู่ในรูปของฟังก์ชันพหุนามของจำนวนเมืองทั้งหมดที่พิจารณา นอกจากนี้การนำปัญหา TSP มาประยุกต์ใช้ในการจัดตารางเส้นทางเดินทางของพนักงานที่เกิดขึ้นจริง จะพบว่าปัญหามีความซับซ้อนมากขึ้น เนื่องจากมีจำนวนเมือง หรือจุดที่ต้องเดินทางไปให้บริการมาก มีพนักงานหลายคน มีเส้นทางที่สามารถไปได้หลายเส้นทาง และยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ต้องนำมาพิจารณาด้วย เช่น การคำนึงถึงความเท่าเทียมกันในการทำงานของพนักงานทุกคน พนักงานต้องทำงานภายในเวลาระยะเวลาที่กำหนดและไม่ทำงานล่วงเวลาโดยไม่จำเป็น ดังนั้นการใช้ขั้นตอนวิธี TSP จึงต้องมีการปรับหรือเพิ่มเติมเงื่อนไข เพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาที่จะนำไปประยุกต์ใช้ด้วย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำปัญหาที่เกิดขึ้นในบริษัทพี ซี เอ วิส จำกัด มาเป็นกรณีศึกษา โดยบริษัทนี้ได้ก่อตั้งมาตั้งแต่ปี.ศ. 2547 และมีงานหลักคือการทำบริการติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องทำความเย็น ดังแสดงในรูปที่ 1 สำนักงานของบริษัทตั้งอยู่ที่เขตหนองจอก กรุงเทพฯ และมีพื้นที่ที่ต้องให้บริการลูกค้าได้แก่พื้นที่ในกรุงเทพฯ ทั้ง 33 เขต และพื้นที่ในจังหวัดสมุทรปราการอีก 6 อำเภอ



รูปที่ 1 ตัวอย่างเครื่องทำความเย็นที่บริษัทให้บริการ (ซ้าย) เครื่องโพสต์มิกซ์ (ขวา) ตู้แช่

เนื่องจากพนักงานติดตั้งและซ่อมบำรุงมีจำนวนจำกัด และมีพื้นที่ที่ต้องเดินทางไปให้บริการค่อนข้างกว้าง การจัดตารางการเดินทางของพนักงานแบบเดิม ซึ่งยังขาดการวิเคราะห์ข้อมูลและการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ ทำให้ตารางการทำงานของพนักงานขาดประสิทธิภาพ เห็นได้จากปริมาณงานที่ไม่เท่าเทียมกันในแต่ละเส้นทาง บางเส้นทาง

พนักงานมีปริมาณงานที่น้อยเกินไป ทำให้พนักงานเลิกงานก่อนหมดเวลางาน ในขณะที่บางเส้นทางที่มีปริมาณงานมากเกินไป พนักงานต้องทำงานล่วงเวลาในช่วงเย็น และพนักงานส่วนใหญ่ต้องทำงานในวันอาทิตย์ เนื่องจากไม่สามารถให้บริการลูกค้าได้ครบตามที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังมีหลายเส้นทางที่ซ้ำซ้อนกันโดยไม่จำเป็น การจัดเส้นทางที่ขาดประสิทธิภาพนี้ส่งผลให้บริษัทต้องจ่ายค่าแรงสำหรับการทำงานล่วงเวลาเพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น และยังส่งผลให้บริษัทมีอัตราการลาออกของพนักงานที่สูง ซึ่งการฝึกทักษะให้พนักงานใหม่มีต้นทุนทั้งด้านค่าใช้จ่ายและด้านระยะเวลาที่ใช้ในการฝึกพนักงานใหม่

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงมุ่งไปที่การจัดเส้นทางของพนักงาน โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยแก้ปัญหาการจัดเส้นทางให้เป็นระบบ เพื่อให้ได้เส้นทางการเดินทางของพนักงานที่สั้นที่สุด สามารถให้บริการลูกค้าครบทุกพื้นที่และปริมาณงานที่กำหนดไว้ ภายใต้เวลาการทำงานที่จำกัด รวมทั้งทำให้ปริมาณงานในแต่ละเส้นทางเท่าเทียมกันมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

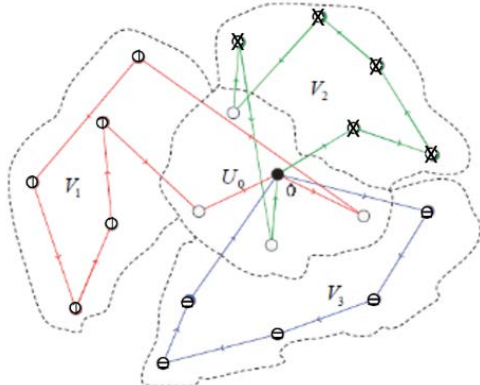
ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีแนวคิดมาจากการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบกำหนดสี (Colored Travelling Salesman: CTSP) [3-6] เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางของพนักงานติดตั้งและพนักงานซ่อมบำรุง เราสามารถสรุปความแตกต่างระหว่างแบบจำลอง CTSP และ TSP ได้ดังนี้

- (1) CTSP เป็นการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานจำนวนมากกว่าหนึ่งเส้นทางพร้อมกันในคราวเดียว ในขณะที่ TSP จะใช้ในการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของพนักงานได้ทีละคน
- (2) CTSP จะมีการระบุสีของเมืองให้พนักงานแต่ละคนโดยเฉพาะ นั่นคือแต่ละเมืองจะเป็นของพนักงานคนใดคนหนึ่งเท่านั้น และพนักงานไม่สามารถเดินทางไปยังเมืองที่ไม่ใช่สีของตนเองได้
- (3) CTSP จะมีเมืองที่ยังไม่ระบุสีที่เรียกว่าเมืองสาธารณะ แทนด้วยสีขาว เมืองสีขาวนี้เป็นเมืองที่อยู่ใกล้เคียงกับจุดเริ่มต้นและพนักงานคนใดจะมาให้บริการก็ได้ แต่เมื่อมีพนักงานเดินทางมาให้บริการแล้ว พนักงานคนอื่นจะมาซ้ำที่เมืองเดียวกันไม่ได้ กล่าวคือ แต่ละเมืองจะได้รับการบริการจากพนักงานคนใดคนหนึ่งเท่านั้น

เพื่อให้เข้าใจหลักการการทำงานของ CTSP เราจะยกตัวอย่างง่ายมาพิจารณา ดังนี้ กำหนดให้มีพนักงาน 3 คนต้องเดินทางไปให้บริการทั้งหมด 20 เมือง โดยเป็นเมืองเริ่มต้นและเมืองสิ้นสุด (เมื่อเสร็จงานต้องเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น) 1 เมือง พนักงานแต่ละคนมีเมืองเฉพาะของตนเองคนละ 5 เมือง และมีเมืองสาธารณะซึ่งยังไม่กำหนดให้พนักงานคนใด แทนด้วยจุดสีขาว 4 เมือง เมื่อใช้วิธี CTSP แก้หาผลเฉลย เราจะได้เส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุดของพนักงานทั้ง 3 คนดังแสดงดังรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าพนักงานคนที่ 1 และ 2 (เส้นทางด้านซ้ายและด้านขวาบน) ต้องเดินทางไปให้บริการ 7 เมือง โดยถูกมอบหมายให้

เดินทางไปยังเมืองเฉพาะของตนเอง 5 เมืองและเมืองสีขาว เพิ่มอีก 2 เมือง ในขณะที่พนักงานคนที่ 3 (เส้นทางด้านขวา) เดินทางเฉพาะเมืองของตนเอง 5 เมืองไม่ต้องเดินทางไปเมืองสีขาว



รูปที่ 2 การกำหนดสีให้พนักงานด้วยวิธี CTSP ที่มา: บทความวิจัยของ Li, et al. [3]

แบบจำลอง CTSP ที่ใช้ในการแก้ปัญหาพนักงานติดตั้งและพนักงานซ่อมบำรุงของบริษัท ปฐพี เซอร์วิส จำกัด สามารถสรุปได้ดังนี้ กำหนดให้มีพนักงานที่ต้องจัดเส้นทาง K คนและมีเขตที่ต้องเดินทางไปให้บริการ n เขต โดยที่ $K < n$ แบบจำลอง CTSP จะทำการสร้างเส้นทางในการเดินทางของพนักงานโดยใช้กราฟระบุทิศทาง $G = (V, E)$ เมื่อ V หมายถึงเซตของโหนด (เขตที่ต้องเดินทางไปให้บริการ) โดยที่ $V = \{1, 2, \dots, n\}$ และแต่ละเส้นเชื่อม $(i, j) \in E$, $i \neq j$ จะมีค่าน้ำหนักคือ t_{ij} ซึ่งหมายถึงระยะเวลาในการเดินทางจากเขต i ไปเขต j และจะมีการกำหนดสี c_k ให้พนักงานคนที่ k โดยที่ $k \in S$ เมื่อ S หมายถึงเซตของพนักงานทั้งหมด โดยที่ $S = \{1, 2, \dots, K\}$

พารามิเตอร์และตัวแปร

- V_k แทนเซตของเขตเฉพาะที่พนักงานคนที่ k เดินทางไปได้
- W_k แทนเซตของเขตที่พนักงานคนที่ k เดินทางไปไม่ได้ โดยที่ $W_k = V \setminus V_k$
- U_k แทนเซตของเขตสาธารณะที่พนักงานคนที่ k เดินทางไปได้
- T หมายถึงระยะเวลาในการทำงานในหนึ่งวัน โดยกำหนดให้เท่ากับ 8 ชั่วโมง หรือ 480 นาที
- T_k หมายถึงระยะเวลาในการทำงานของพนักงานคนที่ k
- t_{ij} หมายถึงระยะเวลาในการเดินทางจากเขต i ไปเขต j

ตัวแปรตัดสินใจ

x_{ijk} มีค่าเป็น 1 หมายถึงมีการเดินทางจากเขต i ไปเขต j ของพนักงานคนที่ k มิฉะนั้นจะมีค่าเป็น 0

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Min } \sum_{k \in S} \sum_{j \in V} \sum_{i \in V} t_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

เงื่อนไขข้อจำกัด

$$\sum_i x_{ik} = 1, \quad i \in V_k \setminus \{1\}, k \in S \quad (2)$$

$$\sum_i x_{ik} = 1, \quad i \in V_k \setminus \{1\}, k \in S \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ijk} = 0, \quad i \in V, j \in W_k, k \in S \quad (4)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ijk} = 0, \quad i \in V, j \in W_k, k \in S \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ijk} = 1, \quad i, j \in V_k, i \neq j, k \in S \quad (6)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ijk} = 1, \quad i, j \in V_k, i \neq j, k \in S \quad (7)$$

$$\sum_l x_{jlk} = \sum_l x_{ijk}, \quad i, j, l \in V, i \neq j \neq l, k \in S \quad (8)$$

$$u_{ik} - u_{jk} + n x_{ijk} \leq n - 1, \quad i, j \in V_k \setminus \{1\}, i \neq j, k \in S \quad (9)$$

$$\sum_i \sum_j t_{ijk} x_{ijk} \leq T - T_k, \quad i, j \in V, k \in S \quad (10)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) คือต้องการหาผลรวมของระยะเวลาในการเดินทางของพนักงานทุกคนที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดดังนี้ สมการที่ (2) และ (3) หมายถึงพนักงานคนที่ k จะต้องเริ่มจากสำนักงานบริษัท (กำหนดให้สำนักงานบริษัทแทนด้วยเมืองหมายเลข 1) และต้องกลับมาที่สำนักงานบริษัทเมื่อเสร็จสิ้นงาน สมการที่ (3) และ (4) หมายถึงพนักงานคนที่ k ไม่สามารถเดินทางไปหรือกลับจากเขตที่ไม่ใช่เมืองเฉพาะของตนเอง (ห้ามเดินทางไปหรือกลับจากเขตที่เป็นสีของคนอื่น) สมการที่ (6) และ (7) หมายถึงแต่ละเขตจะได้รับบริการจากพนักงานที่มีสิทธิ์เดินทางไปเมืองนั้น (พนักงานที่มีสีเดียวกับสีเมือง) เพียงครั้งเดียวเท่านั้น สมการที่ (8) หมายถึงพนักงานสามารถเดินทางไปเมืองสีขาวได้โดยจำนวนครั้งในการไปและออกจากเมืองนั้นต้องเท่ากัน เงื่อนไข (9) เป็นเงื่อนไขเพื่อป้องกันไม่ให้เกิด sub-tour หมายถึงพนักงานคนที่ k ต้องเดินทางให้ครบตามจำนวนเขตที่ถูกมอบหมายให้ไปบริการ โดยที่ u_{ik} คือจำนวนเขตทั้งหมดที่พนักงานคนที่ k เดินทางไปแล้ว นับจากสำนักงานบริษัท (เมืองหมายเลข 1) ไปยังเขตที่ i เงื่อนไข (10) หมายถึงระยะเวลาการเดินทางของพนักงานคนที่ k จะต้องไม่เกินระยะเวลาที่เหลือจากการทำงาน เช่นพนักงานคนที่ k มีงานจำนวน 3 งานต่อวัน (ทั้งงานติดตั้งและซ่อมบำรุงเครื่องทำความเย็น จะใช้เวลาไม่เกิน 1 ชั่วโมงต่องาน) จะได้ $T_k = 3 \times 60 = 180$ นาที แสดงว่าพนักงานจะเหลือเวลาสำหรับการเดินทางไม่เกิน $480 - 180 = 300$ นาที

3. ระเบียบวิธีวิจัย

ขั้นตอนการทำงานสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางของบริษัทจะเริ่มตั้งแต่การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดกลุ่มเส้นทางให้มีปริมาณงานที่เหมาะสม การนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาปรับใช้

ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด การเขียนโปรแกรมเพื่อหาผลเฉลย การเปรียบเทียบและการสรุปผลออกเป็นตารางงานที่บริษัทสามารถนำไปใช้ได้จริง

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากบริษัทมาวิเคราะห์ ซึ่งต้องแยกข้อมูลเป็นสองส่วนคือ (1) ข้อมูลพนักงานติดตั้ง โดยบริษัทเก็บข้อมูลนี้แบบรายวันและมีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2564 ถึง 31 ธันวาคม 2564 จำนวนทั้งสิ้น 7,300 งาน และข้อมูลพนักงานซ่อมบำรุง โดยบริษัทเก็บข้อมูลแบบรายเดือนและมีข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2561 ถึง 31 ธันวาคม 2564 (4 ปี) เนื่องจากการเก็บข้อมูลที่มีลักษณะต่างกัน ทำให้เรามีขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับพนักงานติดตั้ง

เมื่อได้ข้อมูลรายวันของพนักงานติดตั้ง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปริมาณของงานที่ต้องเดินทางไปให้บริการแยกเป็นรายเขต โดยพิจารณาปริมาณงานทั้งปี 2564 ตามเขต ตามวันที่ไปให้บริการ แสดงได้ดังตารางที่ 1

ข้อดีของการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ตามตารางที่ 1 คือ เราจะสามารถคาดการณ์ปริมาณงานที่ต้องทำในรายวันของแต่ละเขต ซึ่งช่วยให้การจัดกลุ่มเขตแต่ละเส้นทางมีปริมาณงานใกล้เคียงกันทำได้ง่ายขึ้น และบริษัทอาจเลือกให้บริการเพียงบางเขตในบางวันทำการ เนื่องจากบริษัทนี้มีพนักงานติดตั้ง 10 คน ทุกเส้นทางพนักงานจะต้องไปเป็นผู้เราจึงแบ่งเขตทั้งหมดออกเป็น 5 กลุ่ม โดยแยกเอาพื้นที่ของจังหวัดสมุทรปราการซึ่งเป็นเส้นทางที่ต้องใช้เวลาเดินทางมากกว่าพื้นที่อื่นให้พนักงานไปหนึ่งเส้นทางโดยเฉพาะ การจัดกลุ่มที่เหลือ (กรุงเทพฯ เขต 1 และเขต 2) จะนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาปริมาณงานเฉลี่ยต่อเดือน แล้วทำการแบ่งพื้นที่ในแต่ละเขตออกเป็นสองกลุ่ม โดยนำเขตที่มีจำนวนผู้รับบริการมากกว่ารวมกับเขตที่มีจำนวนผู้รับบริการน้อยไว้กลุ่มหนึ่ง และจัดเขตที่มีปริมาณงานปานกลางไว้อีกกลุ่มหนึ่ง การแบ่งกลุ่มเช่นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อรับประกันว่าพนักงานในทุกเส้นทางจะมีงานติดตั้งที่ต้องออกไปให้บริการเสมอ

ผลลัพธ์ของการจัดกลุ่มแสดงได้ดังตารางที่ 2 อย่างไรก็ตามการใช้ปริมาณงานต่อเดือนเพื่อแบ่งกลุ่มเขตพื้นที่ตามตารางที่ 2 นี้เป็นการจัดกลุ่มภายใต้สมมติฐานที่ว่าปริมาณงานต่อเดือนในอนาคตไม่ขึ้นกับฤดูกาล ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของงานติดตั้งเครื่องทำความเย็นและเป็นข้อแตกต่างระหว่างงานติดตั้งและงานซ่อมบำรุง

ตารางที่ 1 ปริมาณงานของพนักงานติดตั้งของแต่ละเขต

เขต	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun	รวม
กรุงเทพฯ เขต 1								
คลองเตย	35	51	63	56	62	48	14	329
ยานนาวา	49	31	56	51	48	30	16	281
วัฒนา	41	42	31	54	33	46	5	252
ดินแดง	38	35	30	43	41	32	4	223
บางคอแหลม	46	32	32	31	41	28	11	221
ปทุมวัน	40	25	40	31	24	29	13	202
สาทร	34	33	37	28	24	21	6	183
ห้วยขวาง	29	28	37	29	29	19	11	182
ราชเทวี	24	18	21	24	22	17	7	133
พระนคร	24	26	22	22	3	9	8	132
บางรัก	13	27	23	14	14	23	10	124
ดุสิต	11	23	17	20	16	11	1	99
พญาไท	10	14	12	22	16	6	3	83
สัมพันธวงศ์	14	8	8	8	2	7	1	48
ป้อมปราบศัตรูพ่าย	9	10	2	9	6	4	4	44
กรุงเทพฯ เขต 2								
ลาดกระบัง	83	67	75	87	58	70	23	463
สวนหลวง	49	39	59	44	49	53	9	302
บางกะปิ	49	41	32	45	64	50	17	298
ลาดพร้าว	55	47	49	51	43	42	4	291
ประเวศ	48	61	51	48	29	39	11	287
มีนบุรี	31	47	46	61	35	34	9	263
บางนา	27	25	38	49	39	44	9	231
พระโขนง	33	29	34	40	37	42	5	220
วังทองหลาง	24	29	33	24	41	20	19	190
บึงกุ่ม	30	25	28	34	31	30	6	184
คันนายาว	26	24	33	41	17	19	6	166
สะพานสูง	17	22	25	20	18	15	8	125
สมุทรปราการ								
เมือง	101	117	136	116	108	114	21	713
บางพลี	50	74	82	66	56	42	22	390
พระประแดง	43	45	44	45	36	35	13	261
พระสมุทรเจดีย์	34	24	19	46	34	15	16	188
บางเสาธง	18	20	25	18	28	13	10	132
บางป่อ	10	6	11	8	4	13	6	58
ผลรวม	1145	1145	1251	1285	1115	1030	328	7300

ตารางที่ 2 ปริมาณงานคาดการณ์ของพนักงานติดตั้งตามกลุ่มเขตให้บริการ

กลุ่ม	เขต	ระดับปริมาณงาน	ปริมาณงานคาดการณ์ต่อเดือน
1	คลองเตย ยานนาวา วัฒนา	มาก	105
	บางรัก ดุสิต พญาไท สัมพันธวงศ์ ป้อมปราบศัตรูพ่าย	น้อย	
2	ดินแดง บางคอแหลม ปทุมวัน สาทร ห้วยขวาง พระนคร ราชเทวี	ปานกลาง	106
	ลาดกระบัง สวนหลวง	มาก	
3	วังทองหลาง บึงกุ่ม คันนายาว สะพานสูง	น้อย	119
	บางกะปิ ลาดพร้าว ประเวศ มีนบุรี บางนา พระโขนง	ปานกลาง	
4	เมือง บางพลี พระประแดง พระสมุทรเจดีย์ บางเสาธง บางป่อ	-	145

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับพนักงานซ่อมบำรุง

การวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับพนักงานซ่อมบำรุง จะเป็นการเก็บข้อมูลย้อนหลัง 4 ปี เนื่องจากปริมาณงานซ่อมบำรุงจะมีลักษณะงานที่ขึ้นกับฤดูกาล ทำให้ปริมาณงานในแต่ละเดือนแตกต่างกัน เพื่อคาดการณ์ปริมาณงานในแต่ละเดือนให้สมเหตุสมผล ผู้วิจัยได้หาค่าเฉลี่ยของปริมาณงานรายเขตในแต่ละเดือนย้อนหลัง 4 ปี และใช้ตัวเลขดังกล่าวในการพยากรณ์ปริมาณงานที่จะเกิดขึ้นแต่ละเดือนในอนาคต สำหรับงานซ่อมบำรุงนั้นพนักงานสามารถเดินทางไปทำงานเพียงลำพังได้ในบริษัทผู้เช่ารถจักรยานยนต์มีพนักงานซ่อมบำรุง 10 คน การจัดกลุ่มเขตในพื้นที่ให้มีปริมาณงานใกล้เคียงกันทั้งหมด 10 กลุ่ม ตัวอย่างผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มพนักงานติดตั้งในเดือนมกราคมแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างปริมาณงานคาดการณ์ของพนักงานซ่อมบำรุงตามกลุ่มเขตให้บริการ สำหรับเดือนมกราคม

พนักงานคนที่	เขต	ปริมาณงานคาดการณ์
1	วัฒนา ปทุมวัน ดุสิต บ่อมปราบตตรุพาย	95
2	ยานนาวา คลองเตย ดินแดง	93
3	พระนคร พญาไท บางคอแหลม	90
4	บางรัก ราชเทวี สาทร ห้วยขวาง สัมพันธวงศ์	89
5	บางนา คันนายาว รังทองกลาง บึงกุ่ม	113
6	ลาดพร้าว ประเวศ มีนบุรี สะพานสูง	106
7	ลาดกระบัง พระโขนง สวนหลวง บางกะปิ	104
8	พระประแดง พระสมุทรเจดีย์	82
9	เมือง บางเสาธง	71
10	บางพลี บางบ่อ	82

3.2 การเขียนโปรแกรมเพื่อหาผลเฉลย

สำหรับการหาผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้น ผู้วิจัยได้เขียนโปรแกรม CPLEX ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ที่พัฒนาโดยบริษัท IBM [7] ข้อมูลระยะทางที่ใช้เป็นข้อมูลเข้าของโปรแกรม ผู้วิจัยอ้างอิงระยะทางและระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจาก Google map โดยใช้หน่วยเวลาในการเดินทางเป็นนาที และเลือกใช้ระยะทางแบบปกติไม่ผ่านทางด่วนพิเศษ ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางของพื้นที่กรุงเทพมหานคร เขต 1

ระยะเวลา (นาที)	เขต					
	หนองจอก	พระนคร	พญาไท	ดุสิต	ราชเทวี	ปทุมวัน
หนองจอก	0	68	60	66	58	61
พระนคร	68	0	22	13	16	18
พญาไท	60	22	0	12	6	14
ดุสิต	66	13	12	0	10	15
ราชเทวี	58	16	6	10	0	7
ปทุมวัน	61	18	14	15	7	0

ข้อได้เปรียบของวิธี CTSP ที่แตกต่างจาก TSP ที่สำคัญคือเราสามารถที่จะกำหนดเมืองสาธารณะ ซึ่งเป็นเมืองที่พนักงานคนใดคนหนึ่งจะไปให้บริการก็ได้ ในงานวิจัยนี้ เราได้กำหนดให้เขตวัฒนาและเขตห้วยขวางเป็นเมืองสาธารณะสำหรับกรุงเทพฯ เขต 1 และให้เขตลาดกระบังและเขตมีนบุรีเป็นเมืองสาธารณะสำหรับกรุงเทพฯ เขต 2 เนื่องจากเมื่อแบ่งเส้นทางตามปริมาณงานแล้ว ทั้ง 4 เขตนี้จะเป็นเขตที่ใกล้กับที่ตั้งบริษัทมากที่สุด โดยทั้ง 4 เขตจะยังไม่ได้กำหนดว่าพนักงานคนใดจะต้องไปให้บริการ นอกจากนี้พนักงานจะต้องไม่บริการข้ามโซน กล่าวคือพนักงานที่ถูกมอบหมายให้บริการในเขตโซนกรุงเทพฯ เขต 1 จะต้องไม่เดินทางไปยังเขตที่อยู่ในโซนกรุงเทพฯ เขต 2 และสมมุติราคาการ เมื่อใช้วิธี CTSP หาผลเฉลยแล้ว พนักงานคนที่ทำให้เวลาในการเดินทางรวมน้อยที่สุดจะถูกมอบหมายไปเดินทางไปยังเขตสาธารณะเพียงคนเดียว ซึ่งแตกต่างจากวิธี TSP ที่ต้องกำหนดจำนวนเขตทั้งหมดให้พนักงานแต่ละคนก่อนที่จะหาลำดับการเดินทาง อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยของวิธี CTSP นี้จะมากกว่าวิธี TSP เนื่องจากมีจำนวนตัวแปรที่ต้องพิจารณามากกว่า ทั้งนี้ CTSP สามารถหาผลเฉลยได้ในคราวเดียว ในขณะที่ TSP จะต้องหาผลเฉลยหลายครั้งสำหรับเส้นทางการเดินทางของพนักงานแต่ละคน

4. ผลการวิจัย

เมื่อใช้โปรแกรม CPLEX แก้หาผลเฉลยของแบบจำลอง CTSP เราจะได้ผลลัพธ์เป็นเส้นทางที่ให้ผลรวมของระยะเวลาในการเดินทางของพนักงานทุกคนที่น้อยที่สุด เราสามารถสรุปตารางการทำงานของพนักงานติดตั้งได้ดังตารางที่ 5 โดยกลุ่มของเขตที่มีปริมาณงานมากจะกำหนดให้เดินทางไปทำงาน 4 วันต่อสัปดาห์คือวันจันทร์ พุธ ศุกร์ เสาร์ ในขณะที่กลุ่มของเขตที่มีปริมาณงานน้อยจะกำหนดให้เดินทางไปทำงาน 2 วันต่อสัปดาห์คือวันอังคารและพฤหัสบดี ผลลัพธ์ในตารางนี้แสดงถึงเส้นทางที่พนักงานต้องเดินทาง โดยพนักงานจะต้องเริ่มที่สำนักของบริษัทที่เขตหนองจอก เดินทางไปทำงานที่เขตตามลำดับที่ปรากฏในตารางและกลับมาที่บริษัทเมื่อสิ้นสุดงานเสมอ โดยในตารางได้แสดงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการทำงาน ระยะเวลาในการเดินทาง และระยะเวลารวมด้วย

เมื่อใช้โปรแกรม CPLEX กับข้อมูลของพนักงานซ่อมบำรุง เพื่อหาตารางการทำงานของพนักงานจะได้ผลดังตารางที่ 6 ซึ่งการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงทั้ง 10 คนจะต้องเดินทางจากบริษัทไปยังเขตต่าง ๆ ตามลำดับที่ระบุไว้ และย้อนกลับมาที่บริษัท เช่นเดียวกับพนักงานติดตั้ง

จากตารางการทำงานของทั้งพนักงานติดตั้งและพนักงานซ่อมบำรุง จะเห็นว่าไม่มีเส้นทางใดที่พนักงานต้องทำงานเกิน 480 นาที กล่าวคือพนักงานไม่ต้องทำงานล่วงเวลาในช่วงเย็น และไม่ต้องทำงานในวันอาทิตย์ โดยการทำงานของพนักงานติดตั้งจะมีเวลาการทำงานเฉลี่ย 342 นาทีและมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 79 นาที ในขณะที่พนักงานซ่อมบำรุงมีเวลาการทำงานเฉลี่ย 391 นาที และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 61 นาที ถึงแม้ว่าค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ของพนักงานติดตั้งจะค่อนข้างสูง และในเส้นทางที่ใช้เวลามากที่สุด (พนักงานคู่ที่ 1 ในวันอังคารและวันหยุดสัปดาห์) ใช้เวลามากถึง 463 นาที แต่จากสถิติที่ผ่านมา เขตที่อยู่ในเส้นทางนั้นเป็นเขตที่มีปริมาณงานน้อย จึงเป็นไปได้ว่า เมื่อนำตารางการทำงานนี้ไปใช้จริง ในบางวัน พนักงานอาจไม่ต้องเดินทางไปทำงานในทุกเขต เวลาที่ใช้ในการทำงาน และเวลาในการเดินทางก็จะลดลงไปด้วย

ตารางที่ 5 เส้นทางที่เหมาะสมสำหรับพนักงานติดตั้ง

กลุ่ม	วันทำงาน	เขต	ระยะเวลา (นาที)		
			ทำงาน	เดินทาง	รวม
1	จันทร์ พุธ ศุกร์ เสาร์	ยานนาวา คลองเตย วัฒนา	180	137	317
	อังคาร พฤหัสบดี	บางรัก สัมพันธวงศ์ บ่อมปราบัตตัญพ่าย ดุสิต พญาไท	300	163	463
2	จันทร์ พุธ ศุกร์ เสาร์	บางคอแหลม ดินแดง ปทุม วัน	180	139	319
	อังคาร พฤหัสบดี	ราชเทวี พระนคร สาทรห้วย ขวาง	240	172	412
3	จันทร์ พุธ ศุกร์ เสาร์	วังทองหลาง สวนหลวง ลาดกระบัง	180	111	291
	อังคาร พฤหัสบดี	สะพานสูง บึงกุ่ม คันนายาว	180	93	273
4	จันทร์ พุธ ศุกร์ เสาร์	ประเวศ ลาดพร้าว บางกะปิ	180	146	326
	อังคาร พฤหัสบดี	บางนา พระโขนง มีนบุรี	180	114	294
5	จันทร์ พุธ ศุกร์ เสาร์	อำเภอเมือง บางพลี	120	132	252
	อังคาร พฤหัสบดี	บางเสาธง บางบ่อ พระประแดง พระสมุทรเจดีย์	240	233	473

ตารางที่ 6 เส้นทางที่เหมาะสมสำหรับพนักงานซ่อมบำรุง

คนที่	เขต	ระยะเวลา (นาที)		
		ทำงาน	เดินทาง	รวม
1	บ่อมปราบัตตัญพ่าย ดุสิต ปทุมวัน ดินแดง	300	152	452
2	พญาไท พระนคร บางคอแหลม	240	165	405
3	ยานนาวา คลองเตย วัฒนา	240	137	377
4	ราชเทวี สัมพันธวงศ์ บางรัก สาทร ห้วยขวาง	300	158	458
5	สะพานสูง ประเวศ ลาดพร้าว คันนายาว	240	146	386
6	บางกะปิ สวนหลวง พระโขนง มีนบุรี	300	129	429
7	บึงกุ่ม วังทองหลาง บางนา ลาดกระบัง	300	145	445
8	พระประแดง พระสมุทรเจดีย์	180	190	370
9	เมือง บางพลี บางบ่อ	180	144	324
10	บางเสาธง	180	84	264

อย่างไรก็ตามสำหรับเส้นทางของพนักงานติดตั้งที่ต้องเดินทางไปทำงานที่จังหวัดสมุทรปราการ ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ค่อนข้างไกลจากที่ตั้งสำนักงานบริษัท (เขตหนองจอก) ถือว่ายังมีปัญหาอยู่ เนื่องจากปริมาณงานที่ค่อนข้างมาก ทำให้เป็นไปได้น้อยที่จะไม่เดินทางไปในบางอำเภอ ซึ่งบริษัทอาจแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มพนักงานให้เพียงพอกับปริมาณงาน

หรือปรับเปลี่ยนพนักงานที่มีปริมาณงานน้อยในวันนั้น ๆ ไปทำงานเสริมในส่วนนี้แทน

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะจัดตารางเส้นทางการทำงานของพนักงานให้มีระยะเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด โดยนำปัญหาที่พบจากบริษัท ปฐพี เซอร์วิส จำกัดมาเป็นกรณีศึกษา

จากเดิมที่บริษัทต้องจัดสรรการเดินทางของพนักงานแบบวันต่อวัน สำหรับพนักงานติดตั้ง และแบบรายสัปดาห์ต่อสัปดาห์สำหรับพนักงานซ่อมบำรุง ซึ่งมีปัญหาปริมาณงานไม่เท่าเทียมกัน ทำให้พนักงานบางสายงานต้องทำงานล่วงเวลาในช่วงเย็น และทำงานให้วันอาทิตย์ เนื่องจากได้รับมอบหมายงานในปริมาณที่มากเกินไป ในขณะที่ในวันทำการมีพนักงานบางส่วนเลิกงานก่อนเวลา เนื่องจากได้รับมอบหมายงานในปริมาณที่น้อยเกินไป อีกปัญหาที่พบคือมีการจัดเส้นทางบริการที่ทับซ้อนกัน และมีบางพื้นที่ที่มีพนักงานไปให้บริการไม่เพียงพอ

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์ปริมาณงานคาดการณ์และจัดกลุ่มเส้นทางตามปริมาณงานที่เหมาะสม และมีการกำหนดบางเขตบริการให้เป็นเมืองสาธารณะที่สามารถเลือกพนักงานคนใดคนหนึ่งมาให้บริการได้ เมื่อนำวิธี CTSP มาใช้ในลำดับการเดินทางไปยังเขตบริการ และหาว่าพนักงานคนใดควรเป็นผู้มาให้บริการในเมืองสาธารณะ ผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าการจัดเส้นทางใหม่นี้ช่วยให้พนักงานสามารถเดินทางไปยังเขตให้บริการที่ได้รับมอบหมายได้ครบทุกเขตตามที่กำหนด โดยใช้ระยะเวลาในการเดินทางรวมน้อยที่สุด นอกจากนั้นไม่มีเส้นทางใดที่ใช้ระยะเวลาการทำงานต่อวันเกิน 8 ชั่วโมง ซึ่งสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายของบริษัทและเพิ่มความพึงพอใจให้พนักงาน เนื่องจากเส้นทางการทำงานไม่ซ้ำซ้อนกัน พนักงานไม่ต้องทำงานล่วงเวลา และสามารถหยุดงานในวันอาทิตย์ได้

เราสามารถนำแนวคิดของงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดของบริษัทหรือองค์กรอื่นที่มีลักษณะงานคล้ายกันได้ สำหรับการศึกษเพิ่มเติมในอนาคต เราสามารถเพิ่มเติมเงื่อนไขที่ทำให้ระยะเวลาในการทำงานของพนักงานในแต่ละเส้นทางให้ใกล้เคียงกันมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] E. L. Lawler, J. K. Lanstra, A. H. G. Rinnooy Kan and D. B. Shmoys. The Travelling Salesman Problem: A Guided Tour of Combinatorial Optimization. Chichester: Wiley, 1985
- [2] P. Larrañaga, C. M. H. Kuijpers, R. H. Murga, I. Inza and S. Dizdarevic. 1999. "Genetic Algorithms for the Travelling Salesman Problem: A Review of Representations and Operators". Artificial Intelligence Review, Vol. 13: 129-170.
- [3] J. Li, Q. Sun, M. C. Zhou, X. Yu. and X. Dai. Colored Traveling Salesman Problem and Solution. The 19th World Congress of

the International Federation of Automatic Control, Cape Town, South Africa, August 24-29, 2014, 9575-9580.

- [4] J. Li, X. Dai, H. Liu and M. C. Zhou. A Decomposition Approach to Colored Traveling Salesman Problems. The 2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), Gothenburg, Sweden, August 24-28, 2015, 51-55.
- [5] J. Li, X. Meng and X. Dai, X. 2018. "Collision-Free Scheduling of Multi- Bridge Machining Systems: A Colored Traveling Salesman Problem-Based Approach". IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica, Vol. 5 (1): 139-147
- [6] X. Meng, J. Li, X. Dai and J. Dou. 2018. " Variable Neighborhood Search for a Colored Travelling Salesman Problem". IEEE Transactions on Intelligent Transportation System, Vol. 19 (4): 1018-1026.
- [7] D. M. Gay. 2017. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio CPLEX User's Manual, IBM: Lucent Technologies

การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์งานยกกระสอบปูนซีเมนต์วางบนเครื่องผสมปูน Ergonomic Risk Assessment of Lifting Cement Sack Place on the Mortar Mixer

จตุททิพย์ นวลสว่าง^{1*} เพ็ญสุดา พันธุ์ธิดา²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: jutatip.nul@ku.th*

Jutatip Nulsawang^{1*}, Pensuda Phanritdum²

¹Safety Engineering and Environmental Management Program, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

E-mail: jutatip.nul@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของท่าทางการทำงานของพนักงาน จำนวน 2 คน ในงานยกกระสอบปูนซีเมนต์วางบนเครื่องผสมปูน โดยกระสอบปูนมีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม ขณะที่ทำการยกพนักงานมีอาการปวดบริเวณหลังและหัวไหล่ การศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้แบบประเมินของ REBA, NIOSH lifting equation และเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) ผลการประเมินค่าความเสี่ยงก่อนการปรับปรุงวิธีการทำงาน Final REBA Score เฉลี่ย มีค่า 12 คะแนน ค่าดัชนีการยกจุดเริ่มต้นในการยกและจุดที่สิ้นสุดการยกเฉลี่ย มีค่า 4.49 และ 8.30 ตามลำดับ ทำให้ทราบว่างานนี้มีปัญหาด้านการยศาสตร์ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะทำงาน (EMG) ต่อค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (MVE) เมื่อคิดเป็นร้อยละ กล้ามเนื้อทราพีเซียสด้านซ้ายและด้านขวา กล้ามเนื้ออีเรคเตอร์สไปนด้านซ้ายและด้านขวา มีค่า 15.8 μ V, 15.2 μ V, 21.5 μ V และ 22.1 μ V ตามลำดับ ผลการประเมินค่าความเสี่ยงหลังการเปลี่ยนท่าทางการทำงานประกอบกับการใช้อุปกรณ์ในการยก ผลที่ได้คือ Final REBA Score เฉลี่ย ลดลงเหลือ 3 คะแนน ค่าดัชนีการยกจุดเริ่มต้นในการยกและจุดที่สิ้นสุดการยกเฉลี่ย ลดลงเหลือ 1.41 และ 1.44 ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะทำงาน (EMG) ต่อค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (MVE) เมื่อคิดเป็นร้อยละ กล้ามเนื้อทราพีเซียสด้านซ้ายและด้านขวา กล้ามเนื้ออีเรคเตอร์สไปนด้านซ้ายและด้านขวา ลดลงมีค่า 11.56 μ V, 9.45 μ V, 11.45 μ V และ 11.32 μ V ตามลำดับ ซึ่งไม่เกิน 35% ของค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (MVE) ถือว่าความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อสามารถยอมรับได้ การวิจัยนี้สามารถลดค่าความเสี่ยงทางการยศาสตร์ได้

คำสำคัญ: การยศาสตร์, การประเมินทั่วทั้งร่างกาย, ดัชนีการยก, คลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

Abstract

This research aims to study the ergonomic risk assessment of working posture of 2 workers in lifting cement sacks on the mortar mixer. The cement sack weighs 50 kilograms. While lifting, the employee experienced pain in the back and shoulders. In this study, the investigators used REBA, NIOSH lifting equation assessment, and electromyography (EMG) measurements. The results of the risk assessment before the improvement of work methods revealed that the mean final REBA score was 12 points, while the mean lifting index origin and lifting index destination were 4.49 and 8.30, respectively. This implied that this work has an ergonomic problem that needs immediate improvement. The mean electromyography (EMG) per mean maximum voluntary electromyography (MVE) as a percentage of left and right trapezius muscles, left and right erector spine muscles were 15.8 μ V, 15.2 μ V, 21.5 μ V and 22.1 μ V, respectively. The result of risk assessment after posture change is combined with the use of lifting equipment. The result was the mean of Final REBA Score reduced to 3 points, while the mean lifting index origin and lifting index destination reduced to 1.41 and 1.44, respectively. In addition, the mean electromyography (EMG) per the mean maximum voluntary electromyography (MVE) as a percentage. Left and right trapezius muscles on left and right erector spine muscles reduced to 11.56 μ V, 9.45 μ V, 11.45 μ V, and 11.32 μ V, respectively, which did not exceed 35% of the mean maximum voluntary electromyography (MVE). The risk of muscle injury was considered acceptable. This research could reduce the risk of ergonomics.

Keywords: Ergonomic, Rapid Entire Body Assessment, Lifting Index, Electromyography

1. บทนำ

จากสถิติปี 2564 อุตสาหกรรมประเภทการก่อสร้างมีจำนวนสถานประกอบการและมีลูกจ้างสูงสุดเป็นอันดับสามของประเทศและจากสถิติปี 2559-2563 โรคที่เกิดขึ้นตามลักษณะหรือสภาพของงานเนื่องจากการทำงานสูงสุดเป็นอันดับหนึ่งได้แก่ โรคระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูกอันเนื่องมาจากการทำงานทั้งนี้จากปัญหาที่พบในบริษัทแห่งหนึ่งที่ประกอบธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง ตั้งอยู่ที่จังหวัดระยองพบว่าพนักงานมีอาการปวดบริเวณหลังและหัวไหล่ทั้งสองข้าง จากการที่ต้องยกกระสอบปูนซีเมนต์สำเร็จรูป ที่มีน้ำหนักถ่วงละ 50 กิโลกรัม วางบนเครื่องผสมปูน อยู่เป็นประจำทุก ๆ วัน งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาปัญหาทางด้านกายศาสตร์ของพนักงานที่ทำการยกกระสอบปูนซีเมนต์สำเร็จรูปวางบนเครื่องผสมปูน และค้นหาสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นและทำการแก้ไขปรับปรุงวิธีการทำงานให้พนักงานมีสภาพการทำงานที่ปลอดภัยมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและประเมินความเสี่ยงด้านการยกของของพนักงานด้วยวิธีของ REBA (Rapid Entire Body Assessment) และวิธีการของ NIOSH Lifting Equation และการวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ EMG (Electromyography)

2. เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานให้เกิดความปลอดภัยและเหมาะสมกับการปฏิบัติงานของพนักงานตามหลักกายศาสตร์

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิธีการประเมินความเสี่ยงทางด้านการยกของที่ผู้วิจัยสนใจในการศึกษาเพื่อนำมาใช้ในการท้าววิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การประเมินความเสี่ยงทางการยกของด้วยวิธีของ REBA (Rapid Entire Body Assessment) วิธีของ NIOSH lifting equation และการวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ EMG (Electromyography)

3.1 การประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีของ REBA

วิธี REBA (Rapid Entire Body Assessment) เป็นการพิจารณาร่างกายของพนักงานออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วน A ประกอบด้วย ลำตัวคอ และขา ส่วน B ประกอบด้วย แขนท่อนล่าง แขนท่อนบนและข้อมือ จากนั้นประเมินการเคลื่อนไหวส่วนต่างๆ ออกมาเป็นตัวเลขซึ่งมีระดับความรุนแรงของปัญหาที่ต่างกัน [1]

3.2 การประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีของ NIOSH Lifting Equation

วิธี NIOSH lifting equation จะใช้สมการการยกของ NIOSH ในการประเมินสภาพการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของด้วยแรงกายของผู้ปฏิบัติงาน โดยพิจารณาความสามารถในการใช้แรงกล้ามเนื้อของมนุษย์รวมถึงความสำคัญของปัจจัยที่เกี่ยวข้องและสัมพันธ์กับงานยกนั้น ๆ การประเมินโดยใช้สมการการยกของ NIOSH จะใช้ประเมินได้ภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ [2]

3.3 การวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ (EMG)

เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าที่สร้างจากเส้นประสาทและกล้ามเนื้อโดยกล้ามเนื้อที่จะใช้ในการศึกษาค้างนี้คือ กล้ามเนื้อทราพีเซียส เป็นกล้ามเนื้อมัดตื้น อยู่บริเวณหลังส่วนบน มีขนาดใหญ่ มีหน้าที่หลักในการยกไหล่ กดไหล่ และกล้ามเนื้อเอริคเตอร์สไปเน่ เป็นกล้ามเนื้อที่วางตัวไปตามแนวกระดูกสันหลัง มีหน้าที่แอ่นหลัง และเอนตัวไปด้านข้าง เพื่อใช้ในวิเคราะห์ภาระงานของผู้ปฏิบัติงาน โดยการเปรียบเทียบค่าคลื่นไฟฟ้าที่กล้ามเนื้อในขณะที่ทำงาน (EMG) กับค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (MVE) ของแต่ละคนตามหลักการทางชีวกลศาสตร์ ซึ่ง Sander and McCormick [3] ได้ทำการวิจัยและสรุปว่าค่าคลื่นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทำงาน (EMG) ซึ่งหากเกินกว่า 35% ของค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (MVE) ถือว่ามีความเสี่ยงอันตรายต่อการบาดเจ็บ

3.4 การออกแบบทางกายศาสตร์

การออกแบบโดยใช้ช่วงใดช่วงหนึ่งของข้อมูล (Design for a range) เป็นการออกแบบที่คำนึงถึงลักษณะของประชากรในช่วงหนึ่ง โดยปกตินิยมใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา โดยมากจะใช้เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5 ถึง 95 ความกว้างของช่วงข้อมูลที่ใช้จะแคบหรือกว้างขึ้นอยู่กับลักษณะของงานและค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมและความเป็นไปได้ การหาค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์สามารถหาได้จากสมการ [4]

$$X_p = \bar{X} + Z_p \cdot S \quad (1)$$

เมื่อ \bar{X} = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

X_p = ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ p ของตัวแปร X

Z_p = ค่าตัวเลขปกติมาตรฐานมีอยู่ในตารางและสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ p ของ X

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินความเสี่ยงทางการยกของด้วยวิธีการ REBA และวิธีการ NIOSH Lifting Equation พบว่า หลังทำการออกแบบและจัดทำอุปกรณ์ในการยก ส่งผลให้ Final REBA Score จาก 10 เหลือ 3 และค่าดัชนีการยก จาก 1.38 เหลือ 0.00 การทำงานนี้มีความปลอดภัย [5] หลังจากปรับปรุงท่าทางการทำงานส่งผลให้ Final REBA Score จาก 13 เหลือ 3 มีความปลอดภัยในการทำงาน [6] การปรับปรุงวิธีการทำงานด้วยเครื่องช่วยยกระดับให้ตำแหน่งยกไปยังตำแหน่งวางมีระดับความสูงเท่ากัน ส่งผลให้ Final REBA Score จาก 11 เหลือ 3 ค่าดัชนีการยก ลดลงจาก 3.37 เหลือ 0.97 อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย [7]

การวัดกระแสไฟฟ้าในกล้ามเนื้อขณะทำงาน (EMG) ของเจ้าหน้าที่พบว่าค่าเกิน 35% ของค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของกล้ามเนื้อ (MVE) จากนั้นได้เปลี่ยนวิธีการทำงานใหม่โดยการใช้อุปกรณ์ที่ยกในการเทและเคลื่อนย้ายถึงน้ำยาที่ได้ออกแบบหลังการปรับปรุงพบว่าค่า

กระแสไฟฟ้าในกล้ามเนื้อ ค่าลดลงและไม่เกิน 35% ซึ่งถือว่ามีความปลอดภัย [8]

4. วิธีการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ครั้งนี้มีขั้นตอนวิธีการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ศึกษาลักษณะและขั้นตอนการทำงาน (ก่อนการปรับปรุง)

ผู้วิจัยทำการศึกษาข้อมูลการทำงานของพนักงานจำนวน 2 คน โดยพนักงานจะทำการยกกระสอบปูนครั้งละ 1 กระสอบ โดยใน 1 ครั้งของการผสมปูน เครื่องใช้เวลาทำการผสมปูน 10 นาที เมื่อคำนวณระยะเวลาการทำงาน ใน 1 นาที สามารถยกได้ 1 กระสอบ (ไม่นำเวลาที่พักรอมาคิดรวม) ดังนั้น 1 ชั่วโมง จะทำงานได้ทั้งหมด 6 นาที การทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน ดังนั้นจะได้ $6 \times 8 = 48$ นาที หรือ 0.8 ชม. คิดเป็น 1 ชม. พนักงานมีขั้นตอนการทำงาน ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของพนักงาน (ก่อนการปรับปรุง)

ลำดับ	คำอธิบาย
1.	ในกระบวนการผสมปูน พนักงาน 2 คน ที่อยู่ประจำเครื่องผสมปูน 2 เครื่อง โดยประจำเครื่องละ 1 คน จะมีหน้าที่ยกกระสอบปูนจากจุดวางกระสอบปูนไปยังเครื่องผสมปูน
2.	พนักงานทำการยกกระสอบปูนไปยังเครื่องผสมปูน โดย 1 คนจะทำการยกกระสอบปูนครั้งละ 1 กระสอบ ซึ่งปูน 1 กระสอบ มีน้ำหนัก 50 กิโลกรัม
3.	พนักงานนำกระสอบปูนมาวางที่บนเครื่องผสมปูน ปูนไหลลงสู่อ่างผสม การผสมปูน 1 ครั้ง ใช้ปูน 1 กระสอบ เครื่องใช้เวลาในการผสมปูน 10 นาที (1 รอบการทำงาน) ดังนั้น 1 ชั่วโมง พนักงาน 1 คน ทำการยกได้ 6 กระสอบ ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง

4.2 การประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีของ REBA (ก่อนการปรับปรุง)

ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Kinovea ในการวัดมุมการเคลื่อนไหวร่างกายของพนักงาน ขณะทำการยกกระสอบปูนเพื่อวิเคราะห์หองศาของคอ ลำตัว ขา แขนส่วนบน แขนส่วนล่าง ข้อมือ ได้ Final REBA Score เฉลี่ย ของพนักงาน คือ 12 คะแนน หมายความว่า ตั้งแต่ 11 คะแนนขึ้นไป งานนั้นมีปัญหาด้านการยศาสตร์ที่ต้องได้รับการปรับปรุง

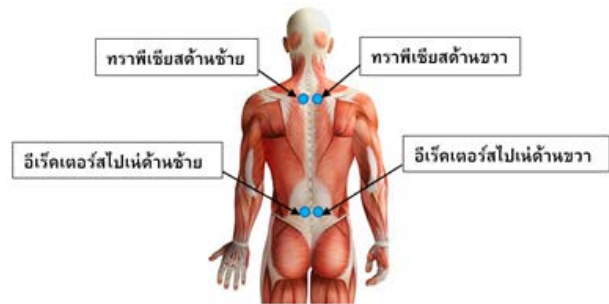
4.3 การประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีของ NIOSH Lifting Equation (ก่อนการปรับปรุง)

ผู้วิจัยได้ใช้ตัวบ่งชี้ในการวัดระยะจุดทำงานของพนักงานเพื่อค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง คำนวณค่าดัชนีการยก จุดเริ่มต้นในการยกเฉลี่ย มีค่า 4.49 และจุดสิ้นสุดการยกเฉลี่ย มีค่า 8.30 สรุปได้คือจุดเริ่มต้นในการยกและจุดสิ้นสุดหรือขณะที่พนักงานยกกระสอบปูนไป

ถึงจุดที่สูงได้ค่าดัชนีการยกมีค่ามากกว่า 1 หมายความว่า ค่าน้ำหนักของวัตถุที่ยกมีค่ามากกว่าค่าขีดจำกัดของน้ำหนักที่เหมาะสมในการยก ดังนั้นจึงควรทำการปรับปรุง

4.4 การวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ EMG (ก่อนการปรับปรุง)

ผู้วิจัยได้ทำการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อของพนักงาน เก็บข้อมูลโดยการติดอิเล็กโทรดบริเวณตำแหน่งกล้ามเนื้อ ทั้ง 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 1 โดยให้พนักงานทำงานตามปกติ 3 รอบการทำงาน พบว่า ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะทำงาน (EMG) ต่อค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (MVE) เมื่อคิดเป็นร้อยละ กล้ามเนื้อทราพีเซียสด้านซ้ายและด้านขวา กล้ามเนื้ออีริคเตอร์สไปเน่ด้านซ้ายและด้านขวา มีค่า 15.8 μ V, 15.2 μ V, 21.5 μ V, และ 22.1 μ V ตามลำดับ ซึ่งไม่เกิน 35% ของค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (MVE)



รูปที่ 1 บริเวณตำแหน่งกล้ามเนื้อที่ทำการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ

4.5 วิเคราะห์ผลและปรับปรุงการทำงาน

การประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี REBA และ NIOSH Lifting Equation ทำให้ได้ผลการวิเคราะห์ ดังตารางที่ 2 และตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ของการประเมิน REBA

ท่าทางการเคลื่อนไหว	คะแนนเฉลี่ย	แนวทางการลดหรือกำจัดค่าความเสี่ยง
Neck	2.5	ปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงาน วางเท้าให้มีความมั่นคง ให้เท้าข้างหนึ่งขนานกับวัตถุที่จะยก อีกข้างให้อยู่ด้านหลังอย่างมั่นคง เขยิบหลังให้ตรง ศีรษะอยู่แนวเดียวกับกระดูกสันหลัง ไม่ก้มคอบ อยุ่ยึดเข่ายกตัวขึ้น
Trunk	4	
Legs	4	
Posture Score A	8	
Load	2	ใช้พนักงาน 2 คนในการยก หรือ ออกแบบอุปกรณ์ที่ช่วยในการยก
Score A	10	

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ท่าทางการเคลื่อนไหว	คะแนนเฉลี่ย	แนวทางการลดหรือกำจัดค่าความเสี่ยง
Upper Arm	3	ปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานให้แขนชิดลำตัว ให้อัตุมติที่ยกชิดลำตัวมากที่สุด และบิดข้อมือน้อยลง
Lower Arm	2	
Wrist	2.5	
Posture Score B	5	
Coupling	2	ใส่ถุงมือเพื่อช่วยในการยึดจับ
Score B	7	
Score C	11	
Activity	1	ปรับเปลี่ยนท่าทางการยกให้มีความเร็วเป็นธรรมชาติของร่างกายได้
Final REBA Score	12	สรุป ต้องมีการปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานหรือออกแบบอุปกรณ์ที่ช่วยในการยก

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ของการประเมิน NIOSH Lifting Equation

ตัวแปรต่าง ๆ	ค่าเฉลี่ย		แนวทางการลดหรือกำจัดค่าความเสี่ยง
	จุดเริ่มต้น	จุดสิ้นสุด	
LC	23	23	ค่าขีดจำกัดของน้ำหนักในการยกที่ปลอดภัย 23 กก.
HM	0.66	0.54	ปรับท่าทางในการยกให้อัตุมติอยู่ชิดลำตัว
VM	0.93	0.86	ปรับระดับความสูงของการยกให้เข้าใกล้ค่า 75 ซม. มากที่สุด
DM	0.86	0.86	ยกจากจุดเริ่มต้นถึงจุดวางวัตถุไม่ให้มีค่ามากกว่า 25 ซม. โดยการออกแบบอุปกรณ์ในการช่วยยกที่สามารถปรับระดับความสูงได้
AM	1	0.74	ปรับท่าทางในการยกไม่เกิดมุมของการเอี้ยวตัว
FM	1	1	ความถี่ในการยกมีความเหมาะสมแล้ว
CM	0.90	0.90	ปรับเปลี่ยนวิธีการยึดจับ
RWL	11.16	6.03	
Object weight	50	50	ใช้พนักงาน 2 คนในการยกหรือออกแบบอุปกรณ์ที่ช่วยในการยก
LIFT INDEX	4.49	8.30	สรุป ต้องมีการปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานและออกแบบอุปกรณ์ช่วยยกที่สามารถปรับระดับความสูงในการยกได้

4.5.1 คำเนิการออกแบบอุปกรณ์ในการช่วยยก

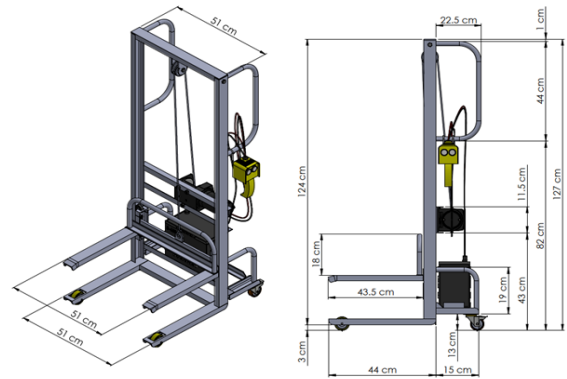
ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ร่วมกับเจ้าหน้าที่แผนกความปลอดภัยและแผนกวิศวกรรม โดยตั้งเป้าหมายว่าอุปกรณ์จะต้องถูกออกแบบให้อยู่ในช่วงความสูงที่ร่างกายสามารถทำงานได้เต็มกำลัง (power zone) ซึ่งอยู่ในช่วงความสูงของข้อนิ้วมือจนถึงความสูงหัวไหล่ นั้นมาจากสรีระการทำงานตามธรรมชาติของร่างกายมนุษย์เพราะหากต่ำกว่าข้อนิ้วมือจะเกิดการก้ม และหากสูงกว่าหัวไหล่จะเกิดการยืดหัวไหล่ [9] จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายของพนักงานประจำและพนักงานที่ทำงานในหน่วยเดียวกันหากต้องทำงานทดแทนคนที่รับผิดชอบประจำ จำนวน 5 คน ได้ผลออกมาดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการวัดสัดส่วนร่างกายของพนักงานในบริษัท

สัดส่วนร่างกาย	Mean	SD	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 5	เปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 95
พื้นถึงข้อนิ้วมือ	73.2	5.45	64.23	82.16
พื้นถึงหัวไหล่	135	5.52	125.92	144.08

หมายเหตุ หน่วยเป็นเซนติเมตร

จากตารางที่ 4 ข้อมูลสัดส่วนร่างกายของผู้ใช้งานอุปกรณ์ โดยช่วงการทำงานของมือผู้ปฏิบัติงานจะอยู่ในช่วงความสูงของข้อนิ้วมือถึงความสูงของหัวไหล่ ซึ่งเป็นช่วงที่ร่างกายสามารถออกแรงได้เต็มกำลัง ซึ่งได้ทำการออกแบบตามจับให้อยู่ในช่วงความสูง 82-126 เซนติเมตร โดยความสูงของด้ามจับจากความสูงข้อนิ้วมือ เปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 และวัดความสูงของหัวไหล่เปอร์เซ็นไทล์ที่ 5 ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ได้ทำการออกแบบ

โดยมีส่วนประกอบหลักทั้ง 4 ส่วน ได้แก่ 1. ตัวโครงสร้างหลัก (อยู่กับที่) 2. ตัวโครงสร้างรอง (เคลื่อนที่ได้) 3. แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 4. รอกสลิงไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ พร้อมชุดคอนโทรล (ควบคุม) นำมาประกอบเข้าด้วยกัน ตัวโครงสร้างรองจะเข้าไปอยู่ในรางของตัวโครงสร้างหลัก ซึ่งหลักการทำงานของตัวอุปกรณ์เริ่มจากเมื่อเปิดสวิตซ์ไฟจากแบตเตอรี่ กระแสไฟจะไหลไปยังชุดคอนโทรล เมื่อกดปุ่ม

คอนโทรลที่ลูกศรชี้ขึ้น มอเตอร์จะหมุนไปทางด้านขวามันจะกลับเข้าที่มอเตอร์ ปลายของสลิงจะยกโครงสร้างรองให้เคลื่อนที่ขึ้น เป็นการยกที่ยกวัตถุ และเมื่อกดปุ่มคอนโทรลลูกศรชี้ลง มอเตอร์จะหมุนไปทางด้านซ้ายจะทำให้สลิงคลายตัวออกจากมอเตอร์ทำให้โครงสร้างรองเคลื่อนที่ลง เป็นการทำงานที่ยกวัตถุลง

5. ผลการวิจัย

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ในการช่วยยก และได้ นำอุปกรณ์ช่วยยกมาใช้ควบคู่กับการปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานของพนักงาน โดยได้ปรับเปลี่ยนท่าทางตามที่ได้ทำการวิเคราะห์ ตาม ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 โดยใช้ระยะเวลา 2 เดือน ในการเก็บข้อมูล หลังการปรับปรุง มีขั้นตอนการทำงานดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของพนักงาน (หลังการปรับปรุง)

ลำดับ	คำอธิบาย
1.	พนักงาน 2 คน ในการยกประสอบปูน ครั้งละ 1 กระสอบ (น้ำหนักในการยกแต่ละครั้งจะเหลือ 25 กิโลกรัม) จากจุดวางกระสอบปูน มาวางบนอุปกรณ์ช่วยยกที่ได้ทำการออกแบบ โดยจะยกกระสอบทั้งหมด 2 ครั้ง
2.	พนักงานทำการเคลื่อนย้ายกระสอบปูน จำนวน 2 กระสอบ โดยใช้อุปกรณ์ช่วยยกที่ได้ออกแบบ ในการเคลื่อนย้ายมายังเครื่องผสมปูน
3.	พนักงาน 2 คน ยกกระสอบปูนวางบนเครื่องผสมปูนเครื่องที่ 1 จำนวน 1 กระสอบ และ วางที่เครื่องผสมปูนเครื่องที่ 2 จำนวน 1 กระสอบ เครื่องใช้เวลาในการผสมปูน 10 นาที (1 รอบการทำงาน) ดังนั้น 1 ชั่วโมง พนักงาน 2 คน จะยกได้ 12 กระสอบ ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง

5.1 การประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีของ REBA (หลังการปรับปรุง)

หลังการปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานและออกแบบอุปกรณ์ช่วยยก ส่งผลให้ Final REBA Score เฉลี่ย ของพนักงาน คือ 3 คะแนน ความหมายว่า ตั้งแต่ 2-3 คะแนน งานนั้นควรได้รับการพิจารณา ศึกษา ละเอียดยิ่งขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง การออกแบบงานใหม่อาจมีความจำเป็น จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี REBA ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบผลการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี REBA

ค่า Final REBA Score	
ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
12 คะแนน	3 คะแนน

5.2 การประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีของ NIOSH Lifting Equation (หลังการปรับปรุง)

หลังการปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานและออกแบบอุปกรณ์ช่วยยก ส่งผลให้ ค่าดัชนีการยกจุดเริ่มต้นในการยก มีค่าเฉลี่ย 1.44 และจุดที่สิ้นสุดการยก มีค่าเฉลี่ย 1.41 สรุปได้ ค่าดัชนีการยกมีค่ามากกว่า 1 หมายความว่า ค่าน้ำหนักของวัตถุที่ยกมีค่ามากกว่าค่าขีดจำกัดของน้ำหนักที่เหมาะสมในการยก จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี NIOSH Lifting Equation ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบผลการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี NIOSH Lifting Equation

ค่าดัชนีการยก			
ก่อนการปรับปรุง		หลังการปรับปรุง	
จุดเริ่มต้น	จุดสิ้นสุด	จุดเริ่มต้น	จุดสิ้นสุด
4.49	8.30	1.44	1.41

5.3 การวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ EMG (หลังการปรับปรุง)

หลังการปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานและออกแบบอุปกรณ์ช่วยยก โดยให้พนักงานทำงานตามปกติ 3 รอบการทำงาน พบว่า ค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อขณะทำงาน (EMG) ต่อค่าเฉลี่ยของคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (MVE) เมื่อคิดเป็นร้อยละ กล้ามเนื้อทราพีเซียสด้านซ้ายและด้านขวา กล้ามเนื้ออิริคเตอร์สไปเน่ด้านซ้ายและด้านขวา มีค่า 11.56 μ V, 9.45 μ V, 11.45 μ V, และ 11.32 μ V ตามลำดับ แปลความหมายได้ว่า ค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทำงาน (EMG) ไม่เกิน 35 % ของค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อสูงสุด (MVE) ถือว่าไม่มีความเสี่ยงอันตรายต่อการบาดเจ็บ จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบผลการวัดคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG)

ค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ		
กล้ามเนื้อ	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
ทราพีเซียสซ้าย	15.8 μ V	11.56 μ V
ทราพีเซียสขวา	15.2 μ V	9.45 μ V
อิริคเตอร์สไปเน่ซ้าย	21.5 μ V	11.45 μ V
อิริคเตอร์สไปเน่ขวา	22.1 μ V	11.32 μ V

6. อภิปรายผล

ผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA และ NIOSH Lifting Equation พบว่างานยกกระสอบปูน มีความเสี่ยงทางด้านกายศาสตร์ต้องได้รับการปรับปรุงแก้ไข และนำผลที่ได้จากการประเมินไปวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการลดหรือกำจัดค่าความเสี่ยง เมื่อพิจารณาคะแนนความเสี่ยงของส่วนต่าง ๆ ในร่างกาย พบว่า คะแนนความเสี่ยงสูงอยู่ที่บริเวณลำตัวหรือหลัง ขา แขนส่วนบน ซึ่ง

สอดคล้องกับอาการปวดบริเวณหลังและหัวไหล่ของพนักงาน จึงนำไปสู่การปรับปรุง เพื่อลดความเสี่ยงที่เกิดขึ้น โดยได้ทำการปรับปรุงดังนี้ปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานตามที่ได้ทำการวิเคราะห์ เปลี่ยนจากการยก 1 คน เป็นการยก 2 คน ออกแบบอุปกรณ์ในการช่วยยกที่สามารถปรับระดับความสูงได้ หลังการปรับปรุงทำให้ผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ลดลง แต่ยังไม่อยู่ในระดับที่ปลอดภัยที่สุด โดยในส่วนของดัชนีการยกลดลงแต่ยังคงมีค่ามากกว่า 1 เนื่องจากค่าขีดจำกัดของน้ำหนักที่แนะนำในการยก (RWL) มีค่าสูงสุด 23 กิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าน้ำหนักกระสอบปูนที่พนักงานต้องยก (L) คือ 25 กิโลกรัม เมื่อนำคำนวณดัชนีการยกจึงส่งผลให้มีค่ามากกว่า 1 แต่เมื่อมาพิจารณาในส่วนของ การวัดคลื่นไฟฟ้าของกล้ามเนื้อ พบว่าค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้าในกล้ามเนื้อที่ใช้ในการทำงาน (EMG) มีค่าไม่เกิน 35% ของค่าเฉลี่ยคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อเนื้อเยื่อสูงสุด (MVE) ถือว่าไม่มีความเสี่ยงอันตรายต่อการบาดเจ็บ

7. สรุป

ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการประเมินความเสี่ยงจากท่าทางการทำงานด้วยวิธี REBA วิธี NIOSH Lifting Equation และการวัดค่าคลื่นไฟฟ้ากล้ามเนื้อ (EMG) ทำให้ทราบถึงปัญหาทางด้านกายศาสตร์ของพนักงาน และนำผลที่ได้จากการประเมินไปวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการลดหรือกำจัดค่าความเสี่ยง จากนั้นนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขปัญหาด้านการยศาสตร์ของพนักงานโดย การปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานควบคู่กับการออกแบบอุปกรณ์ในการช่วยยกที่สามารถปรับระดับความสูงได้ โดยพบว่าหลังการปรับปรุงส่งผลให้พนักงานมีสภาพการทำงานที่ปลอดภัยขึ้น

8. ข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันเริ่มมีการผลิตกระสอบปูนที่มีน้ำหนัก 40 กิโลกรัม ออกมาจำหน่าย หากในอนาคตบริษัทมีนโยบายเปลี่ยนมาใช้กระสอบปูนที่มีน้ำหนัก 40 กิโลกรัม เมื่อทำการยก 2 คน (20 กิโลกรัม/คน) ส่งผลดัชนีการยกมีค่าน้อยกว่า 1 อยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัย หรือมีการออกแบบพัฒนาต่ออุปกรณ์ที่สามารถยกหรือเคลื่อนย้ายกระสอบปูนโดยไม่ต้องใช้แรงของพนักงาน

9. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหารบริษัทที่ทำงานที่ให้ความสำคัญในงานด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน สนับสนุนข้อมูลต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้และพนักงานทุกท่านที่ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Hignett, S., and L. McAtamney., L. "Rapid Entire Body Assessment, REBA. Applied Ergonomic," 91-99, 1993
- [2] สุทธิธิดา กรุงไกรวงศ์. เอกสารการสอนชุดวิชาการยศาสตร์ Ergonomics54109, ข้อมูลจาก <https://stoubook.stou.ac.th> (วันที่สืบค้นข้อมูล 15 ตุลาคม 2564)
- [3] Sanders, M.M, and McCormick, E.J. "Human Factors in Engineering & Design 7th ed. McGraw-Hill, NY. Chapter 8," 225-231, 1993
- [4] สุทธิ ศรีบูรพา. การออกแบบงานและสถานงาน, การศาสตร์และจิตวิทยาในการทำงาน, 2549
- [5] เพลินศักดิ์ อุบลหล้า และเพ็ญสุตา พันฤทธิ์ดำ. การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์งานยกกว่าเครื่องดับเพลิงแบบยกหัวชนิดผงเคมีแห้งเพื่อตรวจเช็คคุณภาพผงเคมีภายในถัง, การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 59, 10-12 มีนาคม 2564, กรุงเทพมหานคร. ประเทศไทย.
- [6] สิทธิระพี ช่างหมื่นไวย และสุภารัตน์ วงศ์วีระเกียรติ. 2564. "การออกแบบอุปกรณ์ตรวจสอบถึงดับเพลิงเคมีแห้งเพื่อลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของผู้ตรวจสอบถึงดับเพลิง." วารสารการยศาสตร์ไทย, ปีที่4, ฉบับที่ 1: 28-36.
- [7] ทรงวิทย์ บุราสิทธิ์. การปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดความเสี่ยงด้านการยศาสตร์จากการยกกล่องฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ กรณีศึกษา บริษัท เอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด, ข้อมูลจาก http://www.est.or.th/ErgoCon2016_Proceedings/docs/F03.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 8 กรกฎาคม 2564)
- [8] นิธิเศรษฐ เพชรจ. การลดความเสี่ยงของการบาดเจ็บจากการทำงานโดยหลักการทางกายศาสตร์ กรณีศึกษา สหกรณ์กองทุนสวนยางพิจิตร จำกัด, ข้อมูลจาก<http://kb.psu.ac.th/psukb/handle/2010/8930> (วันที่สืบค้นข้อมูล 5 ตุลาคม 2564)
- [9] The ergonomics center of North Carolina. Neutral posture and Work zone. ข้อมูลจาก <https://www.ergocenter.ncsu.edu> (วันที่สืบค้น 20 ตุลาคม 2564)

การหาระดับอะไหล่คงคลังที่เหมาะสมสำหรับโรงไฟฟ้าถ่านหินผ่านการจำลองสถานการณ์: กรณีศึกษา

An Inventory Level Determination of Spare Parts for a Coal Power Plant via Simulation:

A Case Study

ศิริพงศ์ อรุณแสงศิลป์ วิภาวี วชิษฐ์ ชุตติกาญจน์ ชุตติภัทรชูมณี อณจ ชัยมณี*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: fenganc@ku.ac.th*

Siripong Aroonsaengsil, Wiphawee Wajeesat, Chutikarn Chutipattarachoomanee, Anot Chaimanee*
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University
E-mail: fenganc@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการจัดการอะไหล่คงคลังของโรงไฟฟ้าถ่านหินกรณีศึกษา วัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อเพื่อให้มีอะไหล่เพียงพอต่อการใช้งานตามระยะเวลาการจัดเก็บที่โรงไฟฟ้ากำหนด โดยเริ่มจากศึกษาพฤติกรรมการเบิกใช้อะไหล่ หลังจากนั้นการจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลถูกนำมาใช้จำลองพฤติกรรมเคลื่อนไหวของอะไหล่โดยใช้การแจกแจงเชิงประจักษ์มาสร้างตัวเลขสุ่ม การจำลองสถานการณ์ยังถูกนำมาใช้วิเคราะห์ปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่ที่ถูกเสนอภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการสำหรับอะไหล่แต่ละชนิด ในงานวิจัยเสนอการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อ 4 แบบ และจุดสั่งซื้อใหม่ 3 จุด ทำให้ได้สถานการณ์ทั้งหมด 12 สถานการณ์ ผลการทดลองพบว่าปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่ที่ถูกเลือกทำให้มีอะไหล่ในปริมาณที่เพียงพอต่อการใช้งานอ้างอิงจากสถิติการเบิกใช้ในอดีต และชี้ให้เห็นว่าสามารถลดต้นทุนเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดการอะไหล่แบบเดิม

คำสำคัญ: ความต้องการไม่แน่นอน, การลดอะไหล่คงคลัง, การจำลองสถานการณ์

Abstract

This research studies the inventory management of spare parts for a coal power plant as a case study. The objective is to determine a policy in order to have enough spare parts for use in the specified period by the power plant. This study begins with an examination of the behavior of spare parts requisitions. After that, Monte Carlo simulations are used to simulate the movement of the parts by using empirical distributions to generate random numbers. The simulation is applied to analyze the proposed order quantities and reorder points under the uncertainty of demand for each part. The research proposes 4 order quantities and 3 reorder points, resulting in a total of 12 scenarios. The experiments show that the selected order quantity and reorder point resulted in a sufficient quantity for use based on usage statistics and indicate that the cost can be reduced from a current inventory policy.

Keywords: Uncertain demand, Inventory reduction, Simulation

1. บทนำ

การบริหารจัดการของคลังให้มีปริมาณที่เหมาะสมและต้นทุนต่ำ นั้นเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการจัดการการผลิต กล่าวคือหาก ปริมาณของคลังน้อยเกินไปส่งผลให้เกิดการขาดแคลน (Stock Out) ทำให้ระบบการทำงานหยุดชะงักเกิดความสูญเสียในรูปแบบต้นทุนค่า เสียโอกาส (Opportunity Cost) ในอีกทางหนึ่งหากมีมากเกินไป ความ ต้องการจะนำไปสู่ของคลังที่ไม่เคลื่อนไหว (Dead Stock) และเกิด ความสูญเสียในรูปแบบต้นทุนจม (Sunk Cost)

โรงไฟฟ้าถ่านหินกรณีศึกษาเห็นความสำคัญของการบริหารจัดการ ะโหล่งคลังของระบบขนถ่ายถ่านหิน ซึ่งเป็นกระบวนการที่สำคัญใน การนำวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในปัจจุบันมูลค่าการถือ ครอบอะไหล่ทั้งหมดมีค่าสูงถึงประมาณ 400 ล้านบาท และเล็งเห็นว่ามี แนวโน้มจะกลายเป็นต้นทุนจมในอนาคต ทั้งนี้อะไหล่แต่ละชนิดมี พฤติกรรมการถูกเรียกใช้ไม่แน่นอนและแตกต่างกัน เพื่อรองรับการ ซ่อมบำรุงหากมีการเสียหายของเครื่องจักร โรงไฟฟ้าจึงต้องการวิเคราะห์ เพื่อหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม จุดสั่งซื้อใหม่ ที่สอดคล้องกับ พฤติกรรมการเบิกใช้อะไหล่ โดยมีแนวคิดที่ต้องมีอะไหล่เพียงพอต่อ ความต้องการเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดระบบขนถ่ายถ่านหินเกิดความเสียหาย และหยุดชะงักจนส่งผลเสียต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตาม ต้องไม่ทำให้เกิดภาวะอะไหล่ล้นคลัง (Over Stock) นำไปสู่การเกิด ต้นทุนจมในอนาคต ดังนั้นโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาจึงต้องการหาวิธีการ จัดการอะไหล่คลังให้มีความเหมาะสมทั้งด้านปริมาณและช่วงเวลา การสั่งซื้อที่สอดคล้องกับพฤติกรรมการเบิกใช้อะไหล่ในอดีต และ ชี้ให้เห็นต้นทุนที่ลดลงจากระบบการสั่งซื้อปัจจุบัน

งานวิจัยนี้ใช้การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลร่วมกับทฤษฎีการ หาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด เพื่อหาปริมาณการจัดการอะไหล่คลัง ให้เพียงพอต่อการใช้งาน รวมถึงหาช่วงเวลาการสั่งซื้อที่เหมาะสม ลดโอกาสการเกิดต้นทุนในลักษณะต่างๆ ให้น้อยลง อีกทั้งยังสามารถ เรียกใช้งานได้อย่างคล่องตัวและป้องกันการเกิดความเสียหายต่อระบบ ขนถ่ายถ่านหินที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยรวม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลสามารถนำไปใช้ตัดสินใจ เพื่อวิเคราะห์ปัญหาของคลัง ภายใต้ความไม่แน่นอน [1] และสามารถ ดำเนินการผ่าน Spreadsheet [2] การจำลองสถานการณ์ถูกนำไปใช้ใน งานวิจัยเกี่ยวกับสินค้าคงคลัง ได้แก่ การวางแผนการจัดการสินค้าคง คลัง [3] โดยการเขียนมาโครใน Spreadsheet เพื่อเพิ่มระดับบริการ และลดสินค้าค้างส่ง (Backorder) การพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์ ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) เพื่อลดต้นทุนสำหรับระบบ สินค้าคงคลังแบบรายการเดี่ยวในระบบของคลังสำหรับการผลิต ขั้นตอนที่เคยถูกทำโดย [4] [5] ใช้เพื่อวางแผนการจัดการสินค้าคงคลัง ของสินค้าวันหมดอายุ ผลการวิจัยพบว่าระบบที่มีการหมุนเวียนสินค้า แบบเข้าที่หลังออกก่อนมีค่าเฉลี่ยผลกำไรต่ำกว่าการหมุนเวียนสินค้า แบบเข้าก่อนออกก่อน [6] แก่ปัญหาของคลังในร้านขายจักรยานเพื่อ

เปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดจากหลายนโยบายที่นำเสนอ [7] หานโยบาย เดิมเติมสำหรับอะไหล่ในงานซ่อมบำรุงเชิงแก้ไขของระบบเครื่องจักรที่ มีการชำรุดหลายรูปแบบ ผลการวิจัยพบว่าปริมาณการเติมเติมที่เสนอมี ต้นทุนต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการเติมเติมอื่นๆ [8] จำลอง สถานการณ์หาปริมาณการสั่งซื้อเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดของล้นคลังและ การขาดแคลนภายใต้ข้อจำกัดพื้นที่จัดเก็บ

จากการทบทวนงานวิจัย ทำให้เห็นว่าการหานโยบายจัดการขอ คลังร่วมกับการจำลองสถานการณ์โดยใช้ Spreadsheet [5-8] นั้นทำ ให้เห็นการเคลื่อนไหวของของคลังได้ชัดเจนและสามารถวิเคราะห์ การกำหนดนโยบายการสั่งซื้อที่ส่งผลกระทบต่อระบบการจัดการของคลัง ก่อนจะดำเนินการปรับปรุงระบบงานจริง งานวิจัยนี้จึงใช้การจำลอง สถานการณ์ผ่าน Spreadsheet เพื่อจำลองพฤติกรรมการใช้อะไหล่ และ เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่ที่เหมาะสม สอดคล้องกับอุปสงค์ในช่วงเวลานำ เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีความ เสี่ยงจะเกิดภาวะวัสดุขาดแคลน [9] ทั้งนี้เพื่อให้มีอะไหล่ในปริมาณที่ เพียงพอต่อการใช้งานสำหรับระบบขนถ่ายถ่านหิน

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 สัญลักษณ์ที่ใช้และคำอธิบาย

L	=	ช่วงเวลานำ
SL	=	ระดับการให้บริการ
Q	=	ปริมาณการสั่งซื้อ
ROP	=	จุดสั่งซื้อ
D_i	=	ปริมาณเบิกใช้อะไหล่ในปีที่ i
X_i	=	สัดส่วนปริมาณการเบิกใช้ในปีที่ i
D	=	ค่าคาดหวังความต้องการอะไหล่ต่อปี
T	=	รอบเวลาการสั่งซื้อ
\bar{M}	=	ปริมาณความต้องการอะไหล่เฉลี่ยในช่วงเวลานำ
M_{max}	=	ปริมาณความต้องการสูงสุดในช่วงเวลานำ
\bar{d}	=	ความต้องการเฉลี่ยต่อคาบเวลา
$P(S)$	=	ความน่าจะเป็นของการขาดแคลนอะไหล่

3.2 กระบวนการคัดเลือกอะไหล่กรณีศึกษา

เนื่องจากโรงไฟฟ้ากรณีศึกษามีจำนวนอะไหล่ทั้งหมดมากกว่า 4,000 ชนิด ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการคัดเลือกอะไหล่ โดยมีขั้นตอน คือ 1) ไม่พิจารณาอะไหล่สำหรับชิ้นส่วนที่มีอัตราการเสียหายต่ำ เมื่อคัด กรองอะไหล่กลุ่มนี้ออกจากการพิจารณา สามารถลดขอบเขตจำนวน อะไหล่เหลือเพียง 3,000 กว่าชนิด 2) ใช้เกณฑ์มูลค่าของการเบิกใช้ ของอะไหล่ โดยทำการวิเคราะห์และคัดเลือกจากมูลค่าอะไหล่ที่ส่งผล กระทบต่อระบบขนถ่ายถ่านหินสูงคิดเป็น 80 เปอร์เซ็นต์ของมูลค่าการ เบิกใช้อะไหล่ทั้งหมดในคลัง สามารถลดจำนวนอะไหล่ลงเหลือเพียง 530 ชนิด 3) พิจารณาอะไหล่ที่ปริมาณการสั่งซื้อปัจจุบันมีจำนวนมาก แต่มีปริมาณการเบิกใช้ค่อนข้างน้อย จากแผนการสั่งซื้อแบบเดิมอะไหล่

กลุ่มนี้มีแนวโน้มกลายเป็นอะไหล่ล้นคลัง ทำให้เหลืออะไหล่ที่ต้องพิจารณา 28 ชนิด 4) ตรวจสอบความสมบูรณ์ของข้อมูลและพฤติกรรม การเบิกใช้อะไหล่ โดยคัดเลือกอะไหล่ที่มีข้อมูลการรับเข้า – เบิกใช้ ที่ครบถ้วน มีการหมุนเวียนระหว่างการรับเข้าและเรียกใช้สม่ำเสมอ เหลือเป็นอะไหล่กรณีศึกษา 3 ชนิด ได้แก่ ลูกกลิ้งลำเลียง ปากกายืดคาน และสลักเกลียวกัลวาไนซ์ แทนด้วยรหัส A062 , A054 และ A072 ตามลำดับ

3.3 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลของการจัดการอะไหล่คงคลังจากพฤติกรรมการเบิกใช้ในอดีต

เมื่อเลือกอะไหล่กรณีศึกษาแล้ววิเคราะห์การเบิกใช้ในอดีตพบว่าไม่สอดคล้องกับการแจกแจงความน่าจะเป็นใดเลย จึงพิจารณาพฤติกรรม การเบิกใช้ เพื่อสร้างการแจกแจงเชิงประจักษ์ (Empirical Distribution) สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณความน่าจะเป็นของรูปแบบการเบิกใช้อะไหล่รหัส A062 ได้ดังรูปที่ 1

ปี	สัดส่วนของการเบิกใช้	จำนวนเดือนปีที่มีการเบิกใช้	ความถี่การเบิกใช้/เดือน	ปริมาณการเบิกใช้	ความถี่ของปริมาณการเบิกใช้	ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์			
2562	0.5909	1	2	1	2	$0.5909 \times (1/12) \times (2/2) = 0.0492$			
			0	0	2	$0.5909 \times (2/12) = 0.0985$			
			3	0	3	$0.5909 \times (2/12) \times (3/6) = 0.0492$			
			2	1	1	$0.5909 \times (2/12) \times (1/6) = 0.0164$			
			5	1	1	$0.5909 \times (2/12) \times (1/6) = 0.0164$			
			7	1	1	$0.5909 \times (2/12) \times (1/6) = 0.0164$			
			4	1	6	$0.5909 \times (2/12) \times (6/8) = 0.0739$			
			2	2	2	$0.5909 \times (2/12) \times (2/8) = 0.0246$			
			7	1	13	$0.5909 \times (2/12) \times (13/14) = 0.0914$			
			7	7	1	$0.5909 \times (2/12) \times (1/14) = 0.0070$			
			3	3	3	$0.5909 \times (3/12) \times (3/3) = 0.1477$			
			2563	0.2727	1	2	1	2	$0.2727 \times (1/12) \times (2/2) = 0.0227$
						4	1	4	$0.2727 \times (1/12) \times (4/4) = 0.0227$
5	1	4				$0.2727 \times (1/12) \times (4/5) = 0.0182$			
2	2	1				$0.2727 \times (1/12) \times (1/5) = 0.0045$			
1	1	1				$0.2727 \times (2/12) \times (1/2) = 0.0227$			
2	1	1				$0.2727 \times (2/12) \times (1/2) = 0.0227$			
3	9	9				$0.2727 \times (3/12) \times (9/9) = 0.0682$			
2564	0.1364	3	0	0	-	$0.1364 \times (4/12) = 0.0909$			
			1	3	3	$0.1364 \times (3/12) \times (3/3) = 0.0341$			
			2	3	3	$0.1364 \times (3/12) \times (3/6) = 0.0170$			
6	0	0	-	$0.1364 \times (3/12) \times (3/6) = 0.0170$					
0	-	-	-	$0.1364 \times (6/12) = 0.0682$					

รูปที่ 1 แผนภูมิต้นไม้แสดงการคำนวณความน่าจะเป็นของพฤติกรรมการเบิกใช้อะไหล่รหัส A062

จากรูปที่ 1 สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณความน่าจะเป็นของความถี่ในการเบิกใช้อะไหล่รหัส A062 คือ ในปี 2562 มีสัดส่วนการเบิกใช้อะไหล่เท่ากับ 0.5909 กิ่งที่ 2 นับความถี่ที่เกิดขึ้นใน 1 ปี พบว่ามีค่าความถี่ของการเบิกใช้ 2* เดือนต่อปี โดยแต่ละเดือนมีการเบิกใช้ 4* ครั้ง รวมเป็น 8 ครั้งการเบิกใช้ แบ่งเป็น 6 ครั้งที่มีการเบิกใช้ 1 ชิ้น และ 2 ครั้ง ที่มีการเบิกใช้ 2 ชิ้น สามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้นได้ คือ $0.5909 \times (2/12) \times (6/8) = 0.0739$ (เบิกใช้ 1 ชิ้น) และ $0.5909 \times (2/12) \times (2/8) = 0.0246$ (เบิกใช้ 2 ชิ้น) เมื่อได้รูปแบบความน่าจะเป็นแล้ว จากนั้นนำไปสร้างตารางแสดงความน่าจะเป็นของการเบิกใช้ใน Microsoft Excel แสดงดังส่วนที่ 2 ในรูปที่ 2

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นตาราง 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 แสดงค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการจัดซื้อ การกำหนดปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่ ส่วนที่ 2 ความน่าจะเป็นของการเบิกใช้ และส่วนที่ 3 เป็นรูปแบบการจำลองสถานการณ์ การเบิกใช้ การสั่งซื้อ รวมถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น สามารถแสดงสูตรการคำนวณและคำอธิบายในตารางที่ 1 และ 2

3.4 การตรวจสอบความถูกต้องและทวนสอบความเสมือนจริงของแบบจำลอง

เมื่อได้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ทำการประมวลผลผ่าน Yasai Add-in โดยนำค่าของปริมาณการเบิกใช้ที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ มาทำการเปรียบเทียบการเบิกใช้ที่เกิดขึ้นจริงและคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนตามสมการที่ (1)

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อน} = \frac{|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าจากแบบจำลอง}|}{\text{ค่าจริง}} \times 100\% \quad (1)$$

งานวิจัยนี้กำหนดค่าความคลาดเคลื่อนต้องไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ [10] จึงจะยอมรับว่าระบบจำลองนี้เป็นตัวแทนของระบบจริงได้ การทวนสอบความเสมือนจริงจะประมวลผล 12 สถานการณ์ สถานการณ์ละ 100 รอบการทำซ้ำ ผลการทดลองพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของทุกสถานการณ์สำหรับอะไหล่ A062, A054 และ A072 มีค่า 1.67%, 2.10% และ 3.54% ตามลำดับ ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เป็นตัวแทนของกระบวนการปัจจุบันได้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1				พารามิเตอร์นำเข้า (เบิกใช้)								ค่าพารามิเตอร์นำเข้า				
2	ปี	ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดไฟไหม้	ความถี่ของการเกิด/ปี (เดือน)	ความถี่ของการเกิด/เดือน (ครั้ง)	ปริมาณการเบิกใช้	ความถี่ของจำนวนการเบิกใช้ต่อค่า	ความน่าจะเป็น				ต้นทุนสินค้าต่อชิ้น (P)	2,919.00				
3	2562	0.5909	2	0	0	-	0.0985	ส่วนที่ 2			ต้นทุนการสั่งซื้อต่อครั้ง (C)	5,116.11		ส่วนที่ 1		
4			3	1	1	3	0.1477					ต้นทุนถือครอง/ชิ้น/คาบเวลา (h)	0.06			
5			1	2	1	2	0.0492					ช่วงเวลานำ (L)	69.00			
6			2	3	1	3	0.0492					ระดับบริการลูกค้า (SL)	-			
7			2	3	2	1	0.0164					นโยบายวัสดุคงคลัง				
8			2	3	5	1	0.0164					ปริมาณสินค้าคงคลัง (Q)	400			
9			2	3	7	1	0.0164					จุดสั่งซื้อ (ROP)	50			
10			2	4	1	6	0.0739									
11			2	4	2	2	0.0246									
12			2	7	1	13	0.0915									
13			2	7	7	1	0.0070									
14	2563	0.2727	4	0	0	-	0.0909									
15			2	1	1	1	0.0227									
16			2	1	2	1	0.0227									
17			1	2	1	2	0.0227									
18			3	3	1	9	0.0682									
19			1	4	1	4	0.0227									
20			1	5	1	4	0.0182									
21			1	5	2	1	0.0045									
22	2564	0.1364	6	0	0	-	0.0682									
23			3	1	1	3	0.0341									
24			3	2	1	3	0.0170									
25			3	2	2	3	0.0170									
26																
27	ปี	จำนวน (ไตรมาส)	คาบเวลา (เดือน)	จำนวนครั้งการเบิกใช้	ปริมาณการเบิกใช้	ระดับวัสดุคงคลัง	สถานะการสั่งซื้อ	ปริมาณการรับเข้า	ปริมาณการโอนเข้า	ปริมาณอะไหล่ขาดแคลน	ปริมาณวัสดุคงคลัง	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับวัสดุคงคลัง	ค่าใช้จ่ายสั่งซื้อ	ค่าใช้จ่ายรวม		
28																
29	2561	0	0	0	0	400	-	400	0	0	400	1167600	24	5116.11	1172740.11	
30				1	2	2	398	-	0	0	398	0	23.88	0	23.88	
31	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	
32																
33																
34																
35																
36	รวม			59	81	319		400	0	0	319	1167600	777.36	5116.11	1173493.47	

รูปที่ 2 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์การจัดการอะไหล่คงคลังจากพฤติกรรมการเบิกใช้ในอดีตของอะไหล่รหัส A062

ตารางที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์และตัวแปรของส่วนที่ 1

พารามิเตอร์/ตัวแปร	ตำแหน่งเซลล์	คำอธิบาย
ต้นทุนสินค้าต่อชิ้น (P)	M2	ราคาต้นทุนอะไหล่ต่อหน่วย
ต้นทุนการสั่งซื้อต่อครั้ง (C)	M3	ราคาต้นทุนการสั่งซื้อต่อครั้ง
ต้นทุนถือครอง/ชิ้น/คาบเวลา (h)	M4	ราคาต้นทุนการถือครองต่อชิ้น
ช่วงเวลานำ (L)	M5	ช่วงเวลาในการนำส่งอะไหล่ (วัน)
ระดับบริการลูกค้า (SL)	M6	ระดับบริการลูกค้า
ปริมาณสั่งซื้อ (Q)	M9	ปริมาณการสั่งซื้ออะไหล่ต่อครั้ง
จุดสั่งซื้อ (ROP)	M10	จุดสั่งซื้อ

ตารางที่ 2 สูตรและคำอธิบายการคำนวณความน่าจะเป็นของการเบิกใช้ส่วนที่ 2 และรูปแบบการจำลองสถานการณ์ส่วนที่ 3

เซลล์	สูตร	คัดลอกไปยังเซลล์	คำอธิบาย
A3:A25	-	-	ปีที่เกิดพฤติกรรมการเบิกใช้ (ปี 2562 ถึง 2564)
B3	=52/88	-	สัดส่วนค่าอุปสงค์ปี 2562 ต่อ ค่าอุปสงค์ทั้งหมด
B14	=24/88	-	สัดส่วนค่าอุปสงค์ปี 2563 ต่อ ค่าอุปสงค์ทั้งหมด
B22	=12/88	-	สัดส่วนค่าอุปสงค์ปี 2564 ต่อ ค่าอุปสงค์ทั้งหมด
C3:C13	-	-	จำนวนเดือนที่เกิดความถี่การใช้ต่อเดือน ในปี 2562
C14:C21	-	-	จำนวนเดือนที่เกิดความถี่การใช้ต่อเดือน ในปี 2563
C22:C25	-	-	จำนวนเดือนที่เกิดความถี่การใช้ต่อเดือน ในปี 2564
D3:D13	-	-	ความถี่ของการเกิดอุปสงค์ต่อเดือน ในปี 2562 (ครั้ง)
D14:D21	-	-	ความถี่ของการเกิดอุปสงค์ต่อเดือน ในปี 2563 (ครั้ง)
D22:D25	-	-	ความถี่ของการเกิดอุปสงค์ต่อเดือน ในปี 2564 (ครั้ง)
E3:E13	-	-	ปริมาณการเบิกใช้ในแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปี 2562
E14:E21	-	-	ปริมาณการเบิกใช้ในแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปี 2563
E22:E25	-	-	ปริมาณการเบิกใช้ในแต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในปี 2564
F3:F13	-	-	ความถี่ของจำนวนการเบิกใช้แต่ละค่าในปี 2562
F14:F21	-	-	ความถี่ของจำนวนการเบิกใช้แต่ละค่าในปี 2563
F22:F25	-	-	ความถี่ของจำนวนการเบิกใช้แต่ละค่าในปี 2564
G3	=(C3/12)*B3	-	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเบิกใช้ในปี 2562

ตารางที่ 2 (ต่อ)

เซลล์	สูตร	คัดลอกไปยังเซลล์	คำอธิบาย
G4	= $(F4/(D4*C4))*(C4/12)*B\$3$	G5:G13	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเบี่ยงใช้ในปี 2562
G14	= $(C14/12)*B14$	-	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเบี่ยงใช้ในปี 2563
G15	= $(F15/(D15*C15))*(C15/12)*B\14	G16:G21	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเบี่ยงใช้ในปี 2563
G22	= $(C22/12)*B22$	-	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเบี่ยงใช้ในปี 2564
G23	= $(F23/(D23*C23))*(C23/12)*B\22	G24:G25	ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการเบี่ยงใช้ในปี 2564
A29:O29	-	-	ค่าพารามิเตอร์ในคาบเวลาดังต้น
A30:A65	-	-	ช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ (ปี)
B30:B65	-	-	ช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ (ไตรมาส)
C30:C65	-	-	ช่วงเวลาที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ (เดือน)
D30	=genTable(\$D\$3:\$D\$13,\$G\$3:\$G\$13)	D31:D41	จำนวนครั้งการเบี่ยงใช้ในปี 2562
D42	=genTable(\$D\$14:\$D\$21,\$G\$14:\$G\$21)	D43:D53	จำนวนครั้งการเบี่ยงใช้ในปี 2563
D54	=genTable(\$D\$22:\$D\$25,\$G\$22:\$G\$25)	D55:D65	จำนวนครั้งการเบี่ยงใช้ในปี 2564
D66	=simOutput(SUM(D29:D65),D27)	-	จำนวนครั้งการเบี่ยงใช้ทั้งหมดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองสถานการณ์
E30	=IFS(D30=0,0,D30=1,1,D30=2,2,D30=3,genTable(\$E\$6:\$E\$9,\$G\$6:\$G\$9)+genTable(\$E\$6:\$E\$9,\$G\$6:\$G\$9)+genTable(\$E\$6:\$E\$9,\$G\$6:\$G\$9),D30=4,genTable(\$E\$10:\$E\$11,\$G\$10:\$G\$11)+...+genTable(\$E\$10:\$E\$11,\$G\$10:\$G\$11)+genTable(\$E\$10:\$E\$11,\$G\$10:\$G\$11),D30=7,genTable(\$E\$12:\$E\$13,\$G\$12:\$G\$13)+...+genTable(\$E\$12:\$E\$13,\$G\$12:\$G\$13)+...+genTable(\$E\$12:\$E\$13,\$G\$12:\$G\$13))	E31:E41	ปริมาณการเบี่ยงใช้ของปี 2562 โดยจะทำการสุ่มแสดงค่าตามตารางค่าความน่าจะเป็นของปริมาณการเบี่ยงใช้แต่ละค่า และหากจำนวนครั้งการเบี่ยงใช้มีค่ามากกว่า 1 ให้ทำการรวมค่าที่สุ่มได้ออกมา
E42	=IFS(D42=0,0,D42=1,genTable(\$E\$15:\$E\$16,\$G\$15:\$G\$16),D42=2,2,D42=3,3,D42=4,4,D42=5,genTable(\$E\$20:\$E\$21,\$G\$20:\$G\$21)+genTable(\$E\$20:\$E\$21,\$G\$20:\$G\$21)+genTable(\$E\$20:\$E\$21,\$G\$20:\$G\$21)+genTable(\$E\$20:\$E\$21,\$G\$20:\$G\$21)+genTable(\$E\$20:\$E\$21,\$G\$20:\$G\$21))	E43:E53	ปริมาณการเบี่ยงใช้ของปี 2563 โดยจะทำการสุ่มแสดงค่าตามตารางค่าความน่าจะเป็นของปริมาณการเบี่ยงใช้แต่ละค่า และหากจำนวนครั้งการเบี่ยงใช้มีค่ามากกว่า 1 ให้ทำการรวมค่าที่สุ่มได้ออกมา
E54	=IFS(D54=0,0,D54=1,1,D54=2,genTable(\$E\$24:\$E\$25,\$G\$24:\$G\$25)+genTable(\$E\$24:\$E\$25,\$G\$24:\$G\$25))	E55:E65	ปริมาณการเบี่ยงใช้ของปี 2564 โดยจะทำการสุ่มแสดงค่าตามตารางค่าความน่าจะเป็นของปริมาณการเบี่ยงใช้แต่ละค่า และหากจำนวนครั้งการเบี่ยงใช้มีค่ามากกว่า 1 ให้ทำการรวมค่าที่สุ่มได้ออกมา
E66	=simOutput(SUM(E29:E65),E27)	-	ปริมาณการเบี่ยงใช้ทั้งหมดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองสถานการณ์
F30	= $(F29+H29+I29)-E30$	F31:F65	ระดับวัสดุคงคลัง ณ ช่วงเวลาหนึ่ง
F66	=simOutput(F65,F27)	-	ระดับวัสดุคงคลัง ณ ช่วงเวลาสุดท้าย
G30	-	G31:G65	สถานการณ์สั่งซื้อ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง
H30	=IF(F30>\$M\$12,0,\$M\$10-F30)	H31:H65	ปริมาณการรับเข้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง
H66	=simOutput(SUM(H29:H65),H27)	-	ปริมาณการรับเข้าทั้งหมดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองสถานการณ์
I30	-	I31:I65	ปริมาณการโอนเข้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง
I66	=simOutput(SUM(I29:I65),I27)	-	ปริมาณการโอนเข้าทั้งหมดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองสถานการณ์
J30	=IF(F30>0,0,-F30)	J31:J65	ปริมาณอะไหล่ขาดแคลน ณ ช่วงเวลาหนึ่ง
J66	=simOutput(SUM(J29:J65),J27)	-	ปริมาณอะไหล่ขาดแคลนทั้งหมดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองสถานการณ์
M30	=\$M\$4*K30	M31:M65	ค่าใช้จ่ายในการถือครอง ณ ช่วงเวลาหนึ่ง
M66	=simOutput(SUM(M29:M65),M28)	-	ค่าใช้จ่ายในการถือครองทั้งหมดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองสถานการณ์
N30	=IF(H30=0,0,\$M\$3)	N31:N65	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อ ณ ช่วงเวลาหนึ่ง
N66	=simOutput(SUM(N29:N65),N27)	-	ค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อทั้งหมดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองสถานการณ์
O30	=SUM(L30:N30)	O31:O65	ค่าใช้จ่ายรวม ณ ช่วงเวลาหนึ่ง
O66	=simOutput(SUM(O29:O65),O27)	-	ค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในช่วงเวลาที่ทำการจำลองสถานการณ์

3.5 กระบวนการสั่งซื้ออะไหล่

เนื่องจากการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) เป็นการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่าถือครองกับค่าใช้จ่ายต่อหนึ่งครั้งการสั่งซื้อ แต่เนื่องจากคลังเก็บอะไหล่มีขนาดใหญ่และเป็นคลังของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาเอง ส่งผลให้มีค่าถือครองที่ต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายต่อหนึ่งครั้งของการสั่งซื้อ ส่งผลให้ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดและรอบเวลาการสั่งที่เหมาะสมมีค่าที่สูง ซึ่งไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการลดโอกาสในการเกิดต้นทุนจมนงานวิจัยนี้จึงพัฒนากระบวนการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่ มีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 ขั้นตอนการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม

หาค่าคาดหวังความต้องการต่อปี จากสมการ (2)

$$Expected\ demand(D) = \sum_{i=1}^N D_i X_i \quad (2)$$

นำมาพิจารณาระยะเวลาการสั่งซื้อบนพื้นฐานของค่าคาดหวังที่คำนวณได้ แบ่งเป็นการสั่งซื้ออะไหล่ทุก 2, 1.5, 1 และ 0.5 ปี (2 ปี คือ ระยะเวลาการเก็บอะไหล่สูงสุดที่โรงไฟฟ้ากำหนด) สามารถคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อได้จากสมการ (3)

$$Q = DT \quad (3)$$

3.5.2 ขั้นตอนการหาจุดสั่งซื้อใหม่

เนื่องจากโรงไฟฟ้ากรณีศึกษาไม่มีข้อมูลจำนวนอะไหล่ขาดแคลนที่ส่งผลกระทบต่อระบบสายพานทำให้กระบวนการผลิตไฟฟ้าหยุดทำงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการวิเคราะห์หาต้นทุนการขาดแคลน นำไปสู่การหาจุดสั่งซื้อใหม่ ในงานวิจัยจึงพิจารณาหาจุดสั่งซื้อใหม่ตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดระดับบริการ (SL) คือ 90, 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์ และหาความน่าจะเป็นของการขาดแคลนอะไหล่จากสมการที่ (4)

$$P(S) = 1 - \left(\frac{SL}{100} \right) \quad (4)$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าปริมาณความต้องการในช่วงเวลานำ เพื่อนำมาพิจารณาจุดสั่งซื้อใหม่

ขั้นตอนที่ 2.1 คำนวณค่าปริมาณความต้องการเฉลี่ยในช่วงเวลานำ (\bar{M}) โดยคำนวณจากสมการที่ (5)

$$\bar{M} = \bar{d}L \quad (5)$$

แล้วไปทำใน**ขั้นตอนที่ 3**

ขั้นตอนที่ 2.2 หาปริมาณความต้องการสูงสุดในช่วงเวลานำ (M_{max}) แทนการใช้ค่าปริมาณความต้องการเฉลี่ย (\bar{M}) แล้วกำหนดจุดสั่งซื้อใหม่ที่สัมพันธ์กับสมการ $P(S)=1-POISSON(ROP, M_{max}, cum)$ สิ้นสุดกระบวนการ

ขั้นตอนที่ 3 หาจุดสั่งซื้อใหม่โดยสร้างความน่าจะเป็นของการขาดแคลนจากการกระจายตัวแบบบิวส์ของที่ค่าเฉลี่ย \bar{M}

ขั้นตอนที่ 4 จำลองสถานการณ์ โดยกำหนดค่า Q (4 ระดับ) และ ROP (3 ระดับ) ทำให้เกิดสถานการณ์ทั้งหมด 12 สถานการณ์

ตารางที่ 3 สถานการณ์ปรับปรุง

สถานการณ์ที่	ปริมาณการสั่งซื้อ	จุดสั่งซื้อใหม่ $P(S)=1-POISSON(ROP, \bar{M}, cum)$
1	$Q = 2.0D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.90$
2	$Q = 1.5D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.90$
3	$Q = 1.0D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.90$
4	$Q = 0.5D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.90$
5	$Q = 2.0D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.95$
6	$Q = 1.5D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.95$
7	$Q = 1.0D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.95$
8	$Q = 0.5D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.95$
9	$Q = 2.0D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.99$
10	$Q = 1.5D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.99$
11	$Q = 1.0D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.99$
12	$Q = 0.5D$	ROP ที่ $P(S) \leq 1 - 0.99$

จำลองสถานการณ์ทั้ง 12 สถานการณ์ โดยกำหนดค่า Q และ SL (สัมพันธ์กับ ROP) ใช้คำสั่งบน Microsoft Excel

=simParameter({2.0D, 1.5D, 1.0D, 0.5D},"Q",1) : กำหนด Q

=simParameter({90,95,99},"SL",2) : กำหนด ROP

แล้วพิจารณาต่อในขั้นตอนที่ 4.1 และ 4.2

ขั้นตอน 4.1 เลือกสถานการณ์ที่ปริมาณอะไหล่คงเหลือต่ำที่สุด และต้องไม่มีปริมาณอะไหล่ขาดแคลน สิ้นสุดกระบวนการ แต่หากมีอะไหล่ขาดแคลน ไปพิจารณา **ขั้นตอน 4.2**

ขั้นตอน 4.2 เลือกสถานการณ์ที่มีอะไหล่ขาดแคลนต่ำที่สุด แล้วไปทำ**ขั้นตอนที่ 2.2**

4. ผลการวิจัย

จากกระบวนการสั่งซื้ออะไหล่ 12 สถานการณ์ นำไปจำลองสถานการณ์โดยผ่าน Yasai Add-in ในแต่ละสถานการณ์ทำการประมวลผล 100 รอบการทำซ้ำ ผลการจำลองสถานการณ์ของอะไหล่กรณีศึกษาแสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งพบว่า สถานการณ์ที่ 4 ของอะไหล่ A062 มีระดับอะไหล่คงคลังคงเหลือต่ำสุด (19.32 ชิ้น) แต่มีการขาดแคลนอะไหล่เกิดขึ้น (18.90 ชิ้น) สถานการณ์ที่ 9 จึงเป็นนโยบายที่ถูกเลือกเนื่องจากปริมาณอะไหล่ขาดแคลนมีค่าเข้าใกล้ 0 (0.10 ชิ้น) ส่วนอะไหล่ A054 และ A072 ไม่มีสถานการณ์ใด

เหมาะสมเนื่องจากทุกสถานการณ์ยังมีอะไหล่ขาดแคลน จึงเลือกสถานการณ์ที่มีจำนวนอะไหล่ขาดแคลนต่ำที่สุด ได้แก่ สถานการณ์ที่ 9 สำหรับอะไหล่ A054 (อะไหล่ขาดแคลน = 8.85 ชิ้น) สถานการณ์ที่ 5 และ 9 สำหรับอะไหล่ A072 (อะไหล่ขาดแคลน = 3.35 ชิ้น) ไปคำนวณจุดสั่งซื้อใหม่ตามขั้นตอนที่ 2.2 ทั้งนี้สามารถกำหนดนโยบายที่เหมาะสมของอะไหล่ทั้ง 3 ชนิด สำหรับงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 5 สรุปได้ว่านโยบายการจัดการอะไหล่คงคลังที่เพียงพอกับปริมาณความต้องการอะไหล่ที่เกิดขึ้นอ้างอิงจากสถิติการเบิกใช้ในอดีต และไม่เกิดปริมาณอะไหล่ขาดแคลน คือ $Q=78, ROP=15$ (A062), $Q=233, ROP=146$ (A054) และ $Q=95, ROP=73$ (A072) สามารถลดต้นทุนการจัดการอะไหล่ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนต่อหน่วย ต้นทุนจัดเก็บ ต้นทุนการสั่งซื้อ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการสั่งซื้อแบบเดิมจาก 1,173,473 บาท เหลือ 435,447 บาท (คิดเป็น 62.89%) 86,150 บาท เหลือ 65,112 บาท (คิดเป็น 24.42%) และ 39,103 บาท เหลือ 15,718 บาท (คิดเป็น 59.80%) สำหรับอะไหล่รหัส A062, A054 และ A072 ตามลำดับ

จากสถานการณ์ที่ถูกเลือกจะสังเกตได้ว่าปริมาณอะไหล่คงเหลือไม่ได้เป็นปริมาณต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับสถานการณ์อื่น แต่เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าสถานการณ์อื่นๆ มีปริมาณอะไหล่ขาดแคลนเกิดขึ้น อีกทั้งยังไม่สามารถคำนวณค่าความสูญเสียได้ใน

งานวิจัยนี้ ดังนั้นการเสนอแนะนโยบายจึงกำหนดจากการมีอะไหล่เพียงพอต่อการใช้งานและไม่เกิดการขาดแคลน ตามที่โรงผลิตไฟฟ้ากรณีศึกษากำหนด

ทั้งนี้จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่านโยบายที่ให้ปริมาณสินค้าขาดแคลนต่ำ คือ การสั่งซื้ออะไหล่ $Q = 2D$ ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ว่าการสั่งซื้อ $Q = 1.5D, Q = 1.0D$ และ $Q = 0.5D$ ไม่เหมาะสมกับปริมาณการเบิกใช้และช่วงเวลานำ นั่นคือเมื่ออะไหล่ถูกเบิกใช้ มีโอกาสที่อะไหล่ในคลังจะต่ำกว่าจุดสั่งซื้อในปริมาณมาก (อะไหล่ในคลังเหลือน้อยมาก) ประกอบกับช่วงเวลานำที่ค่อนข้างนาน ทำให้มีโอกาสสูงที่จะมีการขาดแคลนเกิดขึ้น ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ต่อที่ $Q = 2D$ พบว่าจุดสั่งซื้อใหม่ที่ระดับการให้บริการ 99% มีปริมาณการขาดแคลนสินค้าต่ำที่สุด เนื่องจากมีอะไหล่เผื่อไว้มากสอดคล้องกับเวลานำที่นาน

จากผลการวิจัยยังชี้ให้เห็นว่าการกำหนดนโยบายการสั่งซื้อที่เสนอ ซึ่งพัฒนาขึ้นเพื่อจัดการกับลักษณะการเบิกใช้จริงและแสดงเป็นการแจกแจงเชิงประจักษ์ สามารถลดต้นทุนการจัดการอะไหล่ลงได้มาก ทั้งนี้หากสร้างการแจกแจงเชิงประจักษ์กับอะไหล่ประเภทอื่นๆ แล้วนำกระบวนการสั่งซื้อที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้ มีแนวโน้มจะทำให้ต้นทุนการจัดการอะไหล่ในภาพรวมของโรงงานกรณีศึกษาลดลง และสามารถลดมูลค่าของต้นทุนจมที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

ตารางที่ 4 ผลการจำลองสถานการณ์

สถานการณ์ที่	A062 ($D=38.91, \bar{M}=8$)		A054 ($D=116.32, \bar{M}=22$)		A072 ($D=47.35, \bar{M}=14$)	
	ระดับอะไหล่คงคลังเฉลี่ย	ปริมาณอะไหล่ขาดแคลน	ระดับอะไหล่คงคลังเฉลี่ย	ปริมาณอะไหล่ขาดแคลน	ระดับอะไหล่คงคลังเฉลี่ย	ปริมาณอะไหล่ขาดแคลน
1	57.06	0.14	104.49	13.05	57.95	3.55
2	38.81	1.74	85.65	25.50	47.61	9.56
3	30.54	4.31	51.90	36.41	36.81	16.57
4	19.32	18.90	7.88	111.69	19.29	70.70
5	59.40	0.14	104.49	13.05	57.95*	3.35*
6	39.99	1.74	85.65	25.50	47.61	9.56
7	31.71	3.53	51.90	36.41	36.81	16.57
8	20.12	16.27	10.24	101.69	19.53	70.70
9	60.18**	0.10**	111.48*	8.85*	57.95*	3.35*
10	41.76	1.16	85.65	25.50	49.77	7.40
11	33.27	2.16	55.41	32.23	38.73	9.42
12	22.72	11.91	10.24	101.69	21.93	58.09

*สถานการณ์ที่มีปริมาณอะไหล่ขาดแคลนต่ำสุด, **สถานการณ์ที่ถูกเลือกเป็นสถานการณ์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 5 สรุปผลการจำลองสถานการณ์หลังปรับปรุงจุดสั่งซื้อใหม่ของอะไหล่แต่ละชนิด

นโยบาย	รหัสอะไหล่		
	A062	A054	A072
ปริมาณการสั่งซื้อ (ชิ้น)	78**	233**	95**
จุดสั่งซื้อ พิจารณา \bar{M} (ชิ้น)	15**	34	23
จุดสั่งซื้อ พิจารณา M_{max} (ชิ้น)	-	146**	73**, 79
ระดับอะไหล่คงคลังเฉลี่ยเฉลี่ย (ชิ้น)	60.18	242.73	110.55**, 112.20
ปริมาณอะไหล่ขาดแคลนเฉลี่ย (ชิ้น)	0.10	0.00	0.00

** ปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่ที่ถูกกำหนดเป็นนโยบายการสั่งซื้อสำหรับอะไหล่แต่ละชนิด, อะไหล่ A072 เลือกนโยบายที่ปรับปรุงจากสถานการณ์ที่ 5

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการจัดการอะไหล่คลังของโรงไฟฟ้า ถ่านหินกรณีศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีอะไหล่เพียงพอต่อการใช้งานและลดโอกาสในการเกิดต้นทุนจมนที่มากจนเกินไปในการจัดการวัสดุคลัง การจำลองสถานการณ์แบบมอนติคาร์โลถูกนำมาใช้จำลองพฤติกรรมเคลื่อนไหวของอะไหล่โดยใช้การแจกแจงเชิงประจักษ์มาสร้างตัวเลขสุ่มและใช้หานโยบายการสั่งซื้อใหม่ที่เหมาะสมภายใต้ความไม่แน่นอนของพฤติกรรมความต้องการของอะไหล่แต่ละชนิด ในงานวิจัยนี้คัดเลือกอะไหล่ 3 ชนิด มาใช้เป็นกรณีศึกษา ผลการจำลองสถานการณ์พบว่า อะไหล่ A062 (A054, A072) มีปริมาณการสั่งซื้อและจุดสั่งซื้อใหม่เท่ากับ 78 ชิ้น และ 15 ชิ้น (233 ชิ้น และ 146 ชิ้น, 95 ชิ้น และ 73 ชิ้น) ตามลำดับ สถานการณ์ดังกล่าวทำให้ปริมาณอะไหล่เพียงพอกับการใช้งานสอดคล้องกับความไม่แน่นอนของการเบิกใช้ และนโยบายที่ต้องการเก็บอะไหล่ไม่เกิน 2 ปี ของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษา

6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้อยู่บนพื้นฐานทฤษฎีของคลังภายใต้ความไม่แน่นอนของความต้องการ ซึ่งการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด จุดสั่งซื้อใหม่จะอยู่บนพื้นฐานของต้นทุนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ต้นทุนต่อหน่วย ต้นทุนจัดเก็บ ต้นทุนการสั่งซื้อ และต้นทุนการขาดแคลนสินค้า แต่อุปสรรคที่เกิดขึ้นในงานวิจัย คือ ยังไม่สามารถวิเคราะห์และหาต้นทุนการขาดแคลนอะไหล่ได้ ซึ่งการหาต้นทุนส่วนนี้สำหรับชิ้นส่วนอะไหล่เป็นสิ่งที่ทำได้ยาก และเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดจุดสั่งซื้อใหม่ที่เหมาะสมตามบริบทของต้นทุนที่เกิดขึ้น โดยต้องวิเคราะห์ว่าสามารถขาดแคลนอะไหล่ได้กี่ชิ้นจึงจะส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของระบบที่พิจารณา ซึ่งต้องใช้เวลาศึกษาวิจัยและเก็บข้อมูลที่ยาวนานเกินขอบเขตสำหรับงานวิจัยนี้ จากอุปสรรคที่เกิดขึ้นนี้ทำให้เกิดสิ่งที่น่าสนใจศึกษาและวิจัยต่อไปในอนาคต ได้แก่

1) การวิเคราะห์เพื่อหาต้นทุนสินค้าขาดแคลน ทำให้การกำหนดจุดสั่งซื้อใหม่เหมาะสมตามบริบทของความเสียหายที่เกิดขึ้น

2) การวิเคราะห์ปริมาณการจัดเก็บร่วมกับความน่าเชื่อถือของระบบขนถ่ายถ่านหิน

จาก 2 ข้อเสนอแนะข้างต้น เป็นการเพิ่มเงื่อนไขการพิจารณาเพื่อหาโยบายการสั่งซื้อ และการทบทวนค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอาจทำให้การคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม จุดสั่งซื้อใหม่เปลี่ยนแปลงไปจากการศึกษาในงานวิจัยนี้ และครอบคลุมบริบทที่สำคัญของโรงไฟฟ้ากรณีศึกษามากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Muralidhar K. Monte Carlo Simulation, Encyclopedia of Information Systems, Vol3, University of Kentucky, Elsevier Science (USA). 2003.

- [2] J. Zabawa and B. Mielczarek, Tools of Monte Carlo Simulation in Inventory Management Problems, Proceedings of 21st European Conference on Modelling and Simulation 2007, June 4th - 6th, 2007, Prague, Czech Republic.
- [3] วันชนก สุวรรณรัตน์. แบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมตารางคำนวณสำหรับการวางแผนความต้องการการกระจายสินค้า, สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา), บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ, 2551
- [4] J.M Betts. 2014. "Minimizing Inventory Costs for Capacity-Constrained Production using a Hybrid Simulation Model." *Procedia Computer Science*, 29, 759-768.
- [5] วิสุทธิ์ สุพิทักษ์ และสุธีรา ภูลีเวคินท์. 2560. "การวางแผนบริหารจัดการสินค้าคงคลังโดยใช้หลักการจำลองสถานการณ์กรณีเติมเต็มสินค้าร่วมกันภายใต้สถานการณ์สินค้ามีกำหนดวันหมดอายุ และการหมุนเวียนสินค้าแบบเข้าหลังออกก่อน." *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 5, ฉบับที่ 2: 22-32.
- [6] I.G.A Widyana, A.D. Tanudireja and HM. Teng. 2017. "Optimal Inventory Policy for Stochastic Demand Using Monte Carlo Simulation and Evolutionary Algorithm." *International Journal of Industrial Research and Applied Engineering*, Vol. 2(1): 8-11.
- [7] มนตรี ฉัตรจินดากุล. การวิเคราะห์นโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังประเภทอะไหล่สำหรับการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขที่มีการชำรุดหลายรูปแบบ, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2562.
- [8] M. Fadhil and E. Suryani, Inventory Planning for XYZ Mart using EOQ and Monte Carlo, Proceedings of International Conference on Management of Technology, Innovation, and Project (MOTIP) 2020, July 25th 2020, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- [9] R.J. Tersine. 1994. Principles of inventory and materials management, 4th Edition, Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- [10] นิรมล โขขุนทด และ ไอลดา ตีร์รัตน์ตระกูล, การปรับปรุงประสิทธิภาพการเดินรถโดยสารสวัสดิการภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โดยใช้ระบบจีพีเอสและการจำลองสถานการณ์, หนังสือรวมบทความการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 52: สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์, 4-7 กุมภาพันธ์ 2557, กรุงเทพฯ.

การลดของเสียในกระบวนการผลิต กรณีศึกษาในโรงงานถุงมืออย่างตัวอย่าง Defect Reduction in a Manufacturing Process: A Case Study in Glove Manufacturing

รุษณา สินธวาลัย¹ อภิญญา หนูพริ้ม นภิสพร มีมงคล
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: runchana.s@psu.ac.th*

Runchana Sinthavalai¹, Apinya Nuprim, Napisphon Meemongkol
Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
E-mail: runchana.s@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตถุงมือไม่ให้เกินร้อยละ 1.5 โดยประยุกต์ใช้หลักการของซิกซ์ ซิกมา ศึกษาสภาพปัญหาและกำหนดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตสูงสุด 3 อันดับแรก ประกอบด้วย ปัญหาถุงมือฉีกขาด ปัญหาถุงมือขอบม้วนไม่สมบูรณ์ และปัญหาถุงมือบวมเสียรูป จากนั้นวัดสภาพปัญหา โดยศึกษากระบวนการผลิตทั้งหมด และระดมสมองร่วมกับทีมงานเพื่อวิเคราะห์รากเหง้าของปัญหา จากนั้นประเมินหาความรุนแรงและโอกาสในการเกิดขึ้นของแต่ละสาเหตุ พบว่าสาเหตุหลักในการเกิดปัญหาฉีกขาด คือ ตัวปรับความแรงลมของเครื่องถอดถุงมือผ่านการใช้งานมานานเกินรอบอายุการใช้งาน และไม่มีการควบคุมระยะเวลาการป้อนน้ำยางให้ครอบคลุมตั้งแต่เริ่มผสมจนใช้หมดถึง สาเหตุหลักในการเกิดปัญหาขอบม้วนไม่สมบูรณ์ คือ คอยล์ร้อนของตู้อบ 3 ผ่านการใช้งานมานานเกินรอบอายุการใช้งาน และลูกกลิ้งม้วนขอบ (Roller) ขาดการตรวจเช็คและบำรุงรักษา ปัญหาสุดท้ายบวมเสียรูป สาเหตุหลักในการเกิดปัญหา คือ คอยล์ร้อนของตู้อบวัลคาไนซ์ ผ่านการใช้งานมานานเกินรอบอายุการใช้งาน และไม่มีการกำหนดระยะเวลาการป้อนน้ำยางในกรณีผลิตเร่งด่วน จากการวิเคราะห์สาเหตุหลักแล้วได้มีการปรับปรุงแก้ไขและควบคุมโดยเน้นการตรวจสอบสภาพและบำรุงรักษาเชิงป้องกัน จากผลการปรับปรุงในระยะเวลา 3 เดือน พบว่าสัดส่วนของเสียจากกระบวนการผลิตถุงมือมีค่าลดลงจากร้อยละ 1.698 เหลือร้อยละ 1.463 เมื่อเทียบระดับ Sigma level สามารถปรับปรุงจากระดับ 3.626 σ ไปที่ระดับ 3.682 σ

คำสำคัญ: หลักการซิกซ์ ซิกมา ถุงมืออย่าง ปรับปรุงกระบวนการ

Abstract

The objective of this research was to reduce the number of defect in glove manufacturing process, targeting as no more than 1.5%, by applying methodology of six sigma. Studying the current situation and defining the problem indicated top three of defects as tear defect, incomplete bead defect and swell defect. Next, the measure phase was conducted by studying flow process of gloves production. Brainstorming with the team contributed to find out root causes. These causes were assessed their severity and occurrence scores. The main causes of tear defect were excess lifetime of air regulator and no latex compound maturation time control from beginning of mixing until used up. The main causes of incomplete bead defect were excess lifetime of coil of drying oven 3 and lack of checking and maintenance of beading. Lastly, the main causes of swell defect were excess lifetime of coil of vulcanizing oven and no defined latex compound maturation time in case of urgent production. Consequently, after improving and controlling main causes by preventive maintenance concept for a period of 3 months, the defect was reduced from 1.698% to 1.463%. In other words, a sigma level was improved from 3.626 σ up to 3.682 σ .

Keywords: Six sigma, Glove, Process improvement

1. บทนำ

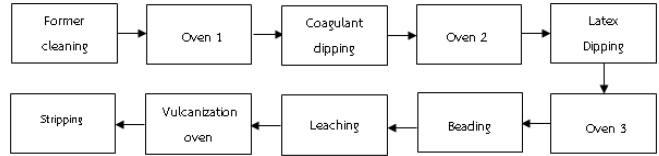
ในปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกถุงมือยางเป็นอันดับ 2 ของโลกรองจากประเทศมาเลเซีย โดยความต้องการใช้ถุงมือยางธรรมชาติของโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากความเจริญเติบโตในด้านการแพทย์และวิทยาศาสตร์ ส่งผลให้มีการผลิตถุงมือยางเพิ่มขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการที่สูงขึ้นและมีคู่แข่งในตลาดที่สูงขึ้นเช่นกัน [1] อีกทั้งยังมีการพัฒนาเครื่องจักรให้มีความทันสมัยเพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตให้มากยิ่งขึ้น จึงทำให้คู่แข่งสามารถลดต้นทุนการผลิตต่อหน่วยและมีคุณภาพที่ดีตามความต้องการของลูกค้ามากกว่า ปัจจัยสำคัญเหล่านี้ส่งผลให้คู่แข่งมีความได้เปรียบในเรื่องของราคาสินค้าและด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทำให้เป็นผู้นำในการกำหนดราคาในตลาด ส่งผลให้ผู้ผลิตถุงมือยางของไทยไม่สามารถขึ้นราคาได้ ดังนั้นผู้ผลิตจึงต้องมีการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้สูงสุด เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้าได้ตรงเวลาเพื่อให้ลูกค้ามีความพึงพอใจสูงสุดและเชื่อมั่นในคุณภาพของผลิตภัณฑ์

โรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษาเป็นผู้ผลิตถุงมือยางชนิดแบบมีแม่พิมพ์และไม่มีแม่พิมพ์ โดยผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ ซึ่งผู้ผลิตมุ่งเน้นที่จะผลิตผลิตภัณฑ์เกรด A เพื่อส่งมอบผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพให้กับลูกค้าให้ลูกค้ามีความพึงพอใจสูงสุด ซึ่งในการผลิตพบปัญหาในด้านคุณภาพที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดต้นทุนการผลิตสูงขึ้น จากประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต่ำ ทำให้สูญเสียวัตถุดิบ แรงงาน และเวลา ผู้ผลิตไม่สามารถส่งของให้กับลูกค้าได้ทันเวลา เนื่องจากต้องนำผลิตภัณฑ์กลับมาซ่อม (Rework) จึงเกิดความล่าช้าในการส่งมอบ อีกทั้งยังเกิดข้อร้องเรียนจากลูกค้า เนื่องจากคุณภาพไม่ได้ตามมาตรฐานที่ลูกค้าต้องการ ซึ่งเป็นการทำลายความเชื่อมั่นของลูกค้าที่มีต่อบริษัทผู้ผลิต ดังนั้นบริษัทจึงได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์คุณภาพให้มีประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์เกรด A มากกว่าร้อยละ 98.50 ต่อเดือน หรือมีของเสียได้ไม่เกินร้อยละ 1.5 ต่อเดือน โดยจากข้อมูล 12 เดือนย้อนหลังก่อนทำการวิจัยมีของเสียเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.698 ซึ่งไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่บริษัทกำหนด ผู้วิจัยจึงเห็นถึงความสำคัญของปัญหาการเกิดข้อบกพร่องในกระบวนการผลิต และมีความสนใจที่จะศึกษาเพื่อที่จะหาสาเหตุของปัญหาข้อบกพร่องต่างๆที่เกิดขึ้น โดยการประยุกต์ใช้แนวทางการดำเนินงานของซิกซ์ ซิกม่า (Six sigma)

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการผลิตถุงมือยาง

การผลิตถุงมือยางในประเทศไทยส่วนใหญ่ใช้วัตถุดิบเป็นน้ำยางชั้น 60% โดยในการผลิตมีขั้นตอนที่สำคัญคือกระบวนการจุ่ม (Dipping process) หรือกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยการจุ่มเบ้ามือลงในน้ำยางคอมพาวด์ (Compound Latex) ซึ่งประกอบด้วยน้ำยางชั้นและสารเคมี โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานในแต่ละขั้นตอนดังรูปที่ 1 [2]



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตถุงมือยางสำหรับการตรวจโรค

2.2 แนวทางซิกซ์ ซิกม่า

งานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้แนวทางการดำเนินงานของซิกซ์ซิกม่า ในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการ โดยดำเนินการตามขั้นตอน DMAIC 5 ขั้นตอน ดังนี้ [3]

การกำหนดสภาพปัญหา (Define Phase) เป็นการหาคำตอบว่าอะไรคือปัญหาหลักของโครงการ ทำไมต้องแก้ไขปัญหานี้ ใครคือลูกค้าของกระบวนการนี้ อะไรคือความต้องการของลูกค้า รวมทั้งสภาพปัจจุบันของกระบวนการ สินค้า หรือบริการมีสถานะเป็นเช่นใด รวมถึงท้ายที่สุดการต้องเข้าใจว่าจะได้รับประโยชน์อะไรจากการปรับปรุงในโครงการนี้ ในขั้นตอนนี้ประกอบด้วยกิจกรรมหลักของการคัดเลือกทีมงาน การจัดทำข้อเสนอโครงการ การศึกษาโครงการที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการวางแผนโครงการโดยภาพรวม

การวัดสาเหตุของปัญหา (Measure Phase) การดำเนินงานในขั้นตอนนี้คือการศึกษาระบวนการอย่างละเอียด การระบุปัจจัย (parameter) ที่สำคัญ การกำหนด critical-to-quality (CTQ) การวางแผนเก็บข้อมูล ลงมือเก็บข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่สำคัญของกระบวนการ

การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis Phase) เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยเฉพาะสาเหตุรากเหง้า เพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไปคือการแนวทางในการแก้ไข

การปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase) เป็นขั้นตอนการค้นหามาตรการแก้ไขที่อาจหลากหลาย และตัดสินใจเลือกเพื่อนำสู่การทดลองปฏิบัติ หากผลลัพธ์ออกมาเป็นไปในทิศทางที่น่าพึงพอใจจะนำสู่การใช้จริง แต่หากยังไม่ได้ตามเป้าหมายอาจต้องเลือกแนวทางอื่นเพื่อนำสู่การทดลองปฏิบัติต่อไป

การควบคุม (Control Phase) เป็นการวางมาตรการเพื่อให้มั่นใจว่าแนวทางการแก้ไขปัญหานั้นได้ถูกนำไปปฏิบัติอย่างถูกต้อง เหมาะสม และต่อเนื่อง โดยผู้ปฏิบัติไม่กลับไปใช้แนวทางเดิมๆ ที่อาจนำมาซึ่งปัญหาเดิมๆ

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อภิชาติ สติธรรม [4] ปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ตามแนวความคิดของซิกซ์ ซิกม่า มีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอนตามหลักการ DMAIC โดยเริ่มจากการระบุปัญหา ขั้นตอนการวัดเพื่อหาสาเหตุของปัญหา โดยเริ่มจากการสร้างแผนภูมิการไหล และ นำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา มาทำการระดมสมอง โดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล และแผนผังต้นไม้เพื่อ

ทำการวิเคราะห์หาโอกาสในการเกิดปัญหา หลังจากได้สรุปปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อปัญหาแล้ว จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา ซึ่งเป็นการพิสูจน์สมมุติฐานว่าเป็นจริงหรือไม่ จึงเข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุงและควบคุมกระบวนการ จากผลการวิจัยพบว่าสามารถลดปัญหา แม่เหล็กไม่ตรงตามตำแหน่งที่กำหนดจากร้อยละ 0.043 เหลือร้อยละ 0.000 ของจำนวนการผลิตทั้งหมด

กัญญรัตน์ วงศ์ชาติ และณฐา คุปต์ชัยเรียม [5] ได้ศึกษาเรื่องการลดปัญหาของเสียในการผลิตเกี่ยวกับหลัก DMAIC โดยเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหา จากการสร้างแผนภูมิพาเรโต พบว่าปัญหาหลักคือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเกินกว่าค่าที่กำหนดของ (ID Over spec) จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการวัดสภาพปัญหา โดยสร้างแผนที่กระบวนการผลิตเพื่อทำการศึกษาปัจจัยและความสัมพันธ์ในแต่ละกระบวนการพบว่าปัญหาชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเกินกว่าค่าที่กำหนดเกิดขึ้นที่กระบวนการกลึง จากนั้นวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนภาพแสดงเหตุและผลโดยการระดมสมอง ซึ่งรากเหง้าของปัญหาที่เกิดขึ้นมี 3 สาเหตุ ได้แก่ อายุการใช้งานของดอกเจาะไม่เหมาะสม ค่าในการปรับตั้งศูนย์เครื่องจักรไม่เหมาะสม และมาตรฐานขั้นตอนการวัดยังไม่ชัดเจน ขั้นตอนการปรับปรุงแก้ไขโดยการออกแบบการทดลองแบบ 2^2 Factorial Design เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของสาเหตุหลักและความแปรปรวนร่วมของแต่ละ factor และใช้การประเมินความสามารถของระบบการวัดแบบข้อมูลวัด (GR&R) และทำการควบคุมกระบวนการต่าง ๆ โดยการกำหนดมาตรฐานการทำงาน เพื่อช่วยในการควบคุมกระบวนการผลิต จากผลการวิจัยพบว่าหลังการปรับปรุงสามารถลดของเสียจากเดิมร้อยละ 3.4 เหลือร้อยละ 0.91 ของปริมาณของเสียทั้งหมด ดังนั้นในการปรับปรุงสามารถลดของเสียได้ถึงร้อยละ 76.47

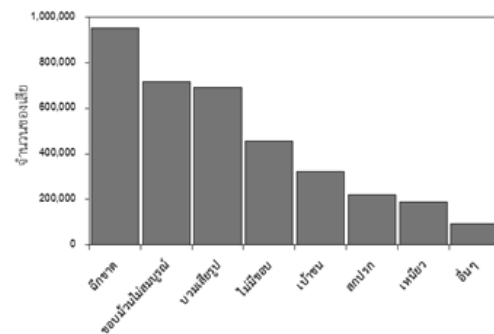
มนตรี มีชัย [6] ศึกษาการลดของเสียในกระบวนการผลิตยางคอมปาวด์ โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการทางซิกส์ ซิกมา เริ่มจากขั้นตอนเลือกปัญหา จากนั้นศึกษาขั้นตอนการไหลขบวนการที่เกิดของเสียมากที่สุด โดยพบว่ามีของเสียเกิดที่กระบวนการผสมสารเคมีจากการวิเคราะห์หาสาเหตุ พบว่าเกิดจากสาเหตุ 2 ประการ ได้แก่ ขนาดวัตถุดิบไม่สม่ำเสมอ และการตกค้างของเศษวัตถุดิบ ขั้นตอนการวิเคราะห์ถึงต้นตอของสาเหตุที่เกิดขึ้น โดยการชี้แจงแผนผังแสดงเหตุและผล จากการระดมสมองของทีมงาน และทำการปรับปรุง โดยมีมีการกำหนดและนำเสนอวิธีการปรับปรุงมาตรฐาน โดยจัดทำลำดับขั้นตอนตามที่มาตรฐานได้กำหนดไว้เพื่อให้เข้าใจถึงความสำคัญและผลที่จะตามมา จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนการควบคุม โดยทำการปรับปรุงแก้ไขปัญหาและควบคุมปัญหาที่เกิดขึ้นทั้ง 2 สาเหตุและนำมาวัดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น ได้แก่ การปรับปรุงมาตรฐานการตรวจรับวัตถุดิบโดยการเพิ่มมาตรฐานข้อกำหนดของขนาด Particle size ไว้ในมาตรฐานการรับเข้าวัตถุดิบและขึ้นทะเบียนการควบคุมข้อบกพร่อง จากผลการวิจัยพบว่าสัดส่วนปริมาณของเสียลดลงจากร้อยละ 0.09 เป็นร้อยละ 0.07 ซึ่งทำให้ต้นทุนลดลง 35,068.40 บาท

การทบทวนวรรณกรรมทั้งหมดทำให้เห็นขั้นตอนการวิจัยตามขั้นตอน DMAIC ที่สามารถนำมาใช้กับงานวิจัยนี้ได้

3. วิธีการวิจัยและผลการวิจัย

3.1 การกำหนดปัญหา

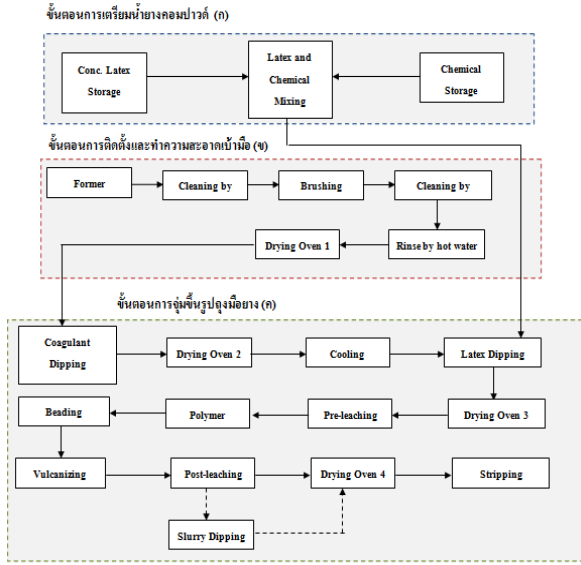
ศึกษาข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต โดยรวบรวมข้อมูลของเสียทั้งหมดย้อนหลัง 2 ปี และจำแนกของเสียแต่ละประเภทนำมาจัดลำดับความสำคัญของปัญหาโดยใช้แผนภูมิแท่ง ดังรูปที่ 2 พบว่าปัญหาถุงมือฉีกขาดเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุด รองลงมาคือปัญหาขอบมันไม่สมบูรณ์และปัญหาบวมเสียรูป ไม่มีขอบ เบ้าชนสกปรก เหนียว และอื่นๆ ตามลำดับ โดยของเสียทุกประเภทล้วนแล้วแต่ทำให้เกิดต้นทุนจากการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพทั้งสิ้น



รูปที่ 2 แผนภูมิแท่งปริมาณของเสียในรอบ 2 ปีของโรงงานกรณีศึกษา

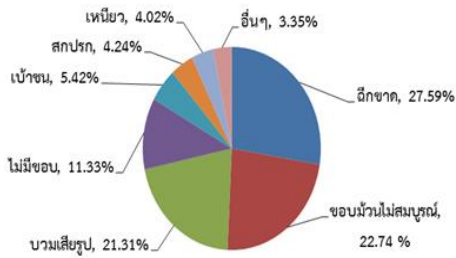
3.2 การวัดสภาพปัญหา

ศึกษากระบวนการผลิตถุงมือยางอย่างละเอียดเพื่อ ช่วยให้ เป็นแนวทางในการวิเคราะห์หาสาเหตุของเกิดของเสียได้ โดยในกระบวนการผลิตถุงมือยางมีรูปแบบการผลิตที่ต่อเนื่อง โดยใช้เทคนิคในการจุ่มขึ้นรูป (Dipping) โดยมีขั้นตอนหลักที่สำคัญคือ ขั้นตอนการเตรียมน้ำยางคอมปาวด์ (ก) ขั้นตอนการติดตั้ง และทำความสะอาดเบ้ามือ (ข) และขั้นตอนการจุ่มขึ้นรูปถุงมือยาง (ค) ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนผังกระบวนการผลิตถุงมือยาง

จากนั้นรวบรวมจำนวนของเสียในระยะเวลา 12 เดือนล่าสุด และนำมาเพื่อยืนยันถึงสภาพปัญหาที่ผู้วิจัยได้มีการกำหนดไว้ พบว่ามีปริมาณการฉีกขาดร้อยละ 27.59 ขอบม้วนไม่สมบูรณ์ร้อยละ 22.74 และบวมเสียรูปร้อยละ 21.31 ซึ่งปริมาณของเสียรวมทั้ง 3 ประเภท มีสัดส่วนที่สูงถึงร้อยละ 71.64 ของของเสียทั้งหมด ดังรูปที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าของเสียที่เกิดขึ้นมากที่สุดในกระบวนการผลิตถุงมือยาง ได้แก่ ปัญหาฉีกขาด ขอบม้วนไม่สมบูรณ์ และบวมเสียรูป โดยมีระดับ O เฉลี่ยเท่ากับ 3.626



รูปที่ 4 แผนภูมิวงกลมของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต 12 เดือนก่อนการทำวิจัย

3.3 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการจัดตั้งทีมงานผู้ที่ปฏิบัติงานโดยตรง และเกี่ยวข้องกับปัญหานั้น อีกทั้งเป็นผู้มีความรู้และมีประสบการณ์ในกระบวนการผลิตถุงมือยางที่เพียงพอมาระดมสมองวิเคราะห์ถึงรากเหง้าของสาเหตุ ด้วยเครื่องมือแผนภาพแสดงเหตุและผล (Cause and effect matrix) โดยการใช้หลักการ 4 M คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) วิธีการ (Method) โดยการวิเคราะห์ที่แผนผังเหตุและผล แสดงดังรูปที่ 5 - 7

จากนั้นประชุมร่วมกับทีมงานเพื่อประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ของทุกปัจจัยที่ได้ระบุไว้ ซึ่งเป็นการประเมินระดับความรุนแรงของผลกระทบ (Severity: S) และโอกาสที่จะเกิดขึ้น (Occurrence: O) โดยอ้างอิงจากเกณฑ์การประเมินที่กำหนดขึ้น เพื่อให้เหมาะสมกับโรงงานกรณีศึกษา ดังแสดงตารางเกณฑ์ในตารางที่ 1 และ 2

ผู้ประเมินประกอบด้วยผู้จัดการฝ่ายผลิต ผู้จัดการฝ่ายวิศวกรรม และผู้จัดการฝ่ายคอมพาวด์ โดยให้ทั้ง 3 ท่านทำการประเมินค่า S และ O ของแต่ละสาเหตุ แล้วจึงนำทั้งสองค่ามาคูณกัน จากนั้นจึงนำค่าที่ได้จากทั้ง 3 ท่านมารวมกัน โดยผลรวมแสดงในตารางที่ 3-5 ของปัญหา ฉีกขาด ปัญหาขอบม้วนไม่สมบูรณ์ และปัญหาเสียรูป ตามลำดับ จากนั้นเลือกสาเหตุที่คะแนนสูงสุด 2 อันดับแรกมาทำการแก้ไขปรับปรุงก่อนเพื่อพิจารณาผลลัพธ์ในการแก้ไข หากสาเหตุดังกล่าวไม่สามารถแก้ไขได้ หรือเมื่อแก้ไขแล้วของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตไม่ลดลง จะเลือกสาเหตุที่มีความสำคัญลำดับถัดไปมาทำการแก้ไขปรับปรุงต่อไป

ตารางที่ 1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ

คะแนน	ความรุนแรง
5	ส่งผลกระทบต่อปัญหานั้นมากที่สุด
4	ส่งผลกระทบต่อปัญหานั้นมาก
3	ส่งผลกระทบต่อปัญหานั้นปานกลาง
2	ส่งผลกระทบต่อปัญหานั้นน้อย
1	ไม่ส่งผลกระทบต่อปัญหานั้น

ตารางที่ 2 เกณฑ์การประเมินโอกาสที่จะเกิดขึ้น

ความน่าจะเป็นในการเกิดความล้มเหลว	อัตราความล้มเหลวที่เป็นไปได้	ระดับคะแนน
เกิดความเสียหายบ่อยมาก	> 100 ครั้งต่อ 1,000 ชิ้นงาน	5
เกิดความเสียหายถี่	> 20-100 ครั้งต่อ 1,000 ชิ้นงาน	4
เกิดความเสียหายเป็นครั้งคราว	> 5-20 ครั้งต่อ 1,000 ชิ้นงาน	3
เกิดความเสียหายบางครั้ง	> 0.1-5 ครั้งต่อ 1,000 ชิ้นงาน	2
แทบไม่เกิดขึ้นเลย	< 0.1 ครั้งต่อ 1,000 ชิ้นงาน	1

ตารางที่ 3 ผลการประเมินปัญหาฉีกขาด

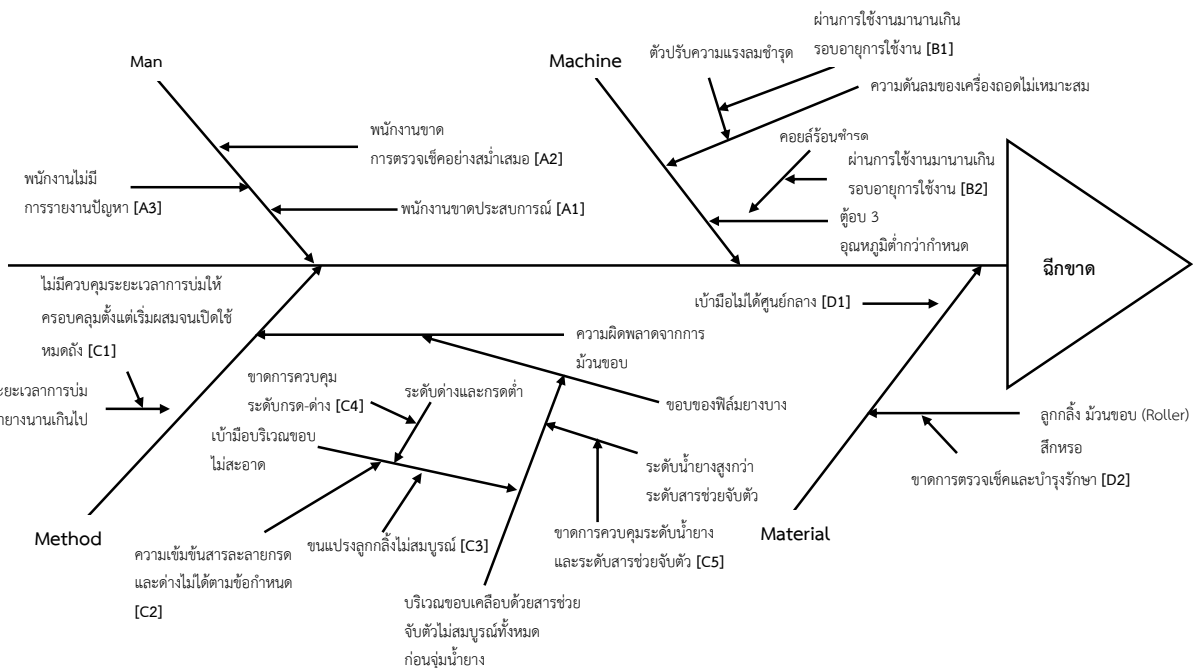
สาเหตุ	คะแนนรวม (S*O)
[A1] พนักงานขาดประสบการณ์	22
[A2] พนักงานขาดการตรวจเช็คอย่างสม่ำเสมอ	17
[A3] พนักงานไม่มีการรายงานปัญหา	14
[B1] ตัวปรับความแรงลมของเครื่องถอดถุงมือผ่านการใช้งานมานานเกินรอบอายุการใช้งาน	40
[B2] คอยล์ร้อนของตู้อบ 3 ผ่านการใช้งานมานานเกินรอบอายุการใช้งาน	29
[C1] ไม่มีการควบคุมระยะเวลาการป้อนให้ครบคลุมตั้งแต่เริ่มผสมจนเปิดใช้หมดถัง	32
[C2] ความเข้มข้นสารละลายกรด-ด่างไม่ได้ตามข้อกำหนด	15
[C3] ขนแปรงของลูกกลิ้งไม่สมบูรณ์	22
[C4] ขาดการควบคุมระดับกรด-ด่าง	20
[C5] ขาดการควบคุมระดับน้ำยาและระดับสารช่วยจับตัว	20
[D1] เบ้ามือไม่ได้อุณหภูมิกลาง	27
[D2] Roll ม้วนขอบขาดการตรวจเช็คและบำรุงรักษา	21

3.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ

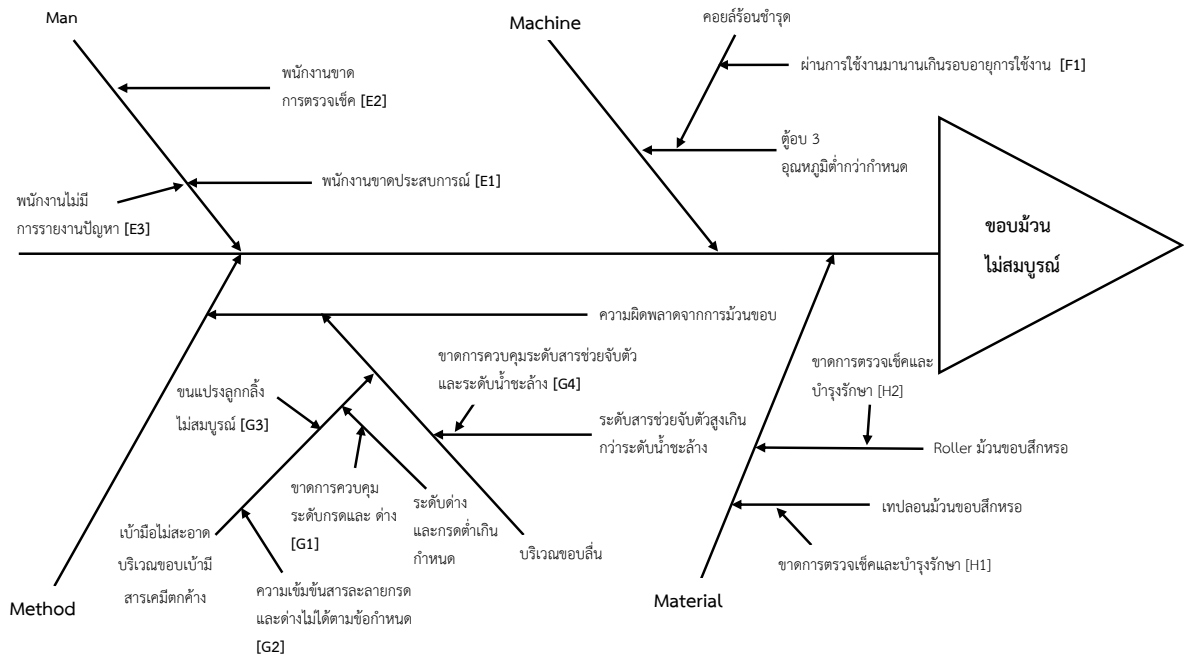
ขั้นตอนนี้จะนำเสนอสาเหตุรากเงาของปัญหาที่มีความสำคัญ 2 อันดับแรกมาทำการปรับปรุงแก้ไข ดังนี้

3.4.1 การปรับปรุงปัญหาฉีกขาด

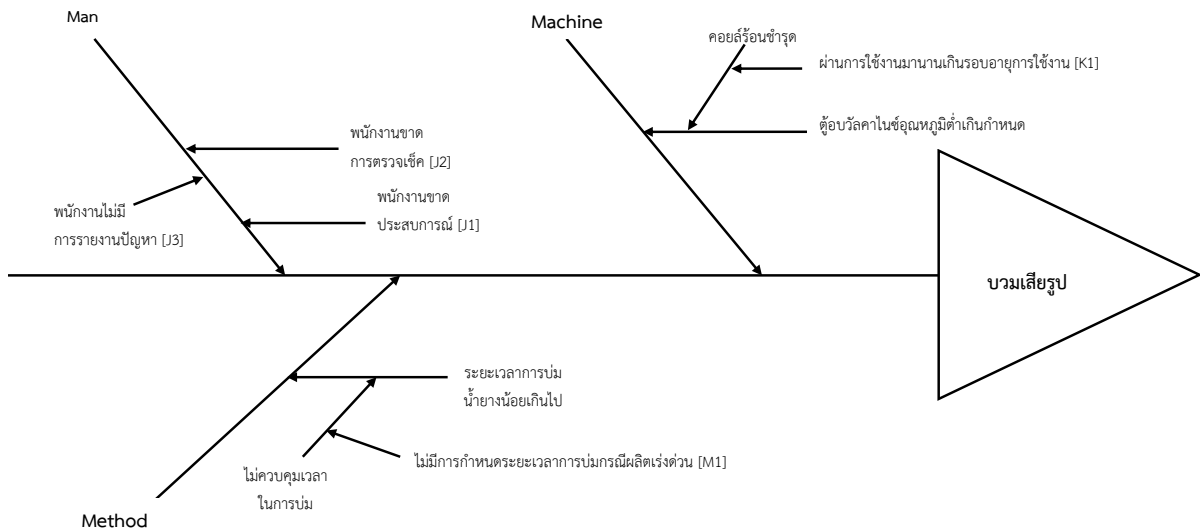
(1) เปลี่ยนตัวควบคุมปรับแรงดันลม (air regulator) ใหม่ให้สามารถปรับหรือควบคุมแรงดันลมได้ตามปกติ จากนั้นจัดทำไปตรวจสอบของเครื่องถอดถุงมือก่อนการเดินเครื่องโดยมีการกำหนดความถี่ในการตรวจสอบรวมทั้งกำหนดความรับผิดชอบให้พนักงานคุมไลน์ผลิตประจำเป็นผู้ตรวจสอบ และจัดทำวิธีการตรวจสอบและปรับตั้งค่าเครื่องจักรก่อนเริ่มใช้งาน เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องจักรอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน อีกทั้งเพื่อให้พนักงานเข้าใจถึงการตรวจสอบและ การปรับตั้งค่าหรือแนวการแก้ไขปัญหาหากพบความผิดปกติ



รูปที่ 5 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหาฉีกขาด



รูปที่ 6 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหาข้อบกพร่องไม่สมบูรณ์



รูปที่ 7 แผนผังก้างปลาวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดปัญหามบวมเสียรูป

ตารางที่ 4 ผลการประเมินปัญหาขอม้วนไม่สมบูรณ์

สาเหตุ	คะแนนรวม (S°O)
[E1] พนักงานขาดประสบการณ์	16
[E2] พนักงานขาดการตรวจเช็ค	16
[E3] พนักงานไม่มีการรายงานปัญหา	10
[F1] คอยล์ร้อนของตู้อบ 3 ผ่านการใช้งานมานานเกินรอบอายุการใช้งาน	56
[G1] ขาดการควบคุมระดับกรด-ด่าง	20
[G2] ความเข้มข้นสารละลายกรด-ด่างไม่ได้ตามข้อกำหนด	15
[G3] ขนแปรงของลูกกลิ้งไม่สมบูรณ์	22
[G4] ขาดการควบคุมระดับน้ำยางและระดับน้ำชะล้าง	20
[H1] เทปลอนม้วนขอบขาดการตรวจเช็คและบำรุงรักษา	32
[H2] Roller ม้วนขอบขาดการตรวจเช็คและบำรุงรักษา	45

(2) ควบคุมระยะเวลาการบ่มน้ำยางให้ครอบคลุมตั้งแต่เริ่มผสมจนเปิดใช้หมดถัง โดยทดลองทำการทดสอบระดับการวัลคาไนซ์ (Chloroform test rate) และอัตราการบวมพอง (Swelling index) ที่ระยะเวลาการบ่มต่างกัน เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานระยะเวลาการบ่ม ให้น้ำยางเกิดการวัลคาไนซ์ที่เหมาะสม พบว่าที่ระยะเวลาการบ่ม 20-36 ชั่วโมง มีค่า CTR อยู่ที่ระดับ 4 และมีอัตราการบวมพองอยู่ที่ร้อยละ 70-90 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมในการใช้งาน ในกรณีน้ำยางที่มีการใช้งานอยู่ในถังจุ่ม (Latex dipping) ระยะเวลาการบ่มน้ำยางเกินกว่า 36 ชั่วโมง พนักงานจะต้องบ่มน้ำยางเก่ากลับสู่ถังผสมทันที จากนั้นใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาจัดทำมาตรฐานการบ่มน้ำยางคอมปาวด์

ตารางที่ 5 ผลการประเมินปัญหาบวมเสียรูป

สาเหตุ	คะแนนรวม (S°O)
[J1] พนักงานขาดประสบการณ์	16
[J2] พนักงานขาดการตรวจเช็ค	14
[J3] พนักงานไม่มีการรายงานปัญหา	6
[K1] คอยล์ร้อนของตู้อบวัลคาไนซ์ผ่านการใช้งานนานเกินรอบอายุการใช้งาน	50
[M1] ไม่มีการกำหนดระยะเวลาการบ่มน้ำยางกรณีผลิตเร่งด่วน	44

3.4.2 การปรับปรุงปัญหาขอม้วนไม่สมบูรณ์

(1) เปลี่ยนคอยล์ร้อนตู้อบ 3 ใหม่เพื่อให้การส่งผ่านความร้อนจากแรงดันสตีมบอยเลอร์เข้าสู่ตู้อบได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังรูปที่ 8

จากนั้นจัดทำใบตรวจสอบของตู้อบโดยมีการกำหนดความถี่ในการตรวจสอบรวมทั้งกำหนดความรับผิดชอบให้พนักงานคุมไลน์ผลิตประจำจะเป็นผู้ตรวจสอบ และจัดทำวิธีการตรวจสอบและ

ปรับตั้งค่าเครื่องจักรก่อนเริ่มใช้งาน เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องจักรอยู่ในสภาพที่พร้อมใช้งาน อีกทั้งเพื่อให้พนักงานเข้าใจถึงการตรวจสอบและการปรับตั้งค่าหรือแนวทางการแก้ไขปัญหาหากพบความผิดปกติ

(2) ตรวจสอบเช็คสภาพเครื่องม้วนขอบก่อนการปฏิบัติงาน โดยจัดทำใบตรวจสอบ พร้อมทั้งจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบเครื่องม้วนขอบก่อนเริ่มใช้งาน



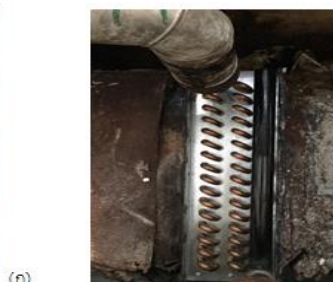
รูปที่ 8 คอยล์ร้อนก่อนการปรับปรุง (ก) และหลังการปรับปรุง (ข)

3.4.3 การปรับปรุงปัญหาบวมเสียรูป

(1) เปลี่ยนคอยล์ร้อนตู้อบวัลคาไนซ์ เพื่อให้การส่งผ่านความร้อนจากแรงดันสตีมบอยเลอร์เข้าสู่ตู้อบได้อย่างมีประสิทธิภาพ อุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ดังรูปที่ 9

จากนั้นจัดทำใบตรวจสอบของตู้อบโดยมีการกำหนดความถี่ในการตรวจสอบรวมทั้งกำหนดความรับผิดชอบให้พนักงานคุมไลน์ผลิตประจำจะเป็นผู้ตรวจสอบ และจัดทำวิธีการตรวจสอบและปรับตั้งค่าเครื่องจักรก่อนเริ่มใช้งาน

(2) กำหนดระยะเวลาการบ่มน้ำยางกรณีผลิตเร่งด่วน โดยทดลองทำการเติมปริมาณสารตัวเร่ง 0%-30% ที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆ ทั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดให้มีการเติมปริมาณสารตัวเร่งไม่เกิน 30% เนื่องจากต้องคำนึงถึงต้นทุนของสารเคมีในกระบวนการผลิตด้วย พบว่าระยะเวลาการบ่มต่ำสุดที่จะสามารถเปิดใช้งานได้คือ 16 ชั่วโมง โดยเติมปริมาณสารตัวเร่งเพิ่ม 20% ของสูตรการผสมปกติ จึงสามารถที่จะเปิดใช้งานน้ำยางคอมปาวด์ใช้งานได้ และจากนั้นกำหนดในมาตรฐานแนวทางการแก้ไขปัญหาการผสมน้ำยางคอมปาวด์



รูปที่ 9 คอยล์ร้อนก่อนการปรับปรุง (ก) และหลังการปรับปรุง (ข)

3.5 การควบคุม

ขั้นตอนนี้เป็น การควบคุมข้อบกพร่องจากสาเหตุต่างๆ ซึ่งจะต้องพยายามควบคุมขั้นตอนหรือ วิธีการทำงานมากขึ้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาซ้ำขึ้นอีก โดยมีการปรับปรุงมาตรฐานการทำงาน และอบรมให้กับ พนักงานอยู่เสมอและต่อเนื่อง เพื่อให้พนักงานมีความเข้าใจ และสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้อง แสดงดังตารางที่ 6

จากแนวทางการดำเนินงานตามขั้นตอน DMAIC ในแต่ละขั้นตอนได้นำไปสู่การนำไปปฏิบัติจริงเป็นระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ค่าเฉลี่ยของของเสีย 12 เดือนก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ร้อยละ 1.698 และมีระดับ σ เท่ากับ 3.626 และ 3 เดือนหลังการปรับปรุง พบว่าของเสียเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 1.463 หรือมีระดับ σ เท่ากับ 3.682 ซึ่ง จะเห็นได้ว่าแนวทางดำเนินการแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพสามารถลด ปริมาณของเสียลงร้อยละ 13.840 โดยทำให้ต้นทุนของเสียลดลง เฉลี่ย 19,038 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็น 228,456 บาทต่อปี

ตารางที่ 6 แนวทางการควบคุมปัจจัยที่ได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

ปัจจัยที่ได้ดำเนินการปรับปรุง	แนวทางการควบคุม
1. เครื่องจักร - เครื่องถอดถุงมือ - ตู้อบ - เครื่องม้วนขอบ	- จัดทำแบบฟอร์มการตรวจเช็คเครื่องจักร (Machine check sheet) - จัดทำมาตรฐานการตรวจสอบตรวจสอบแบบเป็นลำดับขั้นตอน - อบรมให้กับพนักงานคุมเครื่องฝ่ายผลิต
2. ระยะเวลาการบ่มน้ำยาง	- จัดทำมาตรฐานการบ่มน้ำยางคอมปาวด์ - ปรับปรุงมาตรฐานแนวทางการแก้ปัญหาการผสมน้ำยางคอมปาวด์ - อบรมให้กับพนักงานฝ่ายคอมปาวด์

4. สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของถุงมือยางสำหรับการตรวจโรค ซึ่งเกิดของเสียขึ้นในกระบวนการผลิตมีปริมาณสูงกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ นำไปสู่การประยุกต์ใช้แนวทางการดำเนินงานของซิก ซิกม่า (Six sigma) เพื่อที่จะแก้ไขปัญหา โดยปัญหาหลักที่พบมากที่สุดในการบวนการผลิต ได้แก่ ปัญหาถุงมือฉีกขาด ขอบม้วนไม่สมบูรณ์ และบวมเสียรูป มีสัดส่วนของเสียสูงถึงร้อยละ 71.64 ของของเสียทั้งหมด ผู้วิจัยจึงศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหา และหาแนวทางปรับปรุงให้มีปริมาณของเสียลดน้อยลงให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยจากผลการดำเนินงานวิจัยพบว่า ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อปัญหาฉีกขาด คือ ตัวปรับความแรงลมของเครื่องถอดถุงมือผ่านการใช้งานมานานเกินรอบอายุการใช้งาน และ ไม่มีการควบคุมระยะเวลาการบ่มน้ำยางให้ครอบคลุมตั้งแต่เริ่มผสมจนใช้หมดถึง ในขณะที่ปัจจัยหลักที่ส่งผลปัญหาขอบม้วนไม่สมบูรณ์ คือ คอยล์ร้อนของตู้อบ 3 ผ่านการใช้งานมานานเกินรอบอายุการใช้งาน และลูกกลิ้งม้วนขอบ (Roller) ขาดการตรวจเช็คและบำรุงรักษา ทำให้น้ำมันพบปะ ปัจจัยหลักที่ส่งผลปัญหาบวมเสียรูป คือ คอยล์ร้อน

ของอุณหภูมิของตู้อบวัลคาไนซ์ผ่านการใช้งานมานานเกินรอบอายุการใช้งาน และ ไม่มีการกำหนดระยะเวลาการผลิตเร่งด่วน

จากนั้นพิจารณา ร่วมกับทีมงานหาแนวทางการปรับปรุง แก้ไขกระบวนการผลิต หลังจากการปรับปรุงได้ติดตามผล โดยการควบคุมปัจจัยหลักในระยะเวลา 3 เดือน สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย โดยสัดส่วนของเสียจากการบวนการผลิต ถุงมือยาง มีค่าลดลงจากเดิมร้อยละ 1.698 เหลือร้อยละ 1.463 ซึ่งสามารถลดปริมาณของเสียได้ร้อยละ 13.840 หรือลดลงจาก 16,977 ppm เป็น 14,624 ppm และ เมื่อเทียบระดับ sigma level สามารถปรับปรุงจาก ระดับ 3.626 σ ไปที่ระดับ 3.682 σ ซึ่งมีต้นทุนของเสียลดลง เฉลี่ย 19,038 บาทต่อเดือน หรือคิดเป็นต้นทุนของเสียที่ประหยัดไปได้ 228,456 บาทต่อปี

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันพลาสติก, อนาคตถุงมือยางในตลาดโลก, ข้อมูลจาก <http://rubber.oie.go.th/box/Article/42174/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 มกราคม 2563)
- [2] ทนศักดิ์ วัฒนา และศุภักษรณ์ หลิมเฮงฮะ. 2556. "เทคโนโลยีการผลิตถุงมือยางทางการแพทย์." วารสาร Technology production, ฉบับที่ 38: 67-72.
- [3] รัชชานา ลินธวาลัย. การปรับปรุงคุณภาพ, พิมพ์ครั้งที่ 1, ไอคิว มีเดีย, 2560.
- [4] อภิชาติ สถิตธรรม. การปรับปรุงคุณภาพในการผลิตตามแนวทางของซิกซิกม่า กรณีศึกษาบริษัทชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์โดยหลักการ DMAIC. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยราชชมงคลธัญบุรี, กรุงเทพฯ, 2555.
- [5] กัญญรัตน์ วัจนะฮาด และณฐา คุปติษะเรียร. 2557. "การลดปัญหาของเสียในการผลิตเกียรติด้วยหลักการ." วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชชมงคลธัญบุรี, ปีที่ 12, ฉบับที่ 2: 29-41
- [6] มนตรี มีชัย. การลดของเสียในกระบวนการผลิตยางคอมปาวด์ โดยประยุกต์ใช้กระบวนการทางซิกซิกม่า. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559.

**การประยุกต์ใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ใหม่
กรณีศึกษาในโรงงานผลิตรถจักรยานยนต์
Application of FMEA in New Engine Production Line:
A Case Study in Motorcycle Manufacturer**

รณชนา สินธวาลัย, ศิวาภรณ์ สุตจันทร์, นภิสพร มีมงคล
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
E-mail: runchana.s@psu.ac.th*

Runchana Sinthavalai, Siwaporn Sudjan, Napisphon Meemongkol
Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University
E-mail: runchana.s@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้อผิดพลาดในกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ใหม่ของโรงงานกรณีศึกษาโดยใช้ Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) เพื่อให้เกิดการปรับปรุงกระบวนการ โดยจุดมุ่งหวังปลายทางคือการลดข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษากระบวนการผลิตเพื่อระบุประเด็นข้อผิดพลาด (Failure mode) งานวิจัยต้องทำการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมิน 3 มิติ จากนั้นทำการประเมินให้คะแนนประเด็นข้อผิดพลาดในมิติทั้ง 3 อันได้แก่ ความรุนแรง (Severity) โอกาสในการเกิดข้อผิดพลาด (Occurrence) และความสามารถในการตรวจจับ (Detection) เพื่อนำไปคำนวณหาค่า Risk Priority Number (RPN) โดยในงานวิจัยนี้ตกลงร่วมกันกับโรงงานกรณีศึกษาที่จะนำข้อบกพร่องที่มีค่า RPN สูงสุด 5 อันดับแรกไปวิเคราะห์หาสาเหตุแล้วจึงสรุปเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข หลังจากใช้เวลาในการทดสอบหาแนวทางไปสู่การปฏิบัติจริงจึงทำการคำนวณค่า RPN อีกครั้ง พบว่าค่าคะแนน RPN ของทั้ง 5 ข้อบกพร่องมีค่าลดลงจากเดิม โดยข้อบกพร่อง CC2-28 ไม่ได้ตรวจสอบเพลาทไหมมี มีค่าลดลงจาก 900 เหลือ 40 ข้อบกพร่อง CC2-29 ตรวจสอบเพลาทไหมมีผิดพลาด มีค่าลดลงจาก 900 เหลือ 40 ข้อบกพร่อง CC2-6 พนักงานได้รับมลพิษทางเสียง มีค่าลดลงจาก 900 เหลือ 100 ข้อบกพร่อง CC1-2 เพลาช้อเหยียงเป็นรอยขณะตอกลิ้ม มีค่าลดลงจาก 810 เหลือ 36 และข้อบกพร่อง GE7-3 ประกอบกันพู่ซอดสลักรุ่นหลังออกจากเครื่องทดสอบ มีค่าลดลงจาก 540 เหลือ 200 จึงเป็นอันสรุปผลการปรับปรุงของงานวิจัยนี้ว่าสามารถประยุกต์ใช้ FMEA เพื่อลดข้อผิดพลาดหลักในกระบวนการผลิตได้

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ, ข้อผิดพลาด, ปรับปรุงกระบวนการ

Abstract

This research aims to analyze the causes that potentially made process errors in producing new engine by applying FMEA. The ultimate goal is to remove the potential failure modes within the production process. The research starts with studying steps of production and pinpointing the failure modes. The standards for three dimension- assessment are setup before the assessment for each failure mode is performed. Three dimensions composed of Severity, Occurrence, and Detection are evaluated and scored for each failure mode. These three dimensions are calculated as Risk Priority Number (RPN). For this research, top five RPNs are agreed for proposing the improvement and implementing solutions. After implementation, RPNs are recalculated again and shown the results as drop down. Failure mode CC2-28 and CC2-29 show their RPN reductions from 900 to 40. Failure mode CC2-26 shows its RPN reduction from 900 to 100. Failure mode CC1-2 shows its RPN reduction from 810 to 36 and Failure mode GE7-3 shows its RPN reduction from 540 to 200. It could be concluded that the result of this research can reduce the failure modes within the production line.

Keywords: FMEA, Failure mode, Process Improvement

1. บทนำ

ตลาดรถจักรยานยนต์ของโลกกระจุกตัวอยู่ในประเทศแถบภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก มีสัดส่วนการจำหน่ายในภูมิภาคนี้ถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการจำหน่ายทั่วโลกในแต่ละปี ทำให้ค่ายรถระดับโลกย้ายฐานการผลิตรถจักรยานยนต์เข้ามาอยู่ใกล้ตลาดเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง ตั้งแต่ช่วงปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา จะเห็นว่าฐานการผลิตรถจักรยานยนต์ของโลกส่วนใหญ่อยู่ในภูมิภาคเอเชีย โดยไทยมีสถานะเป็นประเทศผู้ผลิตรถจักรยานยนต์สำคัญอันดับ 5 ของโลกรองจากจีน อินเดีย อินโดนีเซีย และเวียดนาม ตามลำดับ [1]

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้น แสดงให้เห็นว่าในประเทศไทยปัจจุบันมีผู้ผลิตรถจักรยานยนต์หลายรายและคาดว่าในอนาคตก็อาจมีเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่ออัตราการแข่งขันที่สูงขึ้น ผู้ผลิตแต่ละรายพยายามเสนอขายผลิตภัณฑ์ใหม่ออกสู่ตลาดอยู่เสมอ เพื่อสร้างความหลากหลายและเพิ่มทางเลือกให้กับลูกค้า อย่างไรก็ตามในกระบวนการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ใหม่นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการตรวจสอบหรือค้นหาประเด็นความเสี่ยงต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับตัวผลิตภัณฑ์ใหม่หรือเกิดขึ้นกับกระบวนการผลิตในอนาคตก่อนที่จะทำการเข้าสู่สายการผลิตจริง เพื่อหาแนวทางในการป้องกันความเสี่ยงเหล่านั้น และเป็นการลดความสูญเสียของงานที่ไม่เกิดมูลค่าและงานที่จะส่งผลให้เกิดความเสียหายทางด้านต้นทุนและแรงงานโดยไม่จำเป็น

การวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อลดโอกาสในการเกิดความผิดพลาดใดๆ กับกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ของรถรุ่นใหม่ ในโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงงานผลิตรถจักรยานยนต์ ได้ทำการศึกษากายในแผนก Process Engineer ของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งตอนนี้สถานะของรถรุ่นใหม่อยู่ในช่วงของการตรวจสอบ และปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเตรียมความพร้อมก่อนเข้าสู่สายการผลิตจริงในอนาคต ด้วยเหตุดังกล่าว การวิจัยด้วย FMEA ในครั้งนี้ คาดหวังจะสามารถตรวจจับข้อผิดพลาดเพื่อหาแนวทางแก้ไข ป้องกัน หรือลดลงก่อนการผลิตจริงในสายการผลิตต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Failure Mode and Effect Analysis

Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) มักถูกนำไปใช้ในขั้นตอนของการออกแบบ การพัฒนาตัวต้นแบบ ทดลองระบบ ทดลองกระบวนการผลิต หรือทดลองบริการ เพื่อตรวจสอบทุกส่วนที่ออกแบบใหม่หรือที่ผ่านการแก้ไขหรือปรับปรุงว่าจะทำงานได้ดีหรือไม่ เพื่อให้สามารถทราบความเสี่ยงหรือข้อบกพร่องที่มีแนวโน้มจะเกิดขึ้นได้ก่อนแล้วจะได้หาแนวทางป้องกันการเกิดในสภาพการทำงานจริงหรือสถานการณ์จริง โดยหากป้องกันการเกิดไม่ได้ ก็ควรมีแผนสำหรับรองรับการเกิดขึ้นของความเสี่ยงหรือข้อบกพร่องดังกล่าว [2]

ประเด็นหลัก 4 ข้อที่เป็นหัวใจสำคัญในการวิเคราะห์ FMEA คือ (1) ความเสี่ยง ความผิดพลาด ข้อบกพร่อง ความล้มเหลวหรือปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้คืออะไรบ้าง (2) ผลลัพธ์ของความเสี่ยงดังกล่าวจะเป็นเช่นใดรุนแรง เลวร้ายแค่ไหน (3) อะไรคือสาเหตุ แล้วสาเหตุดังกล่าวมีความ

เป็นไปได้ที่จะเกิดบ่อยเพียงใด และ (4) ปัจจุบันมีแนวทางป้องกันหรือไม่ จะทราบก่อนการเกิดหรือไม่

ประเด็นทั้ง 4 จะต้องถูกวิเคราะห์ออกมาให้ได้ ด้วยการระดมสมองของทีมงานซึ่งโดยมากมักเป็นทีมงานข้ามสายงาน และโดยมากประกอบด้วยแผนกออกแบบ แผนกวิศวกรรม แผนกซ่อมบำรุง แผนกควบคุมคุณภาพ แผนกผลิต และการตลาด รวมทั้งอาจเป็นการมีส่วนร่วมหรือให้ข้อมูลจากทางลูกค้า เพื่อนำความเสี่ยงไปหาแนวทางแก้ไข อย่างไรก็ตามความเสี่ยงดังกล่าว อาจมีหลากหลายประเด็น ทีมงานจึงจำเป็นต้องเลือกจัดการกับความเสี่ยงที่สำคัญก่อน ดังนั้น ข้อมูลทั้ง 4 ประเด็นจึงถูกนำไปประมวลเพื่อจัดลำดับความสำคัญของความผิดพลาดหรือความล้มเหลวด้วยการคำนวณที่เรียกว่า Risk Priority Number (RPN) [2]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชลธาร รัตนพานิช และดำรง ทวีแสงสกุลไทย [3] งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อวิเคราะห์และลดของเสียสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ประตูยานยนต์ โดยมีการกำหนดค่าความรุนแรง ความถี่ และความสามารถในการตรวจพบข้อบกพร่อง ประเมินเป็นค่าดัชนีความเสี่ยง RPN เพื่อเป็นเกณฑ์ในการเลือกสาเหตุของข้อบกพร่องมาทำการแก้ไข ในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง เครื่องมือคุณภาพต่างๆ และการควบคุมกระบวนการเชิงสถิติมาเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นในแผนกเชื่อมประกอบ หลังจากนั้นทำการประเมินค่าดัชนีชี้วัดความเสี่ยง RPN หลังการปรับปรุงและเปรียบเทียบข้อมูลของเสียและข้อร้องเรียนของตัวแทนจำหน่ายก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าสามารถลดข้อร้องเรียนปัญหาอายุเยื้องของตัวแทนจำหน่ายต่างประเทศเทียบกับจำนวนยอดขายจาก 0.66% ลดลงเป็น 0.39% นอกจากนี้ ของเสียที่พบในการเชื่อมประกอบเทียบกับจำนวนการผลิตก็ลดลงจาก 4.37% ลดลง เป็น 2.83% และจำนวนชิ้นส่วนอะไหล่ประตูเสียรูปเทียบกับจำนวนการผลิต จาก 3.36% ลดลงเป็น 2.44%

เอกราช คงสรรค์เสถียร [4] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาการประยุกต์ใช้ FMEA ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดกลางและขนาดย่อม เพื่อหาแนวทางในการลดของเสียที่เกิดขึ้นภายใต้กระบวนการผลิต แนวคิดและหลักการของเครื่องมือนี้คือ การวิเคราะห์ถึงแนวโน้มของปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นตั้งแต่การรับวัตถุดิบ การจัดเก็บวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป และการส่งมอบให้แก่ลูกค้า ซึ่งจะต้องอาศัยทีมงานที่มีประสบการณ์ จากหลายส่วนมาร่วมมือกันดำเนินการเพื่อที่จะหาแนวทางการขจัดหรือลดความเสี่ยงของปัญหาต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นได้ ทำให้สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้และตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้ามากที่สุด จากการศึกษาการประยุกต์ใช้ FMEA พบว่าแนวโน้มความผิดพลาดและความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้นสูงสุดได้แก่ปัญหาชิ้นงานเป็นครีบกจากกระบวนการตัดเฉือน ปัญหาระยะระหว่างรูไม่ได้ขนาดจากกระบวนการตัดงอ และปัญหาการบรรจุงานไม่ครบจาก

กระบวนการบรรจุทางที่งานจึงได้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดตัวเลขแสดงลำดับของความเสี่ย (RPN) ผลจากการดำเนินการปรับปรุงพบว่าค่า RPN มีค่าลดลง โดยที่กระบวนการตัดเฉือนมีค่าลดลงจาก 288 เหลือ 216 กระบวนการตัดงอมีค่าลดลงจาก 288 เหลือ 216 และกระบวนการบรรจุมีค่าลดลงจาก 384 เหลือ 96 และในส่วนของภาพรวมจากข้อมูลของเสียในลีดผลิตจริงของผลิตภัณฑ์ใหม่ในไตรมาสที่ 3 มีค่าลดลงเหลือ 28 ppm. จากไตรมาสที่ 2 ที่มีของเสียอยู่ที่ 120 ppm.

ปัทนวัชร สุทธิประภาภิสิทธิ์ [5] งานวิจัยนี้เป็นการใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขวดพลาสติกสำหรับบริโภค จากการวิเคราะห์หาข้อผิดพลาดโดยการใช้ FMEA พบว่าได้ข้อผิดพลาดที่ควรถูกแก้ทั้งหมด 2 ข้อผิดพลาดคือ อายุของเครื่องจักร และเม็ดพลาสติกมีสิ่งเจือปน ท้ายสุดจึงได้ออกแบบการแก้ข้อผิดพลาดอายุของเครื่องจักรโดยการเสนอให้ซื้อเครื่องจักรใหม่หลังจากการเปรียบเทียบด้วยจุดคุ้มทุน และแก้ไขข้อผิดพลาดเรื่องเม็ดพลาสติกเจือปนโดยการปรับปรุงขั้นตอนการขนส่งใหม่ ภายหลังจากการสำรวจขั้นตอนการขนส่งอย่างละเอียด

3. วิธีการวิจัย

3.1 ศึกษากระบวนการทำงานและระบุประเด็นข้อผิดพลาด

ทางผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการในแผนก Process Engineer ของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก โดยเข้าทำการศึกษาและสังเกตการทำงานของพนักงาน เครื่องจักร และอุปกรณ์ เพื่อระบุถึงประเด็นข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้

3.2 การกำหนดเกณฑ์มาตรฐานเพื่อประเมิน

หลังจากระบุประเด็นข้อผิดพลาดแล้ว ผู้วิจัยต้องทำการประเมินร่วมกันกับทีมงานของโรงงานใน 3 มิติดังต่อไปนี้ ได้แก่ ความรุนแรง (Severity) โอกาสในการเกิดข้อผิดพลาด (Occurrence) และความสามารถในการตรวจจับ (Detection) ให้กับแต่ละประเด็นข้อผิดพลาด โดยพิจารณาจากเกณฑ์มาตรฐาน ด้วยเหตุนี้ จึงต้องทำการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานขึ้นมาก่อน โดยเกณฑ์ดังกล่าวกำหนดขึ้นโดยปรับให้เหมาะกับบริบทของโรงงานกรณีศึกษา ดังแสดงในตารางที่ 1 2 และ 3 สำหรับทั้ง 3 มิติ ตามลำดับ พิจารณาตารางที่ 2 มิติด้าน occurrence เนื่องจากการประเมินผลิตภัณฑ์ใหม่การกำหนดด้านโอกาสการเกิดจึงต้องพิจารณาและกำหนดเป็นพิเศษควบคู่กับทางบริษัทกรณีศึกษา

3.3 การประเมินข้อผิดพลาด และคำนวณค่า RPN

ในขั้นตอนนี้เริ่มจากการจัดตั้งทีมงานผู้ที่ปฏิบัติงาน หัวหน้างาน และผู้วิจัย ทำการประเมินแต่ละข้อผิดพลาดด้วยค่า S แล้วจึงวิเคราะห์สาเหตุของแต่ละข้อผิดพลาดพร้อมประเมินค่า O ของแต่ละสาเหตุ แล้วจึงวิเคราะห์แนวทางปัจจุบันที่มีในการตรวจจับและควบคุมความเสี่ยงพร้อมประเมินค่า D ซึ่งใช้เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินค่า S, O

และ D ที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น จากนั้นจึงทำการคำนวณค่า RPN (Risk Priority Number) โดยนำทั้งสามค่ามาคูณกัน จึงออกมาเป็นค่า RPN

ตารางที่ 1 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินความรุนแรง

ผลกระทบ	ผลกระทบที่มีต่อกระบวนการผลิต	ระดับ
สูงมาก	ชิ้นส่วนทั้งหมดเสียหาย หรือก่อให้เกิดผลกระทบด้านความปลอดภัย	10
	ชิ้นส่วนเสียหาย และต้องทำการเปลี่ยนใหม่ โดยเป็นชิ้นส่วนที่นำเข้าจากต่างประเทศ	9
สูง	ชิ้นส่วนเสียหาย และต้องทำการเปลี่ยนใหม่ โดยเป็นชิ้นส่วนที่ผลิตในประเทศไทย	8
	ชิ้นส่วนเสียหาย และต้องทำการเปลี่ยนใหม่ เป็นชิ้นส่วนที่มีขายโดยทั่วไป	7
ปานกลาง	ชิ้นส่วนเสียหาย และต้องทำการใช้เครื่องมือเฉพาะเพื่อทำการแก้ไขงานใหม่ ต้องใช้ทักษะพนักงานในการทำงานสูงขึ้น	6
	ชิ้นส่วนเสียหายทั้งในตำแหน่งที่มองเห็นหรือมองไม่เห็น แต่สามารถแก้ไขได้ โดยผู้ผลิต	5
ต่ำ	ชิ้นส่วนเสียหายในตำแหน่งที่มองเห็น และสามารถแก้ไขได้	4
	ชิ้นส่วนเสียหายในตำแหน่งที่มองไม่เห็น และสามารถแก้ไขได้	3
ต่ำมาก	ชิ้นส่วนเสียหาย แต่สามารถยอมรับใช้งานได้	2
	ไม่มีชิ้นส่วนเสียหาย	1

จากนั้นจึงนำค่า RPN มาเรียงลำดับพิจารณา เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางในการแก้ไข ป้องกัน หรือรับมือกับข้อผิดพลาดต่อไป

3.4 วิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า และกำหนดแนวทางในการแก้ไข ป้องกัน หรือรับมือกับข้อผิดพลาด

จากการตกลงร่วมกับโรงงานกรณีศึกษา จะทำการคัดเลือกความเสี่ยง 5 ลำดับแรกที่มีค่า RPN สูงสุด มาวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้า และสรุปแนวทางในการแก้ไข ป้องกัน หรือรับมือเพื่อนำสู่การทดลองปฏิบัติ

3.5 เก็บข้อมูลและประเมินด้วยค่า RPN หลังการดำเนินการตามแนวทางในการแก้ไข ป้องกัน หรือรับมือกับข้อผิดพลาด

หลังจากนำแนวทางในการแก้ไข ป้องกัน หรือรับมือกับข้อผิดพลาดไปปฏิบัติแล้ว คำนวณค่า RPN อีกครั้ง โดยอาศัยเกณฑ์มาตรฐานเดิมที่กำหนดไว้ เพื่อพิจารณาว่าประเด็นข้อผิดพลาดนั้นลดลงหรือไม่ หากไม่จำเป็นต้องทบทวนการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า หรือการกำหนดแนวทางในการแก้ไข และกลับไปทดลองปฏิบัติเพื่อวัดผลใหม่

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการวิเคราะห์ FMEA

ในการวิเคราะห์หาข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ได้ใช้ การศึกษาพนักงานและระดมสมองโดยอาศัยทีมงานจากแผนกวิศวกรรม และแผนกที่เกี่ยวข้องที่มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการผลิตเป็นอย่างดี พบว่าข้อบกพร่องที่มีค่า RPN มากกว่า 300 คะแนนมีทั้งหมด 66 ข้อบกพร่อง จาก 11 กระบวนการย่อย

ตารางที่ 2 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินความถี่ของสาเหตุ

ความน่าจะเป็นในการเกิดความล้มเหลว	ลักษณะความล้มเหลวที่จะเกิด	ระดับ
สูงมาก	เป็นกระบวนการผลิตใหม่ ใช้ชิ้นส่วนใหม่ ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือใหม่ และไม่มีการป้องกัน	10
	เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้ชิ้นส่วนลักษณะคล้ายกับของเดิม ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือที่คงเดิม และไม่มีการป้องกัน	9
สูง	เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้ชิ้นส่วนลักษณะคล้ายกับของเดิม ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือใหม่ และไม่มีการป้องกัน	8
	เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้ชิ้นส่วนใหม่ ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือที่คงเดิม และไม่มีการป้องกัน	7
ปานกลาง	เป็นกระบวนการผลิตใหม่ ใช้ชิ้นส่วนลักษณะคล้ายกับของเดิม ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือใหม่หรือคงเดิม และไม่มีการป้องกัน	6
	เป็นกระบวนการผลิตใหม่ ใช้ชิ้นส่วนใหม่ ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือใหม่ และมีการป้องกัน	5
ต่ำ	เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้ชิ้นส่วนลักษณะคล้ายกับของเดิม ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือที่คงเดิม และมีการป้องกัน	4
	เป็นกระบวนการผลิตใหม่ ใช้ชิ้นส่วนใหม่ ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือที่คงเดิม และมีการป้องกัน	3
แทบไม่เกิด	เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้ชิ้นส่วนใหม่ ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือที่คงเดิม และมีการป้องกัน	2
	เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้ชิ้นส่วนเดิม ใช้เครื่องจักรและเครื่องมือที่คงเดิม และมีการป้องกัน	1

4.2 ผลการเลือกข้อบกพร่องและการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้า

เมื่อนำค่า RPN มาจัด 5 อันดับแรก แสดงดังตารางที่ 4 จากทั้ง 5 ข้อบกพร่องนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงในการเกิดข้อบกพร่องนั้นๆ โดยใช้แผนผังต้นไม้ในการวิเคราะห์ why-why ดังแสดงการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าดังหัวข้อย่อย 4.2.1-4.2.5 หรือรูปที่ 1-5

หลังจากได้สาเหตุรากเหง้าของข้อบกพร่องทั้ง 5 ประเด็น นักวิจัยร่วมกับผู้ปฏิบัติงานและหัวหน้างาน ระดมสมองร่วมกันเพื่อสรุปประเด็นที่มองว่าเป็นสาเหตุหลักและสมควรดำเนินการเร่งด่วนในขอบเขตเวลาของงานวิจัย โดยทำการระบุเป็นสัญลักษณ์สีแดงในแผนผังต้นไม้ โดย

ประเด็นอื่นจะเลือกมาแก้ไขในลำดับต่อไปหากประเด็นที่มีสัญลักษณ์สีแดงไม่เห็นผลสัมฤทธิ์

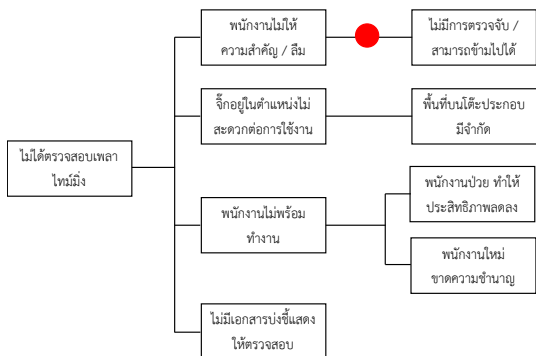
ตารางที่ 3 เกณฑ์มาตรฐานสำหรับการประเมินการตรวจจับปัญหา

การตรวจจับ	การตรวจจับความผิดพลาดในกระบวนการผลิต	ระดับ
แทบเป็นไปไม่ได้	ไม่มีเครื่องมือในการตรวจจับ ชิ้นงานถูกส่งไปยังลูกค้า	10
	ตรวจจับความผิดพลาดได้โดยพนักงาน ภายหลังจากจุดปฏิบัติงานนั้นๆ ตามทักษะและความชำนาญของพนักงาน	9
เป็นไปได้อย่างยาก	ตรวจจับความผิดพลาดได้โดยพนักงานคนประกอบในจุดปฏิบัติงานนั้นๆ ตามทักษะและความชำนาญของพนักงาน	8
	ตรวจจับความผิดพลาดได้โดยมีการกำหนดให้พนักงานควบคุมทางสายตาในจุดปฏิบัติงาน เช่น เอกสารWI, master part	7
เป็นไปได้อย่างปานกลาง	ตรวจจับความผิดพลาดได้โดยพนักงานภายหลังจากจุดปฏิบัติงาน โดยไม่สามารถประกอบต่อได้ จึงทำให้รู้ว่าเกิดข้อผิดพลาด	6
	ตรวจจับความผิดพลาดได้โดยการกำหนดให้ใช้เครื่องมือตรวจสอบ เช่น เกจวัด Go/No Go	5
เป็นไปได้อย่างค่อนข้างสูง	ตรวจจับความผิดพลาดได้โดยการใช้เครื่องจักร ภายหลังจากเครื่องจักรทำงานเสร็จ	4
	ตรวจจับความผิดพลาดได้โดยการใช้เครื่องจักร ก่อนเครื่องจักรทำงาน	3
สามารถตรวจจับได้แน่นอน	ตรวจจับความผิดพลาดได้โดยการประกอบที่ต้องอาศัยจิ๊ก (เมื่อทำการใช้จิ๊ก แล้วไม่สามารถใส่จิ๊กเข้าไปได้ จึงทราบว่าจะเกิดความผิดพลาดมาในกระบวนการก่อนหน้า)	2
	สามารถตรวจจับความผิดพลาดได้ด้วยลักษณะเฉพาะตัวของชิ้นส่วน (รูปร่าง, สี, น้ำหนัก และอื่นๆ)	1

ตารางที่ 4 ค่า RPN 5 ลำดับแรก

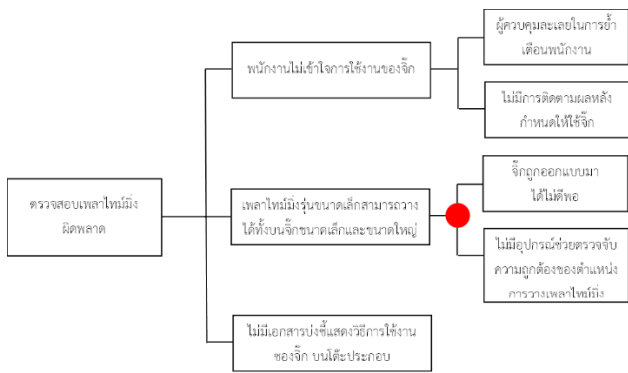
Code	Potential Failure	ก่อนการปรับปรุง			
		S	O	D	RPN
CC2-28	ไม่ได้ตรวจสอบเพล่าไหมมีมิง	10	9	10	900
CC2-29	ตรวจสอบเพล่าไหมมีมิงผิดพลาด	10	9	10	900
CC2-6	เครื่องตอกเลขมีเสียงดังเกินกว่ากำหนด	10	9	10	900
CC1-2	แกนเพล่าข้อเหวี่ยงเป็นรอยระหว่างการประกอบลิ้ม	9	9	10	810
GE7-3	ประกอบก้านพูชรอดสลับกัันระหว่างเครื่องยนต์ที่ออกจากเครื่องทดสอบและเครื่องยนต์ที่เตรียมเข้าสู่เครื่องทดสอบ	10	9	6	540

4.2.1 ข้อบกพร่อง CC2-28 ไม่ได้ตรวจสอบเพลาทูมิ่ง
วิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าด้วยแผนผังต้นไม้ดังรูปที่ 1



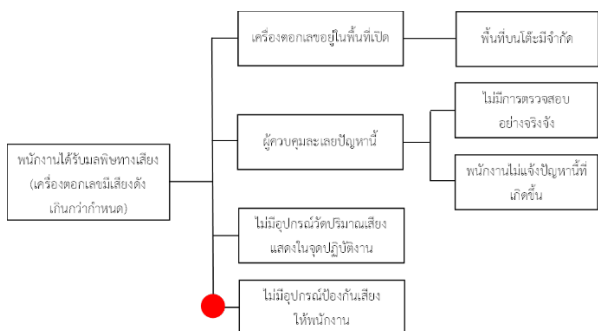
รูปที่ 1 แผนผังต้นไม้แสดงการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง CC2-28

4.2.2 ข้อบกพร่อง CC2-29 ตรวจสอบเพลาทูมิ่งผิดพลาด
วิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าด้วยแผนผังต้นไม้ดังรูปที่ 2



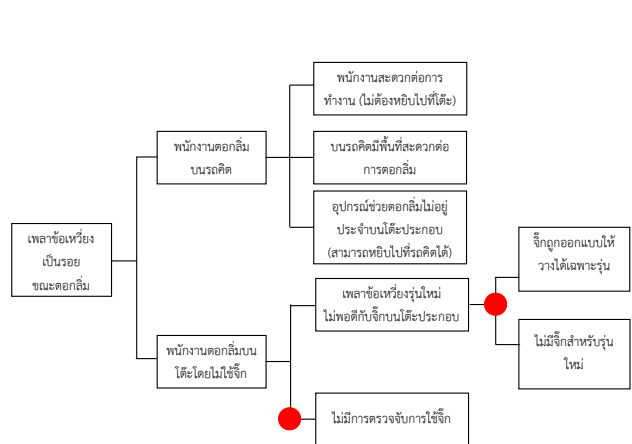
รูปที่ 2 แผนผังต้นไม้แสดงการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง CC2-29

4.2.3 ข้อบกพร่อง CC2-6 เครื่องตอกเลขมีเสียงดังเกินกว่ากำหนด
วิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าด้วยแผนผังต้นไม้ดังรูปที่ 3



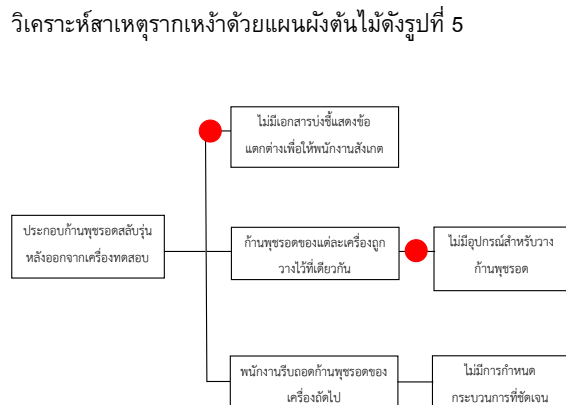
รูปที่ 3 แผนผังต้นไม้แสดงการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง CC2-6

4.2.4 ข้อบกพร่อง CC1-2 แกนเพลาช้อเหวี่ยงเป็นรอยระหว่างประกอบลิ้ม
วิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าด้วยแผนผังต้นไม้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังต้นไม้แสดงการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง CC1-2

4.2.5 ข้อบกพร่อง GE7-3 ประกอบกันชุดสลักกันระหว่างเครื่องยนต์ที่ออกจากเครื่องทดสอบและเครื่องยนต์ที่เตรียมเข้าสู่เครื่องทดสอบ
วิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าด้วยแผนผังต้นไม้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังต้นไม้แสดงการวิเคราะห์หาสาเหตุของข้อบกพร่อง GE7-3

4.3 แนวทางการปรับปรุงแก้ไขของแต่ละข้อบกพร่อง

จากการวิเคราะห์ในแต่ละข้อบกพร่อง โดยใช้แผนผังต้นไม้ทำให้ทราบถึงสาเหตุที่แท้จริงที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่อง ซึ่งจากการวิเคราะห์นั้นนำมาสู่แนวทางในการปรับปรุงแก้ไข โดยผ่านการระดมสมองร่วมกันกับแผนกที่เกี่ยวข้องเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์และตัดสินใจหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข แสดงตารางที่ 5

4.4 ผลการประเมินข้อบกพร่องและผลกระทบหลังการปรับปรุง

หลังจากนำแนวทางการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องในกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ไปสู่การปฏิบัติเป็นระยะเวลา 3 เดือน จึงได้ดำเนินการ

เก็บข้อมูล และวิเคราะห์ค่า RPN หลังการปรับปรุงอีกครั้ง แสดงผลดังตารางที่ 6 นี้ โดยจะเห็นได้ว่า ค่า RPN ทั้ง 5 ข้อบกพร่องมีผลที่ลดลงทั้งหมด

ตารางที่ 5 แนวทางการปรับปรุงแก้ไขแต่ละข้อบกพร่อง

Code	Potential Failure	Actions taken
CC2-28	ไม่ได้ตรวจสอบเพลลาไทม์มิ่ง	ติดตั้งอุปกรณ์ที่ถูกต้องแบบด้วยโปรแกรม PLC เข้ามาช่วยตรวจจับ
CC2-29	ตรวจสอบเพลลาไทม์มิ่งผิดพลาด	ออกแบบจิ๊กให้มีลักษณะเฉพาะตัว และมีการติดเซ็นเซอร์สำหรับแต่ละรุ่นสำหรับการตรวจจับ
CC2-6	เครื่องตอกเลขมีเสียงดังเกินกว่ากำหนด	จัดเตรียมที่อุดหูไว้ในจุดปฏิบัติงาน เพื่อให้พนักงานใส่ขณะเครื่องตอกหมายเลขทำงาน
CC1-2	แกนเพลลาข้อเหวี่ยงเป็นรอยระหว่างการประกอบลิ้ม	ออกแบบกระบวนการให้พนักงานตอกลิ้มบนโต๊ะประกอบ โดยมีเซ็นเซอร์ตรวจจับ และออกแบบจิ๊กที่สามารถวางได้สำหรับทุกรุ่น
GE7-3	ประกอบก้านพู่ชรดสลักกันระหว่างเครื่องยนต์ที่ออกจากเครื่องทดสอบและเครื่องยนต์ที่เตรียมเข้าสู่เครื่องทดสอบ	ออกแบบอุปกรณ์สำหรับเก็บก้านพู่ชรดและสามารถตรวจสอบรุ่นได้ในบริเวณหน้าเครื่องทดสอบ

ตารางที่ 6 ค่า RPN ของแต่ละข้อบกพร่องหลังการปรับปรุงแก้ไข

Code	Potential Failure	ก่อนปรับปรุง RPN	หลังการปรับปรุง			
			S	O	D	RPN
CC2-28	ไม่ได้ตรวจสอบเพลลาไทม์มิ่ง	900	10	4	1	40
CC2-29	ตรวจสอบเพลลาไทม์มิ่งผิดพลาด	900	10	4	1	40
CC2-6	เครื่องตอกเลขมีเสียงดังเกินกว่ากำหนด	900	10	1	10	100
CC1-2	แกนเพลลาข้อเหวี่ยงเป็นรอยระหว่างการประกอบลิ้ม	810	9	4	1	36
GE7-3	ประกอบก้านพู่ชรดสลักกันระหว่างเครื่องยนต์ที่ออกจากเครื่องทดสอบและเครื่องยนต์ที่เตรียมเข้าสู่เครื่องทดสอบ	540	10	4	5	200

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการผลิตเครื่องยนต์ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบในกระบวนการ แล้วจึงได้วิเคราะห์หาแนวทางมาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง หลังจาก

ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขในแต่ละข้อบกพร่องได้แล้วนั้น จึงได้ทำการประเมินค่าคะแนน RPN ของข้อบกพร่องหลังการปรับปรุงแก้ไข พบว่า ทั้ง 5 ประเด็นมีค่า RPN ที่ลดลง อันได้แก่

ข้อบกพร่องไม่ได้ตรวจสอบเพลลาไทม์มิ่ง (CC2-28) ค่าคะแนน RPN ก่อนการปรับปรุง คือ 900 หลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 40 คะแนน

ข้อบกพร่องตรวจสอบเพลลาไทม์มิ่งผิดพลาด (CC2-29) ค่าคะแนน RPN ก่อนการปรับปรุง คือ 900 หลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 40 คะแนน

ข้อบกพร่องเครื่องตอกเลขมีเสียงดังเกินกว่ากำหนด (CC2-6) ค่าคะแนน RPN ก่อนการปรับปรุง คือ 900 หลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 100 คะแนน

ข้อบกพร่องแกนเพลลาข้อเหวี่ยงเป็นรอยระหว่างการประกอบลิ้ม (CC1-2) ค่าคะแนน RPN ก่อนการปรับปรุง คือ 810 หลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 36 คะแนน

ข้อบกพร่องประกอบสลักกันระหว่างเครื่องยนต์ที่ออกจากเครื่องทดสอบและเครื่องยนต์ที่เตรียมเข้าสู่เครื่องทดสอบ (GE7-3) ค่าคะแนน RPN ก่อนการปรับปรุง คือ 540 หลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 200 คะแนน

อย่างไรก็ตามภายในระยะเวลาของงานวิจัยนี้ มีการเลือกประเด็นข้อบกพร่องมาเพียง 5 ประเด็นในการดำเนินการแก้ไข ในขณะที่ผลจากการประเมินด้วยค่า RPN แสดงให้เห็นว่ายังมีประเด็นข้อผิดพลาดที่มีค่า RPN เกิน 300 อีกจำนวนมาก (66 ประเด็น) ดังนั้นโรงงานจึงไม่ควรพึงพอใจกับการกำจัดข้อบกพร่องลงได้เพียง 5 ประเด็นนี้ แต่ควรต้องดำเนินการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] วรณ ฆงพิศาลภพ, แนวโน้มธุรกิจ/ อุตสาหกรรม ปี 2562/2564 อุตสาหกรรมรถจักรยานยนต์, ข้อมูลจาก <http://www.krungsri.com/getmedia>. (วันที่สืบค้น 22 กุมภาพันธ์ 2566).
- [2] รัฐชนา สินธวาลัย. การปรับปรุงคุณภาพ, พิมพ์ครั้งที่ 1, ไอคิวมีเดีย, 2560.
- [3] ชลาธาร รัตนพานิช และดำรง ทวีแสงสกุลไทย. 2554. "การลดของเสียสำหรับชิ้นส่วนอะไหล่ประตูดานยนต์." วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, ปีที่22, ฉบับที่ 3: 77-85.
- [4] เอกราช คงสรรค์เสถียร. การประยุกต์ใช้ FMEA ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษา โรงงานผลิตปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่น. สารนิพนธ์สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2555.
- [5] ปันณวัชร สุทธิประภาภิสิทธิ์. การวิเคราะห์ลักษณะข้อผิดพลาดของผลกระทบโดยการใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขวดพลาสติก สำหรับบริโภค. โครงการงานนักศึกษา, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่, 2562.

การลดต้นทุนของปั๊มแรงดันสูงในกระบวนการผลิตผงซักฟอกด้วยวิศวกรรมคุณค่า Cost Reduction of High Pressure Pump in Manufacturing of Detergent Powder by Value Engineering

กฤษดา ประสพชัยชนะ จันทรืทา นาควชิระตระกูล ฤฎวัลย์ จันทรสา สุนิสา คำสุข
ภาควิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: chantran@buu.ac.th*

Kritsada Prasopchaichana, Chantra Nalvacjoratrakul*, Ruephuwan Chantrasa, Sunisa Khamsuk
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: chantran@buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพของปั๊มแรงดันสูงในกระบวนการผลิตผงซักฟอกโดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า เมื่อทำการวิเคราะห์คุณค่าแต่ละหน้าที่ของอุปกรณ์ในปั๊มแรงดันสูงพบว่า หน้าที่หลัก “เพิ่มแรงดัน” มีค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 0.66 ซึ่งหน้าที่นี้เกี่ยวข้องกับชิ้นส่วนลูกสูบ ดังนั้น ลูกสูบจึงเป็นชิ้นส่วนที่มีความเหมาะสมในการลดต้นทุน โดยมีเป้าหมายต้องการเพิ่มความทนทานของลูกสูบเนื่องจากการเสียดสีของลูกสูบกับวัตถุที่ใส่ในการผลิตผงซักฟอก ทำให้ลูกสูบเกิดความเสียหายเป็นรอยมีผลกระทบไปยังซีลกันรั่วซึ่งได้รับความเสียหายเช่นกัน ทำให้ได้แนวคิดการเปลี่ยนวัสดุของลูกสูบ จากเดิมใช้ลูกสูบวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ถูกปรับปรุงใหม่เป็นวัสดุเซรามิก ซึ่งทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีและทนทานต่อการเสียดสีได้ดี ภายหลังจากปรับปรุงพบว่าลูกสูบมีค่าการสึกกร่อนลดลง ทำให้ลูกสูบเซรามิกมีอายุการใช้งานเพิ่มมากขึ้น และสามารถลดความถี่ในการเปลี่ยนซีลกันรั่วและลูกสูบลง เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่เกิดจากค่าใช้จ่ายในระยะเวลา 5 ปี พบว่าต้นทุนที่เกิดจากค่าใช้จ่ายของการซ่อมบำรุงลดลง จากเดิม 996,625 บาท เหลือ 547,900 บาท ซึ่งลดลง 448,725 บาท หรือ 45.02%

คำสำคัญ: วิศวกรรมคุณค่า การลดต้นทุน ปั๊มแรงดันสูง ผงซักฟอก

Abstract

The purpose of this research is to reduce cost and increase performance of the high pressure pump in the powder detergents manufacturing process by using the value engineering technique. This technique was used to analyze the value in each functional part of high pressure pump. It was found that the primary function namely, “increase pressure” had the value of 0.66. The plunger equipment performs this function. Therefore, the plunger part is evaluated appropriately for cost reduction. The overall goal is to increase the durability of the plunger, thereby lengthening its life cycle. The mechanical abrasion between the raw materials and the plunger causes damage to the plunger and seal. The creative idea was changing the material of the plunger from the original 304 Stainless Steel (SUS304) to a ceramic material. The new material needs to be resistant to chemical corrosion and mechanical abrasion. The improvement showed the ceramic plunger had a lower wear value, resulting in an increase in plunger life. This can reduce the frequency of seal replacement as well as the plunger. Comparing expenses over a time period of 5 years, the maintenance cost was decreased from 996,625 THB to 547,900 THB which was 448,725 THB or 45.02 percent of decrease.

Keywords: Value engineering, Cost reduction, High pressure pump, Detergent powder

1. บทนำ

ผงซักฟอกเป็นผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่มี 4 ขั้นตอนหลักในการผลิตคือ การผสมสารตั้งต้น (Mixing) การอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray Drying) การบั่นเม็ด (Granulation) และการเติมสารปรุงแต่ง (Blending) จากการเก็บข้อมูลการซ่อมบำรุงพบว่า กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยมีความถี่ในการซ่อมบำรุงสูงสุด และเมื่อแจ้งแจ้งความถี่ของการซ่อมบำรุงตามรายการอุปกรณ์ของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยพบว่า บั้มแรงดันสูงมีความถี่ในการซ่อมบำรุงมากที่สุด ในการซ่อมบำรุงบั้มแรงดันสูงแต่ละครั้งจะต้องหยุดกระบวนการผลิตเป็นเวลาประมาณ 6 ชั่วโมง โดยกำลังการผลิตผงซักฟอกเฉลี่ยอยู่ที่ 17 ตันต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นการเสียโอกาสในการผลิตโดยไม่จำเป็น ส่งผลให้โรงงานกรณีศึกษาต้องทำการลดต้นทุนและเพิ่มกำลังการผลิตโดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างหน้าที่กับต้นทุนของชิ้นส่วนในบั้มแรงดันสูงด้วยเทคนิควิศวกรรมคุณค่า ซึ่งเป็นเทคนิคการลดต้นทุนโดยไม่ลดหน้าที่หรือประโยชน์ใช้สอยที่สามารถประยุกต์ใช้ได้กับผลิตภัณฑ์และบริการ [1, 2]

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานการวิจัยได้ปฏิบัติตามขั้นตอนวิศวกรรมคุณค่าของ Arthur E. Mudge ซึ่งมี 7 ขั้นตอนดังนี้ [1]

1. เลือกโครงการ (Selection Phase)
2. รวบรวมข้อมูล (Information Phase)
3. วิเคราะห์หน้าที่การทำงาน (Function Phase)
4. สร้างสรรค์ความคิด (Creativity Phase)
5. ประเมินความคิด (Evaluation Phase)
6. ทดสอบและพิสูจน์ (Investigation Phase)
7. ข้อเสนอแนะ (Recommendation Phase)

2.1 เลือกโครงการ

โรงงานกรณีศึกษาทำการผลิตผงซักฟอกโดยมี 4 ขั้นตอนหลัก คือ การผสมสารตั้งต้น (Mixing) การอบแห้งแบบพ่นฝอย (Spray drying) การบั่นเม็ด (Granulation) และการเติมสารปรุงแต่ง (Blending) ในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การผสมสารตั้งต้น คือ การนำสารตั้งต้นที่มีลักษณะเป็นผงกับของเหลวผสมเข้าด้วยกัน ได้เป็นสารผสมที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้น (Slurry)

2. การอบแห้งแบบพ่นฝอย คือ การใช้เทคนิคการระเหยของน้ำออกจากของเหลว โดยใช้บั้มแรงดันสูงอัดฉีดของเหลวข้นที่ได้จากกระบวนการผสมสารตั้งต้น ส่งถ่ายของเหลวไปยังด้านบนของหอสเปรย์ที่มีลักษณะเป็นถังสูงประมาณอาคาร 8 ชั้น เพื่อผ่านอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดเป็นละอองฝอย จากนั้นปล่อยลงมาสู่ด้านล่างสัมผัสกับลมร้อน ความร้อนทำให้น้ำระเหยออกจากของเหลวข้น และได้ผลิตภัณฑ์ในลักษณะของผงแห้ง (Base Powder) ที่มีขนาดเม็ดผงเล็กใหญ่ไม่

เท่ากันคละออกมา และตกลงสู่ด้านล่างของหอสเปรย์ จากนั้นถูกลำเลียงไปสู่กระบวนการถัดไปด้วยระบบสายพานลำเลียง

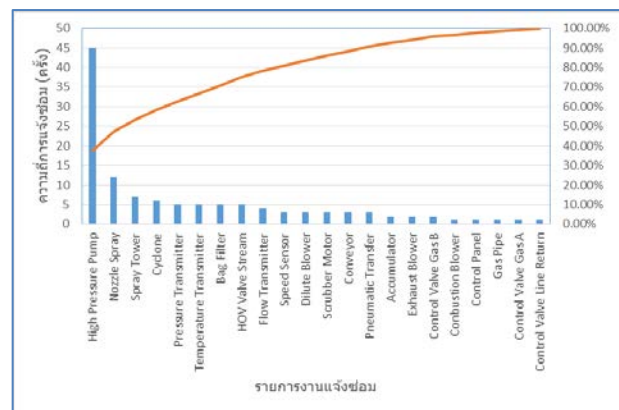
3. การบั่นเม็ด คือ การนำผงที่ได้จากกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยส่งไปยังเครื่องบั่นเม็ด (Granulator) ความชื้นที่หลงเหลือจากขั้นตอนก่อนหน้าทำให้ผงประสานและอัดกันเป็นเม็ดที่มีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น

4. การผสมสารปรุงแต่ง คือ การผสมผงซักฟอกที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้ากับสารปรุงแต่งจำพวกน้ำหอมและสารต่างๆ เพื่อให้ผงซักฟอกมีลักษณะกลิ่นและคุณสมบัติเฉพาะตามสูตรให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นถูกส่งไปบรรจุใส่ถุงผลิตภัณฑ์ตามขนาดต่างๆ

งานวิจัยได้รวบรวมข้อมูลความถี่การซ่อมบำรุงในกระบวนการผลิตผงซักฟอก ปี 2556–2563 ดังตารางที่ 1 พบว่ามีการแจ้งซ่อมทั้งหมดจำนวน 256 ครั้ง โดยปัญหาส่วนใหญ่เกิดขึ้นในขั้นตอนของการอบแห้งแบบพ่นฝอยซึ่งมีการแจ้งซ่อมมากถึง 120 ครั้ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญกับการคัดกรองและรวบรวมข้อมูลเฉพาะปัญหาที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 1 ความถี่การซ่อมบำรุงในกระบวนการผลิตผงซักฟอก

กระบวนการ	ความถี่การซ่อมบำรุงในช่วงปี 2556-2563 (ครั้ง/ปี)							รวม	
	2556	2557	2558	2559	2560	2561	2562		2563
1. Mixing	8	6	7	6	4	9	8	6	54
2. Spray Drying	9	12	15	11	13	10	19	15	120
3. Granulation	6	4	5	6	6	5	4	7	43
4. Blending	3	5	4	3	5	5	6	8	39
รวม	28	29	33	28	30	31	39	38	256



รูปที่ 1 กราฟ Pareto ของความถี่การซ่อมบำรุงอุปกรณ์ในการอบแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์หน้าที่ของชิ้นส่วนในปั๊มแรงดันสูง

ลำดับ	ชื่อชิ้นส่วน	หน้าที่		จำแนกหน้าที่	
		กริยา	คำนาม	หลัก	รอง
1	Electric Motor	กำเนิด ควบคุม	แรงขับเคลื่อน ความเร็วปั๊ม	/	/
2	V-belt	ส่งผ่าน กำหนด	แรงขับเคลื่อน ความเร็ว	/	/
3	Pulley	ส่งผ่าน รองรับ	แรงขับเคลื่อน สายพาน	/	/
4	Crankshaft	ส่งผ่าน ควบคุม	แรงขับเคลื่อน การเคลื่อนที่ ลูกสูบ	/	/
5	Crankshaft Bearing	รองรับ ควบคุม	เพลลา ตำแหน่ง	/	/
6	Bearing Retainer	กำหนด ประคอง	ตำแหน่งแบร์ริง แบร์ริง	/	/
7	Connecting Rod	ส่งผ่าน รองรับ รองรับ	แรงขับเคลื่อน เพลลา ลูกสูบ	/	/
8	Breather	กรอง	ฝุ่นละออง	/	/
9	Crosshead	รองรับ รองรับ	ก้านสูบ ลูกสูบ	/	/
10	Crosshead pin	รองรับ รองรับ รองรับ	หัวต่อขวาง แบร์ริง ก้านสูบ	/	/
11	Crosshead bearing	รองรับ	หัวต่อขวาง	/	/
12	Plunger	เพิ่ม กำหนด	แรงดัน ปริมาณการไหล	/	/
13	Gland Packing	ป้องกัน ทน	การรั่วซึม แรงดัน	/	/
14	Bushing	ประคอง ควบคุม	ซีล ตำแหน่งซีล	/	/
15	Stuffing box	กำหนด	ตำแหน่งติดตั้งซีล ซีล	/	/
16	Suction Valve	ควบคุม	การเข้าของ ของเหลว	/	/
17	Discharge Valve	ควบคุม	การออกของ ของเหลว	/	/
18	Inverter	ควบคุม	ความเร็วรอบ มอเตอร์	/	/

กราฟพาเรโตของความถี่การแจ้งซ่อมบำรุงอุปกรณ์ในการอบแห้งแบบพ่นฝอย ดังรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าปั๊มแรงดันสูง (High Pressure Pump) เป็นอุปกรณ์ที่มีความถี่ในการเกิดปัญหามากที่สุด จำนวนทั้งหมด 45 ครั้งหรือคิดเป็น 37.5% ของการแจ้งซ่อมทั้งหมด ดังนั้นปั๊มแรงดันสูงจึงถูกนำมาทำการศึกษาเพื่อลดต้นทุนด้วยวิศวกรรมคุณค่าเนื่องจากความถี่ในการซ่อมบำรุงสูง ส่งผลให้ต้องหยุดสายการผลิตบ่อย

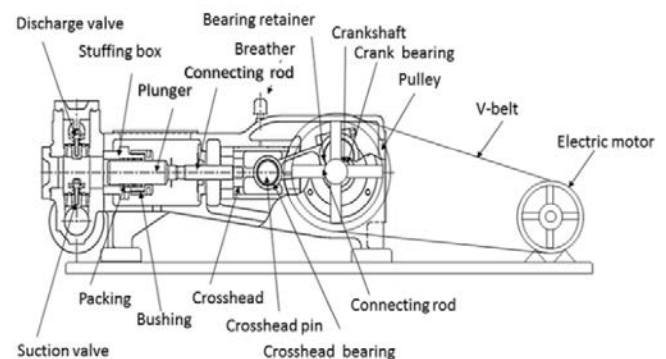
และสูญเสียต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการซ่อมบำรุง รวมถึงต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกี่ยวข้องกับการกักการผลิตที่ลดลง

2.2 รวบรวมข้อมูล

ปั๊มแรงดันสูงเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่บีบอัดวัตถุที่มีลักษณะเป็นของเหลวข้น (Slurry) ซึ่งได้มาจากการผสมวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นของเหลวและวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นผงแล้วนำมาผสมเข้าด้วยกัน จากนั้นจึงลำเลียงของเหลวข้น โดยใช้ปั๊มแรงดันสูงส่งถ่ายของเหลวข้นไปยังห้องสเปรย์ ถ้าในกรณีอุปกรณ์ปั๊มแรงดันสูงเกิดการขัดข้องหรือชำรุด จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตทันที เนื่องจากทำให้ไม่สามารถดำเนินการผลิตผงซักฟอกได้ ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงหน้าที่ของชิ้นส่วนในปั๊มแรงดันสูงจึงจำเป็นต้องศึกษารายละเอียดของส่วนประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 2 และตารางที่ 2

2.3 วิเคราะห์หน้าที่การทำงาน

การวิเคราะห์หน้าที่ของการทำงานของแต่ละชิ้นส่วนของปั๊มแรงดันสูงแสดงดังตารางที่ 2 และประเมินความสัมพันธ์ของหน้าที่หลักเชิงตัวเลข [1, 3] โดยให้ระดับความแตกต่างของน้ำหนักการประเมินเชิงตัวเลขเป็นไปตามตารางที่ 3



รูปที่ 2 ชิ้นส่วนในอุปกรณ์ปั๊มแรงดันสูง

ตารางที่ 3 ระดับความแตกต่างของน้ำหนักการประเมินเชิงตัวเลข

คะแนน	ระดับความสำคัญ
1	ความสำคัญเท่ากัน
2	ความแตกต่างของความสำคัญน้อย
3	ความแตกต่างของความสำคัญปานกลาง
4	ความแตกต่างของความสำคัญมาก

ผลการประเมินเชิงน้ำหนักความสำคัญของหน้าที่หลักดังรูปที่ 3 และตารางที่ 4 พบว่าหน้าที่ "เพิ่มแรงดัน" มีน้ำหนักสูงสุด 36 คะแนน จากนั้นทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคุณค่า

(Value) หน้าที่ (Function) และต้นทุน (Cost) ด้วยสมการที่ 1 ซึ่งหน้าที่ ถูกแทนค่าด้วยน้ำหนักของหน้าที่ และต้นทุนคำนวณจากต้นทุนชิ้นส่วน ที่เกี่ยวข้องกับหน้าที่นั้น

$$V = \frac{F}{C} \quad (1)$$

ค่าน้ำหนักของหน้าที่และต้นทุนที่นำมาคิดคำนวณคุณค่า จำเป็นต้องทำการปรับค่าให้อยู่ในฐานเดียวกันคือเทียบเป็น 100 เปอร์เซนต์ [4] ดังตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์คุณค่าของหน้าที่พบว่า หน้าที่ “เพิ่มแรงดัน” มีคุณค่าน้อยที่สุดและมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง แสดงว่า ต้นทุนสูงกว่าหน้าที่ ดังนั้นการเพิ่มคุณค่า จำเป็นต้องลดต้นทุนชิ้นส่วน ลง โดยทำการศึกษารายละเอียดข้อมูลของลูกสูบในปั๊มแรงดันสูงซึ่ง เกี่ยวข้องกับหน้าที่ “เพิ่มแรงดัน” เพื่อดำเนินการขั้นตอนการสร้างสรรค์ ความคิด (Creative Phase)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	A2	A4	A=D	A4	A4	G2	A2	A2	A2	A2	A4
	B	B3	B=D	B3	B3	G2	B=H	B=I	B=J	B=K	B3
		C	C=D	C2	C2	G4	C=H	C=I	C=J	K2	C=L
			D	D3	F3	G3	D=H	D=I	D=J	D=K	D3
				E	E3	G4	H4	I2	J2	K3	E=L
					F	G4	H4	I3	J3	L3	F=L
						G	G2	G4	G4	G3	G4
							H	H3	H3	H=K	H4
								I	I=J	I=K	I2
									J	J=K	J2
										K	K3
											L

รูปที่ 3 การประเมินหน้าที่หลักเชิงตัวเลข

ตารางที่ 4 น้ำหนักความสำคัญของการประเมินหน้าที่หลักเชิงตัวเลขและคุณค่าของชิ้นส่วนในปั๊มแรงดันสูง

ตัวอักษร	ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้อง	หน้าที่หลัก	น้ำหนักของหน้าที่	%น้ำหนักของหน้าที่ (F)	ต้นทุนชิ้นส่วน (บาท/ชิ้น)	% ต้นทุน (C)	คุณค่า (V=F/C)
A	1	กำเนิดแรงขับเคลื่อน	27	15.70	115,000	22.11	0.71
B	2-4, 7	ส่งผ่านแรง	17	9.88	55,707	10.71	0.92
C	5, 9-11	รองรับชิ้นส่วน	9	5.23	32,266	6.20	0.84
D	4	ควบคุมการเคลื่อนที่	13	7.56	10,000	1.92	3.93
E	6, 14	ประคองชิ้นส่วน	4	2.33	13,900	2.67	0.87
F	8	กรองฝุ่นละออง	4	2.33	1,750	0.34	6.91
G	12	เพิ่มแรงดัน	36	20.93	164,250	31.58	0.66
H	13	ป้องกันการรั่ว	22	12.79	27,000	5.19	2.46
I	16	ควบคุมการเข้าของของเหลว	12	6.98	21,929	4.22	1.65
J	17	ควบคุมการออกของของเหลว	12	6.98	21,929	4.22	1.65
K	18	ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์	13	7.56	52,600	10.11	0.75
L	6, 15	กำหนดตำแหน่ง	3	1.74	3,750	0.72	2.42
รวม			172	100	520,081	100	

2.4 สร้างสรรค์ความคิด

ขั้นการสร้างสรรค์ความคิดได้รวบรวมข้อมูลรายละเอียดคุณสมบัติของลูกสูบ ทำให้ทราบว่าต้องมีการปรับปรุงลูกสูบโดยการเพิ่มความทนทานของลูกสูบ เนื่องจากการเสียดสีของผิวลูกสูบกับวัตถุที่ใช้ในการผลิตผงซักฟอก ทำให้พื้นผิวสัมผัสเสียหาย ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ซีลกันรั่วเสียหายตามไปด้วย ลักษณะผิวลูกสูบที่เสียหายแสดงดังรูปที่ 4 ดังนั้นที่วิจัยจึงเสนอแนวทางการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนวัสดุลูกสูบให้มีความทนทานมากขึ้นเพื่อให้ต้นทุนต่อปริมาณการผลิตลดลง ดังตารางที่ 5 พบว่าราคาของวัสดุใหม่ตามแนวคิดใหม่ทั้งหมดนั้นมีราคาสูงกว่าแนวคิดแบบเดิม ซึ่งขัดแย้งกับหลักการของวิศวกรรมคุณค่าที่ต้องการให้ต้นทุนต่ำลง แต่เมื่อทำการวิเคราะห์เพิ่มเติมว่าการเปลี่ยนวัสดุใหม่ที่มีราคาสูงกว่าวัสดุเดิมนั้นทำให้มีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นสามารถลดค่าใช้จ่ายการหยุดเครื่องจักรในการซ่อมลูกสูบ ประกอบกับการที่ลูกสูบชำรุดส่งผลให้อุปกรณ์ซีลกันรั่วเสียหายไปด้วยอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้แล้วคิดเป็นต้นทุนแอบแฝง 226,800 บาท จากการเปลี่ยนซีลกันรั่ว 6 ครั้งต่อการเปลี่ยนลูกสูบ 1 ครั้ง ทำให้แนวคิดการเพิ่มอายุการใช้งานลูกสูบสามารถลดต้นทุนในภาพรวมได้



รูปที่ 4 ผิวลูกสูบที่เสียหายจากการเสียดสีและการกัดกร่อน

ตารางที่ 5 แนวคิดในการเปลี่ยนวัสดุ

แนวคิด	วัสดุ	ราคา (บาท)	ความแข็งแรง (HV)	ช่วงเวลาการสร้างลูกสูบ (วัน)
แบบเดิม	เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 304	164,250	129	60
1	เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 316L	229,950	152	60
2	เซรามิก (Si ₃ N ₄ , Al ₂ O ₃ , ZrO ₂)	351,300	1,650	90
3	เหล็กกล้าไร้สนิม SUS 420J2	294,300	600	60

2.5 ประเมินความคิด

ขั้นประเมินความคิดได้ทำการคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะของแนวคิด (Performance Index, γ) ดังสมการที่ 2 [5]

$$\gamma = \sum_{i=1}^n \beta_i \alpha_i \quad (2)$$

กำหนดให้ α_i = ค่าน้ำหนักความสำคัญของคุณสมบัติที่ i

β_i = ค่าตัวเลขคุณสมบัติที่ i ซึ่งได้รับการปรับค่าแล้ว

ค่าตัวเลขคุณสมบัติของแนวคิดที่ได้รับการปรับค่าแล้ว สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 และ 4

$$\beta = (X/X_{\max}) \times 100 \text{ ใ้กับคุณสมบัติของแนวคิดที่ยิ่งสูงยิ่งดี} \quad (3)$$

$$\beta = (X_{\min}/X) \times 100 \text{ ใ้กับคุณสมบัติของแนวคิดที่ยิ่งต่ำยิ่งดี} \quad (4)$$

กำหนดให้ X = ค่าคุณสมบัติของแนวคิดที่กำลังพิจารณา

X_{\max} = ค่าคุณสมบัติของแนวคิดที่ดีที่สุด

X_{\min} = ค่าคุณสมบัติของแนวคิดที่ต่ำที่สุด

คุณสมบัติที่ใช้ในการประเมิน คือ ราคา อายุการใช้งานและช่วงเวลาการสร้างลูกสูบ เมื่อทำการให้น้ำหนักความสำคัญของคุณสมบัติด้วยการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น (Analysis Hierarchy Process) และใช้ข้อมูลเชิงปริมาณในตารางที่ 5 สำหรับการคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะของแนวคิดซึ่งแสดงดังตารางที่ 6 พบว่าแนวคิดที่ 2 มีคะแนนรวมสูงสุด ดังนั้น แนวคิดที่ 2 ถูกนำไปทดลองผลิตและทำการพิสูจน์ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 6 การคำนวณค่าดัชนีสมรรถนะของแนวคิด

แนวคิด	ราคา (บาท) $\alpha_1 = 0.45$		ความแข็งแรง (HV) $\alpha_2 = 0.45$		ช่วงเวลาการสร้างลูกสูบ (วัน) $\alpha_3 = 0.10$		ดัชนีสมรรถนะ ($\gamma = \sum \beta \alpha$)
	β_1	$\beta_1 \times \alpha_1$	β_2	$\beta_2 \times \alpha_2$	β_3	$\beta_3 \times \alpha_3$	
SUS 316L	100	45.00	9.21	4.15	100	10.00	59.15
Ceramics	65.46	29.46	100	45.00	66.67	6.67	81.12
SUS 420J2	78.13	35.16	36.36	16.36	100	10.00	61.52

หมายเหตุ ราคาลูกสูบและช่วงเวลาการสร้างลูกสูบเป็นคุณสมบัติของแนวคิดที่ยิ่งต่ำยิ่งดี อายุการใช้งานสัมพันธ์กับความแข็งแรงเป็นคุณสมบัติที่ยิ่งสูงยิ่งดี

2.6 ทดสอบและพิสูจน์

ลูกสูบที่ถูกปรับปรุงตามแนวคิดที่ 2 เป็นลูกสูบที่ถูกเคลือบด้วยวัสดุเซรามิก ซึ่งมีคุณสมบัติทนทานต่อการเสียดสีและการกัดกร่อนได้ดี และมีประสิทธิภาพมากขึ้นเนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานต่ำ ทำให้มีความต้านทานการเคลื่อนที่น้อย รวมถึงสามารถใช้ในงานที่มีอุณหภูมิสูงได้ดีขึ้น เมื่อได้รับการส่งมอบลูกสูบจากผู้ผลิต จึงนำลูกสูบไปติดตั้งเข้ากับอุปกรณ์ปั๊มแรงดันสูง ดังรูปที่ 5



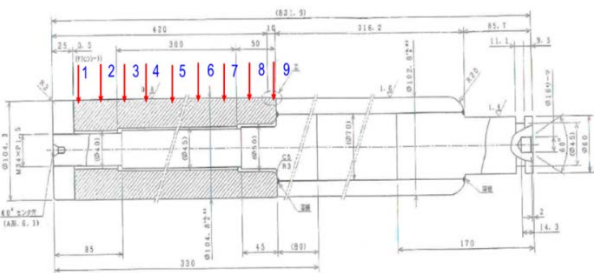
รูปที่ 5 การประกอบชุดลูกสูบเข้ากับปั๊มแรงดันสูง

การทดสอบลูกสูบแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน คือ การวัดขนาดของลูกสูบที่ใช้งานแล้วด้วยไมโครมิเตอร์ และการเปรียบเทียบข้อมูลการเปลี่ยนแปลงซีลกันรั่ว

การวัดค่าการสึกกร่อนของลูกสูบเนื่องจากการเสียดสี เพื่อทดสอบความทนทานของลูกสูบ โดยการทดสอบได้ทำการวัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบด้วยไมโครมิเตอร์ ดังรูปที่ 6 ซึ่งกำหนดตำแหน่งของการวัดค่าการสึกกร่อนของลูกสูบจำนวน 9 จุดตรวจสอบ ดังรูปที่ 7 โดยดำเนินการเก็บข้อมูลทุกเดือนเป็นระยะเวลา 6 เดือน ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 8 พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบลดลง 0.1 มิลลิเมตร ซึ่งมีเปรียบเทียบกับลูกสูบแบบเดิมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางลูกสูบลดลง 0.25 มิลลิเมตร แสดงให้เห็นว่าลูกสูบแบบใหม่มีการสึกกร่อนที่น้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ



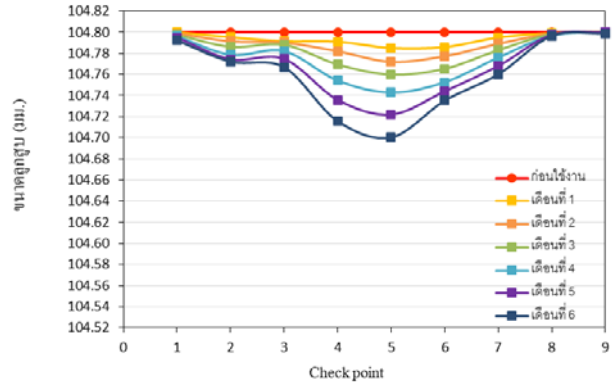
รูปที่ 6 การวัดขนาดของลูกสูบเซรามิกด้วยไมโครมิเตอร์



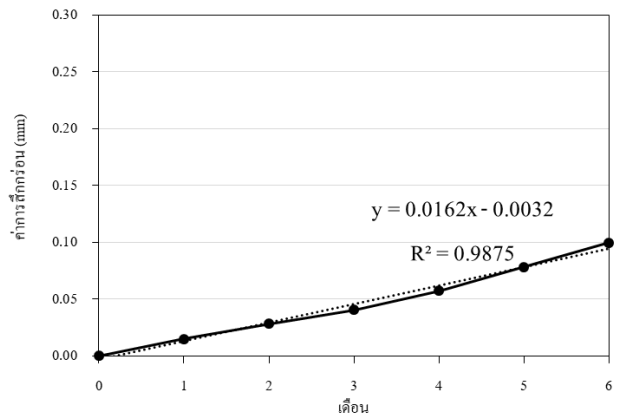
รูปที่ 7 ตำแหน่งในการตรวจวัดขนาดของลูกสูบ

เมื่อทำการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการสึกกร่อนกับระยะเวลาได้ผลการถดถอยเชิงเส้นดังรูปที่ 9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ของค่าการสึกกร่อนสามารถอธิบายด้วยสมการเส้นตรง 98.75% และนำสมการดังกล่าวมาคำนวณอายุการใช้งาน โดยอ้างอิงเกณฑ์การเปลี่ยนลูกสูบใหม่ เมื่อลูกสูบนั้นมีค่าการสึกกร่อนมากกว่า 1 มิลลิเมตร

เมื่อแทนค่าลงในสมการถดถอยเชิงเส้นทำให้คาดการณ์ได้ว่าอายุการใช้งานโดยเฉลี่ยของลูกสูบที่ทำจากวัสดุเซรามิก มีอายุการใช้งานได้นานถึง 5 ปี เปรียบเทียบกับลูกสูบแบบเดิมที่มีอายุการใช้งานเพียง 2 ปี



รูปที่ 8 ข้อมูลการวัดขนาดของลูกสูบเซรามิก



รูปที่ 9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการสึกกร่อนกับระยะเวลา

ข้อมูลการแจ้งซ่อมเปลี่ยนซีลกันรั่วสำหรับลูกสูบที่ทำจากวัสดุเซรามิก ไม่พบข้อมูลการแจ้งเปลี่ยนซีลกันรั่ว ในช่วงทดลองการผลิต 6 เดือน ในขณะที่ลูกสูบแบบเดิมมีการแจ้งซ่อม 1 ครั้ง

เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลในระยะเวลาการใช้งาน 5 ปี ถ้าใช้ลูกสูบแบบเดิม ต้องเปลี่ยนลูกสูบ 2.5 ครั้ง ซึ่งคิดเป็นค่าลูกสูบ 410,625 บาท และค่าแรงการเปลี่ยนลูกสูบ 19,000 บาท แต่ถ้าใช้ลูกสูบเซรามิกจะมีการเปลี่ยนเพียง 1 ครั้ง ซึ่งคิดเป็นค่าลูกสูบ 351,300 บาท และค่าแรงการเปลี่ยนลูกสูบ 7,600 บาท และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนซีลกันรั่วของการใช้ลูกสูบแบบเดิม 15 ครั้ง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 567,000 บาท แต่สำหรับลูกสูบเซรามิกจะมีการเปลี่ยนซีลกันรั่วเพียง 5 ครั้ง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 189,000 บาท ดังนั้นคิดเป็นค่าใช้จ่ายทั้งหมดของลูกสูบแบบเดิม 996,625 บาท และลูกสูบเซรามิก 547,900 บาท ซึ่งลดลง 448,725 บาท

2.7 ข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนที่ 7 นี้เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการนำเสนอข้อเสนอแนะต่อผู้บริหารโรงงานกรณีตัวอย่าง ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. ลูกสูบเซรามิกนำเข้าจากประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการจัดส่งและภาษีนำเข้า ส่งผลให้ลูกสูบเซรามิกมีราคาสูง แต่เนื่องจากนโยบายของทางโรงงานกรณีศึกษาที่ได้ติดต่อโดยตรงกับบริษัทผู้ผลิตลูกสูบของญี่ปุ่นด้วยกัน ทำให้ไม่สามารถแทรกแซงในด้านราคาได้ หากสามารถผลิตลูกสูบภายในประเทศไทยและมีคุณภาพเทียบเท่ามาตรฐานเดียวกับทางญี่ปุ่น อาจสามารถลดค่าใช้จ่ายต้นทุนในส่วนนี้ลงได้อีก

2. การทดสอบลูกสูบใหม่ควรมีการเก็บข้อมูลต่อเนื่องไปจนถึงอายุการใช้งานจริงของลูกสูบเพื่อผลลัพธ์ที่ถูกต้อง แต่ต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์การผลิตผงซักฟอกชนิดใหม่ด้วยว่ามีผลต่อการสึกกร่อนของลูกสูบหรือไม่

3. สรุปผลการดำเนินงาน

การประยุกต์ใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่าในการลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพของบีเอ็มแรงดันสูงในกระบวนการผลิตผงซักฟอก ส่งผลให้อายุการใช้งานของลูกสูบเพิ่มมากขึ้นจาก 2 ปี เป็น 5 ปีหรือคิดเป็นความถี่การเปลี่ยนลูกสูบลดลงจาก 2.5 ครั้งต่อ 5 ปี เหลือเพียง 1 ครั้งต่อ 5 ปี นอกจากนี้ อัตราการสึกกร่อนที่ลดลงของผิวลูกสูบทำให้ซีลกันรั้วมีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความถี่ในการเปลี่ยนซีลกันรั้วลดลงจาก 3 ครั้งต่อปี เป็น 1 ครั้งต่อปี ดังนั้นต้นทุนโดยรวมในระยะเวลา 5 ปีที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนมาใช้ลูกสูบเซรามิกลดลงจากเดิม 996,625 บาท มาเป็น 547,900 บาท ซึ่งลดลง 448,725 บาท หรือลดลง 45.02 เปอร์เซ็นต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] อัมพิกา ไกรฤทธิ, วิศวกรรมคุณค่า เทคนิคการลดต้นทุนอย่างมีระบบ, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พิมพ์ครั้งที่ 9, 2551.
- [2] Jay Mandelbaum and Danny L. Reed, Value Engineering Handbook, Virginia: Institute for Defense Analyses, 2007.
- [3] เลิศชัย ระตะนะอาพร, การบริหารวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering Management), กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- [4] Amit Sharma and R. M. Belokar, Implementation of Value Engineering-A Case Study, International Journal of Marketing, Financial Services & Management Research, Vol.1 No. 3, 2012.
- [5] บัญชา ธนบูรณ์สมบัติ, "การออกแบบทางวิศวกรรม : การเลือกใช้วัสดุและกรรมวิธีการผลิต", สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542.

การออกแบบตำแหน่งตะกร้าภายในสถานีงานพุททุไลท์สำหรับศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้าน Design of Basket Position in Put-To-Light Working Station for Home Improvement Distribution Center

กิตติการ จิตรเอื้ออารีย์กุล* โอราน กิตติธีรพรชัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6370023421@student.chula.ac.th*, oran.k@chula.ac.th

Kitakran Jitauretikun*, Oran Kittithreerapronchai

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: 6370023421@student.chula.ac.th*, oran.k@chula.ac.th

บทคัดย่อ

เนื่องจากภาวะขาดแคลนแรงงาน บริษัทค้าปลีกหลายแห่งในประเทศไทยจึงได้ประยุกต์ระบบขนถ่ายวัสดุแบบกึ่งอัตโนมัติในศูนย์กระจายสินค้าเช่นเดียวกับบริษัทค้าปลีกวัสดุก่อสร้างกรณีศึกษาที่นำระบบหยิบสินค้าด้วยแสง หรือ พุททุไลท์ (Put-To-Light) ซึ่งเป็นระบบขนถ่ายสินค้าขนาดเล็กในตะกร้าและระบุจำนวนที่ต้องการหยิบสำหรับพนักงาน ในสถานีงานประกอบไปด้วยตำแหน่งตะกร้าหลายตำแหน่งซึ่งแต่ละตำแหน่งแสดงร้านสาขาและประเภทของสินค้า จากข้อมูลกรณีศึกษาพบว่าจำนวนสินค้าที่หยิบได้เฉลี่ยต่อชั่วโมงแรงงานต่ำเพราะ นโยบายการกำหนดตำแหน่งร้านสาขาภายในสถานีงาน ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงนำเสนอและศึกษา 2 ปัจจัยสำหรับการปรับปรุงตำแหน่งร้านสาขาภายในสถานีงานประกอบด้วย รูปแบบการวางตำแหน่ง และข้อมูลรอบระยะเวลา เพื่อคำนวณระยะการเดินทางของพนักงานภายในสถานีซึ่งส่งผลต่ออัตราการหยิบสินค้า การวิเคราะห์ผลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือการเปรียบเทียบผลนโยบายใหม่กับรูปแบบปัจจุบันโดย Paired-Difference Test ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าบางส่วนของรูปแบบการวางตำแหน่งและข้อมูลรอบระยะเวลาสามารถทำให้ระยะการเดินทางของพนักงานลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ส่วนที่สองคือการวิเคราะห์ผลโดย Tukey's Honestly Significant Difference Test ได้แสดงให้เห็นว่าปัจจัยทั้ง 2 ไม่ได้ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยระยะการเดินทางแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ

คำสำคัญ: พุททุไลท์, การจัดการคลังสินค้า, ระบบการหยิบสินค้า

Abstract

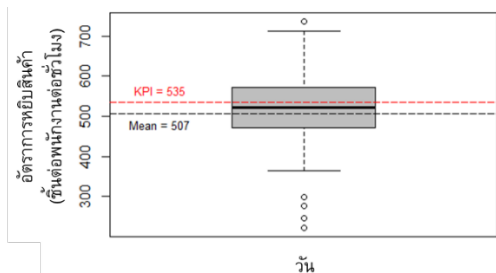
Plagued by a labor shortage, many retailers in Thailand have applied semi-automatic material handling systems in their distribution centers, similar to the case study of a home improvement retailer. The case study has adopted a put-to-light system, which is a material handling system that conveys a basket of small items and identifies a picking quantity for an operator. The workstation consists of multiple basket locations, each representing the combination of an outlet branch and an item type. However, the case study reveals that the average number of picking items per man-hour is low due to the allocation policy of outlet positions within the workstation. Therefore, this research proposes and studies two factors for improving store location within the workstation, consisting of positioning patterns and period data to calculate the walking distance of workers within the station, which affects the picking rate. The result analysis is divided into two parts. The first part is a comparison of the new policy results with the current pattern by the Paired-Difference Test. The results suggest that some of the patterns and the period can significantly reduce worker walking distance with a 95% confidence level. The second analysis, by Tukey's Honestly Significant Difference Test, suggests that the two factors are not a significant cause of the difference in the mean walking distance of workers.

Keywords: Put-to-light, Warehouse management, Picking system

1. บทนำ

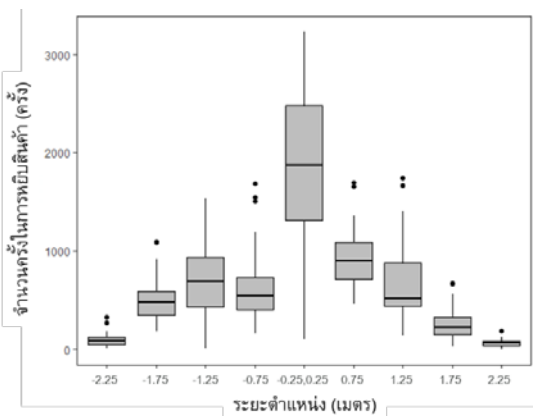
ปัญหาการขาดแคลนแรงงานในประเทศไทยมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง [1] ซึ่งขัดแย้งกับการขยายตัวของธุรกิจค้าปลีกวัสดุก่อสร้างสมัยใหม่หรือธุรกิจโมเดิร์นเทรดที่ได้รับความนิยมมาจากการเติบโตของอุตสาหกรรมภาคก่อสร้างและอสังหาริมทรัพย์ [2, 3] ส่งผลให้ค่าแรงในการจ้างงานแรงงานฝีมือปรับตัวสูงขึ้นเนื่องจากการแข่งขันระหว่างนายจ้าง จากปัจจัยเหล่านี้จึงมีความต้องการนำระบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติเข้ามาใช้ภายในคลังสินค้า [4] ดังเช่นเดียวกับบริษัทค้าปลีกวัสดุก่อสร้างกรณีศึกษาซึ่งนำหยิบสินค้าด้วยแสง หรือ ระบบพุกูไลท์ (Put-to-Light) ซึ่งอาศัยแนวคิดการนำสินค้าที่มีหน่วยการหยิบเป็นชิ้นมายังพนักงานเพื่อกระจาย หรือ Goods-to-Men

จากวิเคราะห์ระบบพุกูไลท์ของบริษัทกรณีศึกษาเบื้องต้น พบว่าสถานีนงานมีอัตราการหยิบสินค้าเฉลี่ยต่อพนักงานต่อชั่วโมง (Number of Piece per Man-Hour) ดังแสดงในรูปที่ 1 ต่ำกว่าที่บริษัทกรณีศึกษาตั้งเป้าไว้ที่ 535 ชิ้นต่อพนักงานต่อชั่วโมง



รูปที่ 1 อัตราการหยิบสินค้าเฉลี่ยต่อพนักงานต่อชั่วโมงของสถานีนงานพุกูไลท์แต่ละวันในระยะเวลาหนึ่งเดือน

นอกจากนั้นหากสังเกตการทำงานของพนักงานกระจายพบว่ามีการเดินสุญญเปล่าในระหว่างการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความถี่การวางสินค้าตามตำแหน่งภายในสถานีนงานพุกูไลท์ตลอดเวลาหนึ่งเดือน

รูปที่ 2 แสดงความถี่การวางสินค้าตามตำแหน่งภายในสถานีนงานพุกูไลท์ จากจำนวนงานรายวันตลอดระยะเวลาหนึ่งเดือน ในแนวราบ

วัดจากสายพานซึ่งอยู่กึ่งกลางของสถานีนงานซึ่งแสดงด้วยเลขศูนย์ หากตำแหน่งตะกร้าอยู่ด้านซ้ายมือ (ด้านขวามือ) ของสายพานจะแสดงด้วยเครื่องหมายลบ (เครื่องหมายบวก) จากรูปพบว่าตำแหน่งมีสินค้ามีความถี่การวางสูงสุดคือตำแหน่งกึ่งกลางสถานีนงาน แต่ทว่าความถี่การวางสินค้าในตำแหน่งอื่นมิได้ลดหลั่นกันลงมาเป็นลำดับ หรือพนักงานต้องเดินกระจายสินค้าไปในตำแหน่งที่ไกลในจำนวนครั้งมากกว่าตำแหน่งที่ใกล้ภายในสถานีนงานยกเว้นในตำแหน่งที่ศูนย์ เนื่องจากรูปแบบการจัดตำแหน่งวางตะกร้าร้านสาขาพิจารณาเฉพาะภาพรวมของการส่งสินค้า โดยไม่ได้คำนึงถึงประเภทสินค้า หน่วยสินค้า ขนาดกายภาพของสินค้า หรือ ความแปรปรวนในแต่ละวัน ความสูญเปล่าในการเดินทำให้พนักงานต้องใช้ระยะเดินมากและส่งผลให้อัตราการหยิบสินค้าของพนักงานลดลง

ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงนโยบายการตำแหน่งการจัดวางตะกร้าบรรจุสินค้าที่เหมาะสมภายในสถานีนงานพุกูไลท์ของศูนย์กระจายสินค้าวัสดุตกแต่งบ้านกรณีศึกษา เพื่อเพิ่มอัตราการหยิบสินค้าเฉลี่ยต่อพนักงานต่อชั่วโมง

2. ระบบพุกูไลท์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

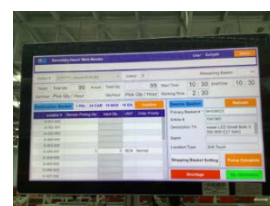
ในส่วนนี้จะกล่าวถึงข้อมูลเบื้องต้นของระบบพุกูไลท์ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์สำหรับใช้งาน กระบวนการทำงาน ประโยชน์จากการใช้ระบบพุกูไลท์ รวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบพุกูไลท์

2.1 ระบบพุกูไลท์

ระบบพุกูไลท์เป็นระบบการจัดเรียงดิจิทัล (Digital Assort System) ที่ถูกพัฒนาจากระบบการหยิบสินค้าพิกูไลท์ (Pick-to-Light) ซึ่งหยิบสินค้าจากชั้นวางสินค้าที่แตกต่างลงในตะกร้าของร้านสาขา ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบพุกูไลท์ว่าการย้อนกลับของระบบพิกูไลท์ [5] โดยในระบบพิกูไลท์ ตะกร้าสินค้าแต่ละชนิดถูกขนถ่ายผ่านสายพานมายังสถานีนงานที่พนักงานประจำอยู่ สถานีนงานแต่ละสถานีนประกอบไปด้วยชั้นวาง หรือ แร็ก (Rack) เพื่อวางตะกร้าของร้านสาขา และ หน้าจอที่ระบุจำนวนสินค้าที่ร้านสาขาแต่ละแห่งต้องการ พนักงานมีหน้าที่การหยิบสินค้าตามจำนวนที่ปรากฏในหน้าจอลงตะกร้าสินค้าแต่ละสาขา และ กดปุ่มยืนยันเมื่อวางสินค้าครบตามจำนวนที่ร้านสาขาต้องการ โดยทั่วไป ระบบพุกูไลท์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลักอยู่ 2 ส่วน ตามรูปที่ 3



(ก) อุปกรณ์ไฟฟ้า



(ข) คอมพิวเตอร์

รูปที่ 3 ตัวอย่างของอุปกรณ์ในระบบพุกูไลท์

รูปที่ 3.ก แสดง อุปกรณ์ไฟฟ้า (Light Device) ซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักของระบบประกอบไปด้วย หน้าจอ LED แสดงตัวเลขของจำนวนสินค้าที่ต้องการ และ ลักษณะไฟของบอกรสถานะของระบบ รูปที่ 3.ข แสดง คอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์แสดงสถานะของระบบ และควบคุมการทำงานของสถานีงาน ผ่านการเชื่อมต่อกับระบบจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management System) นอกเหนือจากอุปกรณ์หลักทั้ง 2 ส่วน ระบบพหุทุโไลท์ยังสามารถประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์อื่น ๆ เช่น สายพานลำเลียงสินค้า หรือ เครื่องอ่านบาร์โค้ด เป็นต้น

ระบบพหุทุโไลท์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายสินค้าขนาดเล็ก ลงทุนที่น้อยกว่าระบบอัตโนมัติประเภทอื่น และมียืดหยุ่นในการทำงาน สามารถแก้ไขหรือดัดแปลงวิธีการใช้งานได้ [6]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบพหุทุโไลท์โดยเฉพาะในปัจจุบันยังมีจำกัด อย่างไรก็ตาม แนวคิดการจัดการของระบบพหุทุโไลท์สามารถนำมาประยุกต์ต่อยอดในด้านการจัดการระบบพหุทุโไลท์ และสำหรับใช้ในการตัดสินใจในการเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับระบบการจัดเรียงสินค้าอื่น เช่น การเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพ [7] ด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน [8] และ ด้านคุณภาพในการจัดสินค้า [9] เป็นต้น

อีกส่วนคืองานวิจัยที่มุ่งเน้นเกี่ยวกับการจัดการระบบพหุทุโไลท์ เช่น การจัดลำดับการวางตะกร้าสินค้าในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งรวมถึงลำดับก่อนหลังในการวางตะกร้าเนื่องจากพื้นที่วางตะกร้ามีจำกัด โดยในงานวิจัยนี้จะมีการจัดลำดับสินค้าเข้าให้สอดคล้องกับตำแหน่งตะกร้าที่จัด เพื่อลดจำนวนการเดินทางของพนักงาน [10] มีงานวิจัยที่การพัฒนาการจัดการพหุทุโไลท์ด้วยการวางตะกร้าสินค้าในรูปแบบชั้นวางติดผนังหลาย ๆ ชั้น เพื่อลดเวลาว่างงานของพนักงาน [11] มีศึกษาการกำหนดนโยบายเพื่อเปรียบเทียบการทำงานภายในระบบพหุทุโไลท์ที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ในด้านการเดินทางของพนักงานและลำดับสินค้าเข้า เพื่อลดระยะทางการเดินทางของพนักงาน [6] และมีศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองการทำงานภายในระบบพหุทุโไลท์ที่มีพนักงาน 2 คน เพื่อเปรียบเทียบมีการทำงาน 2 รูปแบบ ได้แก่ การทำงานแยกคนละเส้นทางกับทำงานร่วมกัน โดยวัดผลจากเวลาที่พนักงานใช้และเวลาการไหลของระบบ [12]

3. การจัดการระบบพหุทุโไลท์และแนวทางการปรับปรุง

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการทำงานและข้อมูลในระบบพหุทุโไลท์ของบริษัทกรณีศึกษา ในปัจจุบัน รวมทั้งแนวทางในการปรับปรุงตำแหน่งตะกร้าของร้านสาขา

3.1 การจัดการระบบพหุทุโไลท์

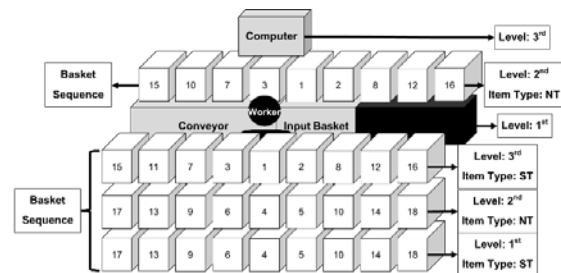
ระบบพหุทุโไลท์ของบริษัทกรณีศึกษามีหน้าที่ในการกระจายสินค้าขนาดเล็กที่มีหน่วยหยิบเป็นชั้นนำไปยังร้านสาขาของบริษัท โดยตะกร้าสินค้าขนาดกว้าง ยาว สูง 600 400 325 มิลลิเมตร ตามลำดับ สำหรับ

การเคลื่อนย้ายสินค้าทั้งขาเข้าและขาออกจากสถานีงานผ่านสายพานลำเลียง ตามรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างสถานีงานระบบพหุทุโไลท์

สถานีงานพหุทุโไลท์จะมีรูปแบบการดำเนินงานที่เหมือนกันในทุกสถานี โดยการจัดตำแหน่งตะกร้าสาขาภายในสถานีงานพหุทุโไลท์ ในแต่ละสถานีงานรับผิดชอบรับสินค้าสาขาสูงสุด 18 สาขา โคนแต่ละสาขาจะมีตะกร้า 2 ชนิดตามลักษณะสินค้าได้แก่ ตะกร้าสำหรับสินค้าชนิดปกติ (Normal Touch, NT) และตะกร้าสำหรับสินค้าที่แตกหักได้ง่าย (Soft Touch, ST) รวมเป็น 36 ตะกร้าต่อสถานีงาน เพื่อความสะดวกในการทำงาน ตะกร้า NT จะถูกจัดเรียงในชั้นที่ 2 ของแรก สำหรับตะกร้า ST จะถูกจัดเรียงบนชั้นที่ 1 และ 3 ดังตัวอย่างแผนผังลำดับตำแหน่งการวางตะกร้าในรูปที่ 5



รูปที่ 4 แผนผังการวางตะกร้าภายในสถานีงานพหุทุโไลท์

ตำแหน่งของตะกร้าสาขาในปัจจุบันเป็นผลจากการออกแบบของผู้ผลิตระบบพหุทุโไลท์โดยใช้ข้อมูลการกระจายสินค้าในอดีตก่อนการสร้างและดำเนินกิจกรรมคลังสินค้าในอาคารคลังสินค้าแห่งนี้ โดยตะกร้าของร้านสาขาที่มีคำสั่งซื้อสูงสุดถูกกำหนดตำแหน่งไว้ที่กึ่งกลางของสถานีงานใกล้กับสายพานส่งตะกร้าและคอมพิวเตอร์ สำหรับตะกร้าของร้านสาขาที่มีคำสั่งซื้อรองลงมาถูกกำหนดตำแหน่งซ้ายและขวาของจุดกึ่งกลางสถานีงานลดหลั่นกันมา

ในปัจจุบันข้อมูลสถานการณ์และสินค้าที่ดำเนินการกระจายมีการเปลี่ยนแปลง การทำงานที่ออกแบบไว้ในอดีตไม่สะท้อนการทำงานและข้อมูลไม่เป็นปัจจุบัน ดังนั้นบริษัทกรณีศึกษาควรพิจารณาขยายการปรับปรุงตำแหน่งของตะกร้า

3.2 นโยบายการปรับปรุงตำแหน่งตะกร้า

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าตำแหน่งการวางตะกร้าภายในสถานีงานส่งผลต่อระยะการเดินทางของพนักงานภายในสถานี [10] ซึ่งแปร

ผ่านโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ในการดำเนินงานจึงเป็นปัจจัยที่กระทบต่ออัตราการหยิบสินค้าของพนักงาน โดยในปัจจุบันการจัดตำแหน่งตะกร้าถูกคำนวณจากยอดสั่งซื้อสินค้าในหน่วยนับสินค้า (Units of Measures, UOM) โดยไม่ได้แบ่งแยกประเภทสินค้า NT และ ST ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงใคร่เสนอโยบายการกำหนดตำแหน่งตะกร้าร้านสาขาออกเป็น 3 รูปแบบ (Pattern) ได้แก่

- UOM เป็นการลำดับตำแหน่งตะกร้าจากการคำนวณจำนวนสินค้าในหน่วย UOM โดยแยกการลำดับตะกร้าสินค้า NT และ ST เนื่องจากคลังสินค้าใช้หน่วยสินค้า UOM เป็นตัวกำหนดใน KPI
- BUN เป็นการลำดับตำแหน่งตะกร้าจากการคำนวณจำนวนสินค้าในจำนวนหน่วยบาร์โค้ด (Barcode Unit Number, BUN) โดยแยกการลำดับตะกร้าสินค้า NT และ ST เนื่องจากเป็นหน่วยเล็กที่สุดของสินค้าที่นับผ่านระบบพุทูล์
- BAS เป็นการลำดับตะกร้าจากการคำนวณยอดตะกร้าสินค้าเข้าร้าน โดยแยกการลำดับตะกร้าสินค้า NT และ ST เนื่องจากการหยิบสินค้าของพนักงานเพื่อนำไปวางไม่ได้หยิบทีละชิ้น

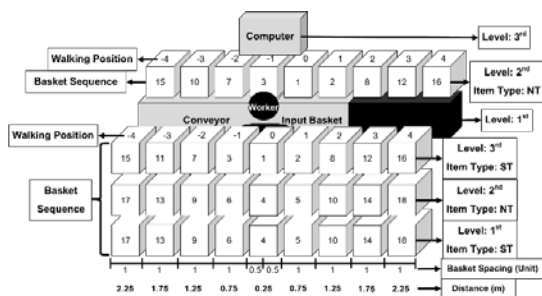
3.3 ข้อมูลย้อนหลังในการกำหนดนโยบาย

นอกเหนือจากนโยบายการปรับปรุงตำแหน่งตะกร้า ปริมาณและระยะเวลาของการนำข้อมูลในอดีตเพื่อกำหนดนโยบายเองก็มีส่วนสำคัญ ในการศึกษาที่พิจารณาข้อมูล 3 ระดับ (Period) ได้แก่

- DAY เป็นการนำข้อมูลสินค้าที่เข้าร้านทุกวันพุทูล์ 1 วัน ในการกำหนดนโยบาย
- WEK เป็นการนำข้อมูลสินค้าที่เข้าร้านทุกวันพุทูล์ 7 วัน ในการกำหนดนโยบาย เนื่องจากลักษณะการซื้อสินค้าของลูกค้า
- MTH เป็นการนำข้อมูลสินค้าที่เข้าร้านทุกวันพุทูล์ตลอดระยะเวลา 1 เดือน หรือ 31 วัน ในการกำหนดนโยบาย เนื่องจากลักษณะการสั่งซื้อสินค้าและการปิดงบดุลทางบัญชีของบริษัทกรณีศึกษา

โดยนโยบายการปรับปรุงตำแหน่งตะกร้า และข้อมูลย้อนหลังในการกำหนดนโยบาย ส่งผลให้ตำแหน่งตะกร้าสาขาภายในร้านเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณสินค้า ซึ่งได้มาจากวิธีการนับแต่ละรูปแบบและระยะเวลาที่แตกต่างกันในแต่ละระดับ

การวัดผลจะคำนวณการระยะทางการเดินของพนักงานจะคิดระยะตามรูปที่ 6

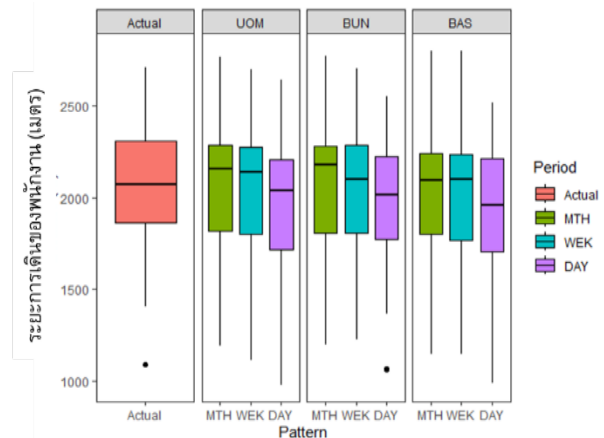


รูปที่ 6 แผนผังการวัดระยะทางการเดินของพนักงาน

ระยะทางเดินของพนักงานคิดจากระยะความกว้างของตำแหน่งการวางตะกร้าสาขาในร้านโดยกำหนดให้ความกว้างของตำแหน่งการวางตะกร้า 1 ไร่มีความกว้าง 1 หน่วย (Unit) อยู่ที่ 500 มิลลิเมตร โดยการคำนวณระยะทางจะคิดจากระยะเดินไปและกลับสูงสุดของพนักงานทั้งด้านซ้ายและด้านขวาของร้านสาขาต่อตะกร้าสาขาเข้า

4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองหาระยะการเดินของพนักงานจากข้อมูลตำแหน่งตะกร้าสาขาในปัจจุบัน (Actual) และการปรับปรุงตามนโยบาย ได้ผลตามในรูปที่ 7 และตารางที่ 1



รูปที่ 7 การกระจายข้อมูลระยะการเดินของพนักงานในปัจจุบันและหลังปรับตามนโยบาย

ตารางที่ 1 ค่าทางสถิติระยะการเดินของพนักงานในปัจจุบันและหลังปรับตามนโยบาย

Policy		ระยะทางรวม (เมตร)						
Pattern	Period	ค่าเฉลี่ย	SD	Min	Q1	Q2	Q3	Max
Actual		2061.2	394.8	1091.0	1813.0	2072.0	2314.0	2709.5
MTH	UOM	2024.7	386.2	1191.5	1809.5	2158.5	2303.0	2767.0
	BUN	2024.8	385.9	1193.5	1800.5	2177.5	2298.0	2771.0
	BAS	1991.1	375.1	1144.0	1798.0	2096.5	2246.5	2803.0
WEK	UOM	1999.9	398.4	1114.0	1742.5	2141.0	2295.5	2701.0
	BUN	2006.3	376.2	1225.5	1780.5	2098.5	2298.5	2703.5
	BAS	1988.3	381.4	1147.0	1767.0	2099.5	2245.0	2801.0
DAY	UOM	1943.6	402.9	977.0	1637.5	2035.5	2215.5	2641.0
	BUN	1949.5	389.4	1063.0	1729.5	2015.5	2229.5	2553.5
	BAS	1920.0	385.5	989.0	1646.0	1960.0	2219.5	2520.5

5. ผลวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลทางสถิติที่ได้จากผลการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบการปรับปรุงตามนโยบายกับรูปแบบปัจจุบัน โดยใช้วิธีการ Paired-Difference Test และ Tukey's Honestly Significant Difference Test ผ่านโปรแกรม Minitab [13] ซึ่งกำหนดระดับความเชื่อมั่น (Confidence Level) ไว้ที่ 95%

การวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเดินทางของพนักงานระหว่างปัจจุบันกับการปรับปรุงตามนโยบายโดยใช้วิธีการ Paired-Difference Test ในการทดสอบ ซึ่งมีสมมติฐาน (H_0) คือ ผลต่างค่าเฉลี่ยระหว่างปัจจุบันกับการปรับปรุงตามนโยบาย ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการเดินทางระหว่างปัจจุบันกับการปรับปรุงโดยใช้วิธีการ Paired-Difference Test

Policy		t-value	p-value	Result
Pattern	Period			
UOM	MTH	1.44	0.081	Do not Reject H_0
	WEK	2.39	0.012	Do not Reject H_0
	DAY	3.32	0.001	Reject H_0
BUN	MTH	1.37	0.091	Do not Reject H_0
	WEK	2.10	0.022	Reject H_0
	DAY	3.65	0.000	Reject H_0
BAS	MTH	3.27	0.001	Reject H_0
	WEK	3.01	0.003	Reject H_0
	DAY	4.53	0.000	Reject H_0

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเทียบผลต่างค่าเฉลี่ยการเดินทางของพนักงานระหว่างปัจจุบันกับการปรับปรุงตามนโยบายโดยใช้วิธีการ Paired-Difference Test พบว่าการจัดตำแหน่งโต๊ะเก้าอี้ด้วยรูปแบบ UOM ในระดับ MTH และ WEK กับรูปแบบ BUN ในระดับ MTH ไม่สามารถระบุได้ว่าค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเดินทางของพนักงานในปัจจุบันมากกว่าการปรับปรุงตามนโยบายอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่การจัดตำแหน่งโต๊ะเก้าอี้ด้วยรูปแบบ UOM ในระดับ DAY กับรูปแบบ BUN ในระดับ WEK และ DAY และรูปแบบ BAS ในทุกระดับ มีค่าเฉลี่ยระยะเวลาการเดินทางของพนักงานในปัจจุบันมากกว่าการปรับปรุงตามนโยบายอย่างมีนัยยะสำคัญ

ส่วนการวิเคราะห์เปรียบเทียบระยะเวลาการเดินทางของพนักงานระหว่างปัจจุบันและการปรับปรุงตามนโยบายโดยใช้วิธีการ Tukey's Honestly Significant Difference Test ในการทดสอบ ซึ่งมีสมมติฐาน (H_0) คือ ค่าเฉลี่ยระหว่างข้อมูล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ ดังแสดงในตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติเทียบผลต่างค่าเฉลี่ยการเดินทางของพนักงานระหว่างปัจจุบันและการปรับปรุงตามนโยบายโดยใช้วิธีการ Tukey's Honestly Significant Difference Test พบว่าค่าเฉลี่ยการเดินทางของพนักงานโดยการจัดตำแหน่งโต๊ะเก้าอี้ในทุกรูปแบบให้ผลอยู่

ในกลุ่มเดียวกันในกลุ่ม A ซึ่งหมายถึงผลของข้อมูลไม่ได้แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ ดังนั้นการจัดตำแหน่งโต๊ะเก้าอี้ในทุกรูปแบบทำให้ค่าเฉลี่ยการเดินทางของพนักงานไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยการเดินทางระหว่างปัจจุบันและตามการปรับปรุงโดยใช้วิธีการ Tukey's Honestly Significant Difference Test

Policy		N	Mean	Grouping
Pattern	Period			
Actual		31	2061.2	A
UOM	MTH	31	2024.7	A
	WEK	31	1999.9	A
	DAY	31	1943.6	A
BUN	MTH	31	2024.8	A
	WEK	31	2006.3	A
	DAY	31	1949.5	A
BAS	MTH	31	1991.1	A
	WEK	31	1988.3	A
	DAY	31	1920.0	A

6. สรุป

จากการศึกษาตำแหน่งการวางโต๊ะเก้าอี้ภายในสถานีงานพุกทุไลท์ ซึ่งพิจารณาการจัดตำแหน่งจาก 2 ปัจจัย โดยวัดผลจากระยะการเดินทางของพนักงาน ข้อสรุปแรกที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบการปรับตำแหน่งโต๊ะเก้าอี้จากปัจจัยที่กำหนดกับรูปแบบตำแหน่งการจัดโต๊ะเก้าอี้ในปัจจุบันโดยใช้วิธีการ Paired-Difference Test พบว่าปัจจัย Period ในระดับ DAY จะให้ผลระยะการเดินทางที่ต่ำกว่ารูปแบบปัจจุบันอย่างมีนัยยะสำคัญ เนื่องจากการปรับโต๊ะเก้าอี้ในรายวันที่ยังอิงจากข้อมูลในช่วงเวลาที่สั้นทำให้ประเมินสถานการณ์ได้ตรงกับจำนวนสินค้าที่เข้ามา ส่วนปัจจัย Pattern ในรูปแบบ BAS ทำให้ผลการเดินทางที่ต่ำกว่ารูปแบบปัจจุบันอย่างมีนัยยะสำคัญเช่นกัน เนื่องมาจากการเน้นการระยะเดินทางและการหยิบสินค้าที่สอดคล้องกับโต๊ะเก้าอี้เข้า รวมถึงปัจจัย Pattern ในรูปแบบ BUN ระดับ WEK ก็สามารถทำให้ผลการเดินทางที่ต่ำกว่ารูปแบบปัจจุบันอย่างมีนัยยะสำคัญ อย่างไรก็ตามข้อสรุปในส่วนที่สองที่เป็นการเปรียบเทียบผลค่าเฉลี่ยการเดินทางของพนักงานโดยใช้วิธีการ Tukey's Honestly Significant Difference Test พบว่าการเทียบผลทุกรูปแบบไม่ได้ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยการเดินทางของพนักงานนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยยะสำคัญ

การวิเคราะห์ทั้ง 2 ส่วนในปัจจุบันยังเป็นเพียงการวิเคราะห์ในเบื้องต้นเท่านั้น การทำงานของระบบพุกทุไลท์ของคลังสินค้าบริษัทกรณีศึกษา ยังคงต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมทั้งในส่วนของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และความเกี่ยวเนื่องของสถานีงานที่ใช้ระบบพุกทุไลท์ซึ่งมีความสัมพันธ์กัน การวิเคราะห์เบื้องต้นจะช่วยให้ในส่วนของการขยายของสถานีงาน แต่การวิเคราะห์ทั้งระบบอาจจะเป็นไปได้ยาก ในอนาคตจึงควรมีการทดลองและวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ เพิ่มเติมเพื่อหาวิธีการ

แก้ปัญหาที่เหมาะสม โดยนำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) มาช่วยในการวิเคราะห์

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณเพชรชมพู เทพพิพิธ ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าไปศึกษาเก็บข้อมูลการทำงานของระบบพุทท์ไลท์

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมการจัดหางาน กองบริหารข้อมูลตลาดแรงงาน. การแก้ไขและป้องกันการขาดแคลนแรงงาน พ.ศ. ๒๕๖๐ - ๒๕๖๔, 2560.
- [2] สิริทิพย์ ฉลอง. ศูนย์วิจัยธนาคารออมสิน, ธุรกิจโมเดิร์นเทรดวัสดุก่อสร้าง, 2562.
- [3] สิริทิพย์ ฉลอง. ศูนย์วิจัยธนาคารออมสิน, ธุรกิจโมเดิร์นเทรดวัสดุก่อสร้าง..กับผลกระทบปี 2563, 2563.
- [4] SME Thailand, จับตาเทรนด์การจัดการคลังสินค้ายุคใหม่ รับมือผู้บริโภค "ฉันท้องการสินค้าเดี๋ยวนี!", ข้อมูลจาก <https://www.smethailandclub.com/technology-4941-id.html> (วันที่สืบค้นข้อมูล 4 ธันวาคม 2554)
- [5] T. Feare, 2003. "Picking lights up". Modern Materials Handling, Vol. 58 (8): 40-41.
- [6] N. Boysen, D. Füßler and K. Stephan. 2020. "See the light: Optimization of put-to-light order picking systems". Naval Research Logistics, Vol. 67 (1): 3-20.
- [7] J. De Vries, R. De Koster, and D. Stam. 2016. "Exploring the role of picker personality in predicting picking performance with pick by voice, pick to light and RF-terminal picking". International Journal of Production Research, Vol. 54 (8): 2260-2274.
- [8] D. Battini, M. Calzavara, A. Persona, and F. Sgarbossa. 2015. "A comparative analysis of different paperless picking systems". Industrial Management and Data Systems, Vol. 115 (3): 483-503.
- [9] A.K. Karthik, R. J.N and S.S. Ravichandran. 2017. "NFC aided sortation system for e-commerce warehouses". Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management.
- [10] D. Füßler and N. Boysen. 2017. "Efficient order processing in an inverse order picking system". Computers and Operations Research, Vol. 88: 150-160.
- [11] N. Boysen, K. Stephan and F. Weidinger. 2019. "Manual order consolidation with put walls: the batched order bin sequencing problem". EURO Journal on Transportation and Logistics, Vol. 8 (2): 169-193.

[12] S. Hong. 2020. "Performance evaluation of two-worker operations in a worker-to-cell order assorting system". Journal of Manufacturing Systems, Vol. 56: 414-424.

[13] Minitab Inc., "Getting Started with Minitab 19," 2020.

การลดของเสียในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้า กรณีศึกษา: บริษัท แอดแวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด

Reducing Defect in The Shoe Insoles Manufacturing. Case Study: Advantage Footwear Co, Ltd.

ประเสริฐ ศรีบุญจันทร์ เจนจิรา ธารพร ณัฐนารี สุดตา ธนภรณ์ เรืองสา
ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราจีนบุรี
prasert.s@itm.kmutnb.ac.th*

Prasert Sriboonchandr^{*}, Jenjira Tharaporn, Natnaree Sudta, Thanaporn Rueangsa
Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
prasert.s@itm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการลดของเสียในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้า กรณีศึกษา : บริษัท แอดแวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้า ขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย ศึกษากระบวนการผลิต เก็บรวบรวมข้อมูลของเสีย วิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต พบว่าปัญหาหลักๆ ได้แก่ อัดพื้นไม่เต็ม ชิ้นงานสกปรก และทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา ร่วมกับการระดมสมองและหลัก 3 จริ่ง พบว่าสาเหตุหลักปัญหา ได้แก่ ขนาดยางไม่ได้มาตรฐาน อุณหภูมิไม่คงที่ และการเพิกเฉยการทำ ความสะอาด แนวทางการแก้ปัญหา ได้แก่ ออกแบบเกจวัดขนาดแผ่นยาง เสริมชิ้นส่วนแผ่นยางให้เต็มแม่แบบ กำหนดระยะเวลาในการวัดอุณหภูมิที่เหมาะสม คือทุกการอัดพื้นรองเท้า 12 ชิ้น และการทำแผ่นป้ายเตือนในการใช้เครื่องเป่าทำความสะอาด ผลการดำเนินการปรับปรุง พบว่าปริมาณของเสียเทียบกับปริมาณการผลิตก่อนการปรับปรุงร้อยละ 2.18 ลดลงเหลือร้อยละ 1.49 คิดเป็นลดลงร้อยละ 0.69 เมื่อพิจารณาตามลักษณะของเสีย ได้แก่ 1) อัดพื้นไม่เต็ม ปริมาณของเสียจากร้อยละ 1.01% ลดลงเหลือ 0.67% และ 2) ชิ้นงานสกปรก ปริมาณของเสียจากร้อยละ 0.86 ลดลงเหลือ 0.60

คำสำคัญ: การลดของเสีย กระบวนการผลิตพื้นรองเท้า การวิเคราะห์ปัญหา

Abstract

This research is to reduce defect in shoe sole process. Case Study: Advantage Footwear Co., Ltd. with the objective of proposing solutions to defect problems in shoe sole process. The research process includes to study the process collect defect data and analyze problems with Pareto Diagram. It was found that the main problems were insufficient compression of the floor, dirty workpieces, and analyzed the cause of the problem with a fishbone diagram together with brainstorming and the theory 3 Gen. unstable temperature and ignoring cleaning The solution to the problem is to design a gauge to measure the size of the rubber sheet. Reinforcing the piece of rubber sheet to fill the template. Determine the appropriate temperature measurement time. That is, for every 12 compression soles and making a warning label for using a dryer to clean it. It was found that the amount of defect compared to the production volume before improvement was 2.18 percent, reduced to 1.49 percent when considering the characteristics of the waste, namely 1) the floor was not fully compacted. The amount of defects from 1.01% was reduced to 0.67% and 2) dirty parts, the amount of defects was reduced from 0.86% to 0.60.

Keywords: Reducing defect, Shoe insoles manufacturing, Analysis problem

1. บทนำ

ปัจจุบันในภาคอุตสาหกรรมได้มีการผลิตพื้นรองเท้า และชิ้นส่วนรองเท้าในประเทศไทย ในระยะแรกจะเป็นการผลิตเพื่อทดแทนการนำเข้า เพื่อสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคในประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นผู้ที่มีรายได้น้อย ดังนั้นผลผลิตที่นำออกมาจำหน่ายส่วนใหญ่จะเป็นสินค้าคุณภาพต่ำราคาถูก โดยการผลิตจะใช้แรงงานเป็นหลักโรงงานที่ผลิตสินค้ารองเท้าและชิ้นส่วนคุณภาพดีจะเน้นการผลิตเพื่อการส่งออกเป็นหลัก ปัจจุบันโรงงานผลิตรองเท้าและชิ้นส่วนของไทยมีการพัฒนาขึ้นมาก โดยเน้นการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพดี เพื่อสนองต่อความต้องการทั้งตลาดในและต่างประเทศ การผลิตในปัจจุบันจึงมีแนวโน้มที่จะใช้เครื่องจักรมากขึ้นและใช้แรงงานลดลงเพื่อป้องกันปัญหาด้านแรงงานและลดต้นทุนการผลิต

บริษัทแอตแวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด ตั้งอยู่ที่ 51 หมู่ 5 ตำบลนนทรี อำเภออินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี 25110 ประกอบธุรกิจเกี่ยวกับรองเท้า โดยเน้นพื้นรองเท้าเป็นหลักโดยมีแบรนด์หลักๆ ได้แก่ ECCO, KEEN, SCHOLL, BATA, SANCAKO, PAN, LACOS, OTHER BRAND บริษัทมีความต้องการที่แก้ไขปัญหของสายการผลิตพื้นรองเท้า เนื่องจากผลิตภัณฑ์นี้มีการผลิตในปริมาณที่มากในแต่ละวัน โดยทำการผลิตตลอด 24 ชั่วโมงและพบว่ามีของเสียปริมาณมาก ซึ่งในปัจจุบันยังไม่ได้มีการปรับปรุงแก้ไขอีกทั้งเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตมีอายุการใช้งานที่ค่อนข้างมากเกิดการชำรุด (Breakdown) ของเครื่องจักรบ่อยครั้ง

ดังนั้นผู้วิจัยต้องการที่จะหาแนวทางแก้ไขในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้าและชิ้นส่วนรองเท้า จากการศึกษา พบว่ามีของเสียปริมาณมากจำนวนของเสียที่เกิดขึ้นตั้งแต่เดือนเมษายน - เดือนมิถุนายน 2565 พบว่าปริมาณการผลิตย้อนหลัง 3 เดือน เท่ากับ 2,019,503 ชิ้น มีของเสียทั้งหมด 44,092 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.18

ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาสาเหตุและหาสาเหตุของปัญหาที่ของเสียที่เกิดขึ้น และเสนอแนวทางการลดของเสีย และแก้ไขปัญหในกระบวนการผลิตต่อไป

2. งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นัทธมน และสมเกียรติ [1] ได้นำเอาเทคนิคซิกซ์ซิกมา (Six Sigma) มาประยุกต์ใช้ดำเนินงานวิจัยตามหลักการ DMAIC เพื่อปรับปรุงและพัฒนากระบวนการบัดกรีสายไฟด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติให้มีคุณภาพ จากกรณีศึกษาด้วยแผนผังก้างปลาทำให้ทราบสาเหตุที่มีอิทธิพลหลักต่อสัดส่วนงานเสีย ได้แก่ 1. อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานไม่ได้มาตรฐาน 2. ระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี 3. ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว 4. ระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี หลังจากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขแต่ละสาเหตุ โดยสาเหตุแรกทำการปรับปรุงอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานโดยเพิ่มตัวล็อกสายไฟ เพื่อทำหน้าที่ประคองสายไฟไม่ให้เกิดการเอนเอียงขณะเครื่องจักรทำการบัดกรี สามารถลดสัดส่วนงานเสียลง 11.23% และลดอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน

14.89% และสาเหตุที่ 2-4 แก้ไขโดยใช้การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design) เพื่อหาระดับปัจจัยที่เหมาะสม เนื่องจากเป็นปัจจัยระดับพารามิเตอร์ของเครื่องจักรบัดกรีอัตโนมัติผลจากการทดลอง พบว่าปัจจัยระยะเวลาให้ความร้อนเส้นลวดตะกั่วก่อนการบัดกรี ระยะเวลาที่ปล่อยเส้นลวดตะกั่ว และระยะเวลาที่ใช้ในการบัดกรี ส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ทำให้สามารถลดสัดส่วนงานเสียลงถึง 80.50% และลดอัตราการเกิดข้อบกพร่องต่อหนึ่งหน่วยชิ้นงาน 82.50%

สมเสียง และคณะ [2] ได้ศึกษาเพื่อลดของเสียจากกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ การดำเนินการศึกษาประกอบด้วย ศึกษาสภาพทั่วไป รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหา ผลปรากฏว่าพบของเสียเกิดจำนวนมากจากปัญหาชิ้นงานเจาะไม่ทะลุ ขนาดรูของชิ้นงานใหญ่กว่ากำหนดและชิ้นงานเป็นรอย เป็นต้น โดยปัญหาดังกล่าวเกิดจากใช้เครื่องมือตัดและการหล่อเย็นที่ไม่เหมาะสม รวมทั้งพนักงานขาดความรู้ความเข้าใจในการทำงาน การแก้ไขปัญหโดยใช้อายุการใช้งานเครื่องมือตัดให้เหมาะสมและระบบน้ำหล่อเย็นให้ค่าความเข้มข้นของน้ำหล่อเย็นอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ และมีระดับน้ำที่เหมาะสม ผลที่ได้พบว่าปริมาณของเสีย ก่อนการปรับปรุงมีจำนวนของเสียเฉลี่ย 117 ชิ้นต่อเดือน หลังปรับปรุงมีจำนวนของเสีย เฉลี่ย 11 ชิ้นต่อเดือน ปริมาณของเสียลดลงร้อยละ 90.60

วรินทร์ เกียรติคุณกุล [3] ทำการศึกษาเพื่อลดของเสียในกระบวนการตัดเหล็กขาเพลท(เหล็กโครงสร้าง) โดยทำการศึกษตั้งแต่กระบวนการแรกไป จนถึงกระบวนการสุดท้ายทั้งหมด 3 กระบวนการ พบว่ากระบวนการที่มีปัญหาของเสียมากที่สุดคือ กระบวนการที่ 3 คือ กระบวนการตัดเหล็ก 90 องศา โดยของเสียจากกระบวนการที่ 3 เกิดจากกระบวนการย่อยดังนี้ กระบวนการที่ 3.2 เนื่องจากการออกแบบอุปกรณ์ตัดเหล็ก 90 องศา ในส่วนของตัวจับขันแรงกับร่องตัดถูกแยกเป็นสองชิ้นจึงมีโอกาสสูงที่จะสวมตัวจับขันแรงไม่ระนาบกับร่องตัดทำให้ของเสียเกิดขึ้นในลักษณะมุมฉากทั้งสองด้านไม่เท่ากัน กระบวนการที่ 3.3 เนื่องจากไม่มีตัวกำหนดองศาการตัด พนักงานจึงต้องกะระดับองศาด้วยตาเปล่า ทำให้มีโอกาสผิดพลาดสูง และไม่มีตัวล็อกชิ้นงานที่ด้านล่าง ทำให้ชิ้นงานมีการขยับจึงเกิดของเสียในที่สุด ดังนั้นจากปัญหาที่กล่าวไปข้างต้นทางผู้วิจัยจึงเข้ามาปรับปรุงแก้ไข กระบวนการที่ 3 เพื่อลดปัญหาการเกิดของเสียภายในกระบวนการตัด 90 องศา โดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ตัดเหล็ก 90 องศา ขึ้นใหม่ จากการศึกษาที่ได้นำไปติดตั้งและทดลองใช้แล้วนั้น พบว่าสามารถลดของเสียในกระบวนการตัดเหล็ก 90 องศา จากก่อนการปรับปรุงมีเปอร์เซ็นต์ของเสีย 15.07% หลังการปรับปรุงเปอร์เซ็นต์ของเสียลดลงเหลือ 0% โดยมีเปอร์เซ็นต์ของเสียรวมทั้ง 3 กระบวนการดังนี้ก่อนการปรับปรุงมีเปอร์เซ็นต์ของเสียรวม 18.79% และหลังการปรับปรุง มีเปอร์เซ็นต์ของเสียรวม 3.92%

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) [4] เป็นเครื่องมือที่เรียงลำดับของรายละเอียดในแต่ละหัวข้อของปัญหา ตามลำดับความถี่มากที่สุดไปหาความถี่น้อย หลังจากนั้นจะมีการใช้หลักการ 80:20 ในการดึงเอาปัญหาหลักออกมาพิจารณา ซึ่งปัญหาหลักเพียง 20% ส่งผลทำให้ผลลัพธ์จากปัญหาลดลงได้ถึง 80%

แผนภาพก้างปลา (Fish Bone Diagram) [5] เป็นแผนภาพที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุของปัญหาทั้งหมด ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาประกอบด้วย 4M คือ Man, Machine, Material และ Method [6] ซึ่งเป็นการค้นหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดขึ้นซ้ำ โดยต้องดำเนินการร่วมกับการการระดมสมอง (Brainstorms) ซึ่งเป็นกระบวนการที่มีแบบแผนที่ใช้เพื่อรวบรวมความคิดเห็นสาเหตุของปัญหาหรือข้อเสนอแนะที่มาจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ทำให้เกิดปัญหา โดยพิจารณาพร้อมหลักการ 3จริง (3 Gen) คือ หลักการนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงาน คือ GENBA คือสถานที่จริง GENBUTSU คือชิ้นงานจริง และ GENJITSU คือ ข้อเท็จจริง [7]

การควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) [8] เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการแจ้งเตือน โดยทำเป็นป้ายให้สามารถมองเห็นได้ชัดเจน

การแก้ปัญหาด้วยการออกแบบการทดลองด้วยตารางเมทริกซ์ (Matrix Diagram) [9] ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิและจำนวนครั้งของผลลัพธ์จากการทดลอง

3. วิธีการดำเนินงาน

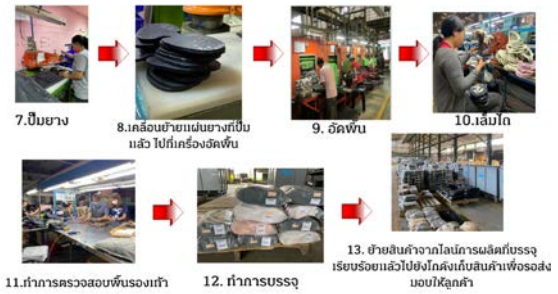
ในการดำเนินงานคณะผู้จัดทำได้ศึกษาปัญหาและสาเหตุที่ทำให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้าของบริษัท แอดเวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด และหาแนวทางการแก้ไขปัญหาเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตที่เกิดขึ้น โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตพื้นรองเท้า บริษัท แอดเวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด ประกอบด้วยขั้นตอนต่อไปนี้



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตพื้นรองเท้า



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตพื้นรองเท้า (ต่อ)

จากรูปที่ 1 แสดงกระบวนการผลิตรองเท้า ขั้นตอนประกอบด้วย ดี ยาง ผลิตเมสึเบ็ดสีกอม ผสมยาง ออกแผ่นยาง ตรวจสอบแผ่นยาง ปั่นยาง อัดพื้น เล็มโก ตรวจสอบ บรรจุ

3.2 เก็บรวบรวมของเสีย

ผู้จัดทำได้ทำการเก็บรวบรวมปริมาณการผลิตและข้อมูลของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการผลิตพื้นรองเท้าและชิ้นส่วนของรองเท้าของบริษัท แอดเวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด เป็นข้อมูลย้อนหลังตั้งแต่เดือนเมษายน ถึงมิถุนายน พ.ศ.2565 ดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ปริมาณการผลิตพื้นรองเท้า เดือนเมษายน-มิถุนายน 2565

ประเภทของผลิตภัณฑ์	เดือน			จำนวนการผลิตรวม (ชิ้น)
	เมษายน	พฤษภาคม	มิถุนายน	
พื้นรองเท้า	276,653	329,787	354,004	960,444
หุรองเท้า	118,528	175,270	209,536	503,334
ชิ้นส่วนย่อยของพื้นรองเท้า	170,467	184,792	200,466	555,725
รวม	565,648	689,849	764,006	

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลย้อนหลัง ลักษณะของเสียที่พบในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้า แสดงดังตารางที่ 2 ประกอบด้วย อดพื้นไม่เต็ม ชิ้นงานสกปรก สีล้า อย่างไม่สุก

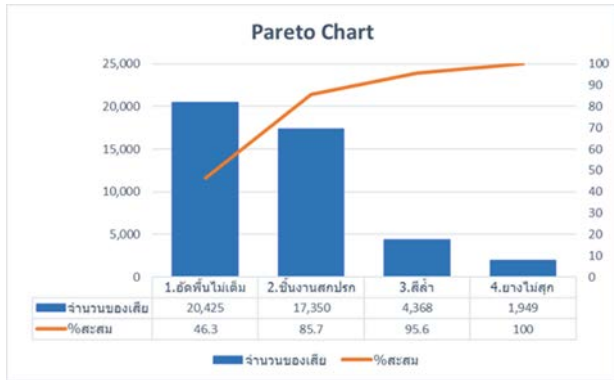
ตารางที่ 2 เก็บรวบรวมข้อมูลของเสีย

ลักษณะของเสีย	จำนวน (ชิ้น)	ของเสีย (%)	ของเสียสะสม (%)
1. อดพื้นไม่เต็ม	20,425	46.3	46.3
2. ชิ้นงานสกปรก	17,350	39.4	85.7
3. สีล้า	4,368	9.9	95.6
4. อย่างไม่สุก	1,949	4.4	100.00

จากตารางที่ 1 และ 2 พบว่าปริมาณการผลิตย้อนหลัง 3 เดือนเท่ากับ 2,019,503 ชิ้น มีของเสียทั้งหมด 44,092 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.18

3.3 วิเคราะห์ปัญหา

จากการเก็บรวบรวมของเสียนำมาวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต เพื่อคัดเลือกปัญหาตามหลักการ 80:20 ของแผนภูมิพาเรโต แสดงดังรูปที่ 2

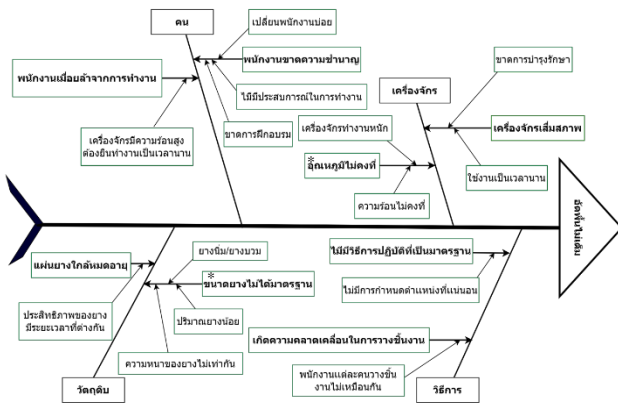


รูปที่ 2 เลือกปัญหาด้วยแผนภาพพาเรโต

จากรูปที่ 2 พบว่าของเสียที่เลือกมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุตามหลักของพาเรโต ได้แก่ อัดพื้นไม่เต็ม 46.3% และชิ้นงานสกปรก 39.4 เท่ากับ 85.7%

3.4 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

นำปัญหาที่เลือกมาทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา โดยพิจารณาด้วยกันด้วยหลัก 4M (Man Machine Material Method) หลัก 3 Gen และการระดมสมองร่วมกับผู้ที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แผนภาพก้างปลา วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาอัดพื้นไม่เต็มและชิ้นงานสกปรก แสดงดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4



รูปที่ 3 วิเคราะห์สาเหตุอัดพื้นไม่เต็ม



รูปที่ 4 วิเคราะห์สาเหตุชิ้นงานสกปรก

จากรูปที่ 3 และ 4 แสดงการวิเคราะห์สาเหตุของการเกิดของเสียทั้ง 2 ชนิด ด้วยแผนภาพก้างปลา พบว่าสาเหตุของปัญหาประกอบด้วย

- 1) อัดพื้นไม่เต็ม เกิดจาก ด้านพนักงาน ขาดความชำนาญเนื่องจากเปลี่ยนพนักงานบ่อย ด้านเครื่องจักร เกิดจากเครื่องจักรเสื่อมสภาพและอุณหภูมิไม่คงที่ เนื่องจากเครื่องจักรทำงานหนักทำให้ความร้อนในการทำงานไม่คงที่ ด้านวัตถุดิบ เกิดจากแผ่นยางใกล้หมดอายุ การนำยางที่ใกล้หมดอายุมาผลิต และขนาดยางไม่ได้มาตรฐาน เนื่องจากแผ่นยางมีความหนาบางไม่เท่ากัน ด้านวิธีการ เกิดจากความคลาดเคลื่อนในการวางชิ้นงาน เนื่องจากไม่มีการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอน
- 2) ชิ้นงานสกปรก เกิดจาก ด้านพนักงาน เพิกเฉยการทำความสะอาด เนื่องจากพนักงานเพิกเฉยในการตรวจดูความสะอาดยางและแม่พิมพ์ก่อนจะทำการบีบยาง และพนักงานไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนเกิดจากความเร่งรีบในการทำงานทำให้ข้ามขั้นตอนการทำงานไป ด้านเครื่องจักร เกิดจากเศษยางติดเครื่องจักร เนื่องจากมีเศษยางปนเปื้อนในเครื่องบีบ ด้านวัตถุดิบ เกิดจากแผ่นยางที่ต้อออกมาสกปรก มีเศษฝุ่นหรือสิ่งสกปรกติดยาง และสีไม่ตรงตามมาตรฐานที่กำหนด บางแผ่นยางมีการปนเปื้อนของสีอื่นติดมาด้วย

จากนั้นได้ทำการเสนอแนวทางการแก้ปัญหาแสดงดังหัวข้อที่ 3.5

3.5 เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหา

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา จากนั้นนำสาเหตุหลักของการเกิดของเสียมาทำการเสนอแนวทางแก้ไข ปัญหา รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แนวทางที่ถูกเลือกมาทำการแก้ไข

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
ขนาดยางไม่สม่ำเสมอ	เนื่องจากแผ่นยางมีขนาดความหนาไม่เท่ากัน หากมีความหนาเกินไปทำให้เกิดเศษยางที่เครื่องออกมามีจำนวนมาก และหากแผ่นยางบางเกินไปอาจชำรุดได้ง่าย	ก) หลังจากพักแผ่นยางเป็นเวลา 4 ชั่วโมงโดยที่บรรจุภัณฑ์มีความชื้นและมีอุณหภูมิคงที่ไป PFC ที่โรงงานกำหนดและสะดวกเร็วขึ้น ข) หากปริมาณยางน้อยในภาชนะให้รีบนำขึ้นสายพานและรีบนำขึ้นสายพาน
อุณหภูมิไม่คงที่	เนื่องจากเครื่องจักรทำงานหนักทำให้ความร้อนในการทำงานไม่คงที่ความร้อนของเครื่องจักรมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ความร้อนสูงขึ้นเรื่อยๆ	ออกแบบแบบพอร์ชใบชารายการบันทึกค่าความร้อนของเครื่องจักรที่เหมาะสมกับชิ้นงาน โดยเสนอแนะเรื่องมอเตอร์พัดลมใช้รีดอุณหภูมิเครื่องจักรก่อนเริ่มทำงานและการออกแบบและการตรวจเช็คจำนวนชิ้นงานที่ต้องทำการตรวจรักษาทุกๆชิ้นให้ถึงเครื่องจักรมือที่เกี่ยวเนื่องเพื่อหาข้อบกพร่องและเพื่อสะดวกกับพนักงานที่ไม่ต้องการตรวจเช็คทุกครั้งมีการสังเกตชิ้นงาน เช่น ชิ้นงานเป็นสีขาวเมื่อมีน้ำแข็งมีขี้ผึ้งแล้วออกมาสีขาวขึ้นเหลืองแสดงว่าเครื่องจักรอุณหภูมิที่สูงเกินไปที่โรงงานกำหนดให้รีบนำขึ้นสายพานเพื่อทำการแก้ไข
การติดแยกการทำวางสะอาด	เนื่องจากพนักงานปฏิบัติงานในการตรวจดูความสะอาดอาคารและแม่พิมพ์ก่อนทำการขึ้นยางที่มีเศษยางและฝุ่นทำให้ชิ้นงานเกิดความสกปรก	ก) ให้อากาศในห้องผลิตและในอาคารที่วางสะอาดเครื่องจักรก่อนการขึ้นงาน ข) จัดทำป้ายเตือนให้พนักงานได้มีการแจ้งเรื่องปัญหาของอุปกรณ์การวางขึ้นงาน



รูปที่ 6 เสริมชิ้นส่วนแผ่นยาง

4. ผลการวิจัย

จากการนำแนวทางการลดของเสียในกระบวนการผลิตที่เลือกใช้มาทดลองในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้าของบริษัท แอดวานเทจ ฟุตแวร์ จำกัด มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิจัยขนาดยางไม่ได้มาตรฐาน

ก) หลังจากพักแผ่นยางเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผู้วิจัยได้ออกแบบทำเกจวัดใช้ทดสอบเวอร์เนียคาลิเปอร์วัดขนาดยางทุกสถานีงานเพื่อให้แผ่นยางมีความหนาตามใบ PFC ที่โรงงานกำหนดและสะดวกรวดเร็วขึ้น ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เกจวัดใช้ทดสอบเวอร์เนียคาลิเปอร์

ข) ทำการเสริมชิ้นส่วนแผ่นยางให้เต็มแม่แบบในการอัดขึ้นรูปทำขึ้นงานออกมาครบสมบูรณ์ ดังรูปที่ 6

4.2 ผลการวิจัยการแก้ไขอุณหภูมิไม่คงที่

ผู้วิจัยทำได้ทำการออกแบบการทดลองค่าความร้อนของเครื่องจักรที่อุณหภูมิต่างๆเพื่อทำการบันทึกค่าเพื่อเลือกใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมและกำหนดระยะเวลาในการตรวจวัดอุณหภูมิซึ่งได้อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 150-160°C ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางการบันทึกค่าความร้อนของเครื่องจักร

หมายเหตุ * √ ของดี * ของเสีย

จากตารางที่ 3 พบว่าจากการออกแบบการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมไม่ทำให้เกิดของเสีย คือ 150-160°C

จากนั้นทำการทดลองที่อุณหภูมิ 150-160°C เพื่อทดสอบว่าชิ้นงานเริ่มมีของเสียที่ชิ้นงานที่เท่าไร ซึ่งจากผลการทดลองทำให้ทราบว่าควรตรวจวัดทุกๆ 12 ชั้น ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แผนการตรวจเช็คจำนวนชิ้นงาน

ชั้นที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
อุณหภูมิ (°C)	150	150	152	154	155	155	157	158	158	159	160	160	163
ผลการทดลอง ที่ 1	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	×
ผลการทดลอง ที่ 2	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	×
ผลการทดลอง ที่ 3	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	×

หมายเหตุ* √ ของดี × ของเสีย

4.3 ผลการแก้ไขการเพิกเฉยการทำความสะอาด

- ก) ให้หัวหน้างานผลิตเดินตรวจสายการผลิตและเน้นย้ำการทำความสะอาดเครื่องจักรก่อนการวางชิ้นงานทำให้ลดของเสียที่เป็นชิ้นงานสกปรก
- ข) จัดทำป้ายเตือนที่สายการผลิตให้มีการใช้เครื่องเป่าเศษยางทุกครั้งก่อนการวางชิ้นงานช่วยให้พนักงานใช้เครื่องเป่ามากขึ้น แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ป้ายเตือนให้ใช้อุปกรณ์ทำความสะอาด

จากรูปที่ 7 จัดทำป้ายเตือนที่สายการผลิตให้มีการใช้เครื่องเป่าเศษยางทุกครั้งก่อนการวางชิ้นงาน แสดงเป็น 3 ภาษา คือ ไทย อังกฤษ และกัมพูชา

4.4 ผลการเปรียบเทียบลักษณะของเสียก่อนและหลังปรับปรุง

ผลการดำเนินการหลังการปรับปรุงข้อมูลการผลิตในเดือน มกราคม พ.ศ 2566 แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลจำนวนที่ผลิตและจำนวนของเสียหลังการปรับปรุง

ประเภทของผลิตภัณฑ์	พื้นรองเท้า	หูรองเท้า	ชิ้นส่วนย่อยของพื้นรองเท้า	ผลรวม
จำนวนการผลิต (ชิ้น)	320,053	211,285	194,766	732,104
จำนวนของเสีย (ชิ้น)	3,627	3,457	3,841	10,925
จำนวนของเสีย (%)	1.11%	1.63%	2.00%	1.49%

จากการนำแนวทางการลดของเสียที่เกิดขึ้นไปทดลองใช้ พบว่าปริมาณของเสียจากเดิม 2.18% ลดลงเหลือ 1.49

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบลักษณะของเสียในกระบวนการผลิตต่อพื้นรองเท้าก่อนและหลังปรับปรุง

ลักษณะของเสีย	ปริมาณของเสีย ก่อนการปรับปรุง (%)	ปริมาณของเสีย หลังการปรับปรุง (%)
1) อัดพื้นไม่เต็ม	1.01%	0.67%
2) ชิ้นงานสกปรก	0.86%	0.60%
3) สีส้ม	0.21%	0.15%
4) ยางไม่สุก	0.10%	0.07%

จากตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาตามลักษณะของเสีย ได้แก่ 1) อัดพื้นไม่เต็ม ปริมาณของเสียจากร้อยละ 1.01 ลดลงเหลือ 0.67 2) ชิ้นงานสกปรก ปริมาณของเสียจากร้อยละ 0.86 ลดลงเหลือ 0.60 3) สีส้ม ปริมาณของเสียจากร้อยละ 0.21 ลดลงเหลือ 0.15 และ 4) ยางไม่สุก ปริมาณของเสียจากร้อยละ 0.10% ลดลงเหลือ 0.07

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการลดของเสียในกระบวนการผลิตพื้นรองเท้า กรณีศึกษา : บริษัท แอดแวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด ขั้นตอนการดำเนินงาน ประกอบด้วย ศึกษากระบวนการผลิตพื้นรองเท้า เก็บรวบรวมข้อมูลของเสีย วิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนภูมิพาเรโต พบว่าปัญหาของเสีย คืออัดพื้นไม่เต็มและชิ้นงานสกปรก วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนภาพก้างปลา พบว่าสาเหตุหลัก ได้แก่ ขนาดของยางไม่ได้มาตรฐาน อุณหภูมิในการบีบไม่คงที่ และการเพิกเฉยในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ ผลจากการเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาดัดพื้นไม่เต็ม ได้แก่ ทำเกจวัดใช้แทนจากเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ และทำการเสริมชิ้นส่วนแผ่นยาง ปัญหาอุณหภูมิไม่นิ่ง ได้แก่ ทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 150-160 องศาเซลเซียส และการปรับตั้งอุณหภูมิใหม่ทุก 12 ชั้น ควรจัดทำคู่มือการทำงานให้ผู้ปฏิบัติงานนำไปใช้ และปัญหาชิ้นงานสกปรก ได้แก่ หัวหน้างานผลิตเดินตรวจสายการผลิตและการทำความสะอาดเครื่องจักรก่อนการวางชิ้นงาน และจัดทำป้ายเตือนที่สายการผลิตให้มีการใช้เครื่องเป่าเศษยางก่อนวางชิ้นงาน

ก่อนการปรับปรุง พบว่าปริมาณการผลิตเท่ากับ 2,019,503 ชิ้น มีของเสียทั้งหมด 44,092 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 2.18 หลังจากนำแนวทางไปทดลองใช้ พบว่าปริมาณการผลิตรวมเท่ากับ 732,104 ชิ้น พบปริมาณ

ของเสียจำนวน 10.925 ตัน คิดเป็นร้อยละ 1.49 คิดเป็นลดลงร้อยละ 0.69 พิจารณาตามลักษณะของเสีย ได้แก่ 1) อดพื้นที่ไม่เต็ม ปริมาณของเสียจากเดิมร้อยละ 1.01 ลดลงเหลือ 0.67 2) ชิ้นงานสกปรก ปริมาณของเสียจากเดิมร้อยละ 0.86 ลดลงเหลือ 0.60

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการจัดฝึกอบรมพนักงานใหม่ให้มีความเข้าใจในลักษณะงานที่ต้องทำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดียิ่งขึ้น

5.2.2 งานที่ทำการปรับปรุงแล้วควรจัดทำคู่มือมาตรฐานการทำงานให้ผู้ปฏิบัติงานนำไปใช้เพื่อให้เกิดการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท แอดแวนเทจ ฟุตแวร์ จำกัด ที่ให้ข้อมูลความรู้ และอนุญาตให้ทางคณะผู้จัดทำเข้าไปศึกษาทำการทดลองภายในโรงงานและเสนอแนะแนวทาง

เอกสารอ้างอิง

- [1] นัทธมน ก่อเกียรติ และสมเกียรติ ตั้งจิตตติเจริญ, การลดของเสียในกระบวนการบัดกรีสายไฟ, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 39 ประจำปี 2564, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา.
- [2] สมเสียง จันทาสี และคณะ, การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 39 ประจำปี 2564, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา.
- [3] วรินทร์ เกียรติหนูกุล, การลดของเสียในกระบวนการตัดเหล็กขาเพลท, การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 39 ประจำปี 2564, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา.
- [4] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, การแก้ไขปัญหาธุรกิจด้วยวิธีทางสถิติ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2548.
- [5] วันรัตน์ จันทกิจ, 17 เครื่องมือนักคิด Problem Solving Devices, สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, กรุงเทพฯ, 2547.
- [6] วีรพงษ์ เฉลิมจิระรัตน์, วิธีทางสถิติเพื่อการพัฒนาคุณภาพ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2543.
- [7] สมชัย อัครทิวา, เทคนิคการควบคุมดูแลด้วยการมอง, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2549.
- [8] ไพโรจน์ หลวงพิทักษ์และคณะ, 5G เพื่อการพัฒนาคุณภาพ, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี ไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพฯ, 2548.
- [9] วันรัตน์ จันทกิจ, 17 เครื่องมือนักคิด Problem Solving Devices, สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, กรุงเทพฯ, 2547.

ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเกรด 7075 ที่ผลิตด้วยกระบวนการหล่อกวนและกระบวนการ ร่วมการบดเชิงกลและขึ้นรูปรีโซ

Characterization Of Al7075 Matrix Composites Via Mechanical Stir Casting And Mechanical Alloying Techniques Couple With Thixoforming

ชรินทร์รัตน์ โพธิสว่าง สุขอังคณา แดงกัณฑ์ นครินทร์ ประทุมชัย ภาราดร ทองวร นุชจिरา อุดมจิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
E-mail: sukangkana@kku.ac.th*

Charinrat Potisawang, Sukangkana Talangkun*, Nakarin Prathumchai, Paradon Tongworn, Noochjira Udomjitt
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University
E-mail: sukangkana@kku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบอะลูมิเนียมเสริมแรงด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์ และเสริมการหล่อลื่นด้วยแกรไฟต์ ที่ได้จาก 2 กระบวนการคือ การหล่อกวน และกระบวนการร่วมของการบดผสมเชิงกลและการขึ้นรูปรีโซ ซึ่งงานที่ผลิตจากทั้งสองกระบวนการมีปริมาณของผงซิลิคอนคาร์ไบด์ขนาดเฉลี่ย 4 ไมโครเมตรโดยน้ำหนักปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และผงแกรไฟต์ขนาดเฉลี่ย 70 ไมโครเมตร ปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการหล่อกวนนั้น เริ่มต้นจากการหลอมอะลูมิเนียม จากนั้นเติมผงซิลิคอนคาร์ไบด์ และผงแกรไฟต์ที่ผ่านการอบร้อนที่อุณหภูมิ 1000 เซลเซียส ทำการกวนเชิงกลและเทลงในแม่พิมพ์ ชิ้นงานที่ขึ้นรูปด้วยกระบวนการร่วมเริ่มจากการกัตะอะลูมิเนียม ตามด้วยบดเนื้อขนาดของเศษอะลูมิเนียมจนเป็นผง และนำมาตัดขนาดด้วยการร่อนจนได้ขนาดเฉลี่ยผงเริ่มต้น 100 ไมโครเมตร จากนั้นนำผงอะลูมิเนียมมาบดผสมกับผงซิลิคอนคาร์ไบด์และผงแกรไฟต์โดยเวลาบดผสมทั้งหมด 20 ชั่วโมง จากนั้นนำผงที่บดผสมแล้ว ไปอัดขึ้นรูปผงสภาวะกึ่งแข็งด้วยการขึ้นรูปรีโซที่ในแม่พิมพ์ มีอุณหภูมิขึ้นรูประหว่าง 610-620 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของกระบวนการหลอมกวนพบว่า เกรนของอะลูมิเนียมมีลักษณะทรงกลม ขนาดของซิลิคอนคาร์ไบด์และแกรไฟต์ไม่เปลี่ยนแปลง และมีการกระจุกตัวของสารเสริมแรง ในกระบวนการบดเชิงกลทำให้ขนาดของผงอะลูมิเนียมผสมสารเสริมแรงมีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ภายหลังการขึ้นรูปรีโซแล้วโครงสร้างจุลภาคมีการกระจายตัวของสารเสริมแรงทั่วทั้งชิ้นงาน

คำสำคัญ: การหลอมกวน การบดเชิงกล การขึ้นรูปรีโซ และวัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นอะลูมิเนียม

Abstract

This research aimed to investigate the microstructures of aluminium composite reinforced with silicon carbide and graphite that were formed by two production routes: stir casting and mechanical alloying combined with thixoforming. The composite produced from both processes contained 0.5 wt% of an average size of 4 μm silicon carbide powder and 0.5 wt% of an average size of 70 μm graphite powder. The stir casting begins with the melting of aluminium 7075, then heated silicon carbide powder and graphite powder were gradually added and mechanically stirred then poured in a metal mould. The sample was produced by a couple of processes: milling the aluminium, then grinding to reduce the size of aluminium chips until they are powder and sieving to obtain an average size of 100 microns. Then, aluminium 7075 powder was further milled together with silicon carbide and graphite powder; the total mixing time was 20 hours. After that, the mixed powder was subjected to thixoforming at a temperature of approximately 610–620 degrees Celsius. The results of the microstructure analysis of the stir casting process revealed that the aluminium 7075 grains exhibited spheroid grains. There was no change in the size of SiC and Gr powder, the reinforced phases were found to agglomerate. And in the mechanical alloying process, the reinforcing powder also became finer. In addition, the thixoforming process was found to improve the distribution of reinforced particles throughout the workpiece.

Keywords: Stir casting, Mechanical alloying, Thixoforming, Aluminium matrix composite

1. บทนำ

โลหะผสมของอะลูมิเนียม (Aluminium alloys) เป็นวัสดุวิศวกรรมที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นโลหะที่มีสมบัติเชิงกลที่หลากหลาย นำความร้อนดี ด้านทานการกัดกร่อน น้ำหนักเบา หนึ่งในโลหะผสมอะลูมิเนียมที่ใช้กันมากที่สุดสำหรับงานโครงสร้างที่มีความเค้นสูง อาทิ ชิ้นส่วนโครงสร้างของเครื่องบิน คือ โลหะผสมของอะลูมิเนียมเกรด 7075 (7075 aluminium alloy, Al7075) เป็นโลหะผสมอะลูมิเนียมที่มีสังกะสีเป็นธาตุผสมหลัก มีความเหนียวที่ดี มีความแข็งแรงสูง และทนต่อความล้าได้ดี อย่างไรก็ตามความต้านทานการสึกหรอของอะลูมิเนียมจะลดลง เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะการสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive wear) ที่ไม่มีการหล่อลื่น [1] ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาวัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นอะลูมิเนียมเสริมแรงด้วยอนุภาคเซรามิก เช่น ซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) [2-3] ซิลิกา (SiO₂) โบรอนคาร์ไบด์ (B₄C) อลูมินา (Al₂O₃) และไทเทเนียมคาร์ไบด์ (TiC) เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกล และความต้านทานการสึกหรอ แต่ความต้านทานการสึกหรอจะลดลง เมื่อปริมาณของซิลิคอนคาร์ไบด์เพิ่มขึ้น [4] ดังนั้นเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ จึงเสริมแรงด้วยแกรไฟต์ (Graphite, Gr) ซึ่งมีสมบัติเป็นสารหล่อลื่นที่เป็นของแข็ง (Solid lubricant) ช่วยเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ [5-6] ทั้งสองอนุภาคมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ [7-8]

การผลิตวัสดุเชิงประกอบโลหะในปัจจุบันนั้นสามารถผลิตได้หลายวิธีการ เช่น การหล่อกวน การเชื่อมเสียดทานแบบกวน กรรมวิธีทางโลหะผงวิทยา การหล่ออัด ความท้าทายของการผลิตวัสดุเชิงประกอบเสริมแรงด้วยอนุภาคอยู่ที่ขั้นตอนการผลิตที่ต้องทำให้เนื้อพื้นมีขนาดเกรนที่เล็ก และอนุภาคเสริมแรงมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในเนื้อพื้น ในทางปฏิบัติการหลอมผสมกันของอะลูมิเนียมความหนาแน่น 2.7 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซิลิคอนคาร์ไบด์ความหนาแน่น 3.21 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และแกรไฟต์ความหนาแน่น 2.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จะผสมเข้ากันได้ยาก เนื่องจากความหนาแน่นของวัสดุทั้งสามชนิดแตกต่างกัน [9] ในกระบวนการหลอมจะต้องมีการใช้การกวนเชิงกลด้วยใบพัดที่เหมาะสมกวนนำโลหะและอนุภาคให้มีการกระจายตัวในนำโลหะอะลูมิเนียมได้ดี และทำการเทอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการแยกตัวของสารทั้งสอง ปัจจัยที่สำคัญของกระบวนการ คือ ความเร็วรอบการกวน ลักษณะของใบพัด และระยะเวลาในการกวนผสม [10]

การผสมแบบเชิงกล (Mechanical alloying) คือส่วนหนึ่งของกรรมวิธีทางโลหะผงวิทยา เป็นการใช้แรงทางกลเพื่อทำให้เกิดสารประกอบทางเคมี และยังสามารถสร้างสารประกอบที่มีขนาดอนุภาคระดับไมโครเมตรได้ เป็นกระบวนการผลิตวัสดุผสมที่ช่วยให้สารเสริมแรงกระจายตัวได้ดี จากงานวิจัยของ Hassani A. และคณะ [11] ได้ศึกษาอิทธิพลของรูพรุนต่อความสามารถในการทำงานของวัสดุเชิงประกอบ ที่ผ่านกระบวนการผสมแบบเชิงกล พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการผสมส่งผลให้วัสดุเสริมแรงกระจายทั่วทั้งวัสดุเนื้อพื้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษากระบวนการผลิตวัสดุเชิงประกอบเนื้อพื้นอะลูมิเนียมเสริมแรงด้วยซิลิคอนคาร์ไบด์ และแกรไฟต์ (Al/SiC/Gr composite) ด้วยการหล่อกวน และการบดเชิงกลผสมรวมกับการขึ้นรูปรีโซ โดยจะทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานที่ได้จากทั้งสองกระบวนการ

2. วิธีการทดลอง

2.1 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของ Al7075

เตรียมชิ้นงานโดยการกัดปาดผิวหน้าด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี 3 แกน เพื่อปรับผิวหน้าชิ้นงานให้เรียบ และทำความสะอาดด้วยแอลกอฮอล์ จากนั้นนำชิ้นงานไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี (Optical emission spectroscopy) ด้วยเครื่อง Spectrometer ยี่ห้อ Thermo ARL รุ่น ARL3460 โดยปริมาณของส่วนผสมทางเคมีนั้นอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานของสมาคมอะลูมิเนียมยกเว้นธาตุโครเมียม (Chromium, Cr) ที่ต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของ Al7075 เทียบกับมาตรฐาน ASTM [12]

Al 7075	Composition (%wt)							
	Zn	Mg	Cu	Fe	Si	Mn	Cr	Al
ASTM standard	5.1-6.1	2.1-2.9	1.2-2.0	<0.5	<0.4	<0.3	0.18-0.28	Bal.
Received	6.08	2.5	1.93	0.46	0.4	0.03	0.19	Bal.

2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ Al7075

ผงอะลูมิเนียมน้ำหนัก 10 กรัม ถูกนำไปหลอมด้วยอัตราให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ตรวจสอบช่วงอุณหภูมิที่แข็งและการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อน (Heat flow) ของอะลูมิเนียมด้วยเครื่อง Differential scanning calorimetry (DSC) รุ่น DSC7020

2.3 การหล่อกวน

หลอมอะลูมิเนียมด้วยขดลวดเหนียวที่อุณหภูมิ 630 องศาเซลเซียส และทำการกวนด้วยความเร็ว 300 รอบต่อนาที หลังจากนั้นนำผงซิลิคอนคาร์ไบด์ ขนาดเฉลี่ย 4 ไมโครเมตร ในปริมาณ ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และแกรไฟต์ขนาดเฉลี่ย 74 ไมโครเมตร ในปริมาณร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ที่ผ่านการอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติมน้ำลงในบ้าหลอมขณะที่ผงยังมีความร้อน และเทลงอย่างช้า ๆ หลังจากผงถูกเทจนหมด ทำการกวนต่อเป็นเวลา 5 นาที เมื่อทำการกวนเสร็จเรียบร้อยแล้ว เพิ่มอุณหภูมิไปที่ 650 องศาเซลเซียส เพื่อทำการเทลงในแม่พิมพ์โลหะโดยแม่พิมพ์มีอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

2.4 การบดผสมเชิงกลผสมและการขึ้นรูปรีโซ

2.4.1 การเตรียมโลหะผสม

กัดอะลูมิเนียม ด้วยเครื่องกัด (CNC milling) ในขั้นตอนนี้จะเป็น การเตรียมวัสดุขั้นเริ่มต้นก่อนการนำไปบดผสมเชิงกล เศษชิ้นเล็ก ๆ ของอะลูมิเนียมที่ผ่านการกัดนี้จะถูกเรียกว่าเศษอะลูมิเนียม (Aluminium chip) นำเศษมาทำความสะอาด แล้วบดขนาดด้วย เครื่องบดผง หลังจากนั้นวิเคราะห์รูปทรงของผงอะลูมิเนียม ผงซิลิคอน คาร์ไบด์ และผงแกรไฟต์ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.4.2 การบดผสมด้วยกรรมวิธีผสมเชิงกล

ในการบดผสมเชิงกล ใช้บอลมิลล์ โดยที่ไม่บดวางนอนบนล้อหมุน ที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที สำหรับลูกบอลเลือกใช้ลูกบอลเหล็กกล้าไร้ สนิมเกรด SUS304 ในปริมาณร้อยละ 40 ของปริมาตรโม่บด ซึ่ง เลือกใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่แตกต่างกันไปคือ ขนาด 10 มิลลิเมตร จำนวน 300 ลูก และขนาด 15 มิลลิเมตร จำนวน 100 ลูก สัดส่วนบอล ต่อผงคือ 10:1 โดยเติมผงซิลิคอนคาร์ไบด์ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และ ผงแกรไฟต์ ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ใส่ผงและบอลลงในโถบดปิดฝา บดด้วยความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ภายใต้ บรรยากาศอาร์กอน ผงหลังจากการบดผสม นำไปตรวจสอบและ วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาด

2.4.2 กระบวนการขึ้นรูปรีโซ

นำผงวัสดุซึ่งประกอบเทลงในแม่พิมพ์ นำแม่พิมพ์ที่ใส่ผงแล้วไป อบด้วยเตาอบไฟฟ้าที่อุณหภูมิเตา 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที นำแม่พิมพ์ออกจากเตา แล้วทำการอัดขึ้นรูปวัสดุซึ่งประกอบด้วย เครื่องอัดไฮดรอลิกโดยใช้แรงอัด 150 เมกะปาสคาล อุณหภูมิขึ้นงาน ขณะอัดอยู่ระหว่าง 610-620 องศาเซลเซียส นำแม่พิมพ์ไปอบด้วยเตา อบอีกครั้งที่อุณหภูมิเตา 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที และนำ ออกมาอัดซ้ำด้วยแรงอัด 150 เมกะปาสคาล หลังจากนั้นนำชิ้นงานออก จากแม่พิมพ์

2.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

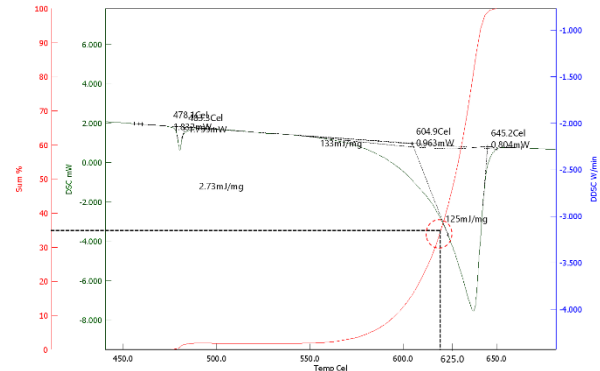
การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของโลหะเนื้อพื้นอะลูมิเนียม และ วัสดุซึ่งประกอบที่ผ่านกระบวนการหล่อทวน กระบวนการบดผสม เชิงกล และกระบวนการอัดขึ้นรูป ด้วยจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope: OM) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy; SEM) โดยตรวจสอบผิวของรอยต่อ ระหว่างอะลูมิเนียม กับอนุภาคของซิลิคอนคาร์ไบด์ และแกรไฟต์ รวมถึงวิเคราะห์ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 สมบัติทางความร้อนของ AI7075

จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนพบว่า เมื่อได้รับความร้อน เทียบกับสารอ้างอิง อุณหภูมิที่วัสดุเริ่มหลอมเหลวที่อุณหภูมิประมาณ

478 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่วัสดุหลอมเหลวหมดคือ 645 องศา เซลเซียส จุดตัดของกราฟ โดยมีปริมาตรโลหะแข็งร้อยละ 65 โดย น้ำหนัก และปริมาตรโลหะเหลวร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 1 จะได้อุณหภูมิที่แข็งที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 610-620 องศาเซลเซียส ดังนั้นในกระบวนการหล่อทวนและกระบวนการขึ้นรูปรีโซ จะทดลอง ในช่วงอุณหภูมิ 610-620 องศาเซลเซียส

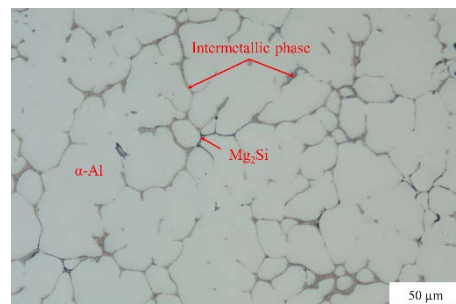


รูปที่ 1 The DSC curve and solidification range of Al7075

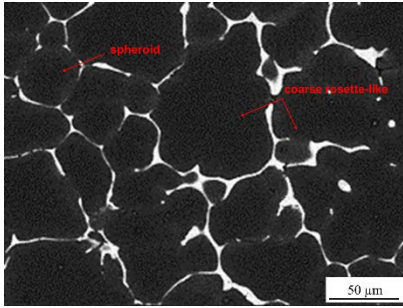
3.3 โครงสร้างจุลภาค

3.3.1 โครงสร้างจุลภาคของ AI7075 ที่ได้จากการหล่อทวน

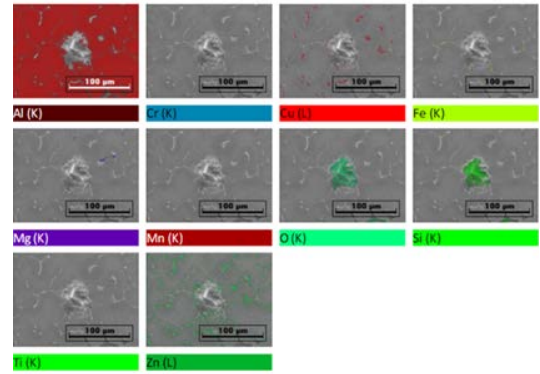
จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของอะลูมิเนียมที่ได้จากการ หล่อทวน โครงสร้างจุลภาคประกอบด้วยเฟสอัลฟาอะลูมิเนียม (α -Al) สารประกอบเชิงโลหะ และ Mg_2Si มีสีเข้มตกตะกอนด้วยรูปร่างที่ ผิดปกติ สารประกอบเชิงโลหะของดังรูปที่ 2 และ 3 พบว่ามีเกรนหยาบ รูปร่างคล้ายดอกกุหลาบบาน (Coarse rosette-like) จำนวนมาก และ พบเกรนที่มีลักษณะทรงกลม (Spheroid) ปริมาณเล็กน้อย ซึ่งบ่งชี้ว่า อัตราการเย็นตัวต่ำ [13] และความเร็วในการทวนอาจจะต่ำเกินไป จึง ยังไม่สามารถตัดเงื่อนไขใดก็ได้ให้เป็นทรงกลม [14]



รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคของ AI 7075 ที่ได้จากการหล่อทวน



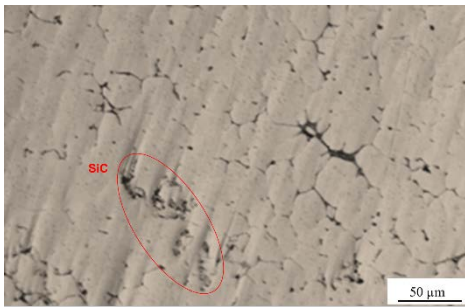
รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของ Al 7075 ที่ได้จากการหล่อจน ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด



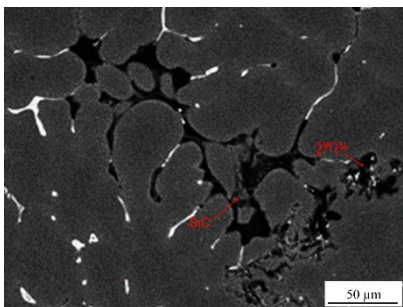
รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบเทคนิค X-ray mapping ในชิ้นงาน Al7075/SiC ที่ได้จากการหล่อจน

3.3.2 โครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC ที่ได้จากการหล่อจน

จากรูปที่ 4 และ 5 แสดงโครงสร้างจุลภาคของวัสดุเชิงประกอบ Al7075/SiC พบเฟสอัลฟาอะลูมิเนียม ที่มีลักษณะเป็นแบบดอกกุหลาบ ผสมกับแบบทรงกลม พบการกระจุกตัวของซิลิคอนคาร์ไบด์ที่บริเวณขอบเกรนเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการแยกตัวของผงซิลิคอนคาร์ไบด์จากน้ำโลหะขณะเทลงในแม่พิมพ์



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC ที่ได้จากการหล่อจน ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่กำลังขยาย 10 เท่า

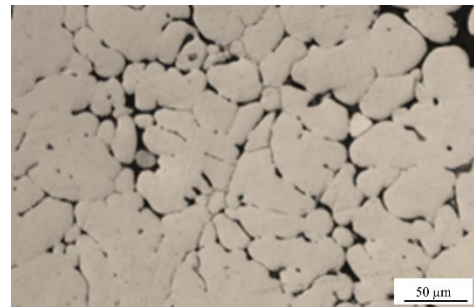


รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC ที่ได้จากการหล่อจน ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

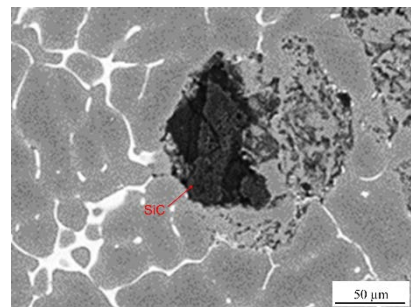
รูปที่ 6 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบด้วยเทคนิค X-ray mapping พบออกซิเจนกระจายตัวอยู่บริเวณที่พบซิลิคอน ซึ่งออกซิเจนที่พบในบริเวณรูพรุนในชิ้นงาน เป็นผลมาจากการหดตัวภายในชิ้นงาน เนื่องจากซิลิคอนคาร์ไบด์ กับอะลูมิเนียมมีอัตราการเย็นตัวต่างกัน ส่งผลให้เกิดรูพรุน

3.3.3 โครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC/Gr ที่ได้จากการหล่อจน

โครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC/Gr พบเฟสอัลฟาอะลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นแบบแจ็ก ผสมกับแบบทรงกลม แต่พบเกรนแบบดอกกุหลาบจำนวนมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC เนื่องจากเมื่อเติมแกรไฟต์ ทำให้แรงเฉือนไม่เพียงพอที่จะทำให้มีลักษณะเป็นทรงกลมอย่างเต็มที่ และพบซิลิคอนคาร์ไบด์รวมกลุ่มกันบริเวณที่มีรูพรุนดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8

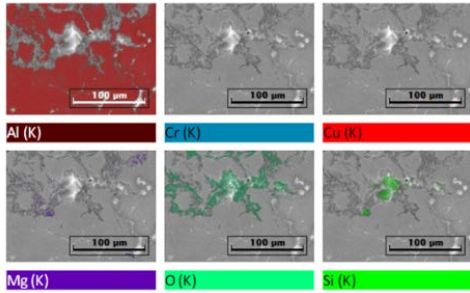


รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC/Gr ที่ได้จากการหล่อจน ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงที่กำลังขยาย 10 เท่า



รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC ที่ได้จากการหล่อจน ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

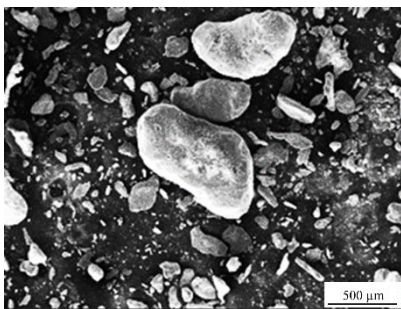
รูปที่ 9 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุ และสารประกอบด้วยเทคนิค X-ray mapping พบออกซิเจนกระจายตัวอยู่ บริเวณที่พบซิลิคอน พบรูพรุนมากกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุเชิงประกอบที่ผสมซิลิคอนคาร์ไบด์เพียงอย่างเดียว แต่ไม่พบคาร์บอน หรือแกรไฟต์ในชิ้นงาน ซึ่งเกิดจากพลังงานผิว (Surface energy) ระหว่างแกรไฟต์กับน้ำอะลูมิเนียมไหลลอมเหลวมิน้อย จึงทำให้อุณหภูมิของแกรไฟต์ถูกผลักร้างออก [15] นอกจากนี้ยังพบแมกนีเซียมในบริเวณที่พบซิลิคอน ซึ่งบ่งชี้ว่าเป็นสารประกอบเชิงโลหะของ Mg_2Si



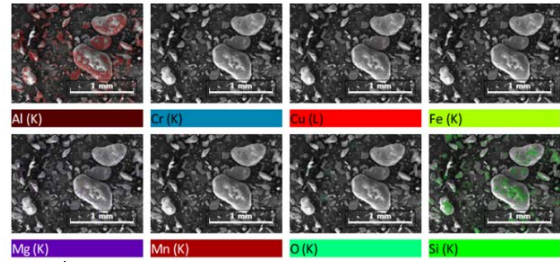
รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบเทคนิค X-ray mapping ในชิ้นงานวัสดุเชิงประกอบ ที่ได้จากการหล่อวน

3.3.4 โครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC/Gr ที่ได้จากการบดเชิงกล ร่วมกับการขึ้นรูปดิโซ

ผงของวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านกระบวนการบดเชิงกลแล้วนั้น มีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนไป ดังรูปที่ 10 พบว่าขนาดผงมีขนาดเล็กลง และมีลักษณะกลมขึ้น เนื่องจากในกระบวนการบดผสมเชิงกลมีลูกบดที่ทำหน้าที่ในการบดตีกระแทกเข้ากับวัสดุ จนทำให้วัสดุภายในไม่เกิดการแตกตัว ผสมเชื่อมติดกันจนทำให้ผงวัสดุชนิดต่างๆ เข้ากันได้ รูปที่ 11 แสดงผลการวิเคราะห์ธาตุ และสารประกอบเทคนิค X-ray mapping พบอะลูมิเนียมที่มีซิลิคอนคาร์ไบด์เกาะอยู่บนเม็ดอะลูมิเนียม นอกจากนี้ยังพบธาตุ อื่นๆ ในปริมาณเพียงเล็กน้อย เพราะเม็ดอะลูมิเนียมถูกปกคลุมด้วยอนุภาคของซิลิคอนคาร์ไบด์

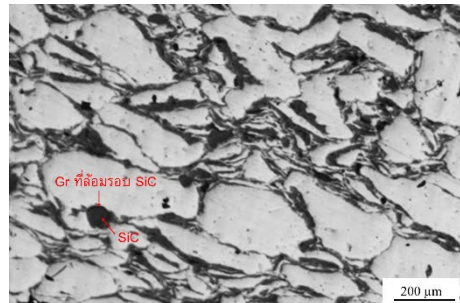


รูปที่ 10 แสดงผงวัสดุเชิงประกอบ Al7075/SiC/Gr ที่ได้จากการบดเชิงกล 20 ชั่วโมง ถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด

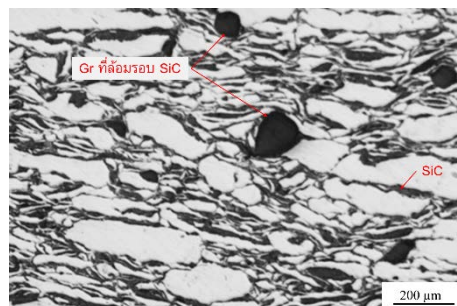


รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์ธาตุและสารประกอบเทคนิค X-ray mapping ในผงของวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการบดเชิงกล

จากการตรวจสอบสี และรูปร่าง (อนุภาคสีเทาคือ SiC และสีดำคือ Gr) ซึ่งวัสดุเชิงประกอบที่ผ่านการบดเชิงกลแล้วนำไปอัดขึ้นรูปครั้งที่ 1 เกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดอะลูมิเนียม เนื่องจากการสูญเสียรูปร่างจากแรงอัด พบกลุ่มของซิลิคอนคาร์ไบด์ และล้อมรอบด้วยแกรไฟต์อยู่ตามขอบของเม็ดอะลูมิเนียม ไม่ผสมเป็นเนื้อเดียวกัน เนื่องจากอุณหภูมิที่ทำการอัดขึ้นรูปยังไม่สามารถทำให้วัสดุเชิงประกอบหลอมละลายได้ จึงทำให้กลุ่มของซิลิคอนคาร์ไบด์ และแกรไฟต์แยกชั้นอย่างชัดเจน ดังรูปที่ 12 และเมื่อนำไปอัดขึ้นรูปเป็นครั้งที่ 2 จะพบว่าเกิดการสูญเสียรูปร่างมากขึ้น ขนาดเม็ดของอะลูมิเนียมมีรูปร่างที่เรียวยาวมากขึ้น เนื่องจากบางส่วนเกิดการหลอมละลายจนผสมเชื่อมติดกันสังเกตเห็นกลุ่มของซิลิคอนคาร์ไบด์ และแกรไฟต์ที่อยู่ตามขอบของเม็ดอะลูมิเนียมที่เกาะกันเป็นก้อนมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังรูปที่ 13



รูปที่ 12 ลักษณะของวัสดุเชิงประกอบ Al 7075/SiC/Gr เมื่อนำผงไปอัดขึ้นรูป 1 ครั้ง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง



รูปที่ 13 ลักษณะของ Al 7075/SiC/Gr เมื่อนำผงไปอัดขึ้นรูป 2 ครั้ง ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

4. สรุป

วัสดุเชิงประกอบ Al7075/SiC พบบัฟเฟอร์อัลฟาอะลูมิเนียม ที่มีลักษณะเป็นแบบดอกกุหลาบผสมกับแบบทรงกลม มีการกระจุกตัวของซิลิคอนคาร์ไบด์ที่บริเวณขอบเกรนเพียงเล็กน้อย พบออกซิเจนกระจายตัวอยู่รอบๆ บริเวณที่พบซิลิคอนคาร์ไบด์ ซึ่งพบในรูปอนุภาคในชิ้นงาน เป็นผลมาจากการแยกตัวของผลซิลิคอนคาร์ไบด์จากน้ำโลหะขณะเทลงในแม่พิมพ์ ทำให้เกิดการหดตัวภายในชิ้นงาน เนื่องจากซิลิคอนคาร์ไบด์กับอะลูมิเนียมมีอัตราการเย็นตัวต่างกัน

โครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC/Gr พบบัฟเฟอร์อัลฟาอะลูมิเนียมที่มีลักษณะเป็นแบบดอกกุหลาบมากขึ้นผสมกับแบบทรงกลม เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างจุลภาคของ Al7075/SiC เนื่องจากเมื่อเติมแกรไฟต์ ทำให้แรงเฉือนไม่เพียงพอที่จะทำให้มีลักษณะเป็นทรงกลมอย่างเต็มที่

วัสดุเชิงประกอบ Al7075/SiC/Gr ที่ได้จากการบดเชิงกลและอัดขึ้นรูปรีโซ โครงสร้างจุลภาคพบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงของเม็ดอะลูมิเนียม มีรูปร่างที่เรียวยาวกลมมน มีการเชื่อมติดกัน เนื่องจากมีการเสียรูปจากแรงอัด และมีการหลอมละลายของอะลูมิเนียมจนเชื่อมติดกัน พบซิลิคอนคาร์ไบด์ และแกรไฟต์อยู่ตามขอบเกรนอะลูมิเนียม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่สนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนผ่านทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์ ดุษฎีนิพนธ์หรือการศึกษาอิสระ ระดับบัณฑิตศึกษา หมายเลขทุน: Ph.d. Ie-6/2564 และทุนอุดหนุนโครงการงานนักศึกษาระดับปริญญาตรี หมายเลขทุน: Project_IE2564/66

เอกสารอ้างอิง

[1] Baradeswaran A. and Perumal A.E. "Wear and mechanical characteristics of Al 7075/graphite composites." *Composites Part B: Engineering*, 56: 472-476. 2014.

[2] Surya M. S., & Prasanthi G. "Manufacturing, microstructural and mechanical characterization of powder metallurgy processed Al7075/SiC metal matrix composite." *Materials Today: Proceedings*, 39, 1175-1179, 2021.

[3] Saranu R., Chanamala R., & Putti S. R. "Processing, microstructures and mechanical properties of AZ91E, SiC and fly ash composites: A review." *Materials Today: Proceedings*, 26, 2629-2635, 2020.

[4] Kumar R., Jha K., Sharma S., Kumar V., Li C., Eldin E. M. T., & Królczyk G. "Effect of particle size and weight fraction of SiC on the mechanical, tribological, morphological, and structural properties of Al-5.6 Zn-2.2 Mg-1.3 Cu composites using RSM: fabrication, characterization, and modelling." *Heliyon*, 8(9), e10602, 2022.

[5] Deaquino-Lara R., Soltani N., Bahrami A., Gutiérrez-Castañeda E., García-Sánchez E., & Hernandez-Rodríguez M. A. L. "Tribological characterization of Al7075-graphite composites fabricated by mechanical alloying and hot extrusion." *Materials & Design*, 67, 224-231, 2015.

[6] Sabry I., Ghafaar M. A., Mourad A. H. I., & Idrisi A. H. "Stir casted SiC-Gr/Al6061 hybrid composite tribological and mechanical properties." *SN Applied Sciences*, 2, 1-8, 2020.

[7] Singh J. "Fabrication characteristics and tribological behavior of Al/SiC/Gr hybrid aluminum matrix composites: A review." *Friction*, 4, 191-207, 2016.

[8] Mahdavi S., & Akhlaghi F. "Effect of the SiC particle size on the dry sliding wear behavior of SiC and SiC-Gr-reinforced Al6061 composites." *Journal of materials science*, 46, 7883-7894, 2011.

[9] Mahdavi S., and Akhlaghi F. "Effect of SiC content on the processing, compaction behavior, and properties of Al6061/SiC/Gr hybrid composites." *Journal of Materials Science*, 46:1502-11, 2011.

[10] Saenpong P., Talangkun S., Laonapakul T., & Boonma A. "Microstructures and hardness of A356-SiC composites produced by the mechanical stir casting." *Materials Today: Proceedings*, 5(3), 9489-9496, 2018.

[11] Hassani A., Bagherpour E., & Qods F. "Influence of pores on workability of porous Al/SiC composites fabricated through powder metallurgy+ mechanical alloying." *Journal of Alloys and Compounds*, 591, 132-142, 2014.

[12] Handbook, A. S. M. "Properties and selection." *Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials 2: 1363-1403*, 1990.

[13] Chen X. H., & Yan H. "Fabrication of Al7075-Al₂O₃np-based metal matrix composites with a high solid fraction for thixoforming." *Journal of Materials Research*, 33(24), 4349-4361, 2018.

[14] Zhang Y., Zhang K., Liu G., Xu J., Shi L., Cui D., Wu X., Cui B. "The formation of rosette α phase, structural evolution during the reheating and semi-solid casting of AlSi₇Mg alloy." *Journal of materials processing technology.* *Journal of materials processing technology* 137, no. 1-3: 195-200, 2003.

[15] Kim JK. and Rohatgi PK., "Interaction between moving cellular solidification front and graphite particles during centrifugal casting." *Materials Science and Engineering: A*. 244(2):168-77, 1998

การตรวจสอบความชื้นแกลนูลด้วยเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี Monitoring of Granule's Moisture by Near-Infrared Spectroscopy

พลช ชินวัฒน์วงศ์วาน^{1*} โอพาร กิตติธรพรชัย²

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6370183121@student.chula.ac.th^{1*} oran.k@chula.ac.th²

Paloch Chinwattanawongwan^{1*}, Oran Kittithreerapronchai²

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: 6370183121@student.chula.ac.th^{1*} oran.k@chula.ac.th²

บทคัดย่อ

การทำแห้งแกลนูลยา เป็นกระบวนการที่ส่งผลต่อความชื้นหลงเหลือในแกลนูลยา ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของเม็ดยาในขั้นตอนการตอกอัด โดยทั่วไปขั้นตอนการทำแห้งจะสิ้นสุดลง เมื่อความชื้นของแกลนูลมีค่าเท่ากับที่กำหนดไว้ในตำรับยา อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ความชื้นนี้จะทำโดยวิธีการหาน้ำหนักแห้งที่หายไป ซึ่งใช้เวลานาน และจำเป็นต้องมีการสุ่มแกลนูลเพื่อวิเคราะห์ ทำให้ไม่สามารถหาความชื้นแกลนูลระหว่างกระบวนการได้ทันที่ ดังนั้นในการศึกษานี้ จึงทำการศึกษาดลองการใช้เครื่องเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี ในการระบุความชื้นแกลนูลแลคโตสที่ระดับความชื้นแตกต่างกัน เพื่อหาข้อจำกัด และความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในการผลิตจริง โดยสเปกตรัมเนียร์อินฟราเรด และข้อมูลร้อยละความชื้นของแกลนูล จากวิธีการหาน้ำหนักแห้งที่หายไป ถูกนำมาสร้างแบบจำลองการทำนายด้วยพหุเชิงเส้น ผลที่ได้พบว่า การใช้เนียร์อินฟราเรดในการระบุความชื้น มีความคลาดเคลื่อนในการทำนายเท่ากับ $\pm 0.7\%$ LoD เมื่อใช้ทำนายแกลนูลแลคโตสในช่วงความชื้นระหว่าง 1-15 %LoD

คำสำคัญ: การทำแห้งแกลนูลยา, พหุเชิงเส้น, เนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี, วิธีการหาน้ำหนักแห้งที่หายไป

Abstract

Drying of pharmaceutical granules is a process that affects the residual moisture content of the granules, which in turn affects the quality of compressed tablets. In general, the drying process should end when the moisture content of the granules meets the requirement. However, analysis of moisture content is usually performed by loss on drying (LoD) method, which takes time and requires sampling of granules, making it not practical to determine the moisture content during the process. Therefore, this study aimed to understand the use of near-infrared spectroscopy (NIRs) to determine the moisture content of lactose granules at varying moisture levels, to identify limitations and possibilities for real-world production. NIRs spectra and granules' moisture content from LoD were used as dataset for prediction model which is partial least squares regression. The results showed that the use of NIRs for moisture determination had a prediction error of $\pm 0.7\%$ LoD, when predicting lactose granules at moisture levels between 1-15% LoD

Keywords: Drying of granules, Partial least square, Near-infrared spectroscopy, Loss on drying method

1. บทนำ

ขั้นตอนการผลิตยาเม็ดโดยทั่วไปคือการนำผงของตัวยาสำคัญ และ ผงของสารช่วยเหลือนอื่น ๆ เช่น สารเพิ่มมวล (Filer) และ สารช่วยยึดเกาะ (Binder) มาผสมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วทำการตอกอัดให้กลายเป็น เม็ด อย่างไรก็ตาม สสูตรตำรับยาบางประเภทนั้นคุณสมบัติของผงยาไม่เหมาะสมในการตอกอัดโดยตรง ดังนั้นอุตสาหกรรมยาจึงปรับปรุงคุณสมบัติการตอกอัดโดยวิธีการผลิตแกรนูล (Granulation) โดยการผสมตัวทำละลายของเหลวกับผงยา และทำให้เกิดการเกาะกลุ่มรวมตัวกันจนกลายเป็นแกรนูล (Granules) [1] ดังแสดงในรูปที่ 1 ก่อนนำไปตอกอัดเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการตอกอัดของตัวยา การผสมตัวทำละลายของเหลวเพื่อช่วยในการกระจายสารสำคัญและการยึดเกาะกันของเม็ดยาหลังการตอกอัดอย่างไรก็ตามของเหลวเหล่านั้นไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของตำรับยา เพื่อให้เม็ดยามีอายุการใช้งานและคุณภาพตามที่กำหนด โรงงานผู้ผลิตยาจึงต้องกำจัดของเหลวด้วยกระบวนการทำแห้ง



รูปที่ 1 ตัวอย่างแกรนูลยา ก่อน (ซ้าย) และหลังการทำแห้ง (ขวา)

หลักการสำคัญในกระบวนการทำแห้งคือการกำจัดของเหลวให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม หากปริมาณความชื้นหลงเหลือมีมากเกินไปจะทำให้ยาไม่คงตัวและอาจเสียสภาพก่อนกำหนด ในทางตรงกันข้าม หากปริมาณความชื้นหลงเหลือมีน้อยเกินไปจะทำให้แกรนูลแข็ง หรือเปราะ ทำให้ความสามารถในการถูกตอกอัดลดลง [2] ทั้งนี้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับแต่ละตำรับยา อย่างไรก็ตามการควบคุมความชื้นของแกรนูลระหว่างกระบวนการทำแห้ง จำเป็นต้องหยุดกระบวนการเพื่อวัดค่าความชื้นหลายครั้ง อาศัยประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่ควบคุมเครื่องอบ และ มีความซับซ้อนเพราะนอกเหนือจาก ระยะเวลาและอุณหภูมิในการทำแห้งซึ่งสามารถควบคุมได้แล้ว ปริมาณความชื้นตั้งต้นของแกรนูลยาในแต่ละรุ่นการผลิตยังมีอาจแตกต่างกัน อีกทั้งความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิระหว่างกระบวนการก็มีผลต่ออัตราการระเหยของแกรนูล [3] ดังนั้นการใช้เครื่องมือเพื่อเฝ้าดูความชื้นของแกรนูลระหว่างกระบวนการแบบต่อเนื่อง เพื่อหยุดกระบวนการเมื่อได้ความชื้นที่เหมาะสม ก็อาจเป็นวิธีทางเลือกอีกวิธีหนึ่งดังเช่นการประยุกต์ใช้เครื่องมืออินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Near Infrared Spectroscopy) [4] หรือเครื่องมือ NIR ซึ่งอาศัยหลักการสะท้อนกลับและหลักการดูดกลืนแสงของสารในการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพ ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือวิเคราะห์การทำนาย

ความชื้นของแกรนูลยาโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือ NIR ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 เครื่องมืออินฟราเรดสเปกโทรสโกปีที่ใช้ในการทดลอง

ก่อนกล่าวถึงขั้นตอนการทดลอง การวิเคราะห์สเปกตรัม (Spectrum) ของแสงจากเครื่องมือ NIR และ การวิเคราะห์ความคาดเคลื่อนจากแบบจำลอง การในส่วนที่ 3 4 และ 5 ตามลำดับ คณะผู้วิจัยใคร่นำเสนอหลักการวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในส่วนถัดไป

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการหาน้ำหนักที่หายไป

วิธีการวัดความชื้นของแกรนูล ในกระบวนการผลิตที่นิยมใช้คือวิธีการหาน้ำหนักที่หายไป (Loss on Drying: LoD) [5] ดังแสดงการคำนวณในสมการที่ 1

$$LoD = \frac{W_{before} - W_{after}}{W_{before}} \quad (1)$$

เมื่อ

W_{before} = น้ำหนักของสารก่อนการทำแห้ง

W_{after} = น้ำหนักของสารหลังการทำแห้ง

LoD เป็นร้อยละน้ำหนักที่หายไปของแกรนูลเมื่อให้ความร้อนจนกว่าแกรนูลจะไม่เปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อไปอีกโดยอนุมานว่าน้ำหนักที่หายไปคือน้ำหนักน้ำ ดังนั้นข้อจำกัดสำคัญของ LoD คือไม่สามารถประยุกต์ใช้กับแกรนูลที่มีส่วนประกอบของสารระเหยง่ายได้

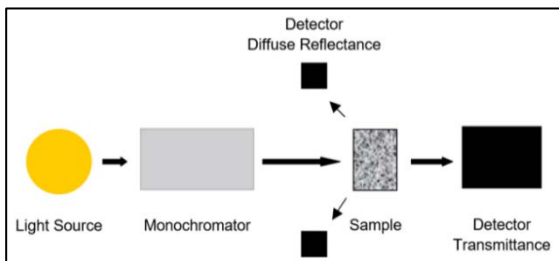
วิธีการทดสอบมักใช้สารตัวอย่างประมาณ 1.0 ถึง 2.0 กรัม โดยสารที่มีขนาดใหญ่ต้องทำการลดขนาดให้เหลือประมาณ 2.0 มิลลิเมตรด้วยวิธีการบด ใส่ภาชนะที่นำไปกำจัดความชื้น และควบคุมอุณหภูมิแล้ว จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ และระยะเวลาที่ควบคุม โดยหากจุดหลอมเหลวของสารที่ทดสอบต่ำกว่าอุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ ให้ลดอุณหภูมิที่ใช้อย่างน้อย 5-10 องศาเซลเซียส นับจากจุดหลอมเหลว แล้วอบจนได้น้ำหนักที่คงที่ [6]

2.2 เทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

เครื่อง NIR ทำงานโดยอาศัยเทคนิคเนียร์อินฟราเรดสเปกโทรสโกปีซึ่งเป็นเทคนิควิเคราะห์แบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Analytical Technique) ที่สามารถตรวจสอบคุณสมบัติของสารได้รวดเร็วโดยใช้คลื่นแสงในช่วงเนียร์อินฟราเรด (Near Infrared) คลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 12,500–4,000 cm^{-1} [7] ซึ่งจัดเป็นช่วง สเปกตรัมของคลื่นที่อยู่ระหว่างคลื่นแสงที่มองเห็นได้และช่วงอินฟราเรด (Infrared) คุณสมบัติสำคัญของคลื่นแสงช่วงดังกล่าวคือ สามารถถูกดูดซับโดยพันธะระหว่างอะตอม ทำให้เกิดการสั่น การยืดออก และการหมุนของพันธะ โดยรูปแบบการดูดซับคลื่นแสง (Pattern of Absorption) ของคลื่นแสงมีลักษณะแตกต่างกันในช่วงคลื่น ซึ่งสามารถนำมาบ่งบอกคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสารได้

การวิเคราะห์โดยใช้คลื่นแสงช่วงเนียร์อินฟราเรดมีจุดเด่นคือไม่จำเป็นต้องมีการเตรียมการพิเศษ และช่วงคลื่นแสงที่ถูกดูดซับมีลักษณะของกว้าง (Broad Spectrum) เนื่องจากการสั่นของพันธะที่ดูดซับ NIR จะเป็นการสั่นในความถี่ขั้นถัดไปจากความถี่ขั้นพื้นฐาน (Fundamental Bands) คือ โอเวอร์โทน (Overtone) และคอมบิเนชัน (Combination Bands) [8, 9] ซึ่งเป็นการเสริมกันของการสั่นจากสองหมู่ฟังก์ชันจนกลายเป็นการสั่นที่ความถี่ใหม่ ทำให้สามารถเก็บข้อมูลทั้งทางเคมีและกายภาพของสารได้

การดูดซับคลื่นแสง NIR ยังสามารถวัดได้ทั้งแบบส่องผ่าน (Transmittance) และแบบสะท้อน (Reflectance) ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมด้านประเภทของการทดลอง และประเภทของสาร [3] ดังแสดงหลักการทำงานในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทำงานของเครื่อง NIR [10]

ข้อด้อยสำคัญของเทคนิคคือข้อมูลที่เก็บได้อาจไม่ได้มีความสัมพันธ์ต่อสิ่งที่สนใจโดยตรงจำเป็นต้องอาศัยการจัดการข้อมูลและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการหาความสัมพันธ์ และอธิบายตีความผลสเปกตรัมที่ได้ [10, 11]

2.3 แบบจำลอง PLS-R

เนื่องจากข้อมูลตัวแปรจากเครื่อง NIR คืออัตราการดูดซับแสงแต่ละช่วงคลื่นแสงตลอดทั้งสเปกตรัม ซึ่งเป็นตัวแปรที่ไม่เป็นอิสระจากกัน ดังนั้นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรและการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์จึงอาศัยวิธีสมการถดถอยแบบพหุเชิงเส้นย่อย (Partial

Least Square Regression; PLS-R) หรือ แบบจำลอง PLS-R เป็นการลดมิติของข้อมูล (Dimension Reduction) ซึ่งคัดเลือกตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องกันสร้างเป็นตัวแปรต้นชุดใหม่ที่มีผลต่อสมการ เรียกว่า PLS Factor โดยตัวแปรแต่ละตัวตั้งฉาก (Orthogonal) ซึ่งกันละกัน และเรียงลำดับจากตัวแปรที่มีผลต่อข้อมูลตัวทำนาย (Predictor) จากมากไปน้อย จากนั้นจึงนำตัวแปร PLS Factor และ ข้อมูลตัวทำนาย สร้างเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบหลายตัวแปร (Multiple Variate Regression) โปรแกรมสำเร็จมักประเมินความถูกต้อง (Validation) ของแบบจำลองโดยการแบ่งข้อมูลชุดทดสอบ (Training Dataset) ออกเป็นข้อมูลชุดทดสอบเทียบ (Calibration Dataset) เพื่อสร้างแบบจำลองและชุดตรวจสอบความถูกต้อง (Validation Dataset) เพื่อคำนวณหาความคลาดเคลื่อน ในการศึกษาคณะผู้วิจัยเลือกใช้ ค่า RMSE (Root Mean Square Error) ในการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน ดังแสดงในสมการที่ 2

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (\hat{y}_j - y_j)^2}{N}} \quad (2)$$

เมื่อ

\hat{y}_j = ค่า LoD จากการพยากรณ์ของตัวอย่างที่ j

y_j = ค่า LoD จากการได้จริงของตัวอย่างที่ j

N = จำนวนของตัวอย่างที่นำมาคำนวณ

แบบจำลองที่เหมาะสมควรมีค่า RMSE ที่ต่ำ และ จำนวนตัวแปร PLS-Factor ที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับรูปแบบการวิเคราะห์ และจุดประสงค์ของผู้วิเคราะห์ [12, 13]

ก่อนจะอธิบายถึงขั้นตอนการผลิตสารทดสอบเพื่อใช้ในการทดลองวัดความชื้นและสร้างแบบจำลอง PLS-R ด้วยข้อมูลสเปกตรัมจากเครื่อง NIR คณะผู้วิจัยใคร่กล่าวถึงการจัดการข้อมูลสเปกตรัมเนื่องจากส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำของการพยากรณ์

3 การจัดการข้อมูลสเปกตรัม

คณะผู้วิจัยพิจารณาการจัดการข้อมูลสเปกตรัม 4 ปัจจัยได้แก่

3.1 การปรับแก้การกระเจิงแสง

การปรับแก้การกระเจิงแสง (Scatter Correction) เป็นเทคนิคจัดการข้อมูลสเปกตรัม เพื่อลดความแปรปรวนเนื่องมาจากการกระเจิงแสง (Scattering Effect) จากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงการใช้งานเครื่อง NIR ซึ่งอาจก่อให้เกิดความแปรปรวนสะสมของค่าที่อ่านได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงของระยะห่างระหว่างการตัวอย่าง และเซนเซอร์ หรือแสงรบกวนในระหว่างเก็บข้อมูล ในการวิจัยฉบับนี้พิจารณารูปแบบการปรับแก้การกระเจิงแสง 3 ประเภทได้แก่

- **RAW** เป็นการพิจารณาไม่ปรับแก้การกระเจิงแสง เนื่องจากการปรับแก้การกระเจิงแสงอาจลดความสำคัญข้อมูลได้ในบางกรณี

- **SNV** หรือ การปรับแก้ความแปรปรวนเป็นมาตรฐาน (Standard Normal Variate) ลดการกระเจิงแสงด้วย ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนมาตรฐานของสเปกตรัม

$$S_i^{SNV} = \frac{S_i - \bar{S}_i}{\delta_i} \quad (3)$$

เมื่อ

\bar{S}_i = ค่าเฉลี่ย intensity ของสเปกตรัม i
 δ_i = ค่าความแปรปรวนมาตรฐาน ของสเปกตรัม i
 S_i = ค่า intensity ที่วัดได้ของแต่ละสเปกตรัม i

- **MSC** หรือ การปรับแก้การกระเจิงแบบผลคูณ (Multiplicative Scatter Correction) เป็นการประยุกต์ค่าสัมประสิทธิ์ผลคูณ และผลบวกของสเปกตรัมเฉลี่ย (Mean Spectrum, S_{mean}) เทียบของสเปกตรัมที่สนใจ เพื่อลดผลการกระเจิงของแสง สเปกตรัมเฉลี่ย สามารถคำนวณได้จาก การประมาณข้อมูลสเปกตรัมทั้งหมดด้วยการประยุกต์สมการถดถอยเชิงเส้น ดังแสดงในสมการที่ 4 และ การประมาณที่ 5 ตามลำดับ

$$S_i^{MSC} = \frac{S_i - a_i}{b_i} \quad (4)$$

$$S_i \approx a_i + b_i \cdot S_{mean} \quad (5)$$

เมื่อ

S_{mean} = สเปกตรัมเฉลี่ย
 a_i = ค่าสัมประสิทธิ์ผลบวกของสเปกตรัม i เทียบกับ สเปกตรัมเฉลี่ย
 b_i = ค่าสัมประสิทธิ์ผลคูณของสเปกตรัม i เทียบกับ สเปกตรัมเฉลี่ย
 S_i = ค่า intensity ของแต่ละสเปกตรัม

3.2 ช่วงสเปกตรัม

เนื่องจากตัวทำนายในงานวิจัยนี้คือค่าความชื้น ดังนั้นในช่วงสเปกที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง PLS-R จึงพิจารณา 2 กรณีได้แก่

- **FS** (Full Spectrum) เป็นคลื่นแสงทั้งหมดที่ปล่อยออกจากแหล่งกำเนิดแสงของเครื่อง NIR ที่ใช้ในการทดลอง หรือ ตั้งแต่ความยาวคลื่น 4000 เซนติเมตร⁻¹ ($2.5 \mu m$) จนถึง 10000 เซนติเมตร⁻¹ ($10.0 \mu m$)
- **WS** (Water Absorption Spectrum) เป็นช่วงสเปกตรัมเฉพาะที่จากเครื่อง NIR ถูกดูดกลืนโดยน้ำ โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของ Sundaram J. และคณะ ช่วงสเปกตรัมดังกล่าวมีความยาวคลื่น 2 กลุ่มระหว่าง 5100-5400 เซนติเมตร⁻¹ ($\approx 1.85 - 1.96 \mu m$) และ 6800-7200 เซนติเมตร ($\approx 1.39 - 1.47 \mu m$) [14]

3.3 การแปลงข้อมูลสเปกตรัม

เพื่อเพิ่มความชัดเจนในการอ่านค่าหลังจากการปรับแก้การกระเจิงแสง งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์อนุพันธ์ (Derivative) เพื่อปรับเรียบ (Smoothing) ข้อมูลสเปกตรัม 3 ลักษณะได้แก่

- **ORI** เป็นการนำข้อมูลสเปกตรัมหลังจากการปรับแก้การกระเจิงแสงแล้วมาใช้เป็นตัวแปรต้นก่อนสร้างแบบจำลอง โดยไม่ได้มีการคำนวณเป็นอนุพันธ์ลำดับที่ 1 หรือ 2
- **1DV** เป็นการปรับให้ค่าเส้นฐาน (Baseline) เป็นศูนย์ เพื่อกำจัดผลการเคลื่อนของค่าเส้นฐาน (Baseline Shift) คงเหลือเฉพาะค่าแนวโน้มของข้อมูลเท่านั้น โดยหลักการของ 1DV คือการหาผลต่างระหว่างแต่ละจุดของค่าสเปกตรัม [15, 16]
- **2DV** เป็นการนำเฉพาะอนุพันธ์ลำดับที่ 2 จากข้อมูลอนุพันธ์ลำดับที่ 1 ที่ปรับแก้การกระเจิงแสงแล้วมาใช้เป็นตัวแปรต้นจุดประสงค์เพื่อลดผลของแนวโน้มเชิงเส้น (Linear Trend) ให้เป็นศูนย์ [15]

3.4 วิธีการประมาณค่าอนุพันธ์

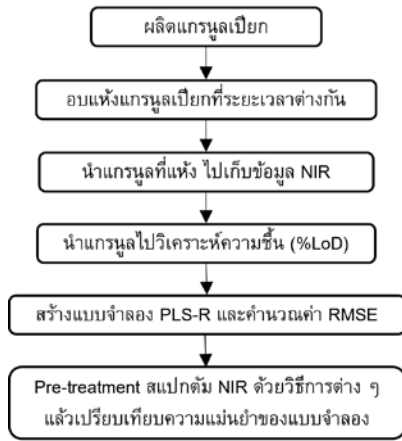
การแปลงข้อมูลสเปกตรัมซึ่งเป็นค่าการวัดให้เป็นรูปของอนุพันธ์ต้องอาศัยวิธีการประมาณด้วยค่าสเปกตรัมข้างเคียงเพื่อปรับเรียบในงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีการประมาณมี 2 แบบได้แก่

- **NW** หรือ Norris-Williams เป็นวิธีการประมาณค่าสเปกตรัมของช่วงเวลาที่ต้องการ โดยกำหนดขนาดกรอบเวลา (Window Size) และ หาค่าเฉลี่ยของค่าสเปกตรัมก่อนหน้าและค่าสเปกตรัมหลังจากช่วงเวลาที่ต้องการ ในกรอบเวลาเท่าๆ กัน [16]
- **SG** หรือ Savitzky-Golay เป็นการประมาณค่าสเปกตรัมของช่วงเวลาที่ต้องการด้วยค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักตามพหุนาม (Polynomial) ที่กำหนด วิธีการดังกล่าวให้ความสำคัญของแต่ละจุดข้อมูลแตกต่างกัน ทำให้เป็นนิยมในการใช้ร่วมกับการทำ 1DV และ 2DV มากกว่า [16]

4. การดำเนินงานและการวิเคราะห์

4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การวิจัยมีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภาพขั้นตอนการงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้เลือก แลคโตสแกรนูล (Lactose Granule) เป็นสารทดสอบเนื่องจากสารดังกล่าวเป็นสารที่นิยมใช้เป็นสารเพิ่มมวลนิยม และมีราคาถูก โดยการผลิตและการทดลองด้วยสารดังกล่าวมีส่วนผสมและเครื่องมือแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1: บริษัทผู้ผลิตและปริมาณของสารที่ใช้ผลิตแลคโตสแกรนูล

ชื่อสารเคมี	บริษัทผู้ผลิต	ประเทศ	Lot	จำนวน
แป้งข้าวโพด (Corn Starch)	Ingredion™	Thailand	DFB2004	61.38 กรัม
น้ำตาลแลคโตส (Lactose Monohydrate)	Granulac®	Germany	2004985	235.56 กรัม
แป้งพรีเจลาติไนซ์ (Pregelatinized Starch)	Colorcon®	USA	IN505698	3.06 กรัม
น้ำบริสุทธิ์ (Purified Water)	NA	NA	NA	60.00 มล

ตารางที่ 2: บริษัทผู้ผลิตเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ	บริษัทผลิต	ประเทศ
เครื่อง NIR (Antaris™ II FT-NIR analyzer series S)	Thermo Fisher Scientific Inc	USA
โปรแกรมที่คิวนาไลซ์® (TQ analyst®)	Thermo Fisher Scientific Inc	USA
เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (Mettler Toledo® HR83)	Mettler-Toledo GmbH	Switzerland
ร่อนมาตรฐาน (Standard Sieve)	NA	NA

การผลิตแลคโตสแกรนูลทำโดยผสมสารเคมีต่างๆ ให้เข้ากันและทำการสร้างเม็ดแกรนูลโดยผ่านร่อนมาตรฐานขนาด No.20 จากนั้นนำเข้าอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยแปรผันเวลาที่ใช้ในการอบตั้งแต่ 5 10 20 30 40 และ 60 นาทีตามลำดับ เพื่อให้ได้แลคโตสแกรนูลที่มีความชื้นแตกต่างกัน

ในแต่ละช่วงเวลากการอบก็มีการเก็บสเปกตรัมคุณสมบัติของสารด้วยเครื่อง NIR และ สุ่มแลคโตสแกรนูลตัวอย่าง 10 ตัวอย่างเพื่อหาความชื้นโดยวิธีการ LoD ด้วยเครื่องตรวจวิเคราะห์ความชื้น Mettler Toledo® HR83 ดังแสดงในตารางที่ 3 ข้อมูลความชื้นและสเปกตรัมในแต่ละช่วงเวลาถูกนำเข้าโปรแกรมคิวนาไลซ์® ซึ่งเป็นโปรแกรมการวิเคราะห์ในเครื่อง NIR จากบริษัทผู้ผลิตก่อนดำเนินการสร้างแบบจำลอง PLS-R ด้วยปัจจัยการจัดการข้อมูลสเปกตรัม 4 ปัจจัย ดังได้กล่าวในส่วนที่ 3

4.2 การวิเคราะห์ความชื้น

ค่าความชื้นของแลคโตสแกรนูลในแต่ละช่วงเวลาและแต่ละตัวอย่างตามกระบวนการดำเนินงานในหัวข้อ 4.1 ได้ถูกนำเสนอในตารางที่ 3

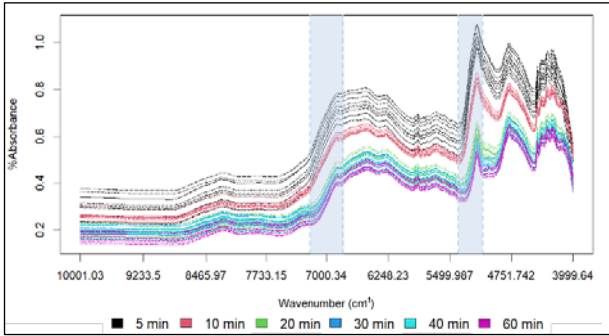
จากตารางที่ 3 พบว่าร้อยละ LoD ของแกรนูลในแต่ละช่วงเวลาการอบแห้งของแต่ละตัวอย่างการสุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่มีค่าผิดปกติ (Outlier) และในช่วงเวลาการทำแห้งที่ 5 10 และ 20 นาที ความชื้นของแกรนูลมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด เนื่องมาจากการที่ความชื้นส่วนเกินที่อยู่ใกล้ผิวของแกรนูล สามารถระเหยออกมาจากแกรนูลได้ก่อน และระเหยออกมาได้รวดเร็ว ในขณะที่ความชื้นของแกรนูลที่อบในช่วง 30 นาทีเป็นต้นไปนั้นมีความใกล้เคียงกันเนื่องมาจากเมื่อความชื้นบริเวณใกล้ผิวนอกกระเหยออกไปหมด ความชื้นที่อยู่ภายในแกรนูลจะใช้เวลาค่อย ๆ แพร่ออกมาบริเวณผิวนอก จากนั้นจึงจะระเหยออกไปได้ ซึ่งใช้เวลามากกว่า ดังนั้นการอบในช่วงระยะเวลาที่นานกว่าจึงมีร้อยละของความชื้น ที่แตกต่างกันน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงที่ระยะเวลา 5 นาที ถึง 20 นาที

ตารางที่ 3 ร้อยละความชื้นของแกรนูล

ตัวอย่าง	5 นาที	10 นาที	20 นาที	30 นาที	40 นาที	60 นาที
1	15.59	11.31	3.54	1.52	1.43	1.32
2	15.05	11.38	3.31	1.39	1.40	0.98
3	14.70	11.32	3.39	1.55	1.48	1.18
4	15.49	11.21	3.40	1.45	1.31	1.18
5	14.99	11.22	3.45	1.51	1.49	1.18
6	15.01	10.87	3.33	1.40	1.57	1.28
7	14.82	11.01	3.45	1.45	1.59	1.39
8	14.80	10.94	3.38	1.50	1.79	1.33
9	15.05	11.21	3.47	1.40	1.69	1.26
10	15.19	10.91	3.19	1.51	1.67	1.34
ค่าเฉลี่ย	15.07	11.14	3.39	1.47	1.54	1.24

4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลสเปกตรัม

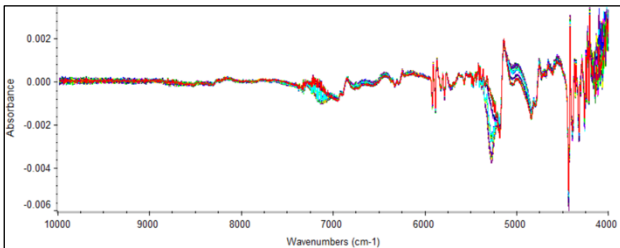
สเปกตรัมที่เก็บได้จากเครื่อง NIR สามารถนำมาสร้างแผนภาพระหว่างหมายเลขคลื่น และค่าร้อยละ ค่าอนุพันธ์ที่ 1 และ อนุพันธ์ที่ 2 ของการดูดซับแสง (% Absorbance) ในรูปที่ 5 6 และ 7 ตามลำดับ



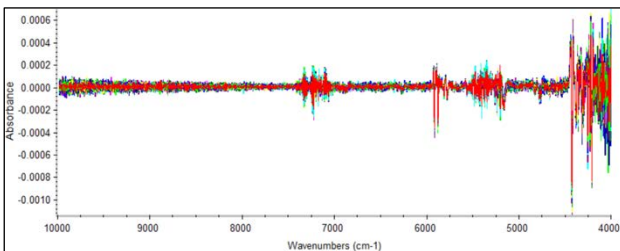
รูปที่ 5 สเปกตรัมที่เก็บจากการแกรนูลในแต่ละช่วงเวลา

จากรูปที่ 5 จะสังเกตเห็นได้ว่า สเปกตรัมของแกรนูลที่เก็บจากการทดลอง จะมีการเกาะกลุ่มของสเปกตรัมที่เก็บได้ สัมพันธ์ตามปริมาณความชื้น และระยะเวลาการอบ นอกจากนี้เมื่อพิจารณา ความแตกต่างระหว่างสเปกตรัมของกลุ่มที่ 10 และ 20 นาทีจะมีช่องว่างที่ห่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับความชื้นเฉลี่ยที่ 11.14 และ 3.39 ซึ่งเป็นช่วงที่กว้างที่สุด ในทำนองเดียวกัน กลุ่มที่ 30 40 และ 60 นาที จะมีการเกาะกลุ่มและซ้อนทับกันของสเปกตรัม

รูปที่ 6 และ 7 แสดงผลการประมาณค่าอนุพันธ์ซึ่งพบว่าการแปลงค่าอนุพันธ์ส่งผลให้ ค่าสเปกตรัมบางช่วงคาร์บอน หรือ noise เพิ่มขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากการกระจาย



รูปที่ 6 สเปกตรัมที่ผ่านการคำนวณค่าอนุพันธ์ที่ 1



รูปที่ 7 สเปกตรัมที่ผ่านการคำนวณค่าอนุพันธ์ที่ 2

4.4 การสร้างแบบจำลอง PLS-R

หลังจากการจับคู่ระหว่างข้อมูลสเปกตรัมและข้อมูลความชื้น คณะผู้จัดทำได้พิจารณาปัจจัยการจัดการข้อมูลสเปกตรัม และสร้างแบบจำลองทั้งสิ้น 22 แบบจำลองดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่า RMSE ของแบบจำลอง PLS-R แต่ละการจัดการสเปกตรัม

ลำดับ	ช่วงสเปกตรัม	การจัดการ	PLS Factor	RMSE		
1	WS	RAW		5	0.319	
2		MSC	ORI	-	5	0.314
3			1DV	SG	5	0.338
4				NW	5	0.346
5			2DV	SG	4	0.331
6		NW		5	0.310	
7		SNV	ORI	-	5	0.313
8			1DV	SG	5	0.337
9				NW	5	0.343
10			2DV	SG	5	0.358
11				NW	5	0.317
12	FS	RAW		5	0.236	
13		MSC	ORI	-	5	0.329
14			1DV	SG	6	0.325
15				NW	6	0.313
16			2DV	SG	6	0.339
17		NW		6	0.334	
18		SNV	ORI	-	5	0.327
19			1DV	SG	6	0.325
20				NW	6	0.314
21			2DV	SG	6	0.337
22	NW			6	0.332	

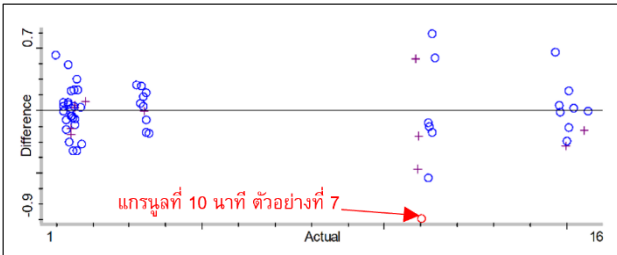
จากตาราง 4 ผลที่ดีที่สุดคือแบบจำลองลำดับที่ 12 หรือ การใช้เนียร์อินฟราเรดสเปกตรัมทั้งหมดโดยไม่ผ่านการจัดการกับสเปกตรัมใดๆ ซึ่งมีค่า RMSE ต่ำที่สุดที่ 0.236 น้อยกว่าสเปกตรัมที่ผ่านการจัดการทุกรูปแบบ และน้อยกว่าสเปกตรัมที่เลือกเฉพาะช่วง WS โดยผลเปรียบเทียบค่าทำนาย และค่าจริง จะถูกแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลเปรียบเทียบค่าความชื้นจากการทำนาย และค่าความชื้นจริง

	ค่าสถิติ	5	10	20	30	40	60
		นาที	นาที	นาที	นาที	นาที	นาที
ค่าจริง	Mean	15.07	11.14	3.39	1.47	1.54	1.24
	SD	0.09	0.06	0.03	0.02	0.05	0.04
	max	15.59	11.38	3.54	1.55	1.79	1.39
	min	14.70	10.87	3.19	1.39	1.31	0.98
ค่าที่ทำนายได้	Mean	15.05	11.04	3.42	1.38	1.62	1.25
	SD	0.09	0.18	0.03	0.05	0.06	0.04
	max	15.59	11.93	3.60	1.56	1.87	1.43
	min	14.71	10.14	3.29	1.13	1.39	1.09

5. วิเคราะห์ความคาดเคลื่อนจากแบบจำลอง

แบบจำลองที่สร้างจากสเปกตรัมที่ไม่ผ่านการจัดการใด ๆ ได้ผลค่า RMSE ที่น้อยที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากการที่ในขั้นตอนการทดลอง และวิจัย มีการกำหนดระยะห่างในการเก็บข้อมูล แสงในห้องทดลอง และขนาดของแกรนูลที่ถูกควบคุมไว้ดีอยู่แล้ว ทำให้การลดผลการกระเจิงแสง การทำอนุพันธ์ หรือการจัดการข้อมูลนั้น ไปดบังข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับความชื้นแกรนูล มากกว่าเป็นการไปลดผลรบกวนที่อาจมีอยู่น้อย



รูปที่ 8 ค่าความผิดพลาดการทำนายจาก PLS-R กับค่าสังเกตการณ์ของความชื้นแกรนูล โดย o คือชุด calibration และ + คือชุด validation

จากรูปที่ 8 เมื่อพิจารณาการกระจายของค่าความผิดพลาดในการทำนาย พบว่ามีการกระจายที่สมมาตร และเท่ากันตลอดในช่วง $\pm 0.7\%$ LoD และมีค่าหนึ่งที่อยู่ห่างจากช่วง คือตัวอย่างที่ 7 ของการทำแห้งนาที่ที่ 10 อย่างไรก็ตามในการทำนายความชื้นในช่วงที่ต่ำ ผลของความคลาดเคลื่อนนี้อาจมาจากไม่สามารถทำนายได้อย่างแม่นยำ เมื่อเทียบกับค่าความชื้นที่ประมาณ 1-3% LoD

นอกจากนี้จากตารางที่ 4 อีกหนึ่งปัจจัยที่จำเป็นต้องพิจารณา คือ PLS factor หรือพจน์ที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง ยังมีพจน์มาก โอกาสที่แบบจำลองนั้น จะเกิดการโอเวอร์ฟิต (Overfitted) และทำให้ความแม่นยำในการทำนายจริงลดลง ในกรณีที่มีค่า RMSE ที่ใกล้เคียงกัน จำนวนของพจน์ก็เป็นตัวชี้วัดหนึ่งในการเลือกแบบจำลองที่ดีที่สุด

6. สรุป และข้อเสนอแนะ

ในการระบุจุดยุติของกระบวนการทำแห้งแกรนูล ด้วยการเฝ้าดูความชื้นแกรนูลด้วยเครื่องเอนิฟราเรด พบว่าในช่วงความชื้นของการทดลองระหว่าง 1-15% LoD สามารถใช้ระบุความชื้นแกรนูล โดยมีค่า RMSE อยู่ที่ 0.236 แสดงถึงความเป็นไปได้ในการนำเครื่องเอนิฟราเรด ไปใช้ระบุความชื้นโดยไม่ต้องหยุดระหว่างกระบวนการได้

ผลการทดลองยังแสดงว่าแบบจำลอง PLS-R ไม่สามารถพยากรณ์แกรนูลที่ความชื้นต่ำ หรือแยกผลความชื้นใกล้เคียงกันได้อย่างแม่นยำ อาจเป็นข้อจำกัดจากความละเอียดของชนิดเครื่องมือ ในกรณีที่ต้องการศึกษาผลความชื้นที่ต่ำ หรือต่างกันเล็กน้อย อาจต้องอาศัยเครื่องมือที่มีความละเอียดสูงขึ้น และมีการควบคุมปัจจัยรบกวนให้น้อยลง เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนาย

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นการทดลองควบคุม เพื่อศึกษาวิธีการและความเป็นไปได้ จึงยังไม่ได้คำนึงถึงผลรบกวนในกระบวนการใน

ขนาดอุตสาหกรรม เช่น ความไม่สม่ำเสมอที่มากกว่า เมื่อทำการผลิตในขนาดอุตสาหกรรม หรือปัจจัยด้านความไม่สม่ำเสมอของคุณภาพอื่น ๆ ของแกรนูลที่ผลิตในแต่ละรุ่นการผลิต ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในขนาดอุตสาหกรรมการผลิตจริง

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบคุณภาควิชาเภสัชอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ และสถานที่ในการทดลอง และ อ. ภูวดร.นฤพร สุตินทวิบูลย์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. B. Wade, "Chapter 1 - Physicochemical Principles Governing Agglomeration and Growth Kinetics," in Handbook of Pharmaceutical Wet Granulation, A. S. Narang and S. I. F. Badawy Eds.: Academic Press, 2019, pp. 3-35.
- [2] R. Gulwady. "Properties of a good tablet granulation." Online document <https://www.fabtechnologies.com/properties-of-good-tablet-granulation/> accessed on Feb 10 2023.
- [3] A. J. Hlinak and A. Saleki-Gerhardt, "An evaluation of fluid bed drying of aqueous granulations," (in eng), Pharm Dev Technol, vol. 5, no. 1, pp. 11-7, 2000
- [4] E. M. Hansuld and L. Briens, "A review of monitoring methods for pharmaceutical wet granulation," International Journal of Pharmaceutics, vol. 472, no. 1, pp. 192-201, 2014/09/10/ 2014
- [5] Jim Reeb and M. Milota, "Moisture content by the oven-dry method for industrial testing," WDKA, p. 8, 1999. Oregon State University Corvallis, OR.
- [6] USP. "Physical test – Loss on drying <731>," in The United States Pharmacopeia - National formulary, vol. 40, p. 1, 2017. Rockville (MD): United States Pharmacopeial Convention.
- [7] Y. Ozaki, T. Genkawa, and Y. Futami, "Near-Infrared Spectroscopy," in Encyclopedia of Spectroscopy and Spectrometry (Third Edition), J. C. Lindon, G. E. Tranter, and D. W. Koppenaal Eds. Oxford: Academic Press, 2017, pp. 40-49.
- [8] C. Pasquini, "Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives - A review," Anal Chim Acta, vol. 1026, pp. 8-36, Oct 5 2018
- [9] T. De Beer, A. Burggraevae, M. Fonteyne, L. Saerens, J. P. Remon, and C. Vervaeet, "Near infrared and Raman spectroscopy for the in-process monitoring of pharmaceutical production processes," Int J Pharm, vol. 417, no. 1-2, pp. 32-47, Sep 30 2011

- [10] G. Reich, "Near-infrared spectroscopy and imaging: basic principles and pharmaceutical applications," *Adv Drug Deliv Rev*, vol. 57, no. 8, pp. 1109-43, Jun 15 2005
- [11] S. Harrington, "A guide to near-infrared spectroscopic analysis of industrial manufacturing processes," *Metrohm Monograph 8*, 2014. Metrohm AG CH-9101 Herisau, Switzerland.
- [12] K. S. Ng, "A Simple Explanation of Partial Least Squares," Draft pp. 1-10, April 27 2013.
- [13] H. Abdi and L. Williams, *Partial least squares regression and projection on latent structure regression (PLS regression)*. 2010, pp. 655-660.
- [14] J. S. S. Mani, C. Kandala, and R. Holser, "Application of NIR Reflectance Spectroscopy on Rapid Determination of Moisture Content of Wood Pellets," *American Journal of Analytical Chemistry*, vol. 06, pp. 923-932, 01/01 2015
- [15] A. M. C. Davies, "Back to basics: Spectral pre-treatments - Derivatives," *Spectroscopy Europe*, vol. 19, pp. 32-33, 04/01 2007.
- [16] Å. Rinnan, F. v. d. Berg, and S. B. Engelsen, "Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra," *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. 28, no. 10, pp. 1201-1222, 2009

แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัท เวิลด์เปเปอร์ จำกัด

Guidelines for Increasing Efficiency in The Warehouse Case Study World Paper Co.,Ltd.

ณัฐนารี สุขเสกสรรค์* อนุธิดา สีสาเร

ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิทยาเขตปราจีนบุรี

E-mail: natanaree.s@itm.kmutnb.ac.th*

Natanaree Sooksaksun*, Anuthida Sisare

Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus

E-mail: natanaree.s@itm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในคลังสินค้า โดยการลดระยะทางในการหยิบสินค้า จากการศึกษาตำแหน่งการวางสินค้าบริษัทกรณีศึกษาพบว่า ตำแหน่งการจัดวางสินค้าของสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวเร็ว (Fast moving) ภายในคลังสินค้าไม่เหมาะสมถูกจัดวางอยู่กระจัดกระจายทั่วบริเวณ ทำให้พนักงานใช้ระยะทางการหยิบสินค้าไกล ทำให้ไม่สามารถส่งสินค้าได้ตามที่ลูกค้ากำหนด ผู้ศึกษาได้นำทฤษฎีการแบ่งกลุ่มสินค้า ABC Analysis โดยเลือกการจัดเรียงตามการเคลื่อนไหวเร็ว ปานกลาง และช้า โดยนำหลักการตัวแบบกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model) ตามทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางใกล้ประตู (Fast Mover Closest to the Door) ร่วมกับเครื่องมือ Open Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของการจัดวางสินค้า โดยการจัดพื้นที่ตำแหน่งโซนสินค้าใหม่พบว่า สามารถลดระยะทางการหยิบสินค้าออก จากเดิม 41,435.76 เมตร เป็น 29,653.08 เมตร ระยะทางที่ลดลงได้ 11,782.68 เมตร คิดเป็นร้อยละ 28.43 ระยะทางที่ลดลงทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้

คำสำคัญ: การจัดการคลังสินค้า การแบ่งประเภทสินค้าคงคลัง ตัวแบบการใช้โปรแกรมเชิงเส้น

Abstract

The objective of this research is to study how to improve warehouse efficiency by reducing the picking distance. As observed, the company's existing problem is an issue with the inappropriate storage locations of fast-moving items, causing problems of unnecessary travel distances. The current improper layout of the product in this warehouse leads to the problem of not achieving on-time delivery. This research will use both the ABC classification system ranging from high, medium, and low movements. The proposed linear programming problem is solved by Fast-Mover-Closest-to-Door concepts with Open Solver in Microsoft Excel as the solver tool to find the optimal solution. The result shows that the new product location and layout can significantly help improve the warehouse efficiency in terms of decreasing picking distances from 41,435.76 meters to 29,653.08 meters, there was a decrease of 11,782.68 meters or 28.43 percent, and the method with product sorting can increase efficiency.

Keywords: Warehouse management, ABC analysis, Linear programming

1. บทนำ

ในปัจจุบันการจัดการโลจิสติกส์เข้ามามีบทบาทอย่างมาก โดยหลาย ๆ กิจกรรมของระบบโลจิสติกส์จะเกี่ยวข้องกับระบบคลังสินค้า เนื่องจากคลังสินค้าทำหน้าที่เป็นที่พักสินค้าชั่วคราว จัดเก็บวัตถุดิบ สินค้าระหว่างการผลิต สินค้ารอการผลิต ตลอดจนจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป รวมทั้งวัสดุต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิต และยังเป็นศูนย์กระจายสินค้าคลังสินค้าจะมีการเคลื่อนย้ายไปสู่ผู้ที่มีความต้องการ ไม่ว่าจะเพื่อการผลิตหรือเพื่อส่งมอบ ทำให้การจัดการคลังสินค้ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อทุก ๆ องค์กร โดยบริษัท เวลด์เปเปอร์ จำกัด เป็นบริษัทที่เป็นตัวแทนจำหน่ายกระดาษทั้งในและต่างประเทศ ภายในคลังสินค้ามีการจัดการโดยการนำ Warehouse Management Systems หรือที่รู้จักกันในชื่อระบบ WMS เข้ามาใช้ในการรับสินค้าจากซัพพลายเออร์ กำหนดตำแหน่งในการเก็บสินค้า และจ่ายสินค้าในรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะการจ่ายสินค้าออกที่มีหลากหลายรูปแบบ เช่น ลูกค้ายอมรับสินค้าด้วยตนเอง การจัดส่งถึงมือลูกค้า และมีการจ่ายสินค้าให้แผนกบรรจุสินค้า ก่อนจัดส่งถึงมือลูกค้า เมื่อคลังสินค้ามีการจัดเก็บสินค้าที่มากขึ้น การจัดการสินค้าอย่างเป็นระบบจึงมีความสำคัญ จากการสำรวจการจัดการคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าระบบ WMS สามารถช่วยจัดการ การรับ จัดเก็บ และจ่ายสินค้าได้อย่างเป็นระบบ แต่ยังไม่ครอบคลุมทั้งหมด เช่น การจัดเก็บสินค้าเข้า Location ยังไม่มีการระบุตำแหน่งการวางสินค้าที่มีการจ่ายออกมากที่สุดไว้ใกล้ทางออกหรือช่องส่งสินค้า เนื่องจาก WMS จะช่วยจัดสินค้าเข้าตำแหน่งที่ว่างภายใน Location โดยวิธีการสุ่มพื้นที่ว่างของรหัสสินค้านั้น ๆ ทำให้การจ่ายสินค้าออกตามใบสั่งซื้อเกิดความล่าช้า ส่งผลให้ไม่สามารถส่งสินค้าได้ตามวันที่ลูกค้ากำหนด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในคลังสินค้า โดยการลดระยะทางในการหยิบสินค้า

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 หน้าที่หลักของคลังสินค้า

การรับสินค้า (Receive) หมายถึง ขั้นตอนแรกของการดำเนินงานในคลังสินค้า โดยเริ่มจากการตรวจรับ ตรวจสอบสินค้าจากใบสั่งซื้อในเชิงปริมาณ และคุณภาพ

การเก็บ (Put - away) หมายถึง การจัดเก็บสินค้ายังตำแหน่งที่มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า

การหยิบหรือจ่ายสินค้า (Pick) หมายถึง การนำสินค้าออกจากคลังจัดเก็บตามใบสั่งซื้อของลูกค้า โดยใช้ระยะทางและระยะเวลาในการหยิบสินค้าต่ำ รวมถึงระวังให้เกิดข้อผิดพลาดระหว่างการหยิบสินค้าให้น้อยที่สุด

2.2 เทคนิคการแบ่งกลุ่มสินค้าด้วยระบบเอบีซี (ABC Analysis)

การวิเคราะห์ด้วยระบบเอบีซี (ABC Analysis) ประยุกต์มาจากหลักการของพาเรโต โดยมีอัตราส่วนอยู่ที่ 20 ต่อ 80 คือการให้

ความสำคัญกับกลุ่มสินค้าจำนวนน้อยที่มีความถี่ในการหยิบหรือการหมุนเวียนภายในคลังสินค้ามาก มากกว่ากลุ่มสินค้าที่มีจำนวนมากแต่มีความถี่ในการหยิบหรือการหมุนเวียนสินค้าในคลังน้อย สินค้าจะถูกจัดออกเป็น 3 กลุ่ม คือ A B และ C ตามลำดับ สินค้ากลุ่ม A เป็นสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวเร็วที่สุด ควรจะดูแลและให้ความสนใจเป็นอันดับต้น ร้อยละการหมุนเวียนสินค้า 70-80 สินค้ากลุ่ม B เป็นสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวปานกลาง มีร้อยละการหมุนเวียนสินค้า 15-20 และสินค้ากลุ่ม C เป็นสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวน้อยที่สุด หากเป็นการจัดตำแหน่งวางสินค้า สินค้ากลุ่ม C จะถูกจัดวางไว้ทางด้านหลังสุดของ Location มีร้อยละการหมุนเวียนสินค้า 5-10 การแบ่งกลุ่มสินค้าจะสามารถช่วยให้การบริหารจัดการมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทั้งทางด้านระยะเวลา และค่าใช้จ่าย และช่วยให้การควบคุมอยู่ในระดับที่เหมาะสม

2.3 กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming)

กำหนดการเชิงเส้น คือเครื่องมือสำหรับแก้ไขปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งอาจเป็นค่าต่ำสุดหรือสูงสุดตามเป้าหมายที่กำหนด ในการอธิบายปัญหาได้พัฒนาวิธีการสำหรับหาผลเฉลยของ Linear Programming : LP ที่เรียกว่า ซิมเพล็กซ์อัลกอริทึม (Simplex algorithm) โดยแบบจำลอง LP จะประกอบด้วย ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) และเงื่อนไขบังคับ (Constraints) [1]

สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1) - (4)

สมการเป้าหมาย

$$\text{Min} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N d_{ij} \times x_{ij} \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = q_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^M X_{ij} \leq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

$$X_{ij} = 0, 1 \quad (4)$$

กำหนดให้ เซต (Set)

i = ชนิดของสินค้า ($i = 1, 2, \dots, M$)

j = ตำแหน่งวางสินค้า ($j = 1, 2, \dots, N$)

M = จำนวนชนิดสินค้าทั้งหมด

N = ตำแหน่งวางสินค้าทั้งหมด

พารามิเตอร์ (Parameters)

d_{ij} = ระยะทางในการขนย้ายผลิตภัณฑ์ i จากตำแหน่งจัดเก็บ j ไปถึงประตู

Q_i = ความต้องการพื้นที่เก็บสินค้า i

x_{ij} = {0,1} 1 ถ้าวางสินค้า i ที่ช่องเก็บ j

0 ถ้าไม่วางสินค้า i ที่ช่องเก็บ j

2.4 การกำหนดและแก้ไขปัญหโดย Microsoft Excel Solver

เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการคำนวณประเภทกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) โดยจะช่วยในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดจากข้อจำกัดหรือเงื่อนไขที่มีอยู่ [2]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ได้มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนี้

พิสิษฐ์ บึงบัว และ ฉวีฉาน พัดโสภา (2564) [3] ศึกษาการใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นในการวิเคราะห์การขนส่งผลผลิตปาล์ม น้ำมัน เพื่อลดต้นทุนการขนส่งลง จากการศึกษาได้ทำการวิเคราะห์หาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ฟังก์ชัน Solver ในโปรแกรม Microsoft excel ผลการศึกษาพบว่าต้นทุนการขนส่งปาล์ม น้ำมันจากแปลงปลูกไปยังจุดรับซื้อ มีค่าเท่ากับ 4,541,287 บาท และการจัดสรรการขนส่งผลผลิตปาล์ม น้ำมันกรณีที่มีการกำหนดผลผลิตปาล์ม น้ำมันเพิ่มขึ้น 50,000 ตัน จะทำให้ต้นทุนการขนส่งปาล์ม น้ำมันลดลง

รัฐประศาสน์ รักษยางแหลม และอัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์ (2565) [4] ศึกษาและปรับปรุงตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าคงคลังภายในคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น โดยนำเครื่องมือ ABC Analysis มาใช้ในการวิเคราะห์และใช้ตัวแบบคณิตศาสตร์เชิงเส้นในการกำหนดตำแหน่งวางสินค้า เพื่อลดระยะทางและระยะเวลา ผลการศึกษาพบว่า จากการวิเคราะห์ตำแหน่งวางสินค้าตามความต้องการของสินค้า 244 รายการ สามารถลดระยะทางได้ 77,591.7 เมตรต่อปี และสามารถลดระยะเวลาเหลือ 32 ชั่วโมง 13 นาที

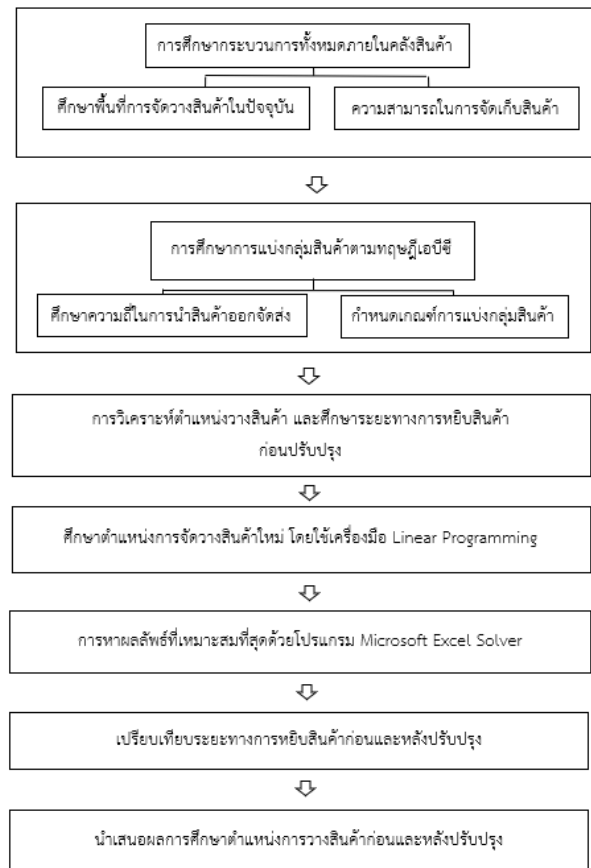
สุนันทา อนันต์ชัยทรัพย์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล (2564) [5] ศึกษาการปรับปรุงการจัดพื้นที่วางสินค้าภายในคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ โคราช จำกัด เพื่อแก้ไขตำแหน่งพื้นที่วางสินค้าที่จัดวางไม่เหมาะสม ส่งผลต่อการส่งมอบสินค้า โดยได้นำหลักการ ABC Analysis ร่วมกับการกำหนดการเชิงเส้น มาช่วยในการวิเคราะห์ตำแหน่งการจัดวางสินค้า และนำ Microsoft excel ฟังก์ชัน Solver มาวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสม โดยการจัดโซนสินค้าใหม่ ผลการวิจัยพบว่าสามารถลดระยะทางการหยิบสินค้าได้ร้อยละ 22.54 ลดค่าไฟฟ้าได้ร้อยละ 22.54 และลดต้นทุนรวมในการหยิบสินค้าได้ร้อยละ 2.22 ต่อเดือน

ณัฐวรรณ สมรรถจันทร์ (2563) [6] ศึกษาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดวางวัสดุดิบ และเพื่อลดระยะเวลาการส่งมอบสินค้า โดยนำทฤษฎีการวิเคราะห์แบบ ABC Analysis และทฤษฎีการควบคุมการมองเห็น มาปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้า ผลการวิจัยพบว่าสามารถลดระยะเวลาการจัดคลังสินค้า 37 นาที

ชเนศวร ปานสมุท (2566) [7] ศึกษาการตัดสินใจเลือกใช้ระบบการจัดการคลังสินค้าของบริษัท เอบีซี จำกัด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานคลังสินค้า เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจใช้ระบบการจัดการคลังสินค้าของบริษัท เอบีซี จำกัด โดยใช้สถิติเชิงพรรณนาในการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง และทดสอบสมมติฐานการวิจัยด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุคูณ ผลการศึกษาพบว่า แนวทางการเลือกใช้ระบบการจัดการคลังสินค้า ประกอบด้วยฟังก์ชันการใช้งานเครือข่าย การเชื่อมโยงข้อมูล และการสรุปรายงาน

3. วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษากระบวนการจัดเก็บภายในคลังสินค้า โดยการใช้เทคนิค ABC Analysis ในการวิเคราะห์ข้อมูลการแบ่งกลุ่มสินค้าและหาผลลัพธ์ของตำแหน่งการวางสินค้าที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) สามารถแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังกระบวนการดำเนินงาน

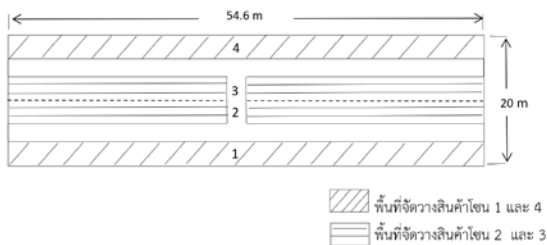
จากรูปที่ 1 เริ่มจากการศึกษาระบบการจัดเก็บทั้งหมดทั้ง การรับ การจัดเก็บ และการจ่ายสินค้า จากการปฏิบัติงานจริง และศึกษาพื้นที่จัดวางสินค้า รวมถึงความสามารถในการรองรับสินค้าภายในคลังทั้งหมด จากนั้นนำเครื่องมือ ABC Analysis มาใช้ในการกำหนดเกณฑ์การ

แบ่งกลุ่มสินค้า โดยแบ่งตามความถี่ในการเคลื่อนไหวออก และเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาตามทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Model) และเปรียบเทียบผลระยะทางก่อนปรับปรุง และระยะทางตามแนวทางที่นำเสนอ

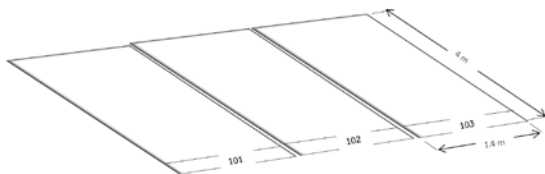
4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษากระบวนการภายในคลังสินค้ากรณีศึกษา

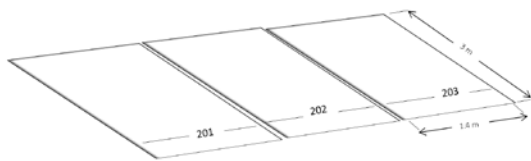
จากการศึกษากระบวนการทั้งหมดภายในคลังสินค้า พบว่าตำแหน่งการวางสินค้าในปัจจุบันภายในบริษัทกรณีศึกษามีพื้นที่วางสินค้า 1,092 ตารางเมตร วางสินค้าได้ทั้งหมด 4 โซน คือ 1-4 ดังรูปที่ 2 มีรายละเอียดดังนี้ โซน 1 และ 4 จะมีทั้งหมด 78 ช่องใช้สำหรับวางสินค้าที่มีขนาดพาเลทใหญ่ ได้ 15 พาเลทต่อช่อง คือ 5 แถว 3 ชั้น ดังรูปที่ 3 โซน 2 และ 3 มีทั้งหมด 76 ช่อง ใช้สำหรับวางสินค้าที่มีขนาดเล็กได้ 20 พาเลทต่อช่อง คือ 5 แถว 4 ชั้น ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 พื้นที่จัดวางสินค้าโซน 1-4



รูปที่ 3 พื้นที่จัดวางสินค้าโซน 1 และ 4



รูปที่ 4 พื้นที่จัดวางสินค้าโซน 2 และ 3

4.2 ผลการแบ่งกลุ่มสินค้าตามทฤษฎี ABC Analysis

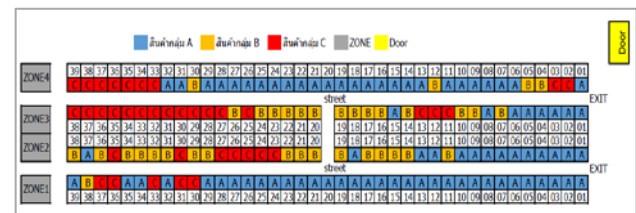
จากนั้นได้นำทฤษฎี ABC Analysis มาเป็นเครื่องมือสำหรับแบ่งกลุ่มสินค้า โดยแบ่งกลุ่มสินค้าตามความถี่ในการหยิบสินค้า จากการเก็บรวบรวมข้อมูลความถี่ในการหยิบสินค้าของสินค้าแต่ละชนิดเป็นระยะเวลา 3 เดือนย้อนหลัง พบว่า สินค้ากลุ่ม A เป็นสินค้าที่เคลื่อนไหวเร็ว ประกอบด้วยสินค้า 3 ชนิด ความถี่ในการหยิบ 1,458 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 63 กลุ่ม B เป็นสินค้าที่เคลื่อนไหวปานกลาง

ประกอบด้วยสินค้า 4 ชนิด ความถี่ในการหยิบสินค้า 690 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 30 กลุ่ม C เป็นสินค้าที่เคลื่อนไหวช้าที่สุด ประกอบด้วยสินค้า 6 ชนิด ความถี่ในการหยิบสินค้า 150 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 7 สามารถแสดงผลการแบ่งกลุ่มสินค้าได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการแบ่งกลุ่มสินค้าตามทฤษฎี ABC Analysis

กลุ่ม	% การหมุนเวียนสินค้า	จำนวนชนิด	ความถี่รวม	%ความถี่รวม
A	70-80%	3	1,458	63%
B	15-20%	4	690	30%
C	5-10%	6	150	7%
รวม		13	2,298	100%

จากการแบ่งกลุ่มตามทฤษฎี ABC ได้นำกลุ่มสินค้าแต่ละประเภทมาตรวจสอบสภาพตำแหน่งการวางของสินค้า ณ ปัจจุบัน พบว่าตำแหน่งวางสินค้าแต่ละประเภทถูกจัดวางแบบกระจายตัว สามารถแสดงแผนผังตำแหน่งวางสินค้า ณ ปัจจุบัน ได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนผังตำแหน่งวางสินค้า ณ ปัจจุบัน

จากนั้นได้ศึกษาระยะทางการหยิบสินค้า และสามารถคำนวณระยะทางได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณหาระยะทางการหยิบสินค้า ณ ปัจจุบัน

กลุ่ม	ความถี่ (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ยระยะทาง (เมตร)	ระยะทางทั้งหมด (เมตร)	ระยะทางรวม (เมตร)
A	1,458	4.82	7,027.56	41,435.76
B	690	35.88	24,757.20	
C	150	64.34	9,651	

จากตารางที่ 2 พบว่า ระยะทางรวมทั้งหมดในการหยิบสินค้าเท่ากับ 41,435.76 เมตร

4.3 แนวทางการแก้ไขปัญหาตามทฤษฎีกำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming)

นำหลักการกำหนดการเชิงเส้น ตามทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางใกล้ประตู (Fast Mover Closest to the Door) มาช่วยในการหาคำตอบ

ที่เหมาะสมที่สุดในการจัดวางสินค้า เพื่อให้ระยะทางการหยิบสินค้าลดลง โดยตั้งสมมติฐานว่าขนาดของพาเลททั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ไม่มีผลต่อการจัดวางเนื่องจากได้มีการใช้ขนาดใหญ่ทั้งหมด จึงสามารถจัดวางแทนที่กันได้ โดยทำการนิยามสมการวัตถุประสงค์ (Objective function) และสมการเงื่อนไข (Constraints) ดังสมการที่ (1) ถึงสมการที่ (4) [1]

สมการวัตถุประสงค์

การกำหนดจุดประสงค์เพื่อหาระยะทางรวมที่น้อยที่สุดในการหยิบสินค้า i ต่อไปสิ่งซื้อในโซน j

$$\text{Min} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N d_{ij} \times x_{ij} \quad (1)$$

สมการเงื่อนไข

1. ผลรวมทั้งหมดของสินค้า i ที่ถูกเลือกให้วางอยู่ในโซน j จะต้องมีค่าเท่ากับความต้องการพื้นที่จัดเก็บสินค้าของสินค้า ดังสมการที่ (2)

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = q_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, M \quad (2)$$

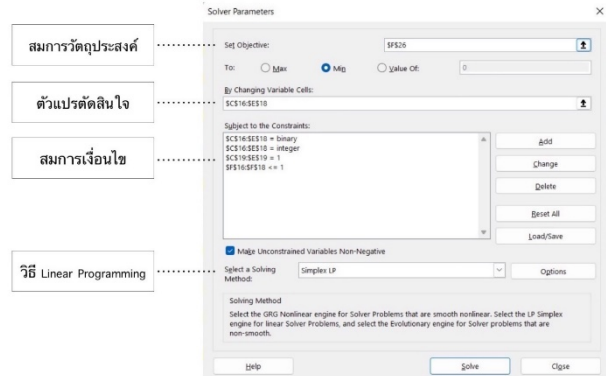
2. ผลรวมในการเลือกวางสินค้า i และโซน j ทั้งหมด จะต้องน้อยกว่าพื้นที่ j หรือตามจำนวนโซนทั้งหมด ดังสมการที่ (3)

$$\sum_{i=1}^M X_{ij} \leq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

3. สินค้า i ที่ได้รับเลือกวางสินค้าในโซน j เมื่อ 1 ยอมรับสินค้า i เก็บในโซน j หาก 0 ไม่ยอมรับสินค้า i เก็บในโซน j ดังสมการที่ (4)

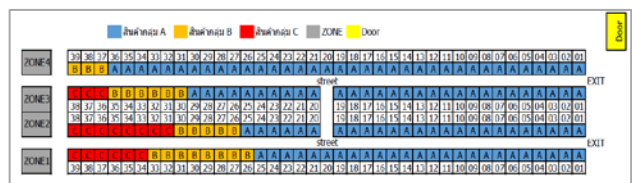
$$X_{ij} = 0, 1 \quad (4)$$

จากการศึกษาตำแหน่งการวางสินค้า โดยกำหนดสมการตามหลัก Linear Programming Model ตามทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางใกล้ประตู (Fast Mover Closest to the Door) ได้นำเครื่องมือ Microsoft Excel Solver มาช่วยในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยนำสมการมากำหนดพารามิเตอร์ลงใน Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel สามารถแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 พารามิเตอร์ที่ใช้ประกอบการคำนวณในโปรแกรม Microsoft Excel Solver

จากนั้นนำผลการคำนวณมาใช้ในการจัดตำแหน่งวางสินค้าสามารถแสดงแผนผังตำแหน่งการวางสินค้าหลังปรับปรุงได้ดังรูปที่ 7 และคำนวณหาตำแหน่งวางสินค้าที่เหมาะสมที่จะสามารถลดระยะได้ ดังตารางที่ 3



รูปที่ 7 แผนผังตำแหน่งวางสินค้าหลังปรับปรุง

ตารางที่ 3 ผลการคำนวณหาระยะทางการหยิบสินค้าหลังปรับปรุง

กลุ่ม	ความถี่ (ครั้ง)	ค่าเฉลี่ย ระยะทาง (เมตร)	ระยะทาง ทั้งหมด (เมตร)	ระยะทางรวม (เมตร)
A	1,458	6.91	10,074.78	29,653.08
B	690	17.22	11,881.80	
C	150	51.31	7,696.50	

ผลการคำนวณหาระยะทางการหยิบสินค้าหลังปรับปรุง พบว่าระยะทางรวมทั้งหมดในการหยิบสินค้าหลังปรับปรุง 29,653.08 เมตร

4.4 การเปรียบเทียบระยะทางการหยิบสินค้าก่อนและหลังปรับปรุง

จากการศึกษาตำแหน่งการวางสินค้าทั้งก่อน และหลังปรับปรุงสามารถแสดงตารางเปรียบเทียบการคำนวณระยะทางการเคลื่อนไหวสินค้าได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบการคำนวณหาระยะทางการหยิบสินค้าก่อน และหลังปรับปรุง

ระยะทาง ณ ปัจจุบัน (เมตร)	ระยะทางหลังปรับปรุง (เมตร)	ผลต่าง (เมตร)
41,435.76	29,653.08	11,782.68
คิดเป็นร้อยละ		28.43

จากตารางที่ 4 การจัดวางสินค้าโดยวิธีการสุ่มพื้นที่แบบเดิมทำให้พนักงานใช้ระยะทางในการหยิบสินค้า 41,435.76 เมตร หลังจากปรับปรุงโดยใช้หลักการกำหนดการเชิงเส้นแล้ว พบว่าระยะทางลดลงเหลือ 29,653.08 เมตร ระยะทางรวมลดลงถึง 11,782.68 เมตร คิดเป็นร้อยละ 28.43

4.5 ผลการวัดประสิทธิภาพ

การวัดประสิทธิภาพในคลังสินค้าสามารถวัดได้จากระยะทางในการหยิบสินค้าของพนักงานทั้งก่อนและหลังปรับปรุงผลการศึกษพบว่าในการกำหนดตำแหน่งการวางสินค้าใหม่ โดยการแบ่งกลุ่มสินค้าสามารถลดระยะทางในการหยิบสินค้าได้ระยะทางที่ลดลงส่งผลให้ประสิทธิภาพในการหยิบสินค้าของพนักงานเพิ่มขึ้น

5. สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในคลังสินค้า โดยการลดระยะทางในการหยิบสินค้า ผลการศึกษาพบว่า การจัดวางสินค้าโดยวิธีการสุ่มพื้นที่แบบเดิมทำให้พนักงานใช้ระยะทางในการหยิบสินค้าถึง 41,435.76 เมตร หลังจากปรับปรุงโดยใช้หลักการเชิงเส้นแล้วระยะทางลดลงเหลือ 29,653.08 เมตร ระยะทางรวมลดลงมากถึง 11,782.68 เมตร คิดเป็นร้อยละ 28.43 ระยะทางที่สั้นลงทำให้สามารถจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ไวขึ้น ส่งสินค้าได้ตามวันที่ลูกค้ากำหนด สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในคลังสินค้าได้

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. วิธีการจัดเรียงสินค้าตามทฤษฎี ABC Analysis ควรมีการปรับปรุงอยู่เสมอ ทุก 3-6 เดือน ตามรอบการ Check Stock โดยการศึกษายอดขายของบริษัท และนายอดความถี่ในการเคลื่อนไหวของสินค้ามาเป็นข้อมูลจัดเรียง

2. ควรมีการฝึกอบรมและสร้างความเข้าใจให้กับผู้ปฏิบัติงาน หลังจากมีการปรับปรุงตำแหน่งการวางสินค้าภายในคลัง ให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงในคลังนี้

3. การศึกษาครั้งต่อไปอาจจะต้องมีการศึกษาในเรื่องของ Location หรือพื้นที่สำหรับวางสินค้าแต่ละชนิดเพิ่มเติม การศึกษาพื้นที่ให้เป็นในรูปแบบ FIFO (First-In-First-Out) มากขึ้น เพื่อนำมาใช้กับทฤษฎีการจัดเรียงสินค้าแบบ ABC Analysis ส่งผลให้ประสิทธิภาพในคลังสินค้าสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรเกียรติ ภัคดีวงศ์เทพ, ปรีชา วรรัตน์ไชย, วิศวะ อุนยะวงษ์ และวารภรณ์ วิมุกตลพ. 2565. "การปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าคงคลัง โดยใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงกรณีศึกษาบริษัท เอบีซี" วารสารวิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน, ปีที่ 8, ฉบับที่ 1: 74-89.
- [2] พิศาล สีนวล. การใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับแก้ปัญหาจัดสรรทรัพยากร เพื่อลดเวลาในการวางแผนการผลิต. เอกสารประกอบการวิจัยการค้นคว้าอิสระ ข้อมูลจาก http://digital_collect.lib.buu.ac.th/dcms/files/57921135.pdf. (วันที่ 22 สิงหาคม 2565)
- [3] พิสิษฐ์ บึงบัว และญาณิน พัดโสภา. 2564. "การใช้แบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นในการวิเคราะห์การขนส่งผลผลิตปาล์มน้ำมันจากแปลงปลูกไปยังแหล่งรับซื้อในจังหวัดสระแก้ว" วารสารวิชาการและวิจัย มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, ปีที่ 11, ฉบับที่ 3: 258-272.
- [4] รัฐประศาสน์ รักบางแหลม และอัคนันท์ พงศธรวิวัฒน์. 2565. "การออกแบบผังและปรับปรุงตำแหน่งจัดเก็บสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารคลังสินค้าพัสดุ กรณีศึกษาโรงพยาบาลรัฐแห่งหนึ่ง" วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล, ปีที่ 10, ฉบับที่ 2: 32-45.
- [5] สุนันทา อนันต์ชัยทรัพย์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล. 2564. "การปรับปรุงการจัดวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้า กรณีศึกษาบริษัท ศรีไทยซูเปอร์แวร์ โคราช จำกัด" วารสารวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีดิจิทัล, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2: 11-24.
- [6] ณัฐวรรณ สมรรคจันทร์, พงศ์ชนนต์ ศรีสุวรรณ, สุปรีชญา บุญมาก, ฌนปาล อุทยานรัตน์ และจินตนา ท่วมใจดี. 2563. "การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัท xxx จำกัด" วารสารวิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2: 36-41.
- [7] ธเนศวร ปานสมุท และณัฐพัชร์ อารีรัฐกุลกานต์. 2566. "การตัดสินใจเลือกใช้ระบบการจัดการคลังสินค้าของบริษัท เอบีซี จำกัด" วารสารวิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1: 115-128.

การจัดตารางพยาบาลแบบหลายวัตถุประสงค์:

วิธีการแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม

Multi-Objective Nurses Scheduling : A Mixed Integer Linear Programming Approach

นลรวช สุคนธ์ภัทร พิศิษฐ์ จารุมณีโรจน์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6470344021@student.chula.ac.th*

Nontawat Sukonpat, Pisit Jarumaneeroj

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: 6470344021@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

การจัดตารางการทำงานพยาบาลเป็นหนึ่งในภารกิจที่สำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อพยาบาลผู้ปฏิบัติงาน หากตารางการทำงานของพยาบาลไม่มีประสิทธิภาพ ย่อมส่งผลกระทบต่อพยาบาลในด้านสุขภาพ อันเป็นผลเนื่องมาจากการได้รับวันหยุดน้อย การพักผ่อนไม่เพียงพอ การเกิดภาวะเครียด ซึ่งปัญหาเหล่านี้จะนำไปสู่ภาวะหมดไฟ (Burnout syndrome) และการลาออกของพยาบาลผู้ปฏิบัติงานในที่สุด การสรรหาบุคลากรใหม่เข้ามาทดแทนในตำแหน่งที่ลาออกไปนั้น ไม่เพียงแต่จะเสียเวลาในการคัดกรองเพื่อให้ได้บุคลากรที่มีคุณภาพ หากแต่ยังมีค่าใช้จ่ายในการเรียนรู้งานใหม่ เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานตามระบบ กฎเกณฑ์ และวัฒนธรรมใหม่ได้ จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้เลือกที่จะทำการศึกษาวิจัยในหัวข้อการจัดตารางพยาบาลแบบหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีการแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม โดยมุ่งหวังให้วิธีการดังกล่าวถูกนำไปใช้แทนที่วิธีการจัดตารางแบบดั้งเดิม ที่ใช้เวลาในการจัดยาวนาน มีแนวโน้มในการเกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย และที่สำคัญที่สุดคือ ขาดความเป็นธรรมในเชิงภาระงานที่ได้รับมอบหมาย สำหรับการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการสอบถามพยาบาลวิชาชีพผู้ปฏิบัติงานจากโรงพยาบาลเอกชนขนาดใหญ่แห่งหนึ่งในประเทศไทย จากนั้นจึงนำข้อกำหนดต่างๆ ที่ได้รับ มาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยแบบจำลองดังกล่าวประกอบไปด้วยวัตถุประสงค์หลักทั้งสิ้น 3 วัตถุประสงค์ ดังนี้ 1. การลดค่าใช้จ่ายในการจัดจ้างพยาบาลที่เกินความจำเป็น 2. การเพิ่มความเท่าเทียมในการะงาน และ 3. การเพิ่มความพึงพอใจของพยาบาลผู้ปฏิบัติงานโดยลดการละเมิดข้อจำกัด ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบบจำลองดังกล่าวผ่านปัญหาจำลองขนาดเล็ก จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปตรวจสอบความถูกต้องจากวัตถุประสงค์ และข้อจำกัด เพื่อใช้เป็นแนวทางการสร้างโปรแกรมการจัดตารางการทำงาน of พยาบาลในอนาคต

คำสำคัญ: การจัดตารางการทำงานพยาบาล, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม

Abstract

Nurse scheduling is one of the most important tasks that greatly affects the performance of nurses. Ineffective scheduling may lead to health and mental problems – caused by lack of adequate rest and work stress – as well as burnout and job quitting. To avoid a costly process of recruiting and selecting appropriate medical personnel, efficient nurse scheduling is therefore needed; and we achieve this by help of a mixed-integer linear programming model. We expect that this approach would help reduce the planning time, as well as the errors pertaining to the current scheduling method, while increasing scheduling fairness, which is typically neglected in practice. In doing so, we have first collected all necessary data from experience nurses and, later, transformed them into a mathematical formulation model with three different objectives: (i) to reduce the excess cost of operating nurses, (ii) to increase workload equity, and (iii) to increase nurse's satisfaction measured by reducing constraint violations. This model has been tested via a small problem setting. The results are then validated and used as a guideline for the development of an efficient nurse scheduling program in the future.

Keywords: Nurse scheduling, Mathematical formulation model, Mixed integer linear programming

การออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออลูมิเนียมสำหรับโพรงแบบทราย (Spure System Design In Aluminum Casting For Sand Burrows)

ภาววิช จันทรสร สถาพร ชatakom พตปมิล สุวรรณกาญจน์ เพ็ญญารัตน์ สายสิริรัตน์ พงศกร ขวัญทอง
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อีเมลล์: penyarat.s@cit.kmutnb.ac.th*

Pawat Chantasorn, Sathaporn Chatakorn, Patpimol Suwankan, Penyarat Saisirirat, Phongsakorn Kwanthong
Department of Mechanical Engineering Technology College of Industrial Technology,
King 's Mongkut University of Technology North Bangkok
E-mail: penyarat.s@cit.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออลูมิเนียมในโพรงแบบทราย สำหรับกระสวยต้นแบบรูปร่างพื้นฐานในงานหล่อโลหะ โดยตัวแปรที่ได้กำหนดในการออกแบบ คือ ความสูงของรูเท พื้นที่หน้าตัดรูเท พื้นที่หน้าตัดแฉก การศึกษาได้ทำการทดลองเทหล่อชิ้นงานจริงและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Cast-Designer ซึ่งค่าผลการจำลองได้แก่ เวลาในการป้อนเติมโลหะเหลว พฤติกรรมการไหลของโลหะเหลว เวลาการแข็งตัวของโลหะและการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงาน ผู้วิจัยได้ทำการวางรูล้นทรงกระบอกลงในตำแหน่งบริเวณที่เกิดการหดตัวคือรอบๆ ไส้แบบ เพื่อเป็นแนวทางลดการหดตัวของชิ้นงานหล่อจริง โดยปรับเปลี่ยนขนาดของรูล้น แบ่งเป็น รูล้นทรงกระบอกกวางหนา 8 และ 15 มิลลิเมตร ซึ่งผลการจำลองด้วยโปรแกรม Cast-Designer ทั้ง 2 รูปแบบนั้น มีผลแตกต่างกัน คือ ผลการจำลองพฤติกรรมเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลวในรูแบบรูล้นทรงกระบอกกวางหนา 8 และ 15 มิลลิเมตร มีค่าเวลาที่เติมเต็มที่ 4.03 และ 4.12 วินาที ตามลำดับ จากผลจากการจำลองพฤติกรรมทำให้เห็นว่าชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกกวางหนา 15 มิลลิเมตร มีเวลาในการเติมเต็มช้า เนื่องจากมีปริมาตรชิ้นงานมาก ผลการจำลองพฤติกรรมการแข็งตัว ในรูแบบรูล้นทรงกระบอกกวางหนา 8 และ 15 มิลลิเมตร มีค่าเวลาในการแข็งตัวที่ 458 และ 450 วินาที ตามลำดับ เนื่องจากรูล้นทรงกระบอกกวางหนา 15 มิลลิเมตร มีผิวที่สัมผัสกับอากาศมากขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้นตาม มีผลให้ใช้เวลาในการแข็งตัวลดลง ผลการจำลองพฤติกรรมการหดตัวในรูแบบรูล้นทรงกระบอกกวางหนา 8 และ 15 มิลลิเมตร มีค่าการหดตัวที่ 1.92 และ 0.44 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: งานหล่อ จำลองพฤติกรรม โพรงแบบทราย ระบบรูเท

Abstract

This work aims to design gating systems in aluminums sand casting for the prototypes of the basic shape of self-core type solid pattern. The design variables are sprue height, pouring basin cross sectional area and cross-sectional areas of sprue. In this research, a challenge is taken to remodel a gating system by design of casting experiments on real specimens and analyzing behavioral simulations with Casting-Designer software. The simulation result values all the time to fill the liquid metal, liquid metal flow behavior, solidification time and shrinkage porosity. The researchers placed a hollow cylindrical overflow in the position of the contractile region around the filament to reduce the shrinkage of the actual casting. By changing the size of the overflow hole, it is divided into hollow cylinder overflow holes with thickness 8 and 15 mm. The results of the simulation with the program Cast-Designer both types have different. The simulations results of filling time behavior of liquid metal in form of hollow cylinder overflow holes 8 and 15 mm thick had filling times of 4.03 and 4.12, respectively. The simulation results showed that the 15 mm hollow cylindrical overflow bore specimen had a slow filling time due to the large volume of work pieces. The results of the simulation of coagulation behavior in the hollow cylinder overflow form 8 and 15 mm thick, the solidification times were 458 and 450 sec, respectively. Due to the hollow cylinder overflow hole 15 mm thick, the surface is exposed to more air, thus a result, the time for hardening is reduced. The results of simulation of shrinkage behavior in hollow cylinder overflow holes 8 and 15 mm thick had shrinkage values of 1.92 and 0.44 percent..

Keywords: Casting, Sprue system, Sand casting, Simulation behavior

1. บทนำ

กระบวนการขึ้นรูปโลหะในอุตสาหกรรม โดยมีกรรมวิธีผลิตงานหล่อโลหะเป็นกระบวนการผลิตอย่างหนึ่งของวงการอุตสาหกรรม ที่มีบทบาทและความสำคัญมาอย่างยาวนาน ในการผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ สังเกตได้ว่าอุตสาหกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนประกอบเครื่องมือเครื่องจักรกล ก็ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีต่างๆ ของอุตสาหกรรมงานหล่อโลหะเป็นลำดับแรกทั้งสิ้น เนื่องจากเป็นกระบวนการผลิตพื้นฐานที่จะมารองรับการพัฒนาการขยายตัวให้กับอุตสาหกรรมหลักและประเภทอื่นๆ จากสภาพงานหล่อโลหะในอุตสาหกรรม พบว่ายังใช้แบบกระสวยหล่อในหีบหล่อทรายด้วยรูปแบบกระสวยชนิดต่างๆ ซึ่งแต่ละชนิด ใช้วัสดุในการสร้างกระสวยแตกต่างกัน เช่น กระสวยชนิดเดียว กระสวยแยกชิ้น กระสวยแยกชิ้นที่มีไส้แบบ กระสวยชนิดพิเศษต่างๆ มีผลต่อการกำหนดตำแหน่งและขนาดของรูเท ทางเดินโลหะเหลวเข้าสู่โพรงแบบชิ้นงาน รวมทั้งหน้าผาของชิ้นงาน วัสดุที่เลือกใช้หล่อเป็นอลูมิเนียมซึ่งโดยทั้งหมดเป็นเรื่องของการออกแบบระบบทางเข้าโลหะเหลวจากการวางหน้าผาของกระสวยที่ดี ส่งผลให้สามารถเติมโลหะเหลวเข้าสู่โพรงแบบได้เต็มสมบูรณ์ ทำให้สามารถผลิตชิ้นงานตามที่ได้ออกแบบไว้ทางผู้วิจัยจึงได้นำหลักการในการออกแบบระบบรูเทของโลหะเหลวด้วยกระสวยต้นแบบพื้นฐาน เพื่อนำไปศึกษาวิเคราะห์หาวิธีการกำหนดระบบทางเข้าโลหะเหลวที่ดีของกระสวยนำมาใช้เป็นต้นแบบในการออกแบบงานหล่อทรายที่ดี เพื่อการศึกษาต่อไปในอนาคต โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดังต่อไปนี้

พัทธ์พิมล สุวรรณกาญจน์ [1] ได้ทำการศึกษารอบแบบระบบปั้นเติมโลหะเหลวสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมที่หล่อด้วยกระบวนการอินเวสต์เมนต์ เพื่อหาวิธีการผลิตที่มีคุณภาพดีและผิวงานมีความละเอียดสูง โดยพบข้อบกพร่องในผลิตภัณฑ์ เช่น การไหลไม่เต็ม รูพรุน ตามดและโพรงหดตัว เป็นต้น จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อชิ้นงานหล่อ เช่น อุณหภูมิในการเท อุณหภูมิการอบแม่พิมพ์ เวลาในการอบแม่พิมพ์ อัตราการเท และเวลาในการปล่อยให้เย็นตัว โดยใช้โปรแกรม Cast-Designer วิเคราะห์การไหลของโลหะเหลวเข้าสู่แม่พิมพ์หล่อ ซึ่งออกแบบหน้าตัดทางวิ่งของโลหะเหลวมี 4 แบบ คือ หน้าตัดสี่เหลี่ยม หน้าตัดหกเหลี่ยม หน้าตัดแปดเหลี่ยมและหน้าตัดกลม จากนั้นศึกษาความแตกต่างของมุมทางเข้าโลหะเหลวของชิ้นงานที่ 0, 30, 45 และ 60 องศา พบว่าแบบหล่อหน้าตัดกลมใช้เวลาในการเติมโลหะเหลวน้อยที่สุด การจำลองการเกิดโพรงอากาศหดตัวในแต่ละแบบไม่แตกต่างกัน ผลวิเคราะห์จากการไหลของโลหะเหลวให้เติมแบบแม่พิมพ์ อุณหภูมิการเทโลหะเหลวและเวลาการแข็งตัวของโลหะ พบว่าการเทโลหะเหลวไหลเข้าจนเต็มแบบแม่พิมพ์ เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดความเสียหายในชิ้นงานหล่อ ซึ่งเป็นผลมาจากการออกแบบระบบทางเข้าของโลหะเหลวทั้งสิ้น

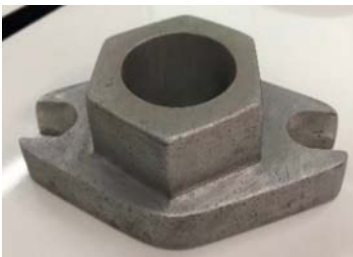
ศุภฤทธิ ล้วนโกศลชัย [2] ได้ทำการศึกษารอบแบบระบบจ่ายน้ำโลหะและรูสันสำหรับงานหล่ออลูมิเนียมใช้การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์มาช่วยในการวิเคราะห์และออกแบบระบบงานหล่อโดย

โปรแกรมที่นำมาใช้คือ MAGMASOFT ในการดำเนินการแบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการตรวจสอบฐานข้อมูลโปรแกรม MAGMASOFT สามารถนำมาใช้กับงานจริงได้หรือไม่ ชิ้นงานทดสอบที่เลือกคือ ชิ้นงานรูปทรงกระบอก โดยทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของงานหล่อจริงกับผลที่ได้จากการจำลอง และทำการเปรียบเทียบลักษณะของโพรงหดตัวที่เกิดขึ้นจริงกับผลการจำลอง ส่วนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์ชิ้นงานหล่อที่เลือก คือ ตุ่มน้ำหนัก โดยทำการเปรียบเทียบลักษณะของโพรงหดตัวที่เกิดขึ้นจริงกับผลการจำลอง สำหรับการทดลองทั้งสองส่วนเราเลือกใช้วัสดุหล่อเป็นอลูมิเนียมเกรด A356 โดยใช้กระบวนการหล่อแบบหล่อทรายขึ้น นอกจากนี้ได้ทำการจำลองงานจริงจากภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นงานหล่ออลูมิเนียม โดยกระบวนการหล่อด้วยความดันต่ำ (low pressure die casting) แล้วใช้อลูมิเนียมเกรด A356 เพื่อทำการวิเคราะห์และปรับปรุงการออกแบบแม่พิมพ์ ผลของการศึกษาพบว่า ลักษณะของโพรงหดตัวที่เกิดขึ้นจริงสอดคล้องกับผลการจำลองโดยใช้คอมพิวเตอร์และสามารถวิเคราะห์การเกิดข้อบกพร่องได้อย่างถูกต้อง สามารถปรับปรุงแม่พิมพ์เพื่อลดปัญหาได้อย่างถูกต้องรวดเร็ว

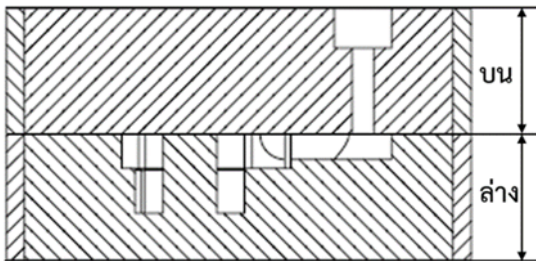
วิโรจน์ ศรีวิศวาณิชย์ [3] ได้ทำการศึกษารอบแบบของงานหล่อสามารถจำลองได้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจากสมการการถ่ายเทความร้อนและทฤษฎีการแข็งตัวของซึ่งมีประโยชน์ในการออกแบบงานหล่อและลดการลองผิดลองถูกได้อย่างมาก วิธีการคำนวณค่าจากแบบจำลองทำได้หลายอย่าง เช่น ไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์ ไฟไนท์เอเลเมนต์หรือวิธีอื่นๆ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ทำให้มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับงานหล่อมมากขึ้น ในการวิจัยครั้งนี้ได้สร้างแบบจำลองพฤติกรรมการแข็งตัวของงานหล่อโดยอาศัยสมการการถ่ายเทความร้อนใน 2 มิติ วิธีการจำลองได้อาศัยการแปลงสมการการถ่ายเทความร้อนให้อุณหภูมิอยู่ในรูปแบบของอุณหภูมิที่ดัดแปลง (modified temperature) และปริมาณความร้อน (heat content) หรือเอนทัลปี (enthalpy) ซึ่งจะทำให้แก้ปัญหาการแปรเปลี่ยนของคุณสมบัติของโลหะเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป และทำให้สมการถ่ายเทความร้อนเป็นสมการอนุพันธ์เชิงเส้นง่ายต่อการคำนวณเชิงตัวเลข การแก้สมการอนุพันธ์ใช้วิธีไฟไนท์ดิฟเฟอเรนซ์แบบเอกพลิตซิท (explicit finite difference method) ผลที่ได้จากการคำนวณจะเป็นค่าอุณหภูมิที่มีตำแหน่งต่างๆ ในงานหล่อและแบบหล่อที่ระยะเวลาต่างๆ หลังการเทการแสดงผลสามารถทำได้โดยเป็นตารางค่าอุณหภูมิหรือในรูปของกราฟแสดงค่าอุณหภูมิเทียบกับเวลา ณ ตำแหน่งที่ต้องการ เพื่อทดลองความถูกต้องของแบบจำลองและการคำนวณในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการหล่อชิ้นงานและวัดอุณหภูมิ โดยใช้วัสดุโลหะในการทดลองคือ เหล็กกล้าสแตนเลส 300 และอลูมิเนียมผสมเบอร์ 356 จากการเปรียบเทียบผลจากการทดลอง และผลการทดลองพบว่ามีความใกล้เคียงกันจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในกระบวนการสร้างชิ้นงานหล่อโลหะ ในด้านการออกแบบการคำนวณ และปัจจัยตัวแปรต่างๆ ทำให้สามารถออกแบบและตั้งขั้นตอนในการทดลองหล่อชิ้นงานของกระสวย

2. การดำเนินงาน

ในขั้นตอนในการออกแบบระบบรูเทในงานหล่ออลูมิเนียมสำหรับ โพรงแบบทรายที่เหมาะสมกับกระสวนต้นแบบดังรูป โดยได้มีวิธีการ ดำเนินงานวิจัยจากการศึกษาข้อมูลกระบวนการปฏิบัติงานหล่อโลหะ พื้นฐาน จากนั้นนำมาวิเคราะห์และกำหนดระบบรูเทให้มีการออกแบบ ระบบรูเทเหมาะสมงานหล่ออลูมิเนียมทั้งการคำนวณและกำหนดตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่องานหล่อด้วยโพรงแบบทราย แล้วทำการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของโพรงแบบทรายที่มีขนาดรูเทรูลันที่ทำให้ได้ชิ้นงาน หล่อสมบูรณ์ที่สุด โดยใช้วัสดุอลูมิเนียมผสมแมกเนต 1100 ในการทดลอง ครั้งนี้ ใช้อุณหภูมิเทโลหะเหลวที่ 750 องศาเซลเซียส โดยรูปร่างชิ้นงาน หล่อดังรูป 1 มีปัญหาในการยุบตัว จึงได้กำหนดระบบรูเทและรูลันใน รูปแบบต่างๆ เพื่อหาแนวทางแก้ไข โดยปัญหาชิ้นงานหล่อไม่สมบูรณ์ คือ ชิ้นงานมีผิวงานเกิดรอยยุบตัวบริเวณรอบๆ ใกล้กับรูของชิ้นงาน เนื่องจากการหดตัว ดังรูปที่ 2

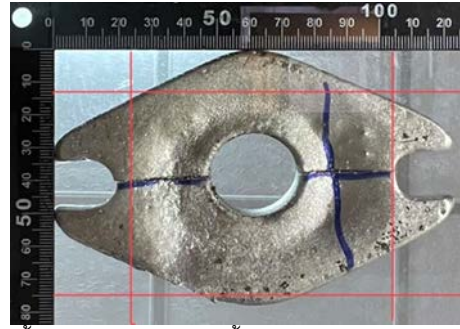


รูปที่ 1 กระสวนต้นแบบที่ใช้ทำการทดลอง

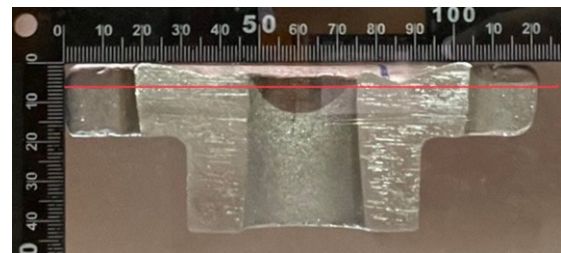


รูปที่ 2 ระบบทางเข้าของโลหะเหลวในทึบหล่อ

จากการเทหล่อชิ้นงานจริงที่ได้จากการออกแบบระบบทางเข้าชิ้นงาน ของกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัวนั้น สามารถแสดงผล การทดลองเทหล่อจริงได้ทั้งหมด 3 แบบ โดยมีผลการทดลองออกมา ดังนี้ ลักษณะชิ้นงานเทหล่อจริงกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบใน ตัวหลังจากเทหล่อจริง ชิ้นงานมีการหดตัวบริเวณตรงกลางรอบๆ ไส้แบบของชิ้นงาน ซึ่งบริเวณตรงกลางเป็นจุดที่มีความหนาสูงสุดของ ชิ้นงานจึงทำให้บริเวณตรงกลางรอบๆ ไส้แบบเป็นจุดร้อนของชิ้นงาน จากสาเหตุการหดตัวของชิ้นงานนั้นเกิดจากการเย็นตัวของชิ้นงานซึ่ง การเย็นตัวของชิ้นงานจะเย็นตัวจากภายนอกเข้าสู่ภายในทำให้บริเวณ ชิ้นงานที่มีความหนามากสุดเย็นตัวช้าสุดจึงเกิดการหดตัวดังกล่าว



รูปที่ 3 ชิ้นงานหล่อจริงกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัว



รูปที่ 4 การผ่าชิ้นงานหล่อจริงกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัว

จากการผ่าชิ้นงานหล่อจริงกระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัว ทำให้เห็นระยะความยาวของการหดตัวอยู่ที่ ตำแหน่ง 24 ถึง 104 ใน แนวแกน X คิดเป็น 80 มิลลิเมตร ระยะความกว้างที่ตำแหน่ง 13 ถึง 75 ในแนวแกน Y คิดเป็น 62 มิลลิเมตร ระยะความลึกในแนวแกน Z คิด เป็น 6 มิลลิเมตร

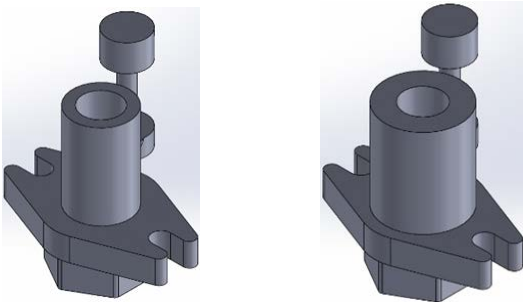
2.1 การวิเคราะห์ผลหาสาเหตุของปัญหาจุดบกพร่องในงานหล่อ และแนวทางแก้ไข

แนวทางการแก้ไขจุดบกพร่อง จากผลการทดลองข้างต้นของ กระสวนชิ้นเดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัว จะเห็นได้ว่าชิ้นงานหลังจาก การเทหล่อจริงแล้วเกิดปัญหาคือการหดตัวของชิ้นงาน ในบริเวณตรง กลางชิ้นงาน ซึ่งเป็นจุดที่มีความหนาที่สุดของชิ้นงานหล่อกระสวนชิ้น เดียวหน้าผ่าราบมีไส้แบบในตัว ซึ่งมีไส้แบบในตัวบริเวณตรงกลาง ชิ้นงานหล่อ ทำให้บริเวณตรงกลางชิ้นงานเป็นจุดรวมความร้อนที่สะสม อยู่ซึ่งยังถ่ายเทความร้อนออกไปอย่างช้าๆ จนทำให้เกิดการหดตัวเป็น รูปวงกลมรอบๆ ไส้แบบ หากสังเกตให้ดีจะเห็นวาร์บนอกเส้นเกิดการ ยุบตัวเป็นขอบรูปหกเหลี่ยมดังรูปร่างของชิ้นงานที่อยู่ด้านล่าง การแก้ ไขปัญหาการหดตัวของชิ้นงาน คือ วางรูลันตรงบริเวณการยุบตัวเป็น รูปวงแหวนตามรอยการหดตัวของชิ้นงานหล่อ เพื่อให้เกิดการดึงเนื้อ ชิ้นงานของรูลัน เป็นการป้อนเติมโลหะในขณะที่บริเวณนั้นมีการเย็น ตัวอย่างช้าๆ จนเริ่มแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ในที่สุด

2.2 หลังจากการทดลองหล่อชิ้นงานกระสวนต้นแบบ

หลังจากการหล่อชิ้นงานตามรูปแบบในรูปที่ 1 คือ กระสวนต้นแบบ ที่ใช้ทำการทดลอง ได้เกิดข้อบกพร่องบริเวณรอบไส้แบบชิ้นงานซึ่งอยู่

ตรงกลางของชิ้นงาน ลักษณะของการบดพร่องคือ มีการหดตัวรอบๆ ใต้ เป็นแนววงกลมด้านบนชิ้นงาน จึงได้กำหนดเงื่อนไขการทดลองในการหล่อชิ้นงานดังนี้ คือวางรูล้นทรงกระบอกกลางตามแนวการหดตัวของชิ้นงานโดยให้มีขนาดความโตรูในเท่ากับขนาดไส้แบบเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตรเท่ากันทั้ง 2 รูปแบบ แตกต่างที่ความหนาที่ขนาดของรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร และรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 5



(ก) รูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร (ข) รูล้นทรงกระบอกกลางหนา 15 มิลลิเมตร

รูปที่ 5 ลักษณะชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกกลางทั้ง 2 รูปแบบ

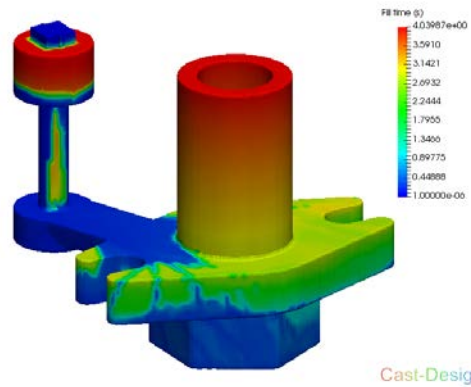
จากการออกแบบรูล้นเพิ่มเติมเพื่อปรับแก้ไขรอยยุบตัวของชิ้นงาน ใต้ทำการใส่รูล้นในตำแหน่งที่เกิดการหดตัวของชิ้นงาน โดยกำหนดเงื่อนไขการทดลองแก้ไขปัญห โดยการวางรูล้นในลักษณะทรงกระบอกกลางตำแหน่งตรงกลางที่มีการหดตัวของชิ้นงาน โดยมีการปรับเปลี่ยนขนาดความหนาทั้งชิ้นงาน 2 รูปแบบ จึงนำมาศึกษาวิเคราะห์ผลทางการจำลองพฤติกรรม (simulation) ด้วยโปรแกรม Cast-Designer เพื่อพยากรณ์ผลการทดลองด้วยแนวทางแก้ไขจุดบกพร่องนั้นบนชิ้นงาน

3. ผลการจำลองสถานการณ์การไหลของโลหะเหลว (simulation)

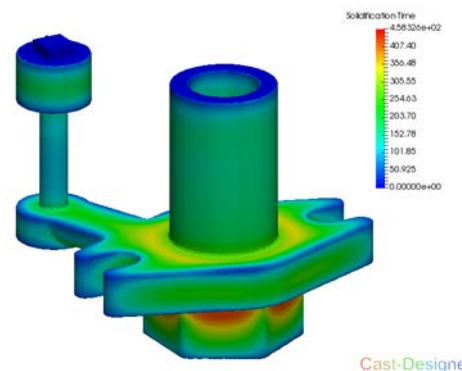
3.1 การจำลองพฤติกรรมของงานหล่อของชิ้นงาน

มีแนวทางการแก้ไขชิ้นงานอยู่ 2 รูปแบบ คือ ชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร ชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 15 มิลลิเมตร โดยมีผลการทดลองด้วยโปรแกรม Cast-Designer ดังนี้

3.1.1 ชิ้นงานหล่อที่มีรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร ได้กำหนดวางในตำแหน่งที่เกิดการหดตัวโดยรัศมีวงในจะเท่ากับขอบของรูไส้แบบ ซึ่งผลการจำลองเวลาในการเติมเต็มโลหะเหลว (fill time) ได้ดังรูปที่ 6 แบบจำลองเวลาในการแข็งตัวของชิ้นงาน (solidification time) ดังรูปที่ 7 แบบจำลองการเกิดโพรงหดตัว (shrinkage porosity) ดังรูปที่ 8 แบบจำลองการไหลของโลหะเหลว (fluid fraction) ดังรูปที่ 9



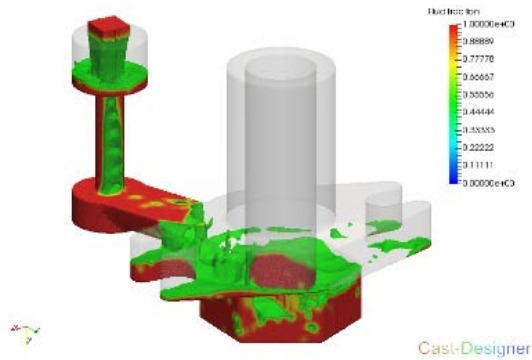
รูปที่ 6 แบบจำลองเวลาในการเติมเต็มชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร (fill time = 4.03 sec)



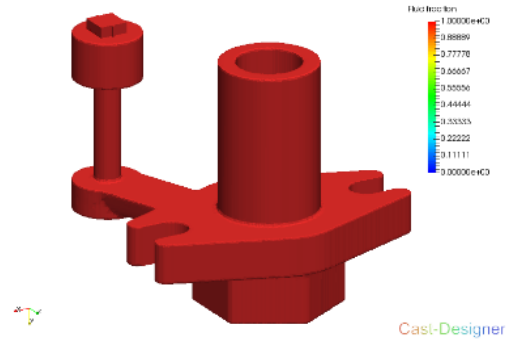
รูปที่ 7 แบบจำลองเวลาในการแข็งตัวของชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร (solid time = 458 sec)



รูปที่ 8 แบบจำลองการเกิดโพรงหดตัวของชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกกลางหนา 8 มิลลิเมตร (shrinkage porosity = 1.925 %)

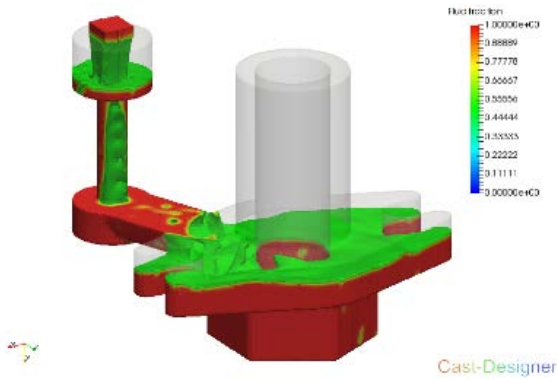


(ก) 20% / 1.128 sec



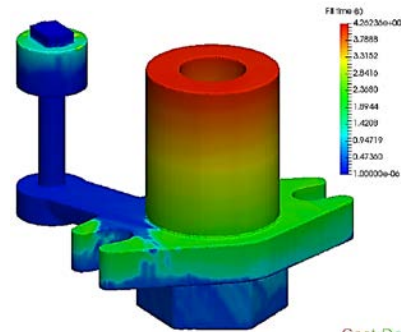
(ง) 100% / 4.03 sec

รูปที่ 9 แบบจำลองการไหลของโลหะเหลวขึ้นงานรูสั้น ทรงกระบอก กลวงหนา 8 มิลลิเมตร (fill time = 4.03 sec)

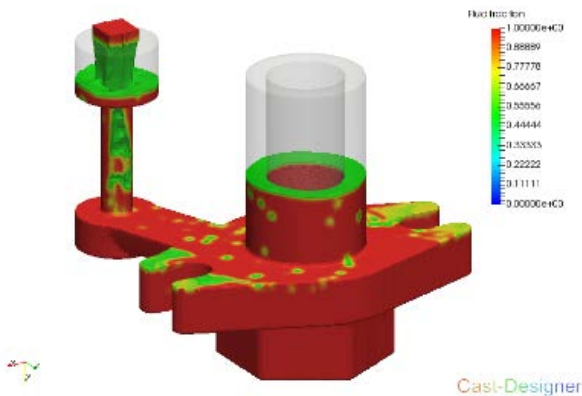


(ข) 40% / 2.009 sec

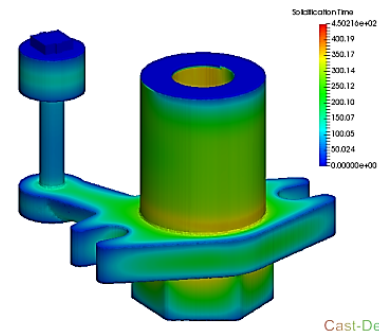
3.1.2 ชิ้นงานหล่อที่มีรูสั้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ได้กำหนดวางในตำแหน่งที่เกิดการหดตัวโดยรัศมีวงในจะเท่ากับขอบของรูไส้แบบ ซึ่งผลการจำลองเวลาในการเติมเต็มโลหะเหลว (fill time) ได้ดังรูปที่ 10 แบบจำลองการแข็งตัวของโลหะเหลว (solidification time) ดังรูปที่ 11 แบบจำลองการเกิดโพรงหดตัว (Shrinkage porosity) ดังรูปที่ 12 แบบจำลองการไหลของโลหะเหลว (fluid fraction) ดังรูปที่ 13



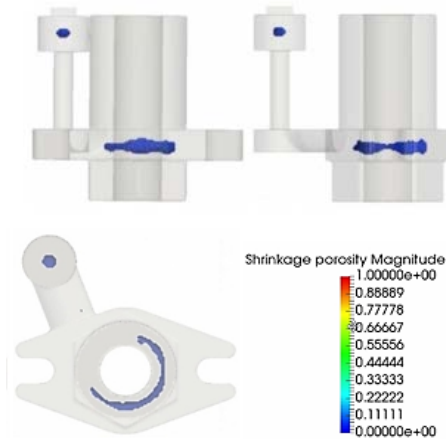
รูปที่ 10 แบบจำลองเวลาในการเติมเต็มชิ้นงานรูสั้นทรง กระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร (fill time = 4.12 sec)



(ค) 80% / 3.206 sec

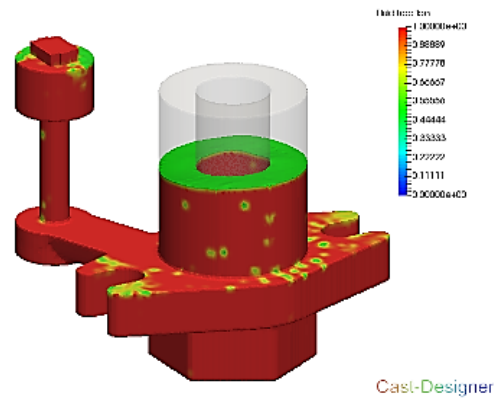


รูปที่ 11 แบบจำลองการแข็งตัวโลหะเหลวของรูสั้นทรง กระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร (solid time = 450 sec)

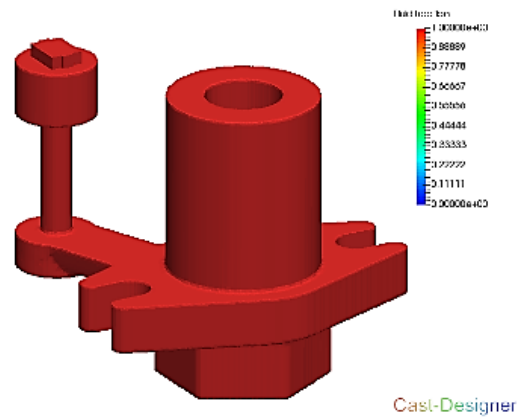


shrinkage porosity = 0.442 %

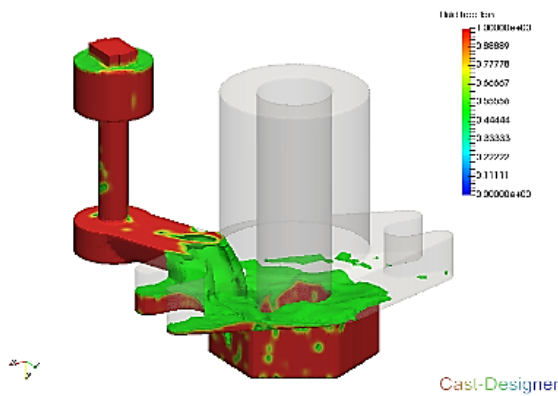
รูปที่ 12 แบบจำลองการเกิดโพรงหดตัวรูล้น ทรงกระบอกลวงวงหนา 15 มิลลิเมตร



(ก) 80% / 3.228 sec

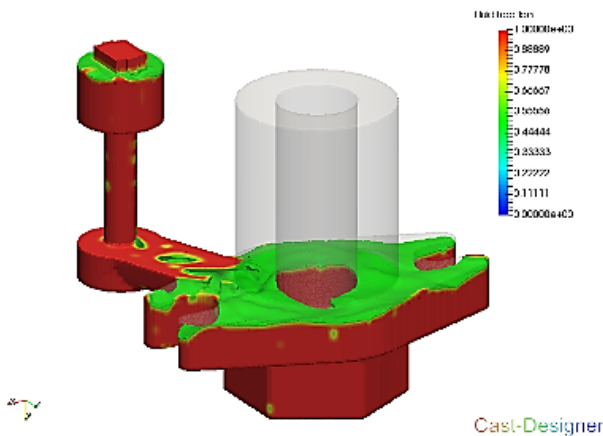


(ง) 100% / 4.12 sec



(น) 20% / 1.142 sec

รูปที่ 13 แบบจำลองการไหลโลหะเหลวของรูล้นทรงกระบอกลวงวงหนา 15 มิลลิเมตร (fill time = 4.12 sec)



(ข) 40% / 2.091 sec

จากผลการเปรียบเทียบการจำลองพฤติกรรมเปอร์เซ็นต์การหดตัวของกระสวนขึ้นเดียวหน้าผารอบมีไส้แบบในตัวมีแนวโน้มของการหดตัวที่ลดลงตามปริมาตรที่เพิ่มขึ้นของรูล้น ซึ่งได้ค่าการคำนวณปริมาตรของรูล้นที่สามารถแก้ไขปัญหาดังที่ 74,108 ลูกบาศก์มิลลิเมตร รูปร่างรูล้นทรงกระบอกลวงวงหนา 15 มิลลิเมตร ที่จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

4. สรุปผล

การแก้ไขปัญหาดังกล่าวของชิ้นงานกระสวน ทางผู้จัดทำได้วางรูล้นรูปทรงกระบอกลวงในตำแหน่งบริเวณที่เกิดการหดตัวคือรอบๆไส้แบบ โดยจะต้องมีการปรับเปลี่ยนขนาดของรูล้น แบ่งเป็น รูล้นทรงกระบอกลวงวงหนาขนาด 8 มิลลิเมตร และ รูล้นทรงกระบอกลวงวงหนา 15 มิลลิเมตร ซึ่งผลการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Cast-Designer ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ซึ่งมีผลแตกต่างกันดังนี้

4.1 ผลการจำลองพฤติกรรมเวลาในการเติมเต็มของโลหะเหลวในรูปแบบรูล้นทรงกระบอกลวงวงหนา 8 มิลลิเมตร มีค่าเวลาที่เติมเต็มที

4.03 วินาที และรูปแบบรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร มีค่าเวลาที่เติมเต็มที่ 4.12 วินาที จากผลจากการจำลองพฤติกรรมทำให้เห็นว่า ชิ้นงานรูล้นทรงกระบอกกลวงขนาด 15 มิลลิเมตร มีเวลาในการเติมเต็มช้าสุดเนื่องจากมีปริมาตรชิ้นงานมากที่สุด

4.2 ผลการจำลองพฤติกรรมการไหลของโลหะเหลวทั้ง 2 รูปแบบ มีลักษณะการไหลคือ เมื่อโลหะเหลวผ่านปากทางเข้าชิ้นงาน โลหะเหลวจะไหลสู่ที่บล็อกล่างไปในส่วนที่ลึกที่สุด ซึ่งคือส่วนที่มีลักษณะเป็นทกเหลี่ยม จนโลหะเหลวไหลเต็มเนื้อโพรงแบบ

4.3 ผลการจำลองพฤติกรรมการแข็งตัว ในรูปแบบรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร มีค่าเวลาในการแข็งตัวที่ 458 วินาที และรูปแบบรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร มีค่าเวลาในการแข็งตัวที่ 450 วินาที เนื่องจากรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร มีผิวที่สัมผัสกับอากาศมากขึ้นทำให้การถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้นตาม มีผลให้ใช้เวลาในการแข็งตัวลดลง

4.4 ผลการจำลองพฤติกรรมการหดตัวในรูปแบบรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 8 มิลลิเมตร มีค่าการหดตัวที่ 1.92 เปอร์เซ็นต์ และในรูปแบบรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร มีค่าหดตัวที่ 0.44 เปอร์เซ็นต์ จากผลการคำนวณการหาปริมาตรรูล้นจากทฤษฎีที่เหมาะสมกับชิ้นงานหล่อกระสวน ได้ค่าปริมาตรรูล้น 72,108 ลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งเท่ากับรูล้นทรงกระบอกกลวงหนา 15 มิลลิเมตร ที่จะสามารถแก้ไขปัญหของชิ้นงานได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลือจาก นายมงคล เอกสินีรักษ์กุล และบริษัท ไฟร์ดี คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนโปรแกรม Cast Designer เป็นเครื่องมือสำหรับการวิจัยเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ ที่มีประสิทธิภาพสูงและค่าปริกษาที่ดี จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีขณะที่ทีมงานวิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Suwankan P. Metal Water Dosing System Design for Stainless Steel which Casting by Investment Process. Thesis according to the Doctor of Engineering Degree Program. Materials Engineering Department. Faculty of Engineering. KMUTNB 2016. Thailand (in Thai)
- [2] Luankosolchai S. Metal Water Supply and Overflow Hole Design for Aluminum. Thesis according to the Master of Engineering Degree Program. Material Technology Department. Faculty of Energy and Materials. KMUTT 2001. Thailand (in Thai)
- [3] Sriwissawapanich W, Simulation of the Hardening Behavior of the Casting. Thesis according to the Master of Engineering Degree Program. Material Technology Department. Faculty of Energy and Materials. KMUTT 1996. Thailand (in Thai)

การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสต็อกอะไหล่โดยระบบคอมพิวเตอร์:

กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตอาหารสัตว์

Improving Spare Parts Stock Management through Computer System:

A Case Study in the Animal Feed Industry

ประจวบ กล่อมจิตร์¹ อำนวย อมฤกษ์² ชยานันท์ วิชาทน¹ สุนทรธีรักษ์ ชื่นครุฑ¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

E-mail: Klomjit_p@su.ac.th*

Prachuab Klomjit¹, Amnaht Amaluk², Chayanun Vichaton¹, Suntareerak Chuenkrut¹

¹Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Southeast Asia University

E-mail: Klomjit_p@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเบิกจ่ายอะไหล่และการจัดการสต็อกอะไหล่ โดยการใช้ระบบคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการดำเนินงาน โดยการศึกษาเริ่มต้นจากการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยการใช้ Why-Why Analysis พบว่าสาเหตุที่ทำให้การดำเนินงานเกิดความล่าช้า เป็นผลมาจากการไม่มีระบบการจัดการอะไหล่ ทำให้พนักงานต้องเสียเวลาในการเดินไปค้นหาอะไหล่ในคลังสต็อกเพื่อตรวจสอบว่ามีอะไหล่ที่ต้องการใช้งานหรือไม่ โดยแนวทางการแก้ปัญหาเริ่มต้นคณะผู้จัดทำได้นำหลักการ 5S และ Visual Control เข้ามาจัดการคลังสต็อก เพื่อให้อะไหล่ที่จัดเก็บอยู่ในคลังสต็อกจัดเก็บได้ถูกต้องตาม Location และง่ายต่อการค้นหาเพื่อนำไปใช้งาน จากนั้นได้ออกแบบระบบเบิกจ่ายอะไหล่โดยการใช้ Microsoft Excel ผลการศึกษาพบว่าเมื่อมีการนำระบบเข้ามาใช้ในการค้นหาอะไหล่ภายในคลังสต็อก ทำให้เวลาในการดำเนินการเบิกอะไหล่มีความรวดเร็วขึ้น จากที่ต้องใช้เวลาประมาณ 20.5 นาที ลดลงเหลือประมาณ 15.5 นาที โดยเวลาในการดำเนินการลดลงไป 5 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 24.39 และผลการประเมินโดยแบบสอบถามเพื่อสำรวจความพึงพอใจในการใช้งานคลังสต็อกและการใช้งานโปรแกรม โดยมีพนักงานคลังสต็อกจำนวน 5 คน เป็นผู้ตอบแบบสอบถาม พบว่าพนักงานมีความพึงพอใจในการใช้งานคลังสต็อกและการใช้งานโปรแกรมอยู่มาก

คำสำคัญ: สต็อกอะไหล่, เพิ่มประสิทธิภาพ, อุตสาหกรรมอาหารสัตว์

Abstract

The aim of this research is to enhance the efficiency of spare part disbursement and management by implementing a computer system. The study begins by conducting a Why-Why Analysis to determine the root cause of the problem, which is the lack of a spare parts management system. This leads to employees wasting time searching for spare parts in the store, resulting in delays and inefficiencies. To solve this issue, the researchers adopt the 5S principles and Visual Control to organize the warehouse and store spare parts effectively. Following this, the researchers design a spare parts disbursement system using Microsoft Excel to speed up the process. The results show that the processing time of spare parts issuance is reduced from 20.5 minutes to 15.5 minutes, a reduction of 5 minutes or 24.39%. To evaluate the success of the program, five store employees completed a questionnaire, and the results indicate high satisfaction levels with both the store and the program.

Keywords: Spare parts stock, Increase efficiency, Animal feed industry

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตของประเทศไทยขยายตัวเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก และในแต่ละองค์กรมีการดำเนินธุรกิจในรูปแบบที่แตกต่างกันมากมาย เพื่อจุดมุ่งหมายเดียวกันคือ ให้ธุรกิจมีศักยภาพมากพอที่จะแข่งขันกับธุรกิจรายอื่นในตลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ องค์กรจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการปรับปรุงและพัฒนาองค์กรมากขึ้น สายงานทางด้านโลจิสติกส์ก็เป็นอีกสายงานหนึ่งที่ทำเป็นต่อหลายหน่วยงาน ดังนั้นหากหน่วยงานใดสามารถบริหารจัดการระบบโลจิสติกส์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดก็ย่อมได้เปรียบทางการแข่งขันสูงเช่นกัน

กิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับระบบโลจิสติกส์ เช่น การควบคุมสินค้าคงคลัง การเก็บรักษาสินค้าคงคลัง เป็นกิจกรรมที่เกิดขึ้นในคลังสินค้า เนื่องจากคลังสินค้าเป็นสถานที่จัดเก็บสินค้า วัตถุดิบ อุปกรณ์ และเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งในการบริหารระบบควบคุมสินค้าคงคลังสมัยใหม่ องค์กรต่างๆ ได้นำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการบริหารจัดการสินค้าคงคลัง เพื่อความสะดวกในการบริหารจัดการสินค้า และเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานให้แก่องค์กร

บริษัทกรณีศึกษาที่เป็นอีกบริษัทที่มีปัญหาด้านการค้นหาคะโหลกที่ใช้ในโรงงาน โดยบริษัทไม่มีการจัดการด้านคลังสินค้าที่เป็นระบบส่งผลให้ทางบริษัทเกิดปัญหาคือ หีบอะไหล่ได้ล่าช้าและมีความผิดพลาดในการหีบอะไหล่เนื่องจากมีลักษณะที่คล้ายกัน เกิดความผิดพลาดในการสั่งซื้อเนื่องจากไม่รู้จำนวนสินค้าในคลังที่แน่นอน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการค้นหาคะโหลก โดยการจัดการระบบในการค้นหาคะโหลก เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการซ่อม-บำรุง และปฏิบัติการ (Maintenance Repair and Operation Items: MRO)

เป็นวัสดุที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักร เครื่องยนต์ในโรงงานและครอบคลุมถึงวัสดุทั่วไปที่ใช้ในการปฏิบัติการเป็นประจำ เช่น ครุภัณฑ์ (General hardware) ของใช้ในสำนักงาน (office supplies) เครื่องเขียนแบบพิมพ์ (stationary) และอุปกรณ์ป้องกันภัย (safety device) เราอาจกล่าวได้ว่า MRO [1] คือวัสดุที่ไม่มีส่วนผสมอยู่ในสินค้าสำเร็จรูปเลยซึ่งโรงงานต้องจัดสรรออกเป็นประเภทเพื่อการบริหารระดับคงเหลือและการจัดเก็บ อันได้แก่ อะไหล่พิเศษเฉพาะเครื่อง (Unique Parts) อะไหล่ประกันเตรียมพร้อม (Insurance and Standby Parts) อะไหล่ที่ใช้ได้กับหลายเครื่อง (Interchangeable Parts) อะไหล่และอุปกรณ์ที่มีลักษณะเป็นสินทรัพย์ถาวร (Capitalized Parts) อะไหล่ที่มีลักษณะเป็นวัสดุทั่วไป (General Used Items) เคมีและก๊าซ (Chemical & Gas)

2.2 การบริหารพัสดุคงคลัง

พัสดุคงคลัง (Inventory) จัดเป็นสินทรัพย์หมุนเวียนชนิดหนึ่งซึ่งองค์กรต้องมีไว้เพื่อขายหรือผลิตประกอบด้วย วัตถุดิบ (Raw

Material) งานระหว่างทำ (Work-in-process) วัสดุซ่อมบำรุง (Maintenance/Repair/Operating Supplies) และ สินค้าสำเร็จรูป (Finished Goods) [2] ถ้าหากไม่มีสินค้าคงคลัง การผลิตอาจจะไม่ราบรื่น โดยทั่วไปฝ่ายขายค่อนข้างพอใจหากมีสินค้าคงคลังจำนวนมากๆ เพราะทำให้มั่นใจว่าอย่างไรก็ตามมีสินค้าพอขาย แต่หน้าที่ของสินค้าคงเหลือคือการรักษาสสมดุลระหว่างอุปสงค์และอุปทาน ทำให้เกิดการประหยัดต่อขนาด (Economy of Scale) [3]

2.3 แนวคิดเกี่ยวกับการเข้าก่อน ออกก่อน FIFO

การหมุนเวียนเข้าออกใช้หลัก FIFO (First in First Out) หมายถึง สินค้าใดที่เข้าคลังสินค้าก่อนก็หมุนเวียนออกก่อน เพื่อลดความเสี่ยงจากการจัดเก็บเป็นเวลานาน ในซัพพลายเชนการจัดเก็บสินค้ายังเป็นส่วนที่สร้างต้นทุนไม่ว่าจะเป็นซัพพลายเออร์ โรงงานผู้ผลิต ผู้ค้าปลีก ผู้ค้าส่ง การจัดเก็บ และการกระจายสินค้า [4]

2.4 กิจกรรม 5ส

5ส คือ กิจกรรมที่สร้างวินัยให้เกิดขึ้นและนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพ และผลิตภาพ ประกอบด้วย สะสาง สะดวก สะอาด สุขลักษณะ และ สร้างนิสัย ซึ่งถือเป็นเทคนิคการจัดการระบบ หรือวิธีการจัดการปรับปรุงสถานที่ทำงานให้เกิดความสะดวกความเป็นระเบียบเรียบร้อย ความสะอาด ที่เอื้อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน ความปลอดภัย และคุณภาพของงาน อันปัจจัยพื้นฐานในการเพิ่มผลผลิต

2.5 การควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control)

การควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) เป็นระบบควบคุมการทำงานที่ทำให้พนักงานทุกคนสามารถเข้าใจขั้นตอนการทำงานเป้าหมาย ผลลัพธ์การทำงานได้ง่ายและชัดเจน รวมถึงเห็นความผิดปกติต่างๆและแก้ไขได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้บอร์ด ป้าย สัญลักษณ์ สี อื่นๆ เพื่อสื่อสารให้พนักงานทราบถึงข้อมูลข่าวสาร ที่สำคัญสถานที่ทำงาน เจ้าหน้าที่ออกและติดตั้งและบุคลากรที่เกี่ยวข้องทุกคน จึงจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจหลักการของ Visual Control ในทิศทางเดียวกันเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการประยุกต์ใช้อย่างมีประสิทธิภาพในองค์กร [5]

2.6 โปรแกรม Microsoft Excel

MS. Excel เป็นโปรแกรมประเภท สเปรดชีต (spreadsheet) หรือโปรแกรมตารางงานซึ่งจะเก็บข้อมูลต่างลงบนแผ่นตารางงาน คล้ายกับการเขียนข้อมูลลงไป ในสมุดที่มีการตั้งตารางทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งช่องตารางแต่ละช่องจะมีชื่อประจำแต่ละช่องจะทำให้ง่ายต่อการป้อนข้อมูล การแก้ไขข้อมูลสะดวกต่อการคำนวณและการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ สามารถจัดข้อมูลต่างๆ ได้อย่างเป็นหมวดหมู่และระเบียบมากยิ่งขึ้น [6]

2.7 การวิเคราะห์ปัญหาด้วยหลักการ Why-Why Analysis

Why Why Analysis เป็นเครื่องมือพื้นฐานของการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา โดยหากเราสามารถค้นพบสาเหตุรากเหง้าและกำจัดได้แล้วปัญหาเดิมจะไม่เกิดซ้ำอย่างแน่นอน แต่หากปัญหาเดิมเกิดซ้ำ แสดงว่าการวิเคราะห์ของเรานั้นมาผิดทาง หรืออาจมีบางสาเหตุตกหล่นไป อาจจะต้องมาทำการวิเคราะห์ใหม่ เครื่องมือนี้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงมากหากผู้วิเคราะห์มีความเข้าใจและมีความชำนาญในงานที่ตนทำอยู่รวมถึงความรู้ด้านวิศวกรรม [7]

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อักษรสรค์ ได้ศึกษาถึงกลยุทธ์ 5ส และการวางผังโรงงานอย่างมีระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานภายในคลังสินค้า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทำงานภายในคลังสินค้าและเสนอแนวทางการปรับปรุง โดยใช้ 5ส ในการจัดระเบียบการจัดเก็บอุปกรณ์ และใช้กฎการวางผังโรงงานอย่างมีระบบในการวางผังสินค้าใหม่ พบว่าสามารถลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายโดยรวมได้ถึง 82.86% และเวลาที่ใช้ในกระบวนการลดน้อยลง 6.25% และคลังสินค้ามีความเป็นระเบียบ สะอาด มีบรรยากาศในที่ทำงานที่ดีขึ้น สามารถเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ได้รวดเร็วขึ้น [8]

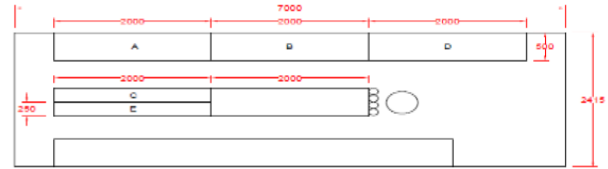
วรัญญา ได้ศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังวัตถุดิบ เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการเคลื่อนย้าย จัดเก็บ และเบิกจ่ายวัตถุดิบ ภายในคลังวัตถุดิบ เนื่องจากไม่มีการบริหารจัดการจัดการวัตถุดิบภายในคลังสินค้าที่เป็นระบบชัดเจน นอกจากนี้ยังเกิดปัญหาทางด้านความผิดพลาดในการเบิกจ่ายวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการผลิต ผลการศึกษาพบว่า เมื่อมีการกำหนดพื้นที่ชัดเจนแล้วจึงนำเทคนิคการเข้าก่อนออกก่อน (FIFO) และการควบคุมการมองเห็น (Visual control) จึงทำให้ระยะเวลาในการทำกิจกรรมการจัดเก็บและวัตถุดิบนำเข้าคลังวัตถุดิบเพื่อการเบิกจ่ายของฝ่ายผลิตใช้ระยะเวลาในการค้นหาวัตถุดิบลดลง 1.49 นาทีต่อพาเลท [9]

ศศิรัศม์ ได้ทำการพัฒนาระบบและปรับปรุงฐานข้อมูล โดยกล่าวถึงขั้นตอนการพัฒนากระบวนการปรับปรุงฐานข้อมูลการทำบัญชีนำส่ง บริษัท ไปรษณีย์ไทย จำกัด ซึ่งประกอบด้วย บัญชีประเภทบริการฝากส่งและใบนำส่งสำหรับการขอส่วนลดบริการไปรษณีย์รับรอง/ลงทะเบียน/รับประกัน ซึ่งผู้จัดทำได้พัฒนากระบวนการงานจากเดิมที่ทำด้วยระบบ Manual มาเป็นระบบฐานข้อมูลที่ทำงานด้วยคอมพิวเตอร์โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม Excel ด้วยคำสั่งต่างๆที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานได้อย่างดี ละสามารถใช้ฐานข้อมูลนี้ในการพัฒนาต่อยอดในงานอื่นๆได้ [10]

3. สภาพปัจจุบัน

โรงงานผลิตอาหารสัตว์แห่งนี้ตั้งอยู่ในจังหวัดนครปฐม มีกำลังการผลิต 10,000 ตันต่อเดือน แบ่งผลผลิตออกเป็น การผลิตอาหารสุกรร้อยละ 90 และอาหารกึ่งร้อยละ 10 จากการสอบถามพนักงานคลังสตอร์พร้อมกับสำรวจคลังสตอร์ที่ใช้จัดเก็บ Spare Part สำหรับสนับสนุนการ

ผลิต พบว่า มีอะไหล่จำนวน 156 SKUs ที่จัดเก็บในคลังสตอร์แห่งนี้ โดยคลังสตอร์แห่งนี้มีพื้นที่จัดเก็บอะไหล่ แบ่งเป็นการจัดเก็บบน Rack แบ่งพื้นที่ออกเป็นโซน A B C D และ E ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 แสดงพื้นที่คลังสตอร์



รูปที่ 2 การจัดวางบน Rack ในปัจจุบัน

คลังสินค้าไม่มีบันทึกของชั้นส่วนและสถานที่จัดเก็บของอะไหล่ที่เก็บไว้ ส่งผลให้ขั้นตอนการขอเบิกชิ้นส่วนอะไหล่ใช้เวลานาน การขาดข้อมูลนี้ทำให้พนักงานจำเป็นต้องค้นหาชิ้นส่วนอะไหล่ในคลังสตอร์ก่อนที่จะรวบรวม ทำให้เสียเวลาและความพยายามไปโดยเปล่าประโยชน์ ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับขั้นตอนและเวลาที่ต้องใช้ในการขอเบิกชิ้นส่วนอะไหล่จากคลังสตอร์ไว้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Flow Process Chart ของกระบวนการเบิกอะไหล่ปัจจุบัน (ก่อนการปรับปรุง)

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า การเบิกอะไหล่จากคลังสต็อกนั้น พนักงานจะใช้เวลาในการเบิกประมาณ 20.5 นาที เนื่องมาจากพนักงานต้องเดินไปค้นหอะไหล่ในคลังสต็อกก่อนที่จะเดินกลับมาเบิกอะไหล่ และเดินกลับไปห้องสต็อกอีกครั้งเพื่อหยิบอะไหล่ ซึ่งเป็นการเสียเวลา

3.1 การวิเคราะห์ข้อมูลและปัญหาที่เกิดขึ้น

เพื่อทำการค้นหาสาเหตุของความล่าช้าที่เกิดขึ้นในการเบิกอะไหล่ไปใช้งาน คณะผู้ศึกษาจึงทำการวิเคราะห์สาเหตุของความล่าช้าที่เกิดขึ้นโดยใช้ Why-Why Analysis ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การใช้ Why-Why Analysis วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

คำถาม	คำตอบ
ทำไมพนักงานจึงใช้เวลานานในการเบิกอะไหล่	เพราะพนักงานใช้เวลาในการค้นหอะไหล่ในคลังสต็อกเป็นเวลานาน เนื่องจากไม่ทราบว่ามีอะไหล่ที่ต้องการเบิกหรือไม่
ทำไมพนักงานถึงไม่ทราบว่ามีอะไหล่ในคลังสต็อกหรือไม่	เพราะไม่มีการบันทึกว่าในคลังสต็อกมีอะไหล่ที่ต้องการหรือไม่
ทำไมถึงไม่มีการบันทึกข้อมูลอะไหล่ที่จัดเก็บในคลังสต็อก	เพราะไม่มีการจัดทำระบบเพื่อบันทึกข้อมูล

จากตารางที่ 2 สรุปได้ว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการเบิกอะไหล่จากคลังสต็อก เกิดจากการที่คลังสต็อกแห่งนี้ไม่มีระบบการบันทึกข้อมูลการจัดเก็บอะไหล่ จึงทำให้พนักงานต้องเสียเวลาในการค้นหาอะไหล่

3.2 แนวทางการแก้ปัญหา

จากปัญหาความล่าช้าในการเบิกอะไหล่ที่เกิดขึ้นในคลังสต็อกแห่งนี้ คณะผู้ศึกษาจึงต้องการนำระบบเข้ามาในการจัดเก็บอะไหล่ในคลังแห่งนี้ โดยจะทำการออกแบบระบบโดยใช้ Microsoft Excel เนื่องจากเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่โรงงานแห่งนี้ใช้งาน และทำการออกแบบให้ระบบนี้สามารถแสดงรายละเอียดของอะไหล่ที่ทำการจัดเก็บในคลัง ว่ามีอะไหล่ที่ต้องการหรือไม่ อะไหล่คงเหลือจำนวนเท่าใด ถูกจัดเก็บอยู่ที่ตำแหน่งใดในคลังสต็อก และระบบสามารถเพิ่มยอด และตัดยอดอะไหล่ที่เคลื่อนไหวในคลังสต็อกแห่งนี้ได้

เนื่องจากคลังสต็อกแห่งนี้ขาดการดูแลรักษา จึงทำให้ไม่มีระเบียบในการจัดเก็บอะไหล่ เกิดปัญหาอะไหล่จัดเก็บปะปนกัน ไม่มีตำแหน่งการจัดเก็บที่แน่นอน และการวางที่เกะกะ ไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย จึงใช้หลักการ 5ส เพื่อจัดการกับคลังสต็อกแห่งนี้ก่อนจะทำการออกแบบโปรแกรม เพื่อที่จะได้ข้อมูลที่แน่ชัดว่าอะไหล่แต่ละชนิดควรที่จะอยู่ตำแหน่งใด เพื่อให้คลังมีความเป็นระเบียบ และสะอาดมากขึ้น นอกจากนี้ยังใช้หลักการ Visual Control เพื่อให้พนักงานสามารถค้นหาอะไหล่ที่ต้องการได้ในเวลาอันรวดเร็วขึ้นอีกด้วย

4. ผลการดำเนินงาน

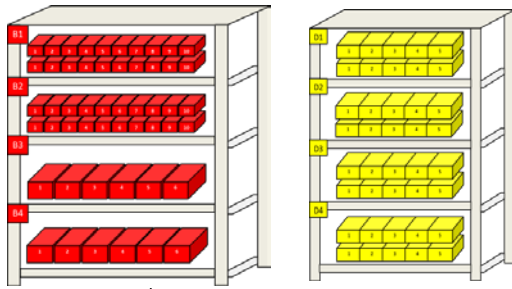
4.1 ผลการดำเนินงานกิจกรรม 5ส และ Visual Control

เริ่มต้นดำเนินการตามหลักการ 5ส โดยการคัดแยกอะไหล่ที่ถูกจัดเก็บปะปนกัน และนำอะไหล่แต่ละชนิดไปจัดเก็บไว้ตำแหน่งที่แน่นอน โดยอะไหล่ที่มีขนาดเล็กจะถูกจัดเก็บใน Bin ที่อยู่บน Rack ในโซน A B C D และ E และอะไหล่ที่มีขนาดใหญ่จะถูกจัดเก็บไว้ในโซน X และทำการคัดแยกอะไหล่ที่ชำรุด หรือไม่ใช้งานแล้วออกจากคลังสต็อก นอกจากนี้คณะผู้จัดทำร่วมกับพนักงานสต็อก ได้ทำความสะอาดอาคารคลังสต็อก โดยการเก็บอะไหล่ที่วางเกะกะทางเดิน ไปวางไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้อง และทำความสะอาด บัดฝุ่นที่เกาะอยู่บน Rack เซ็ดฝุ่นบน Bin และกวาดพื้นในคลังสต็อก โดยการดำเนินงานตามกิจกรรม 5ส แสดงผลตามตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการดำเนินงานก่อน-หลัง ตามกิจกรรม 5ส

กิจกรรม 5ส	ก่อนการดำเนินงาน	หลังการดำเนินงาน
สะสาง	มีอะไหล่ที่ชำรุด หรือ อะไหล่ที่ไม่ใช้งานจัดเก็บอยู่ในคลังสต็อก	ไม่มีอะไหล่ที่ชำรุดจัดเก็บในคลังสต็อก
สะดวก	มีอะไหล่วางปะปนกัน ยากต่อการค้นหา และหยิบใช้งาน	ไม่มีอะไหล่วางปะปนกัน อะไหล่แต่ละชนิดวางในตำแหน่งที่ถูกต้อง ง่ายต่อการค้นหา
สะอาด	มีฝุ่นเกาะตาม Rack และ Bin รวมถึงมีอะไหล่ที่วางเกะกะตามพื้นห้องสต็อก	คลังสต็อกสะอาดมากขึ้น พื้นทางเดินห้องสต็อกไม่มีอะไหล่วางเกะกะ
สุขลักษณะ	เป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรค มีแมลงสาบ หนู อาศัยในคลัง	ไม่มีสัตว์อาศัยในคลังสต็อก
สร้างนิสัย	ไม่มีเวรทำความสะอาดคลังสต็อก	จัดเวรทำความสะอาดคลังสต็อก

หลังจากดำเนินการกิจกรรม 5ส แล้ว คลังสต็อกได้รับการจัดระเบียบมากขึ้น ไม่มีอุปกรณ์เกะกะตามพื้น และจัดเก็บอะไหล่ในลักษณะที่หยิบใช้ได้ง่าย การจัดเก็บอะไหล่ที่อยู่บน Rack ยังแยกประเภทของอะไหล่โดยการใช้ Bin เข้ามาช่วยในการแยกประเภทการจัดเก็บ โดยพื้นที่จัดเก็บโซน A B C และ E จะมีลักษณะการวาง Bin ดังรูปที่ 3 ทางซ้ายมือ (สีแดง) และพื้นที่จัดเก็บโซน D จะมีลักษณะการวาง Bin ดังรูปที่ 3 ทางขวามือ (สีเหลือง)



รูปที่ 3 การจัดเรียง Bin บน Rack

นอกจากนี้ได้ใช้หลักการ Visual Control ในการค้นหาอะไหล่ที่มีความรวดเร็วมากขึ้น โดยการติดป้ายตำแหน่งไว้บน Rack แต่ละโซน และทำการติดป้ายชื่ออะไหล่ไว้บน Bin ที่จัดเก็บอะไหล่ เพื่อให้พนักงานที่ต้องการเบิกอะไหล่หาตำแหน่งของอะไหล่ได้อย่างง่ายดาย ไม่ต้องเสียเวลาในการเดินค้นหาอะไหล่ในคลังสต็อก โดยการดำเนินการตามหลักการ Visual Control ได้ผลการดำเนินงานดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การติดป้ายตำแหน่งบน Rack แต่ละ location

จากรูปที่ 3 และ รูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการติดป้ายเพื่อบ่งบอกตำแหน่งของ Rack ที่อยู่ในคลังสต็อกในแต่ละ location และการติดป้ายบ่งบอกชนิดของอะไหล่ที่จัดเก็บอยู่ในแต่ละ Bin แสดงดังรูป 5



รูปที่ 5 การติดป้ายบ่งบอกชนิดของอะไหล่ที่อยู่ใน Bin

4.2 ผลการใช้งานโปรแกรม

การดำเนินงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสต็อกอะไหล่โดยระบบคอมพิวเตอร์นั้น คณะผู้จัดทำได้ออกแบบระบบฐานข้อมูลด้วยการใช้ Microsoft Excel โดยได้ทำการเก็บข้อมูลอะไหล่ที่จัดเก็บอยู่ในคลังสต็อก ว่ามีอะไหล่ประเภทใดบ้าง มีปริมาณคงเหลือในคลังสต็อกเท่าใด และถูกจัดเก็บอยู่ในตำแหน่ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาจัดทำใน Microsoft Excel ได้ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 ตารางรายชื่ออุปกรณ์และวัสดุใน Microsoft Excel

- ตารางรายชื่ออุปกรณ์และวัสดุดังรูปที่ 6 โดยมีรายละเอียดดังนี้
- หมายเลข 1 แสดงรหัสของอะไหล่แต่ละประเภท
 - หมายเลข 2 แสดงชื่อของอะไหล่แต่ละประเภท
 - หมายเลข 3 แสดงยอดคงเหลือของอะไหล่ในคลังสต็อก
 - หมายเลข 4 แสดงสถานะของอะไหล่ โดยหากอะไหล่หมด ช่องนี้จะแสดง "หมด" เพื่อให้พนักงานทราบว่าอะไหล่ที่จัดเก็บในคลังหมด และทำการสั่งซื้อ
 - หมายเลข 5 แสดง Location ที่จัดเก็บอะไหล่

จากนั้นทำการออกแบบระบบรับ-จ่าย อะไหล่โดยใช้ Microsoft Excel โดยระบบนี้สามารถบันทึกปริมาณการรับเข้า และการเบิกอะไหล่ออกไปใช้งานได้ รวมทั้งยังสามารถแสดงยอดคงเหลือของอะไหล่แต่ละชนิด และนอกจากนี้ระบบยังสามารถแสดงมูลค่าของอะไหล่ที่ถูกจัดเก็บในคลังสต็อกได้อีกด้วย

เมื่อมีการนำระบบมาใช้ในการบันทึกการรับเข้า เบิกจ่ายสินค้าแล้ว คณะผู้จัดทำได้วิเคราะห์กระบวนการเบิกอะไหล่โดยการใช้ Flow Process Chart โดยทำการเก็บข้อมูลทั้งหมด 6 ครั้ง แบ่งเป็นการเก็บข้อมูลการเบิกอะไหล่ที่ Rack A 2 ครั้ง Rack B 2 ครั้ง และ Rack D 2 ครั้ง จากนั้นจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 Flow Process Chart ของกระบวนการเบิกอะไหล่หลังการปรับปรุง

FLOW PROCESS CHART						
CHART NO. 1	SHEET NO. 1 OF 1	SUMMARY				
ACTIVITY : กระบวนการเบิกอะไหล่	ACTIVITY	PRESENT	PROPO	SAVING		
METHOD : PRESENT / PROPOSE	OPERATION	4	4	0		
LOCATION : คลังสต็อก	TRANSPORT	5	3	2		
	DELAY	0	0	0		
	INSPECTION	0	0	0		
	STORAGE	0	0	0		
CHART BY :	DISTANCE (m)					
APPROVED BY :	TIME (min)	20.5	15.5	5.0		
DATE :						
DESCRIPTION	TIME (min)	DIST. (m)	SYMBOL			REM
1. พนักงานเบิกสินค้าเข้าไปที่ตอกพนักงานสต็อก	5					
2. พนักงานสต็อกค้นหาอะไหล่ที่ถือการเบิกจากใน	1					
3. พนักงานเบิกสินค้ายื่นใบเบิกสินค้า	1					
4. พนักงานสต็อกตรวจสอบใบเบิกสินค้า	1					
5. พนักงานเบิกสินค้าและพนักงานสต็อกเดินไปที่	2					
6. พนักงานคืนค่าตาม Location	0.5					
7. พนักงานเบิกสินค้าและพนักงานสต็อกเดินไปปฏิบัติงาน	5					

จากตารางที่ 4 เมื่อมีการนำระบบเข้ามาใช้ในการค้นหาอะไหล่ภายในคลังสต็อก ทำให้เวลาในการดำเนินการเบิกอะไหล่ จากที่ต้องใช้เวลาประมาณ 20.5 นาที ลดลงเหลือประมาณ 15.5 นาที โดยเวลาในการดำเนินการลดลงไป 5 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 24.39

4.3 ผลการประเมินการดำเนินงานโดยใช้แบบสอบถาม

ได้ทำการประเมินผลสำรวจความพึงพอใจในการใช้งานคลังสต็อกและการใช้งานโปรแกรม โดยพนักงานคลังสต็อกจำนวน 5 คน เป็นผู้ตอบแบบสอบถาม ได้ผลการประเมินแสดงในตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 ประเมินแบบสำรวจความพึงพอใจในงานคลังสต็อก

รายละเอียด	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ	เกณฑ์ประเมิน
1.คลังสต็อกมีความสะอาด	2.6	มาก
2.อะไหล่จัดเก็บเป็นระเบียบถูกต้องตำแหน่ง	2.6	มาก
3. อะไหล่ถูกจัดเก็บง่ายต่อการค้นหา	2.8	มาก
4. บ้ายระบุตำแหน่งมีความชัดเจน	2.8	มาก
5. บ้ายชื่ออะไหล่มีความชัดเจนง่ายต่อการค้นหาอะไหล่	2.8	มาก

ตารางที่ 6 ประเมินแบบสำรวจความพึงพอใจในการใช้งานโปรแกรม

รายละเอียด	ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ	เกณฑ์ประเมิน
1. โปรแกรมมีความสะดวกใช้งานง่าย	2.2	ปานกลาง
2. โปรแกรมสามารถช่วยลดเวลาในการค้นหาอะไหล่	2.0	ปานกลาง
3. โปรแกรมสามารถแสดงตำแหน่งสถานะของอะไหล่ได้อย่างถูกต้อง	2.6	มาก
4. โปรแกรมสามารถรับเข้า-เบิกอะไหล่ได้อย่างถูกต้อง	3.0	มาก

หมายเหตุค่าเฉลี่ย 2.5 - 3.0 หมายถึง ระดับความพึงพอใจมาก

ค่าเฉลี่ย 1.7 – 2.4 หมายถึง ระดับความพึงพอใจปานกลาง

ค่าเฉลี่ย 1.0 – 1.6 หมายถึง ระดับความพึงพอใจน้อย

5. สรุปผลการดำเนินงาน

การดำเนินงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการสต็อกอะไหล่โดยระบบคอมพิวเตอร์ คณะผู้จัดทำได้ดำเนินการแก้ปัญหาโดยเริ่มต้นจากการจัดการคลังสต็อกโดยใช้กิจกรรม 5ส และหลักการ Visual Control จากนั้นทำการออกแบบระบบจัดการสต็อกอะไหล่โดยการใช้

โปรแกรม Microsoft Excel สามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้ จากการดำเนินการโดยการใช้กิจกรรม 5ส และหลักการ Visual Control ส่งผลให้คลังสต็อกมีการจัดเก็บที่เป็นระเบียบมากขึ้น อะไหล่ถูกจัดเก็บง่ายต่อการค้นหา สะดวกในการรับเข้าอะไหล่มาจัดเก็บ และเบิกจ่ายอะไหล่ออกไปใช้งาน และคลังสต็อกมีความสะอาดมากขึ้น และจากการดำเนินการโดยการออกแบบระบบจัดการสต็อกอะไหล่โดยการใช้โปรแกรม Microsoft Excel ส่งผลให้เวลาในการดำเนินการเบิกอะไหล่มีความรวดเร็วขึ้น จากที่ต้องใช้เวลาประมาณ 20.5 นาที ลดลงเหลือประมาณ 15.5 นาที โดยเวลาในการดำเนินการลดลงไป 5 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 24.39 นอกจากนี้ การประเมินการใช้งานคลังสต็อกและการใช้งานโปรแกรมโดยการใช้แบบสอบถามผลการประเมินพบว่าพนักงานมีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์มาก

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานผลิตอาหารสัตว์กรณีตัวอย่าง และเจ้าหน้าที่ฝ่ายคลังสต็อกที่กรุณาสละเวลาและอำนวยความสะดวกในการศึกษาและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นภายในโรงงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] วัฒนา เชียงกุล และเกรียงไกร ดำรงรัตน์. บำรุงรักษา: งานเพิ่มกำไรบริษัท, พิมพ์ครั้งที่ 1, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2546.
- [2] ชุมพล ศฤงคารศิริ. การวางแผนและควบคุมการผลิต (ฉบับปรับปรุงใหม่), พิมพ์ครั้งที่ 14, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.
- [3] สุชาติ ศุภมงคล. การจัดการอะไหล่ให้เพิ่มผลผลิต, พิมพ์ครั้งที่1, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2546.
- [4] อรณิชา บุตรพรหม และมาริส่า บ้อมบวบผา. 2561. "FIFO เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพคลังสินค้า." วารสารการบริหารและการจัดการ 8,1 (มกราคม-มิถุนายน).
- [5] ปราโมทย์ ศุกบัญญัติ. Lean Six Sigma Pocket Toolbook, พิมพ์ครั้งที่1, อี.ไอ.สแควร์, 2547.
- [6] เพ็ญนภา สุภาพพัฒน์, การพัฒนาทักษะการใช้โปรแกรม Microsoft Excel เรื่อ ง ก า ร ค ำ น ว ณ , ข ้อ มู ล จ าก https://www.payaptechno.ac.th/app/images/payap/vijai-2558/vijaichanrean/vijai59/เพ็ญนภา__สภาพพน.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 13 สิงหาคม 2563)
- [7] วิเชียร เบญจวัฒนาผล และ สมชาย อัครทิวา. เทคนิคการวิเคราะห์อย่างถึงแก่นเพื่อปรับปรุงสถานประกอบการ (Why-Why Analysis), พิมพ์ครั้งที่ 2, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.
- [8] อักษรสรรค์ วัชรสุนทรกิจ. กลยุทธ์ 5ส และการวางแผนโรงงานอย่างมีระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานภายในคลังสินค้า, สารนิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการ

จัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา,
2559.

- [9] วรัญญา สาสมจิตต์. การศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการ
จัดการคลังวัตถุดิบ, งานนิพนธ์หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตร
มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจ
ิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2559.
- [10] ศศิรัศม์ ซีพเล่าสูงเนิน. คู่มือปฏิบัติงานการนำส่งไปรษณีย์ภัณฑ์
ทางราชการในประเทศและต่างประเทศ, ศูนย์บริการการสอนทาง
ไปรษณีย์ สำนักบริการการศึกษา มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช,
2561.

การลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ด้วยแนวคิดวิศวกรรมคุณค่า ในกระบวนการขนส่งของผลิตภัณฑ์เลนส์

Packaging Logistics Cost Reduction With Value Engineering Concepts in Transportation Process of Lens Product

จีราดา อนุชิตนันท์
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: jeerada@go.buu.ac.th*

Jeerada Anuchitnanon
Faculty of Logistics, Burapha University
E-mail: jeerada@go.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นศึกษาแนวทางในการลดต้นทุน ของบรรจุภัณฑ์ในระบบโลจิสติกส์ ของผลิตภัณฑ์เลนส์ สำหรับการบรรจุสินค้าเพื่อส่งออก ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีวิศวกรรมคุณค่า (VE) นำมาวิเคราะห์หน้าที่ของแต่ละชิ้นส่วน และหาระดับน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหน้าที่ตามชิ้นส่วนนั้นๆ เพื่อหาแนวทางการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ในระบบโลจิสติกส์ ของบริษัทที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ผลจากการศึกษาพบว่า กระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อ และมีน้ำหนักความสำคัญสูงสุด คือ การแข่งขันสินค้า ดังนั้นจึงเสนอแนวทางการปรับปรุงด้วยการเปลี่ยนจากการใช้วัสดุแบ่งชั้นที่มีราคาแพง และไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เป็นวัสดุสำหรับแผ่นรองกันลื่น (Slip sheet) ซึ่งมีราคาถูก และยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้วิธีวิศวกรรมคุณค่าที่ถูกนำมาใช้ในเบื้องต้นแล้ว ยังเลือกใช้วิธีกระบวนการวิเคราะห์แบบตามลำดับชั้น (AHP) ซึ่งจะมีเกณฑ์การพิจารณาความสำคัญจาก 3 ปัจจัยหลัก คือ ราคา น้ำหนัก และความปลอดภัย จากการทดลองใช้งานจริง พบว่า แผ่นรองกันลื่นแบบ Grip sheet ได้ค่าน้ำหนักความสำคัญสูงสุด และสามารถลดต้นทุนโลจิสติกส์จาก 2,712,680 บาทต่อปี เป็น 1,835,704 บาทต่อปี ลดต้นทุนได้เท่ากับ 876,976 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 32

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ ต้นทุนโลจิสติกส์ วิศวกรรมคุณค่า วิธีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับชั้น

Abstract

This research focuses on the solution of cost reduction of packaging in the logistics system of lens products for packing goods for exporting by applying the Value Engineering (VE) method, the function of each component is analyzed and evaluated the importance of each function according to that part. To develop packaging in logistic systems of the company used as a case study. The results of the study found that the most affecting process and has the highest priority is the product classification. Therefore, an improvement approach has been proposed by replacing the use of expensive stratified materials and non-recyclable by a material for non-slip sheets (Slip sheet), which is cheap and can also be reused. Not only the Value Engineering method that has been used initially but Analytic Hierarchy Process (AHP) method has also been chosen, which based on three key criteria: price, weight, and safety. From the actual test, it has been found that the Grip sheet anti-slip mat has the highest priority. And can reduce logistics costs from 2,712,680 baht per year to 1,835,704 baht per year. This means 876,976 baht can be reduced each year, representing 32%.

Keywords: Packaging logistics, Logistics cost, Value engineering, Analytic hierarchy process

1. บทนำ

ต้นทุนโลจิสติกส์เป็นต้นทุนในการทำกิจกรรมทางเศรษฐกิจต่างๆ เพื่อก่อให้เกิดการเคลื่อนย้าย การจัดเก็บ การรวบรวม และการกระจายสินค้า วัตถุดิบ ชิ้นส่วนประกอบ และการบริการ ซึ่งต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยคิดเป็นร้อยละ 13 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) เป็นมูลค่ารวมสูงกว่า 2,190 ล้านบาท (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจ และสังคมแห่งชาติ, 2563) มูลค่ารวมของต้นทุนโลจิสติกส์ขยายตัวในอัตราที่สูงขึ้นตามการเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศไทยในภาพรวม เนื่องจากการขยายตัวของส่งออก และอุปสงค์ภายในประเทศ ในขณะที่ต้นทุนโลจิสติกส์ต่อ GDP มีแนวโน้มลดลงต่อเนื่อง จากการที่สถานประกอบการต่างๆ ทั้งภาคอุตสาหกรรม และภาคบริการนำนวัตกรรมและเทคโนโลยีมาปรับปรุงกิจกรรมโลจิสติกส์ของตนเอง [1]

การจัดการบรรจุภัณฑ์เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการทางโลจิสติกส์ บรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์จึงมีหน้าที่ในการปกป้องและเก็บรักษาสินค้าไม่ให้เกิดความเสียหายระหว่างการจัดเก็บและการขนส่ง [2] และการรวมหน่วย (Unitization) ของผลิตภัณฑ์เข้าด้วยกัน เพื่อประโยชน์ด้านการใช้พื้นที่ และด้านการขนส่ง นำไปสู่การลดต้นทุนโลจิสติกส์ การลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์สามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การนำแนวคิดการหมุนเวียนบรรจุภัณฑ์มาใช้เพื่อลดต้นทุนวัสดุของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้แล้วทิ้ง [3-4, 5] และการประยุกต์เทคนิควิศวกรรมคุณค่า (Value engineering; VE) มาพัฒนาบรรจุภัณฑ์แบบหมุนเวียน [6] VE คือ แนวทางที่เป็นระบบ และดำเนินการเพื่อต้นทุนวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ให้ต่ำที่สุด ที่ยังคงประสิทธิผลของความสำเร็จ ความพร้อมใช้งาน และคุณภาพที่ลูกค้าต้องการได้อย่างดี [7] ซึ่ง VE สามารถลดต้นทุนโลจิสติกส์ได้ งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาแนวทางการลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ด้วยวิธีวิศวกรรมคุณค่า โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาในกระบวนการขนส่งผลิตภัณฑ์เลนส์ของบริษัทผู้ผลิตเลนส์ทัศนศึกษา

2. ทบทวนวรรณกรรม

บรรจุภัณฑ์เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้าย การรวบรวม การเก็บรักษาสินค้า และการกระจายสินค้าในโซ่อุปทานการผลิตตั้งแต่ระดับต้นน้ำ กลางน้ำ จนถึงปลายน้ำ การกระจายสินค้าและจำหน่ายสินค้าแก่ผู้บริโภคที่เป็นปลายทาง [12] การออกแบบบรรจุภัณฑ์นั้นโดยทั่วไปมีปัจจัยที่ต้องพิจารณา ได้แก่ สิ่งแวดล้อม รูปแบบ วิธีการขนถ่าย ราคา และหลักการยศาสตร์ เป็นต้น [6] งานวิจัยนี้ศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ด้วยเทคนิควิศวกรรมคุณค่า (VE) และตัดสินใจทางเลือกด้วยวิธีกระบวนการวิเคราะห์ตามลำดับขั้น (Analytic Hierarchy Process; AHP) จึงได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังนี้

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า VE มักจะถูกนำไปใช้ในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นส่วนเพื่อการลดต้นทุนทั้งในภาคของอุตสาหกรรมยานยนต์ และอิเล็กทรอนิกส์ เช่น การนำ VE มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและพัฒนาชิ้นส่วนยานยนต์ ผลจาก

การศึกษาพบว่า VE สามารถช่วยลดต้นทุนให้กับองค์กรได้ [8, 10] นอกจากนี้ยังมีการนำ VE ไปใช้ในการออกแบบกระบอกลูกสูบของบริษัทจ้างผลิตสินค้าสำเร็จรูป (Original Equipment Manufacturer; OEM) [11] และมีการนำไปใช้ในการพัฒนาบรรจุภัณฑ์แบบหมุนเวียนสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ เพื่อการลดต้นทุนโลจิสติกส์ [6]

3. วิธีการวิจัย

บริษัททัศนศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตเลนส์แห่งหนึ่งในประเทศไทย ปัจจุบันบริษัทมีการส่งออกต่างประเทศมากกว่าร้อยละ 80 ทำให้บริษัทมีต้นทุนโลจิสติกส์ค่อนข้างสูง บริษัททัศนศึกษาจึงต้องการที่จะลดต้นทุนในกระบวนการขนส่ง ต้นทุนนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ต้นทุนบรรจุภัณฑ์ และต้นทุนการขนส่ง

1. ต้นทุนบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์: บรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์สำหรับขนส่งผลิตภัณฑ์เลนส์ของบริษัททัศนศึกษา คือ แผ่นรองกันลื่น (Slip Sheet) ที่ทำจากกระดาษลูกฟูก (Corrugated paper, CORR) และพลาสติกห่อหุ้ม (Plastic wrap) แบบฟิล์มหด (Shrink Film)

2. ต้นทุนการขนส่ง: เกิดจากค่าใช้จ่ายในการใช้บริการบริษัทขนส่งเอกชน ที่คิดค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักของสินค้า และประเทศเป้าหมาย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเป้าไปที่การลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์เป็นหลัก เพราะมีผลต่อน้ำหนักของหน่วยรวมผลิตภัณฑ์ (Unit load) นำไปสู่แนวทางการลดต้นทุนของบริษัทได้

งานวิจัยนี้ประยุกต์ VE เข้ามาช่วยในการหาแนวทางการลดต้นทุนโลจิสติกส์ของบริษัททัศนศึกษา ตามแนวทางการดำเนินการทำ VE ของ [7,8] มีขั้นตอนหลักแบ่งได้ 5 ขั้นตอน ดังนี้

1. Information phase การดำเนินการในขั้นตอนนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องที่จะนำมาใช้ในการศึกษา ได้แก่ ต้นทุนที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนส่งของผลิตภัณฑ์เลนส์ เป็นต้น

2. Function analysis phase ในขั้นตอนนี้จะดำเนินการวิเคราะห์หาหน้าที่การทำงานของบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุง

3. Creativity phase เป็นขั้นตอนในการสร้างสรรค์แนวความคิดหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์หน้าที่บรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์แล้ว

4. Evaluation phase ขั้นตอนนี้เป็นการพิจารณาหาต้นทุนของทุกๆ แนวความคิดของบรรจุภัณฑ์ใหม่ และเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์เดิมด้วยการกระจายต้นทุนไปตามหน้าที่ต่างๆ และการคำนวณหาค่า Value Index (VI)

5. Development phase เป็นการปรับปรุงแนวคิดทางเลือกให้มีต้นทุนที่ต่ำลง รวมถึงได้หน้าที่การทำงานตามที่ต้องการ

การตัดสินใจเลือกแนวคิด งานวิจัยนี้ประยุกต์ AHP เพื่อตัดสินใจเลือกบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ที่ตรงตามความต้องการมากที่สุด โดยมีเกณฑ์ในการตัดสินใจ คือ ราคาวัสดุ และน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ที่จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการขนส่ง รวมถึงความปลอดภัยของสินค้าที่บรรจุอยู่ภายในต้องคำนึงถึงเป็นสำคัญ

4. ผลการทดลอง

แนวทางการพัฒนาบรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีนของบริษัทรถยนต์ศึกษาตามแนวทาง VE เพื่อลดต้นทุนโพลีเอทิลีน ผลจากการศึกษาสามารถวิเคราะห์หน้าที่บรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีนได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การวิเคราะห์หน้าที่บรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีน

ชั้นที่	ชื่อ ชั้นส่วน	หน้าที่		ประเภทของหน้าที่	
		กริยา	นาม	หลัก	รอง
1	Slip Sheet	รับ	น้ำหนัก	✓	
		ป้องกัน	แรงกดทับ	✓	
		ป้องกัน	สินค้าเลือนตก	✓	
		แบ่ง	ชั้นสินค้า	✓	
2	Plastic wrap	ป้องกัน	สินค้าเลือนตก	✓	
		ป้องกัน	การสัมผัสเพื่อน	✓	
		รวม	หน่วยสินค้า	✓	

จากตารางที่ 1 สามารถกำหนดหน้าที่หลักของแต่ละชั้นส่วนแบ่งได้เป็น 6 หน้าที่ คือ

1. หน้าที่รับน้ำหนัก แทนด้วยอักษร A
2. หน้าที่ป้องกันแรงกดทับ แทนด้วยอักษร B
3. ป้องกันสินค้าเลือนตก แทนด้วยอักษร C
4. แบ่งชั้นสินค้า แทนด้วยอักษร D
5. ป้องกันการสัมผัสเพื่อน แทนด้วยอักษร E
6. รวมหน่วยสินค้า แทนด้วยอักษร F

งานวิจัยนี้เปรียบเทียบและให้น้ำหนักของหน้าที่จากเทคนิคการประเมินเชิงน้ำหนักความสำคัญของหน้าที่ของ [9] โดยค่าน้ำหนักความสำคัญของหน้าที่แสดงดังรูปที่ 1

	B	C	D	E	F
A	1	C4	D3	E3	F3
B		C4	D3	E2	F3
C			1	1	1
D				E2	1
E					E2
F					

รูปที่ 1 การประเมินเชิงน้ำหนักความสำคัญของหน้าที่

ระดับความแตกต่างของน้ำหนักการประเมินความสำคัญสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

- 1 = ระดับความสำคัญไม่แตกต่างกัน
- 2 = ระดับความสำคัญแตกต่างกันน้อย
- 3 = ระดับความสำคัญแตกต่างกันปานกลาง
- 4 = ระดับความสำคัญแตกต่างกันมาก

จากผลการประเมินเชิงน้ำหนักความสำคัญของหน้าที่ในรูปที่ 1 สามารถสรุปค่าน้ำหนักรวมของแต่ละหน้าที่ และร้อยละของแต่ละหน้าที่ (%F) ได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปค่าน้ำหนักของแต่ละหน้าที่

สัญลักษณ์	หน้าที่	ค่าน้ำหนัก	ร้อยละ (%F)
A	รับน้ำหนัก	1	2.22
B	ป้องกันแรงกดทับ	1	2.22
C	ป้องกันสินค้าเลือนตก	14	31.1
D	แบ่งชั้นสินค้า	9	20.0
E	ป้องกันการสัมผัสเพื่อน	10	22.22
F	รวมหน่วยสินค้า	10	22.22

ทำการคำนวณหาค่าคุณค่า (Value) จากการนำเอาร้อยละของหน้าที่ (%F) หารด้วยร้อยละของต้นทุน (%C) โดย %C คำนวณด้วยวิธีการกระจายต้นทุนตามจำนวนหน้าที่หลักของชั้นส่วน เนื่องจากชั้นส่วนแต่ละชั้นส่วนมีหน้าที่หลักมากกว่า 1 หน้าที่ ตัวอย่างการคำนวณ เช่น Slip Sheet มีหน้าที่หลัก 4 หน้าที่ คือ รับน้ำหนัก ป้องกันแรงกดทับ ป้องกันสินค้าเลือนตก และแบ่งชั้นสินค้า ซึ่งบรรจุภัณฑ์โพลีเอทิลีนของบริษัทรถยนต์ศึกษา 1 หน่วยใช้ Slip Sheet 4 แผ่น คิดเป็นเงินเท่ากับ 80 บาทต่อหน่วย ดังนั้นต้นทุนของแต่ละหน้าที่เท่ากับ 80/4 เท่ากับ 20 บาท และต้นทุนเฉลี่ยของ Plastic wrap ต่อ 1 หน่วย เท่ากับ 154.5 บาท ซึ่ง Plastic wrap มี 3 หน้าที่หลัก คือ ป้องกันสินค้าเลือนตก ป้องกันการสัมผัสเพื่อน และรวมหน่วยสินค้า นั่นคือ Plastic wrap มีต้นทุนของแต่ละหน้าที่เท่ากับ 154.5/3 เท่ากับ 51.5 ดังนั้นสามารถสรุปต้นทุนของแต่ละหน้าที่หลักในแต่ละชั้นส่วนได้ดังตารางที่ 3 และสรุปผลค่าของคุณค่าในแต่ละหน้าที่ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ต้นทุนของแต่ละหน้าที่หลักในแต่ละชั้นส่วน

หน้าที่	ต้นทุน (บาท)		รวม	ร้อยละ
	Slip Sheet	Plastic wrap		
รับน้ำหนัก	20	-	20	8.53
ป้องกันแรงกดทับ	20	-	20	8.53
ป้องกันสินค้าเลือนตก	20	51.5	71.5	30.49
แบ่งชั้นสินค้า	20	-	20	8.53
ป้องกันการสัมผัสเพื่อน	-	51.5	51.5	21.96
รวมหน่วยสินค้า	-	51.5	51.5	21.96

ตารางที่ 4 สรุปค่าคุณค่าของแต่ละหน้าที่

สัญลักษณ์	หน้าที่	F(%)	C(%)	V=F(%)C(%)
A	รับน้ำหนัก	2.22	8.53	0.26
B	ป้องกันแรงกดทับ	2.22	8.53	0.26
C	ป้องกันสินค้าเลื่อนตก	31.11	30.49	1.02
D	แบ่งชั้นสินค้า	20	8.53	2.34
E	ป้องกันการสัมผัสเทือน	22.22	21.96	1.01
F	รวมหน่วยสินค้า	22.22	21.96	1.01

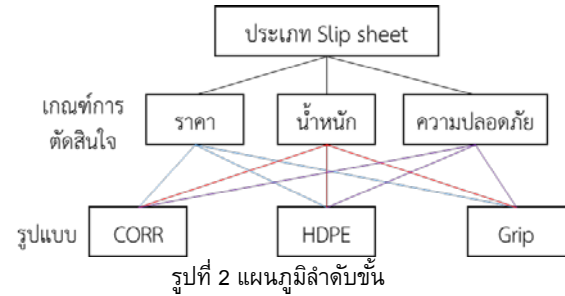
จากตารางที่ 4 จะพบว่าค่าคุณค่าของหน้าที่หลักด้านการรับน้ำหนัก และการป้องกันแรงกดทับมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 0.26 ในขณะที่หน้าที่การแบ่งชั้นสินค้ามีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 2.34 และรองลงมา คือ ป้องกันสินค้าเลื่อนตก เท่ากับ 1.02 เพราะฉะนั้นจากคุณค่าของหน้าที่ งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางการปรับเปลี่ยนวัสดุของชิ้นส่วนแผ่นกันลื่น (Slip Sheet) เพราะไม่ส่งผลกับหน้าที่การแบ่งชั้นสินค้าที่มีค่าน้อยที่สุด แต่มีผลโดยตรงต่อหน้าที่รับน้ำหนัก และป้องกันแรงกดทับ แต่ทั้ง 2 หน้าที่มีค่าคุณค่าต่ำที่สุด จึงไม่มีผลกระทบเชิงหน้าที่ ในขณะที่การเปลี่ยนวัสดุอาจส่งผลต่อหน้าที่ป้องกันสินค้าเลื่อนตก ดังนั้นในการตัดสินใจเลือกวัสดุที่ใช้ในการทำแผ่นรองกันลื่นสำหรับพาเลทจึงต้องพิจารณาหน้าที่ป้องกันสินค้าเลื่อนตกที่เป็นเรื่องความปลอดภัยของสินค้าเป็นสำคัญ และต้องอยู่ภายใต้ต้นทุนที่ประหยัดที่สุด งานวิจัยนี้ทำการศึกษารูปแบบวัสดุ 3 แบบ 1) กระดาษลอนลูกฟูก (CORR) 2) พลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และ 2) Grip Sheet รายละเอียดของราคาต่อแผ่น และน้ำหนักต่อแผ่น แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบราคาและน้ำหนักต่อแผ่น

	ราคา (บาท)	น้ำหนัก (kg)
CORR	20	0.7
HDPE	16	2.2
Grip	30	0.12

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าในแต่ละประเภทของวัสดุมีราคาที่แตกต่างกันทำให้ต้นทุนวัสดุแตกต่างกัน และน้ำหนักแตกต่างกันทำให้มีต้นทุนขนส่งแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อตัดสินใจเลือกวัสดุที่เหมาะสมงานวิจัยนี้จึงใช้วิธี AHP ในการตัดสินใจทางเลือก โดยมีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

1. สร้างแผนภูมิโครงสร้างลำดับชั้นของการตัดสินใจ ของการศึกษาคำนี้ซึ่งประกอบด้วยเกณฑ์การตัดสินใจ 3 ด้าน คือ ด้านราคาของวัสดุ ด้านน้ำหนักของแผ่นกันลื่นของแต่ละประเภทวัสดุ และด้านความปลอดภัยของสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 2



2. สร้างตารางเมทริกซ์การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจทั้ง 3 ด้านเป็นรายคู่ โดยใช้มาตราส่วนเปรียบเทียบรายคู่ของ Dr. Thomas Saaty [13] และเมทริกซ์แสดงการเปรียบเทียบเกณฑ์การตัดสินใจเป็นรายคู่แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เมทริกซ์การเปรียบเทียบเกณฑ์ที่ใช้ตัดสินใจเป็นรายคู่

เกณฑ์	ราคา	น้ำหนัก	ความปลอดภัย
ราคา	1	0.5	0.333
น้ำหนัก	2	1	0.333
ความปลอดภัย	3	3	1
รวม	6	4.5	1.667

จากตารางที่ 6 ผู้วิจัยให้ความสำคัญเห็นว่าเกณฑ์ด้านน้ำหนัก และความปลอดภัยของสินค้ามีความสำคัญมากกว่าเกณฑ์ด้านราคาในระดับปานกลาง และความปลอดภัยมีความสำคัญมากกว่าราคา และน้ำหนักในระดับปานกลาง

3. ทำการปรับค่าให้เป็นมาตรฐาน (Normalize) ซึ่งเป็นการปรับค่าตัวแปรให้มีค่าอยู่ระหว่าง [0, 1] และคำนวณค่า Eigenvector ได้ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 Normalize Matrix

เกณฑ์	ราคา	ค่าน้ำหนัก	ความปลอดภัย	รวม	Eigenvector
ราคา	0.167	0.111	0.2	0.478	0.159
น้ำหนัก	0.333	0.222	0.2	0.755	0.252
ความปลอดภัย	0.5	0.667	0.6	1.767	0.589
รวม	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00

4. ทำการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio; C.R.) จากข้อมูลข้างต้นทำให้คำนวณค่า λ_{max} (Maximum Eigenvalue) เท่ากับ 3.053 ค่าดัชนีความสอดคล้อง (Consistency Index; C.I.) จึงเท่ากับ 0.0265 และเมื่อเปิดตารางค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index; R.I.) ได้ค่าเท่ากับ 0.58 ดังนั้นค่า C.R. เท่ากับ C.I./R.I. เมื่อแทนค่าจะได้เท่ากับ 0.0457

นั่นคือ C.R. มีค่าน้อยกว่า 0.1 หมายความว่าความสอดคล้องของการเปรียบเทียบอยู่ในค่าที่ยอมรับได้

5. จัดลำดับทางเลือกด้วยการหาค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือก โดยพิจารณาภายใต้เกณฑ์ทั้ง 3 ด้าน แสดงดังต่อไปนี้

1) พิจารณาภายใต้เกณฑ์ราคา เมทริกซ์การเปรียบเทียบทางเลือก แสดงดังตารางที่ 8 และค่าน้ำหนักของทางเลือกแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 8 เมทริกซ์การเปรียบเทียบทางเลือก (ภายใต้เกณฑ์ราคา)

ทางเลือก	CORR	HDPE	Grip
CORR	1	0.333	5
HDPE	3	1	7
Grip	0.2	0.143	1

ตารางที่ 9 ค่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักทางเลือก (ภายใต้เกณฑ์ราคา)

ทางเลือก	CORR	HDPE	Grip	รวม	Eigenvector
CORR	0.238	0.226	0.385	0.849	0.283
HDPE	0.714	0.677	0.538	1.929	0.643
Grip	0.048	0.097	0.077	0.222	0.074

ทำการตรวจสอบความสอดคล้องจากข้อมูลข้างต้น จะได้ค่า λ_{max} เท่ากับ 3.07 ค่า C.I. เท่ากับ 0.0328 ค่า R.I. เปิดตารางได้เท่ากับ 0.58 ดังนั้นค่า C.R. เท่ากับ 0.0566 นั่นคือ C.R. มีค่าน้อยกว่า 0.1 หมายความว่าความสอดคล้องของการเปรียบเทียบอยู่ในค่าที่ยอมรับได้

2) พิจารณาภายใต้เกณฑ์น้ำหนัก เมทริกซ์การเปรียบเทียบทางเลือกแสดงดังตารางที่ 10 และค่าน้ำหนักของทางเลือกแสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 10 เมทริกซ์การเปรียบเทียบทางเลือก (ภายใต้เกณฑ์น้ำหนัก)

ทางเลือก	CORR	HDPE	Grip
CORR	1	5	0.333
HDPE	0.2	1	0.111
Grip	3	9	1

ตารางที่ 11 ค่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักทางเลือก (ภายใต้เกณฑ์น้ำหนัก)

ทางเลือก	CORR	HDPE	Grip	รวม	Eigenvector
CORR	0.238	0.333	0.231	0.802	0.267
HDPE	0.048	0.067	0.077	0.192	0.064
Grip	0.714	0.6	0.692	2.006	0.669

ทำการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล จากข้อมูลข้างต้น สามารถคำนวณค่า λ_{max} เท่ากับ 3.03 ค่า C.I. เท่ากับ 0.0147 ค่า R.I. เท่ากับ 0.58 ดังนั้นค่า C.R. เท่ากับ 0.0253 นั่นคือ C.R. มีค่าน้อยกว่า

0.1 หมายความว่าความสอดคล้องของการเปรียบเทียบอยู่ในค่าที่ยอมรับได้

3) พิจารณาภายใต้เกณฑ์ความปลอดภัย เมทริกซ์การเปรียบเทียบทางเลือกแสดงดังตารางที่ 12 และค่าน้ำหนักของทางเลือกแสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 12 เมทริกซ์การเปรียบเทียบทางเลือก (ภายใต้เกณฑ์ความปลอดภัย)

ทางเลือก	CORR	HDPE	Grip
CORR	1	2	0.333
HDPE	0.5	1	0.2
Grip	3	5	1

ตารางที่ 13 ค่าความสัมพันธ์ของน้ำหนักทางเลือก (ภายใต้เกณฑ์ความปลอดภัย)

ทางเลือก	CORR	HDPE	Grip	รวม	Eigenvector
CORR	0.222	0.25	0.217	0.689	0.23
HDPE	0.111	0.125	0.13	0.366	0.122
Grip	0.667	0.625	0.652	1.944	0.648

ทำการตรวจสอบความสอดคล้องกันของเหตุผล จะได้ค่า λ_{max} เท่ากับ 3.00 ค่า C.I. เท่ากับ 0.0018 ค่า R.I. เท่ากับ 0.58 ดังนั้นค่า C.R. เท่ากับ 0.0032 นั่นคือ C.R. มีค่าน้อยกว่า 0.1 หมายความว่าความสอดคล้องของการเปรียบเทียบอยู่ในค่าที่ยอมรับได้

จากผลของการตรวจสอบความสอดคล้องของแต่ละทางเลือก ภายใต้เกณฑ์ทั้ง 3 เกณฑ์ พบว่าความสอดคล้องของการเปรียบเทียบอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ จึงนำค่า Eigenvector ของแต่ละเกณฑ์มาคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือก สามารถคำนวณได้จากการนำค่า Eigenvector จากตารางที่ 7 คูณกับค่าน้ำหนักทางเลือกภายใต้เกณฑ์นั้นๆ ก็คือค่า Eigenvector จากตารางที่ 9, 11 และ 13 ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือกแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือก

รูปแบบ	ราคา	น้ำหนัก	ความปลอดภัย	ค่าน้ำหนักความสำคัญ
CORR	0.283	0.267	0.230	0.248
HDPE	0.643	0.064	0.122	0.19
Grip	0.074	0.669	0.648	0.562

จากตารางที่ 14 จะเห็นว่าแผ่นรองกันลื่นแบบ Grip sheet มีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 0.562 ในขณะที่แบบปัจจุบันที่บริษัทกรณีศึกษาใช้อยู่ คือ CORR หรือแผ่นกระดาษลอนลูกฟูกมีค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากับ 0.248 ดังนั้นบริษัทจึงเลือกใช้ Grip sheet มาทำเป็นแผ่นรองกันลื่นสำหรับวางสินค้าบนพาเลท

4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาแนวทางการลดต้นทุนบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ของบริษัทกรณีศึกษาด้วยวิธี VE ผลการศึกษาพบว่าชิ้นส่วนของบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ประกอบด้วยแผ่นรองกันลื่น และแผ่นพลาสติกสำหรับห่อหุ้ม มีหน้าที่หลักที่สำคัญ คือ การแบ่งชั้นสินค้า และหน้าที่ที่สำคัญน้อยที่สุด คือ การรับน้ำหนัก และป้องกันแรงกดทับ เพราะฉะนั้นหากมีการหาวัสดุทดแทนเพื่อการลดต้นทุนจะไม่กระทบต่อหน้าที่การแบ่งชั้นสินค้า แต่มีผลต่อหน้าที่ป้องกันสินค้าเลื้อนตก ดังนั้นในขั้นตอนการเสนอแนวคิดจึงต้องพิจารณาเรื่องความปลอดภัยเป็นเกณฑ์ด้วย เช่นเดียวกับการพิจารณาเรื่องต้นทุนโลจิสติกส์ ที่ประกอบด้วยต้นทุนบรรจุภัณฑ์โลจิสติกส์ และต้นทุนการขนส่ง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงประยุกต์วิธี AHP ในการตัดสินใจทางเลือก 3 ทางเลือก คือ 1) กระดาษลอนลูกฟูก 2) แผ่นพลาสติกพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง และ 3) แผ่น Grip sheet โดยมีเกณฑ์การตัดสินใจ 3 เกณฑ์ คือ 1) ราคา 2) น้ำหนัก และ 3) ความปลอดภัย และผลจากการทำ AHP พบว่า แผ่นรองกันลื่นแบบ Grip sheet มีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุดเท่ากับ 0.562 และถ้าบริษัทกรณีศึกษาปรับเปลี่ยนวัสดุของแผ่นรองกันลื่นจากกระดาษลอนลูกฟูกมาเป็นวัสดุแบบ Grip sheet เมื่อทำการคำนวณต้นทุนรวมพบว่าสามารถลดต้นทุนจากเดิมที่ใช้วัสดุแบบกระดาษลอนลูกฟูกเท่ากับ 2,712,680 บาทต่อปี เป็นวัสดุแบบ Grip sheet เท่ากับ 1,835,704 บาทต่อปี ทำให้ลดต้นทุนได้เท่ากับ 876,976 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 32 อีกทั้งวัสดุแบบ Grip sheet บริษัทผู้ผลิตได้ออกแบบให้พื้นผิวขรุขระทำให้มีแรงเสียดทานสูง สามารถป้องกันสินค้าเลื้อนตกได้ดี จึงทำให้วัสดุประเภทนี้มีความปลอดภัยสูงกว่ากระดาษลอนลูกฟูกที่มีพื้นผิวเรียบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิจิตรรัตน์ มีมาก, ณิชชาภา ศรีประสาธ, ชมมณี นาสิงขัน, นันทิรา วรกาญจนบุญ, ธันนารี เจนวิถิ และกิริณา แก้วสุน. 2563. "การบริหารต้นทุนโลจิสติกส์". วารสารวิชาการสถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1: 641 - 654.
- [2] มานน เขียวประจบ. 2556. เอกสารประกอบการสอนวิชาการจัดการการจัดส่งทางธุรกิจ, ข้อมูลจาก <http://portal5.udru.ac.th/ebook/pdf/upload/17nR30JzxE.022n7D.4b.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล 25 กรกฎาคม 2565)
- [3] ณัฐธิดา รัตมี. 2559. การจัดการบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนในโรงงานอุตสาหกรรม, งานนิพนธ์, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [4] กนกวรรณ สกุลทรงเดช. 2559. การใช้บรรจุภัณฑ์ย้อนกลับเพื่อลดต้นทุนอย่างมีประสิทธิภาพ, งานนิพนธ์, คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

- [5] A. L. S. Diogo, W. S.R. Gece, S. Gustavo, B. S. Tacila, and M. S. T. Oswaldo. 2013. "Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil". Journal of Cleaner Production, Vol. 47: 377-387.
- [6] ก้องฤทธิ์ บุญเลี้ยง และฤฎิวลัย จันทรส, การพัฒนาบรรจุภัณฑ์แบบหมุนเวียนสำหรับชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยเทคนิควิศวกรรมคุณค่า (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2011, 20 – 21 October 2011, Chonburi, Thailand.
- [7] T. M. Adnan, S. Hasan, M. Sh. Rahman, A. Das. 2018. "An Analytical Way to Reduce Cost of a Product Through Value Engineering Employment (Case Study: Walton)". International Journal of Scientific & Engineering Research, Vol 9 (2): 527-533.
- [8] วุฒิพันธ์ พานิชพงษ์. 2559. การลดต้นทุนตู้แอร์รถยนต์โดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า. งานนิพนธ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [9] อัมพิกา ไกรฤทธิ์. วิศวกรรมคุณค่า, พิมพ์ครั้งที่ 3, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2533
- [10] อรวรรณ สุขวานนท์. 2560. การลดต้นทุนโดยใช้เทคนิควิศวกรรมคุณค่า กรณีศึกษาชิ้นส่วนของระบบปรับอากาศรถยนต์. งานนิพนธ์. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [11] K. Vinayak, K. Rambabu. 2017. "Component Cost Reduction by Value Engineering: A Case Study". Journal of The Institution of Engineers (India): Series C, Vol 98 (2): 219-226.
- [12] จีราดา อนุชิตนานนท์. 2565. "การจัดการบรรจุภัณฑ์หมุนเวียนของโลจิสติกส์ชิ้นส่วนยานยนต์". วารสารปัญญาภิวัฒน์, ปีที่ 14, ฉบับที่ 1: 254 - 267.
- [13] วราภรณ์ ประชาเกษม และจุฑาทิพย์ ลีลาธนาพิพัฒน์. 2564. "การบริหารต้นทุนโลจิสติกส์". วารสารบริหารธุรกิจอุตสาหกรรม, ปีที่ 3, ฉบับที่ 1: 8 - 34.

การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยใช้การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือสำหรับ
กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในอุตสาหกรรมเคมี
**Preventive Maintenance Planning Using Reliability Analysis for
Continuous Manufacturing Process in Chemical Industry**

รังสรรค์ กันยะดอย¹ จักรพันธ์ อร่ามพงษ์พันธ์² กฤษ วงษ์เกษม³

¹สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

^{2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน

E-mail: rangsan.kan@ku.th¹, chuckaphun.a@ku.th², fengkrw@ku.ac.th³

Rangsan Kanyadoi¹, Chuckaphun Aramphongphun², Kris Wonggasem³

¹Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Bangkokhen

^{2,3}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University Bangkokhen

E-mail: rangsan.kan@ku.th¹, chuckaphun.a@ku.th², fengkrw@ku.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือร่วมกับต้นทุนการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยทำการวิเคราะห์เฉพาะส่วนของเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุน เท่านั้น งานวิจัยนี้เริ่มจากการเก็บรวบรวมประวัติการบำรุงรักษาเพื่อหาระยะเวลาการใช้งานจนกระทั่งชำรุดเสียหายของเครื่องจักรอุปกรณ์ในการผลิต ระหว่างปี พ.ศ. 2561 ถึง 2564 ข้อมูลระยะเวลาการใช้งานที่ได้จะถูกนำมาหาการแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสมและใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความน่าเชื่อถือ จากนั้น จึงกำหนดรอบระยะเวลาในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสมจากค่าความน่าเชื่อถือที่ทำให้ต้นทุนการบำรุงรักษารวมต่ำที่สุด ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า โบลเวอร์เป็นเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีจำนวนชั่วโมงการชำรุดเสียหายที่มากที่สุด นอกจากนี้ ยังพบว่า การแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสม ได้แก่ การแจกแจงไวบูล และการแจกแจงอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแจกแจงไวบูล ซึ่งได้แก่ การแจกแจงปกติและการแจกแจงเอกซ์โพเนนเชียล ผลจากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือร่วมกับต้นทุนการบำรุงรักษาทำให้สามารถกำหนดรอบระยะเวลาในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนการบำรุงรักษารวมต่ำที่สุด โดยสามารถลดต้นทุนการบำรุงรักษารวมของเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุนในกระบวนการผลิตกรณีศึกษา จากเดิม 826,597.60 เหลือ 386,833.56 บาทต่อปี หรือคิดเป็นลดลงไป 53.20 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ, การแจกแจงไวบูล, ต้นทุนการบำรุงรักษา

Abstract

This research aims to analyze the reliability with the maintenance cost of equipment in a continuous manufacturing process for improving the preventive maintenance (PM) plan where only the rotating equipment is analyzed. The research started by collecting the maintenance history to determine the equipment's time to failure (TTF) in manufacturing from Year 2018 to 2021. The obtained TTF data was used to find a suitable statistical distribution and then analyze the reliability. After that, the appropriate PM intervals were determined according to the reliability that minimized the total maintenance cost. Results from the analysis showed that blowers were the equipment that had the highest breakdown time. In addition, the appropriate statistical distributions were Weibull distribution and other Weibull-related distributions including normal and exponential distributions. The results from the reliability analysis with the maintenance cost could be used to determine the appropriate PM intervals that minimized the total maintenance cost where the total maintenance cost of the rotating equipment in the case study manufacturing process was reduced from 826,597.60 to 386,833.56 baht per year or reduced by 53.20 percent.

Keywords: Preventive maintenance planning, Reliability analysis, Weibull distribution, Maintenance cost

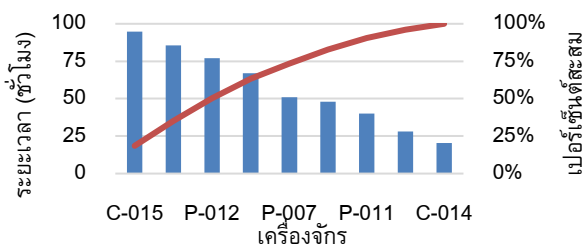
1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมเคมีที่มีการผลิตแบบต่อเนื่อง เครื่องจักรอุปกรณ์ต่าง ๆ มีความสำคัญอย่างมากต่อกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี ปริมาณมาก ต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้ทันเวลา พนักงานมีความปลอดภัยในการทำงาน และมีขวัญกำลังใจในการทำงาน ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น เพื่อป้องกันและลดปัญหา จึงต้องมีการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ให้อยู่ในสภาพที่ดีและพร้อมใช้งานอยู่เสมอ ความบกพร่องหรือการชำรุดเสียหายที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักรอุปกรณ์ จะทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงักหรือกำลังการผลิตลดลง ซึ่งส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายแฝง และเกิดความสูญเสียในด้านโอกาสทางธุรกิจ

โรงงานกรณีศึกษาที่มีกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) เป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ A และ B โดยเครื่องจักรอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตถูกแบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ แบบอยู่กับที่ (Static Equipment) และแบบหมุน (Rotating Equipment) โดยอุปกรณ์แบบอยู่กับที่ มีอัตราการชำรุดเสียหายที่ต่ำ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและต้นทุนการบำรุงรักษาของเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุน (Rotating Equipment) เท่านั้น โดยศึกษาข้อมูลในปี พ.ศ. 2561 ถึงปี พ.ศ. 2564 แสดงดังรูปที่ 1 และ 2

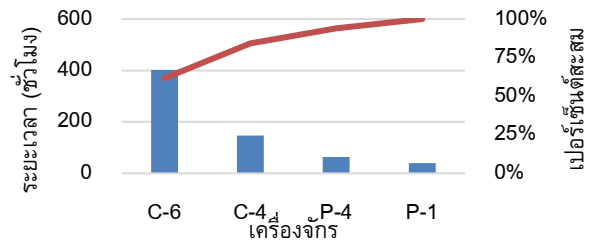
ตารางที่ 1 ระยะเวลาในการบำรุงรักษาเดิมก่อนการปรับปรุง

รายการ	ประเภทเครื่องจักร	ระยะเวลาในการบำรุงรักษา (ชั่วโมง)
1	โบลเวอร์	20,000
2	พัดลมความดันสูง	4,320
3	พัดลมความดันต่ำ	5,760
4	เครื่องสูบลมเคมี	5,760

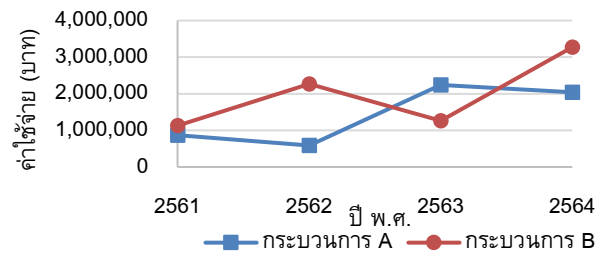


รูปที่ 1 จำนวนเวลาการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรในกระบวนการ A
หมายเหตุ รหัส C หมายถึง โบลเวอร์พัดลมความดันสูงและพัดลมความดันต่ำ
รหัส P หมายถึง เครื่องสูบลมเคมี

จากปัญหาการหยุดการผลิตของเครื่องจักรอุปกรณ์ในกระบวนการ A และ B ในช่วงปี พ.ศ. 2561 ถึง พ.ศ. 2564 แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 จำนวนเวลาการชำรุดเสียหายจากเครื่องจักรกระบวนการ B



รูปที่ 3 ค่าใช้จ่ายจากการหยุดการผลิตเนื่องจากเครื่องจักรชำรุดเสียหายในกระบวนการ A และ B

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแจกแจงทางสถิติและการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ (Statistical Distributions and Reliability Analysis)

การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรอุปกรณ์ สามารถใช้การแจกแจงทางสถิติและวิธีการทางสถิติมาช่วยวิเคราะห์ โดยใช้ข้อมูลระยะเวลาการใช้งานจนกระทั่งชำรุดเสียหายของเครื่องจักรอุปกรณ์ [1]

2.1.1 การแจกแจงไวบูล (Weibull Distribution)

ฟังก์ชันความน่าจะเป็น (Probability Density Function, pdf) ของการชำรุดเสียหายที่มีการแจกแจงไวบูล เป็นฟังก์ชันของเวลา [1, 7] แสดงดังสมการที่ 1

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือ (Reliability Function) แสดงดังสมการที่ 2

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta}\right] \quad (2)$$

อัตราการชำรุดเสียหาย (Failure Rate, $h(t)$) แสดงดังสมการที่ 3

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (3)$$

เมื่อ $f(t) \geq 0, t \geq 0, \beta > 0, \eta > 0$ โดย t คือ เวลา η คือ Scale Parameter β คือ Shape Parameter

2.1.2 การแจกแจงปกติ (Normal Distribution)

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการชำรุดเสียหายที่มีการแจกแจงปกติ [1] แสดงดังสมการที่ 4

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (4)$$

ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือ (Reliability Function) แสดงดังสมการที่ 5

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = 1 - \int_0^t \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(t-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] dt \quad (5)$$

โดย μ คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) และ π คือ Pi มีค่าประมาณ 3.142

2.1.3 การแจกแจงเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Distribution)

ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการชำรุดเสียหายที่มีการแจกแจงเอกซ์โพเนนเชียล [1] แสดงดังสมการที่ 6

$$f(t) = \frac{1}{\eta} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)} \quad (6)$$

เมื่อ $f(t) \geq 0, t \geq 0, \eta > 0$

ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือ (Reliability Function) แสดงดังสมการที่ 7

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt = \exp\left[-\left(\frac{t}{\eta}\right)\right] \quad (7)$$

2.2 ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของระบบ

ระบบที่มีการต่อแบบมีเครื่องสำรอง 1 เครื่อง (Standby Redundant System) เป็นการจัดเรียงอุปกรณ์และ/หรือเครื่องจักรในระบบที่มีการต่อกันแบบมีเครื่องจักรสำรอง 1 เครื่อง แสดงดังรูปที่ 4 โดยการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์และ/หรือเครื่องจักรในระบบ มีการแจกแจงเอกซ์โพเนนเชียล [2, 3] แสดงดังสมการที่ 8

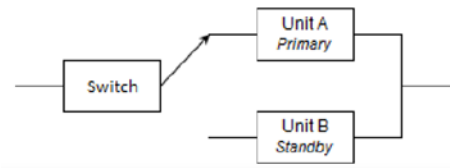
$$R_{sb} = e^{-h(t)t} [1 + R_{sw}h(t)t] \quad (8)$$

โดย

$h(t)$ คือ อัตราการชำรุดเสียหาย (Failure Rate)

$R_{sw}(t)$ คือ ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของการสลับสวิทช์ เท่ากับ 0.95

$R_{sb}(t)$ คือ ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของระบบที่มีการต่อแบบมีเครื่องจักรสำรอง 1 เครื่อง



รูปที่ 4 การต่อเครื่องจักรอุปกรณ์ แบบมีเครื่องสำรอง 1 เครื่อง

2.3 การคำนวณต้นทุนการบำรุงรักษา

การกำหนดรอบระยะเวลาในการบำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ที่เหมาะสม มีความสัมพันธ์กับต้นทุนการบำรุงรักษาทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยสามารถทำการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือร่วมกับต้นทุนการบำรุงรักษาเพื่อหารอบระยะเวลาในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสม [4, 5] จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 9

$$C(t) = \frac{[C_p \times R(t)] + [C_f \times [1 - R(t)]]}{[t \times p \times R(t)] + \left[\int_0^t t \times f(t) dt\right]} \quad (9)$$

การกำหนดต้นทุนการบำรุงรักษารวมต่อปี ได้ดังสมการที่ 10

$$C(t_y) = C(t) \times \frac{t_y}{t} \quad (10)$$

โดย

$C(t)$ คือ ต้นทุนการบำรุงรักษารวมต่อคาบเวลา t

$C(t_y)$ คือ ต้นทุนการบำรุงรักษารวมต่อปี

C_p คือ ค่าใช้จ่ายในการทำ PM 1 ครั้ง โดยคิดเฉพาะค่าแรงและค่าอะไหล่เท่านั้น

C_f คือ ค่าใช้จ่ายต่อการเกิด CM 1 ครั้ง โดยคิดค่าแรง ค่าอะไหล่ ค่าเสียโอกาสทางเศรษฐกิจ และค่าน้ำมันเตา

$R(t)$ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นความน่าเชื่อถือไปจนถึงเวลา t ตามรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสม

$f(t)$ คือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของการชำรุดเสียหายไปจนถึงเวลา t ตามรูปแบบการแจกแจงที่เหมาะสม

t คือ คาบเวลาในการทำ PM

t_y คือ จำนวนคาบเวลาการทำงานของเครื่องจักรใน 1 ปี

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุนของ

กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง ในปี พ.ศ. 2561 ถึง ปี พ.ศ. 2564

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการชำรุดเสียหายจากประวัติการซ่อม และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาในส่วนของเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุน

3.2 ทหาการแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสมกับข้อมูลระยะเวลาการใช้งาน และวิเคราะห์หาความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุน

ใช้โปรแกรม Minitab ในการหาการแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสม และวิเคราะห์หาค่าความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุน โดยใช้หลักการทางสถิติในการเลือกการแจกแจงที่เหมาะสมเพื่อวิเคราะห์หาค่าความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุน [6]

3.3 วิเคราะห์หาต้นทุนการบำรุงรักษา

นำค่าความน่าเชื่อถือและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุน มาคำนวณหากรอบระยะเวลาการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM Interval) ที่เหมาะสม [7, 9] ที่ทำให้ต้นทุนการบำรุงรักษาโดยรวมต่ำที่สุด โดยทำการเปรียบเทียบต้นทุนก่อนและหลังการวิเคราะห์ต้นทุนการบำรุงรักษา รวม ดังนี้

3.3.1 ต้นทุนการบำรุงรักษา รวม ตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันปัจจุบัน

3.3.2 ต้นทุนการบำรุงรักษา รวม ตามรอบระยะเวลาการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ที่อ้างอิงตามการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือที่ทำให้ต้นทุนการบำรุงรักษา รวมต่ำที่สุด

ค่าความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรอุปกรณ์ มีคิดค่าความน่าเชื่อถือและค่าความเสี่ยงในแต่ละช่วงเวลาของการบำรุงรักษา เพื่อคำนวณหาต้นทุนการบำรุงรักษา รวม เพื่อให้ได้ต้นทุนการบำรุงรักษา รวมที่ต่ำที่สุด ซึ่งจะได้ค่าความน่าเชื่อถือและค่าความเสี่ยงที่เหมาะสมเช่นเดียวกัน [4]

4. ผลการวิจัย

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลเครื่องจักรอุปกรณ์แบบหมุนของ

กระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องในปี พ.ศ. 2561 ถึง ปี พ.ศ. 2564

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลดังกล่าว พบว่า กลุ่มของเครื่องจักรอุปกรณ์ประเภทโบลเวอร์ ของกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง เป็นส่วนที่มีการชำรุดเสียหายมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ ของชั่วโมงการชำรุดเสียหายทั้งหมด

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาการแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสมและความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรอุปกรณ์

การนำข้อมูลเวลาการใช้งานจนกระทั่งชำรุดเสียหายของเครื่องจักรอุปกรณ์ที่แน่นอน ซึ่งเรียกว่าเป็นข้อมูลแบบ Exact Data และข้อมูลเวลาเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ถูกเปลี่ยนตามระยะเวลาการบำรุงรักษา ซึ่งเรียกว่าเป็นข้อมูลแบบ Right Censored Data มาทำการวิเคราะห์หาการแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสม ได้การแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสมและค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 2

การหาความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์เครื่องจักรตามระบบการทำงาน ประกอบด้วย เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ทำงานแบบไม่มีเครื่องสำรองสามารถหาการแจกแจงทางสถิติโดยใช้การคำนวณด้วย Minitab ได้โดยตรง ส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์แบบมีเครื่องสำรอง 1 เครื่อง จะหาอัตราการชำรุดเสียหาย (Failure Rate, $h(t)$) โดยใช้สมการที่ 3 และคำนวณหาความน่าเชื่อถือของระบบเครื่องจักรอุปกรณ์ ใช้สมการที่ 8

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่า เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ทำงานแบบมีเครื่อง

สำรอง 1 เครื่อง (Standby) จะมีค่า Shape Parameter (β) มากกว่า 1 มากๆ ซึ่งประกอบด้วย เครื่องจักรประเภทเครื่องสูบลมเคมี และพัดลมความดันต่ำ เมื่อเครื่องจักรอุปกรณ์อยู่ระหว่างทำงานเกิดการชำรุดเสียหาย สามารถสลับใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์ชุดสำรองได้ทันที โดยที่กระบวนการผลิตไม่เกิดการหยุดชะงัก ทั้งนี้ ระบบการทำงานแบบมีเครื่องสำรอง 1 เครื่อง (Standby) จะเป็นการแจกแจงแบบ Exponential [2] และการซ่อมบำรุงจะเป็นการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance)

ตารางที่ 2 การแจกแจงทางสถิติที่เหมาะสมและพารามิเตอร์ตามการแจกแจงทางสถิติของกระบวนการ A และ B

รหัส	การแจกแจง	พารามิเตอร์ตามการแจกแจงทางสถิติ			
		Shape	Scale	Mean	SD
C-014	Normal	-	-	21,432.60	1,445.44
C-015	Normal	-	-	19,014.00	831.41
C-016	Normal	-	-	19,534.30	2,408.56
P-007 ^S	Weibull-2	11.75	7,140.07	-	-
P-010 ^S	Weibull-2	44.49	7,062.10	-	-
P-011 ^S	Weibull-2	8.43	5,774.78	-	-
P-012 ^S	Weibull-2	8.81	6,486.88	-	-
P-015 ^S	Weibull-2	12.84	6,353.44	-	-
P-019 ^S	Weibull-2	15.64	8,195.14	-	-
C-4	Normal	-	-	26,101.40	9,407.57
C-6	Normal	-	-	5,819.88	1,204.00
P-1 ^S	Weibull-2	18.54	6,505.00	-	-
P-4 ^S	Weibull-2	5.63	6,231.81	-	-

หมายเหตุ S หมายถึง เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ทำงานแบบมีเครื่องสำรอง 1 เครื่อง และส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์อื่น ๆ จะทำงานแบบไม่มีเครื่องสำรอง

ตารางที่ 3 ค่าความน่าเชื่อถือและต้นทุนการบำรุงรักษาตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันปัจจุบันของกระบวนการ A

รหัส	การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน		
	เวลา (ชั่วโมง)	ความน่าเชื่อถือระบบ (%)	ต้นทุน (บาท/ปี)
C-014	20,000	83.91	13,077.41
C-015	20,000	69.83	55,523.03
C-016	20,000	70.86	42,981.18
P-007 ^S	5,760	73.45	2,401.83
P-010 ^S	5,760	99.97	18,215.05
P-011 ^S	5,760	49.06	10,001.57
P-012 ^S	5,760	18.23	15,981.62
P-015 ^S	5,760	12.51	2,478.86
P-019 ^S	5,760	99.74	15,228.58
ต้นทุนการบำรุงรักษา รวม			175,889.14

4.3 การวิเคราะห์หาต้นทุนการบำรุงรักษา

นำค่าความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายต้นทุนการบำรุงรักษาเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงของแต่ละเครื่องจักร ดังตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายในการทำ PM 1 ครั้ง (Cp) และค่าใช้จ่ายต่อการเกิด CM 1 ครั้ง (Cf) ของเครื่องจักรอุปกรณ์แต่ละเครื่อง ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 4 ค่าความน่าเชื่อถือและต้นทุนการบำรุงรักษาตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันปัจจุบันของกระบวนการ B

รหัส	การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน		
	เวลา (ชั่วโมง)	ความน่าเชื่อถือระบบ (%)	ต้นทุน (บาท/ปี)
C-4	20,000	74.17	134,669.33
C-6	4,320	89.34	174,296.00
P-1 ^S	5,760	40.73	292,740.70
P-4 ^S	5,760	12.13	49,002.42
ต้นทุนการบำรุงรักษารวม			650,708.45

ตารางที่ 5 ค่าใช้จ่ายต้นทุนการบำรุงรักษา

รายการ	ค่าใช้จ่าย
ค่าแรงช่างซ่อมบำรุง	500 บาทต่อวัน
ค่าอะไหล่ และอุปกรณ์อื่น	ราคาตามเครื่องจักรอุปกรณ์
ค่าเสียโอกาสในการผลิต	2 บาทต่อกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์
ค่าใช้จ่ายน้ำมันเตา	
กระบวนการ A	1,458.33 บาทต่อชั่วโมง
กระบวนการ B	729.17 บาทต่อชั่วโมง

ตารางที่ 6 ค่าใช้จ่ายต้นทุนของการบำรุงรักษารวมเครื่องจักรอุปกรณ์

รหัส	ค่าใช้จ่ายในการทำ	ค่าใช้จ่ายต่อการเกิด
	PM 1 ครั้ง (Cp)	CM 1 ครั้ง (Cf)
C-014	101,333.33	245,229.17
C-015	146,000.00	666,578.13
C-016	157,366.67	515,531.25
P-007 ^S	1,565.20	1,565.20
P-010 ^S	12,139.00	12,139.00
P-011 ^S	2,664.67	2,664.67
P-012 ^S	1,826.50	1,826.50
P-015 ^S	1,055.80	1,055.80
P-019 ^S	1,660.00	1,660.00
C-4	368,444.20	648,561.29
C-6	95,126.00	648,561.29
P-1 ^S	10,000.00	119,748.89
P-4 ^S	3,823.00	3,823.00

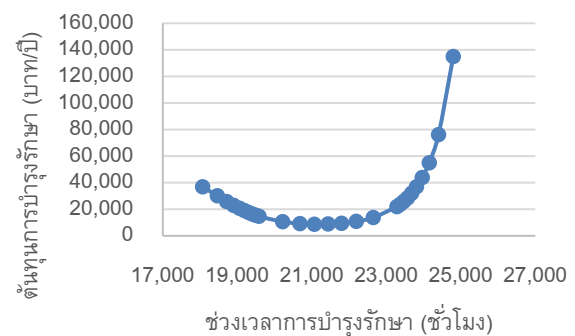
หมายเหตุ อุปกรณ์เครื่องจักรที่ทำงานแบบเครื่องสำรอง 1 เครื่อง จะมีค่าใช้จ่ายในการทำ PM 1 ครั้ง (Cp) เท่ากับ ค่าใช้จ่ายต่อการเกิด CM 1 ครั้ง (Cf)

4.3.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการบำรุงรักษารวมตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันปัจจุบัน

ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการบำรุงรักษารวมของกระบวนการ A และ B ตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันปัจจุบัน โดยใช้สมการที่ 14 และ 15 โดยนำค่าฟังก์ชันความน่าเชื่อถือ (R(t)) ค่าใช้จ่ายในการทำ PM 1 ครั้ง (Cp) ค่าใช้จ่ายต่อการเกิด CM 1 ครั้ง (Cf) และฟังก์ชันการชำรุดเสียหาย (f(t)) ตามการแจกแจงทางสถิติของเครื่องจักรอุปกรณ์ มาร่วมในการคำนวณหาต้นทุนการบำรุงรักษารวมของแต่ละเครื่องจักรอุปกรณ์ ซึ่งได้ต้นทุนการบำรุงรักษารวมของกระบวนการ A ดังตารางที่ 3 และกระบวนการ B ดังตารางที่ 4

4.3.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการบำรุงรักษารวมที่ต่ำที่สุด

ทำการวิเคราะห์ต้นทุนการบำรุงรักษารวมที่ต่ำที่สุดของกระบวนการ A และ B จากสมการที่ 9 และ 10 โดยนำข้อมูลต้นทุนการบำรุงรักษาของเครื่องจักรอุปกรณ์มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด สำหรับหาค่าความน่าเชื่อถือที่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น เครื่องจักรของโบลเวอร์ C-014 ดังรูปที่ 5 จะได้ต้นทุนการบำรุงรักษารวมที่ต่ำที่สุด เท่ากับ 10,456.54 บาทต่อปี โดยมีความสัมพันธ์ของต้นทุนการบำรุงรักษารวมและช่วงเวลาการบำรุงรักษา ดังนี้ เมื่อทำการบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่สั้นจะมีต้นทุนการบำรุงรักษารวมที่สูงกว่า เนื่องจากมีค่าแรงและค่าอะไหล่ที่สูง แต่เมื่อทำการบำรุงรักษาในช่วงเวลาที่นานจะทำให้ต้นทุนการบำรุงรักษารวมสูงชันอย่างมาก เนื่องจากเกิดค่าเสียโอกาสในการผลิตและค่าใช้จ่ายของน้ำมันเตาที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น จึงสามารถหาช่วงเวลาการบำรุงรักษาและค่าความน่าเชื่อถือที่เหมาะสม จากการวิเคราะห์ต้นทุนการบำรุงรักษารวมที่ต่ำที่สุด



รูปที่ 5 ต้นทุนการบำรุงรักษารวมของโบลเวอร์ C-014

ช่วงเวลาการบำรุงรักษาและต้นทุนการบำรุงรักษารวมที่ต่ำที่สุดของเครื่องจักรอุปกรณ์อื่น ๆ ของกระบวนการ A และ B แสดงดังตารางที่ 7 และ 8 ตามลำดับ

จุดที่ให้ประโยชน์สูงสุดในการบำรุงรักษาของเครื่องจักรอุปกรณ์ คือ จุดที่ต้นทุนการบำรุงรักษารวมที่ต่ำที่สุด ถึงแม้ว่าค่าความน่าเชื่อถือของเครื่องจักรอุปกรณ์จะลดลงก็ตาม

ตารางที่ 7 ต้นทุนการบำรุงรักษารวมต่ำที่สุดของเครื่องจักรอุปกรณ์ของ
กระบวนการ A

รหัส	การบำรุงรักษา		
	เวลา (ชั่วโมง)	ความน่าเชื่อถือ ระบบ (%)	ต้นทุน (บาท/ปี)
C-014	21,066	60.00	10,456.54
C-015	18,578	70.00	16,589.26
C-016	18,924	70.00	37,512.54
P-007 ^S	5,400	91.29	2,177.80
P-010 ^S	6,200	98.57	17,161.94
P-011 ^S	4,000	93.04	6,185.90
P-012 ^S	4,600	91.74	3,739.17
P-015 ^S	4,800	93.89	2,024.05
P-019 ^S	6,400	94.51	2,371.15
ต้นทุนการบำรุงรักษารวม			98,218.35

ตารางที่ 8 ต้นทุนการบำรุงรักษารวมต่ำที่สุดของเครื่องจักรอุปกรณ์ของ
กระบวนการ B

รหัส	การบำรุงรักษา		
	เวลา (ชั่วโมง)	ความน่าเชื่อถือ ระบบ (%)	ต้นทุน (บาท/ปี)
C-4	28,484.80	40.00	103,647.37
C-6	5,188.19	70.00	156,783.39
P-1 ^S	4,700.00	99.69	19,070.70
P-4 ^S	4,000.00	90.60	9,113.75
ต้นทุนการบำรุงรักษารวม			288,615.21

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบต้นทุนการบำรุงรักษา

ต้นทุนการบำรุงรักษา (บาทต่อปี)	กระบวนการผลิต	
	A	B
ตามแผนบำรุงรักษา	175,889.14	650,708.45
ตามต้นทุนต่ำสุด	98,218.35	288,615.21
ผลต่าง(ลดลง)	77,670.79	362,093.24
รวมผลต่าง (ลดลง)	439,764.03	
ต้นทุนลดลง (เปอร์เซ็นต์)	53.20	

จากข้อมูลเปรียบเทียบต้นทุนการบำรุงรักษาของเครื่องจักร
อุปกรณ์ทั้งกระบวนการ A และ B จะเห็นว่า สามารถกำหนดรอบ
ระยะเวลาในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนการ
บำรุงรักษาที่ต่ำที่สุด โดยต้นทุนการบำรุงรักษาที่ต่ำที่สุดของ
กระบวนการผลิตกรณีศึกษา จากเดิม 826,597.60 เหลือ 386,833.56
ลดลง 439,764.03 บาทต่อปี หรือคิดเป็นการลดลงไป 53.20 เปอร์เซ็นต์

5. สรุปผลการวิจัย

จากข้อมูลการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือร่วมกับต้นทุนการ
บำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ของทั้งกระบวนการ A และ B สามารถ
กำหนดรอบระยะเวลาในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสม (PM
Interval) ที่ทำให้ต้นทุนการบำรุงรักษาที่ต่ำที่สุด รวมถึงให้ค่าความ
ความน่าเชื่อถือที่เหมาะสม ซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนรวมของบริษัท

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ผู้ที่สนใจงานศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวางแผนการ
บำรุงรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีลักษณะการทำงานในอุตสาหกรรมที่
ใกล้เคียงกันได้ และสามารถใช้ในการบริหารต้นทุนการบำรุงรักษาให้มี
ประสิทธิภาพมากขึ้นไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Elsayed, Reliability Engineering, 8th ed., Wiley, 2012.
- [2] M.A. Mellal and E. Zio. 2020. "System reliability-redundancy optimization with cold-standby strategy by an enhanced nest cuckoo optimization algorithm". Reliability Engineering and System Safety, Vol. 201: 106973.
- [3] F. Schenkelberg. "Standby Redundancy Equal Failure and Rates Imperfect Switching". Online document <https://www.accendoreliability.com/standby-redundancy-equal-failure-rates-imperfect-switching/> accessed on Jan 9, 2023.
- [4] N.G. Jolfaei, B. Jin, L.V.D. Linden, I. Gunawan and N. Gorjian. 2022. "A reliability-cost optimization model for maintenance scheduling of wastewater treatment's power generation engines". Qual Reliab Engng Int, Vol. 38: 2-17 .
- [5] วัฒนา เชียงกุล. การจัดการงานซ่อมบำรุง ด้วย Reliability, พิมพ์ครั้งที่ 2, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2553.
- [6] Minitab Support. "Distribution fit for reliability analysis" Online document <https://support.minitab.com/en-us/minitab/20/help-and-how-to/statistical-modeling/reliability/supporting-topics/distribution-models/distribution-fit/> accessed on Jan 10, 2023
- [7] D. Niu, L. Guo, X. Bi and D. Wen. 2021. "Preventive maintenance period decision for elevator parts based on multi-objective optimization method". Journal of Building Engineering, Vol. 44: 102984.
- [8] S.A. Abouel-Seoud. 2016. "Maintenance Cost Optimization of Faulty Gearbox under Continuous Vibration Measurement Monitoring". International Journal of Vehicle Structures & Systems, Vol. 8(3): 131-139.
- [9] X. Zhang, H. Jiang, B. Zheng, Z. Li and H. Gao. 2022. "Optimal maintenance period and maintenance sequence planning under imperfect maintenance". Qual Reliab Engng Int, Vol. 1: 11

การพัฒนาเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้ใบไม้ด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

Development of Garden Waste Shredder Machine Using Quality Function Deployment

ฤฎวัลย์ จันทร์สา^๑, ธนาวดี เพชรยศ, ชาญชัย พลตรี, สมเสียง จันทาสี
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
E-mail: ruephuwc@eng.buu.ac.th*

Ruephuwan Chantrasa^๑, Thanawadee Pedyod, Charnchai Phontri, Somsiang Chantasee
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University
E-mail: ruephuwc@eng.buu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้-ใบไม้สำหรับใช้งานในบ้านพักอาศัย สำนักงาน และสวนเกษตรขนาดเล็ก ด้วยการประยุกต์กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) งานวิจัยเริ่มต้นด้วยการกำหนดความต้องการหลักซึ่งได้จากการสัมภาษณ์กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน จากนั้นได้ประยุกต์ QFD เพื่อกำหนดคุณลักษณะเชิงเทคนิคของเครื่องจักร ซึ่งพบว่าคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่มีระดับความสำคัญสูงสุด 3 ลำดับแรก ได้แก่ ความเร็วใบมีด (รอบ/นาที) อัตราการย่อย (กิโลกรัม/ชั่วโมง) และกำลังของมอเตอร์ (แรงม้า) จากนั้นได้ออกแบบแนวคิดของเครื่องจักรจำนวน 4 แบบ และคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีประเมินปัจจัย แนวคิดที่ได้รับการคัดเลือกได้ถูกออกแบบอย่างละเอียดและสร้างเป็นต้นแบบเครื่องย่อยเศษกิ่งไม้-ใบไม้ซึ่งลักษณะที่สำคัญคือ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า ใบมีดตัด 3 ใบทำด้วยวัสดุเหล็กกล้าความเร็วสูง สามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยล้อ 4 ล้อ มีปุ่มกดควบคุมการทำงานฉุกเฉิน ย่อยเศษกิ่งไม้ได้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสูงสุด 30 มิลลิเมตร ผลการทดสอบการใช้งานพบว่าเครื่องจักรทำงานได้ตามค่าเป้าหมายที่กำหนด ยกเว้นอัตราการย่อยที่ได้ค่าเป็น 72.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง น้อยกว่าค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง นอกจากนี้ ขนาดและน้ำหนักของเครื่องจักรจริงมีค่ามากกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้

คำสำคัญ: เครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

Abstract

The objective of this research is to design and develop the garden waste shredding machine. The target users of this machine include resident area, office, and small garden. The product development technique and Quality Function Deployment technique (QFD) were applied in this research. In the beginning of this research, the primary requirement was determined by interviewing 30 people before applying QFD to determine the technical characteristics of the machine. It was found that the three most important technical characteristics were blade speed (round per minute), shredding rate (kilogram per hour) and motor work power (horse power). After that, four different design concepts of the machine were generated and the best design concept was selected by using factor rating method. The details of the selected design concept were developed and the prototype of the shredder machine was built. Its main characteristics were to use a motor with 2 horse power and three high speed steel blades. In addition, it was able to move with 4 wheels and had an emergency control button. The maximum diameter of the branch that the machine can shred was 30 millimeters. The test results showed that the shredding machine can attain the target requirements except the shredding rate which was 72.1 kilogram per hour, less than the target of 100 kilogram per hour. In addition, the size and weight of the machine were higher than the target requirement.

Keywords: Garden waste shredder machine, Product Development, Quality function deployment technique

1. บทนำ

ในปัจจุบันที่พิกาศัยตลอดจนสถานที่ต่างๆได้ให้ความสนใจและความสำคัญกับพื้นที่สีเขียวด้วยการปลูกต้นไม้เพื่อสร้างความร่มรื่นเจริญใจต่อผู้อยู่อาศัย อย่างไรก็ตามการที่ตามมาของการปลูกต้นไม้คือการจัดการและการกำจัดเศษกิ่งไม้ใบไม้ซึ่งมีปริมาณมากและมีขนาดใหญ่ การกำจัดด้วยการกองรวมกันและปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติต้องการพื้นที่มากและใช้เวลานาน ตลอดจนการกำจัดด้วยการเผาทั้งจะสร้างมลภาวะทางอากาศให้เกิดขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ปัญหาดังกล่าว การย่อยเศษกิ่งไม้ใบไม้ให้มีขนาดเล็กลง เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุปลูกสำหรับปุ๋ยหมักหรือแปรรูปเป็นอาหารสัตว์จึงเป็นแนวทางที่จะช่วยสร้างประโยชน์ขึ้นได้

การพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD) เป็นกระบวนการและเทคนิคที่นำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้นจะสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างแท้จริงตลอดจนได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีความน่าเชื่อถือตามที่ต้องการ

มีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยเศษวัสดุธรรมชาติให้เป็นชิ้นที่เล็กลงเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและกลีกรมต่อไป [1-4] แต่งานวิจัยเหล่านี้ไม่ได้นำเสนอวิธีการอย่างเป็นระบบในการถ่ายทอดความต้องการของผู้ใช้งานไปสู่การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ เพื่อใช้งานสำหรับบ้านพักอาศัย หน่วยงาน และสวนเกษตร โดยการประยุกต์กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์และเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ เนื้อหาในงานวิจัยจึงมุ่งเน้นนำเสนอรายละเอียดของการพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างเป็นระบบตั้งแต่ขั้นตอนการเก็บรวบรวมความต้องการของลูกค้าจนถึงขั้นตอนการทดสอบและประเมินผลเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Product development)

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการอย่างเป็นระบบของกิจกรรมต่างๆ เริ่มต้นด้วยการกำหนดโอกาสของโครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์และสิ้นสุดลงที่การผลิตและการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 6 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการพัฒนาผลิตภัณฑ์

เฟส 0: การวางแผน เป็นขั้นตอนเริ่มต้นก่อนที่โครงการพัฒนาผลิตภัณฑ์จะถูกอนุมัติและเริ่มดำเนินการ ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดโอกาส การประเมินสถานการณ์ด้านเทคโนโลยีและการตลาด

เฟส 1: การพัฒนาแนวคิด เป็นขั้นตอนของการเก็บรวบรวมข้อมูลความต้องการ การกำหนดคุณลักษณะเชิงเทคนิคของผลิตภัณฑ์ การสร้างแนวคิดและคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสม

เฟส 2: การออกแบบเชิงระบบ เป็นขั้นตอนในการกำหนดสถาปัตยกรรมผลิตภัณฑ์ การออกแบบระบบย่อย โดยแสดงในลักษณะของรูปทรงเรขาคณิตของผลิตภัณฑ์

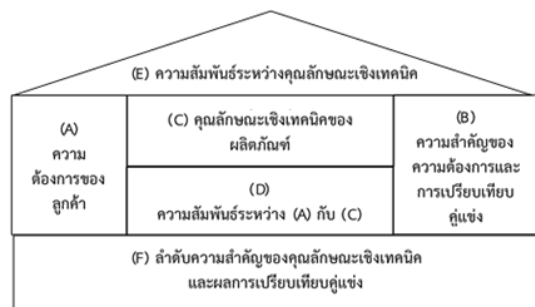
เฟส 3: การออกแบบรายละเอียด เป็นการออกแบบในรายละเอียดทางเทคนิคของชิ้นส่วนต่างๆ ของผลิตภัณฑ์ นิยมแสดงในรูปของพิมพ์เขียวเพื่อใช้ในการผลิตและการจัดซื้อชิ้นส่วน

เฟส 4: การทดสอบและการปรับปรุง เป็นขั้นตอนในการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (prototype) เพื่อทดสอบ รูปลักษณะ และการใช้งานของผลิตภัณฑ์ว่าเป็นไปตามที่กำหนดไว้หรือไม่

เฟส 5: การเริ่มต้นผลิต เป็นขั้นตอนในการทดลองผลิตผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการผลิตที่กำหนดขึ้น และการฝึกพนักงานก่อนที่จะทำการผลิตจริงในปริมาณมาก [5,6]

2.2 เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

QFD เป็นเทคนิคในการศึกษาความต้องการของลูกค้า (customer needs) และการถ่ายทอดความต้องการให้เป็นคุณลักษณะเชิงเทคนิค (attributes) ของผลิตภัณฑ์และงานบริการ QFD ดำเนินการด้วยการสร้างบ้านคุณภาพ (house of quality) ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ 6 ส่วน ดังรูปที่ 2 การสร้างบ้านคุณภาพจะเริ่มต้นจากการสำรวจและเก็บรวบรวมความต้องการของลูกค้า (A) ความสำคัญและความพึงพอใจของลูกค้า ตลอดจนคู่แข่ง จะถูกประเมิน เพื่อคำนวณค่าคะแนนตติพกติของความต้องการ (B) คุณลักษณะทางวิศวกรรมที่สอดคล้องกับความต้องการจะถูกกำหนดขึ้น (C) ในส่วน (D) เป็นการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างส่วน (A) และ (C) ด้วยสเกล 0,1,3,9 ส่วน (E) เป็นการประเมินความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะเชิงเทคนิค ส่วน (F) เป็นการคำนวณค่าคะแนนความสำคัญของคุณลักษณะเชิงเทคนิค (ค่าอิทธิพล) โดยคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่มีค่าอิทธิพลสูง หมายถึงมีอิทธิพลต่อความพึงพอใจของลูกค้า ซึ่งในการออกแบบผลิตภัณฑ์ควรให้ความสำคัญต่อคุณลักษณะเชิงเทคนิคเหล่านี้ [7]



รูปที่ 2 บ้านคุณภาพ [7]

3. ขั้นตอนการวิจัย

การวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

ขั้นที่ 1 การศึกษาเครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้จากงานวิจัยและที่จำหน่ายในปัจจุบัน งานวิจัยเริ่มต้นด้วยการศึกษาเครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้จากงานวิจัยและสืบค้นข้อมูลเครื่องที่มีจำหน่ายในปัจจุบัน โดยศึกษาในส่วนของ ประเภทของเครื่อง องค์ประกอบหลัก ได้แก่ ชุดป้อนวัตถุดิบ ชุดใบมีดตัด วัสดุใบมีด ชุดส่งกำลัง เป็นต้น ประสิทธิภาพการทำงานและรูปลักษณะของเครื่องจักร

ขั้นที่ 2 การสำรวจความต้องการของผู้ใช้งาน ขั้นตอนนี้เป็นการเก็บรวบรวมความต้องการของกลุ่มเป้าหมายที่จะใช้เครื่องจักร ซึ่งเป็นผู้ที่มีส่วนในบริเวณบ้าน พนักงานดูแลสวน และเกษตรกร รวมกันจำนวน 30 คน โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์รายบุคคลด้วยคำถามปลายเปิดจำนวน 16 คน และ เก็บข้อมูลด้วยวิธีสนทนากลุ่มย่อย จำนวน 2 กลุ่ม ๆ ละ 7 คน ข้อมูลที่รวบรวมได้จะถูกนำมาจัดกลุ่มเป็นความต้องการหลักด้วย affinity diagram ซึ่งความต้องการหลักแต่ละข้อจะถูกประเมินความสำคัญด้วยแบบสอบถาม Google Form โดยใช้กลุ่มตัวอย่างในพื้นที่จังหวัดชลบุรีจำนวน 110 คน

ขั้นที่ 3 การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ ขั้นตอนนี้เป็นการประยุกต์ QFD เพื่อกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของคุณลักษณะเชิงเทคนิคโดยการสร้างเป็นบ้านคุณภาพ ข้อมูลความต้องการและความสำคัญของความต้องการที่ได้จากการสำรวจในขั้นตอนที่ 2 จะใช้เป็นข้อมูลในส่วน A และ B ของบ้านคุณภาพ คุณลักษณะเชิงเทคนิคที่มีความสำคัญสูงในอันดับแรกๆ ในส่วน F จะใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ต่อไป

ขั้นที่ 4 การออกแบบและคัดเลือกแนวคิดผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนนี้เริ่มต้นด้วยการกำหนดองค์ประกอบหลักของเครื่องโดยพิจารณาเชื่อมโยงจากคุณลักษณะเชิงเทคนิคที่มีความสำคัญสูง จากนั้นแต่ละองค์ประกอบหลักจะกำหนดวิธีการ (solution) และใช้เทคนิค Concept Combination Table ในการจับคู่วิธีการของแต่ละองค์ประกอบหลักให้มีความเหมาะสมในการสร้างเป็นแนวคิดที่แตกต่างกันจำนวน 4 แบบ จากนั้นจะใช้วิธีการประเมินปัจจัย (factor rating) เพื่อคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุด จำนวน 1 แนวคิด

ขั้นที่ 5 การออกแบบละเอียดและสร้างเครื่องต้นแบบ แนวคิดที่ได้รับการคัดเลือกจะถูกออกแบบละเอียดในแต่ละระบบหน้าที่การทำงาน ตลอดจนชิ้นส่วนต่าง ในรูปพิมพ์เขียวผลิตภัณฑ์และชิ้นส่วนเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับวางแผนการสั่งซื้อชิ้นส่วนและการประกอบสร้างขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้

ขั้นที่ 6 การทดสอบและปรับปรุงแก้ไข เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ที่สร้างขึ้นได้นำมาทดสอบการทำงานของฟังก์ชันและอุปกรณ์ต่างๆ ทดสอบสมรรถภาพและประสิทธิภาพของเครื่อง ประเมินผลความพึงพอใจการใช้งาน สรุปรายละเอียดเชิงเทคนิคของเครื่อง และจัดทำคู่มือการใช้งาน

4. ผลการวิจัย

4.1 การสำรวจความต้องการของผู้ใช้งาน

ผลการเก็บข้อมูลความต้องการของผู้ที่สนใจใช้เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ จำนวน 30 คน ด้วยวิธีการสัมภาษณ์และการสนทนากลุ่มได้ความต้องการหลักจำนวน 11 ข้อ และได้นำไปสำรวจระดับความสำคัญ (คะแนน 1-5) ด้วยแบบสอบถาม Google Form โดยใช้กลุ่มตัวอย่างในพื้นที่จังหวัดชลบุรี จำนวน 110 คน ได้ระดับความสำคัญแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความต้องการหลักของเครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้

ลำดับที่	ความต้องการหลัก	ระดับความสำคัญ
A1	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ได้หลายขนาดและหลายชนิด	3.79
A2	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้มีขนาดเหมาะสมต่อการใช้งานและการจัดเก็บ	4.00
A3	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ใช้งานได้สะดวกเหมาะกับทุกเพศทุกวัย	3.99
A4	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้มีประสิทธิภาพและสมรรถภาพในการทำงาน	4.22
A5	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้สามารถยอยกิ้งไม้-ใบไม้ได้ในปริมาณมาก	4.2
A6	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้มีความแข็งแรงทนทาน	4.28
A7	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ มีความปลอดภัยและเป็นไปตามหลักการทางกายศาสตร์	4.32
A8	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม	4.27
A9	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้มีความสวยงามและทันสมัย	3.75
A10	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้มีน้ำหนักที่นำไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำปุ๋ย ทำฟืน ทำอาหารสัตว์ได้	4.31
A11	เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ทำความสะอาดและดูแลรักษาง่าย	4.38

จากตารางที่ 1 ความต้องการหลักที่ได้ระดับความสำคัญสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ A11 เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ทำความสะอาดและดูแลรักษาง่าย (4.38) A7 เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้ มีความปลอดภัยและเป็นไปตามหลักการทางกายศาสตร์ (4.32) และ A10 เครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้มีน้ำหนักที่นำไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำปุ๋ย ทำฟืน ทำอาหารสัตว์ได้ (4.31)

4.2 การประยุกต์เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ

บ้านคุณภาพของเครื่องยอยกิ้งไม้-ใบไม้แสดงดังรูปที่ 3

ความต้องการของลูกค้า	คุณลักษณะเชิงเทคนิค																	
	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	C-18
1.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติได้หลายขนาดและหลายชนิด	9	9		9														
2.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติมีขนาดเหมาะสมต่อการใช้งานและการจัดเก็บ	1			9									1		3			
3.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติใช้งานได้สะดวกเฉพาะกับทุกแหงทุกหัว			9	3	9		9	9										
4.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติประสิทธิภาพและสมรรถภาพในการทำงาน เช่น เครื่องมีกำลังแรง ยoyoได้รวดเร็ว	1					9			9								3	
5.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติสามารถยoyoกึ่งอัตโนมัติได้ในปริมาณมาก	3	1		1		3	3	9		9								
6.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติมีความแข็งแรงทนทาน							9		9									
7.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติมีความปลอดภัยและเป็นไปตามหลักการทางกระตงศตร											9	9	1	3				
8.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม														9				1
9.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติทำความสะอาดดูแลรักษา่าย									1						9			
10.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัตินำเศษที่ได้ไปใช้ประโยชน์ เช่น ทำปุ๋ย ทำดิน ทำอาหารสัตว์ได้								1	1							9	9	
11.เครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติมีระบบการทำงานของเครื่องและการควบคุมที่สะดวก			3			9	9	9				3	3					9
NO.	C-1	C-2	C-3	C-4	C-5	C-6	C-7	C-8	C-9	C-10	C-11	C-12	C-13	C-14	C-15	C-16	C-17	C-18
ค่าน้ำหนักคุณลักษณะทางเทคนิค	63.40	45.13	55.62	100.30	35.91	117.31	170.59	138.01	62.28	83.38	58.32	78.03	30.99	57.87	54.90	46.55	46.55	78.59
ค่าน้ำหนักคุณลักษณะทางเทคนิคปกติ	4.79	3.41	4.20	7.58	2.71	8.86	12.89	10.43	4.70	6.30	4.41	5.89	2.34	4.37	4.15	3.52	3.52	5.94
ลำดับที่	8	16	12	4	17	3	1	2	9	5	10	7	18	11	13	14	14	6

รูปที่ 3 บ้านคุณภาพของเครื่องยoyoกึ่งอัตโนมัติ

จากรูปที่ 3 คะแนน B1 ได้มาจากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของคะแนนความสำคัญของความต้องการซึ่งประเมินโดยลูกค้าเป้าหมายในจังหวัดชลบุรีจำนวน 110 คน จุดขายของความต้องการหลัก (B2) กำหนดเป็น

คะแนน 1, 1.2 และ 1.5 โดยการพิจารณาของคณะที่มงานวิจัย คะแนนดิบ (B3) คำนวนจากผลคูณระหว่าง B1 และ B2 คะแนนดิบปกติได้จากการ normalization คะแนนดิบ การประเมินความสัมพันธ์ระหว่างความ

ต้องการหลักและคุณลักษณะเชิงเทคนิค ในส่วน D ของบ้านคุณภาพได้ ประเมินความสัมพันธ์ด้วยค่าคะแนน 1,3, และ 9 โดยที่ทีมงานผู้วิจัยเป็นผู้ประเมินความสัมพันธ์นี้

ตารางที่ 2 แสดงคุณลักษณะเชิงเทคนิคของเครื่องยอกกิ่งไม้-ใบไม้ที่เรียงลำดับตามค่าน้ำหนักจากมากไปน้อยและค่าเป้าหมายในการออกแบบซึ่งได้จากการ benchmark เครื่องยอกกิ่งไม้-ใบไม้ที่จำหน่ายในปัจจุบันและมีลักษณะฟังก์ชันการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องยอกกิ่งไม้-ใบไม้ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ คุณลักษณะเชิงเทคนิคที่มีค่าน้ำหนักปกติสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ C7 ความเร็วใบมีด (12.89) C8 อัตราการยอก (10.43) และ C6 กำลังการทำงาน (8.86)

ตารางที่ 2 ลำดับความสำคัญของคุณลักษณะเชิงเทคนิค

ลำดับที่	คุณลักษณะเชิงเทคนิค (หน่วยวัด)	ค่าเป้าหมาย	ค่าน้ำหนักปกติ
1	C7 ความเร็วใบมีด (รอบ/นาที)	1450-2850	12.89
2	C8 อัตราการยอก (กิโลกรัม/ชั่วโมง)	≥ 100	10.43
3	C6 กำลังการทำงาน (แรงม้า)	≥ 2	8.86
4	C4 ขนาดเครื่อง (กว้าง×ลึก×สูง) (เซนติเมตร)	≤ 70x90x80	7.58
5	C10 วัสดุที่ใช้ผลิตใบตัด(รายการ)	HSS	6.30
6	C18 ระดับความสะดวกในการควบคุมการทำงาน (คะแนน 1-5)	≥ 4	5.94
7	C12 มีปุ่มกดหยุดเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน (มี/ไม่มี)	มี	5.89
8	C1 สามารถยอกวัสดุได้หลายประเภท (ได้/ไม่ได้)	ได้	4.79
9	C9 อายุการใช้งาน (ปี)	≥ 5	4.70
10	C11 ระดับความเหมาะสมตามหลักการยศาสตร์ (คะแนน 1-5)	≥ 4	4.41
11	C14 ระดับการใช้พลังงาน (คะแนน 1-5)	≥ 4	4.37
12	C3 น้ำหนักเครื่อง (กิโลกรัม)	≤ 40	4.20
13	C15 ระดับความสะดวกในการดูแลรักษา (คะแนน 1-5)	≥ 4	4.15
14	C16 เศษไม้เข้าไปทำเป็นปุ๋ยชีวภาพได้ (ได้/ไม่ได้)	มี	3.52
15	C17 เศษไม้เข้าไปทำเป็นอาหารให้สัตว์ต่อได้ (ได้/ไม่ได้)	มี	3.52

ตารางที่ 2 ลำดับความสำคัญของคุณลักษณะเชิงเทคนิค (ต่อ)

ลำดับที่	คุณลักษณะเชิงเทคนิค (หน่วยวัด)	ค่าเป้าหมาย	ค่าน้ำหนักปกติ
16	C2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกิ่งไม้ที่เข้าเครื่อง (เซนติเมตร)	≤ 3.0	3.41
17	C5 ระดับความเหมาะสมในการใช้งานกับทุกเพศทุกวัย	≥ 3	2.71
18	C13 มีเอกสารคู่มือการใช้งาน (มี/ไม่มี)	มี	2.34

4.3 การออกแบบและคัดเลือกแนวคิดผลิตภัณฑ์

คุณลักษณะเชิงเทคนิคทั้ง 18 ข้อได้ถูกนำมาพิจารณากำหนดเป็นองค์ประกอบหลักของเครื่องยอกกิ่งไม้-ใบไม้ได้ 7 องค์ประกอบ แสดงดังตารางที่ 3

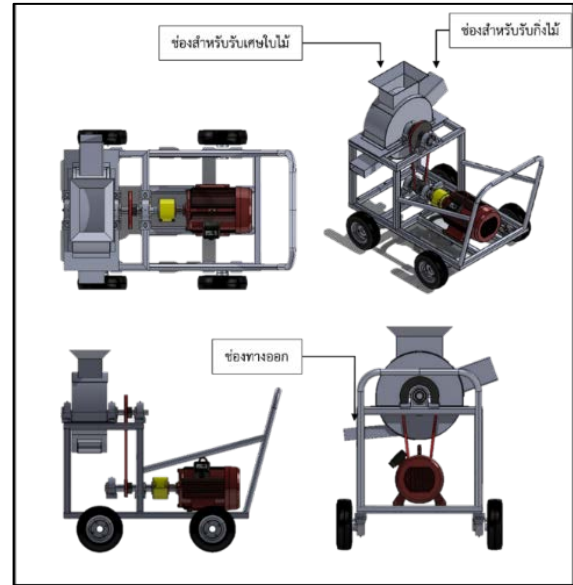
ตารางที่ 3 องค์ประกอบหลักของเครื่องยอกกิ่งไม้-ใบไม้

ลำดับ	องค์ประกอบหลัก	คุณลักษณะเชิงเทคนิค
1	รูปแบบการใช้งาน	C15 ระดับความสะดวกในการดูแลรักษา
		C11 ระดับความเหมาะสมตามหลักการยศาสตร์
2	ขนาด	C4 ขนาดเครื่อง (กว้าง×ลึก×สูง)
		C3 น้ำหนักเครื่อง
3	ระบบการลำเลียง	C2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกิ่งไม้ที่เข้าเครื่อง
		C1 สามารถยอกวัสดุได้หลายประเภท
4	ใบมีด	C11 วัสดุที่ใช้ผลิตใบตัด
		C9 อายุการใช้งาน
5	ระบบส่งกำลัง	C14 ระดับการใช้พลังงาน
		C7 ความเร็วใบมีด
		C6 กำลังการทำงาน
		C8 อัตราการยอก
6	ความปลอดภัย	C12 มีปุ่มกดหยุดเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉิน
7	ลักษณะของเครื่อง	C18 ระดับความสะดวกในการควบคุมและการทำงาน

แต่ละองค์ประกอบหลักจะกำหนดแนวทางการออกแบบที่เป็นไปได้ เพื่อเป็นทางเลือกที่จะนำไปใช้ในแต่ละแนวคิด ในขั้นตอนนี้จะยังไม่พิจารณาองค์ประกอบด้าน ขนาด ระบบส่งกำลัง และใบมีด เนื่องจากจะไปกำหนดไว้ในขั้นตอนการออกแบบละเอียดต่อไป ตารางที่ 4 แสดงแนวทางการออกแบบของแต่ละองค์ประกอบหลัก และการจัดคู่แนว

ทางการออกแบบให้เป็นแนวคิดของเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ที่แตกต่างกันจำนวน 4 แนวคิด ด้วยวิธี concept combination table ตัวอย่างเช่นแนวคิดที่ 1 (แสดงดังรูปที่ 4) เน้นออกแบบเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ให้สามารถเคลื่อนที่ได้สะดวกด้วยล้อ 4 ล้อ มีช่องสำหรับย่อยกิ่งไม้และใบไม้รวมกัน 1 ช่อง ตัวเครื่องจัดวางเป็นแนวนอน และมีความปลอดภัยโดยใช้ปุ่มกดควบคุมการทำงานฉุกเฉิน เป็นต้น

แนวคิดในการออกแบบเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ทั้ง 4 แบบ ได้ถูกประเมินเพื่อคัดเลือกแนวคิดที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีการประเมินปัจจัยซึ่งปัจจัยได้กำหนดจากความต้องการหลักที่มีความสำคัญสูงจำนวน 7 ปัจจัย กลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ประเมินคัดเลือกแนวคิด ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบเครื่องจักรกล และกลุ่มลูกค้าที่สนใจจำนวน 20 คน โดยการให้คะแนน 1-5 (Likert Scale) ผลการประเมินพบว่า แนวคิดที่มีคะแนนรวมสูงเรียงตามลำดับ ได้แก่ แนวคิด 4, 1, 2 และ 3 โดยมีค่าคะแนนรวมของการประเมินเป็น 3.63, 3.55, 3.40 และ 3.35 ตามลำดับ ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกแนวคิดที่ 4 เป็นแนวคิดที่นำไปออกแบบอย่างละเอียดต่อไป



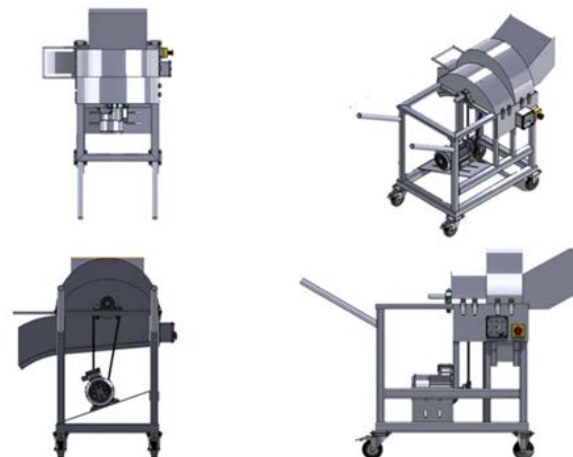
รูปที่ 4 แนวคิดแบบที่ 1

ตารางที่ 4 แนวทางการออกแบบแต่ละองค์ประกอบหลัก

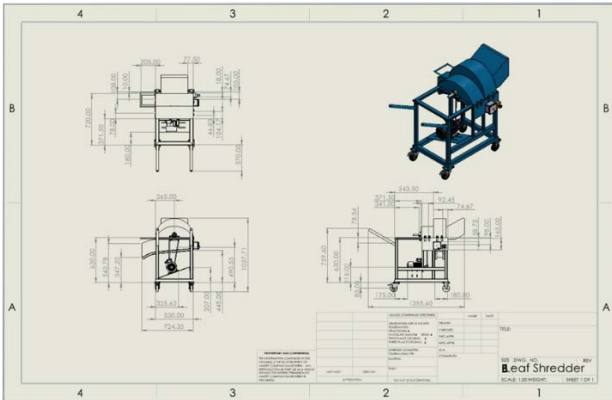
ลำดับ	องค์ประกอบหลัก	แนวทางการออกแบบ	แนวคิดผลิตภัณฑ์			
			1	2	3	4
1	รูปแบบการใช้งาน	เคลื่อนที่ได้ 4 ล้อ	✓		✓	✓
		เคลื่อนที่ได้ 2 ล้อ มีขาตั้ง		✓		
2	ระบบการลำเลียง	ช่องใส่กิ่งไม้-ใบไม้รวมกัน 1 ช่อง			✓	✓
		ช่องใส่กิ่งไม้-ใบไม้แยกกันเป็น 2 ช่อง	✓	✓		
3	ความปลอดภัย	การ์ดป้องกัน				✓
		ปุ่มควบคุมฉุกเฉิน	✓	✓	✓	
4	ลักษณะของเครื่อง	แนวนอน	✓	✓		✓
		แนวตั้ง			✓	

4.4 การออกแบบอย่างละเอียดและสร้างต้นแบบ

แนวคิดที่ 4 ได้ถูกเลือกเป็นแนวคิดที่จะนำไปพัฒนาต่อ เนื่องจากมีค่าคะแนนจากการประเมินด้วยผู้เชี่ยวชาญสูงที่สุด และมีข้อเสนอแนะว่ามีความเหมาะสมและมีความปลอดภัยในการใช้งาน โดยแนวคิดที่ 4 นี้ได้นำมาออกแบบเพิ่มเติมรายละเอียดตามคำแนะนำของผู้ประเมินในเรื่องการเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้าง ปรับขนาดให้มีความกระชับเหมาะสมกับการใช้งาน เลือกใช้มอเตอร์ให้สามารถเปลี่ยนซ่อมได้ง่าย ตลอดจนนำข้อดีของแนวคิดแบบที่ 1 ในเรื่องรูปลักษณ์ ความสวยงาม โดยมีภาพร่างผลิตภัณฑ์และพิมพ์เขียวของเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ แสดงดังรูปที่ 5 และ รูปที่ 6 ตามลำดับ



รูปที่ 5 ภาพร่าง (product drawing) เครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้



รูปที่ 6 พิมพ์เขียวเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้

ตัวต้นแบบ (prototype) ของเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ได้ถูกสร้างขึ้นจนเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทำงานได้ เครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ที่พัฒนาขึ้น

เครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ 1. ชุดป้อนกิ่งไม้-ใบไม้เข้า, 2. ชุดใบตัด และ 3. ชุดส่งกำลัง โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 แรงม้า ตัดย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ด้วยใบมีดตัด 3 ใบ ทำจากวัสดุ HSS (high speed steel) ขนาดกว้าง 55 มิลลิเมตร ยาว 140 มิลลิเมตรหนา 5.02 มิลลิเมตร หมุนด้วยความเร็วรอบ 1,425 รอบต่อนาที มีล้อในการเคลื่อนที่ 4 ล้อ ช่องใส่เศษกิ่งไม้-ใบไม้ 1 ช่อง ช่องทางออกของเศษที่ย่อยแล้ว 1 ช่อง มีมือจับสำหรับเข็นได้ มีอุปกรณ์ป้องกันชุดใบมีดและสายพาน มีปุ่มหยุดฉุกเฉิน รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องฯ แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้

รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องฯ	ค่าของเครื่อง
ความกว้างของเครื่อง	733 มิลลิเมตร
ความยาวของเครื่อง	1,355 มิลลิเมตร
ความสูงของเครื่อง	1,037 มิลลิเมตร
ขนาดเพลลา	25.40 มิลลิเมตร
ขนาดพูลเลย์ขับ	76.20 มิลลิเมตร

ตารางที่ 5 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ (ต่อ)

รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องฯ	ค่าของเครื่อง
ขนาดพูลเลย์ตาม	152.40 มิลลิเมตร
ขนาดกำลังเครื่องมอเตอร์ไฟฟ้า	2 แรงม้า
อัตราครอบ	2 : 1 รอบ
น้ำหนักของเครื่องฯ	45 กิโลกรัม
ช่องป้อนกิ่งไม้-ใบไม้ (กว้าง x สูง x ลึก)	37.5 x 24 x 24 เซนติเมตร
ขนาดกิ่งไม้ที่ย่อยได้	เส้นผ่านศูนย์กลางไม้เกิน 30 มิลลิเมตร
ต้นทุนวัสดุ	11,640 บาท

4.5 การทดสอบและปรับปรุงแก้ไข

ต้นแบบเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ที่พัฒนาขึ้นได้ทดสอบการทำงาน ของระบบและฟังก์ชันต่างๆ พบว่าสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ใน การทดสอบอัตราการย่อยนั้นได้ทดสอบการทำงานจำนวน 3 ครั้งๆ ละ 1 ชั่วโมง โดยทดสอบการย่อยของเศษวัสดุธรรมชาติ ได้แก่ ต้นคะเน่าเม็กชิโก ต้นกล้วย ต้นข้าวและต้นแสงจันทร์ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม้เกิน 30 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ทดสอบอัตราการย่อยของเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้

ผลการทดสอบพบว่าอัตราการย่อยเฉลี่ยของเครื่องเป็น 72.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง ซึ่งเป็นอัตราการย่อยที่ต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง ผลการทดสอบความพึงพอใจของผู้ใช้งานจำนวน 10 คน พบว่าได้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยเป็น 4.6 จากคะแนนเต็ม 5 อยู่ในเกณฑ์ความพึงพอใจมาก โดยเฉพาะในด้านเครื่องมือโครงสร้างแข็งแรง สามารถย่อยกิ่งไม้ได้หลายขนาดและหลายประเภท เป็น ประเด็นที่ได้รับความพึงพอใจสูงสุด

4. สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาเครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ด้วยการประยุกต์เทคนิคการพัฒนาผลิตภัณฑ์และ QFD เพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องย่อยฯ ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างเป็นระบบและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างแท้จริง โดยได้กำหนดกลุ่มเป้าหมาย ผู้ใช้งานคือ บ้านพักอาศัยที่มีพื้นที่สวน หน่วยงานเอกชนและราชการ ตลอดจนสวนเกษตรขนาดย่อม

เครื่องย่อยกิ่งไม้-ใบไม้ที่พัฒนาขึ้นนี้ มีคุณลักษณะเชิงเทคนิคโดยรวมเป็นไปตามค่าเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดของเครื่องฯ บางประการที่ไม่เป็นไปตามค่าเป้าหมายที่กำหนด ได้แก่ อัตราการย่อยที่ต่ำกว่าค่าเป้าหมาย ขนาดและน้ำหนักของเครื่องฯที่มีค่าสูงกว่าค่าเป้าหมาย ซึ่งประเด็นอัตราการย่อยจริงเป็น 72.1 กิโลกรัม/ชั่วโมง ต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ค่า 100 กิโลกรัม/ชั่วโมง นั้นมีแนวทางการปรับปรุงด้วยการออกแบบช่องบดกิ่งไม้-ใบไม้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อเพิ่มการรับกิ่งไม้-ใบไม้ได้ในปริมาณที่มากขึ้น และการเพิ่มขนาดของใบมีดตัดให้มีพื้นที่ของคมตัดที่มากขึ้น ซึ่งงานวิจัยนี้อาจจะต่อยอดด้วยการประยุกต์ เทคนิค TRIZ และการออกแบบการทดลอง เพื่อกำหนด design parameters ที่เหมาะสม สอดคล้องกับเป้าหมายการออกแบบที่ต้องการให้เครื่องมีน้ำหนักเบาและมีขนาดเล็กแต่มีความทนทานและมีอัตราการย่อยที่สูงขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พรชัย แยมบาน, จริญญา ทวยจันทร์ และทรงศักดิ์ ลือจินดา. 2560. "การพัฒนาเครื่องย่อยกิ่งไม้ ใบไม้." วารสารวิจัยและนวัตกรรมการอาชีวศึกษา, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1: 1-7.
- [2] นุรักษ์ โนนมัย และระพีพรรณ เหล็กหมื่นไวย. 2563. "การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยไม้." วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล, ปีที่ 33, ฉบับที่ 2: 86-94.
- [3] ณพล เหลืองพิพัฒน์สร. 2561. การพัฒนาเครื่องย่อยและอัดหญ้าอาหารสัตว์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [4] ณีฐฎากร จันทนา, ธนะวัตต์ ปรางภู และวชิระ พิมพา. 2561. การออกแบบและสร้างเครื่องย่อยใบไม้และเศษกิ่งไม้. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [5] K.T. Ulrich and S.D. Eppinger. Product design and development, 5th ed., McGraw-Hill, 2012.
- [6] G.E. Dieter and L.C. Schmidt. Engineering Design, 5th ed., McGraw-Hill, 2013.
- [7] มณฑล ศาสนนันท์. การออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อการสร้างสรรค์นวัตกรรมและวิศวกรรมย้อนรอย, พิมพ์ครั้งที่ 2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550.

การปรับปรุงโครงสร้างจุลภาค สมบัติทางกล และความสามารถในการเชื่อมที่แตกต่างกันระหว่าง เหล็กหล่อเหนียว A536 และเหล็กกล้าคาร์บอน A36 ด้วยเทคนิคเชื่อมรองพื้น

Improvement of Microstructure, Mechanical Properties and Weldability of Dissimilar Welding of Ductile Cast Iron A536 and Carbon steel A36 by Buttering Technique

วรศิลป์ พัฒนวิบูลย์ ชนาธิป เหล็กน้ำคอบ ชลลดา เฉ็ดจินดา ทิพย์สุตา เนินริมหนอง ชญานี ทิพยเสมอ
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: chayanee.t@cit.kmutnb.ac.th*

Worasin Pattanavibool, Chanatip Leknamkob, Chonlada Cherdjinda, Tipsuda Noenrimnong, Chayanee Tippayasam
Department of Welding Engineering Technology, College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: chayanee.t@cit.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพของการใช้เทคนิคการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมและการเชื่อมชั้นรองพื้นในการปรับปรุงคุณภาพการเชื่อมและความสามารถในการเชื่อมของรอยเชื่อมที่แตกต่างกันระหว่างเหล็กหล่อ (A536) และเหล็กกล้าคาร์บอน (A36) ในการต่อเรือ เนื่องจากรอยต่อเชื่อมของเหล็กหล่อมีความแข็งแรงสูงประมาณ 700 MPa จึงเหมาะสำหรับการใช้ในงานต่อเรือในส่วนต่อท้าย เช่น เพลลาใบจักร โยงโย และส่วนอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถลดความหนาของชิ้นส่วนลงในขณะที่ยังคงความแข็งแรงและลดน้ำหนักโดยรวมของเรือ อย่างไรก็ตาม ส่วนต่อท้ายเหล่านี้ต้องเชื่อมกับตัวเรือที่ทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนทำให้เกิดการแตกร้าวในแนวเชื่อม การทดลองศึกษาใช้ลักษณะการเชื่อมที่แตกต่างกันดังนี้ (1) เชื่อมโดยไม่ใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้นและไม่มีการให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อม (Control) (2) ให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อมอย่างเดียว (PH) (3) ใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้นอย่างเดียว (BT) และ (4) ใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้นและให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อม (PHBT) ประเมินคุณภาพงานเชื่อมจากการทดสอบชิ้นงานเชื่อมแบบไม่ทำลายสภาพและแบบทำลายสภาพ ผลการวิจัยพบว่า การให้ความร้อนแก่ชิ้นงานก่อนการเชื่อมช่วยปรับปรุงคุณภาพการเชื่อม และลดโอกาสที่จะเกิดการแตกร้าวและข้อบกพร่องอื่นๆ นอกจากนี้ การใช้เทคนิคเชื่อมรองพื้นยังช่วยเพิ่มความสามารถในการเชื่อมและเสริมความแข็งแรงให้กับรอยเชื่อม โดยความหนาของชั้นรองพื้นส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงและความแข็ง โดยการทดสอบการโค้งงอพบว่าชิ้นงานมีพฤติกรรมเป็นวัสดุเปราะ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า การใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้นร่วมกับให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อมช่วยให้แนวเชื่อมแข็งแรงขึ้น โดยมีประสิทธิภาพรอยต่อสูงถึง 90% การศึกษานี้เน้นย้ำถึงความสำคัญของการเชื่อมที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงประสิทธิภาพและความปลอดภัยของโครงสร้างรอยเชื่อม

คำสำคัญ: การเชื่อมที่แตกต่างกัน, เหล็กหล่อ, เหล็กกล้าคาร์บอน, การเชื่อมรองพื้น, การให้ความร้อนก่อนเชื่อม, การซ่อมโยงโย

Abstract

This research investigates the effectiveness of pre-heating and buttering techniques in improving the weld quality and weldability of dissimilar welds between cast iron (A536) and carbon steel (A36) in shipbuilding applications. As the welded joints of cast iron have a high strength of about 700 MPa, making them suitable for use in appendages such as the propeller shaft, strut, and equipment, which can reduce the part thickness while maintaining mechanical strength and reducing the overall weight of the ship. However, welding these appendages with a ship body made from carbon steel can cause cracking in the weld. The experimental study investigated various procedures as follow: (1) Welding without pre-heat and buttering (Control) (2) Welding with preheat (PH) (3) Welding without pre-heat and use the buttering technique (BW) (4) Welding with pre-heat and use the buttering technique (PHBW). Non-destructive testing (NDT) and destructive testing (DT) were used to evaluate the welding quality of the specimens. The results revealed that pre-heating the base metal prior to welding significantly improves the weld quality and reduces the likelihood of cracking and other defects. Additionally, using buttering technique further enhances the weldability and strengthens the welded joint, with the buttering layer thickness impacting the tensile strength and hardness. The preheating did not have a significant effect on the qualities of the welded joint. The fracture type is brittle, as determined by the bend test. Therefore, it can be concluded that using preheating and buttering technique together helps to strengthen the weld with joint efficiency up to 90%. This study highlights the importance of effective welding techniques in improving the performance and safety of welded structures in shipbuilding applications.

Keywords: Dissimilar welding, Cast iron, Carbon steel, Buttering, Preheating, Strut repairing

1. บทนำ

ปัจจุบันเหล็กหล่อ (Cast Iron) เป็นเหล็กที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งในงานก่อสร้างและในงานอุตสาหกรรมต่างๆ เพราะเหล็กหล้อมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับเหล็กกล้า (Steel) แต่มีราคาถูกกว่าสามารถนำมาหล่อขึ้นรูปได้ รับแรงกดน้ำหนักได้มากกว่า อีกทั้งสามารถต้านทานการสึกหรอได้ดี โดยมีข้อดีคือหล่อขึ้นรูปหรือขึ้นชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ง่าย มีความแข็งแรงไม่มากจึงสามารถนำไปตัดเจาะ กิ่งได้ มีการขยายตัวน้อย หดตัวต่ำ ทนต่อการเสียดสี การกัดกร่อน และรับแรงสั่นสะเทือนได้สูง ส่วนข้อเสียเหล็กหลอบางชนิดมีราคาค่อนข้างสูง และมีขั้นตอนและกระบวนการหล่อที่ยุ่งยาก จากข้อดีของเหล็กหล่อทำให้ อุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงนิยมนำเหล็กหล่อมาร่วมกับเหล็กกล้าโดยเฉพาะอุตสาหกรรมท่อเรือ [1-3] โดยปกติแล้ววัสดุสำหรับสร้างโครงสร้างตัวเรือได้แก่เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ เนื่องจากโครงสร้างของตัวเรือนั้นมีลักษณะที่ไม่ซับซ้อนสามารถขึ้นรูปตามลักษณะการออกแบบได้ง่าย แต่วัสดุที่นำมาประกอบนอกเหนือจากโครงสร้างหลักแล้ว จะต้องเป็นชิ้นส่วนที่ต้องใช้การผลิตขึ้นรูปเพื่อให้มีรูปร่าง และคุณสมบัติให้ตรงกับการออกแบบ ดังนั้นชิ้นส่วนดังกล่าวจะนิยมผลิตมาจากเหล็กหล่อ เช่น กระบอกตีฟุต โยงโย่ เนื่องจากเป็นชิ้นส่วนที่มีรูปร่างซับซ้อน และจะต้องสามารถรับแรงสั่นสะเทือนขณะเพลวใบจักรหมุนได้ ดังนั้นการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ เข้ากับโครงสร้างตัวเรือจะเป็นการเชื่อมโลหะที่ต่างชนิดกัน แต่จากสมบัติของวัสดุทั้ง 2 ชนิด การเชื่อมเข้าด้วยกันจะต้องพิจารณาการออกแบบแนวเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อลดโอกาสการเกิดรอยแตกร้าวในแนวเชื่อม

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การให้ความร้อนก่อนการเชื่อมจะช่วยลดการขยายตัวเนื่องจากความร้อนและลดอัตราการเย็นตัว (Cooling rate) ในบริเวณฟิวชันโซน (Fusion zone) และโซนผลกระทบร้อน (Heat affected zone, HAZ) เนื่องจากอัตราการเย็นตัวส่งผลต่อการก่อตัวของคาร์ไบด์ (Carbide) และมาร์เทนไซต์ (Martensite) ทำให้เกิดรอยร้าวในบริเวณรอยเชื่อม [4, 5] นอกจากนี้ เทคนิคการเชื่อมรองพื้น (Buttering Technique) ยังช่วยป้องกันการแพร่ของคาร์บอนจาก HAZ ไปยังบริเวณรอยเชื่อม (Weld zone) ระหว่างการเชื่อม ซึ่งเสี่ยงต่อการเกิดรอยร้าวสูง การใช้อิเล็กโทรดโลหะผสมนิกเกิล (Ni base electrode) เชื่อมด้านเหล็กหล่อเรียกว่าชั้นรองพื้น ช่วยลดการแพร่ของคาร์บอน โดยนิกเกิลยังมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำกว่า ช่วยลดความเครียดและเพิ่มความต้านทานต่อการแตกร้าวได้ จึงทำให้โครงสร้างคาร์ไบด์เกิดขึ้นน้อยลง [2, 6] ดังนั้น การศึกษาความเค้น ความแข็ง และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในบริเวณรอยเชื่อมจึงมีความสำคัญ เนื่องจากวัฏจักรความร้อน (Thermal cycle) ที่เกิดขึ้นระหว่างการเชื่อมจะส่งเสริมให้เกิดบริเวณ HAZ ใกล้กับรอยเชื่อม [7]

ดังนั้นผู้จัดทำจึงเสนอเปรียบเทียบสมบัติทางกล และโครงสร้างทางโลหะวิทยาของแนวเชื่อมวัสดุ A536 กับ A36 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กลวดไส้ฟลักซ์โดยใช้เทคนิคเชื่อมชั้นรองพื้นและการให้ความร้อนก่อนการเชื่อม การศึกษานี้เน้นให้เห็นถึงความสำคัญของเทคนิค

การเชื่อมที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพและความปลอดภัยของโครงสร้างรอยเชื่อม ให้คำแนะนำในทางปฏิบัติสำหรับการเชื่อมวัสดุที่แตกต่างกัน และแสดงให้เห็นว่าเทคนิคเชื่อมชั้นรองพื้นและการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมสามารถปรับปรุงคุณภาพการเชื่อมความสามารถในการเชื่อม และสมบัติเชิงกล การค้นพบนี้มีผลในทางปฏิบัติสำหรับอุตสาหกรรมการต่อเรือ ซึ่งมีการใช้เหล็กหล่อและเหล็กกล้าคาร์บอนในส่วนต่อเป็นเรื่องปกติ เนื่องจากคุณภาพการเชื่อมมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อความปลอดภัยของเรือ

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์

เหล็กหล่อเหนียว A536 ขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ความหนา 10 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแข็งแรงดึง (Tensile strength) 448 MPa และเหล็กกล้าคาร์บอน A36 ขนาดกว้าง 150 มิลลิเมตร ยาว 150 มิลลิเมตร ความหนา 9 มิลลิเมตร ซึ่งมีความแข็งแรงดึง 400-550 MPa โดยมีส่วนผสมทางเคมี แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของเหล็กหล่อเหนียว A536 และเหล็กกล้าคาร์บอน A36

Materials	Chemical Compositions (%)										
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	P	S	Co	Mg
A536	3.83	0.28	2.66	0.038	0.27	0.007	0.278	0.022	0.012	0.0024	0.024
A36	0.26	1.03	0.28	-	-	-	0.20	0.04	0.05	-	-

ลวดเชื่อมหรือโลหะเติมที่ใช้ในงานมี 2 ชนิดได้แก่ ลวดเชื่อมเหล็กหล่อ NiCast98 (YAWATA) ขนาด 3.2 มิลลิเมตร และลวดเชื่อม AWS A5.20 E71T-1 ขนาด 1.2 มิลลิเมตร โดยมีส่วนผสมทางเคมี ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อม

Electrode Type	Chemical Compositions (%)					
	C	Mn	Ni	Si	P	S
E71T-1	0.048	1.220	-	0.380	0.012	0.0038
NiCast98	0.430	0.150	97.800	-	-	-

2.2 การเตรียมชิ้นงานและการดำเนินการเชื่อม

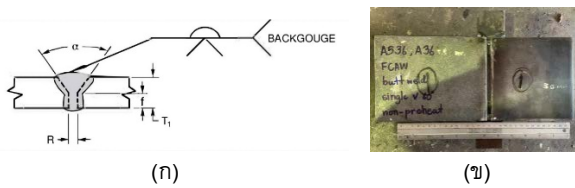
เตรียมชิ้นงานเป็นแบบต่อชนบาร์องตัววี (Single-V) ใช้มุมต่อชน (Groove angle) 60 องศา เปิดหน้า (Root face) 2 มิลลิเมตร และเว้นช่องว่าง (Root opening) 2 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 โดยกระบวนการเชื่อมที่ใช้ในการทดสอบคือ FCAW และ SMAW เชื่อมชิ้นงาน 4 รูปแบบที่แตกต่างกัน โดยเชื่อมรูปแบบละ 3 คู่ ดังนี้

- (1) เชื่อมโดยไม่ใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้นและไม่มีการให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อม (Control)
- (2) ให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อมอย่างเดียว (PH) มีการให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อม 200 องศาเซลเซียส

(3) ใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้นอย่างเดียว (BT) ทำการเชื่อมรองพื้น ผิวด้านหลังของแผ่นเหล็ก A536 ด้วยกระบวนการ SMAW จำนวน 1 แนวเชื่อม

(4) ใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้นและให้ความร้อนขึ้นงานก่อนการเชื่อม (PHBT) มีการให้ความร้อนขึ้นงานก่อนการเชื่อม 200 องศาเซลเซียสและทำการเชื่อมรองพื้นผิวด้านหลังของแผ่นเหล็ก A536 ด้วยกระบวนการ SMAW จำนวน 1 แนวเชื่อม

จากนั้นทำการเชื่อมต่อขึ้นงานด้วยกระบวนการ FCAW จำนวน 3 แนวเชื่อม ทำการเจาะร่องด้านหลังลึก 5 มิลลิเมตร แล้วเชื่อมอีก 2 แนวรูปที่ 1 แสดงการออกแบบรอยต่อเชื่อมขึ้นงานและพารามิเตอร์ในการเชื่อมแสดงดังตารางที่ 3



รูปที่ 1 (ก) การออกแบบรอยต่อเชื่อมขึ้นงาน และ (ข) การจับยึดขึ้นงานในแนวระนาบ

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์ในการเชื่อม

Welding Process	Electrode Size (mm)	Ampere	Volt	Shielding Gas	Flow Rate (L/min)	Travel Speed (mm/min)
FCAW	1.2	150 -200	25.4	CO ₂	15	180 - 300
SMAW	3.2	80-120	23.6	-	-	150 - 200

2.3 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพและทำลายสภาพ

จะดำเนินการตรวจสอบตามมาตรฐาน AWS D1.1 (2000) และ AWS 11.2-89 (R2006) [8, 9] แบ่งเป็น

2.3.1 ตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมด้วยการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing)

2.3.1.1 การตรวจพินิจ (Visual testing, VT) โดยนำชิ้นงานไปทำความสะอาด แล้วจึงทำการตรวจสอบรอยบกพร่อง ความกว้างและระยะการซึมลึกของแนวเชื่อมด้วยสายตา

2.3.1.2 การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (Penetrant testing, PT) เพื่อทำการตรวจสอบรอยบกพร่องในแนวเชื่อม โดยทำความสะอาดชิ้นงาน, ฟันสารแทรกซึม (Penetrant) ทิ้งไว้ 10-15 นาที และเช็ดออกและฟันท้ายปฏิบัติการ (Developer) ทิ้งไว้ 10 นาที เพื่อให้ปฏิบัติการกับน้ำยาแทรกซึม เพื่อให้เห็นรอยบกพร่อง และบันทึกผลแล้วนำมาเทียบตามเกณฑ์การยอมรับ

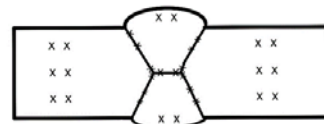
2.3.1.3 การตรวจด้วยการถ่ายภาพรังสี (Radiographic testing, RT) เป็นการตรวจสอบโดยอาศัยคุณสมบัติเฉพาะของรังสีที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอำนาจทะลุทะลวงวัสดุ โดยจะฉายทะลุชิ้นงานที่ต้องการจะตรวจสอบลงไปยังแผ่นฟิล์มที่ไวต่อรังสี โดยอาศัยหลักการ

ความหนาแน่นของวัสดุ หลังจากได้แผ่นฟิล์มมาแล้วให้นำแผ่นฟิล์มเข้าเครื่องสแกนเพื่อแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์ แล้วทำการบันทึกผล

2.3.2 ตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อมด้วยการตรวจสอบแบบทำลายสภาพ (Destructive Testing) เป็นการตรวจสอบสมบัติทางกล (Mechanical Properties) ได้แก่ การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing) การทดสอบแบบการโค้งตัว (Bend Testing)

2.3.2.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) ทำการตัดชิ้นงานด้วยให้ได้ขนาดความยาว 250 มิลลิเมตร ความกว้าง 31 มิลลิเมตร จำนวน 8 ชิ้น ด้วยเครื่องตัดด้วยลวด DK7730 และใช้เครื่องทดสอบ Universal testing machine ดึงชิ้นงานจนขาดออกจากกัน จากนั้นทำการบันทึกผล และคำนวณค่าประสิทธิภาพแนวเชื่อม (Joint Efficiency)

2.3.2.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing) ซึ่งใช้แรงกดทดสอบที่ 500 กรัมแรง โดยใช้เวลาในการกดที่ 10 วินาที โดยทำการทดสอบเริ่มจากบริเวณโลหะพื้นเหล็กหล่อ A536 บริเวณกระแทกร้อนระหว่าง A536 กับเนื้อเชื่อม บริเวณเนื้อเชื่อม บริเวณกระแทกร้อนระหว่าง A36 กับเนื้อเชื่อม และบริเวณเนื้อโลหะเหล็กกล้าคาร์บอน A36 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งในการทดสอบค่าความแข็ง

2.3.2.3 การทดสอบแบบการโค้งตัว (Bend Testing) ทำการตัดชิ้นงานด้วยความยาว 150 มิลลิเมตร ความกว้าง 40 มิลลิเมตร ทำการเจียรในแนวเชื่อมให้เรียบเสมอกับผิวชิ้นงาน จากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องตัดโค้ง แบบ V-Block Bending Method

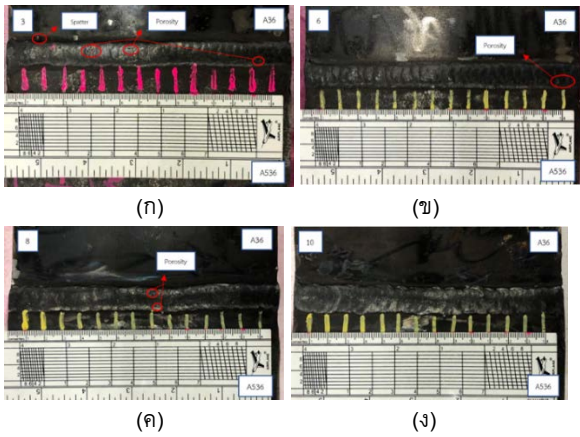
2.3.3 ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

เป็นการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบประเภทของโครงสร้าง, บริเวณผลกระแทกร้อนจากการเชื่อม เส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย (Fusion Line) เนื้อเชื่อม เป็นต้น

3. ผลการตรวจสอบคุณภาพงานเชื่อม

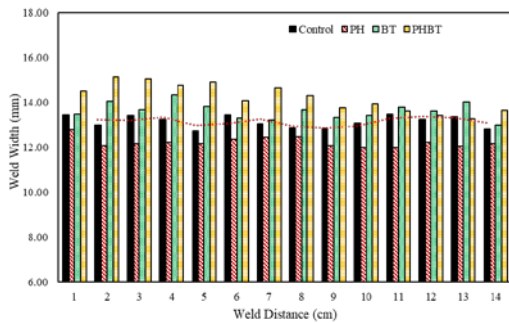
3.1 กระบวนการตรวจพินิจ (Visual Testing, VT)

จากการตรวจสอบชิ้นงานทดสอบทั้ง 12 ชิ้นด้วยวิธีพินิจพบว่าชิ้นงานทดสอบจำนวน 5 ชิ้นมีข้อบกพร่องประเภท Spatter และ Porosity ชิ้นงานทดสอบจำนวน 6 ชิ้นมีข้อบกพร่องประเภท Porosity และไม่มีข้อบกพร่องจำนวน 1 ชิ้น ซึ่งชิ้นงานทดสอบทั้งหมดไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานการยอมรับตามมาตรฐาน AWS D1.1 และ AWS 11.2-89 ดังตัวอย่างตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 ชั้นงานทดสอบตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ (ก) Control (ข) PH (ค) BT และ (ง) PHBT

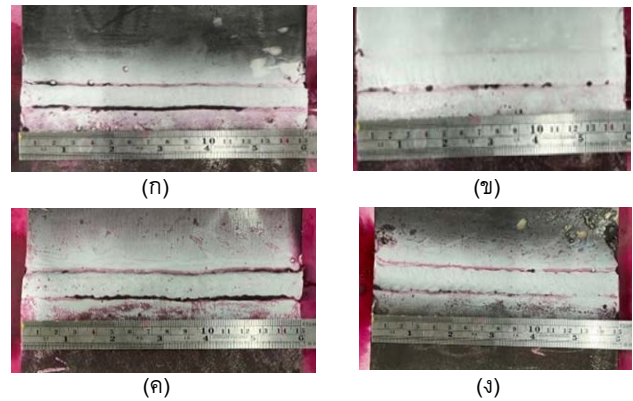
ความหนาของแนวเชื่อมที่วัดมีค่าประมาณ 3 มิลลิเมตร ความกว้างที่วัดแสดงดังรูปที่ 4 โดยมีค่าเฉลี่ย 13.63 ± 2.55 มิลลิเมตร โดยมีค่าสูงสุด 16.18 มิลลิเมตร และน้อยสุด 11.08 มิลลิเมตร ชั้นงาน PHBT มีความกว้างแนวเชื่อมมากกว่าชั้นงานอื่นๆ และชั้นงาน PH มีค่าความกว้างแนวเชื่อมต่ำที่สุด



รูปที่ 4 ความกว้างแนวเชื่อม

3.2 การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (Penetrant Testing, PT)

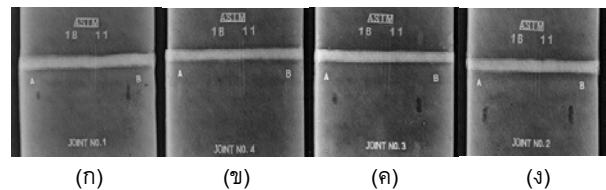
จากการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึมแสดงในรูปที่ 5 พบว่าชั้นงานทดสอบจำนวน 7 ชั้นพบข้อบกพร่องประเภท Overlap และไม่พบข้อบกพร่องจำนวน 4 ชั้น ซึ่งผ่านเกณฑ์การยอมรับ และพบชั้นงานทดสอบจำนวน 1 ชั้น เกิดข้อบกพร่องประเภท Overlap และPorosity ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับ ดังนั้นจากชั้นงานทดสอบจำนวน 12 ชั้น ผ่านเกณฑ์การยอมรับจำนวน 11 ชั้น และไม่ผ่านเกณฑ์การยอมรับจำนวน 1 ชั้น ซึ่งเกิดจากการควบคุมงานเชื่อมไม่ดี หรือผิวหน้าของวัสดุมีออกไซด์ ชั้นงานบางชั้นเกิดจากการเจียรทำให้เกิดเป็นร่อง หรือเกิดจากการทำความสะอาดสารแทรกซึมได้ไม่หมด ดังตัวอย่างตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 ชั้นงานทดสอบตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (ก) Control (ข) PH (ค) BT และ (ง) PHBT

3.2 การตรวจสอบการถ่ายภาพรังสี (Radiographic Testing, RT)

จากมาตรฐาน AWS D1.1 ได้มีการกำหนดไว้ว่าการตรวจสอบงานเชื่อมที่ปรากฏในการถ่ายภาพรังสี จะต้องปราศจากลักษณะรอยบกพร่อง (Defect) ที่เป็นข้อห้ามตามข้อกำหนด เช่น รอยแตก ร้าว การหลอมละลายไม่สมบูรณ์ จุดบกพร่องแบบเส้นระนาบ เป็นต้น ดังนั้นการตรวจสอบภาพถ่ายด้วยรังสีนั้น ไม่พบจุดบกพร่องวิกฤตของทั้ง 4 ชั้นงานผ่านการยอมรับตามมาตรฐาน



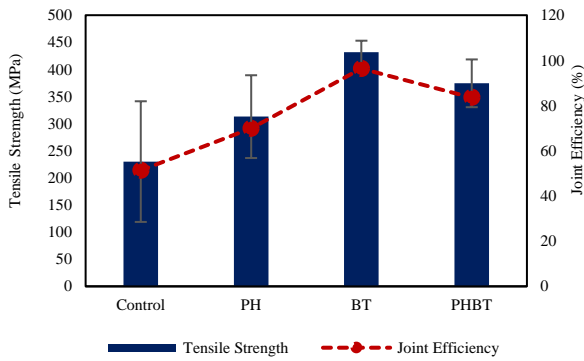
รูปที่ 6 ภาพถ่ายฟิล์ม (ก) Control (ข) PH (ค) BT และ (ง) PHBT

4. ผลการตรวจสอบสมบัติทางกล

4.1 ผลการตรวจสอบแรงดึง (Tensile Testing)

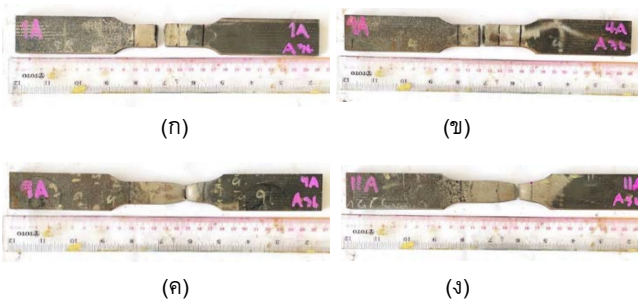
จากความต้านทานแรงดึงของวัสดุ A536 มีค่า 448 MPa และวัสดุ A36 มีค่าประมาณ 475 MPa ในการคำนวณค่าประสิทธิภาพรอยต่อนั้น จะใช้ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุพื้นที่สูงกว่า ในงานนี้จึงใช้ค่าความแข็งแรงดึงของวัสดุ A36 จากการทดสอบ พบว่า การเชื่อม Control และการเชื่อม PH มีค่าความต้านทานแรงดึงของแนวเชื่อมต่ำกว่าค่าความต้านทานแรงดึงของวัสดุ และมีค่าประสิทธิภาพรอยต่อต่ำกว่า 80% โดยมีค่าเท่ากับ 51.35% และ 69.86% ตามลำดับ สำหรับการเชื่อม BT และการเชื่อม PHBT มีค่าประสิทธิภาพรอยต่อที่มากกว่า 80% ซึ่งมีความแข็งแรงเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน โดยมีค่าประสิทธิภาพรอยต่อเท่ากับ 96.37% และ 83.58% ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานแรงดึงและประสิทธิภาพรอยต่อแสดงดังรูปที่ 7 โดยค่าประสิทธิภาพรอยต่อคำนวณจากสมการต่อไปนี้

$$\text{Joint efficiency (\%)} = \frac{\text{Tensile strength (Weldment)}}{\text{Maximum tensile strength (Base metal)}} \times 100\% \quad (1)$$



รูปที่ 7 ผลการทดสอบแรงดึง

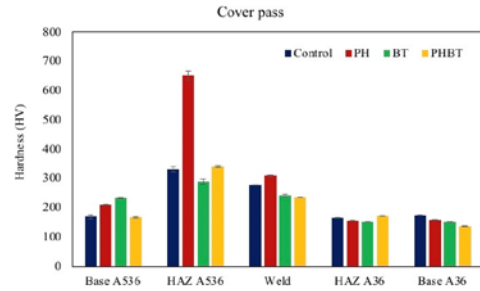
จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าชิ้นงาน Control และ PH เกิดการขาดบริเวณผลกระทบร้อน (HAZ) ฝั่งวัสดุ A536 เนื่องจากวัสดุมีค่าความแข็งสูงที่บริเวณ HAZ จึงมีความเปราะสูง ความสามารถในการยึดตัวต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความแข็งดังแสดงในรูปที่ 9-11 สำหรับชิ้นงาน BT และ PHBT ชิ้นงานได้ขาดที่บริเวณวัสดุ A36 แสดงว่ารูปแบบการเชื่อมที่มีการเชื่อมรองพื้นช่วยลดค่าความแข็งลง และช่วยเพิ่มความต้านทานแรงดึงให้กับชิ้นงานเชื่อม เนื่องจากชั้นเชื่อมรองพื้นที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อม Nicast 98 ช่วยลดการแพร่ของคาร์บอน โดยนักเกลี้ยงมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนต่ำ ทำให้ช่วยลดความเครียดและเพิ่มความต้านทานต่อการแตกร้าวได้



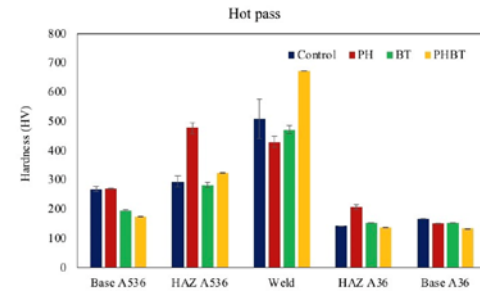
รูปที่ 8 ชิ้นงานทดสอบตรวจสอบด้วยการตรวจสอบแรงดึง (ก) Control (ข) PH (ค) BT และ (ง) PHBT

4.2 การทดสอบความแข็ง (Hardness Testing)

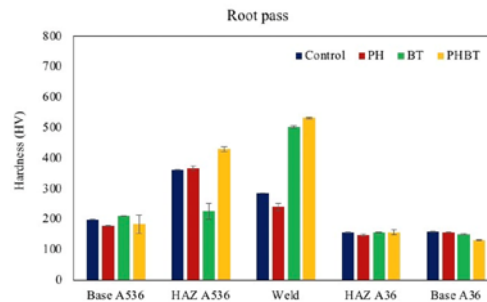
พบว่า การทดสอบการเชื่อมเข้าด้วยกันของวัสดุ A536 กับวัสดุ A36 ทั้ง 4 รูปแบบ ไม่ส่งผลกระทบต่อทางวัสดุ A36 แต่จะส่งผลกระทบต่อทางวัสดุ A536 ซึ่งเป็นหลักหล่อ โดยค่าความแข็งเฉลี่ยในแต่ละจุดมีค่าความแข็งมากขึ้น ในเนื้อเชื่อมของชิ้นงานเชื่อม BT และเนื้อเชื่อมของ PHBT มีค่าความแข็งที่มากกว่าเนื้อเชื่อมของ Control และเนื้อเชื่อมของชิ้นงาน PH สรุปได้ว่า การใช้เทคนิคการเชื่อมรองพื้น ส่งผลอย่างมากต่อค่าความแข็งของชิ้นงาน และการให้ความร้อนชิ้นงานก่อนการเชื่อมนั้นส่งผลแต่ไม่เป็นนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 9-11



รูปที่ 9 แสดงค่าความแข็งของแนวเชื่อมบริเวณ Cover pass



รูปที่ 10 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมบริเวณ Hot pass



รูปที่ 11 ค่าความแข็งของแนวเชื่อมบริเวณ Root pass

4.3 การตรวจสอบการดัดงอ (Bend Testing)

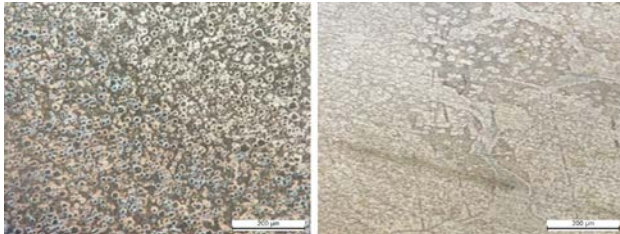
ตารางที่ 4 แสดงผลการแตกหักจากการทดสอบดัดงอ ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความเหนียวของวัสดุ ชิ้นงานที่ทำการทดสอบมีการแตกหักบริเวณผลกระทบร้อนฝั่งวัสดุ A536 และเป็นการแตกแบบเปราะ เนื่องจากโครงสร้างของวัสดุ A536 เป็นวัสดุที่มีคาร์บอนสูงกว่าของวัสดุ A36

ตารางที่ 4 ผลการแตกหักจากการทดสอบดัดงอ

	Control	PH	BT	PHBT
ก่อนนำไปทดสอบ				
หลังทำการทดสอบ				
ผลการทดสอบ	ขาดที่ผลกระทบร้อนฝั่งวัสดุ A536	ขาดที่ผลกระทบร้อนฝั่งวัสดุ A536	ขาดที่ผลกระทบร้อนฝั่งวัสดุ A536	ขาดที่ผลกระทบร้อนฝั่งวัสดุ A536

4.4 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

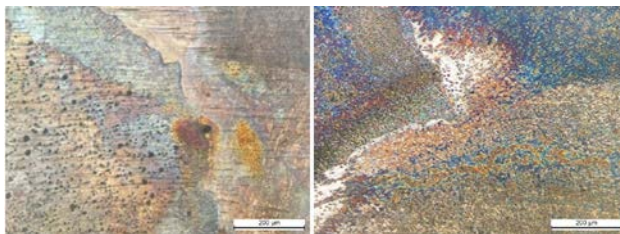
โครงสร้างจุลภาคของวัสดุ A536 (รูปที่ 12ก) มีลักษณะเป็นแกรไฟต์ก่อนกลมแทรกอยู่บนโครงสร้างเฟอร์ไรท์ (Ferrite) และเพิร์ลไลต์ (Pearlite) และโครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน A36 (รูปที่ 12ข) ประกอบไปด้วยโครงสร้างเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลต์



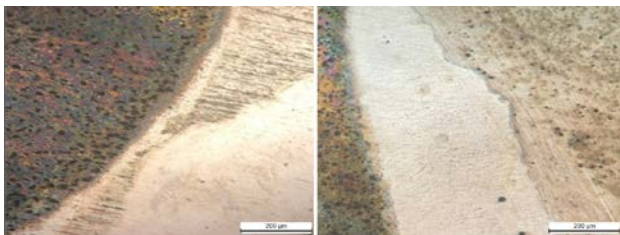
(ก) (ข)

รูปที่ 12 (ก) โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณวัสดุ A536 และ (ข) โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณวัสดุ A36

โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อนของวัสดุ A536 จะเห็นได้ว่าชั้นของการทำ Preheat (รูปที่ 13ข) มีการหลอมละลายเข้ากันกับเนื้อวัสดุ A536 ได้ดีกว่าชั้นงาน Control (รูปที่ 13ก) และชั้นงาน BT (รูปที่ 13ค) และชั้นงาน PHBT (รูปที่ 13ง) มีความหนาของชั้นเชื่อมรองพื้นหนาบางไม่เท่ากันตลอดแนว โดยชั้นงาน BT มีความหนา 2.219 มิลลิเมตร และชั้นงาน PHBT มีความหนา 1.377 มิลลิเมตร จึงส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงและความเหนียวของงานเชื่อมอีกด้วย

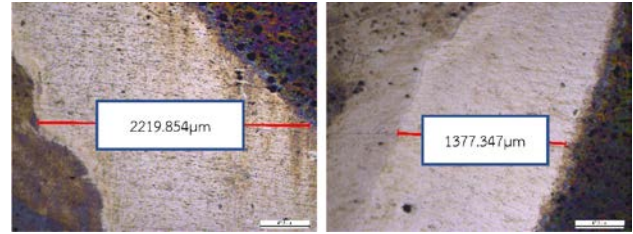


(ก) (ข)



(ค) (ง)

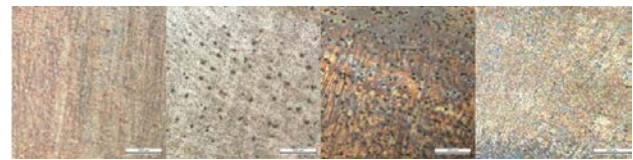
รูปที่ 13 โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณผลกระทบร้อนของวัสดุ A536
(ก) Control (ข) PH (ค) BT และ (ง) PHBT



(ก) (ข)

รูปที่ 14 ความหนาของชั้นเชื่อม (ก) การเชื่อม BT (ข) การเชื่อม PHBT

โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อมแสดงโครงสร้างเฟสเฟอร์ไรท์และเพิร์ลไลต์ โดยชั้นงาน Control (รูปที่ 13ก) และชั้นงาน PH (รูปที่ 13ข) ไม่เห็นการกระจายตัวของแกรไฟต์ ในขณะที่ชั้นงาน BT (รูปที่ 13ค) และชั้นงาน PHBT (รูปที่ 13ง) มีแกรไฟต์ที่ถูกละลายจากชั้นแนวเชื่อมรองพื้นที่ยึดด้วยลวดเชื่อมที่กลายเป็นเม็ดเล็ก ๆ กระจายไปทั่วเนื้อเชื่อมอย่างสม่ำเสมอ [5] โดยจะเห็นได้ชัดว่าชั้นงาน BT มีแกรไฟต์ที่เป็นเม็ดกลมกว่าและกระจายตัวได้มากกว่า



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 15 โครงสร้างทางจุลภาคบริเวณเนื้อเชื่อม (ก) Control (ข) PH (ค) BT และ (ง) PHBT

5. สรุปผล

5.1 การตรวจสอบคุณภาพแนวเชื่อมด้วยการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพ พบว่าชั้นงานทดสอบทั้งหมดมีข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นในชั้นงานได้แก่ มี Spatter Porosity และ Overlap บริเวณแนวเชื่อม แต่ข้อบกพร่องดังกล่าวทั้งหมดนั้นอยู่ในเกณฑ์การยอมรับ ตามมาตรฐาน AWS D1.1

5.2 การตรวจสอบคุณสมบัติทางกลด้วยการตรวจสอบแบบทำลายสภาพ พบว่า การเชื่อม BT และ การเชื่อม PHBT มีค่าความต้านทานแรงดึง และค่าความแข็ง สูงกว่าการเชื่อม Control และการเชื่อมแบบ PH ส่วน การทดสอบการโค้งตัวชั้นงานทั้งหมดมีการแตกหักบริเวณผลกระทบร้อน (HAZ) ฝั่งวัสดุ A536 และเป็นการแตกแบบเปราะ

5.3 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค พบว่าการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมส่งผลต่อขนาดของเกรน และส่งต่อความหนาและขนาดของแนวเชื่อม ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติทางกลของแนวเชื่อม จึงควรมีการควบคุมขนาดความหนาของแนวเชื่อมรองพื้นให้เท่ากันตลอดแนวเชื่อม

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนเป็นอย่างดีจากคณาจารย์ และบุคลากรหลายฝ่าย ของภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยี

อุตสาหกรรม ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ รวมถึงภาควิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ม.เกษตรศาสตร์ และอุสาหกรรมเรือธนบุรี กรมอุสาหกรรมเรือ ที่กรุณาสนับสนุนสถานที่ การทดสอบ และการตรวจสอบในลักษณะต่างๆ จนกระทั่งจบกระบวนการดำเนินงาน และทำให้ได้รับผลการศึกษาดังตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.El Shennawy and A.A. Omar. Similar and Dissimilar Welding of Ductile Cast Iron. Proceedings of the 36th International MATADOR Conference. 2010. 14 July 2010, London, England.
- [2] C. Carrasco, F. Javier, M.A.P. Puig, M.P. Guillaumon and R.P. Martinez. 2016. "An Analysis of the Weldability of Ductile Cast Iron Using Inconel 625 for the Root Weld and Electrodes Coated in 97.6% Nickel for the Filler Welds". Met., Vol. 6 (11): 283-296.
- [3] Metals Handbook, Properties and Selection: Irons Steels and High Performance Alloys, 9th ed., ASM, Metals park, 1993.
- [4] M. Pascual, J. Cembrero, F. Salas and M. Pascual Martines. 2008. "Analysis of the weldability of ductile iron". Mater. Lett., Vol. 62 : 1359-1362.
- [5] K. Sedat. 2007. "The effect of the welding temperature on the weldability in diffusion welding of martensitic (AISI 420) stainless steel with ductile (spheroidal graphite-nodular) cast iron". J. Mat. Proc. Tech., Vol. 186 : 33-36.
- [6] W. Winarto, M. Anis and T. Hertanto. 2013. "Mechanical Properties and Microstructure of Welded Dissimilar Metals Using Buttering and Non-Buttering Layer". Adv. Mater. Res., Vol. 789: 341-346.
- [7] S. Kozulin, I. Lychko, T. Maydanchuk, V. Ilyushenko and E. Lukianchenko. 2022. "Influence of thermal cycles of repair electroslag welding on the structure and mechanical properties of joints of cast medium carbon steels". Procedia Struct. Integr., Vol. 36 : 247-253.
- [8] An American National Standard. AWS D1.1 : 2000 Structural Welding Code – Steel, 17th ed., American Welding Society, 2000.
- [9] An American National Standard. ANSI/AWS D11.2-89 (R2006) Guide for Welding Iron Castings, American Welding Society, 2006.

ปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย : แนวทางการวิเคราะห์องค์ประกอบ

Factors Influencing Electric Vehicle Use in Thailand : Factor Analysis Approach

ธนรัตน์ บริสุทธิ์ พิศิษฐ์ จารุมณีโรจน์

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6470343321@student.chula.ac.th*

Tanarat Borisuth, Pisit Jarumaneeroj

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Chulalongkorn University

E-mail: 6470343321@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันจำนวนผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยเติบโตขึ้นอย่างก้าวกระโดด แต่ก็ยังมีจำนวนไม่มากนัก เมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้งานรถยนต์แบบสันดาปที่มีมาแต่ดั้งเดิม ซึ่งปัญหาดังกล่าวอาจมีที่มาจากหลากหลายปัจจัย งานวิจัยนี้จึงถูกจัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งอิทธิพล และมีผลกระทบต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ตลอดจนเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกัน โดยมุ่งเน้นไปที่สามปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า ปัจจัยการตัดสินใจที่มีผลต่อการซื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า และปัจจัยเชิงนโยบายที่ส่งผลกระทบต่อ การซื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณซึ่งใช้แบบสอบถามในการเก็บข้อมูลจากผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่างสำหรับการทดสอบเบื้องต้น จำนวน 30 ตัวอย่าง จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติ และการวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) ผลการวิจัยพบว่า สำหรับปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า ผู้ใช้งานมีความสนใจในเรื่องความกังวลทางด้านสิ่งแวดล้อมเป็นหลัก ในขณะที่ปัจจัยการตัดสินใจที่มีผลต่อการซื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า ผู้ใช้งานมีความสนใจในเรื่องของเทคโนโลยีที่มุ่งเน้นไปที่เทคโนโลยีความปลอดภัยของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นหลัก สำหรับปัจจัยเชิงนโยบายที่ส่งผลกระทบต่อ การซื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า ผู้ใช้งานมีความสนใจในเรื่องการส่งเสริมทางการตลาดของรถยนต์ไฟฟ้า ในส่วนของการรับประกันแบตเตอรี่ที่ยาวนาน นอกจากนี้ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบสามารถจัดกลุ่มองค์ประกอบปัจจัยใหม่ได้เท่ากับ 9, 9 และ 4 องค์ประกอบ ตามลำดับสำหรับปัจจัยหลักแต่ละด้าน ผู้วิจัยคาดว่า ผลที่ได้จากการวิจัยจะเป็นประโยชน์ในการกำหนด พัฒนา และปรับปรุงนโยบายของภาครัฐบาล และเอกชนในการส่งเสริมการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้า ตลอดจนการส่งเสริมภาคอุตสาหกรรมการผลิต และการลงทุนในธุรกิจรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยให้ยั่งยืนต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: รถยนต์ไฟฟ้า, การยอมรับเทคโนโลยี, การตัดสินใจเลือก, นโยบาย, การวิเคราะห์องค์ประกอบ

Abstract

Currently, the number of electric vehicle users in Thailand has grown exponentially, but it is still fewer compared to the number of Internal combustion vehicle users due to several factors. This study is thence conducted to study the influencing factors that affect the use of electric vehicles in Thailand, together with the relationships among influencing factors in three main areas, namely the technology acceptance of electric vehicles, the decision making to purchase-and-use electric vehicles, and policies that affect the decision making to purchase-and-use electric vehicles. This research is a quantitative research that utilizes questionnaires in the data collection process, in which 30 electric vehicle users are randomly sampled in a pilot test. The collected data are later analyzed by descriptive statistical and factor analysis methods. Our computational results indicate that, for the technology acceptance aspect, users mainly focus on environmental concerns, while they are more concerned in safety and battery life issues in the latter two domains, respectively. Furthermore, the results from factor analysis show that, among a number of investigated factors, they could be combined and grouped into 9, 9 and 4 groups for technology acceptance, decision making to purchase-and-use electric vehicles, and policies that affect the decision making to purchase-and-use electric vehicles, respectively. We expect that the results of this study would provide valuable insights and so guidelines for the development of policies by both public and private sectors that enhances the use of electric vehicles in Thailand in a sustainable fashion.

Keywords: Electric vehicle, Technology acceptance, Decision-making, Policy, Factor analysis

1. บทนำ

ในปัจจุบัน หลายๆ ประเทศรวมถึงประเทศไทย ได้ให้ความสำคัญกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืน (Sustainable Development Goals : SDGs) และเตรียมตัวที่จะเข้าสู่สังคมการปล่อยมลพิษเป็นศูนย์ (Zero Emission) เพื่อที่จะนำพาสังคม และประเทศชาติของตนสู่สังคมคาร์บอนต่ำที่พึ่งพาพลังงานสะอาดเป็นหลัก [1]

สำหรับกระแสพลังงานสะอาดที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คงไม่พ้นกระแสพลังงานสะอาดอย่าง "รถยนต์ไฟฟ้า" ที่มีการเติบโตอย่างก้าวกระโดด โดยในประเทศไทยมียอดการจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นกว่า 100% ในรถยนต์ไฟฟ้าประเภทต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นรถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle : HEV) รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด (Plug-in Hybrid Electric Vehicle : PHEV) และรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle : BEV) [2] สำหรับรถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง (Fuel Cell Electric Vehicle : FCEV) นั้น ถึงแม้จะยังไม่มีการจดทะเบียนใช้จริงภายในประเทศ แต่ก็เป็นที่น่าจับตามองสำหรับอนาคตอันใกล้ เช่นเดียวกับกับรถยนต์ไฟฟ้าหลายประเภทก่อนหน้านี้ ที่มีการเติบโตอย่างก้าวกระโดด

ในมุมมองของผู้บริโภคในปัจจุบัน รถยนต์ไฟฟ้าเป็นที่ยอมรับในผู้ใช้งานมากขึ้น เนื่องจากมีเทคโนโลยีการขับขี่ เทคโนโลยีความปลอดภัย และนวัตกรรมที่ดีขึ้นกว่าแต่ก่อนมาก ภายใต้ระดับราคาที่หลากหลายให้เลือกพิจารณาตามความสนใจ โครงสร้างพื้นฐาน อย่างสถานีชาร์จไฟฟ้าก็มีจำนวนการให้บริการที่ครอบคลุม อีกทั้งยังได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐบาล เช่น การลดภาษี หรือการสร้างจุดชาร์จเพิ่มเติม โดยมีเป้าหมายว่า ในปี พ.ศ. 2573 ประเทศไทยจะเปลี่ยนรถยนต์ทั้งหมดภายในประเทศให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้าให้ได้มากกว่า 30% และพร้อมที่จะเป็นฐานการผลิตรถยนต์ไฟฟ้าและชิ้นส่วนรถยนต์ไฟฟ้าที่จำหน่ายทั้งใน และต่างประเทศอีกด้วย [3]

ถึงแม้ว่าจำนวนผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยจะเติบโตขึ้นอย่างก้าวกระโดด แต่ก็ยังถือว่าเป็นจำนวนที่ไม่มากนัก เมื่อเทียบกับจำนวนผู้ใช้งานรถยนต์แบบสันดาปที่มีมาแต่ดั้งเดิม รถยนต์ไฟฟ้าบางประเภทก็มีการจำหน่ายมาสักระยะหนึ่ง หากแต่ไม่ได้รับความนิยมมากนัก ซึ่งปัญหาเหล่านี้ อาจเกิดขึ้นจากหลากหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็นนโยบายจากทางภาครัฐที่ไม่ดึงดูดความสนใจของประชาชน ทั้งในเรื่องของการลดภาษี เงินอุดหนุน สิทธิพิเศษ สถานีบริการชาร์จไฟฟ้าขั้นพื้นฐาน หรืออาจเกิดขึ้นจากภาคอุตสาหกรรมเองที่ไม่สามารถจัดสรรคุณสมบัติ หรือรูปแบบของรถยนต์ไฟฟ้าที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากนี้การโฆษณา โปรโมชัน ระยะเวลา และรูปแบบการรับประกัน อาจยังไม่ดีพอ และไม่ครอบคลุมทั่วถึงถึงกลุ่มผู้ใช้งานทั้งหมด ทั้งนี้ปัญหาดังกล่าวอาจเกิดขึ้นจากอิทธิพลของการยอมรับเทคโนโลยีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าที่มาจากตัวของผู้ใช้งานเอง ที่ยังขาดความรู้ ความเข้าใจที่ถูกต้องในข้อดีและข้อเสียของการใช้รถยนต์ไฟฟ้าได้อีกด้วย

จากที่กล่าวมา จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่มุ่งเน้นศึกษาปัจจัยที่ส่งอิทธิพลต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าของผู้บริโภคในประเทศไทย เพื่อที่จะ

วิเคราะห์ถึงสาเหตุ และผลกระทบของการใช้งาน อันจะนำไปสู่การพัฒนา ปรับปรุง กำหนด และส่งเสริมนโยบายต่างๆ ของภาครัฐ และเอกชนต่อไปในอนาคต

2. ทบทวนวรรณกรรม

2.1 การยอมรับเทคโนโลยี

เกอร์รินทร์ ละเอียดดินันท์ (2557) กล่าวว่า การยอมรับเทคโนโลยีเป็นการนำเทคโนโลยีที่ผู้ใช้อยอมรับมาใช้งานซึ่งอาจก่อให้เกิดประโยชน์แก่ตัวบุคคลเอง หรืออาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรม ทักษะ และการใช้งานเทคโนโลยีของผู้ใช้งานที่ง่ายขึ้น ซึ่งการนำเทคโนโลยีมาใช้งานจะทำให้แต่ละบุคคลที่ใช้งานนั้น มีประสบการณ์ ความรู้ และทักษะในการใช้งานเพิ่มสูงขึ้น [4]

สำหรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้านั้น จัดเป็นเทคโนโลยีรถยนต์ส่วนบุคคลรูปแบบใหม่ที่มีการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมในหลากหลายมิติ พฤติกรรมของผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าจึงอาจจัดได้ว่าเป็นพฤติกรรมใหม่ที่มีพื้นฐานมาจากการยอมรับเทคโนโลยี โดยปัจจัยสำคัญที่ส่งอิทธิพลต่อพฤติกรรมการใช้งานรถยนต์พลังงานไฟฟ้านั้น มีอยู่ด้วยกันหลากหลายปัจจัย ไม่ว่าจะเป็น อิทธิพลระหว่างบุคคล การรับรู้นวัตกรรมส่วนบุคคล ประโยชน์ทางการเงิน ความกังวลด้านสิ่งแวดล้อม และบรรทัดฐานส่วนบุคคล [5-8]

2.2 การตัดสินใจของผู้บริโภค

ราช ศิริวัฒน์ (2560) กล่าวว่า การตัดสินใจของผู้บริโภคแต่ละคนมีความแตกต่างกัน อันเป็นผลมาจากความแตกต่างของลักษณะทางกายภาพ และสภาพแวดล้อมของบุคคล ซึ่งส่งผลทำให้การตัดสินใจซื้อของแต่ละบุคคลแตกต่างกัน [9]

การรับรู้ส่วนบุคคลยังเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญด้านการรับรู้ที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ผู้บริโภคมีความเชื่อว่า ความพยายามในการสร้างความแตกต่างของสินค้า นั้น มีความสำคัญสำหรับการตัดสินใจซื้อ นอกจากนี้ปัจจัยด้านการรับรู้ส่วนบุคคล คุณลักษณะและประสิทธิภาพ การยอมรับ ตลอดจนประสบการณ์ก็ยังส่งผลต่อการตัดสินใจซื้ออย่างมากอีกด้วย [10-14]

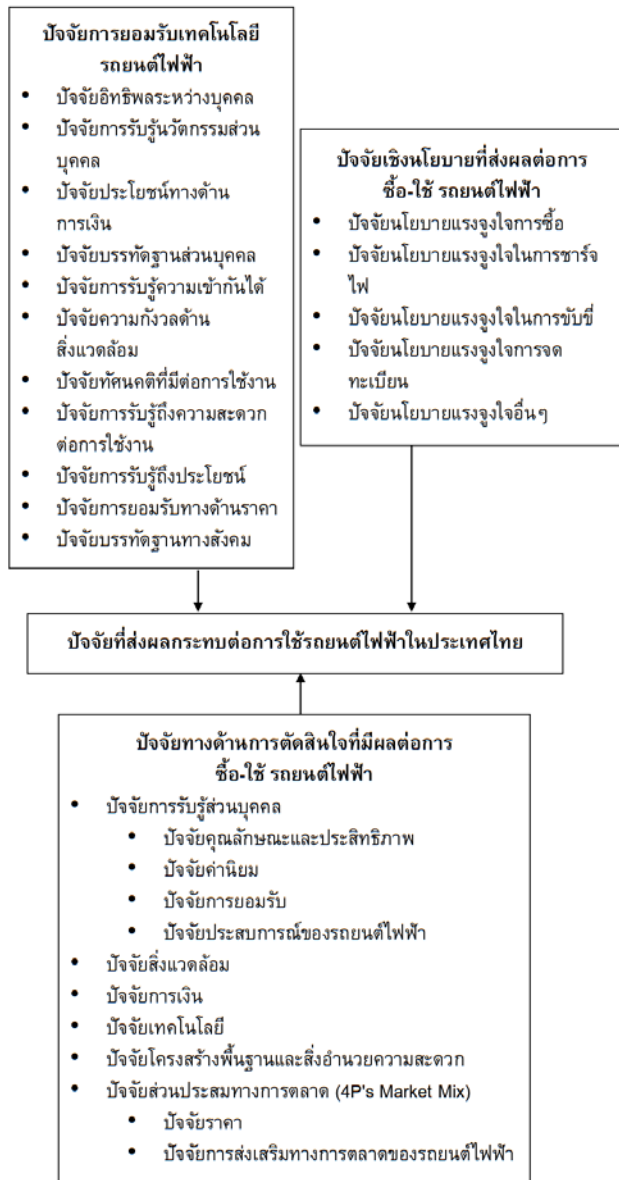
2.3 การกำหนดนโยบาย

Friedrich (1941) กล่าวว่า นโยบายสาธารณะ คือ ชุดของข้อเสนอที่เกี่ยวข้องกับการกระทำของบุคคล กลุ่มบุคคล หรือรัฐบาลภายใต้สิ่งแวดล้อมที่ประกอบไปด้วย ปัญหา อุปสรรค และโอกาส ซึ่งนโยบายนั้นจะถูกนำเสนอเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในการแก้ไขปัญหาแก่ประชาชน [15]

ในมุมมองของการเลือกใช้รถยนต์ไฟฟ้า ผู้บริโภคยังมีความกังวลเกี่ยวกับราคาของรถยนต์ไฟฟ้า รวมถึงปริมาณจำนวนสถานีที่ให้บริการชาร์จไฟฟ้าขั้นพื้นฐาน เพราะส่วนใหญ่มองว่ารถยนต์ไฟฟ้าโดยส่วนมากยังมีราคาสูง จำนวนสถานีชาร์จไฟฟ้าที่มีอยู่ก็ยังไม่กระจายไปทั่วถึงในหลายพื้นที่ นโยบายแรงจูงใจที่เหมาะสม ไม่ว่าจะเป็น นโยบาย

แรงจูงใจการซื้อ นโยบายแรงจูงใจการลงทะเบียน นโยบายแรงจูงใจการชั่งน้ำหนัก และนโยบายแรงจูงใจในการชำระไฟฟ้าจากภาครัฐและเอกชนจึงเป็นส่วนสำคัญที่จะเข้ามาช่วยรับมือกับความกังวลและเพิ่มความมั่นใจให้แก่ผู้บริโภค [16-21]

จากการศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งอิทธิพลจากงานวิจัยในอดีต ผู้วิจัยจึงได้สร้างกรอบแนวความคิดของการวิจัยเพื่อระบุปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยของผู้บริโภคของงานวิจัยนี้ได้ ดังแสดงใน รูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวความคิดการวิจัย

2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบ

การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) หรือการวิเคราะห์ปัจจัย เป็นเทคนิคทางสถิติที่จับกลุ่ม หรือรวมกลุ่มตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่ม หรือปัจจัยเดียวกัน โดยตัวแปรที่อยู่ในปัจจัย

เดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันสูง ส่วนตัวแปรที่อยู่ต่างปัจจัยกันก็จะมีความสัมพันธ์ที่ลดหลั่นกันไป นอกจากนี้ตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันยังสามารถมีความสัมพันธ์กัน ทั้งในทิศทางบวก (ทิศทางเดียวกัน) และทิศทางลบ (ทางตรงกันข้าม) [22]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณโดยมีขอบเขตเนื้อหาเชื่อมโยงกับทฤษฎีการยอมรับเทคโนโลยี ทฤษฎีการตัดสินใจของผู้บริโภค ทฤษฎีทางด้านนโยบาย และทฤษฎีการวิเคราะห์องค์ประกอบ ซึ่งถูกนำมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยเพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย

ประชากรที่ศึกษา ประกอบไปด้วย กลุ่มผู้บริโภคที่เคยใช้หรือมีการใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบันทั่วประเทศ โดยครอบคลุมทุกประเภทรถยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด รถยนต์ไฟฟ้าปลั๊กอินไฮบริด รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ และรถยนต์ไฟฟ้าเซลล์เชื้อเพลิง

กลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างจากทฤษฎีของ Yamane (1973) [23] มีขนาด 400 ตัวอย่าง โดยอ้างอิงข้อมูลจำนวนรวมของผู้จดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยจากกรมขนส่งทางบก (www.dlt.go.th) อย่างไรก็ตาม ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบความเหมาะสมเบื้องต้นของการศึกษา โดยใช้ข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง เพียง 30 ตัวอย่าง เท่านั้น

งานวิจัยนี้มีปัจจัยย่อยที่ใช้ศึกษาทั้งสิ้น 26 ปัจจัย ผ่านคำถามที่ใช้ชี้วัดตัวแปรทั้งสิ้น 139 คำถาม โดยเราสามารถแบ่งแบบสอบถามออกได้เป็น 6 ส่วน ดังนี้

1. การคัดกรองการใช้รถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 1 คำถาม
2. ข้อมูลพื้นฐานของประชากร จำนวน 12 คำถาม
3. ข้อมูลการใช้รถยนต์ไฟฟ้าของผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวน 9 คำถาม
4. ปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 47 คำถาม
5. ปัจจัยทางการตัดสินใจที่มีผลต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 53 คำถาม
6. ปัจจัยเชิงนโยบายที่ส่งผลกระทบต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้า จำนวน 17 คำถาม

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัยนี้มีทั้งการเก็บข้อมูลด้วยการสัมภาษณ์ตัวต่อตัว และการเก็บข้อมูลจากการแจกแบบสอบถามออนไลน์ด้วย Google Form โดยแบ่งออกเป็น 3 ระยะ ได้แก่

1. การเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบความเหมาะสม (Pre-Test) ของแบบสอบถามกับกลุ่มตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง ผ่านการสัมภาษณ์ตัวต่อตัวเพื่อประเมินถึงความเข้าใจ และความง่าย

ของคำถามตลอดจนนำความคิดเห็นที่ได้ไปพัฒนาปรับปรุงแบบสอบถาม

2. การเก็บข้อมูลเพื่อทดสอบความเหมาะสมเบื้องต้น (Pilot-Test) กับกลุ่มตัวอย่าง 30 ตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์สัมประสิทธิ์อัลฟา ครอนแบค (Cronbach's Alpha) ความเที่ยง และการวิเคราะห์องค์ประกอบเพื่อนำแบบสอบถามไปพัฒนาปรับปรุงอีกครั้ง
3. การเก็บข้อมูลจริงกับกลุ่มตัวอย่าง 400 ตัวอย่าง โดยกระจายแบบสอบถามไปยังภูมิภาคต่างๆ ทั่วประเทศไทย (ซึ่งจะดำเนินการต่อไปในอนาคต)

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

1. เก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลประชากรกลุ่มตัวอย่างโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistic)
2. วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการยอมรับเทคโนโลยี การตัดสินใจของผู้บริโภค และข้อมูลทางด้านนโยบาย โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน
3. การวิเคราะห์องค์ประกอบ (Factor Analysis) โดยการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ (Exploratory Factor Analysis : EFA)

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC)

จากการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้องจากแบบสอบถาม 6 ส่วน จำนวนทั้งหมด 139 คำถาม สามารถสรุปผลได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลสรุปการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง

แบบสอบถามส่วนที่	เนื้อหา	จำนวนข้อที่ประเมิน	จำนวนข้อที่ผ่านการประเมิน
1	คัดกรองการใช้รถยนต์ไฟฟ้า	1	1
2	ข้อมูลพื้นฐานของประชากร	12	12
3	ข้อมูลการใช้รถยนต์ไฟฟ้าของผู้ตอบแบบสอบถาม	9	9
4	ปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า	47	43

ตารางที่ 1 ผลสรุปการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (ต่อ)

แบบสอบถามส่วนที่	เนื้อหา	จำนวนข้อที่ประเมิน	จำนวนข้อที่ผ่านการประเมิน
5	ปัจจัยทางด้านการตัดสินใจที่มีผลต่อการซื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า	53	53
6	ปัจจัยเชิงนโยบายที่ส่งผลต่อการซื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า	17	17

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าเมื่อเราทำการประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC ด้วยการยอมรับค่า IOC > 0.5 [24] จะทำให้ได้จำนวนคำถามที่สอดคล้องตรงตามจุดมุ่งหมาย หรือผ่านการประเมินทั้งสิ้น 135 คำถาม จากทั้งหมด 139 คำถาม โดยคำถามที่ไม่ผ่านการประเมินจะอยู่ในแบบสอบถามส่วนที่ 4 เรื่องปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งมีคำถามที่ไม่ผ่านการประเมิน 4 คำถาม จากทั้งหมด 47 คำถาม ทำให้เหลือคำถามที่สามารถนำไปสร้างแบบสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลจริงกับผู้ใช้งานรถยนต์ไฟฟ้าได้ทั้งหมด 6 ส่วน จำนวน 135 คำถาม

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงบรรยาย

4.2.1 ผลข้อมูลของลักษณะประชากรศาสตร์

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง Pilot-Test พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย ในช่วงอายุ 21-30 ปี สถานภาพโสด มีรายได้อยู่ในช่วง 40,001 - 60,000 บาท รูปแบบที่พักอาศัยเป็นแบบบ้านเดี่ยว อาศัยอยู่ในเขตปริมณฑล และมีระยะเวลาเดินทางเฉลี่ยในหนึ่งวันในช่วง 1 - 25 กิโลเมตร

4.2.2 ผลข้อมูลการใช้รถยนต์ไฟฟ้าของผู้ตอบแบบสอบถาม

การวิเคราะห์ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง Pilot-Test พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ใช้รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle : HEV) โดยมีจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าในครอบครอง 1 คัน มีประสบการณ์การใช้รถยนต์ไฟฟ้าประมาณ 1 ปี และไม่เคยมีประสบการณ์เข้าชมรถยนต์ไฟฟ้ากับศูนย์บริการ

4.2.3 ผลข้อมูลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปัจจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง Pilot-Test ที่ประกอบไปด้วย ข้อมูลปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า ข้อมูลปัจจัยทางด้านการตัดสินใจที่มีผลต่อการซื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า และ ข้อมูลปัจจัยเชิงนโยบายที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า สามารถสรุปผลได้ ดังนี้

- ปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า : ผู้ใช้งานให้ความสนใจในส่วนของปัจจัยความกังวลด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด
- ปัจจัยทางด้านการตัดสินใจที่มีผลต่อการ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า : ผู้ใช้งานให้ความสนใจในส่วนของปัจจัยด้านเทคโนโลยีมากที่สุด ซึ่งส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่เทคโนโลยีความปลอดภัยของรถยนต์ไฟฟ้าเป็นหลัก
- ปัจจัยเชิงนโยบายที่มีผลต่อการตัดสินใจ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า : ผู้ใช้งานให้ความสนใจในส่วนของปัจจัยการส่งเสริมทางการตลาดของรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งสนใจในส่วนของการรับประกันแบตเตอรี่ที่ยาวนานขึ้นเป็นหลัก

สำหรับค่าเฉลี่ยรวมของปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า ปัจจัยทางด้านการตัดสินใจที่มีผลต่อการ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า และปัจจัยเชิงนโยบายที่มีผลต่อการตัดสินใจ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า มีค่าอยู่ที่ 3.9511, 4.2396 และ 4.0765 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสนใจของผู้ใช้งานในภาพรวมในแต่ละด้าน

4.3 ผลการวิเคราะห์ความเชื่อมั่น (Reliability)

จากการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของแบบสอบถามด้วยการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์อัลฟา ครอนแบค (Cronbach's Alpha) แสดงให้เห็นว่าค่า Cronbach's Alpha ของแบบสอบถามโดยรวมมีค่าเท่ากับ 0.895 สำหรับค่า Cronbach's Alpha ของแบบสอบถามที่จำแนกตามตัวแปรแฝง ได้แก่ ปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า ปัจจัยทางด้านการตัดสินใจที่มีผลต่อการ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า ปัจจัยเชิงนโยบายที่มีผลต่อการตัดสินใจ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ 0.740, 0.732 และ 0.921 ตามลำดับ ซึ่งค่า Cronbach's Alpha ที่คำนวณได้นี้มีค่าค่อนข้างสูง เพราะมีค่ามากกว่าค่าเกณฑ์การยอมรับที่ 0.7 [25] จึงสามารถตีความได้ว่าแบบสอบถามนี้มีความสอดคล้องตรงตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัด และคำถามทั้ง 135 คำถามเป็นคำถามที่น่าเชื่อถือ และสามารถนำไปใช้เก็บข้อมูลได้

4.4 ผลข้อมูลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงสำรวจ

เมื่อพิจารณาถึงค่าความแปรปรวนโดยพิจารณาที่ค่า Eigenvalue ที่มีค่ามากกว่า 1 จะสามารถจัดกลุ่มองค์ประกอบใหม่ของปัจจัยได้ ดังรูปที่ 2 และสามารถแยกพิจารณาแต่ละปัจจัยได้ ดังนี้

- ปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า สามารถจัดกลุ่มออกมาได้ทั้งหมด 9 องค์ประกอบ โดยประกอบไปด้วยปัจจัย A1 – A9
- ปัจจัยทางด้านการตัดสินใจที่มีผลต่อการ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า สามารถจัดกลุ่มออกมาได้ทั้งหมด 9 องค์ประกอบ โดยประกอบไปด้วยปัจจัย D1 – D9
- ปัจจัยเชิงนโยบายที่มีผลต่อการตัดสินใจ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า สามารถจัดกลุ่มออกมาได้ทั้งหมด 4 องค์ประกอบ โดยประกอบไปด้วยปัจจัย P1 – P4

4.4.1 ปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า

9 องค์ประกอบของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบตลอดจนคำถามในแต่ละองค์ประกอบ สามารถสรุปได้ดังนี้

A1 = {a45, a27, a6, a46, a47, a2, a11, a8, a36, a30, a13, a7, a15}

A2 = {a10, a28, a42, a29 a32, a23, a5, a9, a40, a19, a38}

A3 = {a26, a25, a44, a43, a31, a21}

A4 = {a12, a38, a35, a34}

A5 = {a39, a33, a17, a14}

A6 = {a37, a41, a3}

A7 = {a24, a20, a22}

A8 = {a16, a4}

A9 = {a12}

4.4.2 ปัจจัยทางด้านการตัดสินใจที่มีผลต่อการ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า

9 องค์ประกอบของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบตลอดจนคำถามในแต่ละองค์ประกอบ สามารถสรุปได้ดังนี้

D1 = {d12, d36, d20, d21, d24, d17, d45, d46, d32, d29, d37, d38}

D2 = {d14, d13, d26, d52, d10, d7, d44, d48, d30, d27, d5, d22}

D3 = {d50, d51, d47, d49, d23, d33}

D4 = {d15, d53, d34, d35}

D5 = {d19, d40, d1, d41, d4}

D6 = {d16, d2, d6, d43}

D7 = {d3, d9, d8, d42}

D8 = {d39, d11, d18}

D9 = {d31}

4.4.3 ปัจจัยเชิงนโยบายที่มีผลต่อการตัดสินใจ ชื้อ-ใช้ รถยนต์ไฟฟ้า

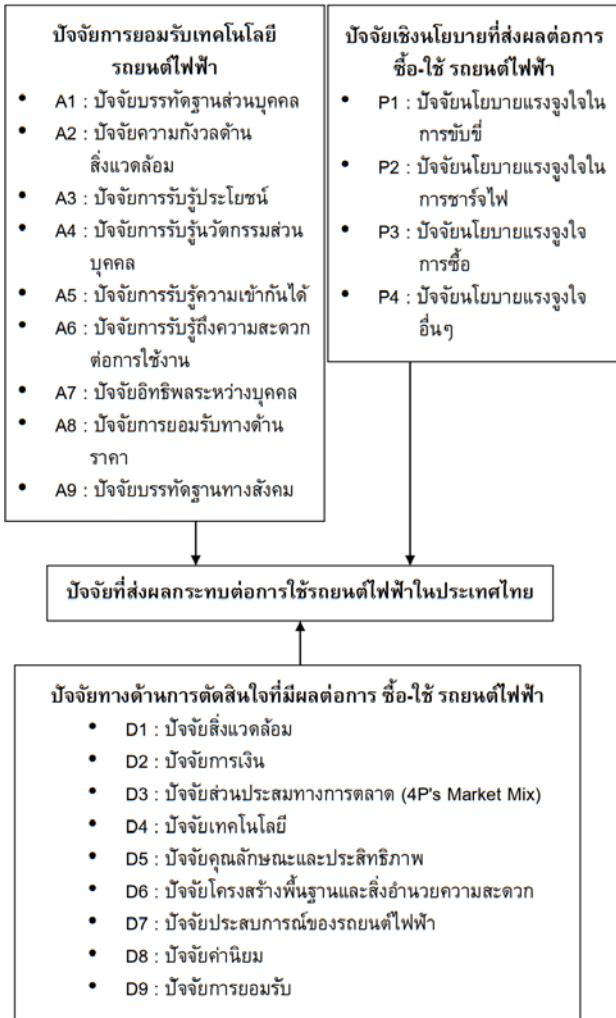
4 องค์ประกอบของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบตลอดจนคำถามในแต่ละองค์ประกอบ สามารถสรุปได้ดังนี้

P1 = {p10, p11, p17, p13, p14, p12, p1}

P2 = {p3, p16, p4, p6}

P3 = {p8, p9, p7, p2}

P4 = {p15, p5}



รูปที่ 2 กรอบแนวความคิดการวิจัยหลังผ่านการวิเคราะห์หิ้งค์ประกอบ

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

การศึกษาปัจจัยที่ส่งอิทธิพล และมีผลกระทบต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย มีขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มตั้งแต่การเก็บข้อมูลจริงกับผู้ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยในแต่ละปัจจัย และการวิเคราะห์องค์ประกอบ ครอบคลุม 3 ปัจจัยหลัก ได้แก่ ปัจจัยการยอมรับเทคโนโลยีรถยนต์ไฟฟ้า ปัจจัยทางการตัดสินใจที่มีผลต่อการซื้อ-ใช้รถยนต์ไฟฟ้า และปัจจัยเชิงนโยบายที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อ-ใช้รถยนต์ไฟฟ้า

ผลจากการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศชาย มีช่วงอายุ 21-30 ปี มีรายได้อยู่ในช่วง 40,001-60,000 บาท ซึ่งส่วนใหญ่ใช้รถยนต์ไฟฟ้าไฮบริด (Hybrid Electric Vehicle : HEV) และมีประสบการณ์การใช้งานประมาณ 1 ปี โดยในกลุ่มตัวอย่างดังกล่าว ให้ความสนใจทางด้านสิ่งแวดล้อม เทคโนโลยีความปลอดภัยของรถยนต์ไฟฟ้า และการส่งเสริมทางการตลาดเป็นหลัก สำหรับผลการวิเคราะห์ปัจจัย เราสามารถจัดกลุ่มองค์ประกอบปัจจัยใหม่ได้เท่ากับ 9, 9 และ 4 องค์ประกอบ ตามลำดับสำหรับปัจจัยหลักแต่ละด้าน

การศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยนั้นถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากการเติบโตอย่างก้าวกระโดดของจำนวนผู้ใช้ยานยนต์พลังงานไฟฟ้า อย่างไรก็ตามนโยบายต่างๆ ในปัจจุบันยังไม่สามารถตอบสนอง และเป็นประโยชน์ต่อผู้บริโภค (และผู้ผลิต) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เราจึงจำเป็นต้องอาศัยการวิจัยเชิงลึกเพื่อศึกษา และนำผลลัพธ์ที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการช่วยตัดสินใจ และกำหนดนโยบายของทั้งภาครัฐ และเอกชน อันจะนำไปสู่การพัฒนาสังคมคาร์บอนต่ำของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] SDG MOVE, ข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับ SDGs, ข้อมูลจาก <https://www.sdgmove.com/intro-to-sdgs/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2565)
- [2] PPTV36, ยอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้า 100% ปี 2565 แซงรถปลั๊กอินไฮบริด, ข้อมูลจาก <https://www.pptvhd36.com/automotive/-news/188631> (วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2565)
- [3] ธนาคารไทยพาณิชย์, มาตรการส่งเสริมรถ EV จุดเริ่มต้นการเติบโต, ข้อมูลจาก <https://www.scb.co.th/th/personal-banking/stories/home-car/package-of-incentives-ev-car.html> (วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2565)
- [4] เกวรินทร์ ละเอียดดีนนท์, การยอมรับเทคโนโลยีและพฤติกรรมผู้บริโภคออนไลน์ที่มีผลต่อการตัดสินใจซื้อหนังสืออิเล็กทรอนิกส์ของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพมหานคร (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, 2557), หน้า 31.
- [5] Bhattacharjee, A. (2000). Acceptance of E-Commerce Services: The Case of Electronic Brokerages. In *Psychiatry Polska*. 39(2),411–420. doi:10.1109/3468.852435.
- [6] Bommer and Jalajas (1999). Acceptance of e-commerce services: The case of electronic brokerages. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics - Part A Systems and Humans*. doi:10.1109/3468.852435
- [7] Sang, Y.N.; Bekhet, H.A., (2015). Modelling electric vehicle usage intentions: An empirical study in Malaysia. *J. Clean. Prod.* 92,75–83. doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2014.12.045.
- [8] Taylor, S.; Todd, P.A. (1995). Understanding Information Technology Usage: A Test of Competing Models. *Inf. Syst. Res.* 6,144–176. doi: <https://doi.org/10.1287/isre.6.2.144>
- [9] ราช ศิริวัฒน์ (2560), ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค, ข้อมูลจาก <http://bit.ly/2JKE9f9> (วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2564)

- [10]Ellen, P.S., Wiener, J.L., and Cobb-Walgren, C., (1991). The role of perceived consumer effectiveness in motivating environmentally conscious behaviors. *J. Public Policy Mark.* 10(2),102-117. doi: <https://doi.org/10.1177/074391569101000206>.
- [11]Viardot, E. (1998). *Successful Marketing Strategy for High-Tech Firms*, seconded. Boston, Mass: Artech House.White, L.V., Sintov, N.D. (2017). You are what you drive: environmentalist and social innovator symbolism drives electric vehicle adoption intentions. *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, 99, 94–113.
- [12]Schulte, I., Hart, D., Vorst, R. (2004). Issues affecting the acceptance of hydrogen fuel. *International Journal of Hydrogen Energy*, 29, 677–685.
- [13]Adamson, K.A. (2005). Calculating the price trajectory of adoption of fuel cell vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy*, 30, 341–350.
- [14]Kang, M.J., Park, H. (2011). Impact of experience on government policy toward acceptance of hydrogen fuel cell vehicles in Korea. *Energy Policy*, 39(2011), 3465–3475.
- [15]Friedrich, C. J. (1941). *Constitutional government and democracy*. Boston, MA: Little, Brown.
- [16]Hardman, S., Chandanb, A., Tala, G., Turrentinea, T. (2017). The effectiveness of financial purchase incentives for battery electric vehicles – A review of the evidence. *Renewable and Sustainable*.
- [17]Wang, N., Tang, L., & Pan, H. (2017). Effectiveness of policy incentives on electric vehicle acceptance in China: A discrete choice analysis. *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, 105, 210–218. *Energy Reviews*, 80(2017), 1100–1111.
- [18]Li, W., Long, R., Chen, H., Dou, B., Chen, F., Zheng, X. and He, Z. (2020). Public Preference for Electric Vehicle Incentive Policies in China: A Conjoint Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2020, 17(318), 1–16.
- [19]White, L.V., Sintov, N.D. (2017). You are what you drive: environmentalist and social innovator symbolism drives electric vehicle adoption intentions. *Transportation Research Part A, Policy and Practice*, 99, 94–113.
- [20]Sun, L., Huang, Y., Liu, S., Chen, Y., Yao, L., Kashyap, A. (2017). A complete survey study on the feasibility and adaptation of EVs in Beijing, China. *Applied Energy*, 187, 128–139.
- [21]Wang, N., Tang, L., Pan, H. (2019). A global comparison and assessment of incentive policy on electric vehicle Promotion. *Sustainable Cities and Society*, 44(2019), 597–603.
- [22]กัลยา วานิชย์บัญชา, การวิเคราะห์สถิติ : สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย, พิมพ์ครั้งที่ 7, ภาควิชาสถิติ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546
- [23]Taro Yamane (1973). *Statistics: An Introductory Analysis*.3rdEd.New York.Harper and Row Publications.
- [24]Ronna and Laurie, 2003 : *Indexes of Item-Objective Congruence for Multidimensional Items*.
- [25]Hair, Joseph F.; Black, William C.; Babin, Barry J. and Anderson, Rolph E. 2010. *Multivariate Data Analysis*. 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

อิทธิพลของกระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุสำหรับโลหะแผ่น Influence of Specimen Preparation Process to Mechanical Properties for Sheet Metal

อัญโศภี ยกเย็นใจ* เปรมพร เขมาวุฒม์

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Email: s6301091810547@kmutnb.ac.th*

Anyasopee Yokyenjai*, Premporn Khemavuk

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University Technology North Bangkok

Email: s6301091810547@kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงในการหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ โลหะแผ่น วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด SPFC590 ความหนา 1 มิลลิเมตร ทำการเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดตามมาตรฐาน ASTM E 8M โดยกระบวนการเตรียมชิ้นงาน คือ ตัดเฉือนด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ และกระบวนการตัดด้วยแม่พิมพ์ ในกระบวนการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ กำหนดให้มีช่องว่างระหว่างคมตัดพื้นซ์และตาย 2 ขนาด คือ 3 และ 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากการเตรียม ทำการทดสอบแรงดึงเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ จากผลการทดลองพบว่า การเตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติที่หน้าตัดของชิ้นงานมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก เมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมด้วยแม่พิมพ์ขอบตัดของชิ้นงานจะมีส่วนโค้งมน ส่วนเรียบตรง และรอยฉีกขาดเกิดขึ้น ซึ่งในกระบวนการเตรียมชิ้นงานที่แตกต่างกันนี้ส่งผลให้ผลการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ มีผลที่ต่างกันอย่างเห็นได้ชัด ในกระบวนการเตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติสามารถให้ผลลัพธ์จากการทดสอบแรงดึงที่ดีที่สุด ในการเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ที่ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และตายที่ 3 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับการเตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ คิดเป็น 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มช่องว่างระหว่างคมตัดให้กว้างขึ้น คือ 8 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาชิ้นงานส่งผลให้ชิ้นงานรับแรงดึงได้น้อยเนื่องจากชิ้นงานเกิดรอยฉีกขาดมาก จากผลการวิจัยนี้สามารถนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ในการเลือกวิธีการเตรียมชิ้นงานให้เหมาะสม

คำสำคัญ: ทดสอบแรงดึง คุณสมบัติทางกลของโลหะแผ่น เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง

Abstract

This research aims to investigate specimen preparation of the tensile test process for identifying the mechanical properties of sheet metals. Materials used in this research are High Strength Steel SPFC590 with a 1 mm thickness. Specimen preparation is based on the ASTM E8/E8M Standard test. Comparison is obtained from 2 processes: 1) Blanking Process and 2) Computer Numerical Control (CNC) Process, and Clearances are 3% and 8% of the thickness specimen. After that, the prepared specimens were tested to find the mechanical properties. As a result, the cross-sectional area used CNC preparation was rectangular shape but Blanking Preparation shows die-roll, shear surface, and fracture surface. Therefore, the different specimen preparations resulted in different mechanical properties. Specimen prepared by CNC process was taken the maximum load in the tensile test. Blanking preparation with clearance at 3% according to the thickness of sheet had a similar result with the CNC preparation in which the value was 95%. Then, when increasing clearance to 8% according to the thickness of the sheet, the specimen was taken with a lower tension force because of numerous fractures on the surface. This result can be utilized in choosing the optimal specimen preparation process.

Keywords: Tensile test, Mechanical properties of sheet metal, High strength steel

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมด้านการผลิตชิ้นส่วน ได้มีการนำโลหะแผ่นมาทำการขึ้นรูป ให้มีรูปทรงต่างๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ การผลิตเครื่องครัว และชิ้นส่วนอากาศยาน เป็นต้น ในกระบวนการนำโลหะแผ่นมาทำการขึ้นรูปนี้ จะต้องผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ โดยกระบวนการต่างๆ เช่น การดัดขึ้นรูป (Bending) การลากขึ้นรูปลึก (Deep drawing) และการบีบตัด (Die cutting) ในการออกแบบแม่พิมพ์ ผู้ออกแบบจะต้องทราบข้อมูลคุณสมบัติทางกลของวัสดุ (Material properties) เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการออกแบบแม่พิมพ์และสร้างแม่พิมพ์ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. (2556) โดยกระบวนการทดสอบแรงดึง (Tensile test) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ สามารถทราบผลประกอบไปด้วย ความแข็งแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength: UTS) ความแข็งแรงจุดคราก (Yield strength: YS) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (% Elongation) ผลลัพธ์จากการทดสอบแรงดึงเหล่านี้สามารถยืนยันเกรดวัสดุและต่อยอดไปจนถึงการจำลองการขึ้นรูป (FEM) สิ่งสำคัญประการหนึ่งในการทดสอบ คือ การเตรียมชิ้นงานทดสอบให้เป็นไปตามมาตรฐานของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบซึ่ง

กำหนดไว้ คือ ASTM Standard E8/E8M (2001) [1] ในส่วนกระบวนการเตรียมชิ้นงานนั้นไม่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานให้ใช้กระบวนการใด แต่มีข้อแนะนำที่ไม่ควรให้ชิ้นงานมีรอยบาก รอยขาด ครีบบนพื้นผิว หรือขอบที่ขรุขระ และชิ้นงานต้องไม่เกิดความร้อนสูงในกระบวนการเตรียม ในการเตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบแรงดึงที่ไม่ได้คุณภาพจะส่งผลให้คุณสมบัติทางกลของวัสดุไม่ถูกต้อง งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการวิจัยเกี่ยวข้องกับการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงและผลกระทบของขนาดชิ้นงาน โดย [2] Mehmet Tolga Gogus และคณะ ศึกษาวิธีการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดึงเหล็กขึ้นรูปเย็น มีกระบวนการตัดเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง 3 วิธี และชิ้นงานมีความหนาแตกต่างกัน 3 ความหนา วิธีการตัดที่เลือก คือ หนึ่งตัดด้วยเลเซอร์ สองตัดด้วยพลาสมา และสามตัดด้วยวายคัท วิธีการตัดที่ดีที่สุด คือ ตัดด้วยวายคัท แต่การตัดด้วยวิธีนี้ใช้เวลาและมีความแม่นยำสูง การตัดด้วยเลเซอร์ด้วยไนโตรเจนและออกซิเจนใช้เวลาในการเตรียมชิ้นงานเท่ากัน และ [3] Ning Li และคณะ ศึกษาอิทธิพลของรอยขีดข่วนที่ส่งผลต่อการทดสอบแรงดึง ผลการทดลองความลึกของรอยขีดข่วนและมุมของรอยขีดข่วนส่งผลต่อความต้านทานแรงดึงของวัสดุ เมื่อความลึกและมุมการขีดข่วนเพิ่มขึ้น ความแข็งแรงของวัสดุลดลง ได้ข้อสรุปว่าความเสียหายที่พื้นผิวมีผลกระทบต่อความต้านทานแรงดึงของชิ้นงาน และ [4] Yuji TAKEDA ศึกษาผลกระทบของความหนาของชิ้นงานทดสอบในการทดสอบแรงดึงต่อการยืดตัวและการเสียรูปสำหรับเหล็กบริสุทธิ์ การยืดตัวของวัสดุในการทดสอบแรงดึงไม่เท่ากันเมื่อความหนาลดลง และ [5] L. Yang และคณะ ศึกษาผลกระทบของขนาดชิ้นงานทดสอบที่ส่งผลต่อการทดสอบแรงดึง ขนาดชิ้นงานทดสอบต่างกันเพียงเล็กน้อยต่อการทดสอบคุณสมบัติทางกล ขึ้นอยู่กับความ

ยาวในการคำนวณเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ และ [6] M S Masete และคณะ ศึกษาผลรูปทรงของชิ้นงานทดสอบแรงดึงของแผ่นโลหะผสมไททานเนียม จากการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานที่มีรูปทรงแตกต่างกัน ความแข็งแรง และความต้านทานแรงดึงสูงสุด ไม่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ

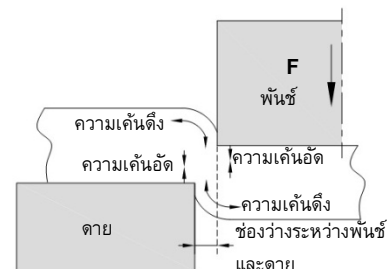
งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่ศึกษากระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง โดยการบีบตัดด้วยแม่พิมพ์และเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ซึ่งไม่มีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้องในกระบวนการเตรียม และสอดคล้องกับคำแนะนำตามมาตรฐาน ASTM E8M ที่ส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกลของวัสดุและโครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุชิ้นงาน และเพื่อสร้างฐานข้อมูลการเตรียมชิ้นงานทดสอบให้กับอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการตัดสินใจเลือกใช้กระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึง

2. ทฤษฎีและวิธีการดำเนินการวิจัย

2.1 ทฤษฎี

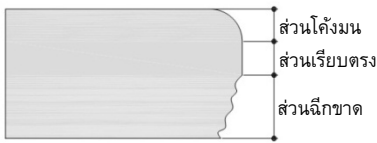
2.1.1 ทฤษฎีแม่พิมพ์ตัด (Blanking process)

กลไกการตัดเฉือนในงานแม่พิมพ์ตัด สามารถสังเกตพฤติกรรม การตัดได้จากรูปที่ 1 เมื่อพินซ์เคลื่อนที่กดลงบนชิ้นงาน จะเกิดความเค้นอัดบริเวณใต้พินซ์และบริเวณบนตายสูงมาก ส่วนบริเวณด้านข้างพินซ์และด้านข้างรูตายจะเกิดความเค้นดึง ไปตามการเคลื่อนที่ของพินซ์ จนทำให้เกิดพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปถาวรจนเกิดส่วนโค้งมน หลังจากชิ้นงานเปลี่ยนรูปร่างถาวรจะมีพฤติกรรมการตัดเฉือนทำให้ชิ้นงานมีส่วนเรียบตรงเกิดขึ้น [7]



รูปที่ 1 พฤติกรรมการตัดเฉือนในงานแม่พิมพ์ตัด

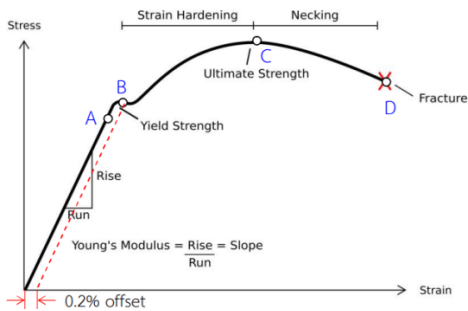
ขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังรูปที่ 2 ส่วนโค้งมนเกิดขึ้นจากชิ้นงานถูกดึงโดยพินซ์เคลื่อนที่กดลงทำให้เกิดการเสียรูป ส่วนเรียบตรงเกิดจากการตัดเฉือนหลังจากชิ้นงานเกิดการเสียรูปขอบตัดชิ้นงานจะมีส่วนเรียบตรงเกิดขึ้น เมื่อเกิดการตัดเฉือนสิ้นสุดชิ้นงานจะเกิดรอยแตกเนื่องจากชิ้นงานมีความเค้นดึงมีค่าสูงเกินขีดจำกัดที่วัสดุสามารถรับได้จนทำให้เกิดส่วนฉีกขาดส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นบริเวณขอบตัดชิ้นงานนี้สามารถควบคุมได้โดยกำหนดระยะช่องว่างระหว่างพินซ์และตายให้เหมาะสม



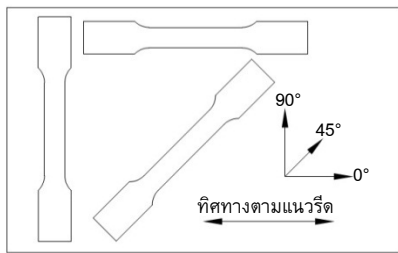
รูปที่ 2 ส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นบริเวณขอบตัดชิ้นงาน

2.1.2 ทฤษฎีการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ ในการทดสอบทำโดยตรวจวัดความต้านทานแรงดึงของชิ้นงานเมื่อวัสดุมีแรงกระทำเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ [7-8] ควบคุมโดยเครื่องทดสอบยูนิเวอร์ซัล (Universal testing machine) ผลคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ได้จากการทดสอบทำให้ทราบผล 1. ความแข็งแรงคราก (Yield strength) 2. ความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength) และ 3. เปอร์เซนต์การยืดตัวของวัสดุ (%Elongation) โดยพฤติกรรมทดสอบแสดงในรูปแบบกราฟความเค้น (Stress) – ความเครียด (Strain) ดังรูปที่ 3ก. และในการเตรียมชิ้นงานทดสอบจะทำการทดสอบในทิศทาง ตามแนวรีด ขวางแนวรีด และตามมุมเฉียง ตามรูปที่ 3ข.



ก. กราฟแสดงความสัมพันธ์ความเค้น-ความเครียด



ข. การตัดชิ้นงานทดสอบ

รูปที่ 3 รูปแบบการทดสอบในการหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

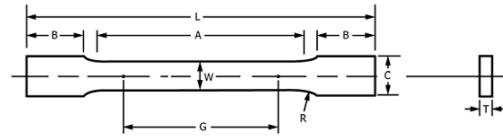
2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุในโลหะแผ่น วัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง เกรด SPFC590 ความหนา 1 มิลลิเมตร โดยมีส่วนผสมทางเคมี ดังตารางที่ 1 ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงสูง ที่นิยมนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยกระบวนการต่างๆ ในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ในการทดลองนี้ทำการเตรียมชิ้นงานให้มีขนาดให้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E8M ดังรูปที่ 4 โดยกระบวนการเตรียมชิ้นงานทดสอบประกอบไปด้วย 2 กระบวนการ คือ 1. การเตรียม

ชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC machine center) 2. การเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยแม่พิมพ์ตัด (Blanking die)

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมี วัสดุเกรด SPFC590

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
0.1140	0.099	1.59	0.015	0.004



ก. ขนาดตามมาตรฐาน ASTM E8M [1]



ข. ชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

รูปที่ 4 ขนาดของชิ้นงานในการทดสอบแรงดึง

G—Gauge length	50.0 ± 0.1 mm
W—Width	12.5 ± 0.2 mm
T—Thickness	Thickness of material
R—Radius	12.5 mm
L—Overall length	200 mm
A—Length of reduced section	57 mm.
B—Length of grip section	50 mm
C—Width of grip section	20 mm

2.2.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ (CNC machine center)

ทำการเขียน CAD/CAM โดยใช้โปรแกรม NX ในการกำหนดให้ชิ้นงานมีขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E8M ในการดำเนินการผลิตชิ้นงานจะใช้เครื่องจักรกลอัตโนมัติรุ่น Bridgeport XR760 เครื่องมือที่ใช้ในการตัดเฉือน คือ End mill carbide ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 มิลลิเมตร มีคมตัด 4 คมตัด และกำหนดระยะป้อนต่อคมตัด เท่ากับ 0.05 มิลลิเมตร และความเร็วตัด 45 m/min ในขณะที่ทำการตัดเฉือนชิ้นงานเปิดน้ำหล่อเย็นตลอดเวลา ตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมเครื่องจักรกลอัตโนมัติ อัตราป้อน 200 m/min ความเร็วรอบ 1200 rpm/min

2.2.2 การเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยแม่พิมพ์ตัด (Blanking die)

แม่พิมพ์ที่ใช้ในการตัดเตรียมชิ้นงาน มีช่องว่างระหว่างพินซ์และตาย 2 ขนาด คือ 1. ช่องว่างระหว่างพินซ์และตายแคบ คือ 3 เปอร์เซนต์ของความหนาชิ้นงาน และ 2. ช่องว่างระหว่างพินซ์และตาย

กว้าง คือ 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานที่ได้จากการตัดด้วยแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างฟันซ์และตายต่างกันจะส่งผลให้ขอบตัดชิ้นงานลักษณะแตกต่างกัน ในการคำนวณช่องว่างระหว่างคมตัดคำนวณได้จากสมการที่ 1 ฟันซ์และตายผลิตจากวัสดุ SKD11 มีค่าความแข็ง 60±2 HRC

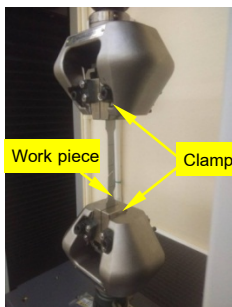
$$CI = \%CI \times t \quad (1)$$

CI = ช่องว่างระหว่างฟันซ์และตาย

t = ความหนาชิ้นงาน

2.2.3 เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine)

กระบวนการทดลองนี้จะใช้เครื่องทดสอบแรงดึง SHIMADZU มีขนาด 50 kN โดยทำการจับยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึงเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ทำการเตรียมไว้ด้วยกระบวนการเตรียมต่างๆ ดังรูปที่ 5 ประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปของเครื่องทดสอบแรงดึง ประกอบไปด้วย ผลของความแข็งแรงคราก (Yield Strength) ความเค้นแรงดึงสูงสุด (Tensile Strength) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) ผลลัพธ์เหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดให้ทราบว่าวัสดุที่นำมาทดสอบเป็นวัสดุเกรดอะไร ในการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุนี้จะทำการทดสอบโดยใช้หลักการทางสถิติ แพคทอเรียล โดยกำหนดให้มีการทำการทดสอบ จำนวน 4 ชิ้นต่อหนึ่งเงื่อนไข

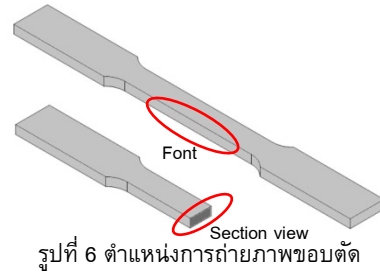


รูปที่ 5 การจับยึดชิ้นงานในการทดสอบแรงดึง

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

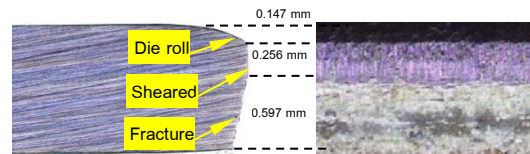
3.1 ผลของขอบตัดที่ได้จากการเตรียมชิ้นงานทดสอบ

การเตรียมชิ้นงานทดสอบแรงดึงด้วยแม่พิมพ์และกระบวนการตัดเฉือนด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ส่งผลให้ขอบตัดชิ้นงานมีลักษณะแตกต่างกัน ในการตรวจสอบความแตกต่างของขอบตัดนี้ ทำโดยการถ่ายภาพด้านหน้า และด้านตัดขวาง ด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูงรุ่น Olympus BX53M ทำการถ่ายภาพที่ตำแหน่ง ดังรูปที่ 6 โดยกำหนดกำลังขยายในการถ่ายภาพ 5 เท่า

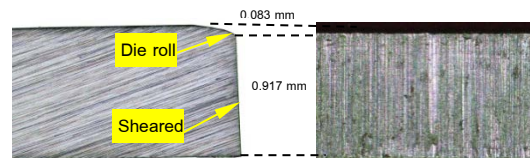


รูปที่ 6 ตำแหน่งการถ่ายภาพขอบตัด

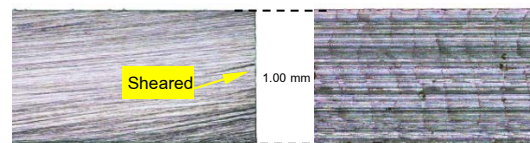
จากรูปที่ 7ก. แสดงลักษณะขอบตัดชิ้นงานที่ผ่านการตัดเฉือนด้วยแม่พิมพ์ที่มีช่องว่างระหว่างฟันซ์และตาย เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ลักษณะขอบตัดจะมีส่วนประกอบ คือ ส่วนโค้งมนเท่ากับ 0.147 มิลลิเมตร ส่วนเรียบตรง เท่ากับ 0.256 มิลลิเมตร และรอยแตก เท่ากับ 0.597 มิลลิเมตร เมื่อลดช่องว่างระหว่างฟันซ์และตายที่ 3 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ส่งผลให้ขอบตัดของชิ้นงานมีส่วนเรียบตรงเพิ่มขึ้น ส่วนโค้งมนลดลง ดังรูปที่ 7ข. ส่วนชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมกระบวนการตัดเฉือนด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ขอบตัดชิ้นงานจะมีพื้นที่หน้าตัดตรง มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังรูปที่ 7ค. แสดงลักษณะขอบตัดที่ได้จากเครื่องกัด CNC



ก. ลักษณะขอบตัดที่ได้จากแม่พิมพ์ CI 8%



ข. ลักษณะขอบตัดที่ได้จากแม่พิมพ์ CI 3%



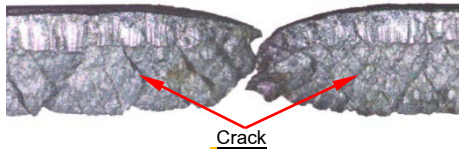
ค. ลักษณะขอบตัดที่ได้จากเครื่องกัด CNC

รูปที่ 7 ขอบตัดชิ้นงานที่ได้จากการเตรียมด้วยกระบวนการต่างๆ

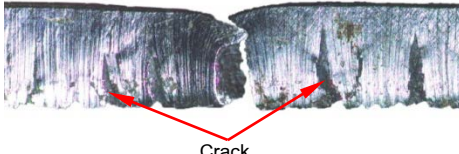
3.2 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติทางกล

ผลการทดสอบที่ได้รับมีความแตกต่างกัน ในรูปที่ 8ก. ชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างคมตัด 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปจะมีรอยแตกขนาดเล็กจำนวนมากส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำ เมื่อช่องว่างระหว่างคมตัด 3 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ดังรูปที่ 8ข. แสดงให้เห็นว่าเมื่อชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปจะเกิดการยืดตัวส่งผลให้เกิดรอยแตกขนาดใหญ่ เปอร์เซ็นต์การยืดตัวมากกว่าช่องว่างระหว่างฟันซ์และตาย 8 เปอร์เซ็นต์ ชิ้นงานทดสอบที่ผ่านกระบวนการตัดเฉือนด้วย

เครื่องจักรกลอัตโนมัติ จะมีพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก ชิ้นงานจะเกิดการยึดตัวออกอย่างสมบูรณ์ ดังรูปที่ 8 ค.



ก. ความเสียหายจากการเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ CI 8%



ข. ความเสียหายจากการเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ CI 3%

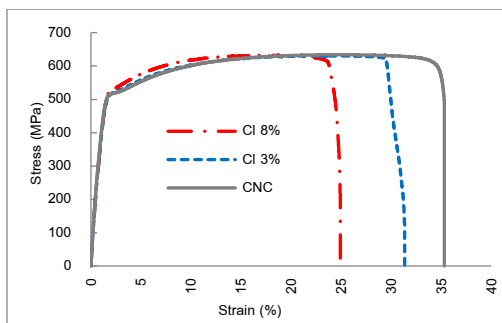


ค. ความเสียหายจากการเตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องกัด CNC

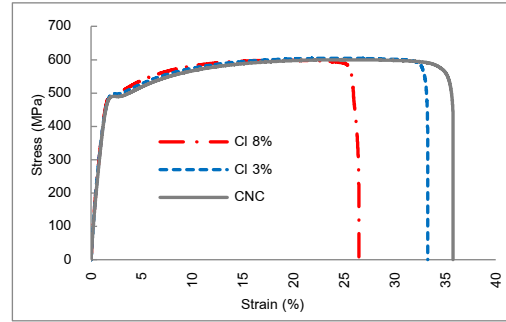
รูปที่ 8 ความเสียหายชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบ

3.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลของวัสดุ

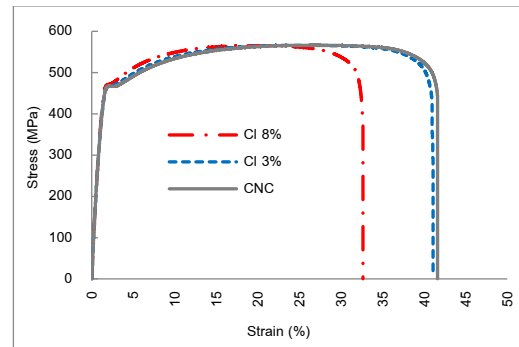
ผลการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ แกนเดียว ในการทดสอบได้ชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมด้วยวิธีการตัดเฉือนด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ และตัดด้วยแม่พิมพ์ ช่องว่างระหว่างพันธะและตาย 3 และ 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ในการทดสอบได้ดำเนินการทดสอบชิ้นงานในทิศทางแนวรัศของโลหะแผ่น 3 แนวรัศ คือ ตามแนวรัศ 0 องศา ขวางแนวรัศ 90 องศา และมุมทแยง 45 องศา โดยผลการทดสอบแนวรัศที่ให้ความเค้นแรงดึงสูงสุด คือ ตามแนวรัศ 0 องศา ดังรูปที่ 9-11 รองลงมาในทิศทางขวางแนวรัศ 90 องศา และความเค้นแรงดึงมีค่าต่ำที่สุดในการทดสอบในทิศทางทแยง 45 องศา



รูปที่ 9 ผลการทดสอบที่แนวรัศ 0°



รูปที่ 10 ผลการทดสอบที่แนวรัศ 90°



รูปที่ 11 ผลการทดสอบที่แนวรัศ 45°

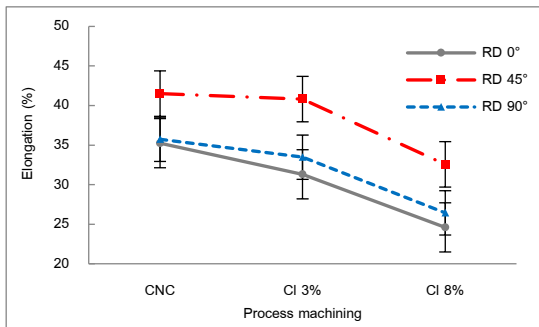
3.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกล

3.4.1 ผลเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุ (%Elongation)

ชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ CNC Milling ในการทดสอบที่แนว 45 องศา มีการยึดตัวมากที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 41.5074 ในการทดสอบที่แนว 90 องศา วัสดุมีการยึดตัวไม่ต่างกันมากนัก โดยแนวรัศ 90 องศา มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัว เฉลี่ยเท่ากับ 35.7318 และแนวรัศ 0 องศา มีเปอร์เซ็นต์การยึดตัว เฉลี่ยเท่ากับ 35.2426

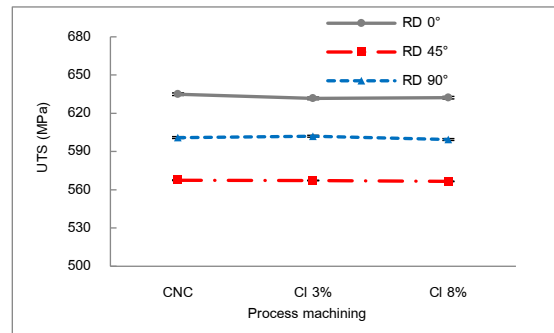
ชิ้นงานที่ผ่านการตัดด้วยแม่พิมพ์ เปอร์เซ็นต์การยึดตัวน้อยกว่า การเตรียมด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ สังเกตได้จากรูปที่ 12 การเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์มีแนวโน้มลดลง เมื่อชิ้นงานที่ผ่านการเตรียมด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพันธะและตาย เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน มีการยึดตัวต่ำที่สุด ซึ่งมีผลมาจากอิทธิพลของช่องว่างระหว่างคมตัดกว้าง ส่งผลให้ชิ้นงานมีส่วนโค้งมนมาก และส่วนเรียบตรงน้อย และรอยแตกบริเวณขอบตักเกิดขึ้น ทำให้พื้นที่หน้าตัดไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังรูปที่ 7ก. ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยึดตัวต่ำที่สุดในการทดสอบทุกแนวรัศ ชิ้นงานที่ตัดด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพันธะและตาย เท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ในทิศทางตามแนวรัศ 0 องศา ดังรูปที่ 12 แสดงผลเปอร์เซ็นต์การยึดตัวของวัสดุ คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 30.2 ซึ่งใกล้เคียงกับการเตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ในการทดสอบชิ้นงานที่ตัดด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพันธะและตาย เท่ากับ 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน คิดเป็นร้อยละเท่ากับ 69.8 ซึ่งให้ผลเปอร์เซ็นต์ การยึดตัวของวัสดุที่แตกต่างกันมาก

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และตาย 3 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน



รูปที่ 12 ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ

ให้ผลความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ไม่แตกต่างกันมากนักคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเท่ากับ 0.2 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 13 ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุด

3.4.2 ผลความเค้นแรงดึงสูงสุด (Ultimate tensile strength)

ความแข็งแรงดึงสูงสุดของวัสดุเป็นตัวกำหนดในการบอกลักษณะของวัสดุชิ้นนั้นๆ คือวัสดุเกรดอะไร ในการทดลองนี้เปรียบเทียบผลการทดสอบแรงดึงที่ได้จากการเตรียมชิ้นงานที่แตกต่างกัน พบว่าค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดในแต่ละกระบวนการ คือ เตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ และเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ ค่าความแข็งแรงดึงสูงสุดในแต่ละแนวรีดไม่ต่างกันมากนัก ซึ่งผลการทดสอบแรงดึงในทิศทางตามแนวรีด 0 องศา เตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติให้ผลแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 634.961 MPa เตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และตาย 3 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานให้ผลแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 631.701 MPa และผลของการเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และตาย 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานให้ผลแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 632.277 MPa ในการเตรียมชิ้นงานทั้ง 3 รูปแบบ ให้ผลความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ไม่แตกต่างกันมากนักคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเท่ากับ 0.5 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดสอบในทิศทางขวางแนวรีด 45 องศา เตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติให้ผลแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 567.475 MPa เตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และตาย 3 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานให้ผลแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 567.302 MPa และผลของการเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และตาย 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานให้ผลแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 566.617 MPa ในการเตรียมชิ้นงานทั้ง 3 รูปแบบ ให้ผลความแข็งแรงดึงสูงสุดที่ไม่แตกต่างกันมากนักคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยเท่ากับ 0.1 เปอร์เซ็นต์

ผลการทดสอบในทิศทางขวางแนวรีด 90 องศา เตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติให้ผลแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 600.993 MPa เตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และตาย 3 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานให้ผลแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 602.023 MPa และผลของการเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และตาย 8 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงานให้ผลแรงดึงสูงสุด เฉลี่ยเท่ากับ 599.448 MPa แสดงดังรูปที่ 13 ในการเตรียมชิ้นงานทั้ง 3 รูปแบบ

4. สรุป

การเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุเป็นสิ่งที่ยังมองข้ามไม่ได้ ทั้งในเรื่องของขนาดและกระบวนการที่นำมาใช้ในการเตรียมชิ้นงานทดสอบให้ได้ขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM E8M ในการทดลองนี้ได้สรุปผลดังนี้

1. การเตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติให้ผลคุณสมบัติทางกลที่ดีที่สุด กล่าวคือ ชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการตัดเฉือนด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ ชิ้นงานไม่ได้รับความร้อน ไม่รับแรงอัด และพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก
2. การเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ชิ้นงานจะได้รับความเค้นอัดบริเวณที่ถูกตัดเฉือนของคมตัดพื้นซ์และตาย ส่งผลให้โครงสร้างจุลภาคภายในบริเวณขอบของชิ้นงานทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลง อีกทั้งพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานจะไม่เป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก ส่งผลให้ผลการทดสอบหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุมีค่าน้อยกว่าการเตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ
3. การเตรียมชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์ช่องว่างระหว่างพื้นซ์และตายเท่ากับ 3 เปอร์เซ็นต์ของความหนาชิ้นงาน ให้ผลลัพธ์ของคุณสมบัติทางกลใกล้เคียงกับการเตรียมชิ้นงานด้วยเครื่องจักรกลอัตโนมัติ

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTM E8/E8M-15a. Standard test methods for tension testing of metallic materials. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International; 2016.
- [2] Mehmet Tolga Gogus, Ali Cabioglu, Talha Ekmekyapar, Mustafa Ozakca. Effect of specimen preparation methods

for tension test on design of cold-formed steel members.
Conf. on Advances In Civil:Structural and Environmental
Engineering-ACSEE 2014. Institute of Research Engineers
and Doctors, USA. p. 126-130.

- [3] Ning Li, Hongwei Zhao, Mingjun Jin, Jianping Li, Xiaohang Dai, Zhanwei Huo, et al. Influence of scratch type on tensile strength in in situ tensile test. *Advances in Mechanical Engineering*2017; 9(6):1–8.
- [4] Yuji TAKEDA, Chatcharit KIATTISAKSRI, Masatoshi ARAMAKI, Shinji MUNETO and Osamu FURUKIMI. Effects of Specimen Thickness in Tensile Tests on Elongation and Deformation Energy for Industrially Pure Iron. *ISIJ International*· Vol. 102, pp. 599–606 2016.
- [5] L. Yang and L. Lu. The influence of sample thickness on the tensile properties of pure Cu with different grain sizes. *Scripta Materialia* 69 PP 242–245 (2013).
- [6] M S Masete, N S Muchavi, S Chikosha. The effect of specimen geometry on tensile properties of titanium alloy metal sheet. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2018: Conf. Series: Materials Science and Engineering 430(2018) 012015 doi:10.1088/1757-899X/430/1/012015
- [7] Varunee Premanond. *Stamping metal*. TPA publishing 2012. P.63-105.
- [8] Man Amornsit. *Principles of materials science and engineering*. Top Publishing Co., Ltd. 2006. P.173-182.

การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบเพื่อปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเครื่องโม่ Applied Failure Modes and Effects Analysis for Improve Maintenance System for Hammer Mill Machine

วรธน ทิลกการย์^{1*} สาวิตรี พิบูลศิลป์¹ เอนก บุญกว้าง²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

²สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

E-mail: vorrathon.ti@pit.ac.th*

Worrathon Tilokkarn^{1*}, Sawitree Phieboosilapa¹, Anek Bumkwang²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology

² Department of Mechatronic Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology

E-mail: vorrathon.ti@pit.ac.th*

บทคัดย่อ

เครื่องโม่ (hammer mill) เป็นเครื่องจักรที่เป็นกระบวนการเริ่มต้นในการผลิตอาหารสัตว์ ทำหน้าที่บดย่อยวัตถุดิบ อาทิเช่น มันสำปะหลัง ผักตบชวา เพื่อให้ได้ขนาดและสัดส่วนสำหรับนำไปอัดเม็ดยังกระบวนการถัดไป ปัญหาที่เกิดขึ้นพบว่าเครื่องโม่มีการหยุดบ่อยครั้ง ทำให้เกิดความสูญเสีย (6 big losses) ขึ้นในกระบวนการผลิต ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้น โดยจะเริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นด้วยแผนผังก้างปลา (fishbone diagram) ต่อมาจะวิเคราะห์ถึงผลกระทบจากปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อใช้ในการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (failure modes and effects analysis : FMEA) โดยเกณฑ์การประเมินจะปรับให้เหมาะสมกับเครื่องโม่ เมื่อวิเคราะห์ FMEA แล้วผลลัพธ์ที่ได้คือ คะแนนความเสี่ยง (risk priority number: RPN) ค่า RPN จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคะแนนความเสี่ยงที่เครื่องโม่จะเสียหาย เมื่อได้คะแนน RPN แล้วก็จะทำการวิเคราะห์แต่ละอาการเสียที่เกิดขึ้นเพื่อวางแผนหาแนวทางในการปรับปรุงเพื่อลดคะแนน RPN ที่เกิดขึ้น ซึ่งเกณฑ์ที่ต้องปรับปรุงคือในกรณีที่คะแนน RPN มากกว่า 15 คะแนน จะถือว่ามีความเสี่ยงสูงต้องปรับปรุง ในการปรับปรุงระบบการบำรุงรักษา (maintenance) จะแบ่งออกเป็น 3 มาตรการ ดังนี้ 1.แผนการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (autonomous maintenance: AM) ของพนักงานหน้าเครื่อง 2.แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance: PM) ของช่างซ่อมบำรุง 3.แผนการซ่อมใหญ่ (overhaul) ก่อนการปรับปรุงพบว่าคะแนนความเสี่ยงที่เครื่องจักรจะเสียหายเท่ากับ 1,282 คะแนน หลังปรับปรุงมีคะแนนความเสี่ยงที่เครื่องจักรจะเสียหายเท่ากับ 1,112 คะแนน เท่ากับมีคะแนนความเสี่ยงที่เครื่องจักรจะเสียหายลดลง 170 คะแนน คิดเป็น 13.26 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ, การบำรุงรักษา, เครื่องโม่

Abstract

Hammer mill is a machine that is the starting process in the production of animal feed. Hammer mill crushing raw materials such as cassava, taro, corn to get the size and proportion for pelletizing to animal feed. The problem was found that the hammer mill stopped is 6 big losses in the production process therefore, improvements are needed to reduce the losses from 6 big losses. Starts by analyze the problem with a fishbone diagram. Later, will be analyzed the impact of the problem and used it in failure modes and effects analysis (FMEA). Target of FMEA is the risk of machine failure or damaged. Risk priority number (RPN) indicates is the risk score that hammer mill will be damaged. The RPN score is obtained, it will analyze each failure to plan how to improve to reduce risk of machine failure or damaged (reduced RPN). The criterion that must be improved is in the case where the RPN score is greater than 15 points that considered high risk, needs to be improved. The improvement will be divided into 3 types as follows: 1. Autonomous maintenance (AM) of the operator. 2. Preventive maintenance (PM) of maintenance technicians 3. Additional overhaul. Before improvement found that the risk that the machine will be damaged is 1,282 points. After the improvement, there is a risk that the machine will be damaged equal to 1,112 points, the risk that the machine will be damage reduced by 170 points that was 13.26 percent.

Keywords: Failure Mode and Effect Analysis, Maintenance, Hammer Mill

1. บทนำ

เนื่องจากการผลิตส่วนมากในอุตสาหกรรมใช้เครื่องจักรเป็นส่วนสำคัญ ปัจจุบันพบว่าเครื่องจักรมีอายุการใช้งานมากจึงทำให้เกิดความสูญเสียขึ้นในกระบวนการผลิต ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น ต้องหยุดการผลิตลงเพื่อซ่อมเครื่องจักร ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของปัญหาที่พบเจอได้มากในอุตสาหกรรมต่าง ๆ จึงนำหลักการการวิเคราะห์หรือการขัดข้องและผลกระทบ (failure modes and effects analysis : FMEA) [1, 2] ซึ่ง FMEA ใช้เพื่อช่วยหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นตามหลักการของความสูญเสีย 6 ประการ (6 big losses) ดังนี้ ความสูญเสียที่เกิดจากการขัดข้องของเครื่อง (breakdown), ความสูญเสียที่เกิดจากการปรับตั้งและปรับแต่ง (setup and adjustment), ความสูญเสียที่เกิดจากการสูญเสียความเร็ว (speed losses), ความสูญเสียที่เกิดจากการหยุดเล็ก ๆ น้อย ๆ (minor stop), ความสูญเสียที่เกิดจากการผลิตของเสีย (defect and rework), และความสูญเสียที่เกิดขึ้นช่วงเริ่มต้นผลิต (start-up) โดยจะวิเคราะห์ออกมาเป็นคะแนนความเสี่ยง (RPN) เพื่อวางแผนการบำรุงรักษา (maintenance) [3, 4]

โดยเครื่องจักรที่ใช้เป็นต้นแบบคือ เครื่องโม่ (hammer mill) เครื่องโม่มีหน้าที่บดวัตถุดิบให้มีความละเอียดด้วยใบมีด ซึ่งเมื่อบดวัตถุดิบจนมีขนาดเล็กกว่าตะแกรงโม่แล้ว วัตถุดิบที่บดก็จะถูกลำเลียงไปยังกระบวนการถัดไป ซึ่งในการผลิตวัตถุดิบที่ใช้จะมีความแตกต่างกันไป เช่น ข้าว มันสำปะหลัง เมื่อก ข้าวโพด เป็นต้น แต่ละวัตถุดิบก็จะมีขนาดการโม่ที่ไม่เท่ากัน และมีความหนืดของวัตถุดิบที่ต่างกัน ทำให้เงื่อนไขที่ใช้ในการผลิตแตกต่างกันไปด้วย ซึ่งส่งผลกระทบต่อระบบการบำรุงรักษาเป็นอย่างมาก เนื่องจากเครื่องโม่เป็นกระบวนการเริ่มต้น ถ้าเครื่องโม่เสียจะทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดชะงักตามไปด้วย และเครื่องโม่ก็มีอายุการใช้งานมากจึงจำเป็นต้องปรับปรุงระบบบำรุงรักษาเพื่อลดความเสี่ยงที่เครื่องโม่จะหยุดหรือเสีย

วัตถุประสงค์ในการวิจัยเพื่อปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาเครื่องโม่เพื่อลดคะแนนความเสี่ยง (RPN) และเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำรุงรักษาเครื่องโม่

2. การดำเนินงาน

การดำเนินงานจะมีแผนการดำเนินงานดังนี้ การวิเคราะห์ปัญหาใช้การวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลา (fishbone diagram) การวิเคราะห์ผลกระทบจะวิเคราะห์รูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นและผลกระทบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการประเมินจากประสบการณ์และข้อมูลในอดีต การวิเคราะห์สาเหตุของความเสียหายจะวิเคราะห์โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์หาสาเหตุ (why why analysis) การวิเคราะห์หรือการขัดข้องและผลกระทบ จะใช้การวิเคราะห์หรือการขัดข้องและผลกระทบ (failure modes and effects analysis : FMEA) [5, 6] จากนั้นประเมินเป็นคะแนนความเสี่ยง (RPN) การปรับปรุงแก้ไขปรับปรุงเพิ่มเติมแผนการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (autonomous maintenance: AM) ของพนักงานหน้าเครื่อง แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance: PM) ของช่างซ่อมบำรุง แผนการซ่อมใหญ่ (overhaul)

[7] จากนั้นจะประเมินเป็นคะแนนความเสี่ยง (RPN) ซ้ำอีกครั้งเพื่อให้เป็นตัวชี้วัดผลการปรับปรุงแก้ไข

2.1 การวิเคราะห์ปัญหา

การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจะใช้เครื่องมือการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้แผนผังก้างปลา (fishbone diagram) ซึ่งแบ่งปัญหาออก 4 อย่างคือ คน (man) เครื่องจักร (machine) วัตถุดิบ (material) วิธีการ (method) ซึ่งผลการวิเคราะห์ปัญหาการสูญเสียของเครื่องโม่แสดงดังรูปที่ 1

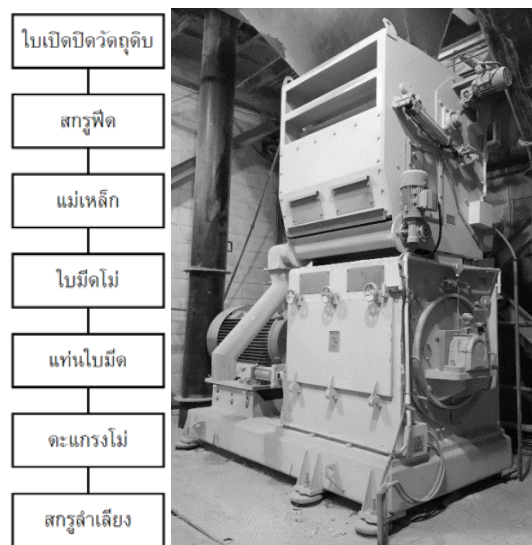


รูปที่ 1 แผนผังก้างปลาปัญหาการสูญเสียของเครื่องโม่

จากผลการวิเคราะห์ปัญหาคือด้วยแผนผังก้างปลา พบว่าปัญหาที่สำคัญคือระบบการบำรุงรักษาเครื่องโม่

2.2 การวิเคราะห์ผลกระทบ

การวิเคราะห์ผลกระทบจะวิเคราะห์จากส่วนประกอบหลักของเครื่องโม่ โดยจะศึกษาหน้าที่การทำงานของแต่ละส่วน รูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้น จากนั้นจะวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินความเสี่ยงที่เครื่องจะเสียต่อไป



รูปที่ 2 เครื่องโม่

โดยส่วนประกอบหลักของเครื่องไม่มีดังนี้

1. ไบเปิดปิดวัตถุติบ ทำหน้าที่รับวัตถุติบเข้าสู่เครื่องไม่มี ซึ่งเป็นส่วนที่ต่อเนื่องมาจากท่อลำเลียงวัตถุติบ
2. สกรูพีด ทำหน้าที่ป้อนวัตถุติบเข้าสู่ส่วนของการไม่มี
3. แม่เหล็ก ทำหน้าที่ดักจับเศษเหล็กก่อนเข้าส่วนของการไม่มี
4. ไบมีดไม่มี ทำหน้าที่ตีวัตถุติบเข้ากับแท่นไบมีดเพื่อวัตถุติบให้มีขนาดเล็กลง
5. แท่นไบมีด ทำหน้าที่เป็นแท่นรับวัตถุติบที่ถูกตีเพื่อใหวัตถุติบมีขนาดเล็กลง
6. ตะแกรงไม่มี ทำหน้าที่กรองขนาดของวัตถุติบที่ถูกไม่มีเพื่อให้มีขนาดตามที่ต้องการ
7. สกรูลำเลียง ทำหน้าที่ป้อนวัตถุติบที่ถูกไม่มีไปยังกระบวนการถัดไป

หลังจากการศึกษาส่วนประกอบเครื่องไม่มี จะวิเคราะห์ถึงรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้น และผลกระทบของส่วนประกอบนั้น เพื่อให้ทราบถึงความเสี่ยงของแต่ละชิ้นส่วนต่อคุณภาพของการผลิตและการสูญเสียที่เกิดขึ้นของเครื่องไม่มี ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเสียหายและผลกระทบจากส่วนประกอบเครื่องไม่มี

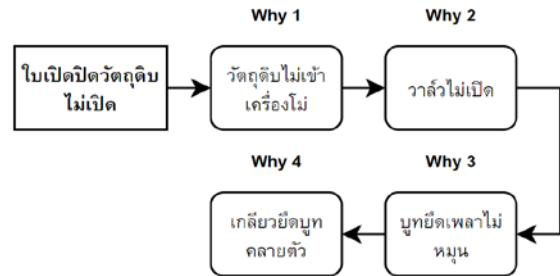
ส่วนประกอบ	ความเสียหาย	ผลกระทบ
ไบเปิดปิดวัตถุติบ	ไม่เปิด	วัตถุติบไม่เข้าเครื่องไม่มี
	เปิดช้า	ป้อนวัตถุติบได้ช้า
ไบเปิดปิดวัตถุติบ	เปิดค้าง	ป้อนวัตถุติบมากเกินไป ทำให้อัตราการผลิตเสียหาย
สกรูพีด	ไม่ทำงาน	ป้อนวัตถุติบไปไม่หมด
แม่เหล็ก	ไม่ทำงาน	เศษเหล็กปนไปกับวัตถุติบ
ไบมีดไม่มี	ไบมีดสึก	ไม่วัตถุติบนาน
แท่นไบมีด	สึก	ไม่วัตถุติบนาน
	แตก	เครื่องไม่มีสั่น
สกรูลำเลียง	ไม่ทำงาน	วัตถุติบที่ไม่แล้วค้างอยู่ในเครื่องไม่มี

ผลกระทบที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะต้องหยุดเครื่องเพื่อซ่อม โดยใช้เวลาในการซ่อมตั้งแต่ 10 นาทีไปจนถึง 24 ชั่วโมง ระบบการบำรุงรักษาเดิมจะใช้ช่างซ่อมบำรุงเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพัฒนาและปรับปรุงระบบการบำรุงรักษาให้เหมาะสมเพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้น

2.3 การวิเคราะห์สาเหตุของความเสียหาย

เมื่อวิเคราะห์ความเสียหายและผลกระทบจากส่วนประกอบเครื่องไม่มีที่เกิดขึ้น จากนั้นจะวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นโดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์หาสาเหตุ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์หาสาเหตุของความ

เสียหายทุกส่วนประกอบของเครื่องไม่มี พบว่ามีรากของปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมด 125 รายการ ตัวอย่างการวิเคราะห์สาเหตุของส่วนประกอบของเครื่องไม่มีด้วยเครื่องมือวิเคราะห์หาสาเหตุแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สาเหตุของไบเปิดปิดวัตถุติบไม่เปิด

2.4 การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) เป็นเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ความเสี่ยงที่เกิดขึ้น โดยดำเนินการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เครื่องจักรจะเสียหายของเครื่องไม่มีเพื่อใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการบำรุงรักษา [8, 9]

โดยจะวัดจากคะแนนความเสี่ยง RPN ซึ่งสามารถหาคะแนนความเสี่ยง หาได้จากสมการ

$$RPN = S \times O \times D \quad (1)$$

เมื่อ RPN คือ คะแนนความเสี่ยง

S คือ ความรุนแรง

O คือ ความถี่ในการเกิด

D คือ ความสามารถในการตรวจจับ

เกณฑ์ในการประเมินความรุนแรง โอกาสในการเกิด และความสามารถในการตรวจจับแสดงดังนี้

1. ความรุนแรง (severity: S) หมายถึงความรุนแรงของสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น โดยมีระดับคะแนน 5 ระดับดังตารางที่ 2
2. ความถี่ในการเกิด (occurrence: O) หมายถึงระยะเวลาที่เกิดของสาเหตุของความเสียหาย โดยมีระดับคะแนน 5 ระดับดังตารางที่ 3
3. ความสามารถในการตรวจจับ (detection: D) หมายถึงระบบตรวจจับสาเหตุของความเสียหายที่เกิดขึ้น [10] มีระดับคะแนน 5 ระดับดังตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ความรุนแรง (severity: S)

คะแนน	นิยาม
5	ใช้เวลาหยุดซ่อม 12 ชั่วโมงขึ้นไป
4	ใช้เวลาหยุดซ่อม 7 ถึง 12 ชั่วโมง
3	ใช้เวลาหยุดซ่อม 5 ถึง 7 ชั่วโมง
2	ใช้เวลาหยุดซ่อม 1 ถึง 5 ชั่วโมง
1	ใช้เวลาหยุดซ่อมไม่เกิน 1 ชั่วโมง

ตารางที่ 3 ความถี่ในการเกิด (occurrence: O)

คะแนน	นิยาม
5	เกิดทุกวัน
4	เกิดทุกสัปดาห์
3	เกิดทุกเดือน
2	เกิดทุก 3 เดือน
1	เกิดทุกปี

ตารางที่ 4 ความสามารถในการตรวจจับ (detection: D)

คะแนน	นิยาม
5	ไม่มีระบบ
4	ตรวจจับโดยช่างซ่อมบำรุง
3	ตรวจจับโดยพนักงานหน้าเครื่อง
2	สัญญาณไฟและสัญญาณเตือน
1	ระบบตรวจจับอัตโนมัติ

เกณฑ์ประเมินคะแนนความเสี่ยงในแต่ละด้านพบว่าคะแนนความเสี่ยงที่สูงที่สุดมีคะแนนความเสี่ยงเท่ากับ 125 คะแนน และคะแนนความเสี่ยงที่ต่ำที่สุดมีคะแนนความเสี่ยงเท่ากับ 1 คะแนน

จากนั้นทำการประเมินความเสี่ยงของเครื่องโม่ด้วยค่า RPN ตัวอย่างการประเมินความเสี่ยงแม่เหล็กของเครื่องโม่ด้วยค่า RPN แสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งแม่เหล็กมีความเสียหายที่เกิดขึ้นดังต่อไปนี้

- แม่เหล็กหมดอายุการใช้งาน ใช้เวลาซ่อม 1 ชั่วโมง เกิดทุก 6 เดือน ตรวจพบโดยช่างซ่อมบำรุง
- แม่เหล็กสกปรก ใช้เวลาซ่อม 20 นาที เกิดทุกสัปดาห์ ตรวจพบโดยช่างซ่อมบำรุง
- เกลียวยึดบูทของแม่เหล็กคลายตัว ใช้เวลาซ่อม 10 นาที เกิดทุกปี ไม่มีระบบตรวจจับ
- ลิมลือกบูทของแม่เหล็กคลายตัว ใช้เวลาซ่อม 10 นาที เกิดทุกปี ไม่มีระบบตรวจจับ
- ฐานแม่เหล็กสึก ใช้เวลาซ่อม 3 ชั่วโมง เกิดทุกปี ไม่มีระบบตรวจจับ

ซึ่งสามารถประเมินคะแนนความรุนแรง โอกาสในการเกิดความสามารถในการตรวจจับ และคะแนนความเสี่ยงได้ดังตารางที่ 5

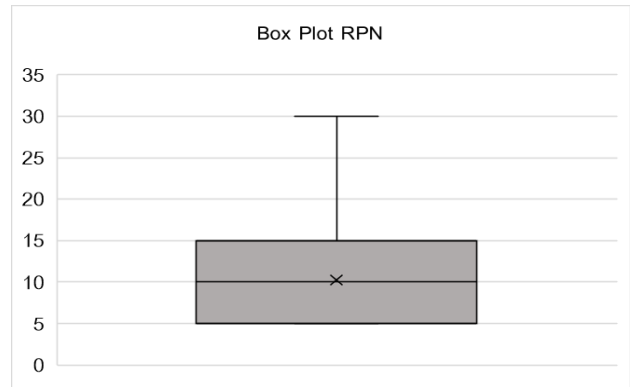
ตารางที่ 5 การประเมินความเสี่ยงแม่เหล็กของเครื่องโม่ด้วยค่า RPN

ส่วนประกอบและความเสียหายที่เกิดขึ้น	คะแนน			
	S	O	D	RPN
แม่เหล็กหมดอายุการใช้งาน	2	2	4	16
แม่เหล็กสกปรก	1	4	4	16
เกลียวยึดบูทของแม่เหล็กคลายตัว	1	1	5	5
ลิมลือกบูทของแม่เหล็กคลายตัว	1	1	5	5
ฐานแม่เหล็กสึก	2	1	5	10

โดยเครื่องโม่ไม่มีรูปแบบความเสียหายที่เกิดขึ้นทั้งหมด 125 รายการ และมีคะแนนความเสี่ยง (RPN) เท่ากับ 1,282 คะแนน

2.5 การปรับปรุงแก้ไข

การปรับปรุงแก้ไขจะทำการออกแบบการตรวจจับและการป้องกัน (detection: d) เพื่อลดคะแนน RPN ที่เกิดขึ้น ซึ่งเป้าหมายของคะแนน RPN ไม่เกิน 15 คะแนนจากค่า RPN ในควอไทล์ที่ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 15 ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 Box Plot คะแนนความเสี่ยง (RPN) ของเครื่องโม่

เมื่อมีส่วนประกอบหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นของเครื่องโม่ที่มีคะแนนความเสี่ยงเกิน 15 คะแนน จะปรับปรุงระบบบำรุงรักษาใหม่เพื่อลดคะแนนความเสี่ยงที่เกิดขึ้น โดยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนในการปรับปรุงได้ดังนี้

- ตั้งเป้าคะแนนความเสี่ยง (RPN) ไม่เกิน 15 คะแนน
- ประเมินคะแนนความรุนแรงของปัญหา (severity: S)
- ประเมินคะแนนความถี่ในการเกิด (occurrence: O)
- กำหนดคะแนนความสามารถในการตรวจจับและการป้องกัน (detection: D)

จากผลการประเมินความสามารถในการตรวจจับและการป้องกัน ถ้าพบว่าคะแนนความสามารถในการตรวจจับและการป้องกัน เท่ากับ 2 ถึง 5 ต้องมีมาตรการรองรับ แต่ถ้าไม่สามารถปรับระบบการตรวจจับได้ จะทำการวางแผนเพื่อซ่อมใหญ่ดังนี้

เมื่อคะแนน D เท่ากับ 5 จะถูกเพิ่มอยู่ในแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของช่างซ่อมบำรุง

เมื่อคะแนน D เท่ากับ 4 จะถูกเพิ่มอยู่ในแผนการบำรุงรักษาด้วยตนเองของพนักงานหน้าเครื่อง

เมื่อคะแนน D เท่ากับ 3 จะถูกเพิ่มสัญญาณเตือนต่าง ๆ เช่น ไฟสัญญาณ เสียงสัญญาณ

เมื่อคะแนน D เท่ากับ 2 จะถูกเพิ่มระบบตรวจจับอัตโนมัติ โดยมีรายการการบำรุงรักษาที่ถูกเพิ่มอยู่ในแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของช่างซ่อมบำรุงจำนวน 9 รายการดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (PM) ของช่างซ่อมบำรุงเพิ่มเติม

รายการ	วิธีการปฏิบัติงาน	ความถี่
บูทยึดแม่เหล็ก	เปลี่ยน	ทุกปี
สายไฟมอเตอร์สกรูพิด	ตรวจเช็ค	ทุกสัปดาห์
ปั๊มลมแม่เหล็ก	ตรวจเช็ค เป่ากรอง	ทุกสัปดาห์
ใบมีด	ตรวจเช็ค สลัดด้าน	ทุกสัปดาห์
สัญญาณไฟเตือนการทำงานมอเตอร์หมุนใบมีด	ตรวจเช็ค	ทุกสัปดาห์
ตะแกรงโม	ตรวจเช็ค	ทุกสัปดาห์
ร่องตะแกรงโม	ตรวจเช็ค	ทุกสัปดาห์
กรองปั๊มลม	ตรวจเช็ค เป่าฝุ่น	ทุกสัปดาห์
มอเตอร์สกรูพิด	วัดกระแส	ทุกวัน

รายการการบำรุงรักษาที่ถูกเพิ่มอยู่ในแผนการบำรุงรักษาด้วยตนเองของพนักงานหน้าเครื่องจำนวน 16 รายการดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 แผนการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (AM) ของพนักงานหน้าเครื่องเพิ่มเติม

รายการ	วิธีการปฏิบัติงาน	ความถี่
แม่เหล็ก	ตรวจเช็ค	ทุกเดือน
ฉนวนหุ้มสายไฟมอเตอร์หมุนใบมีด	ตรวจเช็ค	ทุกเดือน
โรเตอร์หมุนใบมีด	ตรวจเช็ค	ทุกเดือน
แท่นใบมีด	ตรวจเช็ค	ทุกเดือน
สกรูเคลียร์ไลน์	ทำความสะอาด	ทุกเดือน
ฉนวนหุ้มสายไฟปั๊มลม	ตรวจเช็ค	ทุกเดือน
กรองปั๊มลม	ทำความสะอาด	ทุกสัปดาห์
แม่เหล็ก	ทำความสะอาด	ทุกวัน
ใบมีด	ตรวจเช็ค	ทุกวัน
มอเตอร์หมุนใบมีด	ตรวจเช็คกระแส	ทุกวัน
โครงเครื่องโม	ตรวจเช็ค	ทุกวัน
ตะแกรงโม	ตรวจเช็ค	ทุกวัน
ตะแกรงโม	ทำความสะอาด	ทุกวัน
สายพานมอเตอร์	ตรวจเช็ค	ทุกวัน
ปั๊มลม	ตรวจเช็คกระแส	ทุกวัน
กรองผ้าปั๊มลม	ทำความสะอาด	ทุกวัน

จะมีรายการการบำรุงรักษาที่ถูกเพิ่มเติมขึ้นมาซึ่งไม่สามารถปรับเป็นแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของช่างซ่อมบำรุง และแผนการ

บำรุงรักษาด้วยตนเองของพนักงานหน้าเครื่อง โดยจะปฏิบัติเมื่อซ่อมใหญ่ จำนวน 5 รายการดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 รายการการบำรุงรักษาเพิ่มเติมเมื่อซ่อมใหญ่

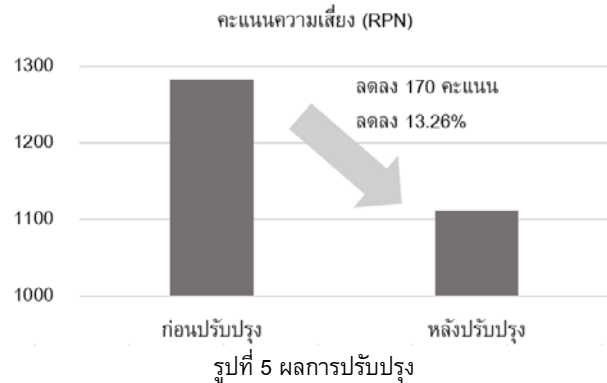
รายการ	วิธีการปฏิบัติงาน
สกรูเคลียร์ไลน์	ล้างทั้งระบบ
เซนเซอร์วัดอุณหภูมิลูกปืน	ทำความสะอาด/ปรับตั้ง
ถังเติมจาระบีอัตโนมัติ	ถ่ายจาระบีเก่า
สัญญาณไฟเตือนการทำงานมอเตอร์หมุนใบมีด	เปลี่ยนฝาครอบป้องกัน
โครงตะแกรง	เปลี่ยนอุปกรณ์ยึด (น็อต สกรู)

2.6 ผลการปรับปรุงแก้ไข

จากการปรับปรุงแก้ไขเพื่อพัฒนาระบบตรวจจับและการป้องกันโดยมีการปรับปรุงเป็น 3 ประเภทดังนี้

1. แผนการบำรุงรักษาด้วย ของพนักงานหน้าเครื่อง
2. แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของช่างซ่อมบำรุง
3. แผนการซ่อมใหญ่

ผลการดำเนินงานก่อนปรับปรุงมีคะแนนความเสี่ยงที่เครื่องจักรจะเสียหายเท่ากับ 1,282 คะแนน หลังปรับปรุงมีคะแนนความเสี่ยงที่เครื่องจักรจะเสียหายเท่ากับ 1,112 คะแนน เท่ากับมีคะแนนความเสี่ยงที่เครื่องจักรจะเสียหายลดลง 170 คะแนน คิดเป็น 13.26 เปอร์เซ็นต์



เวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาเครื่องไม่ก่อนปรับปรุงส่วนมากจะใช้เวลาไปกับงานซ่อมเป็นหลัก ซึ่งเวลาในการบำรุงรักษาเครื่องไม่ก่อนการปรับปรุงประมาณ 60 นาทีต่อวัน หลังการปรับปรุงใช้เวลาในการบำรุงรักษาเครื่องไม่ประมาณ 50 นาทีต่อวัน เท่ากับใช้เวลาในการบำรุงรักษาเครื่องไม่ลดลง 10 นาทีต่อวัน คิดเป็น 16.67 เปอร์เซ็นต์ ประเมินการความสูญเสียจากกระบวนการบำรุงรักษาเครื่องไม่ก่อนการปรับปรุงเกิดความสูญเสียจากกระบวนการบำรุงรักษาเท่ากับ 9.9 ตันต่อเดือน คิดมูลค่าเป็น 60,000 บาทต่อเดือน หลังการปรับปรุงลดลงเหลือ 8.25 ตันต่อเดือน คิดมูลค่าเป็น 50,000 บาทต่อเดือน เท่ากับสามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำรุงรักษาเครื่องไม่

1.65 ต้นต่อเดือน คิดมูลค่าเป็น 10,000 บาทต่อเดือน คิดเป็น 16.67 เปอร์เซ็นต์

3. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ ควรประเมินแต่ละเครื่องจักรให้ครบทั้งกระบวนการเพื่อลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระบวนการผลิตส่วนมากจะเป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง (continuous line)

4. สรุป

ผลการดำเนินงานจากการปรับปรุงทั้ง 3 มาตรการ 1.แผนการบำรุงรักษาด้วยตนเองของพนักงานหน้าเครื่อง 2.แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของช่างซ่อมบำรุง 3.แผนการซ่อมใหญ่ซึ่งทั้ง 3 มาตรการนี้เป็นการดำเนินงานตามหลักการการบำรุงรักษาเครื่องจักร เป็นการประยุกต์นำการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบมาใช้เพื่อเป็นแผนอ้างอิงสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักร พบว่าสามารถลดความเสียหายที่เครื่องจักรจะเสียหายลดลง 13.26 เปอร์เซ็นต์ และสามารถลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำรุงรักษาเครื่องไม่เท่ากับ 16.67 เปอร์เซ็นต์

เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ, สำนักพิมพ์ ส.ส.ท, 2556.
- [2] บัณฑิตวีร์ สุทธิประภาภิสิทธิ์. 2562. "การวิเคราะห์ลักษณะข้อผิดพลาดของผลกระทบโดยการใช้ FMEA ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขวดพลาสติกสำหรับบริโภค" คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] อนุศักดิ์ ฉันทไพศาล. การบำรุงรักษา, ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ., 2557.
- [4] C. Lundgren, A. Skoogh and J. Bokrantz. 2018 "Quantifying the Effects of Maintenance – a Literature Review of Maintenance Models". Procedia CIRP Conference on Manufacturing Systems, Vol. 72: 16.5-1310.
- [5] J. Doshi and D.A. Desai. 2017. "Application of failure mode & effect analysis (FMEA) for continuous quality improvement - multiple case studies in automobile SMEs". International Journal for Quality Research, Vol. 11 (2): 345-360.
- [6] T.S. Parsana and M. T. Patel. 2014. "A Case Study: A Process FMEA Tool to Enhance Quality and Efficiency of Manufacturing Industry". Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science, Vol. 4 (3): 145-152.
- [7] D. Green and J. F. Goose. Industrial Maintenance, Amer Technical Pub., 2010.

- [8] จิตรารวรรณ เวฬุวนารักษ์. 2556. "การเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรด้วยแนวคิดการผลิตแบบลีน โดยอาศัยวิธี FMEA กรณีศึกษา โรงงานประกอบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ". วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : บริหารธุรกิจและภาษา, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1: 1-4.
- [9] พรรณวิภา ลากจิตร และ นุศราพร เกษสมบูรณ์. 2020. "การจัดการความเสี่ยงโดยใช้ Failure Mode and Effects Analysis ในลูกโซ่ความเย็นวัคซีนของอำเภอสนม จังหวัดสุรินทร์". วารสารเภสัชกรรมไทย , ปีที่ 13, ฉบับที่ 1: 52-65.
- [10] A. Mascia, A. M. Cirafici and Et.Al. 2020. "A failure mode and effect analysis (FMEA)-based approach for risk assessment of scientific processes in non-regulated research laboratories". Accreditation and Quality Assurance, Vol. 25: 311–321.

การพัฒนาโครงเป้สนามส่วนบนเพื่อลดการบาดเจ็บแผ่นหลังของนักเรียนนายร้อย The Development of Upper Frame's Rucksack Suitable for Cadet's Back

พิสิฐชัย พงษ์แย้ม ธีระเดช ธีระเจริญกุล วศิน แสนใจวุฒิ ภูภักดิ์ ไชยรักษ์ พีรพัชร สตามิตร วรภัทร ทองเหลือ กิตติศักดิ์ พิมพ์พันธ์

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม กองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

E-mail: kittisak.ph@crma.ac.th*

Phisitchai Pongyam, Thiradet Thiracharoenkun, Wasin Saenjaiwut, Phuphat Chairak, Peerapat Sathamit, Worapat Thonglue,

Kittisak phimkan*

Program of Industrial Engineering, Department of Ordnance Engineering, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

E-mail: kittisak.ph@crma.ac.th*

บทคัดย่อ

เป้สนามเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการปฏิบัติการของทหารเพื่อใช้ในการบรรทุกสัมภาระต่างๆ เป้สนามที่มีความเหมาะสมกับสรีระจะทำให้สามารถปฏิบัติการได้อย่างคล่องแคล่ว ลดความเมื่อยล้า ความเจ็บปวดจากการสวมใส่เป็นเวลานานได้ เป้สนามของกองทัพในปัจจุบันมีลักษณะของโครงเป้สนามไม่เหมาะสมเมื่อปฏิบัติการเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการบาดเจ็บของร่างกาย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการบาดเจ็บแผ่นหลังจากการสวมใส่เป้สนามของนักเรียนนายร้อย จากการหาสาเหตุของปัญหาพบว่าลักษณะของโครงเป้สนามมีลักษณะที่ไม่โค้งรับกับแผ่นหลังทำให้โครงเป้มีการกดทับบริเวณแผ่นหลังส่วนบนและสะบักและไม่มีวัสดุป้องกันการกดทับแผ่นหลังจากโครงเป้ จึงได้เก็บข้อมูลความโค้งแผ่นหลังส่วนบนบริเวณที่โครงเป้กดทับเพื่อออกแบบโครงเป้สนามที่มีความเหมาะสมกับนักเรียนนายร้อย การสุ่มตัวอย่างเป็นการสุ่มแบบเจาะจงโดยให้นักเรียนนายร้อยกองวิชาวิศวกรรมสรรพาวุธจำนวน 91 นาย จากนั้นทำการขึ้นรูปโครงเป้แบบใหม่ 2 แบบ แบบที่ 1 ออกแบบให้ความโค้งเท่ากับค่าเฉลี่ยของความโค้งที่วัดได้เพื่อให้โครงเป้สนามมีลักษณะแนบติดกับแผ่นหลังพอดี แบบที่ 2 ออกแบบให้ความโค้งเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเพื่อลดการกดทับบริเวณสะบัก แบบที่ 3 เป็นโครงเป้แบบเดิม โดยทั้ง 3 แบบ จะหุ้มด้วยวัสดุป้องกันการกดทับเป็นแผ่นพลาสติกเอทิลีนไวนิลแอลกอฮอล์ ทำการประเมินความพึงพอใจโดยให้นักเรียนนายร้อยจำนวน 30 นาย สวมใส่เป้สนามแต่ละแบบตามลำดับสุ่มพร้อมทั้งแบกสัมภาระน้ำหนัก 10 กิโลกรัม ทำการเดินเร่งรีบในทางเดินป่าไม่มีความชันเป็นระยะทาง 4.83 กิโลเมตร ผลการประเมินความพึงพอใจด้านความเจ็บปวดจากการสวมใส่โครงเป้แบบที่ 1, 2, 3 เท่ากับ 4.10, 4.40, 3.37 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าโครงเป้ที่ได้มีการปรับปรุงจัดอยู่ในเกณฑ์ค่าเฉลี่ยในระดับพึงพอใจมากถึงมากที่สุดและสามารถลดการบาดเจ็บแผ่นหลังของนักเรียนนายร้อยได้

คำสำคัญ: เป้สนาม การวัดความโค้งแผ่นหลังส่วนบน ไม่บรรทัดกระดูกงู

Abstract

Rucksack is an important tool for soldiers to complete their missions by containing objects. Rucksacks that are suitable for the posture will allow the soldier to move comfortably during their missions. It also reduces tiresome and pain from holding the weight for a long time. Rucksacks that Royal Thai Army uses currently have the upper frame that is not suitable for the upper back part and can cause physical pain if wearing for a long time. This research aimed to reduce back pain from wearing rucksack in cadets. It was found that the upper frame is not bent to suit the upper back and there was pressure on it and shoulders. There was no material to protect the back from the pressure of the rucksack. The data was collected by measuring the curve of upper shoulder because it is the area that is pressed and to design the suitable rucksack's upper frame for the cadets. The sampling was purposive and there were 91 cadets in ordnance engineering. After that, 2 new designs of the frame were created. The first design made the bending part to be the same as back curve and to allow upper frame to fit and close to the back. The second design made the bending to be in trapezoid so it can reduce the pressure on shoulders. The 3rd option was the same original design. All designs were wrapped in protection material as ethylene vinyl acetate sheet. The evaluation form was completed by 30 cadets who wore rucksacks of each design randomly carrying 10 kilograms of weight and rush for 3 miles. The result of satisfaction from wearing the rucksack in design 1,2, and 3 were 4.10, 4.40, 3.37, respectively. It can be indicated that the frame that had been adjusted has satisfaction in high and very high level from reduction of back pain for cadets.

Keywords: Rucksack, Back curve measurement, Flexible curve rulers

1. บทนำ

ทหารมีภารกิจทั้งในหน่วยที่ตั้งและการออกภาคสนาม สำหรับภารกิจที่ต้องออกภาคสนามถือเป็นภารกิจที่สำคัญ และเป็นภารกิจที่ต้องปฏิบัติไม่ว่าจะเป็นภารกิจร่วมกับต่างประเทศ การฝึกกระโดดร่มตอน หมวด กองร้อย กองพัน โดยเบ็ดเตล็ดถือเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ใช้ในการฝึกภาคปฏิบัติเพื่อใช้ในการบรรทุกสัมภาระต่างๆ ให้ตอบสนองภารกิจที่ได้รับ สำหรับโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าซึ่งมีหน้าที่ผลิตนักเรียนนายร้อยให้เป็นนายทหารสัญญาบัตรมีหลักสูตรในการเรียนทั้งภาคทฤษฎีและภาคปฏิบัติ โดยเฉพาะการฝึกทางวิชาทหารที่ต้องฝึกภารกิจของทหารเป็นหลักนั้นก็มีความจำเป็นที่ต้องใช้เบ็ดเตล็ดประกอบทุกภารกิจ

เบ็ดเตล็ดของกองทัพก็มีหลายรูปแบบแต่จะแตกต่างกันสำหรับเบ็ดเตล็ดของกองทัพที่โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้านำมาใช้ในการฝึกนั้น ส่วนประกอบของเบ็ดเตล็ดจะมีโครงเบาะลิ่มนิ่มที่ช่วยรับน้ำหนักสัมภาระและทำให้เบ็ดเตล็ดส่วนที่เป็นผ้ายังคงรูปเดิมอยู่ได้ แต่เมื่อสวมใส่เป็นเวลานานหรือแบกสัมภาระที่มีน้ำหนักมากโครงเบ็ดเตล็ดส่วนบนที่มีลักษณะตรงไม่โค้งงอตามแผ่นหลังจะมีการกดทับแผ่นหลังส่วนบนและบริเวณสะบักเมื่อใช้กับภารกิจที่มีทั้งการเดิน การวิ่งระยะทางไกล หรือในภารกิจที่ต้องมีการแบกสัมภาระที่มีน้ำหนักมากโดยเฉลี่ยมีน้ำหนัก 5-10 กิโลกรัม เมื่อใช้เวลาในการปฏิบัติภารกิจเป็นเวลานานๆ ทำให้ส่งผลต่อการบาดเจ็บของร่างกายผู้ที่สพายเบ็ดเตล็ดโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณแผ่นหลังส่วนบนและสะบักทำให้เกิดอาการเจ็บปวดบริเวณที่ถูกกดทับจากโครงเบ็ดเตล็ด

จากปัญหาที่มีผลกระทบต่อความเจ็บปวดของผู้ใช้เบ็ดเตล็ด แสดงให้เห็นถึงความไม่เหมาะสมของโครงเบ็ดเตล็ดส่วนบนที่ทำให้เกิดอุปสรรคในการปฏิบัติภารกิจต่างๆ ดังนั้นคณะผู้จัดทำจึงเล็งเห็นความสำคัญในการพัฒนา และปรับปรุงโครงเบ็ดเตล็ดเพื่อให้มีความเหมาะสมกับแผ่นหลังของนักเรียนนายร้อย และเป็นการป้องกันอาการบาดเจ็บ อีกทั้งเป็นขวัญและกำลังใจในการปฏิบัติภารกิจเพื่อให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงได้วิจัยและพัฒนาความโค้งงอของโครงเบ็ดเตล็ดส่วนบนให้เหมาะสมและลดการบาดเจ็บแผ่นหลังของนักเรียนนายร้อย

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาโครงเบ็ดเตล็ดส่วนบนเพื่อลดการบาดเจ็บแผ่นหลังของนักเรียนนายร้อยผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ดังนี้

2.1 การยศาสตร์

การยศาสตร์ (Ergonomics) หมายถึง สาขาวิชาการศึกษาเกี่ยวกับระบบงานซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญ คือ มนุษย์ อุปกรณ์และเครื่องมือ สภาพแวดล้อม และงานที่ต้องปฏิบัติโดยมีจุดมุ่งหมายที่จะช่วยออกแบบ จัดแปลง และปรับปรุงระบบงานให้เกิดความเหมาะสมสำหรับมนุษย์เพื่อให้สามารถปฏิบัติงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและได้รับผลกระทบจากองค์ประกอบอื่น ๆ น้อยที่สุด ในระบบงานการยศาสตร์มีองค์ประกอบ ได้แก่ มนุษย์ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้เพื่อปฏิบัติงานที่

ได้รับมอบหมาย สภาพแวดล้อมในบริเวณปฏิบัติงาน นักการยศาสตร์ต้องพิจารณามนุษย์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของระบบงาน และต้องออกแบบจัดแปลง และปรับปรุงองค์ประกอบอื่น ๆ ให้สอดคล้องและส่งเสริมองค์ประกอบมนุษย์ [1]

2.2 การศึกษาสัดส่วนของร่างกาย

2.2.1 การวัดขนาดสัดส่วนของร่างกาย

การวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายที่ใช้ประกอบในการออกแบบผลิตภัณฑ์เครื่องมือ เครื่องใช้ และอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถแบ่งประเภทของการวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายได้ 2 ประเภท ดังนี้ [2]

1. การวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายในสภาวะร่างกาย อยู่นิ่งหรืออยู่กับที่ (Static Physical Anthropometry)

เป็นวิธีการวัดขนาดสัดส่วนร่างกายมนุษย์ในตำแหน่งที่ร่างกายอยู่ในสภาพสมดุลหรืออยู่นิ่ง โดยวิธีการวัดจะวัดจากจุดที่กำหนดไว้จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง เช่น ความยาว ความกว้าง ความหนา ความสูง เป็นต้น

2. การวัดขนาดสัดส่วนของร่างกายในขณะที่ร่างกายเคลื่อนไหว (Dynamic Body Dimension)

เป็นการศึกษาขนาดสัดส่วนของร่างกายในขณะที่เคลื่อนไหวหรือทำงาน เช่น การประกอบชิ้นส่วน การเอื้อมมือไปหยิบของ การควบคุมคันบังคับบนแผงควบคุม เป็นต้น

2.2.2 ประโยชน์ของการออกแบบตามสัดส่วนร่างกายมนุษย์

การศึกษาด้านข้อมูลเกี่ยวกับขนาดสัดส่วนมนุษย์มีความสำคัญยิ่งต่อการออกแบบ [3] เนื่องจากขนาดสัดส่วนของมนุษย์ส่วนที่ปฏิสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์โดยตรงจะมีอิทธิพลต่อการกำหนดขนาดสัดส่วนของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ การศึกษาเกี่ยวกับขนาดสัดส่วนของมนุษย์ช่วยให้การกำหนดขนาดและโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ให้มีความสอดคล้องกับขนาดสัดส่วนของมนุษย์ที่ต้องปฏิสัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์ หรือควบคุมระบบการทำงานของผลิตภัณฑ์โดยตรง เนื่องจากมนุษย์มีความแตกต่างกันตามเพศชาติพันธุ์ พันธุกรรม ช่วงอายุ อาชีพ และชนชั้นทางสังคม ดังนั้นการออกแบบผลิตภัณฑ์จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงความต้องการและเลือกใช้อัตลักษณ์ขนาดสัดส่วนของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบได้อย่างถูกต้องและเหมาะสม การออกแบบตามสัดส่วนร่างกายมนุษย์เป็นการออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับมนุษย์ทั้งทางด้านความต้องการในการใช้งาน ขนาดสัดส่วนของมนุษย์ ซีดความสามารถในการรับรู้ทางร่างกายของมนุษย์พฤติกรรมในการใช้งานและจิตวิทยาสามารถสนองความต้องการของผู้ใช้งานเพื่อประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานเพื่อความปลอดภัย และสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้งาน นอกจากนั้นยังเป็นการหลีกเลี่ยงอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

2.3 เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 แบบ (7 QC Tool)

เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 แบบ เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกระบวนการผลิต [4] ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา คัดเลือกหรือจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง เพื่อให้สามารถแก้ไขได้อย่างถูกต้องรวมทั้งติดตามผลอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพที่สำคัญมี 7 ชนิด [5] คือ ใบตรวจสอบ (Check Sheet), แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram), แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram), กราฟ (Graph), ฮิสโตแกรม (Histogram), ผังแสดงการกระจาย (Scatter Diagram) และ แผนผังควบคุม (Control Chart)

2.4 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.4.1 ค่าความถี่ ค่าร้อยละ

2.4.2 ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation)

2.4.3 เกณฑ์ค่าเฉลี่ย ในความหมายของการประเมินใช้ระดับความพึงพอใจตามมาตราส่วนประมาณ 5 ค่า ระดับของลิเคิร์ต (Likert Scale) [6]

- 4.21 - 5.00 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ มากที่สุด
- 3.41 - 4.20 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ มาก
- 2.61 - 3.40 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ ปานกลาง
- 1.81 - 2.60 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ น้อย
- 1.00 - 1.80 หมายถึง ระดับความพึงพอใจ น้อยที่สุด

2.5 เบ้สนาม

เบ้สนามที่นักเรียนนายร้อยใช้สำหรับบรรจุสิ่งของอุปกรณ์ประจำกายในการปฏิบัติภารกิจในปัจจุบันมีชื่อสิ่งอุปกรณ์คือ เบ้หลังครบชุด แสดงดังรูปที่ 1 หมายเลขสิ่งอุปกรณ์ 8415-35-234-0375 ออกแบบด้วยเทคโนโลยีที่ทันสมัย ใช้วัสดุมาตรฐานทางการทหาร (MIL STANDARD) ทน แข็งแรง มีความกระชับ และคล่องตัวสูงในการแบกถ่ายน้ำหนักสัมภาระมีส่วนประกอบ 4 ส่วนหลัก ดังนี้ [7]



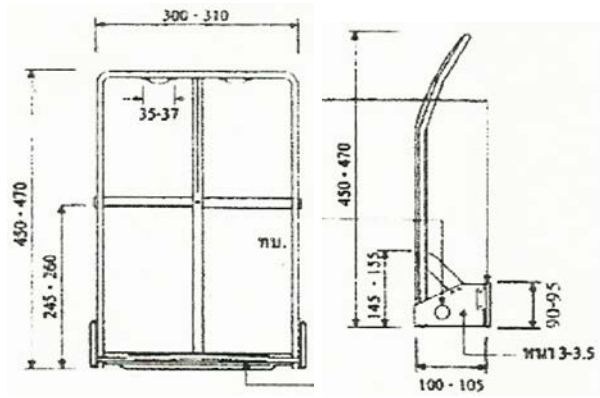
รูปที่ 1 เบ้หลังครบชุด

2.5.1 ถุงเป้

เบ้สนามมีช่องใส่สัมภาระขนาดไม่น้อยกว่า 45 ลิตร ประกอบด้วยช่องใส่สัมภาระหลัก ช่องใส่สัมภาระด้านข้าง และช่องใส่ถุงน้ำด้านข้าง ถุงเป้ทำด้วยผ้าไนลอน ด้านในเสริมด้วยยางฟองน้ำ (SPONGE RUBBER) และสวมกับโครงเบ้ได้พอดี

2.5.2 โครงเบ้

โครงเบ้หน้าหนักไม่เกิน 950 กรัม ส่วนที่เป็นโลหะทำด้วยอะลูมิเนียมเพื่อรักษารูปทรงถุงเป้ มีโครงอะลูมิเนียมกว้างประมาณ 3 เซนติเมตรหนา 1-3 มิลลิเมตร จำนวน 6 ชั้น เพื่อรักษารูปทรงกระเป๋าและเสริมสร้างความคล่องตัวในการแบกสัมภาระเป็นระยะเวลานาน ฟันซี่เดียวกับผ้าที่ใช้ตัดเย็บตัวถุง ส่วนประกอบที่เป็นวัสดุสังเคราะห์อุดทอที่กวางของโครงเบ้ทำด้วยเทอร์โมพลาสติก ชนิดไนลอน 66 แบบของโครงเบ้ แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบโครงเบ้สนามด้านหน้าและด้านข้าง

2.5.3 ชุดสายรัดเอว

ชุดสายรัดเอวประกอบด้วยเบาะรองทำด้วยผ้าไนลอนชนิดเดียวกับผ้าทำถุงเป้ เบาะรองหลังด้านในเสริมด้วยฟองน้ำ (SPONGE RUBBER) มีแถบขนาดกว้าง 70 มิลลิเมตร สายรัดเอวมีหัวเข็มขัดทำด้วยเทอร์โมพลาสติกชนิด POLYCETAL และเมื่อประกอบกันต้องทนแรงดึงได้ไม่น้อยกว่า 80 กิโลกรัมแรง

2.5.4 สายพาดบ่า ซ้าย-ขวา

สายพาดบ่าซ้าย-ขวาทำด้วยแถบขนาด 55 มิลลิเมตร เย็บทาบติดกับเบาะรองทำด้วยผ้าไนลอน คุณสมบัติเช่นเดียวกับผ้าทำถุงเป้ด้านในเสริมด้วยยางฟองน้ำ (SPONGE RUBBER)

3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่มีการออกแบบขึ้นรูปชิ้นงานหรืออุปกรณ์ให้มีความเหมาะสมกับผู้ใช้งานมากยิ่งขึ้นและมีการประเมินความพึงพอใจต่อชิ้นงานที่ได้ออกแบบตั้งงานวิจัยของ สมใจ โฉมประโคน [8] พัฒนานวัตกรรมหมอนหนุนกะลาและเปรียบเทียบอาการปวดคอ บ่า ไหล่ ก่อนและหลังการใช้นวัตกรรมรวมทั้งประเมินความพึงพอใจในการใช้นวัตกรรม ผลการวิจัยพบว่านวัตกรรมหมอนหนุนกะลาที่มีความพึงพอใจภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (Mean=4.66, SD=0.31) มณีวรรณ ศรีมรรณ [9] ได้ออกแบบชุดอุปกรณ์เสริมที่ใช้สำหรับเก้าอี้เพื่อการผ่อนคลายในขณะที่ทำงาน ผลปรากฏว่าชุดอุปกรณ์เสริมสำหรับเก้าอี้ชุดที่ 1, 2, 3 และ 4 พบว่ามี

ความพึงพอใจในการใช้ผลิตภัณฑ์โดยรวมอยู่ที่ระดับพึงพอใจมาก โดยระดับความพึงพอใจมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 4.37, 4.72, 4.72 และ 4.79 ตามลำดับ เฉลิมสิริ เทพพิทักษ์ [10] ได้ศึกษารูปแบบและขนาดของเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในห้องเรียนแต่ละแบบ โดยวัดขนาดสัดส่วนร่างกายของนักศึกษาเพื่อประเมินความเหมาะสมระหว่างขนาดสัดส่วนร่างกายและขนาดของเฟอร์นิเจอร์และออกแบบเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในห้องเรียนพบว่าการออกแบบที่ได้มีการปรับปรุงได้รับความพึงพอใจจากผู้ใช้ นครดวงแก้ว [11] ได้ออกแบบและสร้างเก้าอี้การยศาสตร์สำหรับห้องเรียนบรรยายให้เหมาะสมตามหลักกายศาสตร์และให้มีท่าทางที่มีความปลอดภัย หลังการปรับปรุงเก้าอี้ปรากฏว่านักศึกษารู้สึกไม่สบายในส่วนต่างๆ ของร่างกายลดลง

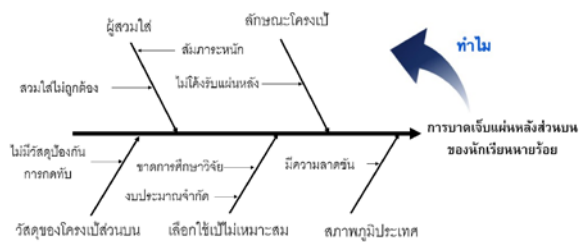
นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีการใช้เครื่องมือในการวัด flexible ruler และแผ่นผังก้างปลาในงานวิจัยของ รุ่งทิพย์ พันธุเมธากุล [12] ศึกษาความโค้งงอของกระดูกสันหลังระดับเอวในคนปกติโดยใช้ flexible ruler เกรียงไกร ศรีเลิศ [13] ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 QC Tool โดยใช้แผ่นผังก้างปลาในการหาสาเหตุของปัญหาและออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ช่วยในการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคนงาน

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยมีทั้งหมด 3 ขั้นตอน ดังนี้

4.1 หาสาเหตุของการบาดเจ็บแผ่นหลังจากการสวมใส่เป้สนาม

วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาการบาดเจ็บแผ่นหลังจากการสวมใส่เป้สนามของนักเรียนนายร้อยโดยใช้แผ่นผังก้างปลา แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผ่นผังก้างปลาแสดงสาเหตุของการบาดเจ็บแผ่นหลังส่วนบน

จากแผ่นผังก้างปลาผู้วิจัยเลือกที่จะไม่ศึกษา 3 สาเหตุของปัญหา คือ 1.สาเหตุจากการสวมใส่ที่ไม่ถูกต้องเนื่องจากนักเรียนนายร้อยได้รับการฝึกการสวมใส่เบ้ที่ถูกต้องและมีการฝึกโดยใส่เป้สนามอย่างสม่ำเสมอ 2.สาเหตุจากการเลือกเป้สนามที่ไม่เหมาะสมเนื่องจากผู้วิจัยมีความต้องการปรับปรุงเป้สนามที่มีอยู่เดิมให้สามารถใช้ได้ดียิ่งขึ้น 3.สาเหตุจากสภาพภูมิประเทศเนื่องจากเป็นข้อจำกัดที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ การนำเสนอแนวทางและวิธีการลดการบาดเจ็บแผ่นหลังส่วนบนของนักเรียนนายร้อยจึงได้เลือกแก้ไขสาเหตุของปัญหา 2 สาเหตุ คือ การศึกษาวิจัยลักษณะของโครงเป้ส่วนบนที่ไม่โค้งรับกับแผ่นหลังจะทำการปรับปรุงโดยการออกแบบโครงเป้ส่วนบนแบบ

ใหม่ และการไม่มีวัสดุป้องกันการกดทับจะเป็นการเพิ่มวัสดุป้องกันการกดทับแผ่นหลังส่วนบนจากโครงเป้

4.2 การออกแบบลักษณะของโครงเป้ส่วนบน

การออกแบบลักษณะของโครงเป้ส่วนบนที่ไม่โค้งรับกับแผ่นหลังได้ศึกษาความโค้งแผ่นหลังบริเวณที่โครงเป้ส่วนบนกดทับ โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างเป็นนักเรียนนายร้อยชั้นปีที่ 2, 3 และ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จำนวน 91 นาย มีขั้นตอนการเก็บข้อมูลและการออกแบบดังนี้

4.2.1 การเก็บข้อมูลความโค้งแผ่นหลังส่วนบนบริเวณที่โครงเป้กดทับใช้ไม้บรรทัดกระดูกงู (Flexible curve rulers) แสดงดังรูปที่ 4



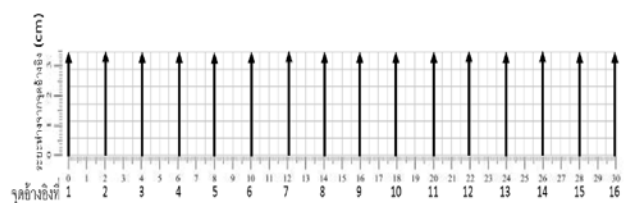
รูปที่ 4 ไม้บรรทัดกระดูกงู (Flexible curve rulers)

ในการวัดความโค้งของแผ่นหลังนักเรียนนายร้อยจะทำการวัดความโค้งในช่วงระยะ 30 เซนติเมตร ที่โครงเป้ส่วนบนมีการกดทับ โดยทาบไม้บรรทัดกระดูกงูให้แนบกับแผ่นหลังและสะบัดโดยผู้ถูกวัดยืนอยู่ในท่ายืนตรงแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 การวัดความโค้งแผ่นหลังส่วนบน

ในการอ่านค่าความโค้งแผ่นหลังจากไม้บรรทัดกระดูกงู จะทำการกำหนดจุดอ้างอิงจำนวน 16 จุด บนระนาบความยาว 30 เซนติเมตร แต่ละจุดอยู่ในระนาบเดียวกันและห่างกันเป็นระยะ 2 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 6



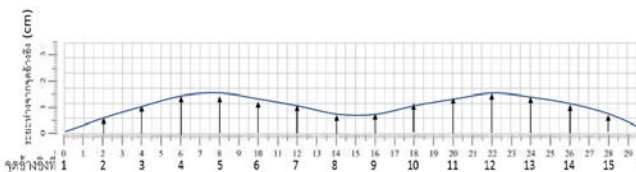
รูปที่ 6 การกำหนดจุดอ้างอิงในการอ่านค่าความโค้ง

จากนั้นดำเนินการทาบไม้บรรทัดกระดูกงูโดยให้ปลายด้านซ้ายมือตรงกับจุดอ้างอิงที่ 1 ที่ระยะห่างจากจุดอ้างอิงเท่ากับ 0 เซนติเมตร และทาบปลายด้านขวามือตรงกับจุดอ้างอิงที่ 16 ที่ระยะห่างจากจุดอ้างอิงเท่ากับ 0 เซนติเมตร ทำการลอกเส้นโค้งของไม้บรรทัดกระดูกงูลงบนกระดาษอ่านค่าระยะห่างจากจุดอ้างอิงที่ออกแบบไว้ จากนั้นอ่านค่าระยะห่างจากจุดอ้างอิงของจุดอ้างอิงที่ 2 ถึง 15 ทำการวัดทั้งหมด 3 ครั้งแล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการวัดความโค้งแผ่นหลังบริเวณที่โครงเบ้ส่วนบนกดทับของนักเรียนนายร้อยทั้ง 91 นาย มีค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะห่างจากจุดอ้างอิงทั้ง 16 จุด ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความโค้งแผ่นหลังบริเวณที่โครงเบ้ส่วนบนกดทับ

จุดอ้างอิง	ระยะห่าง (cm)	S.D.	จุดอ้างอิง	ระยะห่าง (cm)	S.D.
1	0.00	0.000	9	0.83	0.320
2	0.53	0.048	10	1.02	0.354
3	1.10	0.102	11	1.37	0.273
4	1.52	0.038	12	1.55	0.267
5	1.42	0.149	13	1.42	0.259
6	1.28	0.238	14	1.12	0.231
7	1.03	0.247	15	0.60	0.186
8	0.73	0.356	16	0.00	0.000

ภาพความโค้งแผ่นหลังบริเวณที่โครงเบ้ส่วนบนกดทับแสดงดังรูปที่ 7



ภาพที่ 7 ความโค้งแผ่นหลังบริเวณที่โครงเบ้ส่วนบนกดทับ

4.2.2 การออกแบบความโค้งของโครงเบ้ส่วนบน

การออกแบบความโค้งของโครงเบ้ส่วนบนผู้วิจัยได้ออกแบบด้วยกันทั้งหมด 2 แบบ แบบที่ 1 มีความโค้งเท่ากับค่าเฉลี่ยของความโค้งที่วัดได้เพื่อให้โครงเบ้ส่วนบนมีลักษณะแนบติดกับแผ่นหลังพอดี แบบที่ 2 มีความโค้งเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเพื่อลดการกดทับบริเวณสะบัก โดยความสูงของรูปสี่เหลี่ยมคางหมูมีค่าเท่ากับ 1.55 ที่จุดอ้างอิงที่ 5 และ 12 โครงเบ้แบบที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 8



แบบที่ 1

แบบที่ 2

รูปที่ 8 โครงเบ้ส่วนบนที่ได้ออกแบบใหม่

จากปัญหาโครงเบ้ส่วนบนไม่มีวัสดุป้องกันการกดทับผู้วิจัยได้เลือกวัสดุป้องกันการกดทับเป็นแผ่นพลาสติกเอทิลีนไวนิลแอซีเตด (Ethylene vinyl acetate: EVA) ความหนา 15 มิลลิเมตร โดย EVA เป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติเฉพาะตัวในเรื่องของความนุ่ม ความยืดหยุ่น การคืนรูป การรับแรงกระแทกได้ดี [14] โดยนำมาหุ้มรอบโครงเบ้ส่วนบนที่ได้ออกแบบไว้ทั้ง 2 แบบ รวมถึงแบบที่ 3 ที่เป็นโครงเบ้เดิมที่มีลักษณะตรง

4.3 เปรียบเทียบความพึงพอใจ

ในการเปรียบเทียบความพึงพอใจต่อโครงเบ้ทั้ง 3 แบบ โดยให้นักเรียนนายร้อยจำนวน 30 นาย สวมใส่เบ้สนามแต่ละแบบตามลำดับ สุ่มพร้อมกับแบกสัมภาระน้ำหนัก 10 กิโลกรัม จากนั้นให้เดินวิ่งในทางเดินป่าไม่มีความชันเป็นระยะทาง 4.83 กิโลเมตร และประเมินความพึงพอใจต่อการสวมใส่เบ้สนามแต่ละแบบโดยใช้ระดับความพึงพอใจตามมาตราส่วนประมาณ 5 ค่า ระดับของลิเคิร์ต (Likert Scale) [6] ในการประเมินความพึงพอใจจะประเมินทั้งหมด 2 ข้อ คือ 1.ความพึงพอใจต่อการบาดเจ็บแผ่นหลังเมื่อสวมใส่เบ้ พิจารณาจากระดับความเจ็บปวดหลังจากการทดลอง และ 2.ความพึงพอใจต่อความสะดวกในการใช้งานพิจารณาจากความสามารถในการขยับไปมาขณะเดิน ความพึงพอใจต่อการใช้งานของโครงเบ้ทั้ง 3 แบบ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ความพึงพอใจต่อการใช้งานของโครงเบ้ทั้ง 3 แบบ

ลักษณะโครงเบ้ส่วนบน	ความพึงพอใจ			
	การบาดเจ็บ		ความสะดวก	
	\bar{x}	S.D.	\bar{x}	S.D.
แบบที่ 1 แนบติดกับแผ่นหลัง	4.10	0.66	5	0
แบบที่ 2 รูปสี่เหลี่ยมคางหมู	4.40	0.50	5	0
แบบที่ 3 แบบเดิม	3.37	0.49	5	0

จากผลความพึงพอใจทั้ง 2 ข้อ ในการสวมใส่เบาะนั่งของนักเรียน นายร้อยโครมเบ้ส่วนบนแบบที่ 1 แบบแนบติดกับแผ่นหลังมีระดับความพึงพอใจมาก (Mean=4.10, SD=0.66) เนื่องจากลดการกดทับบริเวณ สะบักจากโครงเบ้ส่วนบนได้แต่ความโค้งของโครงเบ้ที่มีความเฉพาะ มากเกินไปส่งผลให้ไม่เหมาะสมกับนักเรียนนายร้อยหลายๆ นาย แบบที่ 2 แบบโครงเบ้ส่วนบนรูปสี่เหลี่ยมคางหมูเพื่อลดการกดทับบริเวณ สะบักมีระดับความพึงพอใจมากที่สุด (Mean=4.40, SD=0.50) เนื่องจากลดการกดทับบริเวณสะบักจากโครงเบ้ส่วนบนได้และความ โค้งมีลักษณะที่สามารถรองรับแผ่นหลังของนักเรียนนายร้อยส่วนใหญ่ ได้ แบบที่ 3 โครงเบ้ส่วนบนแบบเดิมมีระดับความพึงพอใจปานกลาง (Mean=3.37, SD=0.49) เนื่องจากยังมีความรู้สึกจากการถูกกดทับของ โครงเบ้ส่วนบนบริเวณสะบักอยู่

5. อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการบาดเจ็บแผ่นหลังจากการ สวมใส่เบาะนั่งของนักเรียนนายร้อย โดยใช้แผ่นผังก้างปลาในการหา สาเหตุของปัญหา พบว่าการบาดเจ็บแผ่นหลังจากการสวมใส่เบาะนั่ง ของนักเรียนนายร้อยมีสาเหตุจากลักษณะของโครงเบ้ส่วนบนมีลักษณะ ที่ไม่โค้งรับกับแผ่นหลังและไม่มีวัสดุป้องกันการกดทับแผ่นหลังจาก โครงเบ้ จึงได้ทำเก็บข้อมูลความโค้งของแผ่นหลังส่วนบนของนักเรียน นายร้อยบริเวณที่โครงเบ้มีการกดทับ เพื่อทำการออกแบบโครงเบ้ให้มีความเหมาะสมกับสรีระนักเรียนนายร้อยและประเมินผลการออกแบบ โดยใช้ความพึงพอใจ ในการออกแบบโครงเบ้ทั้ง 2 แบบ เพื่อนำมา ทดสอบและเปรียบเทียบความพึงพอใจ แบบที่ 1 โครงเบ้มีลักษณะแนบ ติดกับแผ่นหลังพอดี แบบที่ 2 โครงเบ้มีความโค้งเป็นรูปสี่เหลี่ยมคาง หมูเพื่อลดการกดทับบริเวณสะบัก แบบที่ 3 เป็นโครงเบ้แบบเดิมที่มี ลักษณะตรง โดยโครงเบ้ทั้ง 3 แบบ จะมีการเสริมพลาสติกเอทิลีนไวไนล แอซีเตตบริเวณโครงเบ้ส่วนบนเพื่อลดการกระแทก จากการทดสอบ พบว่า แบบที่ 1 มีระดับความพึงพอใจมาก แบบที่ 2 มีระดับความพึง พื่อใจมากที่สุด แบบที่ 3 มีความพึงพอใจระดับปานกลาง จาก ผลการวิจัยพบว่าโครงเบ้ส่วนบนที่ได้มีการออกแบบสามารถลดการ บาดเจ็บแผ่นหลังของนักเรียนนายร้อยและทำให้ลำตัวนักเรียนนายร้อย เมื่อสวมใส่มีลักษณะที่ตั้งตรงเนื่องจากไม่มีโครงเบ้กดทับสามารถลด ความเสี่ยงทางการยศาสตร์ได้ หากมีการนำโครงเบ้ที่ได้มีการออกแบบ ไปใช้ในการทับทกจะสามารถลดอาการบาดเจ็บ เพิ่มขวัญกำลังใจ และ เพิ่มประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานของทหารไทยในกองทัพกได้

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรมีกลุ่มตัวอย่างเป็นกำลังพลของกองทัพกเพื่อให้ได้ข้อมูล ที่ชัดเจนและสามารถออกแบบให้เหมาะสมกับกำลังพลของกองทัพก

6.2 การทดสอบโครงเบ้ควรทดสอบในสถานที่ที่ต้องปฏิบัติภารกิจ จริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ พ.อ.หญิง ชัดติยาพร คำอาจ พ.ต.พิสิฐ เจือไทย ร.อ.สงขลา ไพศาลสุขะกุล และ ร.ท.กิตติศักดิ์ พิมพ์ชั้น อาจารย์ที่ ปรึกษางานวิจัย ขอขอบคุณ ผู้เข้ารับการทดสอบทุกท่านที่ให้ความ ร่วมมือในการทดสอบชิ้นงานการวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันส่งเสริมความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมใน การทำงาน (องค์การมหาชน). (2562). การศึกษาปัจจัยเสี่ยงด้านการย ศาสตร์กับการไม่สบายทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อกรณีศึกษา กลุ่มผู้ทำเครื่องเบญจรงค์บ้านดอนไถ่ดี จ.สมุทรสาคร.
- [2] สุทธิรักษ์ ระวังวงศ์. 2555. "ขนาดสัดส่วนของศีรษะ มือ และเท้า ของ นักเรียนระดับประถมศึกษาในภาคใต้ของประเทศไทย." การประชุม วิชาการช่างานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. 674-679. ประจำปี พ.ศ. 2555, 17-19 ตุลาคม 2555. ชะอำ. เพชรบุรี.
- [3] อุดมศักดิ์ สาริบุตร. (2549). เทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- [4] เรื่องลักษณะ บุตรเพ็ชร, เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด, http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 พฤศจิกายน 2565)
- [5] กิตติพงษ์ แสงบุตดี, 2554. "การเพิ่มผลผลิตสำหรับสายการผลิตชุด เกลือบชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ", วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,
- [6] พัทธินันท์ ธนทรัพย์บุรีโชติ. 2559. "การวิเคราะห์กระบวนการเก็บ ข้อมูลด้าน การวิจัยกรณีศึกษา คณะทันตแพทย ศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล". วารสาร Mahidol R2R e-Journal. ปีที่ 3, ฉบับที่ 2: 56-69
- [7] วัลลภ ประดับศิลป์, คุณลักษณะเฉพาะ สป.สาย พท. ที่ ทบ. 8415032, ข้อมูล จาก <https://j4.rtarf.mi.th/2013/Spec/5Quartermaster/Q23-56.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 พฤศจิกายน 2565)
- [8] Joprakhon S, Bunpean A, Chantarapon P. Innovative development of the neck pillow to relieve pain in the neck, shoulder and shoulder muscles for service visitors. Prakhon-Chai hospital Prakhon-Chai district Buriram province. Journal of Public Health 2021; 30(1): 71-81. (in Thai)
- [9] มณีวรรณ ศรีมรรณ, 2563. "การออกแบบอุปกรณ์เสริมสำหรับเก้าอี้ ยางพาราเพื่อการผ่อนคลายขณะทำงาน", วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา,
- [10] เฉลิมสิริ เทพพิทักษ์, 2564. "ความเหมาะสมระหว่างขนาดของ เฟอร์นิเจอร์ในห้องเรียนกับขนาดร่างกายของนักศึกษาใน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี", มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,
- [11] นคร ดวงแก้ว. 2559. "การออกแบบและสร้างเก้าอี้การยศาสตร์สำหรับ ห้องเรียนบรรยาย." วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต, ปีที่ 6, ฉบับที่ 2: 72-86.

- [12] รุ่งทิพย์ พันธเมธากุล, 2555. “การวัดค่าความโค้งปกติของกระดูกสันหลังระดับเอวในประชากรไทยปกติที่มีอายุ 20-69 ปีโดยใช้ flexible ruler.” วารสารเทคนิคการแพทย์และการบำบัด, ปีที่ 24, ฉบับที่ 3: 308-317.
- [13] เกரியงไกร ศรีเลิศ, 2558. “การลดของเสียจากการบ่อนชิ้นงานในกระบวนการชุบแข็งกรณีศึกษา : บริษัทชุบแข็งตัวอย่าง”, วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี,
- [14] ศิวะเรศ ศรีธนาอมร, 2561. “แผนธุรกิจแผ่นโฟมกันกระแทกจากเศษ EVA โฟมตรา “SEVA””, วิทยาลัยการจัดการ มหาวิทยาลัยมหิดล,

การพัฒนาระบบการจัดเก็บสินค้าหน่วยย่อย กรณีศึกษาบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง

A Development of Storage System for Sub-unit Goods: A Case Study of Construction Material Company

นราวุฒิ ขุนพวง^{1*} ชุกรี แดสา² วนิดา รัตนมนณี² วณิชฌพงษ์ คงแก้ว²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

²ศูนย์วิจัยอุตสาหกรรมอัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

E-mail: 6310120064@psu.ac.th*

Narawut Khunphuang^{1*}, Chukree Daesa², Wanida Rattanamanee², Wanatchapong Kongkaew²

¹Department of Industrial and Manufacturing Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

²Smart Industry Research Center, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

E-mail: 6310120064@psu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงระบบจัดเก็บสินค้าหน่วยย่อยในคลังจำหน่ายสินค้าของกรณีศึกษาบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง จากการศึกษาข้อมูลพบว่ามีกิจกรรมในกระบวนการทำงานหลัก 3 กิจกรรม ได้แก่ การทำรับสินค้า การบรรจุภัณฑ์สินค้า และการจัดเก็บสินค้า การทำงานในแต่ละกระบวนการมีความล่าช้าโดยมีเวลาเฉลี่ยในการทำงาน 655 นาที ประกอบไปด้วย กระบวนการทำรับสินค้า 290 นาที กระบวนการบรรจุภัณฑ์สินค้า 270 นาที และกระบวนการจัดเก็บสินค้า 95 นาที งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงในส่วนของการทำรับสินค้าและกระบวนการจัดเก็บสินค้า การปรับปรุงผังคลังสินค้าควบคู่กับการลดความสูงเปล้าในการทำงาน (ECRS) ซึ่งผลลัพธ์สำหรับการปรับปรุงผังคลังสินค้าในส่วนของการทำรับสินค้า ได้แก้ไขการปรับปรุงตำแหน่งพื้นที่ทำรับสินค้าที่มีขนาดพื้นที่รองรับที่กว้างขึ้น และระยะทางการทำงานที่สั้นจากเดิม 35 เมตร เหลือ 5 เมตร ส่งผลให้เวลาในกิจกรรมการทำรับสินค้าเหลือ 179.10 นาทีลดลง 38.24% และในส่วนของการจัดเก็บสินค้า ได้ทำการปรับปรุงพื้นที่ใช้งานจากเดิมที่เป็นพื้นที่เก็บสินค้าและวัสดุที่เคลื่อนไหวช้า เปลี่ยนเป็นพื้นที่จัดเก็บสินค้า โดยการเพิ่มชั้นวางจำนวน 20 ชั้นวาง ทำให้เกิดพื้นที่รองรับสินค้ามากขึ้น และสินค้าบนทางเดินน้อยลง ทำให้การทำงานของพนักงานสะดวกมากขึ้น ประกอบกับการทำป้ายระบุตำแหน่งของสินค้า เพื่อให้พนักงานสามารถเข้าถึงสินค้าได้ง่ายขึ้น ส่งผลให้เวลาในการทำงานหลังปรับปรุงอยู่ที่ 62.32 นาทีลดลง 34.40% หลังจากการปรับปรุงกิจกรรมในคลังสินค้าเวลาโดยรวมลดลงจาก 385 เหลือ 241.42 นาทีหรือลดลง 37.29 %

คำสำคัญ: ปรับปรุงผังคลังสินค้า, ECRS, คลังสินค้า, สินค้าหน่วยย่อย, สินค้าวัสดุก่อสร้าง

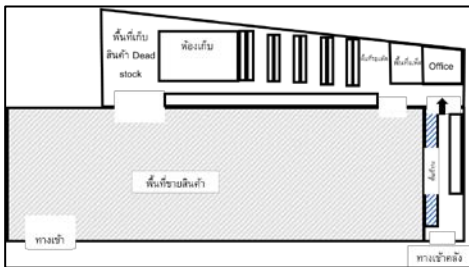
Abstract

This research aims to improve the sub-unit storage system in the warehouse, which is a construction materials trading company. From studying the data, it was found that there are three main activities in the working process, including receiving goods, packaging goods, and storing goods. The work in each process is slow. On average, the working time is 665 minutes, consisting of receiving goods process taking 290 minutes, packaging goods process taking 270 minutes, and storing goods process taking 95 minutes. This research has improved the receiving goods and storing goods processes by modifying the warehouse layout in conjunction with implementing ECRS. As a result of the warehouse layout improvement in the receiving goods process, the location of the receiving area has been adjusted to accommodate wider space, and the work distance has been reduced from 35 meters to 5 meters, resulting in a decrease in the time of receiving goods activity to 179.10 minutes, a decrease of 38.24%, and in the storing goods process, the improvement was made by reorganizing the space from the previous storage area for slow-moving products and materials to a storage area by adding 20 shelves. This creates more space for products and reduces the number of products on the walkway. This makes it more convenient for employees to work, along with label the product's location to allow easier access. As a result, the working time after the improvement is 62.32 minutes, a decrease 34.40%, and the overall working time has been reduced from 385 minutes to 241.42 minutes, or a decrease of 37.29%.

Keywords: Improve warehouse layout, ECRS, Warehouse, Sub-unit goods, Construction materials company

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาที่ดำเนินธุรกิจมีลักษณะการซื้อมาขายไปของวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างพื้นฐานไปจนถึงอุปกรณ์ทางการช่าง ซึ่งมีสินค้ามากกว่า 24,000 กลุ่มลูกค้าของบริษัทมีความหลากหลายตั้งแต่ลูกค้ารายย่อย เช่น พ่อบ้าน ช่างก่อสร้าง ไปจนถึงลูกค้ารายใหญ่ เช่น ลูกค้าโครงการบ้านจัดสรร โครงการรัฐบาล เป็นต้น เพื่อให้การบริการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ทางบริษัทจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาสินค้า ดังรูปที่ 1 [1] คลังสินค้าทำหน้าที่เป็นสถานที่พักและเก็บสินค้าหรือวัตถุดิบหรือสิ่งของต่าง ๆ จนกว่าจะมีการเคลื่อนย้ายส่งมอบไปยังผู้ที่มีความต้องการ ดังนั้นกิจกรรมของคลังสินค้าหากมีการจัดการที่ดีจะสามารถช่วยประหยัดในเรื่องค่าใช้จ่ายในการลดต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าได้



รูปที่ 1 คลังสินค้าของบริษัท

โดยภายในคลังจะเก็บสินค้าที่มีความหลากหลาย สามารถแบ่งออกได้เป็น 7 รูปแบบ คือ รูปแบบกล่อง ชั้น ม้วน ถุง กระสอบ ต้ำมและแผ่น ซึ่งจากความแตกต่างของลักษณะสินค้าทั้ง 7 รูปแบบ ผู้ดำเนินการวิจัยได้ทำการแบ่งกระบวนการจัดเก็บออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. สินค้าพร้อมจัดเก็บ คือสินค้าที่มีบาร์โค้ดจากผู้ผลิตและสามารถขายได้ทันทีหลังทำการรับเข้าระบบ สินค้ากลุ่มนี้มีประมาณ 30% ของรายการสินค้าทั้งหมดในคลัง
2. สินค้าหน่วยย่อย คือสินค้าที่หลังทำรับเข้าระบบแล้วต้องผ่านกระบวนการบรรจุภัณฑ์ก่อน สินค้ากลุ่มนี้มีประมาณ 70% ของรายการสินค้าทั้งหมดในคลัง

หมายเหตุ: นิยามสินค้าหน่วยย่อย หมายถึง สินค้าที่ทำการสั่งซื้อมาจากผู้ผลิตในปริมาณมาก ๆ เช่น สั่งซื้อมาเป็นหน่วยกระสอบ กล่อง ม้วนใหญ่

ผู้ดำเนินการวิจัยจึงสนใจในสินค้าประเภทที่ 2 โดยในสภาพปัจจุบันยังประสบปัญหาในการทำงานในเรื่องเวลาการทำงานของพนักงาน โดยสามารถจำแนกออกตาม กิจกรรมหลักของคลังสินค้าได้ดังนี้

1. กระบวนการทำรับสินค้า เป็นกระบวนการทำรับสินค้าเมื่อผู้ผลิตส่งสินค้าตามการสั่งซื้อ ผู้ผลิตจะทำการลงสินค้าไปยังพื้นที่รอรับสินค้า ซึ่งปัจจุบันเกิดปัญหาสินค้าเกิดการปะปนระหว่างรอตรวจสอบและสินค้าที่ทำรับเรียบร้อยแล้ว รวมถึงสินค้าบรรจุภัณฑ์นั้นด้วย

2. กระบวนการบรรจุภัณฑ์สินค้า เป็นกระบวนการแปลงสภาพรูปแบบของสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยใช้

แรงงานคนเพื่อบรรจุจากสินค้าหน่วยใหญ่กลายเป็นสินค้าหน่วยย่อย ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

3. กระบวนการจัดเก็บสินค้า เป็นกระบวนการนำสินค้าที่ผ่านการทำรับและบรรจุภัณฑ์สินค้าแล้วเข้าจัดเก็บตามตำแหน่งของสินค้านั้น ๆ ในส่วนของพื้นที่จัดเก็บพบปัญหาสินค้าล้นทางเดินและพื้นที่รองรับสินค้าไม่เพียงพอ เนื่องจากตามระบบ สำหรับการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้านั้นจะเป็นการจัดเก็บแบบเรียงตามรหัสสินค้าเพื่อช่วยให้พนักงานสามารถหาสินค้าได้ง่ายมากขึ้น แต่ปัจจุบันเกิดการปะปนของสินค้าและการจัดเก็บสินค้าไม่ตรงพื้นที่ทำให้พนักงานหาสินค้าได้ยาก

จะเห็นได้ว่าการทำงานภายในคลังสินค้ายังเกิดความสูญเสียในการเคลื่อนย้าย ความสูญเสียที่เกิดจากการรอคอย ความสูญเสียที่เกิดการเคลื่อนไหว และความสูญเสียจากการใช้ทรัพยากรบุคคลไม่เต็มประสิทธิภาพ [2] ดังนั้นจึงได้ใช้การวิเคราะห์กระบวนการ เพื่อค้นหากิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่าแล้วจากนั้นจึงทำการลดความสูญเสียด้วยแนวทาง ECRS (E: Eliminate: กำจัด, Combine: รวบรวม, Rearrange: จัดเรียง และ Simplify: ทำให้ง่าย) เข้ามาปรับปรุงกระบวนการทำงาน ซึ่งงานวิจัยนี้มีขอบเขตของการศึกษาในกิจกรรม 2 ส่วน ได้แก่ การปรับปรุงฝั่งคลังสินค้าควบคู่กับการทำ ECRS และ 4M สำหรับกระบวนการทำรับและกระบวนการจัดเก็บสินค้า

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการลดเวลาสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต เพื่อขจัดงานที่ไม่เกิดมูลค่าต่อผลิตภัณฑ์ โดยการดำเนินงานวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูล เพื่อวิเคราะห์หาความสูญเสียที่เกิดขึ้นในการผลิตจริง และใช้เทคนิคแผนภูมิคนเครื่องจักร, Why-Why analysis, แผนภูมิแก๊งปลา, เทคนิคการเพิ่มผลผลิตโดยการลดความสูญเสีย 5W+1H, ERCS และเครื่องมือคุณภาพหลักที่จะช่วยในการหาปัญหาหากเหง้าและปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดความสูญเสีย ผลที่เกิดขึ้นคือ ทำให้สัดส่วนของเวลาที่ไม่มีข้อมูลค่าลดลง ส่วนผลผลิตต่อคนในผลิตภัณฑ์รุ่น 1 เพิ่มขึ้น รุ่น 2 และ 3 มีประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น ในขณะที่ [4] ได้ใช้เครื่องมือแผนผังแก๊งปลาควบคู่กับการทำ ECRC ในการปรับปรุงการทำงานเพื่อลดความสูญเสียเปล่า ซึ่งทำให้สามารถลดระยะทางการเดินจัดเก็บวัตถุดิบจาก 322 เมตรเหลือ 110 เมตร ลดขั้นตอนการทำงานจากเดิม 29 ขั้นตอนเหลือ 8 ขั้นตอนและเดินจัดเก็บวัตถุดิบจาก 11.5 นาทีเหลือ 6.15 นาที นอกจากนี้ [5] สำหรับการปรับปรุงกระบวนการคืนสินค้ากระบวนการสินค้าคืน กรณีศึกษา บริษัท AAA จำกัด ได้ใช้เครื่องมือวิเคราะห์ความสูญเสีย 7 ประการ (7 Waste) ร่วมกับ ECRC ทำให้ลดระยะทางลง 68% และลดเวลาลง 10% จากเดิมนอกจากนี้ได้ศึกษา [6] เรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ในปัญหาความไม่สมดุลเรื่องสายการผลิตทำให้ประสิทธิภาพของสายการผลิตมีค่าต่ำ โดยการใช้หลักการ ECRC เพื่อจัดสมดุลการผลิตใหม่ ทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตจากร้อยละ 64.14 เป็น 87.80

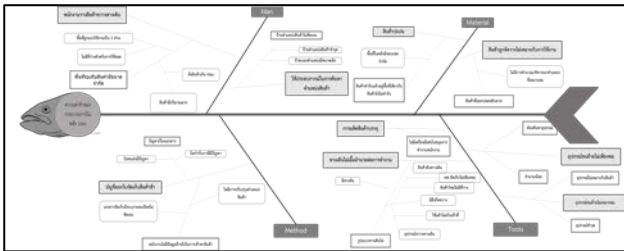
จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่ามีการใช้หลักการ ECRC

และเครื่องมือในการลดความสูญเสียต่าง ๆ ในการปรับปรุงการทำงาน ในด้านต่าง ๆ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำหลักการเหล่านี้มาปรับใช้ในงานวิจัย

3. การดำเนินการวิจัย

การปรับปรุงกระบวนการจัดเก็บสินค้าหน่วยย่อย ประกอบไปด้วย ขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลการทำงานของคลังสินค้าและกระบวนการทำงานของบริษัทในฝ่ายที่เกี่ยวข้องกับคลังสินค้า ในส่วนนี้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของงานที่เกิดขึ้นของการไหลของสินค้าภายในคลัง
2. เก็บข้อมูลที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูลกิจกรรมของกระบวนการในคลังสินค้า ในกระบวนการทำรับสินค้าและการจัดเก็บสินค้าเพื่อพิจารณาขั้นตอนย่อยแต่ละกระบวนการ โดยการใช้การระดมสมองจากผู้ปฏิบัติการแต่ละแผนกในคลังสินค้า เพื่อมาทำแผนผังก้างปลา (Fish bone diagram) ดังรูปที่ 2 เพื่อค้นหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาของกระบวนการในคลังสินค้า



รูปที่ 2 แผนผังก้างปลาความล่าช้าในกระบวนการในคลังสินค้า

จากแผนผังก้างปลาจึงได้สรุปสาเหตุของปัญหาได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปปัญหาและสาเหตุจากแผนผังก้างปลา

ด้าน	สาเหตุของปัญหา	สาเหตุรากเหง้าของปัญหา
คน	วางสินค้าบนทางเดินและวางสินค้าไม่ตรงตำแหน่ง	ไม่มีพื้นที่ว่างสำหรับการใช้สอย
	ใช้ประสิทธิภาพในการค้นหาตำแหน่งสินค้า	สินค้ามีปริมาณมาก
สินค้า	สินค้าปะปน	สินค้าที่ถูกทำรับแล้วอยู่พื้นที่เดียวกับสินค้าที่ยังไม่ถูกทำรับ
	สินค้าถูกวางไม่เหมาะสมกับการใช้งาน	ไม่มีการพิจารณาตำแหน่งสินค้าที่เหมาะสม
วิธีการ	บัญชีออกไปจัดเก็บสินค้าล่าช้า	ไม่มีการปรับปรุงตำแหน่งของสินค้าในเอกสาร

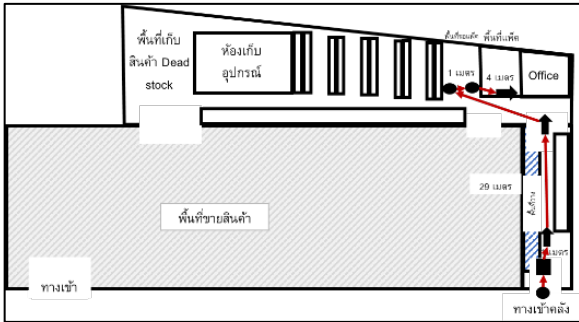
ตารางที่ 1 สรุปปัญหาและสาเหตุจากแผนผังก้างปลา (ต่อ)

ด้าน	สาเหตุของปัญหา	สาเหตุรากเหง้าของปัญหา
วิธีการ	เอกสารไม่ระบุรายละเอียดตำแหน่งสินค้าให้พนักงาน	ไม่มีมาตรฐานในการระบุตำแหน่งสินค้า
เครื่องมือ	ทางเดินไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงาน	มีสินค้าล้นทางเดิน มีทางตันในเส้นทาง
	ทางเดินไม่เอื้ออำนวยต่อการทำงาน	อุปกรณ์ขวางทางเดิน
เครื่องมือ	ขนาดทางเดินแคบ	คลังสินค้ามีขนาดจำกัด
	การผลิตสินค้าบรรจุภัณฑ์ใช้แรงงานคน	ไม่มีเครื่องมือสนับสนุนการทำงานพนักงาน
	อุปกรณ์ขนย้ายไม่เพียงพอ	อุปกรณ์ชำรุด พนักงานใช้แล้วไม่เก็บเข้าที่

3. วิเคราะห์การทำงานของกระบวนการทำรับสินค้า และกระบวนการจัดเก็บสินค้า เพื่อค้นหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาที่เกิดขึ้นภายในคลังสินค้า โดยการเก็บข้อมูลเวลาและระยะทางด้วย flow process chart เพื่อนำไปสู่การทำ ECRS ในการลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ดังตารางที่ 2 และ 3 และแสดงการไหลของกิจกรรมดังรูปที่ 3 และ 4

ตารางที่ 2 flow process chart ในกระบวนการทำรับสินค้า

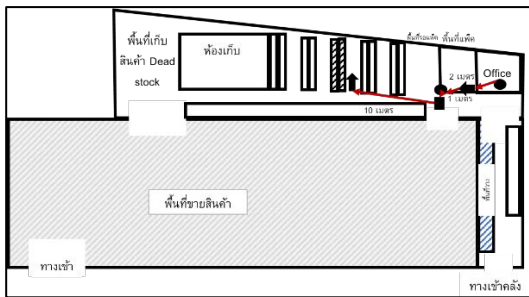
Step	การดำเนินการ	การเคลื่อนย้าย	การตรวจสอบ	การคอย	จัดเก็บ	คำอธิบายกระบวนการ	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	●	→				ลงสินค้า	3	0
2		→	■			ตรวจสอบรายชื่อสินค้ากับใบ Invoice	3	0
3		→				ย้ายสินค้าขึ้นรถขนถ่าย	2	0
4		→				ขนถ่ายสินค้าไปยังพื้นที่รอแพ็คสินค้า	2	29
5	●	→				นับจำนวนสินค้า	5	0
6	●	→				แยกสินค้า	3	2
7		→				ย้ายสินค้าเข้าพื้นที่แพ็คสินค้า	4	4
รวม							22	35



รูปที่ 3 การไหลของกิจกรรมในการทำรับสินค้า

ตารางที่ 3 flow process chart ในกระบวนการจัดเก็บสินค้า

Step	การดำเนินงาน	การเคลื่อนย้าย	การตรวจสอบ	การหยิบ	คำอธิบายกระบวนการ	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	●				รับไปจัดเก็บสินค้า	1	0
2	→	→			เดินไปที่สินค้าที่พื้นที่แพ็ค	0.5	2
3	●				หยิบสินค้าจากพื้นที่แพ็คสินค้าขึ้นรถเข็น	2	0
4			■		ตรวจสอบสินค้าบนรถเข็น	1	0
5	→				ย้ายสินค้าเข้าจัดเก็บตามพื้นที่	3	11
รวม						7.5	13



รูปที่ 4 การไหลของกิจกรรมในการจัดเก็บสินค้า

4. หาแนวทางการแก้ไขปัญหในระบบการจัดเก็บสินค้าหน่วยย่อยจากทั้ง 2 กระบวนการที่จากเดิมมีเวลาการทำงานทั้ง 95 นาที จากตารางที่ 4 ได้ทำการสรุปหัวข้อปัญหาแยกตามกระบวนการในคลังสินค้า เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางแก้ไข

ตารางที่ 4 แนวทางการแก้ไขปัญหา

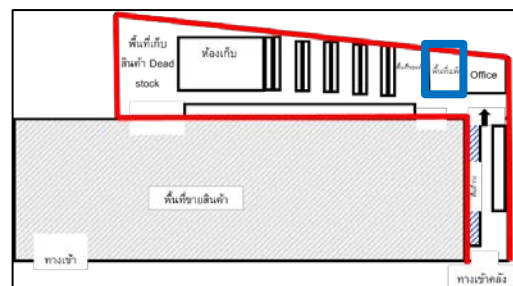
กระบวนการ	ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางแก้ไข
กระบวนการทำรับ	การเคลื่อนย้ายสินค้าเพื่อต้องการพื้นที่ในการใช้สอยเพิ่มเติม	พื้นที่รองรับสินค้ามีขอบเขตจำกัด	ปรับปรุงการวางผังคลังสินค้า
กระบวนการบรรจุภัณฑ์	วิธีการผลิตใช้เวลานาน (การนับ การชั่งน้ำหนัก การมัด)	ไม่มีเครื่องมือสนับสนุนการทำงานของพนักงาน	ออกแบบและผลิตระบบบรรจุภัณฑ์ที่มีความเหมาะสมกับบริษัท
กระบวนการจัดเก็บสินค้า	พนักงานใช้ประสิทธิภาพค้นหาตำแหน่ง	ไม่มีสิ่งบ่งชี้ตำแหน่งของสินค้า	ปรับปรุงการวางผังคลังสินค้า

หมายเหตุ: สำหรับกระบวนการบรรจุภัณฑ์จะดำเนินการในปีที่ 2

- ทำการปรับปรุงตามแนวทางแก้ไขในแต่ละกระบวนการ
- สรุปผลการวิจัย

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการศึกษาข้อมูลในคลังสินค้าพบว่าในส่วนของกระบวนการทำรับและกระบวนการจัดเก็บ ที่มีแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยการออกแบบพื้นที่คลังสินค้าดังนี้



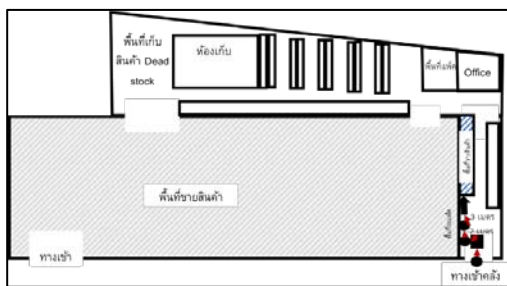
รูปที่ 5 พื้นที่รับสินค้าและบรรจุภัณฑ์

การปรับปรุงผังในกระบวนการทำรับสินค้า เดิมทีพื้นที่ในการทำรับสินค้าอยู่ในพื้นที่เดียวกันกับพื้นที่ของการบรรจุภัณฑ์สินค้า ดังรูปที่ 5 ในกระบวนการทำรับสินค้าขึ้น หลังจากทำรับสินค้า สินค้าจะถูกนำมากองรวมกัน ทำให้มีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ในการแยกสินค้าทำรับแล้วกับสินค้าที่ยังไม่ได้ทำรับจากพนักงาน ทำให้มีโอกาสที่สินค้าจะปะปนกัน อีกทั้งยังส่งผลให้ความคล่องตัวในการทำงานของพนักงานเองไม่เต็มที่ อีกทั้งกิจกรรมการทำรับสินค้ายังมีการขนถ่ายสินค้า ซึ่งเป็นความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวและไม่ก่อให้เกิดมูลค่าของงาน ทางผู้ดำเนินงานจึงได้ใช้ ECRS เพื่อลดขั้นตอนของขั้นตอนการทำงาน โดย

ตัดขั้นตอนย้ายสินค้าขึ้นรถขนถ่ายและขนถ่ายไปยังพื้นที่รอแพ็คสินค้า ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 flow process chart ในกระบวนการทำรับสินค้าหลังปรับปรุง

Step	การดำเนินการ	การเคลื่อนย้าย	การตรวจสอบ	การคอย	จัดเก็บ	คำอธิบายกระบวนการ	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	●					ลงสินค้า	3	0
2		→	■			ตรวจสอบรายชื่อสินค้ากับใบ Invoice	3	0
3		→	●			นับจำนวนสินค้า	2	0
4	●					แยกสินค้า	2	2
5		→				ย้ายสินค้าเข้าพื้นที่รอแพ็ค	4	3
รวม							14	5



รูปที่ 6 การไหลของกิจกรรมในการทำรับสินค้าหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 6 แสดงกิจกรรมการรับสินค้านำรูปแบบปรับปรุง ซึ่งรูปแบบหลังปรับปรุงสามารถแก้ไขขั้นตอนการขนย้ายสินค้าไปยังตำแหน่งทำรับสินค้าที่มีระยะทาง 35 เมตร ทำให้สามารถลดเวลาจากการขนย้ายสินค้าได้ โดยพื้นที่หลังปรับปรุงจะอยู่บริเวณทางเข้าคลังสินค้า ที่ก่อนหน้านี้เป็นพื้นที่วางสินค้าที่ไม่เคลื่อนไหว หลังจากปรับปรุงทำให้สามารถลงสินค้าหน้าคลังสินค้าได้ โดยระยะทางที่ใช้ในการขนย้ายจะเหลือ 5 เมตร นอกจากนี้ขนาดพื้นที่ในการรองรับสินค้าจากเดิมพื้นที่ที่ใช้มีขนาด 3x6 ตารางเมตรในพื้นที่นี้รวมพื้นที่บรรจุภัณฑ์สินค้าอยู่ด้วย ทำให้มีความลำบากในการแยกสินค้าที่ทำรับแล้วและสินค้าที่ยังรอการมารับ หลังจากการปรับปรุงย้ายตำแหน่งในการทำรับสินค้า ทำให้มีพื้นที่ในการรองรับขนาด 3x10 ตารางเมตร

จากปัญหาในกระบวนการทำงานของระบบการจัดเก็บสินค้า ก่อนปรับปรุงกระบวนการทำรับสินค้า 702 รายการมีสัดส่วนเวลาทำงานอยู่ที่ 290 นาที หลังปรับปรุงจะเหลือเพียง 179.10 นาที โดยจากการเก็บข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุงทำให้ได้ข้อมูลตามตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ข้อมูลเวลาการทำรับสินค้าก่อนและหลังปรับปรุง

กิจกรรม	จำนวนทำรับเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยเวลาต่อหน่วย (นาที/หน่วย)	ส่วนเบี่ยงเบน	เวลาทั้งหมดในการทำงาน (นาที)
ก่อนการปรับปรุง	702	0.427	0.0425	290.00
หลังการปรับปรุง	702	0.255	0.0144	179.10

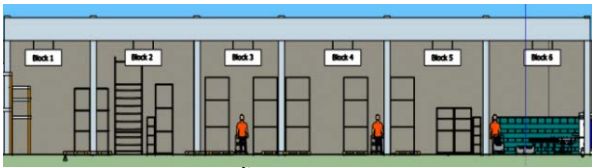
สำหรับการปรับปรุงผังในกระบวนการจัดเก็บสินค้า เนื่องจากปริมาณสินค้ามีจำนวนมากเมื่อเทียบกับจำนวนพื้นที่จัดเก็บในคลังสินค้า ทางผู้ดำเนินงานจึงได้ใช้หลักการของ ECRS ในการลดความสูญเสียในเรื่องการใช้ประโยชน์จากพื้นที่ได้ไม่เต็มประสิทธิภาพจากคลังสินค้าแบบเดิม มีสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวช้าและสินค้า Dead stock หรือสินค้าที่ไม่มีการเคลื่อนไหวทางผู้ดำเนินงานจึงได้ทำการกำจัดสินค้า Dead stock ออกจากคลังสินค้า และทำการสลับพื้นที่วางของกลุ่มสินค้า เพื่อให้การไหลของสินค้าบรรจุภัณฑ์จากจุดแพ็คสินค้าและพื้นที่จัดเก็บอยู่ใกล้เคียงกัน เพื่อลดความสูญเสียในการเคลื่อนไหวและขนถ่ายของพนักงาน อีกทั้งเดิมทีคลังสินค้ามีปัญหาเรื่องสินค้าล้นทางเดิน เนื่องจากสินค้าภายในคลังมีปริมาณมาก ปัญหาที่ตามมาคือ การเข้าถึงสินค้าของพนักงานในแต่ละตำแหน่ง ต้องมีการหลบหลีกสินค้านบนทางเดินอยู่เสมอ ในการปรับปรุงในส่วนการจัดเก็บนี้ได้สังเกตเห็นความสำคัญของพื้นที่ที่เดิมที่เป็นศูนย์กระจายสินค้า ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่า หลังการปรับปรุงได้ออกแบบรูปแบบการจัดวางชั้นวางสินค้า เพื่อกระจายสินค้านบนทางเดินขึ้นไปจัดเก็บ รวมถึงสินค้าในกลุ่มที่มีขนาดเช่น ซิงค์ล้างจาน อุปกรณ์สุขภัณฑ์ บั๊มน้ำ ไปจัดเก็บทำให้เกิดพื้นที่ว่างบริเวณพื้นที่บรรจุภัณฑ์สินค้า ทำให้เกิดการรองรับสินค้าสำหรับกระบวนการบรรจุภัณฑ์ โดยรูปแบบการปรับปรุงจากการคำนวณพื้นที่ พบว่าสามารถวางชั้นวาง (Rack) ขนาด กว้างxยาวxสูง: 1x3x3 เมตร วางในพื้นที่ได้ 20 ชั้นวาง สามารถรองรับสินค้าได้จำนวน 120 พาเลท ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 พื้นที่เพิ่มเติมรองรับสินค้าในกระบวนการจัดเก็บสินค้า

นอกจากนี้จากเดิมชั้นวางในคลังสินค้าแต่ละตำแหน่งก็ไม่ได้มีการระบุตำแหน่งของสินค้า ทำให้พนักงานต้องอาศัยประสบการณ์ในการ

เข้าถึงสินค้า จึงได้ปรับปรุงป้ายบอกตำแหน่งสินค้า เพื่อให้พนักงานสามารถเข้าถึงสินค้าได้ง่ายขึ้น ดังรูปที่ 8

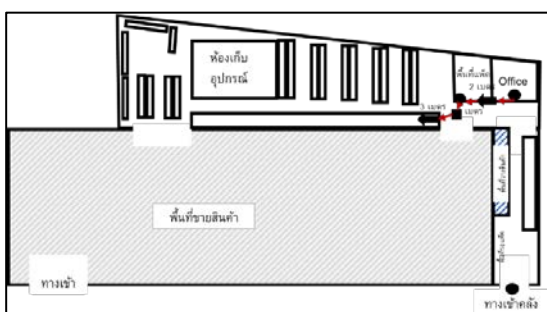


รูปที่ 8 ติดตั้งป้ายระบุตำแหน่งสินค้า

ตารางที่ 7 flow process chart ในกระบวนการจัดเก็บสินค้าหลังปรับปรุง

Step	การดำเนินการ	การเคลื่อนย้าย	การตรวจสอบ	การหยิบ	จัดเก็บ	คำอธิบายกระบวนการ	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	●					รับใบจัดเก็บสินค้า	1	0
2	→					เดินไปที่สินค้าที่พื้นที่เก็บ	0.5	2
3	●					หยิบสินค้าจากพื้นที่เก็บสินค้าขึ้นรถเข็น	2	0
4	→					ตรวจสอบสินค้าบนรถเข็น	1	0
5	→					ย้ายสินค้าเข้าจัดเก็บตามพื้นที่	1	4
รวม							5.5	6

จากตารางที่ 7 จากการปรับปรุงจะเห็นได้ว่าพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าบรรจุภัณฑ์ในการขนย้ายแต่ละครั้งของพนักงานระยะทางจากเดิม 11 เมตรเหลือเพียง 4 เมตรและจัดทำป้ายระบุตำแหน่งสินค้า จะเห็นว่าการปรับปรุงผังคลังสินค้าส่งผลให้มีพื้นที่รองรับสินค้ามากขึ้นนั้นมีผลให้พนักงานสามารถเข้าถึงสินค้าได้ง่ายขึ้นเนื่องจากพื้นที่ทางเดินได้มีการขยายสินค้าออกไปจัดเก็บยังชั้นวางใหม่ ดังรูปที่ 9 และพนักงานไม่ต้องอาศัยประสบการณ์ในการจัดตำแหน่งของสินค้า โดยผลหลังจากการปรับปรุงพบว่าสามารถลดเวลาลงไปได้ 32.68 นาทีจากเดิมที่จัดเก็บสินค้าต่อวันใช้เวลา 95 นาที ดังแสดงในตารางที่ 8



รูปที่ 9 การไหลของกิจกรรมในการจัดเก็บสินค้าหลังปรับปรุง

ตารางที่ 8 ข้อมูลเวลาการทำงานจัดเก็บสินค้า

กิจกรรม	จำนวนจัดเก็บเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยเวลา/หน่วย (นาที/หน่วย)	ส่วนเบี่ยงเบน	เวลาทั้งหมดในการทำงาน (นาที)
ก่อนการปรับปรุง	54	1.759	0.0983	95.00
หลังการปรับปรุง	54	1.154	0.1066	62.32

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยการพัฒนากระบวนการจัดเก็บสินค้าหน่วยย่อย จากการศึกษาพบว่าในปัญหาในกระบวนการทำรับคือ การเคลื่อนย้ายสินค้า มีข้อจำกัดของขนาดพื้นที่ทำรับสินค้า และในส่วนของกระบวนการจัดเก็บสินค้า พนักงานใช้ประสบการณ์ในการค้นหาตำแหน่งของสินค้า และปัญหาสินค้าล้นทางเดิน โดยจากการปรับปรุงนั้น จะแก้ไขในส่วนของพื้นที่การทำรับและพื้นที่จัดเก็บสินค้า โดยการพิจารณาการใช้พื้นที่ควบคุมกับความเหมาะสมของกิจกรรมการทำงาน จากการปรับปรุงในส่วนของกิจกรรมการทำรับสินค้าสามารถลดเวลาการทำงานจากเดิม 290 นาทีต่อวันเหลือ 179.10 นาทีต่อวัน เนื่องจากในส่วนนี้ได้ทำให้ผู้ผลิตลงสินค้าและพนักงานสามารถตรวจสอบได้ทันที และสินค้า ณ พื้นที่ทำรับถูกแยกกันอย่างชัดเจนระหว่างสินค้าที่ทำรับแล้วและสินค้าที่รอทำรับ อีกทั้งระยะทางในการเคลื่อนที่ในกิจกรรมทำรับสินค้าลดลงจาก 35 เมตรเหลือ 5 เมตร ทำให้ลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว และในส่วนของกิจกรรมการจัดเก็บ ได้กำจัดสินค้าคงคลังที่ไม่เคลื่อนไหว (Dead stock) ออกจากคลังสินค้า ประกอบกับการออกแบบพื้นที่จัดเก็บเพิ่มทำให้สามารถวางชั้นวางมาตรฐานได้ 20 ชั้นวาง และย้ายสินค้าโดยอ้างอิงจากความสัมพันธ์ของลักษณะสินค้าและการไหลของสินค้า ทำให้พนักงานเดินจัดเก็บด้วยระยะทางที่สั้นลงจาก 11 เมตรเหลือ 4 เมตร ประกอบกับการจัดทำป้ายระบุตำแหน่งสินค้าเพื่อลดการใช้ประสบการณ์เข้าหาสินค้าของพนักงาน สามารถลดเวลาการทำงานลงได้จากเดิม 95 นาทีเหลือ 62.32 นาที ดังนั้นผลจากการปรับปรุงจากเดิมเวลาของ 2 กระบวนการคือ 385 นาทีลดเหลือ 241 นาที (ลดลง 37.29%)

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากการปรับปรุงกระบวนการจัดเก็บสินค้าหน่วยย่อยในคลังสินค้าของบริษัทนี้ศึกษา 2 กิจกรรมหลักได้แก่ กระบวนการทำรับสินค้า และกระบวนการจัดเก็บสินค้า พบว่าสามารถลดเวลาในการทำงานลงได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามในกระบวนการบรรจุสินค้าซึ่งเป็นกิจกรรมที่ยังใช้คนงานเป็นแรงงานหลักในการทำงาน คณะผู้วิจัยได้เสนอแนะให้บริษัททำการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยใช้เครื่องจักรมาช่วยในการทำงานดังกล่าว เพื่อให้สามารถช่วยลดเวลาในการทำงานรวมของคลังสินค้าลงได้อีก

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก โครงการเครือข่ายการอุดมศึกษา เพื่ออุตสาหกรรม (Hi-Fi) ประจำปีการศึกษา 2563 คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณความอนุเคราะห์และให้ความร่วมมืออย่างดีจากบริษัท ทรูศึกษา และผู้ให้ทุนวิจัยในโครงการขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธนิต โสรัตน์. 2552. การจัดการคลังสินค้าและกระจายสินค้า. กรุงเทพฯ. วี-เซิร์ฟ โลจิสติกส์.
- [2] คชรัตน์ ศรีสุข และกรกฎ ไยบัวเทศ ทิพย์วงศ์. การปรับปรุงกระบวนการหยิบวัตถุดิบในโรงงานผลิตจักรเย็บผ้าโดยใช้เทคนิค ลีน. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2560
- [3] ภาวินี ออาจปุรุ. การลดเวลาสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เบรคเกอร์. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551
- [4] วิฐิณัฐ ภัคพรหมินทร์และศวิษฐ์ ศรีเบญจกานนท์. การปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดความสูญเสียเปล่าของกระบวนการจัดเก็บวัตถุดิบในคลังสินค้า ด้วยเทคนิค Operation Analysis กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์. การจัดการระบบการผลิตและโลจิสติกส์แบบลีน คณะบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย, 2564
- [5] อนุสรณ์ อัญญมณีกุล การปรับปรุงกระบวนการสินค้าคีน กรณีศึกษา บริษัท AAA จำกัด กลุ่มวิชาการจัดการโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2558.
- [6] สรณศิริ เรืองโลก การปรับปรุงประสิทธิภาพของสายการผลิต สมอลล์เอิร์ทลีดเบรคเกอร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2560

การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับสมดุลสายการผลิตชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไต

กรณีศึกษา : บริษัท เอ็ม.อี.นิกคิโซ จำกัด

Simulation Modelling for Line Balancing of Blood Transfusion Kits for Kidney Disease

Case Study : M.E. Nikkiso Co., Ltd

กาญจนา กาญจนสุนทร*, ชินภัทร โพธิ์ศิริ วังศกร ทองรัมย์ ณัฐพงศ์ ศรีโกเศษฐ

สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี

E-mail: kanchana.k@itm.kmutnb.ac.th*

Kanchana Kanchanasuntorn*, Chinnapat Phosiri, Wongsakorn Thongrassamee, Nattapong Srikoset

Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok Prachinburi Campus

E-mail: kanchana.k@itm.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาระดับต้นที่ใช้ในกระบวนการผลิตชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไต กรณีศึกษา บริษัท เอ็ม.อี.นิกคิโซ จำกัด ซึ่งจากการศึกษาขั้นต้นและเวลาที่ใช้ในการผลิตพบว่าปัจจุบันรอบเวลา (cycle time) ในการผลิตจริง มีค่ามากกว่ารอบเวลาตามความต้องการของลูกค้า (takt time) ที่ฝ่ายวางแผนการผลิตได้กำหนดไว้ ส่งผลให้เกิดการส่งมอบสินค้าที่ล่าช้า ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ คือเพื่อศึกษาหาแนวทางในการเพิ่มผลผลิตของสายการผลิตชุดสายถ่ายเลือดนี้ให้เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งในการวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้หลักการจำลองสถานการณ์ (Simulation) ด้วยโปรแกรม Arena มาเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางในการเพิ่มผลผลิต โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นได้ถูกนำมาทดสอบความถูกต้องเทียบกับระบบจริง (validation) โดยใช้การทดสอบสมมติฐานแบบ t-test ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าแบบจำลองให้ผลที่สอดคล้องกับระบบจริงและสามารถใช้แทนระบบจริงได้ จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์หาจุดคอขวดที่เกิดขึ้นในสายการผลิตและทดลองเพิ่มจำนวนพนักงานในบางขั้นตอน จากผลการทดลองพบว่า การเพิ่มจำนวนพนักงานจากเดิมที่มีพนักงานจำนวน 18 คน (ทำงานล่วงเวลาวันละ 3 ชั่วโมง) จะใช้พนักงานเพิ่มขึ้นเป็น 24 คน ซึ่งจะได้ยอดการผลิตเฉลี่ยจากเดิมวันละ 12,692 ชิ้น เป็นเฉลี่ยวันละ 15,548 ชิ้น ยอดการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 22.50% ในส่วนของรายได้สุทธิหลังจากหักค่าแรงงานและของเสียที่เกิดขึ้นพบว่าได้เพิ่มขึ้น จากเดิมเฉลี่ยวันละ 744,396 บาท เพิ่มขึ้นเป็น 915,300 บาท คิดเป็นรายได้ที่เพิ่มขึ้นเท่ากับ 22.96%

คำสำคัญ: การเพิ่มผลผลิต การจำลองสถานการณ์ ชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไต

Abstract

This research is to study the steps used in the production of blood transfusion sets for kidney disease, a case study of M.E. Nikkiso Company Limited. From preliminary study found that the actual cycle in production is greater than the takt time specified by the production planning department resulting in delayed product delivery. Therefore, in this study, the purpose of this research is to study and find ways to increase the productivity of this production line in order to meet the demand. The researchers used simulation principle with Arena program as a tool to help in analyzing ways to increase productivity. The generated model was tested for validation against the real system using a t-test hypothesis using Minitab program. The hypothesis testing result show that the simulation model can be substituted the real system. Then, the researcher analyzed the bottlenecks that occurred in the production line and tried to increase the number of employees in some steps. From the experimental results, it was found that increasing the number of employees from the original 18 employees (working overtime for 3 hours per day) will use more employees to 25 employees, which will result in the average production from the original 12,951 pieces per day as an average 15,352 pieces per piece or equal to 18.54% increasing. In terms of net income after deducting labor costs and waste generated, it was found to have increased from an average of 757,356 baht per day, to 902,415 baht, representing an increase of 19.15%.

Keywords: Productivity improvement, Simulation, Blood transfusion set for kidney disease

1. บทนำ

ปัจจุบันอุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์นับว่าเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมากในการอำนวยความสะดวกเพื่อการรักษาอาการป่วยต่างๆ จึงทำให้อุปกรณ์และผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์เปรียบเสมือนเป็นเครื่องมือที่สำคัญสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ ชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไตเองก็นับว่าเป็นอุปกรณ์ทางการแพทย์ที่สำคัญอย่างมากชนิดหนึ่งในปัจจุบัน โดยไตเป็นอวัยวะที่ทำหน้าที่รักษาสสมดุลของสารต่างๆ ปัจจุบันพบว่าคนไทยป่วยเป็นโรคไตเรื้อรังถึง 8 ล้านคน และมีผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังระยะสุดท้ายนับแสนราย ดังนั้นในปัจจุบันอุตสาหกรรมผลิตชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไตจึงมีความสำคัญอย่างมากเช่นกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้น เพื่อศึกษากระบวนการทำงานในปัจจุบัน ในส่วนของการผลิตชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไต เพื่อสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์ผลการดำเนินงานในปัจจุบันและประเมินทางเลือกสำหรับการเพิ่มกำลังการผลิต

ซึ่งปัจจุบัน บริษัท M.E. Nikkiso Co., Ltd ได้ประสบปัญหาในเรื่องกำลังการผลิตไม่ได้ตามเป้าหมาย ปัจจัยที่ทำให้เกิดก็คือจำนวนผู้ปฏิบัติงานในแต่ละสถานงาน ส่งผลให้เกิดการทำงานล่วงเวลาภายในแผนก Assembly 3 กลุ่มงาน Chamber จึงใช้โปรแกรม Arena Rockwell Software เพื่อเป็นการประหยัดต้นทุนในการหาวิธีแก้ปัญหาและ Takt Time ควรจะต้องตรงกับ Cycle Time เพราะถ้า Cycle Time มีมากกว่า Takt Time อาจส่งผลกระทบต่อความสมดุลของกระบวนการผลิตได้ แต่ในปัจจุบัน กลุ่มงาน Chamber นั้น Cycle Time > Takt Time ทำให้ยอดการผลิตที่ได้ไม่ได้ตามเป้าหมายที่ฝ่ายวางแผนการผลิตกำหนด

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำจำกัดความ (Key Word)

1. Female Lock Connector D 5.1 (Blue) คือ เป็นหัวต่อที่ใช้ในการต่อกับอุปกรณ์ภายนอก
2. Lock Ring D คือ ข้อต่อสำหรับใช้ในการต่อใช้งานกับเครื่องจักร
3. Chamber Under Cap 6.0 คือ อุปกรณ์สำหรับใส่ตัวกรองของเสียที่ติดมากับเลือด
4. Female Lock Connector Cap A คือ ฝาปิด Female lock connector D 5.1 (Blue)
5. Tube 3.4*5.1 1000 mm คือ สายยางขนาด3.4*5.1 ความยาว 1000 มม. ทำหน้าที่เป็นท่อลำเลียงเลือด
6. Small Clamp C2 (Blue) คือ เป็นอุปกรณ์ในการล็อกไม่ให้เลือดไหลผ่าน
7. Tube 3.4*5.1 100 mm คือ สายยางขนาด3.4*5.1 ความยาว 100 มม. ทำหน้าที่เป็นท่อลำเลียงเลือด
8. Injection filter D คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองของเสียในเลือด
9. Chamber Tube 17.0*20.0 (T-M4) คือ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกักเก็บเลือดก่อนนำเข้าสู่อ่างกายผู้ป่วย

10. Cap T3 ข้อต่อสำหรับต่อสายถ่ายเลือดเข้าสู่ Chamber tube 17.0*20.0 ก่อนนำเข้าสู่อ่างกายผู้ป่วย

11. Chamber Adapter 6.0 ข้อต่ออีกส่วนหนึ่งที่ต่อกับ Chamber Tube 17.0*20.0

2.2 การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองสถานการณ์ หมายถึง การคิดค้นวิธีสร้างสถานการณ์สมมติขึ้นมาโดยคำนึงถึงสถานการณ์จริงเพื่อนำไปสู่การวางแผนการตัดสินใจแก้ไขปัญหา และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้รับจากการทดลองก่อนที่จะนำไปใช้แก้ไขปัญหาในสถานการณ์จริงที่เกิดขึ้นต่อไป (สุพจน์, 2552)

ในปัจจุบันการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นการศึกษาปัญหาของระบบงานด้วยแบบจำลองที่อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถใช้แก้กับปัญหาของระบบงานได้หลากหลายประเภทด้วยกันเช่น การกำหนดงานในกระบวนการผลิต การบริหารการจัดการในโรงพยาบาลและการจัดการขนส่งข้ามประเทศ เป็นต้น โดยในการทำงานของแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะศึกษาจากการคำนวณข้อมูลต่างๆ ซึ่งได้ จากการวางแผน และรวบรวมข้อมูล และนำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (สุพจน์, 2552)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จามร กิจเดช และ คณะ (2560) ได้ศึกษาปัญหาของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบสายการผลิตอาหารเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตและลดต้นทุนโดยการใช้โปรแกรม Arena Rockwell Software แนวทางที่นำเสนอจะประกอบไปด้วย ทฤษฎีการจัดการสมดุลสายการผลิต ทฤษฎีแห่งข้อจำกัดและการพิจารณาข้อรถประโยชน์ จากการศึกษาผลลัพธ์ของแนวทางการปรับปรุงจากการจำลองสถานการณ์ พบว่าแนวทางที่ 2 คือ วิธีที่เหมาะสมในการลดเวลาการผลิตจาก 20 ชั่วโมง เหลือ 15 ชั่วโมง และต้นทุนค่าจ้างคนงานรวมลดลงจากเดิม 13,392 บาท เหลือ 9,945 บาท

ธัญกร เอี้ยวชิโป และวิไลลักษณ์ เลิศเมธากุล (2560) ได้ทำการวิเคราะห์การทำงานของระบบการให้บริการ ของผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลทุ่งหว้า จังหวัดสตูล โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์แถวคอย เนื่องจากจำนวนผู้ป่วยที่มากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้โรงพยาบาลประสบปัญหาเกี่ยวกับการรอการรับบริการเป็นเวลาที่ ยาวนาน งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยการจัดการเรื่องของลำดับการรอคอย เพื่อให้สามารถลดเวลาของการรอคอยและเพิ่มความสามารถของโรงพยาบาลในการรับบริการและในด้านการใช้ ทรัพยากร โดยทำการเก็บข้อมูลเวลาในการให้บริการ ตารางการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ทางการแพทย์เพื่อ ใช้ในการออกแบบการจำลองสถานการณ์ จากนั้นจึงได้ทำการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Arena การ วิเคราะห์ผลจาก

แบบจำลองนี้จะได้นำไปใช้ในการปรับปรุงการดำเนินงานเพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาข้อมูล

การผลิตชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไตของ บริษัท เอ็ม.อี.นิคโคโซ ตัวผู้วิจัยได้รับมอบหมายให้ดูในส่วนของกลุ่มงาน Chamber โดยกลุ่มงาน Chamber นั้น มีจำนวนพนักงานทั้งหมด 18 คน เวลาในการทำงานทั้งหมด 8 ชั่วโมง และเวลาในการทำงานล่วงเวลาทั้งหมด 3 ชั่วโมง ประกอบไปด้วยสถานีนางย้อย 9 สถานีนาง

ตารางที่ 1 กำหนดหมายเลขสถานีนางย้อย ของแต่ละกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	จำนวนคน	สถานี
1.FLCD 5.1 + CAP A	2	1
2. FLCD 5.1 + Tube 100 mm	2	2
3. Lock Ring D + Tube 1000 mm	1	3
4.Chamber Under Cap T6.0 + Injection Filter D	1	4
5. Chamber Under Cap T6.0 + Chamber Tube	1	5
6. Chamber Tube + Chamber Adapter T6.0 + Chamber Cap T3	4	6
7. Inspection	2	7
8. Tube 100 mm + Small Clamp + Chamber Cap T3	2	8
9. Tube 1000 mm + Small Clamp + Chamber Cap T3	3	9

หมายเหตุ เครื่องหมาย + หมายถึง การประกอบ

หลังจากได้ศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิต ของการผลิตชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไต จึงได้มีการกำหนดชื่อเรียกของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ ดังตารางที่ 2

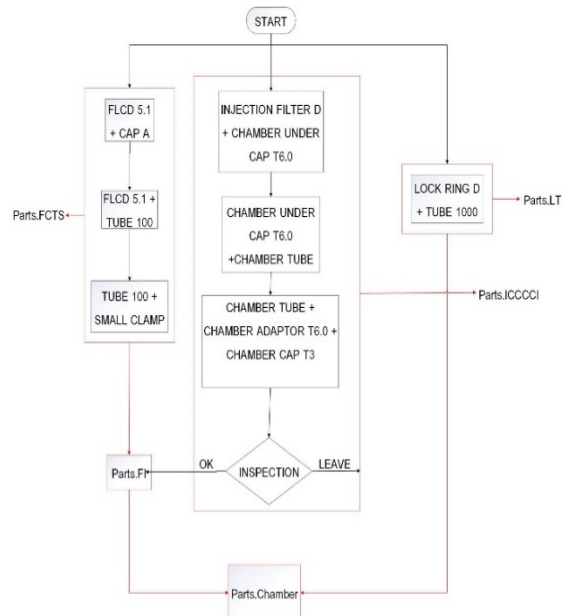
ตารางที่ 2 สรุปชิ้นส่วนในการใช้ประกอบแต่ละส่วนงาน และกำหนดชื่อเรียกของแต่ละชิ้นส่วนประกอบ

รายชื่อของวัตถุดิบในการประกอบชิ้นงาน Chamber	ชื่อเรียกชิ้นส่วนประกอบ
((FLCD 5.1 + CAP A) + Tube 100 mm) + Small Clamp C2)	Parts.FCTS
((Injection Filter D + Chamber Under Cap T6.0) + Chamber Tube) + (Chamber Adaptor T6.0 + Chamber Cap T3) และ Inspection	Parts.ICCCCI
(Lock Ring D + Tube1000mm)	Parts.LT
Parts.FCTS + Parts.ICCCCI	Parts.FI
Parts.FI + Parts.LT	Parts.Chamber

หมายเหตุ เครื่องหมาย + หมายถึง การประกอบ

3.1.1 กระบวนการผลิต

สำหรับกระบวนการผลิตในกลุ่มงาน Chamber ที่ผู้วิจัยมุ่งทำการศึกษา เครื่องหมาย+หมายถึง การประกอบ สามารถแสดงได้ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Flow Chart กระบวนการทำงานของกลุ่มงาน Chamber

ปัจจุบันในแต่ละสถานีมีระยะเวลาในการทำงานที่แตกต่างกันจากการไปเก็บข้อมูลจริงจึงพบว่ามีปัญหาหลักที่พบคือ ยอดการผลิตไม่ได้ไปตามกำลังการผลิต (capacity) ที่ฝ่ายวางแผนการผลิตได้กำหนดไว้ ส่งผลให้ต้องมีการทำงานล่วงเวลา

บริษัท เอ็ม.อี.นิคโคโซมีเวลาในการทำงาน เริ่มทำงานตั้งแต่ 08.00น - 17.00น และ 18.00น - 21.00น สำหรับการเปิดทำงานล่วงเวลา โดยกลุ่ม Chamber ที่ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลนั้นมีพนักงานในกลุ่มงาน Chamber ทั้งหมด 18 คน

จากการศึกษาพบว่าฝ่ายวางแผนการผลิต กำหนดรอบในการทำงานของแต่ละวันประมาณ 14.8 รอบ หรือประมาณ 15 รอบ/วัน โดยผลผลิตที่ได้โดยประมาณเท่ากับ 1,008 ชิ้น/รอบ ดังนั้น 1 วันจะต้องมีผลผลิตทั้งหมด 15,120 ชิ้น/วัน พนักงานทุกสถานีควรใช้ระยะเวลาเฉลี่ยในการประกอบไม่เกิน 1.90 วินาที/ชิ้น/คน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการศึกษาระบบการผลิตชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไตในส่วนของกลุ่ม Chamber ซึ่งยังไม่ทราบถึงปัญหาที่ทำให้เกิดการคอขวดอย่างแน่นอน เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ นาฬิกาจับเวลา และใบ Check Sheet ในการกรอกรายละเอียด ตั้งแต่ เริ่มประกอบ จนสิ้นสุดการประกอบ และจำนวนคนที่ใช้ในสถานีนางย้อย ซึ่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้แก่

1. จำนวนคนในแต่ละสถานีงาน
2. ระยะเวลาเฉลี่ยในการประกอบชิ้นงาน
3. ยอดการผลิตในแต่ละวัน
4. การจัด Layout ภายในกลุ่มงาน Chamber

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มงาน Chamber ทั้งหมด 450 ข้อมูล สถานีละ 50 ข้อมูล ของทั้ง 9 สถานีแล้ว แล้วนำมาเรียบเรียงข้อมูล และ จำแนกประเภทของข้อมูล เมื่อเก็บข้อมูลครบทุกส่วน จะนำข้อมูลเวลาในการผลิตของกลุ่มงาน Chamber มาวิเคราะห์การกระจายตัวทางสถิติของข้อมูลเวลาของแต่ละสถานีงาน ก่อนที่จะนำข้อมูลนั้นไปสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena โดยใช้เครื่องมือ Input Analyzer ในโปรแกรม Arena

โดยหลังจากใช้เครื่องมือ Input Analyzer ในโปรแกรม Arena วิเคราะห์ข้อมูลแล้วจะได้ข้อมูลรูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นดังตารางที่ 3

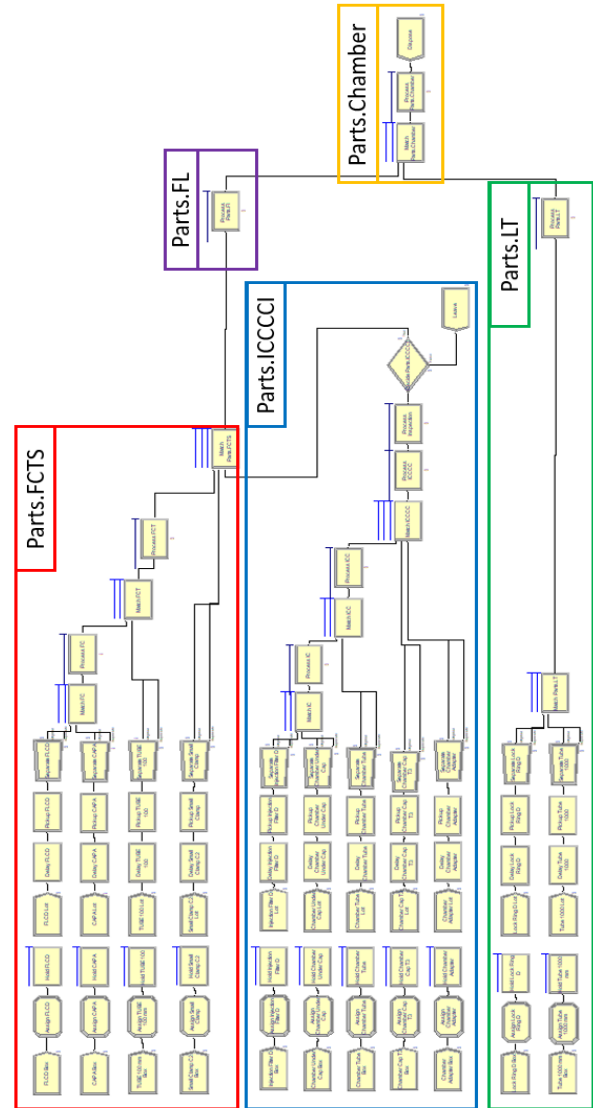
ตารางที่ 3 ค่าการกระจายตัวทางสถิติของทุกสถานี

สถานี	P-Value	ค่าการกระจายตัวทางสถิติ
1	0.737	2 + ERLA (0.544,4)
2	0.0224	1 + ERLA (0.186,6)
3	0.005	1.03 + ERLA (0.118,8)
4	0.0124	NORM (3.07,0.98)
5	0.0208	1.6 + 2.76 * BETA (1.6,1.98)
6	0.45	3 + 7 * BETA (2.96,4.13)
7	0.375	2 + WEIB (2.84,2.21)
8	0.168	3 + WEIB (2.11, 2.3)
9	0.523	NORM (5.55, 0.715)

จากตารางที่ 3 พบว่าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 0.01 จึงสามารถสรุปได้ว่าข้อมูล มีการแจกแจงความน่าจะเป็นตามที่แสดง สำหรับกรณีที่ค่า P-Value < 0.01 อาจเกิดขึ้นจากจำนวนข้อมูลที่น้อยเกินไป และด้วยข้อจำกัดของการทำโครงการ จึงไม่สามารถเข้าไปจับเวลาเพิ่มเติมได้ จึงเลือกการแจกแจงแบบดังกล่าว เพื่อเป็นรูปแบบการแจกแจงที่ให้ค่าความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด

3.4 การสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมอารีน่า (Arena)

นำการแจกแจงที่เหมาะสมที่ได้จาก Input Analyzer มาสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม Arena เพื่อสร้างแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับระบบการทำงานในปัจจุบัน โดยมีตำแหน่งของแต่ละชิ้นส่วนประกอบตามชื่อในกรอบสีต่างๆ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองบนโปรแกรม Arena ของกลุ่มงาน Chamber

3.5 ตรวจสอบความถูกต้อง

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validating) โดยนำผลที่ได้จากการจากการจำลองผ่านโปรแกรม Arena เป็นระยะเวลา 10 วัน มาเปรียบเทียบกับข้อมูลการทำงานจริงของหน่วยงาน 10 วัน ตารางที่ 4 โดยใช้วิธีการทดสอบสมมติฐาน t - Test และกำหนดสมมติฐานดังนี้ H0: $\mu_1 - \mu_2 = 0$ และ H1: $\mu_1 - \mu_2 \neq 0$ และใช้โปรแกรม Minitab เป็นเครื่องมือในการทดสอบ หากผลการทดสอบได้ค่า p-value มากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ (0.05) จะสามารถสรุปได้ว่ายอมรับสมมติฐานหลักซึ่งจะตีความหมายได้ว่าโปรแกรม Arena ที่สร้างขึ้นมีพฤติกรรมเหมือนระบบจริง แต่หากค่า p-value น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก ซึ่งแสดงว่าแบบจำลองมีพฤติกรรมแตกต่างจากแบบจำลองนั่นเอง

ตารางที่ 4 ข้อมูลจำนวนยอดการผลิตของระบบจริง และข้อมูลยอดการผลิตจากโปรแกรม Arena

วันที่	ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรม Arena Rockwell	ข้อมูลยอดการผลิตจากระบบจริง
	ยอดการผลิต (ชิ้น)	ยอดการผลิต (ชิ้น)
1	9262	9880
2	9322	9296
3	9292	9528
4	9303	9030
5	9332	9160
6	9292	9480
7	9310	8152
8	9280	9368
9	9359	9168
10	9276	9528

จากตารางที่ 4 ข้อมูลจำนวนยอดการผลิตของระบบจริง และข้อมูลยอดการผลิตจากโปรแกรม Arena ผลการทดสอบสมมติฐานด้วยค่า t-test ด้วยโปรแกรม Minitab พบว่าผลการทดสอบได้ค่า p-value เท่ากับ 0.817 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ(0.05) จึงทำให้ยอมรับสมมติฐานหลัก และสรุปได้ว่าระบบจริงสามารถแสดงพฤติกรรมได้เหมือนระบบจริงนั่นเอง

3.6 เสนอแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ

โดยหลังใช้หลักการ การจำลองสถานการณ์โดยใช้โปรแกรม Arena Rockwell Software มาใช้ในการจำลองแบบปัญหา ผู้วิจัยนำเสนอวิธีการปรับปรุงกระบวนการสายการผลิตสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไต ดังนี้

แนวทางการเพิ่มจำนวนคนในสถานีกานเพื่อเพิ่มกำลังในการผลิต และเพิ่มจำนวนชิ้นงานให้เต็มรอบ โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

3.6.1 แนวทางการเพิ่มจำนวนคนในสถานีกานเพื่อเพิ่มกำลังในการผลิตและเพิ่มจำนวนชิ้นงานให้เต็มรอบ

การเพิ่มคนเข้าไปในสถานีกานเพื่อเพิ่มกำลังในการผลิตและเพิ่มจำนวนชิ้นงานให้เต็มรอบ ปัจจุบันรอบในการผลิตหนึ่งงานจริงนั้นจะมีการผลิตอยู่ที่ 1,008 ชิ้น แต่การไปเอกกรองวัตถุดิบ มาเพื่อการผลิตนั้นมีวัตถุดิบภายในกล่องอยู่ที่ 900 ชิ้น ซึ่งยังสามารถใส่ชิ้นส่วนวัตถุดิบให้เต็มรอบเท่ากับ 1,008 ชิ้น ได้ดังนั้นภายในทางเลือกรนี้ จึงมีการเพิ่มจำนวนวัตถุดิบ ภายในกล่องเข้าไปภายใน Module Separate จากเดิมที่ 900 ชิ้น เป็น 1,008 ชิ้น ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 จำนวนคนที่เพิ่มเข้าไปในโมเดลแบบจำลอง

จำนวนคนทั้งหมด ในแบบจำลอง สถานการณ์ Simulation	รายละเอียดของแนวทาง						
	ยอด การ ผลิต (ชิ้น)	ของ เสีย (ชิ้น)	สถานี ที่เพิ่ม คน	จำนวน คนที่ เพิ่ม	จำนวน กล่อง วัตถุดิบ	เวลาในการ หยิบกล่อง วัตถุดิบ (นาที/กล่อง)	จำนวน ชิ้นงาน ในกล่อง (ชิ้น)
ระบบจริง(18คน)	12,692	170	-	-	15	45	900
18	9,299	95	-	-	11	45	1,008
19	11,266	104	4	1	12	42.5	1,008
20	11,823	115	3	1	12	40	1,008
21	12,625	126	8	1	13	37.5	1,008
22	13,617	130	7	1	14	35	1,008
23	14,757	143	2	1	15	32.5	1,008
24	15,548	162	4	1	16	30	1,008

จากตารางที่ 5 สามารถสรุปได้ว่า แนวทางการเพิ่มจำนวนคนไปในสถานีกานเพื่อเพิ่มกำลังในการผลิต โดยการเพิ่มจำนวนพนักงานในแต่ละคนนั้นจะทำการหาจุดคอขวดของแต่ละสถานี ว่าจุดคอขวดแต่ละจุดอยู่ในสถานีกานไหน เมื่อพบจุดที่เกิดคอขวดมากที่สุดจึงทำการเลือกจุดนั้นเป็นจุดที่ถูกเพิ่มคน การที่จะได้ยอดการผลิตตามที่ฝ่ายวางแผนกำหนด 15,120 ชิ้น นั้น จะต้องเพิ่มจำนวนคน จากเดิม 18 คน เป็น 24 คน จึงจะได้ยอดการผลิต 15,548 ชิ้น ตามที่ฝ่ายวางแผนกำหนด

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานของแนวทาง

โดยจะนำยอดการผลิต ของเสีย และค่าแรงงาน ของแนวทางการเพิ่มจำนวนคนในสถานีกานเพื่อเพิ่มกำลังในการผลิตและเพิ่มจำนวนชิ้นงานให้เต็มรอบ นำมาคิดรายได้สุทธิเพื่อเปรียบเทียบกับรายได้สุทธิของระบบการทำงานในปัจจุบัน โดยรายได้ทั้งหมดต่อวันของระบบการทำงานในปัจจุบันมีดังนี้

4.1.1 รายได้ทั้งหมดต่อวันของระบบการทำงานในปัจจุบัน

ปัจจุบัน กระบวนการทำงานในไลน์การผลิตนี้สามารถผลิตได้สูงสุด 12,692 ชิ้น/วัน โดยใช้เวลาในการทำงานล่วงหน้า 3 ชั่วโมง ดังนั้นสามารถคำนวณหารายได้และต้นทุนด้านแรงงานรวมกับต้นทุนของเสียได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{รายได้สุทธิ} &= \text{รายได้จากผลผลิต} - \text{ต้นทุนแรงงาน} - \text{ต้นทุนของเสีย} \\ &= 761,520 - 9,504 - 7,620 \\ &= 744,396 \text{ บาท/วัน} \end{aligned} \quad (1)$$

หมายเหตุ: รายได้จากผลผลิต = จำนวนผลผลิตที่ได้ x ราคาต่อชิ้น

$$\text{ต้นทุนแรงงาน} = \text{ต้นทุนแรงงานในเวลารอกติ} + \text{ต้นทุนล่วงเวลา}$$

$$\text{ต้นทุนของเสีย} = \text{จำนวนของเสียเฉลี่ย} \times \text{ราคาขายต่อชิ้น}$$

4.2 รายได้สุทธิของแนวทาง การเพิ่มจำนวนคนในสถานงานเพื่อเพิ่มกำลังในการผลิตและเพิ่มจำนวนชิ้นงานให้เต็มรอบ

สำหรับผลที่ได้จากการจำลองด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้น ซึ่งมีการจำลองซ้ำจำนวน 10 ซ้ำ (replication) ได้ผลการจำลองจากตารางที่ 5 ซึ่งสามารถนำมาสรุปเป็นรายได้จากผลผลิต และต้นทุนแรงงานกับต้นทุนของเสียได้ผลดังแสดงใน ตารางที่ 6 และ 7 ดังนี้

ตารางที่ 6 รายได้จากผลผลิต จากแบบจำลองของแนวทาง

รายได้ของสินค้า จากแบบจำลองของแนวทาง			
จำนวนคน	ผลผลิตเฉลี่ยที่ได้(ชิ้น)	ราคาของสินค้า	ราคาของสินค้าที่ผลิตได้ทั้งหมด
18	9,299	60	557,940
19	11,266	60	675,960
20	11,823	60	709,380
21	12,625	60	757,500
22	13,617	60	817,020
23	14,757	60	885,420
24	15,548	60	932,880

ตารางที่ 7 ต้นทุนแรงงานและของเสีย จากแบบจำลองของแนวทาง

ต้นทุนทั้งหมดในกระบวนการผลิต 8 ชั่วโมงทำงานของแนวทาง					
จำนวนคน	ของเสีย (ชิ้น)	ต้นทุนต่อชิ้น	ต้นทุนของเสียทั้งหมด	ค่าแรงของพนักงาน 8 ชั่วโมงทำงาน(345บาท)	รายจ่ายทั้งหมด (บาท)
18	93	60	5,580	6,210	11,790
19	113	60	6,780	6,555	13,335
20	118	60	7,080	6,900	13,980
21	126	60	7,560	7,245	14,805
22	136	60	8,160	7,590	15,750
23	148	60	8,880	7,935	16,815
24	155	60	9,300	8,280	17,580

เมื่อนำผลคำนวณ ยอดขายของสินค้า ต้นทุนค่าแรง และของเสียที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองของแนวทางใน ตารางที่ 6 และ ตารางที่ 7 มาคำนวณรายได้สุทธิ ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 สรุปรายได้สุทธิจากแบบจำลองของแนวทาง

สรุปรายได้สุทธิจากแบบจำลองของแนวทาง (บาท)			
จำนวนคน	รายได้ทั้งหมด	ต้นทุนค่าแรง + ค่าของเสีย	รายได้สุทธิจากแบบจำลอง
18	557,940	11,790	546,150
19	675,960	13,335	662,625
20	709,380	13,980	695,400
21	757,500	14,805	742,695
22	817,020	15,750	801,270
23	885,420	16,815	868,605
24	932,880	17,580	915,300

จากนั้นนำรายได้สุทธิที่ได้จากแบบจำลองของแนวทาง มาเปรียบเทียบกับรายได้สุทธิของการทำงานในปัจจุบัน จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สรุปรายได้สุทธิจากระบบการทำงานในปัจจุบัน และรายได้สุทธิจากแบบจำลองของแนวทาง

จำนวนคน	รายได้สุทธิจากแบบจำลอง	รายได้สุทธิจากการทำงานในปัจจุบัน	ผลต่าง
18	546,150	744,396	-198,246
19	662,625	744,396	-81,771
20	695,400	744,396	-48,996
21	742,695	744,396	-1,701
22	801,270	744,396	+56,874
23	868,605	744,396	+124,209
24	915,300	744,396	+170,904

จากตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มจำนวนพนักงานจากที่มีอยู่ 18 คนเป็น 22 คน เป็นต้นไป และมีการเพิ่มขึ้นงานภายในกล่องจากเดิมที่มี 900 ชิ้น เป็น 1008 ชิ้น จะเริ่มให้ผลผลิตที่มากกว่าการใช้พนักงาน 18 คน และมีการทำงานล่วงเวลาวันละ 3 ชั่วโมง ดังนั้นหากต้องการให้สายการผลิตให้ผลผลิตได้ปริมาณตามที่ฝ่ายวางแผนการผลิตได้วางไว้ ทางเลือกที่เหมาะสมคือการเพิ่มจำนวนคนให้เท่ากับหรือมากกว่า 22 คนนั่นเอง

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการศึกษาระบบการทำงานและการจับเวลาการทำงานในสายการผลิตชุดสายถ้ายืด สำหรับโรคไต แล้วนำมาสร้างเป็นแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการ เมื่อสร้างแบบจำลองเสร็จ และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองแล้ว ผู้วิจัยได้นำมาแบบจำลองมาวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มจำนวนพนักงานในบางสถานงานที่เป็นจุดคอขวดบางสถานงานและนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกับสถานการณ์ปัจจุบัน

ผลสรุปผู้วิจัยพบว่า แนวทางการเพิ่มจำนวนคนในสถานงานเพื่อเพิ่มกำลังในการผลิตและเพิ่มจำนวนชิ้นงานให้เต็มรอบ เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด การเพิ่มพนักงานเข้าไปที่ สถานงานที่ 2 = 1 คน สถานงานที่ 3 = 1 คน สถานงานที่ 4 = 2 คน สถานงานที่ 7 = 1 คน สถานงานที่ 8 = 1 คน จากเดิมมี 18 คน จะรวมเป็น 24 คน ซึ่งจะได้ยอดการผลิตเฉลี่ยจากเดิมวันละ 12,692 ชิ้น เพิ่มขึ้นเป็นเฉลี่ยวันละ 15,548 ชิ้น จะได้ยอดตามที่ฝ่ายวางแผนการผลิตกำหนด

ยอดการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เท่ากับ 22.50% ในส่วนของรายได้สุทธิที่เพิ่มขึ้น จากเดิมมีรายได้เฉลี่ยวันละ 741,816 บาท เพิ่มขึ้นเฉลี่ยวันละ 914,880 บาท รายได้ที่ได้เพิ่มขึ้นจากเดิมคิดเป็น

เปอร์เซ็นต์เท่ากับ 23.33% ในส่วนของต้นทุนทั้งหมด จากเดิมมีต้นทุนต่อวันที่ 19,704 บาท จะเหลือเพียง 18,000 บาท ต่อวัน ดังนั้น ต้นทุนทั้งหมดลดลงจากเดิมคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ลดลง เท่ากับ 8.65% ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบ ของแนวทาง และระบบการทำงานจริงในปัจจุบัน

	ยอดการผลิต	รายได้สุทธิ
ระบบการทำงานจริง	12,692	744,396
แบบจำลองสถานการณ์ของแนวทาง	15,548	915,300
เปอร์เซ็นต์ ที่เพิ่มขึ้นจากระบบการทำงานจริง	22.50%	22.96%

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการสร้างแบบจำลองสถานการณ์และนำเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาผู้วิจัยพบว่าการเพิ่มผลผลิตสามารถดำเนินการได้อีกหลายวิธี จึงมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. มีคนคอยส่งวัตถุดิบให้แก่พนักงานที่กำลังประกอบงานและอำนวยความสะดวก
2. ใช้เครื่องจักรแทนคนในสถานงานที่มีรอบการประกอบชิ้นงานนาน
3. ควรมีการบันทึกพนักงานจากกลุ่มงานอื่นที่มาแทนพนักงานประกอบชิ้นงานที่กลุ่ม Chamber ที่ขาดไปหรือจำนวนคนที่มาแทนเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลที่ง่ายขึ้น
4. ควรหาแนวทางการลดของเสียเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มผลผลิต

6. กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำบทความเรื่อง “การสร้างแบบจำลองสถานการณ์เพื่อปรับสมดุลสายการผลิตชุดสายถ่ายเลือดสำหรับโรคไต” ได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่เป็นประโยชน์เพื่อใช้ในการศึกษาจัดทำบทความจาก บริษัท เอ็ม.อี.นิคซิโซ จำกัด ผู้จัดทำปริญาณิพนธ์ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้ และขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ กาญจนา กาญจนสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงอาจารย์ประจำภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรมที่ได้ให้ คำปรึกษาวิชาความรู้ และข้อเสนอแนะมาโดยตลอด

ทั้งนี้ขอกราบขอบพระคุณ ทางภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม ที่กรุณาสับสนุนและให้ข้อคิด ที่เป็นประโยชน์ในการศึกษาและให้ความร่วมมือทุกๆ ด้านแก่ผู้ศึกษา จนทำบทความฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปราชญ์บุรี ที่ให้ความรู้และกำลังใจ อันเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุพจน์ เหล่างาม และธนัญญา วสุศรี. 2552. “ การปรับปรุงกระบวนการเติมเต็มคำสั่งซื้อด้วยแบบจำลองกระบวนการธุรกิจ: กรณีศึกษา บริษัทอุตสาหกรรมสิ่งทอในประเทศไทย.” วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง.
- [2] จักริน ยิ้มยอง. 2555. “ การปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียโดยใช้หลักการ ซิกซ์ ซิกม่า: กรณีศึกษา บริษัท เลนติส เทคโนโลยีส์ (ไทย) จำกัด”.
- [3] รุ่งรัตน์ ภัสชเพ็ญ, 2553. คู่มือสร้างแบบจำลองด้วย โปรแกรม Arena, บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพฯ.
- [4] จามร กิจเดช, ญัฐพล ศรีพรประเสริฐ และ อดจ ชัยมณ. 2560. การจำลองสถานการณ์เพื่อปรับปรุงสายการผลิตในอุตสาหกรรมอาหาร. การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 4 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน.
- [5] รัชกร เอี้ยวชิโป และ วิไลลักษณ์ เลิศเมธากุล. 2560. การพัฒนาระบบคิวงานผู้ป่วยนอกโรงพยาบาลทุ่งหว้า จังหวัดสตูล. กระทรวงสาธารณสุข.

การปรับปรุงเวลามาตรฐานในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนเครื่องยนต์เพื่อเพิ่มผลผลิต Improving Standard Times in Engine Assembly Processes to Increase Productivity

ศรินยา ประทีปชนะชัย^{1*} ยุทธณรงค์ จงจันทร์² สราวุธ อิศรานูวัฒน์³ ภิรม พรประเสริฐ⁴ เกียรติศักดิ์ พระเนตร⁵ กิตติคุณ แก้วภิรมย์⁶

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

²สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

³สาขาวิชาออกแบบผลิตภัณฑ์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

^{4,5}สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

⁶สาขาเทคโนโลยีท่ออุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

E-mail: sarinya.ptcc@gmail.com*

Sarinya Prateepchanachai^{1*}, Yuthanarong Jongjun², Sarawat Itsaranuwat³, Peema Pornprasert⁴, Kiatisak Pranet⁵, Kittikun Keawpirom⁶

¹Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

²Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

³Department of Product Design, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

^{4,5}Department of Logistics Management, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchatani Rajabhat University

⁶Department of Industrial Piping Technology, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus

E-mail: sarinya.ptcc@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงรอบเวลามาตรฐานในกระบวนการประกอบผลิตชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์ของบริษัทตัวอย่าง จากการเก็บข้อมูล และวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม พบว่าปัญหาเสียบวาล์วหลุดออกจากเบ้าขณะหมุนแกนวาล์วขณะประกอบงาน เนื่องจากจุดทำงานมีลักษณะเป็นที่แคบพนักงานไม่สามารถกดเสียบวาล์วเข้ากับสปริงได้ตลอดเวลา แนวทางการแก้ไขผู้วิจัยเสนอให้จัดหาอุปกรณ์ที่สามารถทำงานในที่แคบได้มาช่วยในการดันเพื่อกดเสียบวาล์วได้ตลอดเวลาขณะทำการประกอบเข้ากับสปริง โดยเลือกมาทดสอบ 4 ชนิด ประกอบด้วย ไม้ตะเกียบ แท่งเหล็ก ยางลบ และแท่งพลาสติก ผลการทดสอบพบว่า ยางลบและแท่งพลาสติกเป็นวัสดุที่มีต้นทุนต่ำสามารถหาซื้อได้ทั่วไป ไม่มีผลกระทบทำให้แกนวาล์วเสียหายแต่เมื่อใช้ระยะยาวยางลบจะเกิดการฉีกขาดทำให้ต้องเปลี่ยนใหม่ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แท่งพลาสติกเป็นวัสดุในการดันกดเสียบวาล์วเข้ากับสปริงแกนวาล์ว ผลการปรับปรุงสามารถลดรอบเวลามาตรฐานในขั้นตอนการประกอบเสียบวาล์วได้จาก 57.84 นาทีต่อเครื่อง เหลือ 33.65 นาทีต่อเครื่อง ลดลง 24.19 นาทีต่อเครื่อง คิดเป็นลดลงร้อยละ 41.82 รอบเวลาการผลิตรวมลดลงจาก 80.30 นาทีต่อเครื่อง เหลือ 55.11 นาทีต่อเครื่อง เพิ่มกำลังการผลิตได้จาก 5.98 เครื่องต่อวันต่อคน เป็น 8.71 เครื่องต่อวันต่อคน เพิ่มขึ้น 2.19 เครื่องต่อวันต่อคน คิดเป็นเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.63 สามารถผลิตฝาสูบเครื่องยนต์ได้ทันตามความต้องการของลูกค้าที่ 520 เครื่องต่อเดือน ลดพนักงานผลิตได้จาก 4 คน เหลือ 3 คน ลดลง 1 คน คิดเป็นลดลง ร้อยละ 25 ส่งผลให้อัตราผลิตภาพเพิ่มขึ้นจาก 0.012 เครื่องต่อนาทีต่อคน เป็น 0.018 เครื่องต่อนาทีต่อคน

คำสำคัญ: เทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม ความสูญเสียเปล่า 7 ประการ อัตราผลิตภาพการผลิต เวลามาตรฐาน

Abstract

This research aims to improve the standard cycle time in the assembly process of engine cylinder head parts of a sample company from data collection and analyzing the root cause of the problem through questioning techniques, why, why It was found that valve nail came out of its socket while turning the valve core during assembly. Because the working point is narrow, workers cannot press valve nail against the spring all the time. As a solution, the researcher proposed to provide a device that can work in a narrow space to assist in pushing valve nail at any time while assembling the spring. by choosing to test 4 types, consisting of chopsticks, metal sticks, erasers and plastic sticks. Test results showed that erasers and plastic sticks are generally available, low-cost materials. It did not cause damage to the valve stem, but when used for a long time, the eraser would tear and had to be replaced. The researcher therefore chose to use a plastic rod as a material to press the valve nail against the valve stem spring. The improvement result can reduce the standard cycle time in valve nail assembly process from 57.84 minutes per machine to 33.65 minutes per machine, decreasing by 24.19 minutes per machine, representing a decrease of 41.82 percent around the production time. Total reduced from 80.30 minutes per device to 55.11

minutes per device. Increased production capacity from 5.98 engines per day per person to 8.71 engines per day per person, an increase of 2.19 units, representing an increase of 36.63 percent, able to produce cylinder heads engines according to customer needs at 520 units per month. Reducing the production staff from 4 people to 3 people, reducing 1 person, representing a decrease of 25 percent, resulting in an increase in productivity from 0.012 machines per minute per person to 0.018 machines per minute per person.

Keywords: Why-Why Analysis, Seven Wastes, Productivity Rate, Standard Time

1. บทนำ

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนและประกอบเครื่องยนต์ชนิดสันดาปภายใน 1 ในขั้นตอนสำคัญของกระบวนการผลิตคือการประกอบห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ซึ่งต้องมีการติดตั้งวาล์วและกลไกบังคับวาล์ว โดยมีขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์

จากรูปที่ 1 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์มีทั้งหมด 6 ขั้นตอน มีเวลามาตรฐานรวมทุกขั้นตอน 80.30 นาทีต่อเครื่อง พนักงาน 1 คน สามารถประกอบเครื่องยนต์ได้ 6 เครื่องต่อวัน ความต้องการของลูกค้าที่ 24 เครื่องต่อวัน หรือ 520 เครื่องต่อเดือน จากวันทำงาน 22 วันต่อเดือน ปัจจุบันสายการประกอบใช้พนักงานทำงาน 4 คน มีค่าอัตราผลิตภาพการผลิต 0.0125 ขั้นตอนต่อคน จากข้อมูลเบื้องต้นพบวาระอบเวลามาตรฐานในการผลิตค่อนข้างสูงเนื่องจากขาดการปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นสาเหตุให้อัตราผลิตภาพต่ำ

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงรอบเวลามาตรฐานในกระบวนการประกอบผลิตชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์ของบริษัทตัวอย่างเพื่อเพิ่มอัตราผลิตภาพการผลิตโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในการดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เวลามาตรฐาน (Standard Time)

หมายถึง การหาเวลาการทำงานจากคนงานที่มีระดับการทำงานที่เหมาะสม ด้วยเงื่อนไขสภาพการทำงานที่เหมาะสมซึ่งถือเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สำคัญและขาดไม่ได้ในการสร้างมาตรฐานการปฏิบัติงาน ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ ธรรมศักดิ์ ด้วยเทศ [1] คำนวณหาค่าเวลามาตรฐานการทำงานของพนักงานในอุตสาหกรรมโรงแรมโดยใช้เทคนิคการศึกษาและจับเวลาโดยตรงจากการทำงานของพนักงาน (Direct Time Study) เริ่มต้นจากจุดบันทึกรายละเอียด

กระบวนการทำงาน จำแนกกิจกรรมย่อยในแต่ละงาน (Elements) พร้อมทั้งจัดบันทึกเวลาทำงานแต่ละกิจกรรมย่อย เพื่อคำนวณค่าพิสัย (Range: R) หาจำนวนรอบจับเวลาที่เหมาะสม หาค่าเวลาดำเนิน (Selected Time: ST) ประเมินอัตราเร็วการทำงาน (Rating Factor: RF) ค่าเวลาปกติ (Normal Time: NT) และค่าเวลาเผื่อ (Allowance Time: A) เพื่อใช้ประกอบการคำนวณหาค่าเวลามาตรฐาน (Standard Time: Std.T) พบว่างานบริการด้านโรงแรมสามารถคำนวณค่าเวลามาตรฐานการทำงานได้และประยุกต์ใช้ได้จริง ซึ่งเวลาที่ได้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญต่อการพิจารณา ด้านเวลาเพื่อสร้างมาตรฐานการทำงาน ควบคุมเวลาทำงาน ลดต้นทุน และลดความสูญเปล่าที่มีความแม่นยำ นำเชื่อถือ นำไปสู่การปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลิตภาพ (Productivity Improvement) ทั้งในภาคธุรกิจอุตสาหกรรมโรงแรมและการบริการ

2.2 อัตราผลิตภาพการผลิต (Productivity)

วิทยา อินทร์สอน [2] กล่าวว่า ผลิตภาพการผลิต หมายถึง กระบวนการในการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้สินค้า บริการ หรืองานที่มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า ด้วยวิธีการในการลดต้นทุน ลดการสูญเสียทุกรูปแบบ การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม การพัฒนาศักยภาพของผู้ปฏิบัติงานในองค์กร และการใช้เทคนิคการทำงานต่าง ๆ เข้ามาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานซึ่งคล้ายกับ เกียรติศักดิ์ จันทร์แดง [3] อัตราผลิตภาพการผลิต หมายถึง จำนวนผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ผลิตได้จากการใช้ทรัพยากรจำนวนหนึ่ง หรือเป็นการวัดประสิทธิผลของการใช้ทรัพยากรแสดงในรูปอัตราส่วนของปัจจัยนำออก (Output) ได้แก่ สินค้าและบริการหารด้วยปัจจัยนำเข้า (Input) หนึ่งประเภทขึ้นไป เช่น แรงงาน และทรัพยากรอื่น ๆ สรุปโดยรวม ผลิตภาพการผลิตหมายถึง การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่า โดยใช้วิธีการลด ต้นทุน ลดการสูญเสีย ปรับปรุงกระบวนการผลิต และมุ่งเน้นการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งคำนวณได้จาก สมการที่ 1

$$\text{ผลิตภาพการผลิต} = \frac{\text{ผลผลิต}}{\text{ปัจจัยที่ใช้ในการผลิต}} \quad (1)$$

2.3 ความสูญเปล่า 7 ประการ (7 Wastes)

วิทยา อินทร์สอน [4] ความสูญเปล่าต่าง ๆ แบ่งอยู่ในกระบวนการผลิตไม่มากนักน้อย ซึ่งเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เช่น การใช้เวลานานในการผลิต

มากขึ้นไป สินค้ามีคุณภาพต่ำ มีต้นทุนการผลิตสูง คล้ายกับงานวิจัยของ คลอเคลีย วจนะวิชากร [4] ลดความสูญเสียเปล่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม้กวาดทางมะพร้าว ด้วยการประยุกต์ใช้การออกแบบอุปกรณ์ยึดเพื่อคัดแยกขนาดและตัดทางมะพร้าวให้ได้ขนาดความยาว 40 และ 50 เซนติเมตร ตามลำดับ ช่วยลดความสูญเสียเปล่าในขั้นตอนการทำงานมากขึ้นไปช่วยให้พนักงานทำงานสะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาน้อย ในขณะที่ได้ปริมาณของงานมากขึ้นกว่าเดิม ผลจากการปรับปรุงสามารถลดจำนวนพนักงานจาก 2 คนเหลือ 1 คน ลดของเสียจากเศษลวดและรอบเวลาในการผลิตลดลงจาก 46 นาทีต่อตำม เหลือ 40 นาทีต่อตำม ลดลง 6 นาทีต่อตำม คิดเป็นลดลงร้อยละ 13.04

2.4 แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram)

เป็นแผนผังที่ใช้ในการค้นหาสาเหตุรากเหง้าหรือใช้ในการค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาให้สำเร็จลุล่วงไปได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ประเภทการวิเคราะห์แบบ Why-Why Tree จะใช้เมื่อต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้า (Root Cause) ของปัญหาโดยยอดของแผนผังต้นไม้จะแสดง “ปัญหา” ที่เกิดขึ้น และประเภทการวิเคราะห์แบบ How-How Tree จะใช้เมื่อต้องการหาแนวทางการแก้ไขก่อนที่จะนำไปสร้างเป็นแผนปฏิบัติ โดยยอดต้นไม้จะแสดงถึง “เป้าหมาย” ที่ต้องการจะไปถึง ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ วณิดา พงษ์สงวน และคณะ [5] ใช้เทคนิคผังต้นไม้ตัดสินใจประเมินประสิทธิภาพของแบบจำลองด้วยค่าความแม่นยำตรง ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาให้ประสิทธิภาพที่มีค่าความแม่นยำตรง 76.14% และสามารถสร้างกฎการจำแนกจากต้นไม้ตัดสินใจทั้งสิ้น 97 กฎ ซึ่งพบว่าปัจจัยเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดโรคเบาหวาน ได้แก่ อายุ เพศ สถานะภาพ ที่อยู่ อาชีพประวัติความดันโลหิตเกินมาตรฐาน ประวัติค่าดัชนีมวลกายเกินมาตรฐาน พฤติกรรมการสูบบุหรี่ พฤติกรรมการดื่มสุรา และประวัติครอบครัวเป็นเบาหวาน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มอัตราผลิตภาพในกระบวนการผลิตมีหลายงานวิจัยที่มีการนำเอาเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ อาทิเช่นงานวิจัยของ พรศิริ คำหล้า และคณะ [6] ศึกษากระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จเพื่อกำหนดเป็นเวลามาตรฐานกรณีศึกษาโรงงานผลิตคอนกรีตผสมเสร็จในจังหวัดกาฬสินธุ์ พบว่ากระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ (1) การเตรียมเครื่องมิกซ์ (2) การเตรียมวัตถุดิบ (3) การผสมวัตถุดิบ และ (4) การปล่อยปูน และสามารถแยกเป็นงานย่อยได้ 13 งานย่อยซึ่งหาเวลามาตรฐานโดยใช้วิธีการจับเวลางานย่อยละ 10 รอบ แล้วคำนวณหาจำนวนรอบในการจับเวลาที่เหมาะสมโดยใช้ตาราง Metric ที่ความเชื่อมั่นของข้อมูล 95% และความผิดพลาดไม่เกิน $\pm 5\%$ ทำให้ต้องไปเก็บข้อมูลเพิ่มอีก 7 รอบ จากนั้นคำนวณหาเวลาเพื่อในการทำงานเพื่อกำหนดเวลามาตรฐาน จากการคำนวณหาเวลามาตรฐาน

พบว่า ในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ มีเวลามาตรฐานที่ได้คือ 236.76 วินาทีหรือเท่ากับ 3.95 นาทีต่อการผลิต 0.5 คิว นั่นคือผลิตคอนกรีตผสมเสร็จได้ 53 คิวต่อวัน งานวิจัยของ พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤทธิ์ [7] ศึกษาเวลาโดยตรงด้วยการใช้นาฬิกาจับเวลาหรือเครื่องมือจับเวลาในการวิเคราะห์หาเวลามาตรฐานการทำงานของคนงานในสภาพการทำงานที่ถูกกำหนดเป็นมาตรฐาน เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วยจากกระบวนการที่ถูกกำหนดไว้แล้ว

3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สํารวจสภาพปัจจุบัน

ผู้วิจัยสำรวจสภาพปัจจุบันของขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์ ซึ่งมีทั้งหมด 6 ขั้นตอน เริ่มจากการเก็บข้อมูลรอบเวลาการผลิตในแต่ละขั้นตอนจำนวน 5 ครั้ง (เนื่องจากรอบเวลาการผลิตของงานย่อยมีค่าเกิน 2 นาที) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการเก็บข้อมูลรอบเวลาการผลิตในแต่ละขั้นตอน

ELEMENT	OBSERVED TIME (min)					Average (min)
	1	2	3	4	5	
1	1.9	2	2.2	2.3	2.2	2.12
2	3.5	3.2	3.4	3.3	3.2	3.32
3	4.1	4	4.1	4.2	4.1	4.10
4	6.8	7.2	7.1	6.9	7	7.00
5	49.1	50	52.3	51.3	50	50.54
6	3	3.1	3.2	3.1	3	3.08

* (เวลาใช้มาตรฐาน 1/100 นาที หรือความละเอียดเท่ากับ 0.01 นาที)

จากตารางที่ 1 ผู้วิจัยนำมากำหนดอัตราความเร็วในการทำงาน (Rating Factor) ของพนักงานด้วยวิธีการ Westinghouse จาก 4 ปัจจัยที่ส่งผล ประกอบด้วย

ความชำนาญพนักงานมีความชำนาญค่อนข้างดี แต่ยังไม่ถึงดีมากผู้ประเมินจึงให้ระดับการประเมินที่ $C2 = 0.03$

ความพยายาม พนักงานมีความพยายามไม่สูงหรือต่ำเกินไปผู้ประเมินจึงให้ระดับการประเมินที่เป็นมาตรฐาน $D = 0.00$

สภาพแวดล้อมในการทำงาน เป็นที่โล่งอากาศถ่ายเทดี แต่ไม่ใช่ห้องแอร์ผู้ประเมินจึงให้ระดับที่ $C = 0.02$

ความสม่ำเสมอพนักงานมีความพยายามไม่สูงหรือต่ำเกินไปผู้ประเมินจึงให้ระดับการประเมินที่เป็นมาตรฐาน $D = 0.00$

ค่าสมรรถนะการทำงาน $= 0.05$

(ร้อยละมี Rating ปกติมากกว่า 5% หรือ คิดจากฐาน $100 = 105$)

จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยนำไปหาเวลาเฉลี่ยปกติ (Normal Time) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การหาค่าเวลาเฉลี่ยปกติในการทำงาน

ELEMENT	Average (min)	Rating (%)	Normal Time (min)
1	2.12	105	2.23
2	3.32	105	3.49
3	4.10	105	4.31
4	7.00	105	7.35
5	50.54	105	53.07
6	3.08	105	3.53

จากตารางที่ 2 ผู้วิจัยนำเวลาปกติในการทำงานของพนักงานมาคิดเวลาเผื่อ ซึ่งประกอบด้วย เวลาเผื่อความจำเป็นส่วนบุคคล = 5% เวลาเผื่อการเมื่อยล้า (คงที่) = 4% แล้วนำไปคำนวณหารอบเวลามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เวลามาตรฐานการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์

ELEMENT	Normal Time (min)	Allowance (%)	Standard Time (min)
1	2.23	9	2.43
2	3.49	9	3.80
3	4.31	9	4.69
4	7.35	9	8.01
5	53.07	9	57.84
6	3.53	9	3.53
รอบเวลามาตรฐานรวม			80.30

จากตารางที่ 3 พนักงานมีรอบเวลามาตรฐานในการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์ 80.30 นาทีต่อเครื่อง 1 เครื่อง หรือประมาณ 6 เครื่องต่อวันต่อคน จำเป็นต้องใช้พนักงานในการประกอบทั้งหมด 4 คน จึงจะสามารถประกอบให้ได้ตามความต้องการของลูกค้าที่ 520 เครื่องต่อเดือน

จากการสังเกตงานย่อย 6 ขั้นตอน พบว่างานย่อยที่ 5 การประกอบลิ้นวาล์วเข้ากับก้านวาล์วเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดคิดเป็น 72.02% ของเวลาทั้งหมด ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจที่จะนำมาทำการปรับปรุงแก้ไข เริ่มจากการเข้าไปสังเกตการณ์ทำงานของพนักงานในขั้นตอนการประกอบลิ้นวาล์วเข้ากับก้านวาล์ว ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการประกอบลิ้นวาล์วเข้ากับก้านวาล์ว

จากการสังเกตพบว่าช่องที่กดลิ้นวาล์วเข้ากับก้านวาล์วมีขนาดเพียง 10.17 มิลลิเมตร ในขณะที่นิ้วชี้ที่ใช้กดมีขนาด 14.05 มิลลิเมตร ไม่สามารถสอดนิ้วเข้าไปกดได้ถนัด ผู้วิจัยจึงลงแนะนำให้พนักงานเปลี่ยนมาใช้นิ้วก้อยซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกันทดแทนปรากฏว่าพนักงานไม่ถนัดส่งผลให้งานเกิดความล่าช้ามากกว่าการใช้นิ้วชี้ ผู้วิจัยจึงนำปัญหาดังกล่าวไปวิเคราะห์หารากเหง้าของปัญหา

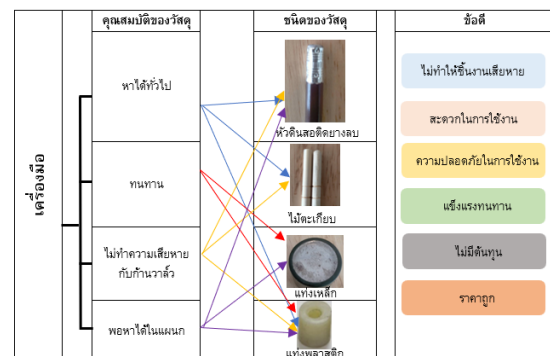
3.2 วิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังต้นไม้

จากปัญหาการทำงานในขั้นตอนกดลิ้นวาล์วเข้ากับก้านวาล์วผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์ปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไข เริ่มจากการวิเคราะห์ประเภทการวิเคราะห์แบบ Why-Why Tree Diagram ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาประเภท Why-Why Tree Diagram

จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วย Why-Why Tree Diagram พบว่าการประกอบลิ้นวาล์วเข้ากับก้านวาล์วจำเป็นต้องทดสอบปริงวาล์วตลอดเวลาเพื่อให้ยุบตัวเพื่อใส่ลิ้นวาล์วแล้วจึงทำการหมุนแกนกดวาล์วลงแต่บริเวณทำงานแคบไม่สามารถกดได้ตลอดเวลาอีกทั้งพนักงานต้องใช้มือทั้งสองข้างเพื่อจับเครื่องมือและหมุนแกนไปพร้อม ๆ กันทำให้บางครั้งลิ้นวาล์วหลุดออกจากเบ้ากระเด็นหาย ผู้วิจัยจึงนำปัญหาดังกล่าวมากำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยการจัดหาอุปกรณ์ช่วยในการทำงานของพนักงานโดยเลือกมาทำการทดลอง 4 ชนิดแล้ววิเคราะห์แนวทางด้วย How-How Tree Diagram ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กำหนดแนวทางการแก้ไขด้วย How-How Tree Diagram

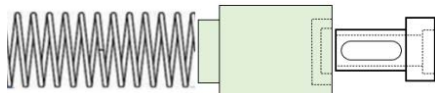
3.3 กำหนดแนวทางและดำเนินการแก้ไข

จากการกำหนดแนวทางแก้ไขด้วย How-How Tree Diagram ในรูปที่ 4 ด้วยคำถามอย่างไรจึงจะกดเล็บวาล์วไว้ตลอดเวลาได้ในขณะที่หมุนแกนวาล์วผู้วิจัยเลือกการจัดสร้างอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน เพื่อให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้น โดยเลือกวัสดุมาทำการทดสอบ 4 ชนิด ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบวัสดุกดเล็บวาล์วเข้ากับก้านวาล์ว

ประเภทวัสดุ	ข้อดี	ข้อเสีย
ไม้ตะเกียบ	-หาได้ทั่วไป -ไม่มีต้นทุน -ไม่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย	-ความแข็งแรงน้อย -อายุการใช้งานสั้น -ขึ้นรูปได้ยาก
แท่งเหล็ก	-ความแข็งแรงสูง	-ทำให้ชิ้นงานเป็นรอย -มีต้นทุนในการจัดซื้อ
หัวดินสอดัด ยางลบ	-หาได้ทั่วไป -ไม่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย	-มีต้นทุนในการจัดซื้อ -ความทนทานน้อย -ขึ้นรูปได้ยาก
แท่งพลาสติก	-ไม่ทำให้ชิ้นงานเสียหาย -สะดวกในการใช้งาน -ขึ้นรูปได้ง่าย -มีความปลอดภัยในการใช้งาน -มีความแข็งแรงทนทาน	-มีต้นทุนในการจัดซื้อ

จากตารางที่ 4 ผลการทดสอบพบว่าแท่งพลาสติกมีความเหมาะสมที่สุดในการนำมาจัดสร้างอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน โดยใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ซีแคลมป์ (C-Clamp) ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 อุปกรณ์ช่วยในการกดเล็บวาล์วเข้ากับก้านวาล์ว

จากรูปที่ 5 แสดงอุปกรณ์ที่จัดสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการประกอบเล็บวาล์วเข้ากับก้านวาล์วโดยอุปกรณ์จะมีหน้าที่ในการกดสปริงให้ยุบตัวลงโดยอาศัยซีแคลมป์ในการบีบและพนักงานสามารถปล่อยมือแล้วทำการหมุนแกนวาล์วได้ประมาณ 2 รอบครึ่ง ส่งผลให้เล็บวาล์วไม่หลุดออกจากแกนวาล์ว พนักงานสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น จากนั้นผู้วิจัยทดสอบจับเวลาเพื่อหาเวลามาตรฐานของงานย่อยนี้ ผลการเก็บข้อมูลแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการเก็บข้อมูลการประกอบเล็บวาล์วเข้ากับก้านวาล์ว

ELEMENT	OBSERVED TIME (min)					Average (min)
	1	2	3	4	5	
5	29.23	28.67	29.13	29.87	30.12	29.40

จากตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยรอบเวลาการประกอบเล็บวาล์วเข้ากับก้านวาล์วอยู่ที่ 29.40 นาทีต่อเครื่อง จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยนำไปหาเวลาเฉลี่ยปกติ (Normal Time) โดยร้อยละของค่า Rating ปกติมากกว่า 5% หรือ คิดจากฐาน 100 = 105 ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การหาค่าเวลาเฉลี่ยปกติในการทำงานหลังการปรับปรุง

ELEMENT	Average (min)	Rating (%)	Normal Time (min)
5	29.40	105	30.87

จากตารางที่ 6 ผู้วิจัยนำเวลาปกติในการทำงานของพนักงานมาคิดเวลาเผื่อ ซึ่งประกอบด้วยเวลาเผื่อความจำเป็นส่วนบุคคล = 5% เวลาเผื่อการเมื่อยล้า (คงที่) = 4% แล้วนำไปคำนวณหารอบเวลามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 เวลามาตรฐานการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์

ELEMENT	Normal Time (min)	Allowance (%)	Standard Time (min)
5	30.87	9	33.65

จากตารางที่ 7 ผู้วิจัยนำข้อมูลมาคำนวณหารอบเวลามาตรฐานใหม่โดยรอบเวลาจะมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะงานย่อยที่ 5 ขั้นตอนการประกอบเล็บวาล์วเข้ากับก้านวาล์ว ดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เวลามาตรฐานการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์

ELEMENT	Standard Time (min)
1	2.43
2	3.80
3	4.69
4	8.01
5	33.65
6	3.53
รอบเวลารวม	55.11

4. ผลการปรับปรุงแก้ไข

จากตารางที่ 8 รอบเวลามาตรฐานรวมของการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์หลังการปรับปรุงอยู่ที่ 55.11 นาทีต่อรอบ แสดงว่าพนักงาน 1 คน สามารถประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์ได้ $(480 / 55.11 = 8.70)$ เครื่องต่อวัน หรือ $(8.70 \times 2.2 = 191.4)$ เครื่องต่อเดือน ความต้องการของลูกค้าอยู่ที่ 520 เครื่องต่อเดือน ถ้าใช้พนักงานทำงาน 3 คน จะได้ $(191.4 \times 3 = 574.2)$ เครื่องต่อเดือน ซึ่งเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

5. สรุปผลการดำเนินงาน

5.1 อภิปรายผลการดำเนินงาน

จากการศึกษากรอบเวลามาตรฐานและขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์ซึ่งประกอบด้วยงานย่อยในกระบวนการทั้งหมด 6 งานย่อย ซึ่งรอบเวลาการทำงานไม่สอดคล้องกับงานที่ได้ทำให้ต้องใช้เวลาพนักงานทำงานถึง 4 คน ในการทำงานส่งผลให้ลูกค้าได้ทันตามความต้องการที่ 23.63 เครื่องต่อวัน หรือ 520 เครื่องต่อเดือนงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์ผู้วิจัยใช้หลักการลดความสูญเปล่า 7 ประการจากลักษณะความสูญเสียนั้นที่เกิดจากกระบวนการผลิต (Processing) ขาดการปรับปรุงพัฒนาในขั้นตอนการประกอบเล็บบวล์เข้าก้านวาล์วซึ่งใช้เวลาในการประกอบมากถึง 57.84 นาทีต่อเครื่อง ทำให้รอบเวลามาตรฐานของทุกขั้นตอนอยู่ที่ 80.30 นาทีต่อเครื่อง พนักงาน 1 คน สามารถประกอบชิ้นส่วนฝาสูบเครื่องยนต์ได้เพียง 5.97 เครื่องต่อวัน ผู้วิจัยใช้ Why-Why Tree Diagram วิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วย How-How Tree Diagram พบว่าปัญหาเกิดจากขาดอุปกรณ์ช่วยในการทำงานเนื่องจากการใส่เล็บบวล์เข้ากับก้านวาล์วต้องกดสปริงให้ยุบลงตลอดเวลาจึงจะใส่ชิ้นส่วนเล็บบวล์ได้แต่พนักงานทำงานคนเดียวมือทั้งสองข้างต้องจับเครื่องมือและหมุนแกนวาล์วจึงไม่สามารถกดสปริงตลอดเวลาได้ ทำให้บางครั้งเล็บบวล์กระเด็นหล่นหาย ผู้วิจัยเสนอจัดสร้างอุปกรณ์ช่วยในการกดสปริงเพื่อให้ยุบตัวตลอดเวลาทำให้พนักงานทำงานได้เร็วขึ้น สามารถนำมาเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลการปรับปรุงแก้ไข

รายการ	เครื่อง (ชิ้น)	เวลาทำงาน (นาที)	พนักงาน (คน)	อัตราผลิตภาพ (ชิ้น/นาที/คน)
ก่อนปรับปรุง	24	480	4	0.012
หลังปรับปรุง	26	480	3	0.018

จากตารางที่ 8 การเปรียบเทียบอัตราผลิตภาพการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงพบว่าอัตราผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 0.012 ชิ้น/ชั่วโมง/คน เป็น 0.018 ชิ้น/ชั่วโมง/คน เพิ่มขึ้น 0.006 ชิ้น/ชั่วโมง/คน คิดเป็นเพิ่มร้อยละ 50 ลดจำนวนพนักงานจาก 4 คน เหลือ 3 คน ลดได้ 1 คน คิดเป็นร้อยละ 25 รอบเวลามาตรฐานรวมลดลงจาก 80.30 นาที/เครื่อง เหลือ 55.11 นาที/เครื่อง ลดลง 25.19 นาที/เครื่อง คิดเป็นลดลงร้อยละ 31.36

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกรรมการผู้จัดการบริษัทตัวอย่างที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการเก็บข้อมูล การสนับสนุน และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการทำงานวิจัยนี้ และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏ

ราชนครินทร์ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ให้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ธรรมศักดิ์ ค่วยเทศ. 2564. การคำนวณหาค่าเวลามาตรฐานการทำงานของพนักงาน: กรณีศึกษาอุตสาหกรรมโรงแรม. วารสารวิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน, ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2564: 5-18.
- [2] วิทยา อินทร์สอน, 2558, ทำความเข้าใจแนวคิดของการเพิ่มผลผลิต. ข่าวสารเพื่อการปรับตัวก้าวทันเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. วารสาร Industrial Technology Review. หน้า 22.
- [2] เกียรติศักดิ์ จันทร์แดง. การบริหารการผลิตและการปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ: วิตดีกรุ๊ป; 2549.
- [3] วิทยา อินทร์สอน, ความสูญเสียนั้น 7 ประการ ในกระบวนการผลิต (7 Wastes of Production Process), ข้อมูลจาก <http://www.thailandindustry.com/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2565).
- [4] คลอเคลีย วจนะวิชาการ. 2562. การลดความสูญเปล่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม่กวดทางมะพร้าวกรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนบ้านบุงหวาย จังหวัดอุบลราชธานี. วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อ., ปีที่ 13 ฉบับที่ 1: 141-152.
- [5] วณิตา พงษ์สงวน, ทิพย์ ถิ่นสูงเนิน และมาโนช ถิ่นสูงเนิน. 2561. การพัฒนาแบบจำลองปัจจัยที่มีผลต่อการเป็นโรคเบาหวานด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2561: 1-8.
- [6] พรศิริ คำหล้า, เจษฎา ยาโสภาก, ธัญญารัตน์ ไชยกำบัง, ปิยณัฐ โตอ่อน รัชฎา, แต่งภูเขียว ณัฐนันท์, อิศระพงศ์ และกัธกร สรรวรรณ. 2564. การศึกษาเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จด้วยการจับเวลาโดยตรง. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์. ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2564: 41-51.
- [7] พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์. 2555. การศึกษาเวลาโดยตรงเพื่อการวัดผลงานของคณงาน. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2555: 12-21.

การหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับการทำงานของพนักงานโดยใช้เครื่องมือ ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาครอบแรงดันน้ำ

Determining Numbers of the Suitability of Machine for Employee Work by Using Industrial Engineering Tools in Process of Water Pressure Cap Components Product

ยุทธณรงค์ จงจันทร์^{1*} ศรีนยา ประทีปชนะชัย² สุทธิดา การะเวก³ ปราบปราม ผ่านสำแดง⁴ อภิรักษ์ นาคทอง⁵ ศักดา จินตะเวช⁶

^{1,3,4,5}สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชชนครินทร์

⁶ที่ปรึกษา บริษัท ซี. ซี. ออโตพาร์ท จำกัด

E-mail: jongjun.2514@gmail.com*

Yuthanarong Jongjun^{1*}, Sarinya Prateepchanachai², Sutthida Karawek³, Prabpram Pansomdang⁴, Apiruk Naklong⁵, Sakda Chintavaj⁶

^{1,3,4,5} Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

²Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

⁶C.C. Autopart Co., Ltd. Consultant

E-mail: jongjun.2514@gmail.com*

บทคัดย่อ

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้รับผลิตชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำให้กับบริษัทผลิตผู้ผลิตเครื่องมือทางการแพทย์แห่งหนึ่ง ขั้นตอนการผลิตเป็นขั้นตอนงานเจาะและตีปเกลียว จากการเก็บข้อมูลด้วยแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตพบว่าขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 9 ขั้นตอนรอบเวลาการผลิตรวม 145 วินาทีต่อชิ้น จากการสังเกตพบปัญหาในขั้นตอนที่ 9 เนื่องจากพนักงานเกิดการว่างงานจากการยืนรอเครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ มากถึง 91 วินาที ทำให้พนักงานมีค่าอัตราประโยชน์ เพียง 42.60% และมีค่าอัตราผลิตภาพก่อนการปรับปรุงเพียง 24.75 ชิ้น/ชั่วโมง/คนงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงานเพื่อเพิ่มอัตราผลิตภาพในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำ ด้วยการเลือกใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมประกอบด้วยหลักการปรับปรุงความสูญเสียเปล่า 7 ประการ แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ประเภทคน – เครื่องจักร สมการการคำนวณจำนวนเครื่องจักรสูงสุดที่พนักงานสามารถควบคุมได้ เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้วยการคำนวณค่าอัตราประโยชน์ของพนักงาน และค่าอัตราผลิตภาพก่อนและหลังการปรับปรุง ผลการปรับปรุงพบว่า เวลาว่างจากการทำงานของพนักงานลดลงจาก 94 วินาทีต่อรอบการผลิต เหลือ 23 วินาทีต่อรอบการผลิต ลดลง 71 วินาทีต่อรอบการผลิต คิดเป็นลดลงร้อยละ 75.53 ค่าอัตราประโยชน์ของพนักงานเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 42.60 เป็นร้อยละ 168.27 อัตราผลิตภาพเพิ่มขึ้นจาก 24.75 ชิ้นต่อชั่วโมงต่อคน เป็น 49.51 ชิ้นต่อชั่วโมงต่อคน เพิ่มขึ้น 24.75 ชิ้นต่อชั่วโมงต่อคน คิดเป็นร้อยละ 100

คำสำคัญ: แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ความสูญเสียเปล่า 7 ประการ อัตราผลิตภาพการผลิต

Abstract

The sample company is a contractor to produce a cover for a pressure cylinder cover for a medical device manufacturing company. The production process is drilling and tapping, from collecting data with flow charts of the production process, it was found that there were 9 steps in total, with a total production cycle time of 145 seconds per piece. From the observation, there was a problem in step 9 due to employees being unemployed from waiting for the machine to work automatically up to 91 seconds, make employees utilization only 42.60% and the productivity rate before improvement was only 24.75 pieces/hour/person. This research aims to improve the work process of employees to increase productivity in the production process of water pressure cylinder cover parts. with the selection of industrial engineering tools consisting of 7 waste improvement principles, multiplicative activities chart, type of man – machines, equation for calculating the maximum number of machines that employees can control. Comparing results by calculating employee utilities and productivity before and after improvement. The improvement results showed that employee waste of time was reduced from 94 seconds per production cycle to 23 seconds per cycle time, a reduction of 71 seconds per cycle time. representing a decrease of 75.53 percent, employee utilities increased from 42.60 percent to 168.27 percent, productivity increased from 24.75 pieces per hour per person to 49.51 pieces per hour per person, an increase of 24.75 pieces per hour per person, accounted for 100 percent

Keywords: Multiple Activity Chart, 7 Wastes, Productivity

1. บทนำ

บริษัทตัวอย่างเป็นบริษัทผู้รับผลิตชิ้นส่วนประกอบผลิตภัณฑ์ตามความต้องการของลูกค้าหลากหลายชนิด ปัจจุบันรับไปส่งผลิตชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำให้กับบริษัทผลิตเครื่องมือทางการแพทย์แห่งหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำ
ที่มา: ฝ่ายผลิตบริษัท ซี. ซี. ออโตพาร์ท จำกัด

จากรูปที่ 1 แสดงชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำเครื่องมือทางการแพทย์ ซึ่งมีขั้นตอนและรอบเวลาในการผลิต ดังแสดงได้ในรูปที่ 2

แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิต (คน)		สัญลักษณ์		ปัจจุบัน	เสนอ	ลดลง
ผลิตชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำ	การปฏิบัติงาน	●	6			
กรรมวิธี: เจาะรูและตัดกับด้วยเครื่องจักร CNC	การเคลื่อนย้าย	➔	0			
	การรอคอย	■	2			
	การตรวจสอบ	■	1			
<input checked="" type="checkbox"/> วิธีปัจจุบัน <input type="checkbox"/> วิธีนำเสนอ	การเก็บรักษา	▼	0			
ตำแหน่งที่ตั้ง: ฝ่ายผลิต	ระยะทาง (เมตร)		0			
ผู้บันทึก: บราวปราม	วันที่ 16 มกราคม 2565	พนักงาน (คน)	1			
ผู้อนุมัติ: สมศักดิ์	วันที่ 16 มกราคม 2565	<input type="checkbox"/> ชม. <input type="checkbox"/> นาที	145			
รายการ	จำนวน (คน)	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์		
กลึงที่เปิดประตูเครื่องกัด CNC	-	-	2	●	➔	■
รอประตูเครื่อง CNC เปิด	-	-	3			■
คลายยึดชิ้นงานที่เสร็จแล้วออกจากอุปกรณ์ยึด	-	-	8	●		
นำชิ้นงานวางบนโต๊ะงานเพื่อรอการขนส่ง	-	-	4	●		
หยิบชิ้นงานขึ้นใหม่	-	-	2	●		
นำเข้าไปวางบนอุปกรณ์ยึดพร้อมยึดด้วยประแจ	-	-	8	●		
กลึงที่เปิดประตูเครื่องกัด CNC	-	-	2	●		
สนมแบบแต่และตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน (QC)	-	-	25			■
รอเครื่องกัด CNC ทำงานอัตโนมัติ	-	-	91			■
รวม	1	-	145	6	0	2

รูปที่ 2 แผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำ

จากรูปที่ 2 การเก็บข้อมูลขั้นตอนและรอบเวลาการผลิตด้วยแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำ พบว่ามีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 9 ขั้นตอน รอบเวลาการผลิตรวม 145 วินาทีต่อชิ้น ปัจจุบันใช้พนักงานในกระบวนการผลิต 2 คน ทำงานกับเครื่องจักรอัตโนมัติ 2 เครื่อง เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามความต้องการของลูกค้าที่ 380 ชิ้นต่อวัน จากการสังเกตพบว่าขั้นตอนที่ 9 พนักงานเกิดการว่างงานจากการยืนรอเครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ มาถึง 91 วินาที ทำให้พนักงานมีค่าอรรถประโยชน์ (Utilization_{man}) เพียง 42.60% และมีค่าอัตราผลิตภาพก่อนการปรับปรุง 24.75 ชิ้น/ชั่วโมง/คน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำของบริษัทตัวอย่างเพื่อเพิ่มค่าอรรถประโยชน์ (Utilization_{man}) และอัตราผลิตภาพ (Productivity) โดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในการดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อัตราผลิตภาพการผลิต (Productivity) วิทยา อินทร์สอน [1] กล่าวว่า ผลิตภาพการผลิต หมายถึง กระบวนการในการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้สินค้า บริการ หรืองานที่มีคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า ด้วยวิธีการในการลดต้นทุน ลดการสูญเสียทุกรูปแบบ การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า การใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม การพัฒนาศักยภาพของผู้ปฏิบัติงานในองค์กร และการใช้เทคนิคการทำงานต่าง ๆ เข้ามาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานซึ่งคล้ายกับ เกียรติศักดิ์ จันทร์แดง [2] อัตราผลิตภาพการผลิต หมายถึง จำนวนผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ผลิตได้จากการใช้ทรัพยากรจำนวนหนึ่ง หรือเป็นการวัดประสิทธิผลของการใช้ทรัพยากรแสดงในรูปอัตราส่วนของปัจจัยนำออก (Output) ได้แก่ สินค้าและบริการหารด้วยปัจจัยนำเข้า (Input) หนึ่งประเภทขึ้นไป เช่น แรงงาน และทรัพยากรอื่น ๆ

สรุปโดยรวม ผลิตภาพการผลิตหมายถึง การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่า โดยใช้วิธีการลด ต้นทุน ลดการสูญเสีย ปรับปรุงกระบวนการผลิต และมุ่งเน้นการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่ง คำนวณหาได้จาก สมการที่ 1

$$\text{ผลิตภาพการผลิต} = \frac{\text{ผลผลิต/ปัจจัยที่ใช้ในการผลิต}}{\text{ปัจจัยที่ใช้ในการผลิต}} \quad (1)$$




2.2 ความสูญเสียเปล่า 7 ประการ (7 Wastes) วิทยา อินทร์สอน [3] ความสูญเสียต่าง ๆ จะแฝงอยู่ในกระบวนการผลิตไม่มากก็น้อย ซึ่งเป็นสาเหตุที่ประสิทธิภาพของกระบวนการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เช่น การใช้เวลานานในการผลิตมากเกินไป สินค้ามีคุณภาพต่ำ มีต้นทุนการผลิตสูง คล้ายกับงานวิจัยของ คลอเคลีย วจนะวิซาร์ [4] ลดความสูญเสียเปล่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม่กวาดทางมะพร้าว ด้วยการประยุกต์ใช้การออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพื่อตัดแยกขนาดและตัดทางมะพร้าวให้ได้ขนาดความยาว 40 และ 50 Cmตามลำดับ ลดความสูญเสียเปล่าในขั้นตอนการทำงานที่มากเกินไป ทำให้ได้ปริมาณของงานมากขึ้นกว่าเดิม ผลจากการปรับปรุงสามารถลดจำนวนพนักงานได้ 1 คน ลดของเสียจากเศษลวดและรอบเวลาในการผลิตได้ 6 นาที/ด้าม คิดเป็นร้อยละ 13.04

2.3 แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ (Multiple Activity Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ การทำงานของพนักงานหลายคนซึ่งต้องทำงานเกี่ยวข้องกันหรือคนงานหลายคนทำงานร่วมกันในบริเวณหรือต้องใช้เครื่องจักรร่วมกันหรืออาจเป็นการศึกษาการทำงานของพนักงานคนเดียวทำงานสัมพันธ์กับเครื่องจักรหรือต้องดูแลเครื่องจักรพร้อมกันหลายเครื่องพร้อมกัน [5]

2.3.1 แผนภูมิคน - เครื่องจักร (Man-Machine Chart) แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณที่ใช้บันทึกเฉพาะการทำงานของคนและเครื่องจักร เป็นการบินที่กเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างคนกับ

เครื่องจักร ส่วนใหญ่เครื่องจักรจะทำงานในขณะที่คนยืนหรือมองดูเฉย ๆ ซึ่งเป็นการรอคอยเครื่องจักรอัตโนมัติทำงานตรงกันข้ามในขณะที่เครื่องจักรทำงานเสร็จคนก็จะเริ่มทำงานโดยที่เครื่องจักรจะหยุดเฉย ๆ เหมือนกัน หลักของการศึกษาวิธีการปรับปรุงการทำงานของคนและเครื่องจักรด้วยแผนภูมิชนิดนี้ คือ "เครื่องจักรต้องไม่หยุดทำงานเพื่อรอคนและคนก็ต้องไม่หยุดทำงานเพื่อรอเครื่องจักร" คล้ายกับงานวิจัยของ อดจ ซัยมณี และรัตนา ขวุดทอง [6] ศึกษาและวิเคราะห์หาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลิตภาพด้านแรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมในกระบวนการผลิตและลดต้นทุนค่าแรงงานในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนตโดยอาศัยเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม คือ แผนผังกิจกรรมบุคคลและแผนภูมิยามาซุมิในการวิเคราะห์ภาระงานของพนักงานแต่ละคนนำไปสู่การลดจำนวนพนักงานลง ผลการวิจัยพบว่าจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในโหลดหน้า และห้องประกบ คือ 2 คน และ 3 คน สามารถลดจำนวนพนักงานจาก 11 คน เหลือ 7 คน ผลิตภาพแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 57.14 และประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.01 ต้นทุนค่าแรงงานในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนตลดลง 581,250 บาทต่อปี

2.3.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภูมิคนและเครื่องจักร การวิเคราะห์งานด้วยแผนภูมิคน-เครื่องจักร จะใช้กราฟแท่ง (Bar Chart) แทนกิจกรรมแต่ละประเภท โดยใช้การระบายสีหรือสัญลักษณ์แทนกิจกรรมที่เป็นอิสระ กิจกรรมร่วม หรือการว่างงาน และมีตารางสรุปเวลาการทำงานไว้ข้างล่างแผนภูมิเสมอ [7] โดยตัวอย่างสัญลักษณ์แสดงได้ดังตารางที่ 1 ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ของแผนภูมิคน – เครื่องจักร

Bar	ความหมาย	คำจำกัดความ
	กิจกรรมอิสระ	1. สำหรับพนักงาน คือ กิจกรรมที่แต่ละบุคคลทำงานเป็นอิสระต่อกัน 2. สำหรับเครื่องจักร คือ เวลาที่เครื่องจักรทำงานโดยอัตโนมัติ
	กิจกรรมร่วม	1. สำหรับพนักงาน คือ กิจกรรมที่พนักงานทำร่วมกับเครื่องจักร 2. สำหรับเครื่องจักร คือ เวลาที่เครื่องจักรทำงานร่วมกับพนักงานในที่นี้รวมถึงขณะเดินเครื่องและหยุดเครื่อง
	กิจกรรมว่างหรือรอคอยงาน	1. พนักงานยืนเฉย ๆ ไม่มีกิจกรรม 2. เครื่องจักรหยุดเดินเครื่องโดยไม่มีการกระทำที่เป็นกิจกรรมใด ๆ จากพนักงานต่อเครื่องจักร

ที่มา: มาโนช ริทินโย (2549 : 123-124)

2.3.3 แนวทางการวิเคราะห์ของแผนภูมิ คน – เครื่องจักร

เริ่มจากการบันทึกกิจกรรมและเวลาโดยแยกประเภทของกิจกรรมการทำงานอิสระ กิจกรรมการทำงานร่วมกันและกิจการการว่างงานของคนและเครื่องจักร ออกจากกันโดยอาศัยสัญลักษณ์ทั้ง 3 ชนิด จากนั้นนำมาคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การทำงานของคนและเครื่องจักร ดังสมการที่ 2

$$\text{เปอร์เซ็นต์การทำงาน} = \frac{\text{เวลาที่ทำงานจริงต่อชิ้น}}{\text{รอบเวลาการผลิตต่อชิ้น}} \times 100 \quad (2)$$

จากนั้นวิเคราะห์กิจกรรมการทำงานต่าง ๆ อย่างละเอียดเพื่อศึกษาว่ากิจกรรมอิสระใดบ้างที่สามารถสับเปลี่ยนเพื่อให้ลดการคอยงานลงหรือลดขั้นตอนการทำงานบางอย่างลงเพื่อให้เวลาการทำงานเร็วขึ้นหรือวิเคราะห์ด้วยวิธีการคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับการทำงานของพนักงานที่สามารถควบคุมได้ ด้วยการสมการที่ 3

$$Nm/c = [(Tm/c + TMD) / (TMI + TMD)] \quad (3)$$

โดย

$N_{m/c}$ = คือ จำนวนเครื่องจักรสูงสุดที่พนักงานสามารถควบคุมได้
 $T_{m/c}$ = คือ เวลาในการทำงานอิสระของเครื่องจักร
 T_{MD} = คือ เวลาในการทำงานร่วมกันของพนักงานกับเครื่องจักร
 T_{MI} = คือ เวลาในการทำงานอิสระของพนักงาน

2.3.4 ค่าอรรถประโยชน์ (Utilization)

คือ ร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานหรือเครื่องจักรสามารถทำงานได้จริง โดยหักจำนวนเวลาทำงานทั้งหมด ด้วยเวลาที่หยุดการทำงาน เช่น เวลาการซ่อมบำรุง หรือเวลาพักอาหารกลางวัน แบ่งออกเป็นค่าอรรถประโยชน์ของคน ดังสมการที่ 4 และค่าอรรถประโยชน์ของเครื่องจักร ดังสมการที่ 5

$$(\text{Utilization}_{\text{man}}) = \frac{N_{m/c} \times (T_{MD} + T_{MI})}{\text{Cycle Time}} \times 100 \quad (4)$$

$$(\text{Utilization}_{m/c}) = \frac{T_{m/c}}{\text{Cycle Time}} \times 100 \quad (5)$$

ที่มา : จันทรศิริ สิงห์เดือน (สืบค้นออนไลน์ 19 พฤศจิกายน 2565)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มอัตราผลิตภาพในกระบวนการผลิตมีหลายงานวิจัยที่มีการนำเอาเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ อาทิเช่น งานวิจัยของ อัมรินทร์ วงศ์เศรษฐี และ ณัฐพล พุฒยางกูล [8] ประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีนา (Arena) และหลักการหาค่าที่เหมาะสมเพื่อหาจำนวนเครื่องจักรและจำนวนพนักงานที่สามารถรองรับการผลิตชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ได้ 16,000 ชิ้น/วัน โดยคำนึงถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่สูงที่สุด ผลจากการวิเคราะห์กระบวนการพบว่ามีค่าปัจจุบันสุทธิสูงสุดที่ 4,351,384,314 บาท ในช่วงอายุผลิตภัณฑ์ 4 ปี และใช้พนักงาน 64 คนในการดำเนินงาน และออกแบบฟังก์ชันการกรอกข้อมูลในไฟล์เอ็กซ์เซลให้มีความถูกต้อง เพื่อลดความสูญเปล่าจาก

กระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม และประยุกต์ใช้ตัวแบบการผลิตที่ประหยัดที่สุดของหลอดพีเอฟเอ็มแต่ละขนาดเพื่อลดความสูญเสียจากการมีสินค้าคงคลังที่มากเกินไป จากนั้นสร้างแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะอนาคตเพื่อแสดงถึงผลจากการลดความสูญเสียเปล่า โดยเวลานำของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดลดลงจาก 230,598 วินาที เหลือ 228,588วินาที ลดลง 33.5 นาที คิดเป็นร้อยละ 0.88 และต้นทุนสินค้าคงคลังลดลงจาก 18,405 บาท/ปี เหลือ 4,904 บาท/ปี หรือลดลงร้อยละ 73.36

3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สํารวจสภาพปัจจุบัน

ผู้วิจัยสำรวจสภาพปัจจุบันของกระบวนการขึ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำ ตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนขั้นตอนสุดท้าย โดยใช้แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ประเภท คน – เครื่องจักร ในการเก็บข้อมูลและเวลาดังแสดงในรูปที่ 3

พนักงาน (Man)			เครื่องจักร (Machine)		
Workflow activities	Time (Sec.)	Bar	Workflow activities	Time (Sec.)	Bar
กดสวิทช์เปิดประตูเครื่องกัด CNC	2		รอพนักงานกดสวิทช์เพื่อให้ประตูเครื่องเปิด	2	
รอประตูเครื่อง CNC เปิด	3		ประตูเครื่องกัด CNC กำลังเปิดออก	3	
คลายล็อกน้ำขึ้นงานที่เสร็จแล้วออกจากอุปกรณ์จับยึด	8		ถูกคลายล็อกและน้ำขึ้นงานที่เสร็จแล้วออกจากอุปกรณ์จับยึด	8	
นำชิ้นงานวางบนโต๊ะงานเพื่อรอการตบแต่ง	4		รอการใส่ชิ้นงานใหม่	6	
หยิบชิ้นงานชิ้นใหม่	2				
นำเข้าไปวางบนอุปกรณ์จับยึดพร้อมทำการล็อกให้แน่นด้วยประแจ	8		ถูกนำชิ้นงานมาวางบนอุปกรณ์จับยึดพร้อมทำการล็อกให้แน่นด้วยประแจ	8	
กดสวิทช์ปิดประตูเครื่องกัด CNC	2		รอพนักงานกดสวิทช์เพื่อให้ประตูเครื่องปิด	2	
ลมมตบแต่งและตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน (QC)	25		ประตูเครื่องกัด CNC กำลังปิด	3	
			เครื่องกัด CNC ทำงานอัตโนมัติ	113	
รอเครื่องกัด CNC ทำงานอัตโนมัติ	91				

รูปที่ 3 แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ประเภทคน – เครื่องจักร การผลิตขึ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำ ก่อนการปรับปรุงจากรูปที่ 2

ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแผนภูมิคน - เครื่องจักร มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การทำงานของพนักงานและเครื่องจักรอัตโนมัติ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปการทำงานของคนและเครื่องจักร (ก่อนปรับปรุง)

รายการ	รอบเวลารวม (วินาที)	เวลาทำงาน (วินาที)	เวลาว่างงาน (วินาที)
พนักงาน	145	51	94
คิดเป็น %	100	35.18	64.82
เครื่องจักร	145	135	10
คิดเป็น %	100	93.10%	6.90%

ตารางที่ 2 ก่อนการปรับปรุงพบว่าจากรอบเวลาการผลิต 145 วินาทีต่อชิ้น พนักงานมีเวลาในการทำงานเพียง 51 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 35.18 % และเวลาว่างงานถึง 94 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 64.82% ส่วนเครื่องจักรมีเวลาทำงาน 135 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 93.10% และมีเวลาว่างงานเพียง 10 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 6.90% ซึ่งเป็นค่าคงที่เนื่องจากเป็นการทำงานอัตโนมัติควบคุมด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลเวลาแยกประเภทของเวลาตามลักษณะของกิจกรรม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รอบเวลาตามลักษณะของกิจกรรม (ก่อนปรับปรุง)

กิจกรรม	เวลา (วินาที)
$T_{m/c}$	119
T_{MD}	16
T_{MI}	35

$T_{m/c}$ = คือ เวลาในการทำงานอิสระของเครื่องจักร

T_{MD} = คือ เวลาในการทำงานร่วมกันของพนักงานกับเครื่องจักร

T_{MI} = คือ เวลาในการทำงานอิสระของพนักงาน

ข้อมูลจากตารางที่ 3 ผู้วิจัยนำไปคำนวณหาค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานหรือเครื่องจักรสามารถทำงานได้จริงก่อนการปรับปรุงเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าอัตราประโยชน์หลังการปรับปรุง ดังสมการที่ 4 และ 5

$$\%Utilization_{man} = \frac{1 \times (16 + 45)}{145} \times 100$$

$$\%Utilization_{man} = 42.60\%$$

$$\%Utilization_{m/c} = \frac{119}{145} \times 100$$

$$\%Utilization_{m/c} = 82.06\%$$

ผลจากการคำนวณพบว่าค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้จริงก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 42.60% ผู้วิจัยได้ตั้งไว้เป็นมาตรฐานเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุง ส่วนเครื่องจักรความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 82.06% ซึ่งเป็นค่าคงที่เนื่องจากเป็นการทำงานแบบอัตโนมัติ

3.2 วิเคราะห์จำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับจำนวนพนักงาน

จากข้อมูลรอบเวลาตามลักษณะของกิจกรรมในตารางที่ 3 ผู้วิจัยนำมาวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับจำนวนพนักงานด้วยการคำนวณ ตามสูตรจากสมการที่ 3

$$Nm/c = [(119 + 16) / (35 + 16)]$$

$$Nm/c = [(135) / (51)]$$

$$Nm/c = 2.65 \text{ หรือ } 2 \text{ เครื่อง}$$

ผลการคำนวณพบว่าพนักงาน 1 คน สามารถทำงานร่วมกับเครื่องจักรได้ 2.65 เครื่อง แต่ไม่สามารถทำงานกับเครื่องที่ 3 ได้แล้วเสร็จ เครื่องจักรที่ 1 จะตัดการทำงานก่อน ซึ่งมีความเสี่ยงในการควบคุมให้มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงตัดเศษการคำนวณออกให้เหลือเพียง 2 เครื่อง แล้วทดลองผลิต ดังแสดงในรูปที่ 4

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากรูปที่ 3 ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแผนภูมิคน - เครื่องจักร มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การทำงานของพนักงานและเครื่องจักรอัตโนมัติ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุปการทำงานของคนและเครื่องจักร (หลังปรับปรุง)

รายการ	รอบเวลารวม (วินาที)	เวลาทำงาน (วินาที)	เวลาว่างงาน (วินาที)
พนักงาน	145	122	23
คิดเป็น %	100	60.69	39.31

ตารางที่ 4 หลังการปรับปรุงพบว่าจากรอบเวลาการผลิต 145 วินาทีต่อชิ้น พนักงานมีเวลาในการทำงาน 122 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 60.69% และเวลาว่างงานถึง 23 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 39.31% จากนั้นผู้วิจัยนำข้อมูลมาแยกประเภทของเวลาตามลักษณะของกิจกรรม ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รอบเวลาตามลักษณะของกิจกรรม (หลังปรับปรุง)

กิจกรรม	เวลา (วินาที)
$T_{m/c}$	119
T_{MD}	32
T_{MI}	90

พนักงาน			เครื่องกัด 1			เครื่องกัด 2		
Workflow activities	Time (Sec.)	Bar	Workflow activities	Time (Sec.)	Bar	Workflow activities	Time (Sec.)	Bar
กดสวิทช์เปิดประตูเครื่องกัด (1)	2		รอพนักงานกดสวิทช์	2		เครื่องกัด 2 ทำงานอัตโนมัติ	64	
รอประตูเครื่องกัด CNC เปิด (1)	3		ประตูเครื่องกัด CNC กำลังเปิดออก	3				
คลายล็อกนำชิ้นงานที่เสร็จแล้วออกจากอุปกรณ์จับยึด (1)	8		ถูกคลายล็อกและนำชิ้นงานที่เสร็จแล้วออกจากอุปกรณ์จับยึด	8				
นำชิ้นงานวางบนโต๊ะรอการตบแต่ง (1)	4		รอการใส่ชิ้นงานใหม่	6				
หยิบชิ้นงานชิ้นใหม่ (1)	2							
นำชิ้นงานเข้าไปวางบนอุปกรณ์จับยึดพร้อมทำการล็อกให้แน่นด้วยประแจ	8		ถูกนำชิ้นงานวางบนอุปกรณ์จับยึดพร้อมทำการล็อกให้แน่น	8				
กดสวิทช์ปิดประตูเครื่องกัด CNC (1)	2		รอพนักงานกดสวิทช์	2				
ลบมุมตบแต่งและตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน (QC) (1)	25		ประตูเครื่องกัด CNC กำลังปิด	3				
เดินเครื่องกัดที่ (2)	10							
กดสวิทช์เปิดประตูเครื่องกัด (2)	2							
รอประตูเครื่องกัด CNC เปิด (2)	3							
คลายล็อกนำชิ้นงานที่เสร็จแล้วออกจากอุปกรณ์จับยึด (2)	8							
นำชิ้นงานวางบนโต๊ะรอการตบแต่ง (2)	4							
หยิบชิ้นงานชิ้นใหม่ (2)	2							
นำเข้าไปวางบนอุปกรณ์จับยึดพร้อมทำการล็อกให้แน่นด้วยประแจ (1)	8							
กดสวิทช์ปิดประตูเครื่องกัด CNC (1)	2							
ลบมุมตบแต่งและตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน (QC) (1)	25							
เดินกลับไปเครื่องกัด 1	10							
รอเครื่องกัด 1 ทำงานอัตโนมัติ	17		เครื่องกัด 1 ทำงานอัตโนมัติ	113				
						รอพนักงานกดสวิทช์	2	
						ประตูเครื่องกัด CNC กำลังเปิด	3	
						ถูกคลายล็อกและนำชิ้นงานที่เสร็จแล้วออกจากอุปกรณ์จับยึด	8	
						รอใส่ชิ้นงานใหม่	6	
						ถูกนำชิ้นงานวางบนอุปกรณ์จับยึดพร้อมทำการล็อกให้แน่น	8	
						รอพนักงานกดสวิทช์	2	
						ประตูเครื่องกัด CNC กำลังปิด	3	
						ประตูเครื่องกัด CNC กำลังเปิด	49	

รูปที่ 4 แผนภูมิคน - เครื่องจักร การผลิตชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำ หลังการปรับปรุง

ข้อมูลจากตารางที่ 5 ผู้วิจัยนำไปคำนวณหาค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้จริงหลังการปรับปรุงเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าอัตราประโยชน์ก่อนการปรับปรุง

$$\%Utilization_{man} = \frac{2 \times (32 + 90)}{145} \times 100$$

$$\%Utilization_{man} = 168.27\%$$

ผลจากการคำนวณพบว่าค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้จริงหลังการปรับปรุงมีค่า 168.27%

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนฝาครอบกระบอกแรงดันน้ำของบริษัทตัวอย่างซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มค่าอัตราประโยชน์และอัตราผลิตภาพการผลิตโดยอาศัยเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในการดำเนินงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

ผู้วิจัยใช้หลักการลดความสูญเสียเปล่า 7 ประการ จากลักษณะการรอกองงานของพนักงานในขั้นตอนการทำงานอัตโนมัติของเครื่องจักร โดยใช้แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ประเภทคน - เครื่องจักร เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล จากนั้นคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การทำงานและว่างงานของพนักงาน - เครื่องจักรก่อนปรับปรุงเพื่อใช้ใน

การเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์หลังการปรับปรุง ค่าความค่า
อัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถ
ทำงานได้จริงก่อนการปรับปรุงเพื่อใช้เปรียบเทียบหลังการปรับปรุง
และคำนวณจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับพนักงานที่สามารถ
ควบคุมได้ จากนั้นทดลองให้พนักงานทำการผลิตและเก็บข้อมูล ผล
การดำเนินงาน สามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

Seq.	before	after	result
พนักงานทำงาน	51 Sec.	122 Sec.	เพิ่มขึ้น 71 Sec.
พนักงานว่างงาน	94 Sec	23 Sec	ลดลง 71 Sec.
เครื่องจักรทำงาน	135 Sec	135 Sec	คงที่
เครื่องจักรว่างงาน	10 Sec	10 Sec	คงที่
อัตราประโยชน์ Man	42.60%	168.27%	เพิ่มขึ้น 125.67%
อัตราประโยชน์ M/C	82.06%	82.06%	คงที่

จากตารางที่ 6 หลังการปรับปรุงแก้ไขพบว่าเวลาทำงานของ
พนักงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 71 วินาที คิดเป็นเพิ่มขึ้น 139.21% เวลา
ว่างงานของพนักงานลดลงจากเดิม 71 วินาที คิดเป็นลดลง 132.39%
ค่าอัตราประโยชน์ของพนักงานร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงาน
สามารถทำงานได้จริงเพิ่มขึ้น 125.67% สามารถลดจำนวนพนักงาน
ได้ 1 คน ทำให้อัตราผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อัตราผลิตภาพการผลิต ก่อน-หลัง การปรับปรุง

Seq.	A	B	C	A/B/C
	Capacity	hours	Man	
before	396	8	2	27.75
after	396	8	1	49.50

จากตารางที่ 7 หลังการปรับปรุงอัตราผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้น
จาก 27.75 ชิ้น/ชั่วโมง/คน เป็น 49.50 ชิ้น/ชั่วโมง/คน เพิ่มขึ้น 21.75
ชิ้น/ชั่วโมง/คน คิดเป็นเพิ่มขึ้น 78.38% ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ
ยุทธณรงค์ จงจันทร์ และณฐา คุปต์ชัยเรียว [9] ศึกษาและปรับปรุง
สายการผลิตเตาเหล็กหล่อด้วยหลักการ อีซีอาร์เอส ซึ่งเป็นเครื่องมือ
ทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม หลังการปรับปรุงสามารถลดจำนวนสถานี
งานได้ 14 สถานี ลดจำนวนพนักงานได้ 14 คน ส่งผลให้ดัชนีผลิต
ภาพการผลิตรวมเพิ่มขึ้น 13.04%

5.1 ข้อเสนอแนะ

ผลการปรับปรุงกระบวนการผลิตสามารถเพิ่มค่าอัตราประโยชน์
(Utilization) หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงาน
ได้จริง ได้ 100% สามารถเพิ่มอัตราผลิตภาพการผลิตได้ จากการลด
จำนวนพนักงานในสายการผลิตได้ 1 คน แต่พนักงานที่ทำงานใน
ปัจจุบันจะทำงานอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีเวลาหยุดพัก ผู้ควบคุมการ
ผลิตควรจัดเวลาพักหรือพนักงานสลับเปลี่ยนการทำงานในบ้าง
ช่วงเวลา เพื่อให้พนักงานได้พักผ่อน เพราะการทำงานต่อเนื่องโดย

ไม่มีเวลาพักอาจเกิดการท้อถอยและส่งผลต่อการเกิดของ
เสียโดยตรงในกระบวนการผลิต

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกรรมการผู้จัดการ บริษัท ซี. ซี. ออโต
พาร์ท จำกัด และท่านอาจารย์ศักดา จินตะเวช ที่ให้ความอนุเคราะห์
ด้านการเก็บข้อมูล การสนับสนุน ในการทำงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณ
มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการ
ดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ให้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิทยา อินทร์สอน, 2558, ทำความเข้าใจแนวคิดของการเพิ่ม
ผลผลิต. ข่าวสารเพื่อการปรับตัวก้าวทันเทคโนโลยีอุตสาหกรรม.
วารสาร Industrial Technology Review. 22.
- [2] เกียรติศักดิ์ จันทร์แดง. การบริหารการผลิตและการปฏิบัติการ.
กรุงเทพฯ: วิตติกรู๊ป; 2549.
- [3] วิทยา อินทร์สอน, ความสูญเสีย 7 ประการ ในกระบวนการผลิต
(7 Wastes of Production Process), ข้อมูลจาก <http://www.thailandindustry.com/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2565).
- [4] คลอเคลีย วจนะวิชากร. 2562. "การลดความสูญเสียเปล่าเพื่อเพิ่ม
ประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม่กวดทางมะพร้าวกรณีศึกษา
วิสาหกิจชุมชนบ้านบุงหวาย จังหวัดอุบลราชธานี"
วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., ปีที่ 13 ฉบับที่ 1: 141-
152.
- [5] จันท์ศิริ สิงห์เถื่อน, การวิเคราะห์กระบวนการ, ข้อมูลจาก
https://pirun.ku.ac.th/~fengcsr/courses/2008_01/206341/ch9.pdf (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2565).
- [6] อณจ ชัยมณี และรัตนา ขวุดทอง, 2563, "การวิเคราะห์เพื่อหา
จำนวนคนงานที่เหมาะสมโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาห
การในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนต" วารสารศรีปทุม
ปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 12 มกราคม -
ธันวาคม 2563: 21-36.
- [7] มาโนช ริทินโย, เอกสารการสอนการศึกษางานอุตสาหกรรม,
ข้อมูลจาก <https://fliphtml5.com/wbccy/pdoi/basic> (วันที่สืบค้น
ข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2565).
- [8] อัมรินทร์ วงศ์เศรษฐี และณัฐพล พุฒยงกุล, 2559, "การหา
จำนวนเครื่องจักรและจำนวนพนักงานที่เหมาะสมใน
กระบวนการประกอบชุดหัวอ่านหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วย
เทคนิคการจำลองสถานการณ์" การประชุมวิชาการช่างงาน
วิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2559, 116-122.
- [9] ยุทธณรงค์ จงจันทร์ และณฐา คุปต์ชัยเรียว, 2553, "การเพิ่ม
ผลผลิตสายการผลิตเตาเหล็กหล่อ กรณีศึกษา บริษัท ที เอ็ม
เอ็น แมชชีนแอนด์ฟราวนด์รี จำกัด". วารสารวิศวกรรมศาสตร์
ราชชมงคลธัญบุรี, ปีที่ 8 ฉบับที่ 2: 17-27.

การศึกษาผลของการกำหนดจำนวนพาหนะลำเลียงวัสดุอัตโนมัติระบบราง
ในศูนย์กระจายสินค้าวัสดุก่อสร้าง

Study of Controlling Rail Guided Vehicles Number in a Construction Distribution Center

จุฬามาศ เลขศักดิ์ โอปาร กิตติธีรพรชัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6370049821@student.chula.ac.th*, oran.k@chula.ac.th

Juthamad Laksak*, Oran Kittithreerapronchai

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: 6370049821@student.chula.ac.th*, oran.k@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานขนถ่ายวัสดุเป็นงานที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่มแต่มีความจำเป็นในกิจกรรมหยิบสินค้า ประกอบกับสถานการณ์การขาดแคลนแรงงานในภาคอุตสาหกรรม ศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษาจึงได้ประยุกต์ใช้พาหนะนำทางด้วยราง หรือ Rail Guided Vehicle (RGV) เพื่อขนถ่ายพาเลทระหว่างอาคารและระหว่างระบบกึ่งอัตโนมัติ งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการกำหนดจำนวน RGV ภายในศูนย์กระจายสินค้า ต่อผลของ เวลาจบงาน ระยะเวลารอ และอัตราประโยชน์การใช้ โดยพิจารณาจากจำนวนพาเลทที่ลำเลียงได้ต่อรอบ และวิเคราะห์จำนวน RGV ที่เหมาะสมกับพื้นที่ทำงานจัดสินค้าส่งบ้านลูกค้าโดยตรง (Delivery Service : DS) โดยผลการทดลองในระบบที่มีงานจำนวนจำกัดและไหลเข้าสู่ระบบไม่พร้อมกัน พบว่าการเพิ่มจำนวน RGV ส่งผลต่อเวลาปิดงานที่เร็วขึ้น เวลารอสั้นลง จำนวนพาเลทที่ลำเลียงได้ต่อรอบและ และอัตราประโยชน์การใช้งานลดลง โดยผลการทดลองไม่เปลี่ยนแปลงเป็นเส้นตรง และมีแนวโน้มคงที่เมื่อมีจำนวน RGV มากเกินไป เนื่องจากมี RGV ที่ว่างงานในระบบเพิ่มขึ้น และเกิดปัญหาการหยุดชะงักเนื่องจากความแออัด ผลการทดลองได้เสนอจำนวน RGV ที่เหมาะสมกับพื้นที่ทำงาน DS เท่ากับ 4 ตัว

คำสำคัญ: พาหนะลำเลียงวัสดุระบบราง, ศูนย์กระจายสินค้า, ระบบกึ่งอัตโนมัติ

Abstract

Transferring has been a necessary non-value-added task in the picking activity. Coupled with the recent labor shortage in the industrial sector, a case study distribution center had implemented Rail Guided Vehicle (RGV) for transferring pallets between buildings and across multiple semi-automatic systems. This research aims to study the effect of controlling the RGV number in the distribution center on makespan, waiting time, and utilization of the RGV, which accounts for the number of pallets per traveling cycle, and analyzing the appropriate number of RGVs for the area where the direct-to-customer home delivery service (Delivery Service: DS) is organized. The results of a system with a limited number of tasks and a different task generated time revealed that as the RGV number increases, the makespan, waiting time, number of pallets per traveling cycle and RGV's utilization decrease. The experimental results did not change linearly with the number of RGV and tend to remain stable because of an increase in idle RGV and blocking due to congestion issues. The experimental results suggest that the appropriate number of RGVs for the DS work area is 4 units.

Keywords: Rail Guided Vehicle, Distribution Center, Semi-Automation System

1. บทนำ

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมไทยกำลังประสบปัญหาการขาดแคลนแรงงานทั้งในทั้งเชิงปริมาณที่มีจำนวนแรงงานน้อยกว่าความต้องการ และในเชิงคุณภาพที่ศักยภาพของแรงงานไม่สอดคล้องกับความต้องการ [1] ปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ภาคอุตสาหกรรมการผลิตไทยประยุกต์นำเทคโนโลยีอัตโนมัติเข้ามาทดแทนแรงงาน แก้ไขปัญหาความไม่สอดคล้องของทักษะแรงงาน ลดต้นทุนและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน นอกเหนือจากภาคอุตสาหกรรมแล้ว ภาคธุรกิจบริการในห่วงโซ่อุปทานเช่น กิจกรรมคลังสินค้าที่มีความต้องการแรงงานจำนวนมากก็มีการประยุกต์นำอุปกรณ์ขนถ่ายสินค้าอัตโนมัติเข้ามาใช้ [2] เช่นเดียวกับศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษา

ศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษาดำเนินงานวันละ 2 ยกยกเว้นวันอาทิตย์ ทำหน้าที่สนับสนุนกิจกรรมคลังสินค้าและกิจกรรมขนส่งสินค้าของบริษัทแม่ซึ่งประกอบธุรกิจค้าปลีกวัสดุตกแต่งบ้าน ศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษาได้ก่อสร้างอาคารคลังสินค้ากึ่งอัตโนมัติโดยใช้แนวคิดในการออกแบบระบบลำเลียงสินค้ามาสู่พนักงาน หรือ Goods-To-Man เพื่อลดปริมาณงานขนถ่ายวัสดุซึ่งเป็นงานที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่มแต่มีความจำเป็นในกิจกรรมหยิบสินค้า ผ่านการประยุกต์อุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- ระบบจัดเก็บและขนถ่ายสินค้าอัตโนมัติ (Automatic Storage and Retrieval System: AS/RS) ในการจัดเก็บสินค้าขนาดกลางและขนาดใหญ่
- ระบบจัดเก็บสินค้าขนาดเล็ก (Buffer AS/RS) ในการจัดเก็บสินค้าขนาดเล็กเพื่อจัดตามคำสั่งซื้อต่อไป
- สถานีหยิบสินค้า (Picking Station) และระบบสายพานพาเลท (Pallet Conveyor) ในกิจกรรมการจัดเก็บ กิจกรรมการหยิบสินค้า และกิจกรรมการเติมสินค้า
- พาหนะลำเลียงวัสดุระบบราง (Rail Guided Vehicle: RGV) ในการขนถ่ายพาเลทสินค้าระหว่างสถานีงานของแต่ละกิจกรรม และระหว่างสถานีงานกับระบบ AS/RS

อุปกรณ์หลักเหล่านี้ทำงานร่วมกันพนักงานและสื่อสารกับระบบสารสนเทศของบริษัทผ่านระบบจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management System: WMS) จากแผนผังและหน้าที่ของอุปกรณ์จะพบว่า RGV เป็นอุปกรณ์สำคัญในศูนย์กระจายสินค้าแห่งนี้ที่เชื่อมต่อระหว่างสถานีงาน ระหว่างกิจกรรม และ ระหว่างอาคาร จากการเข้าไปสอบถามและสังเกตเบื้องต้นพบว่า RGV บางตัวเคลื่อนที่สูญเปล่าโดยพาเลทและไม่ได้รับมอบหมายงานเนื่องจากตำแหน่งปัจจุบันของ RGV ตัวดังกล่าวกีดขวางเส้นทางการทำงานของ RGV ตัวอื่นในระบบที่ได้รับมอบหมายงานแล้ว หรือ Blocking ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การกีดขวางการทำงานระหว่าง RGV

พฤติกรรมดังกล่าวของ RGV ส่งผลโดยตรงต่ออัตราประโยชน์การใช้งาน ระยะเวลาปฏิบัติงาน ของอาคารคลังสินค้ากึ่งอัตโนมัติและ เวลาการจัดสินค้าเนื่องจากศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษาที่ดำเนินการหยิบสินค้าแบบรอบเวฟ ซึ่งต้องทำงานสอดประสานกันเพื่อดำเนินการให้สินค้าจากแต่ละอาคารคลังสินค้าสามารถจัดส่งไปยังร้านสาขาในเที่ยวรถขนส่งเดียวกันได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาปัจจัยด้านการกำหนดจำนวน RGV ต่อผลของ เวลาจบงาน ระยะเวลารอ และอัตราประโยชน์การใช้งาน จากจำนวนพาเลทที่ลำเลียงได้ต่อรอบ โดยการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ของระบบขนาดเล็กด้วยโปรแกรม R/Rstudio [3]

ก่อนการวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของ RGV ภายในศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษาเพื่อจัดทำแบบจำลองสถานการณ์และกำหนดปัจจัยในการทดลอง คณะผู้วิจัยขอทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ RGV

2. RGV และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

RGV เป็นพาหนะลำเลียงวัสดุอัตโนมัติที่ออกแบบมาเพื่อเพิ่มอัตราในการเคลื่อนย้ายวัสดุให้สูงขึ้น เนื่องจาก RGV เคลื่อนที่บนรางที่มีเส้นทางและตำแหน่งการรับ-ส่งพาเลทสินค้าที่แน่นอนจึงสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว การทำงานในคลังสินค้าระบบของ RGV จะมีการทำงานสอดประสานกับระบบอัตโนมัติอื่นๆ เช่น ระบบ AS/RS และระบบสายพานลำเลียง เป็นต้น [4]

นอกจากนี้ยังมีพาหนะชนิดอื่นที่ถูกนำมาใช้ในการลำเลียงงานภายในคลังสินค้านั้นคือ พาหนะลำเลียงวัสดุอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicles: AGV) โดยมีวัตถุประสงค์การใช้งานเพื่อลำเลียงงานที่ต้องการความเร็วเช่นเดียวกับ RGV แต่มีความแตกต่างในส่วนของการเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจาก AGV แต่ละตัวมีอิสระต่อกัน ใช้วิธีการนำทางได้หลายรูปแบบ เช่นการใช้เลเซอร์ เส้นลวด แถบสี แถบแม่เหล็ก เป็นต้น ถูกควบคุมและกำหนดเส้นทางการลำเลียงด้วยระบบคอมพิวเตอร์ AGV ทำให้เส้นทางการเคลื่อนที่ของ AGV มีความยืดหยุ่นสูงและถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการลำเลียงสินค้า [5]

ในการออกแบบระบบลำเลียง ปัจจัยด้านการกำหนดจำนวนพาหนะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของคลังสินค้า ซึ่งสามารถคำนวณจำนวนพาหนะ [6] ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2)

$$R_{dv} = \frac{60 \cdot A \cdot F_t}{T_c} \quad (1)$$

$$n_c = \left\lceil \frac{R_f}{R_{dv}} \right\rceil \quad (2)$$

เมื่อ

n_c = จำนวน RGV ในระบบ

R_f = จำนวนเที่ยวขนส่งต่อชั่วโมงที่ต้องการ

R_{dv} = อัตราการขนส่งในหน่วยเที่ยวต่อชั่วโมงของพาหนะ 1 ตัว

A = สัดส่วนเวลาที่ใช้ขนส่งต่อเวลาดำเนินงานรวม

F_t = ค่าการสูญเสียเวลาจากการจราจร

T_c = ค่าเฉลี่ยเวลาอุดมคติที่ใช้ในการขนส่ง 1 งาน

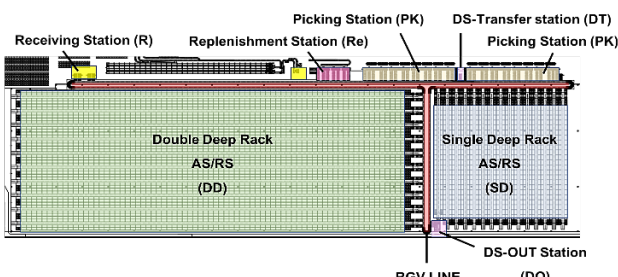
จาก Fethi และคณะ [5] พบว่าการเพิ่มจำนวน AGV ในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ แต่เมื่อเพิ่มจำนวนจนถึงระดับหนึ่งจะไร้ประโยชน์ และลดประสิทธิภาพบางอย่างของระบบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยของรูปแบบของโครงข่ายเส้นทางลำเลียงร่วมด้วย และจำนวนของ AGV มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อขนาดของโครงข่ายของระบบลำเลียงซึ่งผลด้านประสิทธิภาพเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับงานวิจัยของ Martina และคณะ [4] ที่พบว่าปริมาณงานที่ RGV สามารถหยิบได้จากแบบจำลองระบบ parts-to-picker แบบอัตโนมัติ เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มจำนวน RGV แต่ไม่เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเนื่องจากปัญหาความแออัด นอกจากนี้ได้มีงานวิจัยของ Qi และคณะ [7] ที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบที่มีปริมาณงานไหลเข้าสู่ระบบด้วยความหนาแน่นที่ไม่เท่ากันโดย พบว่าการกระจายปริมาณงานให้มีความถี่พอๆกัน AGV จึงจะใช้งานได้ประสิทธิภาพดีที่สุด และงานวิจัยของ Saidi-Mehrabad และคณะ [8] ได้ใช้แบบจำลองสถานการณ์ Monte Carlo (Monte Carlo Simulation) ในการศึกษาเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของการคำนวณแบบมาร์โคเวียน และวิธีการของโครงข่ายประสาท ของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่มี AGV

3. RGV ในศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษา

คลังสินค้ากรณีศึกษานำ RGV มาประยุกต์ใช้ในการลำเลียงสินค้าซึ่งจัดเก็บในศูนย์กระจายสินค้าระหว่างสถานีงาน โดยมีการทำงานกระจายสินค้าตามรอบการจัดส่ง 3 รอบต่อวัน คือ

- **รอบที่ 1:** เป็นรอบงานจัดส่งสินค้าส่งร้านสาขากรุงเทพฯ และปริมณฑล ดำเนินการในช่วงเวลาประมาณ 13:00 - 21:00 น.
- **รอบที่ 2:** เป็นรอบงานจัดส่งสินค้าส่งร้านสาขาต่างจังหวัด ดำเนินการในช่วงเวลาประมาณ 04:00 - 13:00 น.
- **รอบ DS (Delivery Service):** เป็นรอบงานจัดส่งสินค้าส่งบ้านลูกค้า ดำเนินการในช่วงเวลาประมาณ 21:00 - 04:00 น.

ปัจจุบันศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษา มีการใช้งาน RGV ทั้งหมด 38 ตัว เคลื่อนที่ในทิศทางเดียวบนรางโลหะ โดยเส้นทางเคลื่อนที่ของ RGV มีลักษณะรูปตัว "T" ระยะทางรวม 658 เมตร ดังแสดงเส้นทางและตำแหน่งสถานีงานในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังเส้นทางเคลื่อนที่ของ RGV และสถานีงานที่เกี่ยวข้อง

สถานีงาน RGV ภายในศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษาสามารถแบ่งประเภทได้ 7 กลุ่ม ตามลักษณะการทำงานดังนี้

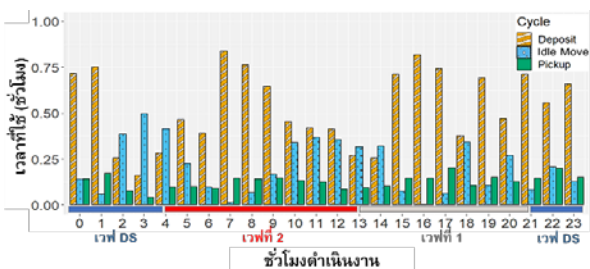
- **Receiving Station (R):** เป็นสถานีซึ่งพนักงานนำพาเลทสินค้าที่ผ่านการรับสินค้าเข้าสู่ระบบกึ่งอัตโนมัติ โดยหลังจากที่พนักงานวางพาเลทสินค้าในตำแหน่งที่กำหนดและกดปุ่มยืนยันแล้ว ระบบ WMS จะมอบหมายงานให้กับ RGV ลำเลียงพาเลทสินค้าไปยังพื้นที่จัดเก็บสินค้าตามเงื่อนไขความสูงและน้ำหนักของสินค้า ปัจจุบันสถานี R มีจำนวน 9 สถานี
 - **Double Deep Rack (DD):** เป็นสถานีพักพาเลทชั่วคราวระหว่างรอเครนประจำช่องจัดเก็บ (Aisle Crane) ทำการจัดเก็บหรือทำการหยิบของพาเลทแตร็คความลึก 2 พาเลท (Double Deep Pallet Rack) ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นพื้นที่จัดเก็บสำรอง (Reserve Storage Area) โดยแต่ละช่องช่องจัดเก็บจะมี 1 สถานีสำหรับจัดเก็บและ 1 สถานีสำหรับหยิบ ปัจจุบันสถานี DD มีจำนวน 9 สถานี
 - **Single Deep Rack (SD):** เป็นสถานีพักพาเลทชั่วคราวเช่นเดียวกับสถานี DD แต่สำหรับช่องจัดเก็บของพาเลทแตร็คความลึก 1 พาเลท (Single Deep Pallet Rack) ซึ่งเป็นพื้นที่จัดเก็บส่วนหน้า (Forward Storage Area) สำหรับสินค้าพร้อมเบิก ปัจจุบันสถานี SD มีจำนวน 15 สถานี
 - **Picking Station (PK):** เป็นสถานีหยิบสินค้าตามความต้องการของร้านสาขาในรอบเวฟมีลักษณะการทำงานใน 2 ลักษณะได้แก่ หยิบสินค้าทั้งพาเลท และ หยิบสินค้าในรูปกล่องร่วมทำงานร่วมกับพนักงานหยิบสินค้าก่อนคืนพาเลทสินค้าที่เหลืกลับเข้าสู่สถานี SD ปัจจุบันสถานี PK มีจำนวน 20 สถานี
 - **Replenishment Station (Re):** เป็นสถานีสำหรับเบิกพาเลทสินค้าและเติมสินค้าในลักษณะกล่อง หรือ ชิ้น ลงในตะกร้าพลาสติกเพิ่มเติมในระบบ Buffer AS/RS ปัจจุบันสถานี Re มีจำนวน 3 สถานี
 - **Delivery Service-Transfer Station (DT):** เป็นสถานีสำหรับขนถ่ายสินค้าแบบเต็มพาเลท ออกไปยังอาคารสินค้าที่ติดกันเพื่อทำการส่งให้กับบ้านลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษาและลดความแออัดในอาคารสินค้ากึ่งอัตโนมัติ ปัจจุบันสถานี DT มีจำนวน 2 สถานี
 - **Delivery Service-OUT Station (DO):** เป็นพื้นที่สำหรับรับสินค้า DS แบบเต็มพาเลทที่ต้องการย้ายจากคลังสินค้ากรณีศึกษาออกไปคลังสินค้าข้างเคียง เพื่อทำการรวมเที่ยวจัดส่งสินค้า โดยสถานี DO เป็นพื้นที่ที่เชื่อมต่อระหว่างอาคาร ปัจจุบันสถานี DO มีจำนวน 2 สถานี
- ศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษากำหนดลำดับความสำคัญของงานจากแต่ละสถานีงานตามคำแนะนำของผู้ผลิตอุปกรณ์ ซึ่งสามารถเรียงลำดับความสำคัญของงานจากมากไปน้อยได้ดังนี้ 1) งานรับสินค้าเข้าพื้นที่จัดเก็บ และงาน DS 2) งานเบิกพาเลทสินค้าและเติมสินค้าในลักษณะกล่อง หรือ ชิ้น 3) งานหยิบสินค้าตามรอบเวฟ และ 4) งานย้ายสินค้าระหว่างพื้นที่จัดเก็บ โดยระบบ WMS จะมอบหมายงานตามลำดับข้างต้นให้กับ RGV ที่มีตำแหน่งใกล้สถานีงานต้นทาง

มากที่สุดและมีสถานะว่างงาน โดยคลังสินค้ากรณีศึกษาที่มีค่าดัชนีชีวิตที่คาดหวังเกี่ยวกับเวลารอของงานคืองานที่เข้าสู่ระบบแล้วจะต้องถูกมอบหมายให้ RGV ภายใน 3 นาที

3.1. การวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของ RGV

ก่อนทำการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของ RGV โดยในส่วนแรกเมื่อพิจารณาเป็นรายชั่วโมงที่ดำเนินงานสามารถแบ่งกิจกรรมของ RGV เป็น 3 รูปแบบตามลักษณะการเคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 3 ได้แก่

- **Pickup:** เป็นการเคลื่อนที่เพื่อรับพาเลทที่สถานีงานต้นทาง
- **Deposit:** เป็นลำเลียงพาเลทไปส่งยังสถานีปลายทาง
- **Idle Move:** เป็นเคลื่อนที่โดยไม่มีการมอบหมายงานแก่ RGV



รูปที่ 3 เวลาเฉลี่ยที่ RGV 1 ตัวใช้ในกิจกรรมการเคลื่อนที่แบ่งตามชั่วโมงดำเนินงานของระบบ

ข้อมูลดังกล่าวนำมาวิเคราะห์สัดส่วนการมอบหมายและระยะทางจากสถานีต้นทางถึงปลายทางได้ ดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1 สัดส่วนการมอบหมายงานจากสถานีต้นทาง-ปลายทาง

		สถานีต้นทาง						
		R	DD	SD	PK	Re	DT	DO
สถานีปลายทาง	DD	0.18						
	SD	0.06		0.21	0.03			
	PK	0.09	0.24	0.10	0.01			
	Re	0.01	0.03					
	DT							
	DO	0.02	0.01					0.02

ตารางที่ 2 ระยะทางจากจุดกึ่งกลางของสถานีต้นทาง-ปลายทาง (เมตร)

		สถานีต้นทาง						
		R	DD	SD	PK	Re	DT	DO
สถานีปลายทาง	DD	383	154	257	325	255	48	
	SD	229	154		103	171	101	105
	PK	126	257	103	240	68	2	208
	Re	58	325	171	68		70	277
	DT	128	255	101	2	70		206
	DO	334	48	105	208	277	206	

ข้อมูลในตารางที่ 1 และ 2 สามารถนำไปวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบ Deposit โดย ระยะทางมากที่สุดคือระหว่างสถานี R และ สถานี DD ซึ่งมีระยะ 383 เมตรและมีสัดส่วน 0.21 ของงานทั้งหมด และ โดยระยะทางเฉลี่ยในการเคลื่อนที่แบบ Deposit คือ 189.25 เมตรต่อพาเลท เป็นที่น่าสนใจว่า RGV อาจทำการขนถ่ายพาเลทระหว่างสถานี PK ที่อยู่ติดกัน การวิเคราะห์การเคลื่อนที่แบบ Pickup และ การเคลื่อนที่แบบ Idle Move ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของ RGV ที่ได้รับมอบหมายงานนั้น ๆ และ ตำแหน่งของ RGV ก่อนหน้าสถานี ตามลำดับ ดังนั้นเพื่อวิเคราะห์การ Blocking ของ RGV ในระบบ คณะผู้วิจัยจึงประยุกต์แบบจำลองสถานการณ์แบบ Monte Carlo เนื่องจากอัตราการเกิดของงานแต่ละประเภทไม่คงที่ จึงใช้ค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่งานประเภทต่างๆ เข้าสู่ระบบ [8] จากสัดส่วนงานในตารางที่ 1 และระยะทางจากตารางที่ 2 มาสร้างแบบจำลองสถานการณ์

3.2. แนวคิดการสร้างแบบจำลองสถานการณ์

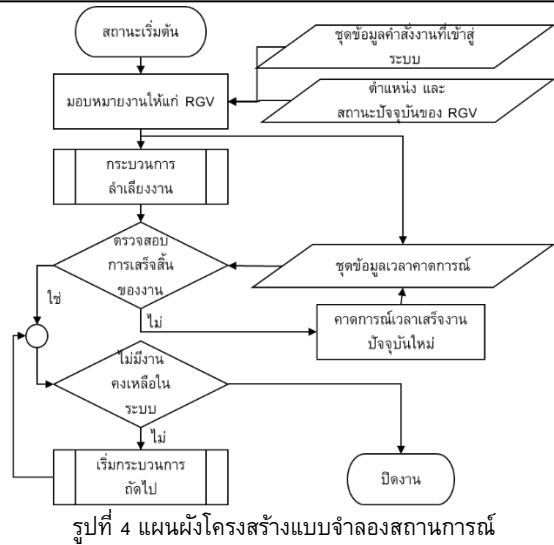
เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีแนวคิดในการสร้างพื้นที่สำหรับงานจัดสินค้าส่งบ้านลูกค้า ในรอบเวฟ DS โดยเฉพาะในอนาคต เพื่อรองรับคำสั่งซื้อจากช่องทางออนไลน์ที่มีแนวโน้มขยายตัวมากขึ้น คณะผู้วิจัยต้องการออกแบบจำนวน RGV ที่เหมาะสม พร้อมทั้งทดสอบการออกแบบด้วยแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม R/Studio เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สามารถสร้างและทดสอบโมเดลทางสถิติต่าง ๆ ได้ [3,9] จึงสามารถวิเคราะห์ข้อมูลจริงที่ได้จากคลังสินค้ากรณีศึกษา นำมาเป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับสร้างแบบจำลองสถานการณ์ และเก็บค่าดัชนีที่สนใจจากผลของการจำลองสถานการณ์มาทำการวิเคราะห์ทางสถิติ

คณะผู้วิจัยสนใจค่าดัชนีจากแบบจำลองสถานการณ์ 6 ค่า ได้แก่

- **เวลาปิดงานของระบบ (T_{syst}^{comp}):** ระยะเวลาในหน่วยนาที่ตั้งแต่เริ่มรอบเวฟ DS จนกระทั่งพาเลทสุดท้ายถูกลำเลียงเสร็จสิ้น
- **เวลาที่งานรอเฉลี่ย (T_j^{wait}):** ระยะเวลาเฉลี่ยของแต่ละพาเลทต้องรอในหน่วยนาที่ จนกระทั่งระบบมอบหมายงานให้ RGV
- **เวลาเคลื่อนที่สูญเปล่ารวม (T_{rgv}^{idle}):** ระยะเวลารวมในหน่วยนาที่ที่ RGV เคลื่อนที่โดยไม่มีการมอบหมายงาน
- **จำนวนรอบการเคลื่อนที่ (X_C):** ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการเคลื่อนที่สูงสุดของ RGV
- **จำนวนงานเฉลี่ยต่อรอบ (X_j):** จำนวนงานเฉลี่ยที่ RGV แต่ละตัวสามารถลำเลียงเสร็จสิ้นได้ใน 1 รอบ
- **อรรถประโยชน์ (U_{rgv}):** สัดส่วนของเวลาเฉลี่ยที่ RGV แต่ละตัวได้รับการมอบหมายงานต่อเวลาทั้งหมด

3.3 แบบจำลองสถานการณ์

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงโครงสร้างและเงื่อนไขการตัดสินใจของแบบจำลองสถานการณ์แบบเหตุการณ์เวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete-Time Event Simulation) ดังแผนผังในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนผังโครงสร้างแบบจำลองสถานการณ์

แบบจำลองสถานการณ์ประยุกต์ข้อมูลชุดคำสั่งงานซึ่งอ้างอิงจากการวิเคราะห์สัดส่วนปริมาณงานและข้อมูลระยะทางจากสถานีต้นทาง-ปลายทาง เมื่อประกอบกับข้อมูลตำแหน่งและสถานะของ RGV ระบบจะมอบหมายคำสั่งงานโดยพิจารณาจาก RGV ที่มีสถานะว่างงานที่อยู่ใกล้สถานีงานที่สุด เข้ามารับงานเพื่อสร้างฐานข้อมูลเวลาการดำเนินงานซึ่งประกอบด้วย กิจกรรมเคลื่อนที่แบบ Pickup แบบ Deposit และการเข้ารับ-ส่งพาเลทที่สถานีงาน เมื่อจบแต่ละกิจกรรมแบบจำลองสถานการณ์จะปรับปรุงข้อมูลเวลาการดำเนินงาน ในกรณีที่ RGV กีดขวางการทำงานของ RGV ที่ได้รับมอบหมายงานอยู่ แบบจำลองสถานการณ์อาจพิจารณาให้ RGV ที่ตามมาหยุดการเคลื่อนที่และรอจนกว่าการรับ-ส่งพาเลทที่สถานีงานจะเสร็จสิ้น หรือ อาจพิจารณากำหนดกิจกรรมเคลื่อนที่แบบ Idle Move ซึ่งเป็นผลให้ RGV ที่อยู่ข้างหน้าและสถานะว่างเคลื่อนที่ออกการเส้นทางที่กีดขวางจนพ้นสถานีงาน แบบจำลองสถานการณ์จะสิ้นสุดเมื่อการลำเลียงงานปัจจุบันเสร็จสิ้นและไม่มีความค้างในระบบ ในแบบจำลองสถานการณ์กำหนดให้ RGV เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่และไม่พิจารณาการชะลอความเร็วขณะเลี้ยวและจอด

3.4. การตรวจสอบแบบจำลองสถานการณ์

คณะผู้วิจัยตรวจสอบแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้นด้วยการทำทดสอบสมมติฐานสองทาง (Two-Tailed Hypothesis Test) [3]

ตารางที่ 4 ค่า F_t ของระบบจากสมการที่ (1) และค่าเฉลี่ยผลการทดลองจากแบบจำลองสถานการณ์

n_c	F_t	T_{syst}^{comp} (นาที)	T_j^{wait} (นาที)	T_{rgv}^{idle} (นาที)	X_c (รอบ)	X_j (งาน)	U_{rgv}
2	3.49	100.68 ± 5.37	13.96 ± 2.48	2.03 ± 1.18	25.55 ± 1.61	1.51 ± 0.09	0.97 ± 0.01
3	2.32	74.89 ± 3.52	5.15 ± 1.38	3.69 ± 2.29	19.16 ± 0.92	1.34 ± 0.06	0.95 ± 0.02
4	1.74	67.35 ± 3.61	1.81 ± 0.54	8.84 ± 6.66	16.72 ± 0.99	1.15 ± 0.07	0.90 ± 0.04
5	1.39	65.15 ± 2.25	0.64 ± 0.30	16.16 ± 4.70	15.04 ± 0.91	1.02 ± 0.06	0.89 ± 0.03
6	1.16	65.39 ± 4.42	0.23 ± 0.15	28.84 ± 10.24	13.91 ± 0.77	0.92 ± 0.05	0.68 ± 0.05
7	1.00	64.65 ± 2.87	0.07 ± 0.07	36.48 ± 8.22	13.07 ± 1.04	0.84 ± 0.07	0.57 ± 0.04
8	0.87	64.28 ± 2.64	0.03 ± 0.04	42.14 ± 7.42	12.66 ± 1.49	0.76 ± 0.08	0.51 ± 0.04

พิจารณาปริมาณงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงงานของ RGV แต่ละตัว ระหว่างรอบงาน DS จริง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยงานที่ RGV 1 ตัวทำในเวลา 1 ชั่วโมง (งาน/ชั่วโมง)

	คลังสินค้ากรณีศึกษา	แบบจำลองสถานการณ์
ปริมาณงาน	12.82 ± 4.61	12.05 ± 0.34

ทำการทดสอบสมมติฐาน โดยตั้งสมมติฐานว่าง (Null Hypothesis : H_0) ปริมาณงานมีค่าไม่แตกต่างกัน และสมมติฐานแย้ง (Alternative Hypothesis : H_a) ปริมาณงานมีค่าแตกต่างกัน

โดยจากการวิเคราะห์ที่ค่าความเชื่อมั่น 95% ได้ค่าซี (Z) -0.41 ซึ่งอยู่ในบริเวณยอมรับ (Acceptance Region) ดังนั้นสรุปว่าไม่สามารถปฏิเสธสมมติฐาน ปริมาณงานจากข้อมูลจริง กับ ปริมาณงานจากแบบจำลองสถานการณ์ ไม่แตกต่างกัน

4. ผลและการวิเคราะห์การทดลอง

เพื่อเปรียบเทียบแนวคิดการกำหนดจำนวน RGV จากสมการใน ส่วนที่ 2 และ แบบจำลองสถานการณ์ คณะผู้วิจัยได้ทดลองปรับเปลี่ยนจำนวน RGV ตั้งแต่ 2-8 ตัว พร้อมนำเสนอค่าดัชนีที่เกี่ยวข้องได้ในยาม ในส่วนที่ 3.2 จากแบบจำลองสถานการณ์ซึ่งมีการทดลองซ้ำ (Replication) 50 ครั้ง และ เปรียบเทียบกับค่า F_t ตามสมการที่ (1) ดังแสดงในตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 พบว่า เวลาปิดงานของระบบ เวลาที่โรงงานเฉลี่ย จำนวนรอบการเคลื่อนที่ จำนวนงานเฉลี่ยต่อรอบ และ อรรถประโยชน์ มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มจำนวน RGV ในขณะที่เวลาเคลื่อนที่สูญเสียรวมมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าจำนวนรอบการเคลื่อนที่ จำนวนงานเฉลี่ยต่อรอบ และ อรรถประโยชน์ ลดลงจนเกือบคงที่เมื่อจำนวน RGV มีค่า 4 และ 5 ตัว นอกจากนี้ ค่าเวลาที่โรงงานเฉลี่ย และ ค่าจำนวนรอบการเคลื่อนที่ ลงลงอย่างมีนัยยะสำคัญหากจำนวน RGV เพิ่มขึ้นระหว่างช่วง 2 ถึง 4 ตัว เป็นที่น่าสนใจว่า เวลาเคลื่อนที่สูญเสียรวมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยยะสำคัญและมีความแปรปรวนสูง เมื่อจำนวน RGV มีมากกว่า 4 ตัว

คณะผู้วิจัยได้นำผลการทดลองมาทำการวิเคราะห์ผลต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Paired Difference Test [3] โดยทำการทดสอบสมมติฐานว่าการเปลี่ยนจำนวน RGV ให้ผลต่างค่าเฉลี่ยผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยกำหนดค่าความเชื่อมั่น 95% พบว่าการเพิ่มจำนวน RGV ให้แก่ระบบ โดยมีจำนวนรวมอยู่ในช่วง 2 ถึง 4 ตัว ให้ผลต่างค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทั้งหมด เนื่องจาก P-Value ต่ำกว่า 0.05 และเมื่อเพิ่มจำนวน RGV เป็น 5 ตัว พบว่า อัตราประโยชน์ของ RGV ลดลงเล็กน้อยและให้ผลต่างค่าเฉลี่ยเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อเพิ่มจำนวน RGV ให้แก่ระบบโดยมีจำนวนรวมเท่ากับ 6 ถึง 8 ตัว พบว่าค่าเฉลี่ยผลต่างการเปลี่ยนแปลงเวลาปิดงานเปลี่ยนแปลงอย่างไม่มีนัยสำคัญเนื่องจาก P-Value มากกว่า 0.05

ค่า F_t ในตารางที่ 4 เกิดจากคำนวณย้อนเมื่อระบุจำนวน RGV และ กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้ $R_f = 77$ เทียบต่อ ชั่วโมง $A = 97.88\%$ $T_c = 5.32$ นาที หากวิเคราะห์ค่า F_t ของระบบ พบว่าค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวน RGV เพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงถึงความแออัดในระบบที่ลดลง อย่างไรก็ตามจากการคำนวณค่า F_t มีค่าเท่ากับ 1.00 เมื่อจำนวน RGV เท่ากับ 7 ตัว ซึ่งค่า F_t ที่เท่ากับ 1.00 หมายถึงระบบที่ออกแบบมีแนวโน้มที่จะไม่เกิดการหยุดชะงักหรือสูญเสียเวลาเนื่องจากการจราจร และค่าจะลดลงเมื่อ RGV ในระบบมีมากขึ้นเนื่องจากความแออัดและมีแนวโน้มที่ระยะเวลาเคลื่อนที่สูญเสียเปล่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากมี RGV ที่ว่างงานจอดในเส้นทาง การลำเลียงมากขึ้น นอกจากค่า F_t จะมีความสัมพันธ์กับจำนวน RGV แล้วนั้น ยังมีความสัมพันธ์กับขนาดของระบบ และโครงสร้างเส้นทาง การลำเลียงที่ออกแบบ [6] จากการคำนวณค่า F_t ที่ได้ไม่สอดคล้องกับแบบจำลองสถานการณ์ การออกแบบโดยอาศัยสมการที่ (1) และ (2) อาจมีข้อจำกัดเนื่องจากการเป็นการคาดการณ์จำนวน RGV ที่เหมาะสมแก่ระบบโดยคำนึงถึงความรวดเร็วของการปิดงานเพียงอย่างเดียว ไม่คำนึงถึงปัจจัยด้านการใช้งาน RGV รวมด้วย

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงเสนอว่าควรมี RGV จำนวน 4 ตัวเพื่อรองรับการทำงานของรอบ DS ในอนาคต เนื่องจากมีประสิทธิภาพกับการทำงานใกล้เคียงกับแบบจำลองสถานการณ์ที่มีจำนวน RGV 5 ตัว ระยะเวลาของงานมีค่าต่ำกว่า 3 นาที ตามดัชนีชี้วัดของคลังสินค้า กรณีศึกษา และต้องการเงินลงทุนที่น้อยกว่า

5. สรุปผลการวิจัย

จากสภาวะการขาดแคลนแรงงานในธุรกิจห่วงโซ่อุปทานและความพยายามในการลดงานขนถ่ายวัสดุซึ่งเป็นงานที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่มแต่มีความจำเป็นในกิจกรรมหยิบสินค้า ศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษาจึงได้ประยุกต์นำ RGV มาใช้เพื่อขนถ่ายพาเลทสินค้าระหว่างสถานีงาน ระหว่างกิจกรรม และ ระหว่างอาคาร จากการสอบถามและสังเกตเบื้องต้นพบว่า RGV บางตัวเคลื่อนที่สูญเสียเปล่าโดยพาเลทและไม่ได้รับมอบหมายงานเนื่องจากตำแหน่งปัจจุบันของ RGV ตัวดังกล่าวกีดขวางเส้นทางการทำงานของ RGV ตัวอื่นในระบบที่ได้รับมอบหมายงานแล้ว

การวิเคราะห์จำนวน RGV ด้วยแบบจำลองสถานการณ์พบว่า เมื่อเพิ่มจำนวน RGV ส่งผลทำให้ เวลาปิดงานของระบบ ระยะเวลาของงาน จำนวนรอบการเคลื่อนที่ จำนวนงานต่อรอบการเคลื่อนที่ และ อัตราประโยชน์ของ RGV ลดลง ผลการวิเคราะห์พบว่าจำนวน RGV ที่เหมาะสมกับพื้นที่ทำงาน DS ในอนาคตคือ 4 ตัว เนื่องจาก ประสิทธิภาพและเงินลงทุน

นอกจากปัจจัยด้านการกำหนดจำนวน RGV ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อ เวลาปิดงานของระบบ ระยะเวลาการ และอัตราประโยชน์ของ RGV เช่น ปัจจัยด้านนโยบายการกำหนดลำดับความสำคัญงานของแต่ละประเภท ปัจจัยด้านรูปแบบเส้นทาง การลำเลียง และปัจจัยด้านการเลือกจ่ายงานให้ RGV เป็นต้น ซึ่งสามารถนำเข้ามาพิจารณาเพิ่มเติม สำหรับการทดลองในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณเพชรชมพู เทพพิพิธ ที่อำนวยความสะดวกในการเข้าไปศึกษากระบวนการทำงานของศูนย์กระจายสินค้ากรณีศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] กองบริหารข้อมูลตลาดแรงงาน, ก., ยุทธศาสตร์การแก้ไขและป้องกันการขาดแคลนแรงงาน พ.ศ. 2560-2564. 2017.
- [2] โอฬาร กิตติธรรพ์ชัย, คลังสินค้าและการจัดการคลังสินค้า. 2018, Bangkok: Chulalongkorn University Press.
- [3] RStudio Team. RStudio: Integrated Development Environment for R. Boston, MA, 2015.
- [4] C. Martina, P. Alessandro, and S. Fabio, Modelling of Rail Guided Vehicles serving an automated parts-to-picker system. IFAC-PapersOnLine, 2018. Volume 51(11): 1476-1481.
- [5] A. Fethi and S. Mehdi, The effect of AGVs number on a flexible manufacturing system, 2019 International Conference on Applied Automation and Industrial Diagnostics (ICAAID), Elazig, Turkey, 2019, 1-5
- [6] M. P. Groover, Automation Production systems, Computer Integrated Manufacturing, 4th ed., 2014, Pearson Education.
- [7] Qi, M., et al., On the evaluation of AGVS-based warehouse operation performance. Simulation Modelling Practice and Theory, 2018. 87: p. 379-394.
- [8] M. Saidi-Mehrabad, H. Fazlollahtabar, Monte Carlo Simulation to Compare Markovian and Neural Network Models for Reliability Assessment in Multiple AGV Manufacturing System. Journal of Optimization in Industrial Engineering. Volume 19, 2016.
- [9] G. Grolemond and H. Wickham, Hands-On Programming with R: Write Your Own Functions and Simulations, 2014.

ต้นแบบโต๊ะพับสำหรับเตียงสองชั้นเพื่อทำนั่งที่เหมาะสม

Bunk Bed Folding Table Prototype for Appropriate Sitting Posture

วิศรุต จงภิญโญตระกูล ณิชภา ฉัตรจินดารัตน์ พงศกร โลหะศิริวัฒน์ กรวิชัย กรทิพย์ เกียรติสุนันท์ ศรีพลไกร จินตนันท์ โตทับเที่ยง
ชนิด ด้วงป्ली ณัชชา ชัยสัมฤทธิ์ผล ภัคพิพัฒน์ เอี่ยมพงษ์ไพฑูรย์ สรวิต ก่อกิจกุล ภาคิน ตีรวัฒน์ประภา พีรพัฒน์ เหล่าวีระธรรม

โรงเรียนหาดลวิทยานุสรณ์ จ.นครปฐม

E-mail: pongsakor.loh_g31@mwit.ac.th*

Wisarut Chongpinyotrakool, Nichapa Chatjindarat, Pongsakorn Lohasiriwat^{*}, Korawit Konthip, Kiatsuranun Sreepolkrai,
Jintanant Tohtubtiang, Koonchanit Daungpre, Nutch Chaisamritpol, Pakpipat Eiamphongphaitoon, Soravis Korkikusol¹,

Phakin Teerawattanaprapa, Peerapat Laoveeratham

Mahidol Wittayanusorn School, Nakhon Pathom

E-mail: pongsakor.loh_g31@mwit.ac.th*

บทคัดย่อ

กิจกรรมหลักอย่างหนึ่งของนักเรียนและนักศึกษาในปัจจุบัน คือ การอ่านเขียนหนังสือ ทั้งในรูปแบบกระดาษและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทแท็บเล็ต ซึ่งจากการสำรวจพฤติกรรมของนักเรียนในหอพักกรณีศึกษา พบว่า ถึงแม้ในหอพักจะมีชุดโต๊ะเก้าอี้แบบมาตรฐานในห้องพัก แต่ นักเรียนจำนวนมากยังคงใช้เวลาทำงานบนเตียงที่นอนอยู่มาก โดยเฉพาะกลุ่มนักเรียนที่นอนอยู่บนชั้นบนของเตียงสองชั้น เนื่องจากความลำบากในการขึ้นและลงจากเตียงชั้นบนมายังโต๊ะทำงาน ส่งผลให้เกิดเป็นท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์ ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบการนั่งชันเข่า การนอนอ่านเขียน หรือทำนั่งที่มีการก้มหลังและค้อมาก จนเกิดเป็นความเมื่อยล้าที่มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพในระยะยาวของนักเรียน ทางกลุ่มผู้ดำเนินการศึกษาจึงได้ทำการออกแบบและจัดสร้างต้นแบบโต๊ะพับที่สามารถประกอบเข้ากับเตียงของหอพักได้โดยสะดวก ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบการใช้งาน และประเมินความเสี่ยงของท่าทางการนั่งทำงานด้วยการพิจารณาค่ามุมข้อต่อหลักของร่างกาย ร่วมกับเทคนิค Rapid Upper Limb Assessment (RULA) ผลการประเมินพบว่า การทำงานบนโต๊ะที่จัดสร้างขึ้น ส่งผลให้ผู้ใช้งานมีท่าทางการทำงานที่ดีขึ้น โดยมีค่าคะแนน RULA ลดลงจาก 5 คะแนน เป็น 4 คะแนน กล่าวคือ สามารถช่วยลดความเสี่ยงต่อสุขภาพของนักเรียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การออกแบบโต๊ะ, ทำนั่ง, เตียง, RULA, นักเรียน

Abstract

One of the main activities for students is reading and writing. These activities can be performed in both paper-and-pencil method as well as using a tablet device. According to a survey of student behavior in a dormitory, it was found that although the dormitory had standard sets of tables and chairs available in the student bedroom, many students still spend a lot of their time working in bed. Especially the ones who slept on the top of the bunk bed. The major reason is the difficulty of getting up and down from the upper bunk to the desk. As a result, working posture while lying in bed is not ergonomically appropriate such as kneeling, laying, and sitting posture with large back and neck bending. These inappropriate postures could eventually be the risk of long-term health problems in students. Therefore, this current study is aimed to design and build a prototype of a folding table that can be easily assembled into the dormitory bed. Postural assessment is performed by analyzing major joint angles of the student volunteer while using the prototype. The Rapid Upper Limb Assessment (RULA) technique is also utilized. In conclusion, the user has a better working posture. The RULA score has decreased from 5 to 4, meaning that it can effectively prevent student health risks.

Keywords: Table Design, Sitting Posture, Bed, RULA, Student

1. บทนำ

ในชีวิตประจำวัน นักเรียน นักศึกษา หรือกลุ่มที่อยู่ในวัยเรียน จำเป็นต้องมีการทำงานในท่าหนึ่งอยู่เป็นเวลานาน โดยมีอุปกรณ์หลักที่เกี่ยวข้อง คือ ชูโต๊ะเก้าอี้ สมุด หนังสือ และคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์พกพาต่าง ๆ โดยเฉพาะแท็บเล็ต อย่างไรก็ตาม สำหรับนักเรียนที่อาศัยในหอพัก มักมีการใช้เตียงสองชั้นเพื่อการประหยัดพื้นที่ และนักเรียนมักนิยมนั่งทำงานบนเตียงค่อนข้างมาก เนื่องจากความสะดวกในการเคลื่อนย้าย ซึ่งการนั่งทำงานบนเตียงส่งผลให้ผู้หนึ่งมีท่าทางที่ผิดหลักการยศาสตร์ มีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาความเมื่อยล้า และการบาดเจ็บสะสมในระยะยาวต่อระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ โครงสร้างการศึกษาค้นคว้าจึงทำการออกแบบอุปกรณ์โต๊ะพับที่เสริมเข้ากับเตียงสองชั้นของโรงเรียนกรณีศึกษา ผ่านกระบวนการออกแบบนวัตกรรมตามหลัก C-D-I-O และประเมินผลกระทบของท่าหนึ่งทำงานบนเตียงเมื่อใช้โต๊ะพับที่พัฒนาขึ้นด้วยวิธีการประเมินท่าทาง จากการวิเคราะห์มุมของข้อต่อร่างกาย ร่วมกับการประเมิน RULA

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบนวัตกรรมตามหลัก C-D-I-O

ขั้นตอนการสร้างนวัตกรรมตามหลักคิดของวิศวกรที่แบ่งเป็น 4 ขั้นตอนหลัก [1] ดังนี้

2.1.1 การกำหนดโจทย์ปัญหา (Conceive: C)

การออกแบบนวัตกรรมควรตั้งอยู่บนพื้นฐานของการแก้ไขปัญหาที่ตอบโจทย์ความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งานเป้าหมายอย่างแท้จริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการสำรวจความต้องการความต้องการผู้ใช้ผ่าน การสำรวจหน้างาน การลงพื้นที่ และการสอบถามสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมาย ผลลัพธ์ที่ได้ คือ ประเด็นปัญหาที่ชัดเจนและแท้จริง ในขั้นนี้สิ่งที่ควรระวังคือ การอาศัยความเข้าใจ หรือความเห็นส่วนตัวของกลุ่มผู้ออกแบบแต่เพียงอย่างเดียว เพราะจะไม่ได้รับมุมมองที่ครบถ้วน

2.1.2 การออกแบบ (Design: D)

การนำเสนอรูปแบบผลิตภัณฑ์ หรือวิธีการทำงาน รวมถึงการให้บริการ ที่จะตอบโจทย์ปัญหาที่กำหนดขึ้นในขั้นตอนก่อนหน้า โดยอาศัยเทคนิคของวิศวกรรมสาขาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหาตามปกติ การออกแบบจะเริ่มจากการออกแบบเชิงแนวคิด (concept design) แล้วจึงพัฒนาไปสู่การออกแบบที่มีรายละเอียด (detail design) เพียงพอที่จะนำไปสู่สร้างสรรค์เป็นนวัตกรรมขึ้นมาได้จริง ซึ่งขณะที่ทำการออกแบบ ผู้ออกแบบต้องพิจารณาทั้งมุมมองของผู้ผลิต และผู้ใช้งานไปพร้อมกัน เพื่อจะได้ผลการออกแบบที่สามารถผลิตได้จริง และถูกนำไปใช้งานได้มีประสิทธิภาพ และประสิทธิผล

2.1.3 การพัฒนาการแก้ไข้ปัญหา (Implement: I)

ขั้นตอนการสร้างสิ่งทีออกแบบไว้ให้เกิดเป็นต้นแบบจริงผ่านการลงมือทำ ความท้าทายของขั้นตอนนี้ อยู่ที่การทำงานเป็นทีมเพื่อให้เกิด

ความสำเร็จตามต้องการ และการทดสอบการใช้งานโดยเฉพาะประเด็นด้านคุณภาพและความปลอดภัยของต้นแบบที่พัฒนาขึ้น

2.1.4 การนำไปใช้งานจริง (Operate: O)

เมื่อต้นแบบได้ถูกทดสอบผ่านการทดลองใช้ในพื้นที่ก่อนหน้านี้ ต้นแบบจะถูกนำไปสู่การใช้งานจริงด้วยผู้ใช้จริงที่กำหนดไว้ ตามระยะเวลาที่คาดหวังไว้ โดยผู้ออกแบบจำเป็นต้องติดตามผลการใช้งานพิจารณาเรื่องการบำรุงรักษา ซ่อมแซมหากมีปัญหาก่อขึ้นระหว่างใช้งาน ไปจนถึงการกำจัดเมื่อเลิกใช้งาน เรียกได้ว่าเป็นการดูแลตลอดวงจรชีวิตของสิ่งทีพัฒนาขึ้น (product life cycle) จะเห็นได้ว่า การติดตามดูแลแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในช่วงการใช้งานจริง จะเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้วัฏจักรบรรลุดังวัตถุประสงค์และถูกนำไปใช้จนเกิดเป็นประโยชน์ในการแก้ปัญหาได้อย่างแท้จริงและยั่งยืน

2.2 การประเมินท่าทางด้วยเทคนิค RULA

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) เป็นการประเมินท่าทางการทำงานตามหลักการยศาสตร์ ทีพัฒนาขึ้นโดยมหาวิทยาลัยนอตติงแฮม ประเทศอังกฤษ [2] และมีการใช้อย่างแพร่หลายในหลายประเทศ รวมถึงประเทศไทย จนถึงปัจจุบัน โดยพบว่า มีการแนะนำการใช้งานไว้ในหลายแหล่งข้อมูล อาทิ ตำราวิชาการ [3] และทางสื่อสังคม (social media) [4]

แนวทางการประเมินจะอาศัยการสังเกตท่าทางขององศาข้อต่อใน 2 กลุ่มของร่างกาย ได้แก่ (1) ulyang คอส่วนบน: ข้อมือ แขนส่วนล่าง แขนส่วนบน ไหล่ และการออกแรง (2) แขนกลางของร่างกาย และulyang คอส่วนล่าง: คอ ลำตัว ขา และการออกแรง เมื่อทราบท่าทางของ 2 กลุ่มร่างกายแล้ว จะนำมาเทียบกับเกณฑ์ของท่าทางมาตรฐาน ด้วยระบบการให้คะแนน โดยหากข้อต่อใดอยู่ในท่าทางที่มีความผิดปกติมาก จะมีค่าคะแนน RULA สูงขึ้น จากนั้น จึงนำคะแนนของทั้ง 2 กลุ่มร่างกายมาพิจารณาร่วมกันเพื่อสรุปเป็นคะแนนท่าทางรวม โดยคะแนนท้ายสุดจะมี 4 ระดับ ใช้บ่งบอกความจำเป็นในการปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงานว่าอยู่ในความเสี่ยงหรือจำเป็นต้องแก้ไขปรับปรุงอย่างเร่งด่วนหรือไม่

2.3 การใช้งานแท็บเล็ตของนักเรียน นักศึกษา

ด้วยความก้าวหน้าของเทคโนโลยีและความสะดวกสบายในการเข้าถึงข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต ทำให้คอมพิวเตอร์พกพาและอุปกรณ์มือถือต่าง ๆ กลายเป็นสิ่งสำคัญสำหรับนักเรียนและนักศึกษาในปัจจุบัน เทคโนโลยีต่าง ๆ ช่วยเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการเรียนการสอนไปในทิศทางที่ดีทั้งฝั่งผู้เรียน และผู้สอนได้ในหลายด้าน เช่น การค้นหาข้อมูลความรู้ การจัดเตรียมการสอน [5] จึงไม่น่าแปลกใจที่ นักศึกษาระดับมหาวิทยาลัยเลือกที่จะใช้งานอุปกรณ์พกพามากกว่าคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะดั้งเดิม โดยพบว่า การใช้งานกับโทรศัพท์มือถือถือมีมากที่สุด คิดเป็น 64% แท็บเล็ตและคอมพิวเตอร์แบบพกพา คิดเป็น 53.2% ในขณะที่ คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ คิดเป็น 46.4% [6] อย่างไรก็ตาม การใช้งานอุปกรณ์นอกเหนือจากคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะมักจะถูกใช้ในพื้นที่ทำงานที่

ไม่ใช่รูปแบบสถานการณ์แบบ โต๊ะ-เก้าอี้ ตามปกติ ส่งผลให้เกิดความ
ความไม่สบายตัว เมื่อยล้า โดยมักพบความเมื่อยล้าของบริเวณคอมาก
ที่สุด ตามด้วยรยางค์ส่วนบน ได้แก่ ข้อมือ และไหล่ [7] [8] และหลัง
ส่วนล่าง/ส่วนบน [9] อันเป็นผลต่อเนื่องมาจากการก้มคอที่มากเกินไป
จากการประมาณการพบว่า ในท่าทางมองตรงตามปกติ ภาระน้ำหนักที่
กดลงบริเวณคอจะอยู่ที่ประมาณ 4.5 – 5.5 กิโลกรัม เมื่อก้มลงถึง 15
องศาจะเพิ่มเป็น 12.2 กิโลกรัม เมื่อถึง 30 องศา จะเป็น 18.1 กิโลกรัม
ที่ 45 องศา จะเป็น 22.2 กิโลกรัม และเมื่อก้ม 60 องศา จะมีน้ำหนักกด
ถึง 27.2 กิโลกรัม [10] ดังนั้น การก้มคอจึงเป็นปัจจัยเสี่ยงหลักของการ
ทำงานกับอุปกรณ์พกพาแบบต่าง ๆ ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบระหว่าง
อุปกรณ์พกพาดูด้วยตนเองแล้ว พบว่า อุปกรณ์แท็บเล็ตส่งผลให้มีท่าทาง
การทำงานที่มีความเสี่ยงมากกว่า โทรศัพท์มือถือ และคอมพิวเตอร์
แบบพกพา [11]

3. วิธีดำเนินงาน

3.1 การทำความเข้าใจปัญหาของกรณีศึกษา

จากการดำเนินโครงการภายใต้กิจกรรม Stem Challenge ของ
สถานศึกษา ซึ่งกำหนดวัตถุประสงค์การจัดกิจกรรมขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหา
ที่เกิดขึ้นภายในโรงเรียน ทางกลุ่มผู้ดำเนินการได้เริ่มจากการระดม
สมองของสมาชิกในกลุ่มในฐานะผู้ที่อาศัยในหอพักของสถานศึกษา
(เป็นผู้ใช้งานโดยตรง) เพื่อนำเสนอประเด็นปัญหาที่สมาชิกทั้ง 12 คน
ได้ประสบในชีวิตประจำวันระหว่างการอยู่ในหอพัก โดยปัญหาของ
ความไม่สะดวกสบายในการทำงานบนเตียงเป็นสิ่งที่มีสมาชิกรู้สึกเห็น
ตรงกันว่ามีอาการที่ควรจะต้องแก้ไข เนื่องจาก นักเรียนมีการอ่าน
เขียนบนเตียงเป็นเวลานานและเป็นประจำทุกวัน ความเมื่อยล้าที่เกิด
จากการทำงานผิดท่าทางเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นเสมอ การแก้ไขเบื้องต้น
สำหรับนักเรียนบางคนจะนำเอาหมอน กระเป๋า หรือหนังสือมาวางซ้อน
ขึ้นเอง นอกจากนี้ ทางกลุ่มยังเห็นว่าปัญหานี้สามารถปรับแก้ไขได้โดย
ศักยภาพของสมาชิกและเหมาะสมกับระยะเวลาการดำเนินโครงการ
จากนั้น จึงทำการสัมภาษณ์นักเรียนภายในหอพักนอกเหนือจากสมาชิก
กลุ่มเกี่ยวกับประเด็นดังกล่าว พร้อมกับทำการลงพื้นที่สำรวจห้องพักใน
ช่วงเวลาหลังเลิกเรียน ซึ่งเป็นช่วงที่นักเรียนนิยมทำการบ้านหรือสวด
งานประจำวัน โดยมุ่งเน้นที่จะค้นหาข้อมูลว่านักเรียนมีพฤติกรรมการ
ทำงานในห้องพักของตนเป็นอย่างไร



รูปที่ 1 เตียงสองชั้นและโต๊ะทำงานภายในห้องพัก

(Facebook: Pre MWIT2022: The Uninvited, 16 มกราคม 2563)

โดยสรุป กลุ่มผู้ดำเนินการพบว่า นักเรียนที่นอนอยู่ทางชั้นบนของ
เตียง (รูปที่ 1) จะมีแนวโน้มใช้เวลาบนเตียงและประสบปัญหามากกว่า
ในขณะที่นักเรียนที่นอนอยู่ชั้นล่างของเตียงจะทำงานบนโต๊ะเรียนที่มีจัด
ไว้ให้ในหอพัก ซึ่งเหตุผลหลักเกิดจาก การขึ้น-ลงจากเตียงชั้นบน
นักเรียนจะต้องปีนบันไดซึ่งเป็นสิ่งที่ทำได้ยากและนักเรียนรู้สึกเหนื่อย
จึงมักจะใช้เวลาในการนั่งหรือนอนบนเตียงมากกว่านักเรียนที่ได้นอน
อยู่ทางชั้นล่างของเตียงในห้องเดียวกัน

เมื่อพิจารณาทำนงทำงานของนักเรียนบนเตียง จะพบว่า มีท่าทาง
การทำงานที่ไม่เหมาะสม เป็นความเสี่ยงต่อสุขภาพที่ก่อให้เกิดอาการ
เมื่อยล้าได้ โดยเฉพาะ ท่าทางการเขียนที่วางเอกสารหรือแท็บเล็ตไว้
บนพื้นเตียง แล้วก้มหลังเพื่อทำงาน (รูปที่ 8ก)

ดังนั้น วัตถุประสงค์การออกแบบของโครงการนี้ จึงกำหนดไว้ว่า
“เพื่อประดิษฐ์โต๊ะสำหรับการทำงานบนเตียงที่สามารถพับเก็บได้ในช่วง
ที่ไม่มีการใช้งาน”

3.2 การออกแบบ

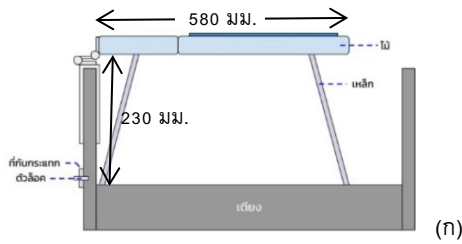
3.2.1 ศึกษากิจกรรมเป้าหมายและแนวคิดการออกแบบ

กิจกรรมงานที่กำหนดให้เป็นเป้าหมายการออกแบบโต๊ะ คือ การ
อ่านและเขียน ซึ่งหากมีการยกระดับพื้นโต๊ะให้สูงขึ้นกว่าเตียงร่วมกับ
การเอียงแผ่นโต๊ะขึ้น คาดว่าจะช่วยให้สะดวกต่อการอ่านและเขียนใน
ท่าทางที่เหมาะสมมากขึ้นได้ โดยการลดการก้มของหลังและคอ ซึ่งมี
แนวคิดการออกแบบ ดังนี้

1. ระดับความสูงของโต๊ะต้องสูงอย่างน้อยเพียงพอที่จะทำให้ผู้ใช้งาน
สามารถนั่งแบบสอดขาเข้าใต้โต๊ะได้ ประมาณได้จากระยะที่ไม่น้อย
ไปกว่า Thigh Clearance ประชากรไทยเพศชาย ซึ่งมีค่าเป็น 163
มิลลิเมตร [12] และค่ามากที่สุดที่แนะนำสำหรับการนั่งแบบไขว่ขา
คือ ให้เผื่อได้อีก 100 มิลลิเมตร [13]
2. เมื่อมีการยกพื้นโต๊ะให้เอียงขึ้น ควรจะทำให้มีระยะการมอง
(viewing distance) อยู่ที่ประมาณ 40 เซนติเมตร ซึ่งเป็นระยะ
ทั่วไปสำหรับการอ่านหนังสือ [14] และการใช้งานแท็บเล็ต [15]
3. การเอียงแท็บเล็ตขึ้นจากพื้นโต๊ะเพื่อช่วยลดการก้มของคอ มีการ
แนะนำให้เอียงขึ้นที่ 30 องศา จากพื้นโต๊ะสำหรับการใช้งานแท็บ
เล็ต [16] และไม่ควรให้เอียงมากกว่า 60 องศา [17]
4. โต๊ะที่จะจัดทำขึ้นจำเป็นต้องสามารถยึดติดเข้ากับขอบเตียงเดิมได้
และมีขนาดไม่กว้างไปกว่าความกว้างของเตียง คือ 100 เซนติเมตร
เนื่องจาก นักเรียนจะนิยมนั่งทางด้านกว้างของเตียงเป็นหลัก
5. การพับเก็บเมื่อไม่ใช้งาน ให้พับไปทางด้านข้างในลักษณะแขวนติด
กับราวโครงเหล็กเตียง

3.2.2 จัดทำร่างต้นแบบ

เมื่อนำแนวคิดการออกแบบทั้ง 5 ข้อ มาพิจารณาร่วมกับวัสดุที่มี
และขนาดโครงเหล็กเตียง จึงได้ทำการกำหนดระยะต่าง ๆ ของโต๊ะพับ
ให้ชัดเจน และมีร่างต้นแบบ ดังรูปที่ 2 – 4

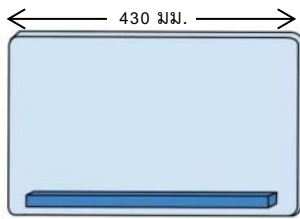


(ก)

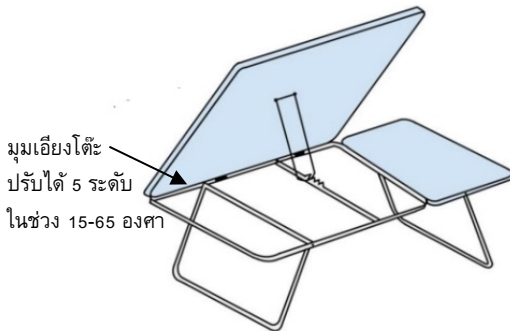


(ข)

รูปที่ 2 (ก) Front view ร่างต้นแบบของโต๊ะขณะใช้งาน และ (ข) ขณะพับเก็บหรือไม่มีการใช้งาน



รูปที่ 3 Top view ร่างต้นแบบของพื้นโต๊ะส่วนที่พับเอียงได้



รูปที่ 4 ร่างแบบ 3 มิติของโต๊ะขณะยกเอียง

3.3 จัดทำต้นแบบโต๊ะพับ

ต้นแบบ (Prototype) ที่สร้างขึ้นแล้วเสร็จเป็นดังแสดงในรูปที่ 5 – 7



รูปที่ 5 โต๊ะพับต้นแบบที่จัดทำขึ้น



รูปที่ 6 โต๊ะพับขณะไม่ใช้งาน



รูปที่ 7 โต๊ะพับขณะใช้งาน

ทั้งนี้ ต้นแบบสร้างขึ้นโดยเลือกใช้วัสดุที่มีอยู่เดิมในสถานศึกษา รวมถึงจำกัดวิธีการประกอบชิ้นส่วนต่าง ๆ ด้วยเทคนิคอุปกรณ์ที่มีอยู่ในโรงฝึกงานของสถานศึกษา

3.4 ประเมินท่าทางการทำงาน

นักเรียนอาสาสมัครได้ทดลองนั่งทำงานเขียนแท็บเล็ตบนเตียงโดยมีการใช้และไม่ใช้โต๊ะพับต้นแบบ สำหรับการใช้โต๊ะแบ่งเป็น 2 กรณี คือ มีการยกพื้นเอียงโต๊ะขึ้นใช้ และไม่มีการยกพื้นเอียงขึ้นใช้ เมื่อจัดโต๊ะเรียบร้อยแล้ว อาสาสมัครจะถูกขอให้นั่งทำงานในท่าทางที่ตนเองรู้สึกสบายและจะสามารถทำงานต่อเนื่องได้ เมื่อได้ท่าทางที่ค่อนข้างอยู่นิ่งแล้วจึงทำการถ่ายภาพที่แสดงท่าทางของอาสาสมัครจากทางด้านข้าง (ซ้ายมือ) จากนั้น จึงนำภาพถ่ายไปวัดค่าองศาข้อต่อด้วยโปรแกรม Kinovea ซึ่งเป็นการวัดค่ามุมแบบ 2 มิติ ค่ามุมของข้อต่อหลักของร่างกายที่วัดได้จะถูกนำไปประเมินคะแนนเสี่ยงตามแนวทางของ RULA ในลำดับต่อไป

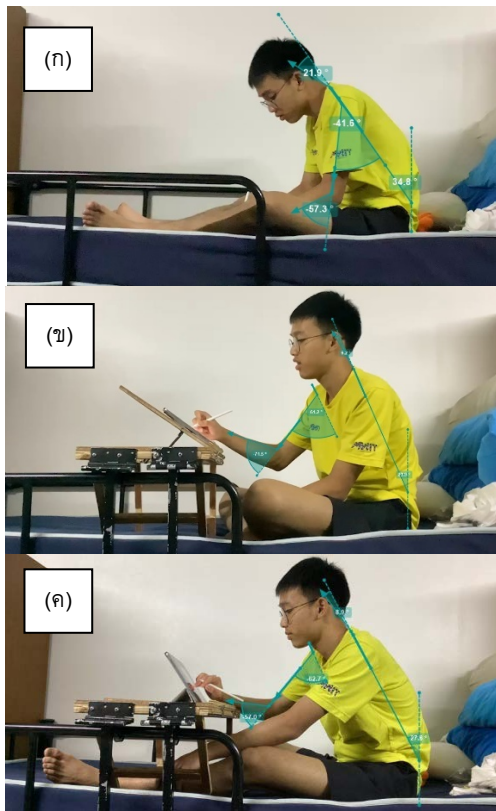
4. ผลการประเมินการใช้งานโต๊ะต้นแบบ

4.1 มุมข้อต่อร่างกาย

จากภาพถ่ายท่าทางการนั่งทำงานก่อนและหลังการปรับปรุง (รูปที่ 8ก – 8ค) สามารถสรุปค่ามุมข้อต่อร่างกายได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 มุมข้อต่อร่างกายก่อน-หลังการปรับปรุง (องศา)

ข้อต่อ	(ก) ก่อนใช้โต๊ะ	(ข) ใช้พื้นเอียง	(ค) ไม่ใช้พื้นเอียง
คอ	Flexion 22°	Flexion 6°	Flexion 9°
หลัง	Flexion 35°	Flexion 24°	Flexion 28°
แขนท่อนบน	Flexion 42°	Flexion 61°	Flexion 63°
แขนท่อนล่าง	Flexion 57°	Flexion 72°	Flexion 57°



รูปที่ 8 ท่าทางการทำงาน (ก) ก่อนปรับปรุง (ข) หลังปรับปรุงแบบใช้พื้นเอียง และ (ค) หลังปรับปรุงแบบไม่ใช้พื้นเอียง

จากค่ามุมในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า การใช้โต๊ะจะช่วยลดการก้มคอได้เป็นอย่างมาก คือ จาก 22° เป็นไม่เกิน 10° และลดการก้มหลังได้ จาก 35° เป็นไม่เกิน 30° เนื่องจาก อาสาสมัครสามารถนำเท้าขึ้นวางบนโต๊ะและเอียงตั้งขึ้น ทำให้ไม่ต้องก้มตัวและก้มคอเพื่อให้เห็น

สำหรับท่าทางของร่างกายส่วนบน เนื่องจากความแตกต่างของแขนซ้ายกับแขนขวาเห็นได้ชัดเจน จึงทำการประเมินแขนขวาซึ่งเป็นแขนที่ใช้เขียนงานสำหรับกรณีนี้ ส่วนกรณีไม่ใช้โต๊ะพับ แขนทั้งสองข้างมีท่าทางที่ใกล้เคียงกัน จึงเลือกประเมินจากแขนซ้ายซึ่งเห็นได้ชัดเจนกว่า

ผลการประเมินค่ามุมข้อต่อ พบว่า ท่าทางของร่างกายส่วนบน ในขณะที่ใช้โต๊ะพับนั่งทำงานมีความเสี่ยงจากท่าทางผิดปกติ “มากกว่า” โดยปัญหาหลักอยู่ที่ การยกของแขนท่อนบนออกจากแนวลำตัวที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่เท้าเอียงตั้ง ทำให้ต้องยกแขนเพื่อเขียนสูงขึ้นตามไปด้วย โดยงานวิจัยก่อนหน้านี้ก็ได้ให้ข้อควรระวังเกี่ยวกับมุมของไหล่ที่เพิ่มขึ้นตามองศาของการเอียงเท้าเอียงไว้เช่นกัน [18] ทั้งนี้ ในทฤษฎีสำหรับการศึกษาค้นคว้า พบว่า มุมของข้อศอกยังอยู่ในช่วง neutral range คือ 45-110° [19] เมื่อวัดจากแนวแขนท่อนบน

4.2 คะแนน RULA

จากค่ามุมที่วัดได้ก่อนหน้านี้ เมื่อนำมาวิเคราะห์ตามแนวทางของ RULA โดยพิจารณาให้ท่าทางในทิศทางการเคลื่อนไหวอื่น ๆ ถือว่าไม่มี เช่น การบิดทักข้อมือ การบิดลำตัว การกางแขนเข้าหรือออก เป็นต้น และการทำงานเป็นรูปแบบสลับ บัณฑิตด้านการออกแรงถือว่ามีน้อย (น้อยกว่า 2 กิโลกรัม) จะได้ผลการประเมิน RULA ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ตามแนวทางการประเมิน RULA

ข้อต่อ	(ก) ก่อนใช้โต๊ะ	(ข) ใช้พื้นเอียง	(ค) ไม่ใช้พื้นเอียง
หัวไหล่	2	3	3
ข้อศอก	2	1	2
ข้อมือ	1	1	1
ตาราง A	3+1 = 4	3+1 = 4	3+1 = 4
คอ	3	1	1
หลัง	3	3	3
ขา	1	1	1
ตาราง B	4+1 = 5	3+1 = 4	3+1 = 4

ตาราง A	4	4	4
ตาราง B	5	4	4
คะแนน RULA	5	4	4

หมายเหตุ

กรณี ตาราง A+1 แสดงถึง ภาระงานสลับของแขน

กรณี ตาราง B+1 แสดงถึง ภาระงานสลับของคอและหลัง

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า ท่าทางของนักเรียนก่อนปรับปรุง มีคะแนนความเสี่ยงที่ 5 คะแนน คือ ควรปรับปรุงโดยด่วน แต่เมื่อปรับปรุงแล้วจะมีคะแนนความเสี่ยงที่ 4 คะแนน คือ อาจจะมีการปรับปรุงเพิ่มเติมได้ ซึ่งผลของคะแนน RULA ที่สูงกวานั้นเป็นผลมาจากคะแนนเสี่ยงของคอและหลังเป็นหลัก

5. สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาและดำเนินโครงการครั้งนี้ ได้ปฏิบัติตามขั้นตอนการออกแบบนวัตกรรม C-D-I-O ตั้งแต่ระบุปัญหา ออกแบบแนวทางแก้ไข

ปัญหา จัดทำต้นแบบและทดสอบการใช้งาน โดยอาศัยหลักการประเมินงานทางกายศาสตร์มาประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบที่จัดทำขึ้น ซึ่งในอนาคต ควรทำการประเมินผลกับผู้ใช้งานที่หลากหลาย ได้แก่ กลุ่มเพศหญิง และบุคคลลักษณะตัวใหญ่หรือท้วม รวมถึงประเมินผลกับกิจกรรมการอ่านที่ไม่มีมีการเขียนเป็นการเพิ่มเติม เนื่องจาก คาดว่า จะส่งผลต่อทำนึ่งทำงานได้เช่นกัน

เมื่อได้ทำการประเมินผลที่ครอบคลุมมากขึ้น และปรับปรุงเพิ่มเติมตามจำเป็นแล้ว จึงจะเข้าไปสู่การนำไปใช้งานจริง หรือขั้นตอน Operate (O) ต่อไป โดยหากจัดทำเป็นโต๊ะติดตั้งถาวรอาจจะมีการใช้จ่ายการจัดสร้างที่เปลี่ยนไป (สำหรับต้นแบบนี้ ใช้ขนาดประมาณ 700 บาท)

อย่างไรก็ตาม ผลการดำเนินโครงการครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่า การนั่งทำงานบนเตียงของนักเรียน ถือว่ามีความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพในระยะยาวได้ ซึ่งหากยังไม่มีการแก้ไขปรับปรุงอย่างถาวร นักเรียนควรระมัดระวังถึงความเสี่ยงนี้ และเลือกที่จะทำงานบนโต๊ะเก้าอี้มาตรฐานที่มีอยู่ในปัจจุบันแทน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อนักเรียนมีสัดส่วนของเวลาที่ใช้งานอุปกรณ์พกพาทุกวันในแต่ละวัน เนื่องจากระยะเวลาที่นานขึ้นมากกว่า 20 นาที คาดว่าจะส่งผลเสียต่อสุขภาพได้มากขึ้นตามไปด้วย [16]

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์ สำหรับงบประมาณดำเนินการ และอุปกรณ์ห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการสร้างโต๊ะต้นแบบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] อติวงศ์ สุชาโต, เชษฐา พันธุ์ศรีบุตร, ดาว สุวรรณแสง จันเจริญ, ณัฐฐ์ ลีละวัฒน์ และ เสวกชัย อร่ามวงศ์, รายวิชาออนไลน์ “สร้างสรรค์โลกใหม่ด้วยวิศวกรรม (Engineering My World)”, ข้อมูลจาก mooc.chula.ac.th (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 มกราคม 2566)
- [2] L. McAtamney and E. Nigel Corlett. 1993. “RULA: a Survey Method for the Investigation of Work-related Upper Limb Disorders,” *Appl Ergon*, Vol. 24 (2): 91-9. doi: 10.1016/0003-6870(93)90080-s. PMID: 15676903.
- [3] Marras and Karwowski, *Fundamentals and Assessment Tools for Occupational Ergonomics (The Occupational Ergonomics Handbook, Second Edition)*, CRC Press; 1 edition, 2006.
- [4] สมาคมการยศาสตร์ไทย, “การประเมินท่าทางในการนั่งทำงาน” ข้อมูลจาก <https://www.facebook.com/ErgonomicsThailand/posts/4550512368299844/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 2 กันยายน 2563)
- [5] สรวีย์ ศิริพิลา และวราณี แกมเกตุ. 2014. “ผลของการใช้แท็บเล็ตในชั้นเรียนที่มีต่อพฤติกรรมของครูและนักเรียน: การวิจัยแบบผสมวิธี,” *วารสารอิเล็กทรอนิกส์ทางการศึกษา*, 9(2): 320-334.
- [6] M. Benden, R. Mehta, A. Pickens, B. Harp, M.L. Smith, S.D. Towne Jr. and SC. Peres. 2021. “Health-related

- Consequences of the Type and Utilization Rates of Electronic devices by college students,” *BMC Public Health*, 21: 1970. doi: 10.1186/s12889-021-11975-3
- [7] M. Rafiee, H.R. Mokhtarinia, O.B. Hadad and P.R. Soltani. 2014. “Pain and Discomfort in Laptop Users: Prevalence and its Relation to Adopted Posture”, *Razi J. Med. Sci.*: 37–45.
- [8] Z. Shan, G. Deng, J. Li, Y. Li, Y. Zhang, Q. Zhao. 2013. “Correlational Analysis of Neck/Shoulder Pain and Low Back Pain with the Use of Digital Products, Physical Activity and Psychological Status among Adolescents in Shanghai,” *PLoS ONE*, 8(10): e78109. doi: 10.1371/journal.pone.0078109.
- [9] C.M. Sommerich, R. Ward, K. Sikdar, J. Payne and L. Herman. 2007. “A Survey of High School Students with Ubiquitous Access to Tablet PCs,” *Ergonomics*, 50(5): 706-727. doi: 10.1080/00140130701194793.
- [10] K.K. Hansraj, 2014. “Assessment of Stresses in the Cervical Spine Caused by Posture and Position of the Head,” *Surg Technol Int*, 25(25): 277 – 279.
- [11] K.A. Szucs, K. Circuto and M. Rakow. 2018. “A Comparison of Upper Body and Limb Postures Across Technology and Handheld Device Use in College Students”. *J. Phys. Ther. Sci.*, 30: 1293–1300.
- [12] International Organization for Standardization. 2002. “ISO/TR 7250-2:2010 Basic Human Body Measurement for Technological Design – Part 2: Statistical Summaries of Body Measurements from National Populations”.
- [13] International Organization for Standardization. 2002. “ISO14738:2002 Safety of Machinery – Anthropometric Requirements for the Design of Workstations at Machinery”.
- [14] R.J. Marjorie, G. Mitchell, M.A. Bullimore, D.O. Mutti and K. Zadnik. 2001, “Prospective Quantification of Near Work Using the Experience Sampling Method,” *Optometry and Vision Science*, 78(7): 496-502.
- [15] C. Hsiao, M. Wang, Y. Liua, C. Changa. 2019. “Effects of Chinese Character Size, Number of Characters per Line, and Number of Menu Items on Visual Search Task on Tablet Computer Displays for Different Age Groups,” *International Journal of Industrial Ergonomics*, 72: 61-70.
- [16] S. Rungkitlersakul, P. Bhuanantanondh, and B. Buchholz. 2023. “The Effect of Tablet Tilt Angles and Time on Posture, Muscle Activity, and Discomfort at the Neck and Shoulder in Healthy Young Adults,” *PLoS ONE* 18(3): e0283521. doi: 10.1371/journal.pone.0283521.

- [17] T.J. Albin and H.E. McLoone. 2014. "The Effect of Tablet Tilt Angle on Users' Preferences, Postures, and Performance. Work," 47: 207–211. doi: 10.3233/WOR-131670 PMID: 24004729
- [18] J.G. Young, M.B. Trudeau, D. Odell, K. Marinelli and J.T. Dennerlein. 2013. "Wrist and Shoulder Posture and Muscle Activity During Touch-screen Tablet Use: Effects of Usage Configuration, Tablet Type, and Interacting Hand," Work, 45: 59–71. doi: 10.3233/WOR-131604 PMID: 23531566.
- [19] N.J. Delleman, Working Posture: Prediction and Evaluation, Ponsen & Looijen BV, Wageningen, 1999.

การลดของเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง Reduce Waste in Drinking Water Production Process by using Quality Control 7QC Tools

ณัฐวิทย์ กาใจทราย ภาณุวัฒน์ เป็งใจ ฤทัยภัทร สุกระศรี

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

E-mail: rsukrasorn@gmail.com*

Natthavit Kacaisai, Panuwat Paengchai, Rutaiphath Sukrasorn

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

E-mail: rsukrasorn@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงและแก้ไขปัญหาของเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มของโรงงานน้ำดื่มวงศ์สิงห์ โดยทำการวิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการผลิตน้ำดื่ม โดยทำการตรวจสอบด้วยเครื่องมือตรวจสอบค่า TDS ตรวจสอบค่า pH และตรวจสอบด้วยสายตาโดยตรง พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ประกอบด้วย ตะกอน ตะไคร่น้ำ กลิ่นคลอรีน และสารประกอบ ได้แก่ ความกระด้าง ตะกั่ว เหล็ก แมงกานีส ฟลูออไรด์ คลอไรด์ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ก่อให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม จึงทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tools) และเทคนิคการหาค่าดัชนีชี้วัดศักยภาพของความสามารถของกระบวนการ (Process potential capability Cp) และดัชนีวัดความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการ (Actual process capability index Cpk) ทำการวิเคราะห์ปัญหาด้วยโปรแกรม Minitab ก่อนการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดเกินเกณฑ์ที่กำหนดเฉลี่ย 5,889.67 มก./ลิตร ค่ากรด-เบสเกินเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ย 329.00 กรัม/ลิตร และปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนเกินเกณฑ์มาตรฐานเฉลี่ย 1.57 ลูกบาศก์เมตร หลังการปรับปรุงกระบวนการผลิตน้ำดื่ม ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดเฉลี่ย 5,794.67 มิลลิกรัม/ลิตร ของเสียลดลงได้ 1.64% ค่ากรด-เบสเฉลี่ย 237.33 กรัม/ลิตร ของเสียลดลงได้ 38.63% และปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนเฉลี่ย 1.45 ลูกบาศก์เมตร ของเสียลดลงได้ 8.47% ซึ่งของเสียที่ลดลงอยู่ในเกณฑ์ที่มาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้กำหนดไว้

คำสำคัญ: ความสามารถของกระบวนการ, แผนภูมิควบคุมคุณภาพ, การควบคุมคุณภาพเชิงสถิติ, เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่าง

Abstract

This research aimed to improve and solve waste problems in drinking water production process of Wongsingha drinking water manufacturer. The problems in drinking water production process were analyzed by checking TDS, pH, and direct visual inspection. It was found that the waste generated from the drinking water production process consisted of sediment, algae, chlorine, odor, and compounds such as hardness, lead, iron, manganese, fluoride, and chloride, which were important factors that caused waste in the drinking water production process. Therefore, the production process was improved by applying 7 quality control tools (7 QC Tools), techniques for calculating the process potential capability Cp), and the intrinsic capability index of the process (Actual process capability index Cpk) before performing problem analysis with Minitab. Before the improvement of the drinking water production process, the total water solution content exceeded the standard average at 5,889.67 mg/l, the acid-base value exceeded the standard average at 329.00 g/l, and the average waste from sediment was 1.57 cubic meters. After improving the drinking water production process, the average total aqueous solution was 5,794.67 (mg/l), the waste was reduced by 1.64%, the average acid-base was 237.33 g/l, the waste was reduced by 38.63%, the average amount of waste from sediment was 1.45 cubic meters, and waste was reduced by 8.47%. These results were reduced to be under the standards of drinking water in Thailand according to the Department of Medical Sciences, Ministry of Public Health.

Keywords: Process Capability, Control Chart, Statistical Process Control, 7 QC Tools

1. บทนำ

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้กำหนดมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทยโดยให้มีการคัดเลือกแหล่งน้ำ จัดให้มีการกระบวนการผลิตที่มีความเหมาะสม มีการควบคุมคุณภาพ การตรวจติดตาม การพัฒนาสร้างเสริมศักยภาพของผู้ผลิตซึ่งจะเป็นการพัฒนาที่สามารถสร้างความเจริญ สร้างรายได้ และทำให้คุณภาพชีวิตของประชาชนดีขึ้น [1]

โรงงานน้ำดื่มมวคส์สิงห์ จังหวัดลำปาง เป็นโรงงานน้ำดื่มในชุมชนมีกำลังการผลิตประมาณ 363,990 มิลลิลิตรต่อวัน มีการตรวจสอบคุณภาพของ น้ำดื่มโดยใช้เครื่องมือตรวจสอบ 2 ชนิด ได้แก่ TDS Meter (Total dissolved solids) เพื่อตรวจสอบวัดค่าปริมาณของแข็ง สารอนินทรีย์และอินทรีย์ทั้งหมด ชุดทดสอบค่ากรด-เบส เพื่อหาความเป็นกรด-เบสของน้ำดื่ม และการตรวจสอบขั้นตอนสุดท้าย คือ การตรวจสอบด้วยสายตาโดยตรง (Direct Visual Examination) เป็นการตรวจสอบเบื้องต้นก่อนที่จะบรรจุลงภาชนะ และผลทดสอบปัจจุบันของรายงานผลการทดสอบน้ำดื่มของโรงงานน้ำดื่มมวคส์สิงห์ ปี 2565 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายงานผลการทดสอบน้ำดื่ม โรงงานน้ำดื่มมวคส์สิงห์ ปี 2565

รายการทดสอบ	ผลการทดสอบ	เกณฑ์กำหนด
ความเป็นกรด-เบส	10.97	6.5-8.5
ปริมาณสารทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	344	ไม่เกิน 500
ความกระด้างหรือแคลเซียมคาร์บอเนต(มิลลิกรัม/ลิตร)	7.0	ไม่เกิน 100
ตะกั่ว (มิลลิกรัม/ลิตร)	น้อยกว่า 0.005	ไม่เกิน 0.05
เหล็ก (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.03	ไม่เกิน 0.3
แมงกานีส (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไม่พบ	ไม่เกิน 0.5
ฟลูออไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.14	ไม่เกิน 0.7
คลอไรด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	36.9	ไม่เกิน 250
ไนเตรตหรือไนเตรเจน (มิลลิกรัม/ลิตร)	ไม่พบ	ไม่เกิน 4.0
Coliform or MPN ต่อ 100 มิลลิลิตร	1.1	น้อยกว่า 2.2
Escherichia Coli ต่อ 100 มิลลิลิตร	ไม่พบ	ไม่พบ
Staphylococcus Aureus* ต่อ 100 มิลลิลิตร	น้อยกว่า 1	ไม่เกิน 100
Salmonella Spp. ต่อ 100 มิลลิลิตร	ไม่พบ	ไม่พบ

นิยามในการวิเคราะห์ของเสียสำหรับการวิจัยนี้ หมายถึง สิ่งแปลกปลอมในกระบวนการผลิตน้ำดื่มอันประกอบด้วยค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด ได้แก่ ตะกอน ตะไคร่น้ำ กลิ่นคลอรีน และสารประกอบ (ความกระด้าง ตะกั่ว เหล็ก แมงกานีส ฟลูออไรด์ คลอไรด์) ตลอดจนค่าความเป็นค่ากรด-เบส ซึ่งปัจจัยที่เป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้อเสียที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำดื่ม

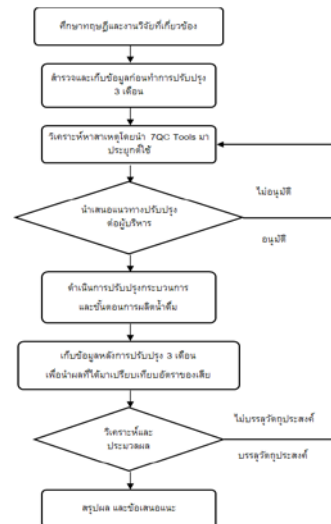
2. วิธีการวิจัย

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดของเสียในกระบวนการผลิตด้วยด้วยการประยุกต์ใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 อย่างนั้น มีหลากหลายงานวิจัยให้ศึกษาเนื่องจากเป็นเครื่องมือที่สามารถนำมาแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การลดของเสียจากกระบวนการผลิตปะคำทองแดง ใช้เครื่องมือใบตรวจสอบ (Check Sheet) แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram) และแผนภูมิกราฟ (Graph) มาวิเคราะห์กระบวนการทำให้ทราบถึงปัญหาและสาเหตุหลักของชิ้นงานแตกกร้าว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการลดของเสียกระบวนการผลิตคือ ของเสียในกระบวนการผลิตมีจำนวน

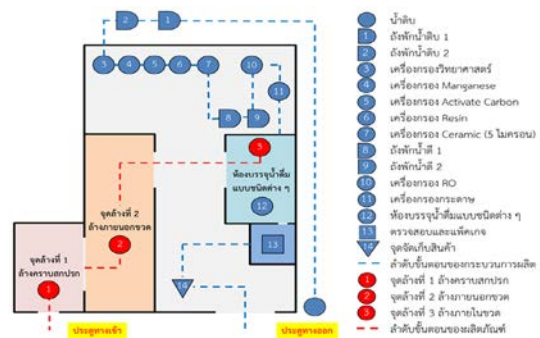
ลดลง [2] ในการพิสูจน์สมมติฐานหาสาเหตุรากเหง้าของปัญหา เครื่องมือแผนผังก้างปลา (Fishbone diagram) ใช้ระบุปัจจัยหลักที่เป็นต้นเหตุของปัญหาหรือการเกิดของเสียเพื่อระบุสาเหตุที่เป็นไปได้ในแต่ละประเภท หลังจากนั้นทำการพิสูจน์สมมติฐานสาเหตุที่เป็นไปได้ทั้งหมดและตรวจสอบปัจจัยการควบคุม [3] แผนภูมิควบคุม I-MR Chart เป็นแนวทางในการควบคุมกระบวนการผลิตให้เป็นไปตามเป้าหมายหากมีการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดความผิดปกติเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทำให้สามารถดำเนินการแก้ไข ปรับปรุงกระบวนการ วิธีการทำงาน เพื่อให้สามารถกลับสู่สภาวะปกติได้เร็วที่สุด [4] การวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการและระบบการวัดซึ่งมีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบระดับความไม่แน่นอนหรือความผันแปรของกระบวนการในการผลิต การปรับเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของกระบวนการให้เข้าใกล้เพียงค่าเป้าหมายมากที่สุดและจำเป็นต้องทำการลดความผันแปรในกระบวนการและความเชื่อถือจะส่งผลให้ขบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม [5]

2.2 ขั้นตอนการดำเนินวิธีการวิจัย



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินวิธีการวิจัย

2.3 ขั้นตอนกระบวนการผลิต



รูปที่ 2 แผนผังภายในโรงงาน

3. ผลงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์ปัญหาของเสีย ด้วยเครื่องมือแผนภาพเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

ขั้นตอนการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดของเสีย ทำได้ดังนี้กำหนดปัญหาของการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่ม โดยให้ปัญหาอยู่ในช่องสี่เหลี่ยมด้านขวามือแล้วลาก ลูกศรชี้มาที่ผล ระดมสมองกับพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่ในกระบวนการผลิตเพื่อหาสาเหตุที่น่าจะเป็นไปได้ โดยวิเคราะห์จาก 5 ปัจจัยหลัก คือ คน (Man) เครื่องจักร (Machine) กระบวนการ (Method) วัสดุุดิบ (Material) เครื่องมือวัด (Measurement) เลือกสาเหตุรองที่สำคัญที่สุด 1 สาเหตุ จนนำไปสู่สาเหตุย่อยของสาเหตุรองนั้นๆ เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและทำการปรับปรุง โดยจะแบ่งของเสียออกเป็น 3 ประเภท โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพในการระบุสาเหตุที่มีผล (Cause and Effect Diagram) ดังรูปที่ 3-5



รูปที่ 3 แผนผังกิ่งปลาแสดงเหตุและผลของปัญหา
ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด



รูปที่ 4 แผนผังกิ่งปลาแสดงเหตุและผลของปัญหาค่ากรด-เบส



รูปที่ 5 แผนผังกิ่งปลาแสดงเหตุและผลของปัญหาของเสียที่เกิดจากปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลของเสียก่อนทำการปรับปรุง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลของเสียก่อนทำการปรับปรุง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ทำให้กระบวนการผลิตเกิดของเสีย นับตั้งแต่เดือนมิถุนายน-สิงหาคม 2565 ระยะเวลา 3 เดือน จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทั้ง 3 ประเภท ดังตารางที่ 2-4 จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุงในแต่ละเดือน

ตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด

วันที่ / เดือน / ปี	ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด (มก./ลิตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด (มก./ลิตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด (มก./ลิตร)
1-มิ.ย.-65	187	1-ก.ค.-65	230	1-ส.ค.-65	203
2-มิ.ย.-65	181	2-ก.ค.-65	187	2-ส.ค.-65	199
3-มิ.ย.-65	184	3-ก.ค.-65	182	3-ส.ค.-65	183
4-มิ.ย.-65	181	4-ก.ค.-65	207	4-ส.ค.-65	191
5-มิ.ย.-65	186	5-ก.ค.-65	207	5-ส.ค.-65	196
29-มิ.ย.-65	188	30-ก.ค.-65	208	30-ส.ค.-65	215
30-มิ.ย.-65	180	31-ก.ค.-65	188	31-ส.ค.-65	199
ผลรวม	5746	ผลรวม	5969	ผลรวม	5954
ค่าเฉลี่ย	191.53	ค่าเฉลี่ย	198.9667	ค่าเฉลี่ย	198.4667

ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลค่ากรด-เบส

วันที่ / เดือน / ปี	ค่ากรด-เบส (กรัม/ลิตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ค่ากรด-เบส (กรัม/ลิตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ค่ากรด-เบส (กรัม/ลิตร)
1-มิ.ย.-65	12	1-ก.ค.-65	10	1-ส.ค.-65	12
2-มิ.ย.-65	12	2-ก.ค.-65	12	2-ส.ค.-65	10
3-มิ.ย.-65	12	3-ก.ค.-65	11	3-ส.ค.-65	12
4-มิ.ย.-65	12	4-ก.ค.-65	10	4-ส.ค.-65	11
5-มิ.ย.-65	12	5-ก.ค.-65	12	5-ส.ค.-65	10
29-มิ.ย.-65	12	30-ก.ค.-65	12	30-ส.ค.-65	12
30-มิ.ย.-65	10	31-ก.ค.-65	11	31-ส.ค.-65	11
ผลรวม	335	ผลรวม	321	ผลรวม	331
ค่าเฉลี่ย	11.16	ค่าเฉลี่ย	10.7	ค่าเฉลี่ย	11.03

ตารางที่ 4 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน

วันที่ / เดือน / ปี	ปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)
1-มิ.ย.-65	0.0258	1-ก.ค.-65	0.0762	1-ส.ค.-65	0.0387
2-มิ.ย.-65	0.0214	2-ก.ค.-65	0.0695	2-ส.ค.-65	0.0905
3-มิ.ย.-65	0.0033	3-ก.ค.-65	0.0266	3-ส.ค.-65	0.0572
4-มิ.ย.-65	0.0355	4-ก.ค.-65	0.0174	4-ส.ค.-65	0.0391
5-มิ.ย.-65	0.0341	5-ก.ค.-65	0.065	5-ส.ค.-65	0.0092
29-มิ.ย.-65	0.0869	30-ก.ค.-65	0.1093	30-ส.ค.-65	0.0858
30-มิ.ย.-65	0.0548	31-ก.ค.-65	0.0867	31-ส.ค.-65	0.0072
ผลรวม	1.5173	ผลรวม	1.3634	ผลรวม	1.8226
ค่าเฉลี่ย	0.0506	ค่าเฉลี่ย	0.0454	ค่าเฉลี่ย	0.0608

3.2.1 วิเคราะห์ปัญหาก่อนปรับปรุงด้วยเครื่องมือแผนภูมิควบคุม

I-MR Chart

แผนภูมิควบคุมต่อเนื่องและการเคลื่อนที่ I-MR Chart นำมาใช้ในกรณี ที่ การเก็บข้อมูลสามารถทำได้เพียงหนึ่งค่าต่อหน่วยผลิต (n=1) การแสดง ค่าของข้อมูลจึงจำเป็นต้องแสดงด้วยค่าจริงที่เกิดขึ้นตามเวลาที่เปลี่ยนไป

หลังจากที่ทราบถึงสาเหตุและปริมาณที่ทำให้ผลิตภัณฑ์น้ำดื่มเกิดของ เสียในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลจำนวน 90 วัน นับตั้งแต่ มิถุนายน-สิงหาคม 2565 นำมาวิเคราะห์และเฝ้าติดตามกระบวนการผลิต ผ่านเครื่องมือควบคุมคุณภาพแผนภูมิควบคุม I-MR Chart ในส่วนของ แผนภูมิควบคุม I Chart สูตรการคำนวณ (1-3) จะวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของ กลุ่มข้อมูลตัวอย่าง และแผนภูมิควบคุม MR Chart ดังสูตรการคำนวณ (4- 6) จะวิเคราะห์ค่าพิสัยเคลื่อนที่ของกลุ่มข้อมูลตัวอย่าง และยังทำให้ทราบ ว่ากระบวนการผลิตมีความผันแปรที่เกิดขึ้นเป็นไปแบบปกติอย่างสุ่ม หรือ ความผันแปรมีความผิดปกติจากสาเหตุที่ไม่ปกติ โดยสาเหตุที่ทำให้ กระบวนการผลิตเกิดของเสีย

สูตรการคำนวณ I Chart

$$UCL_x = \bar{X} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (1)$$

$$CL_x = \bar{X} \quad (2)$$

$$LCL_x = \bar{X} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3)$$

สูตรการคำนวณ MR Chart

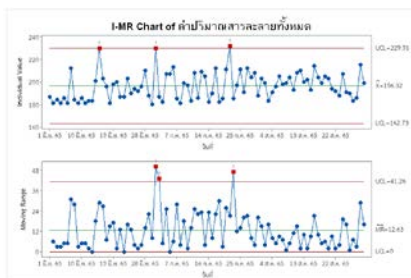
$$UCL_{MR} = D_4 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (4)$$

$$CL_{MR} = \overline{MR} \quad (5)$$

$$LCL_{MR} = D_3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (6)$$

โดยที่ Central Line, CL คือเส้นกึ่งกลาง Upper Central Limit, UCL คือเส้นพิกัดควบคุมบน Lower Central Limit, LCL คือเส้นพิกัดควบคุม ล่าง \bar{X} คือค่าเฉลี่ย \overline{MR} คือค่าเฉลี่ยของค่าพิสัย d_2 คือค่าความผันแปร $n = 2, D_4 = 0, D_3 = 3.267$

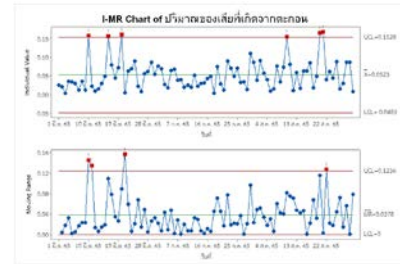
ข้อมูลของค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดก่อนปรับปรุง นับตั้งแต่ เดือน มิถุนายน-สิงหาคม 2565 นำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ผ่าน เครื่องมือการควบคุมคุณภาพ แผนภูมิควบคุม I-MR Chart ดังรูปที่ 9-11



รูปที่ 9 แผนภูมิควบคุม I-MR Chart ของค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด



รูปที่ 10 แผนภูมิควบคุม I-MR Chart ของค่ากรด-เบส



รูปที่ 11 แผนภูมิควบคุม I-MR Chart ของปริมาณของเสียจากตะกอน

จากรูปที่ 9-11 แผนภูมิควบคุม I-MR Chart ในการควบคุมของเสียที่ เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทั้ง 3 ประเภท ขบวนการผลิตนั้นอยู่นอกการ ควบคุม (out of control)

3.2.2 วิเคราะห์ปัญหาก่อนปรับปรุงด้วยการวิเคราะห์ ความสามารถกระบวนการ

ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ดัชนีที่วัดศักยภาพของความสามารถ (Potential Capability Cp) ดังสูตรการคำนวณ (7-9) และดัชนีที่วัด ความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการ (Actual Capability Cpk) ดังสูตร การคำนวณ (10) โดยที่จะใช้ค่า Cp ตัดสินกระบวนการว่ามีความสามารถ เพียงใดได้ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขบางประการ คือเมื่อค่าเฉลี่ยของการ แปรผันตามธรรมชาติของกระบวนการอยู่ที่กึ่งกลางของช่วงมาตรฐานของ ข้อกำหนด [6] ในขณะที่สามารถใช้ค่า Cpk ตัดสินกระบวนการได้โดยไม่ต้อง จำเป็นที่ค่าเฉลี่ยของความแปรผันดังกล่าวต้องอยู่ที่กึ่งกลางของช่วง มาตรฐานของข้อกำหนด นำมาวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของโดย โปรแกรม Minitab ดังตารางที่ 5 และแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ประกอบด้วย ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดเกินเกณฑ์ที่กำหนด ค่า กรด-เบสเกินเกณฑ์มาตรฐาน และปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน ดัง ตารางที่ 6 และผลการวิเคราะห์ได้ดังรูปที่ 12-14

สูตรการคำนวณ Cp, Cpk

$$Cp = \frac{(USL - LSL)}{6\hat{\sigma}} \quad (7)$$

$$CpU = \frac{(USL - \bar{X})}{3\hat{\sigma}} \quad (8)$$

$$CpL = \frac{(\bar{X} - LSL)}{3\hat{\sigma}} \quad (9)$$

$$Cpk = \min(CpU, CpL) \quad (10)$$

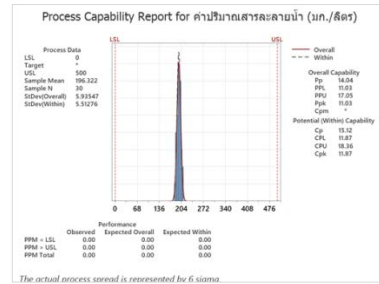
โดยที่ Process potential capability, C_p คือดัชนีชี้วัดศักยภาพของ
ความสามารถของกระบวนการ Actual process capability index, C_{pk} คือ
ดัชนีวัดความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการ

ตารางที่ 5 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณสารละลายน้ำ
ค่ากรด-เบส และปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนก่อนปรับปรุง

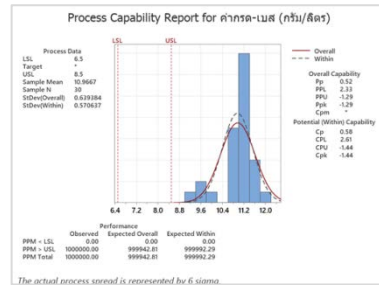
วันที่	ค่าปริมาณสารละลาย น้ำ (มก./ลิตร)	ค่ากรด-เบส (กรัม/ ลิตร)	ปริมาณของเสียที่เกิด จากตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)
1	206.67	11.33	0.25
2	189.00	11.33	0.38
3	183.00	11.67	0.41
4	193.00	11.00	0.34
5	196.33	11.33	0.25
30	203.67	12.00	0.27
31	189.00	10.67	0.40
SUM	5889.67	329.00	11.49
X bar	196.32	10.97	0.38
Max	209.33	12.00	0.56
Min	183.00	9.33	0.25
R	26.33	2.67	0.32
SD	5.84	0.63	0.07
3SD	17.51	1.89	0.20
6SD	35.01	3.77	0.41
USL	500.00	8.50	0.10
LSL	0.00	6.50	0.03
C_p	15.12	0.58	0.22
C_{pl}	11.87	2.61	1.98
C_{pu}	18.36	-1.44	-1.54
C_{pk}	11.87	-1.44	-1.54

ตารางที่ 6 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าปริมาณ
สารละลายน้ำ ค่ากรด-เบส และปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนก่อน
ปรับปรุง

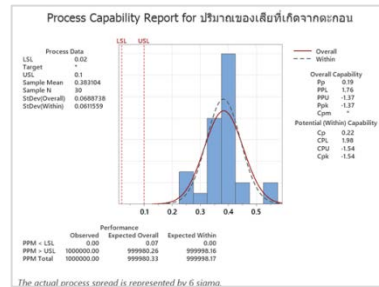
วันที่	ค่าปริมาณสารละลายน้ำ (มก./ลิตร)	ค่ากรด-เบส (กรัม/ ลิตร)	ปริมาณของเสียที่เกิดจาก ตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)
1	17.27	0.10	0.00
2	14.78	0.01	0.00
3	42.11	0.02	0.00
4	46.54	0.00	0.00
5	51.20	0.08	0.00
30	1.39	0.02	0.00
31	83.82	0.00	0.00
SUM	1062.39	1.15	0.00
SUM/n-1	36.63	0.04	0.00
SQRT	6.05	0.20	0.01



รูปที่ 12 ดัชนีชี้วัดความสามารถกระบวนการของสารละลายน้ำทั้งหมด



รูปที่ 13 ดัชนีชี้วัดความสามารถกระบวนการของค่ากรด-เบส



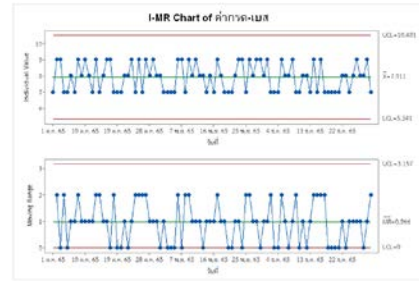
รูปที่ 14 ดัชนีชี้วัดความสามารถกระบวนการของเสียที่เกิดจากตะกอน

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลของเสียของโรงงานน้ำดื่มวงค์สิงห์หลังทำการ ปรับปรุง

ในการวิเคราะห์ข้อมูลของเสียหลังทำการปรับปรุง ผู้วิจัยได้ทำการเก็บ
รวบรวมข้อมูลที่ทำให้กระบวนการผลิตเกิดของเสีย นับตั้งแต่เดือน
ตุลาคม-ธันวาคม 2565 ระยะเวลา 3 เดือน จากการเก็บรวบรวมข้อมูล
พบว่าของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตทั้ง 3 ประเภท ดังตารางที่ 7-9
และรูปที่ 15-17

ตารางที่ 7 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด หลังปรับปรุง

วันที่ / เดือน / ปี	ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด (มก./ลิตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด (มก./ลิตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด (มก./ลิตร)
1-ต.ค.-65	8	1-พ.ย.-65	180	1-ธ.ค.-65	187
2-ต.ค.-65	8	2-พ.ย.-65	208	2-ธ.ค.-65	181
3-ต.ค.-65	8	3-พ.ย.-65	181	3-ธ.ค.-65	184
4-ต.ค.-65	7	4-พ.ย.-65	192	4-ธ.ค.-65	181
5-ต.ค.-65	8	5-พ.ย.-65	181	5-ธ.ค.-65	186
30-ต.ค.-65	180	29-พ.ย.-65	197	30-ธ.ค.-65	206
31-ต.ค.-65	189	30-พ.ย.-65	183	31-ธ.ค.-65	180
ผลรวม	5905	ผลรวม	5795	ผลรวม	5684
ค่าเฉลี่ย	196.83	ค่าเฉลี่ย	193.16	ค่าเฉลี่ย	189.46



รูปที่ 16 แผนภูมิควบคุม I-MR Chart ของกรด-เบส

ตารางที่ 8 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลค่ากรด-เบสหลังปรับปรุง

วันที่ / เดือน / ปี	ค่ากรด-เบส (กรัม/ลิตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ค่ากรด-เบส (กรัม/ลิตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ค่ากรด-เบส (กรัม/ลิตร)
1-ต.ค.-65	8	1-พ.ย.-65	7	1-ธ.ค.-65	8
2-ต.ค.-65	8	2-พ.ย.-65	8	2-ธ.ค.-65	7
3-ต.ค.-65	8	3-พ.ย.-65	8	3-ธ.ค.-65	8
4-ต.ค.-65	7	4-พ.ย.-65	8	4-ธ.ค.-65	8
5-ต.ค.-65	8	5-พ.ย.-65	8	5-ธ.ค.-65	7
30-ต.ค.-65	8	29-พ.ย.-65	8	30-ธ.ค.-65	8
31-ต.ค.-65	8	30-พ.ย.-65	7	31-ธ.ค.-65	8
ผลรวม	227	ผลรวม	224.78	ผลรวม	222
ค่าเฉลี่ย	7.56	ค่าเฉลี่ย	7.49	ค่าเฉลี่ย	7.4



รูปที่ 17 แผนภูมิควบคุม I-MR Chart ของปริมาณของเสียจากตะกอน

จากรูปที่ 15-17 แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงด้วยเครื่องมือแผนภูมิควบคุม I-MR Chart ในการควบคุมของเสีย สามารถแก้ปัญหาให้อยู่ภายใต้การควบคุมของกระบวนการ

ตารางที่ 9 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนหลังปรับปรุง

วันที่ / เดือน / ปี	ปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)	วันที่ / เดือน / ปี	ปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)
1-ต.ค.-65	0.0387	1-พ.ย.-65	0.0312	1-ธ.ค.-65	0.0739
2-ต.ค.-65	0.0513	2-พ.ย.-65	0.068	2-ธ.ค.-65	0.0401
3-ต.ค.-65	0.0617	3-พ.ย.-65	0.0266	3-ธ.ค.-65	0.0259
4-ต.ค.-65	0.0532	4-พ.ย.-65	0.037	4-ธ.ค.-65	0.0538
5-ต.ค.-65	0.0428	5-พ.ย.-65	0.061	5-ธ.ค.-65	0.0444
30-ต.ค.-65	0.0364	29-พ.ย.-65	0.044	30-ธ.ค.-65	0.0357
31-ต.ค.-65	0.0562	30-พ.ย.-65	0.046	31-ธ.ค.-65	0.0444
ผลรวม	1.5099	ผลรวม	1.4221	ผลรวม	1.4041
ค่าเฉลี่ย	0.0503	ค่าเฉลี่ย	0.0474	ค่าเฉลี่ย	0.0468

3.3.2 วิเคราะห์ปัญหาหลังปรับปรุงด้วยการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ

ดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ดัชนีที่วัดศักยภาพของความสามารถ (Potential Capability Cp) และดัชนีที่วัดความสามารถที่แท้จริงของกระบวนการ (Actual Capability Cpk) นำมาหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์ค่าดัชนีชี้วัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index) ในโปรแกรม Minitab โดยวัดความสามารถของกระบวนการ ดังตารางที่ 10 รูปที่ 18-20 และแสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 10 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณสารละลายน้ำ ค่ากรด-เบส และปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนหลังปรับปรุง

3.3.1 วิเคราะห์ปัญหาหลังปรับปรุงด้วยเครื่องมือแผนภูมิควบคุม I-MR Chart



รูปที่ 15 แผนภูมิควบคุม I-MR Chart ของปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด

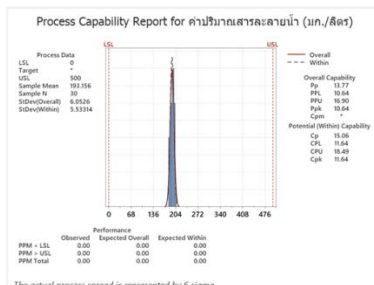
วันที่	ค่าปริมาณสารละลายน้ำ (มก./ลิตร)	ค่ากรด-เบส (กรัม/ลิตร)	ปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)
1	189	7.17	0.05
2	197	7.57	0.05
3	186.67	7.65	0.04
4	186.33	7.56	0.05
5	186	7.78	0.05
30	194.33	7.64	0.04
31	184	7.46	0.05
SUM	5794.67	224.78	1.45

ตารางที่ 10 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณสารละลาย
น้ำ คาร์บ-เบส และปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนหลังปรับปรุง (ต่อ)

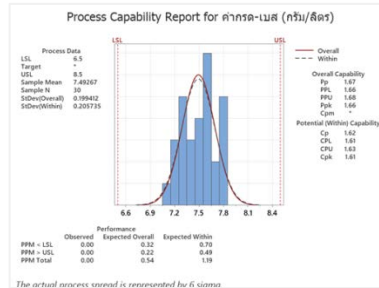
วันที่	ค่าปริมาณสารละลายน้ำ (มก./ลิตร)	ค่าคาร์บ-เบส (กรัม/ลิตร)	ปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)
X bar	193.16	7.49	0.05
Max	205.33	7.84	0.07
Min	182.33	7.11	0.04
R	23	0.73	0.03
SD	5.95	0.2	0.01
3SD	17.85	0.59	0.02
6SD	35.71	1.18	0.05
USL	500	8.5	0.1
LSL	0	6.5	0.03
Cp	15.06	1.62	1.94
Cpl	11.64	1.61	1.36
Cpu	18.49	1.63	2.51
Cpk	11.64	1.61	1.36

ตารางที่ 11 ตัวอย่างตารางแสดงข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่า
ปริมาณสารละลายน้ำ คาร์บ-เบส และปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน
หลังปรับปรุง

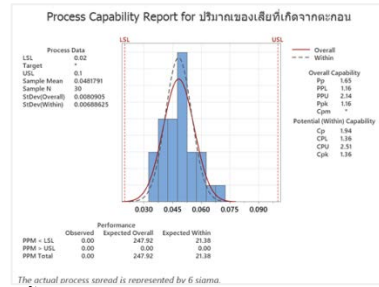
วันที่	ค่าปริมาณสารละลายน้ำ (มก./ลิตร)	ค่าคาร์บ-เบส (กรัม/ลิตร)	ปริมาณของเสียที่เกิดจาก ตะกอน (ลูกบาศก์เมตร)
1	17.27	0.1	0
2	14.78	0.01	0
3	42.11	0.02	0
4	46.54	0	0
5	51.2	0.08	0
30	1.39	0.02	0
31	83.82	0	0
SUM	1062.39	1.15	0
SUM/n-1	36.63	0.04	0
SQRT	6.05	0.2	0.01



รูปที่ 18 ดัชนีชี้วัดความสามารถกระบวนการของสารละลายน้ำทั้งหมด



รูปที่ 19 ดัชนีชี้วัดความสามารถกระบวนการของคาร์บ-เบส



รูปที่ 20 ดัชนีชี้วัดความสามารถกระบวนการของเสียที่เกิดจากตะกอน

4. สรุป

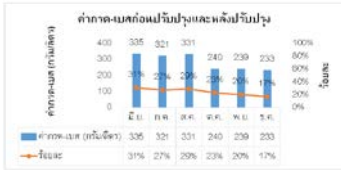
4.1 การเปรียบเทียบข้อมูลของเสียก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง ด้วยเครื่องมือแผนภูมิควบคุม I-MR Chart

ระยะเวลาที่ได้ดำเนินงานในงานวิจัยก่อนการปรับปรุงเป็นระยะเวลา
เดือน 3 นับตั้งแต่เดือน มิถุนายน-สิงหาคม 2565 และหลังการปรับปรุง
ระยะเวลา 3 เดือน นับตั้งแต่เดือน ตุลาคม-ธันวาคม 2565 ดังรูปที่ 21-23



รูปที่ 21 กราฟแสดงข้อมูลการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนและหลัง
การปรับปรุงของค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดก่อน
การปรับปรุง และหลังการปรับปรุง พบว่าหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ย
เท่ากับ 5,889.87 มิลลิกรัม/ลิตร และหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ
5,794.87 มิลลิกรัม/ลิตร แนวทางดำเนินการแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพ
สามารถลดค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดลดลง 1.84%



รูปที่ 22 กราฟแสดงข้อมูลการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงของค่ากรด-เบส

จากกราฟการเปรียบเทียบค่ากรด-เบส ก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง พบว่าหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยของ ค่ากรด-เบสลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง โดยก่อนการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 329.00 กรัม/ลิตร และหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 237.33 กรัม/ลิตร แนวทางดำเนินการแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพสามารถลดค่ากรด-เบสลดลง 38.83%



รูปที่ 23 กราฟแสดงข้อมูลการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียก่อนและหลังการปรับปรุงของปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน

จากกราฟแสดงการเปรียบเทียบปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน ก่อนการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง พบว่าหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยของปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน ลดลงเมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง โดยก่อนการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 ลูกบาศก์เมตร และหลังการปรับปรุงมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1.45 ลูกบาศก์เมตร แนวทางดำเนินการแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพสามารถลดปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนลดลง 4.90%

4.2 การเปรียบเทียบข้อมูลของเสียก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงด้วยการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ

จากผลการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปการวิเคราะห์ความสามารถกระบวนการ (Capability Analysis) ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง ได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบความสามารถกระบวนการก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

	ค่า Cp ก่อนปรับปรุง	ค่า Cp หลังปรับปรุง	ค่า Cpk ก่อนปรับปรุง	ค่า Cpk หลังปรับปรุง
ค่าเฉลี่ยของค่ากรด-เบส (ก./ล.)	0.58	1.62	-1.44	1.61
ค่าเฉลี่ยปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	15.12	15.06	11.87	11.64
ค่าเฉลี่ยปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลบ.ม.)	0.22	1.94	-1.54	1.36

จากตารางสามารถประเมินความสามารถกระบวนการหลังปรับปรุงได้ดังนี้ การวิเคราะห์อัตราส่วนความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Ratio Cp) ค่าเฉลี่ยของค่ากรด-เบส หลังปรับปรุงมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.58 เป็น 1.62 จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี และค่าเฉลี่ยของปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน หลังปรับปรุงมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 0.22 เป็น 1.94 จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดีมาก และค่าของเสียของทั้งสองมีความผันแปรอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ (Acceptable) หมายความว่า มีการกระจายตัวของข้อมูลกับช่วงความกว้างค่าเผื่อ (Tolerance Width) และเมื่อวิเคราะห์ดัชนีวัดความสามารถของกระบวนการ (Process Capability Index Cpk) ค่าเฉลี่ยของค่ากรด-เบส หลังปรับปรุงมีค่าเพิ่มขึ้นจาก -1.44 เป็น 1.61 จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความสามารถ และค่าเฉลี่ยของปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน หลังปรับปรุงมีค่าเพิ่มขึ้นจาก -1.54 เป็น 1.36 จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่มีความสามารถ ซึ่งค่าของเสียของทั้งสองมีการปรับปรุงกระบวนการที่ดีขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด หลังปรับปรุงค่า Cp ลดลงเท่ากับ 15.60 และ ค่า Cpk ลดลงเท่ากับ 11.64 (ค่า Cp, Cpk ของค่าเฉลี่ยปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด เป็นการวิเคราะห์ของเสียทั้งหมด ไม่ได้จำแนกของเสียแต่ละชนิด) จัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ดี เนื่องจากหลังปรับปรุงค่า Cp, Cpk ลดลงจากเดิมก่อนปรับปรุง

4.3 สรุปภาพรวมการลดของเสียในกระบวนการผลิตก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

จากการเปรียบเทียบข้อมูลค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด ค่ากรด-เบสและปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนทั้งก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง สามารถสรุปเป็นภาพรวมค่าเฉลี่ยของเสียได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเสียที่ลดลงจากระบวนการก่อนและหลังปรับปรุง

	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ของเสียลดลง
ค่าเฉลี่ยของค่ากรด-เบส (ก./ล.)	329.00	237.33	38.83%
ค่าเฉลี่ยปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด (มก./ล.)	5,889.87	5,794.87	1.84%
ค่าเฉลี่ยปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอน (ลบ.ม.)	1.57	1.45	8.47%

จากตารางกระบวนการผลิตน้ำดื่มหลังปรับปรุงค่ากรด-เบส ลดลงได้มากที่สุด 38.63% รองลงมาคือค่าปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมดลดลงได้ 8.47% และปริมาณของเสียที่เกิดจากตะกอนเฉลี่ยลดลงได้ 1.64% ตามลำดับ

5. ข้อเสนอแนะ

ควรมีการสุ่มตรวจสอบน้ำดื่มที่ทำการบรรจุภัณฑ์แล้ว ด้วยวิธีการการชักตัวอย่างเพื่อการยอมรับ โดยการจัดรุ่นสินค้าหรือขนาดของบรรจุภัณฑ์เพื่อการชักตัวอย่าง วิธีการชักตัวอย่างแบบสุ่ม ทำได้โดยกำหนดหมายเลขกำกับสินค้าแต่ละชั้นในรุ่นสินค้า ตั้งแต่ 1, 2, ..., N สร้างตัวเลขสุ่มจำนวน n ตัว จากตารางเลขสุ่ม เมื่อ n เป็นจำนวนตัวอย่างที่จะต้องชักขึ้นจากรุ่นสินค้า ค่าของตัวเลขสุ่มที่ได้จะกำหนดสินค้าชั้นที่จะต้องตรวจสอบ จะส่งผลถึงประสิทธิภาพในการใช้แผนการชักตัวอย่างเพื่อการยอมรับ และลดความคลาดเคลื่อนอันเกิดจากการตรวจสอบได้มากกว่า การพัฒนาแผนชักตัวอย่างเพื่อการยอมรับนี้ต้องอาศัยเวลา รวมถึงการจัดบันทึกผลการชัก

ตัวอย่างของรุ่นต่างๆ ตลอดจนจำเป็นที่จะฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้และความเข้าใจในการใช้เครื่องมือตรวจวัดเพื่อวิเคราะห์ของเสียที่อาจเกิดขึ้นอีกในอนาคต และแนวทางวิธีแก้ไขอย่างเป็นรูปธรรม โดยการจัดให้มีการตรวจวัดของเสียในทุกๆ วัน ด้วยวิธีการสุ่มตรวจสอบและบันทึกผลไว้เป็นข้อมูลเชิงสถิติ พนักงานสามารถกรอกข้อมูลที่แท้จริงลงในโปรแกรม Minitab ข้อมูลที่ได้จะนำค่าที่ได้เทียบกับเกณฑ์มาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย ที่กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้กำหนดไว้ และหาแนวทางป้องกันการเกิดของเสียที่จะเกิดขึ้นซ้ำด้วยวิธีการควบคุมคุณภาพเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่สนับสนุนทุนดำเนินงานวิจัยงบประมาณแผ่นดินประจำปี พ.ศ.2566 สำหรับงานวิจัยด้านวิศวกรรมศาสตร์ เพื่อสร้างความก้าวหน้าทางวิชาการ และขอขอบคุณโรงงานน้ำดื่มวงศ์สิงห์ ที่อนุเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุขุม กาญจนพิมาย, คู่มือมาตรฐานน้ำดื่มประเทศไทย กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, 2562
- [2] วรพงษ์ สีจำปา, การลดของเสียจากกระบวนการผลิตปะคำทองแดง กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องประดับ, สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยสยาม, 2561, 26-38.
- [3] อรรถพล อรุณรัตน์, การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวด กรณีศึกษา โรงงานผลิตน้ำดื่ม, สารนิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2564, 35.
- [4] วันชาติ แก้วยีนดี, การลดปริมาณตำหนิจากกระบวนการย้อมและตกแต่งสำเร็จในโรงงานตัวอย่างโดยหลักการ DMAIC, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2562.
- [5] สุรพงศ์ บางพาน, “ความสามารถกระบวนการของการตัดชิ้นทดสอบความแข็งโดยประยุกต์เทคนิคเชิงสถิติ.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, Engng.J.CMU. 2016, 23(2), 67-78.
- [6] เพ็ญรักข์ แดงประเสริฐ, ความสามารถของกระบวนการ (Process Capability), กลุ่มวิชาเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต, 2558.

การปรับปรุงคุณภาพรอยเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ลวดร้อน Improvement of Weld Quality for Carbon Steel by Hot-wire Based Flux-cored Arc Welding Process

วันนธร ภัทร์จันท์¹ พชรพล ศิลาคูปต์² อรรถพล แก้ววิลัย^{1*}

¹ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
โรงเรียนเตรียมวิศวกรรมศาสตร์ ไทย-เยอรมัน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: attaphon.k@cit.kmutnb.ac.th*

Vananthon Patchan¹, Pocharapon Silakoo², Attaphon Kaewvilai^{1*}

¹ Department of Welding Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

² Thai-German Pre-Engineering School, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

E-mail: attaphon.k@cit.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เสนอถึงกระบวนการเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์แบบลวดร้อน (Hot-wire FCAW) สำหรับเหล็กกล้าคาร์บอน JIS G3101 เกรด SS400 โดยทดสอบการเชื่อมแบบให้ความร้อนลวดเชื่อมที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส และ 250 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบกับผลของการเชื่อมแบบปราศจากการให้ความร้อน จากนั้น ตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยวิธีพินิจและวิธีสารแทรกซึม รวมถึงวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างมหภาค เพื่อประเมินลักษณะรอยเชื่อม คุณภาพรอยเชื่อม ข้อบกพร่อง และอัตราการหลอมละลาย จากผลการวิจัย พบว่า การให้ความร้อนลวดเชื่อมระหว่างการเชื่อม FCAW ทำให้ได้รอยเชื่อมที่มีความกว้างลดลง ความนูน และการหลอมละลายเพิ่มมากขึ้น โดยพบว่าการเชื่อมแบบปราศจากการให้ความร้อน และการให้ความร้อนลวดที่ 150 องศาเซลเซียส นั้นปรากฏข้อบกพร่องประเภทรูพรุนและโพรงหอนที่มีขนาดใหญ่เกินกว่าข้อกำหนดตามมาตรฐานสากล ในส่วนของการเชื่อมโดยให้ความร้อนลวดเชื่อมที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส จะทำให้ได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพปราศจากข้อบกพร่องทั้งบริเวณผิวของรอยเชื่อมและบริเวณด้านในของรอยเชื่อม นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้เสนอถึงผลของการเชื่อมรอยต่อชนแบบไม่บากร่อง SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์แบบลวดร้อน พบว่า งานเชื่อมที่ผ่านกระบวนการดังกล่าวนี้มีการซึมลึกและการหลอมละลายสมบูรณ์ ปราศจากข้อบกพร่อง รอยเชื่อมสามารถต้านทานแรงดึง และทนแรงดึงได้เป็นอย่างดี โดยมีค่าประสิทธิภาพรอยเชื่อมสูงถึง 91% นอกจากนี้ ยังพบว่ารอยเชื่อมต่อชนแบบไม่บากร่องที่ผ่านการเชื่อมฟลักซ์คอร์แบบลวดร้อนนั้นมีคุณภาพ และสมบัติเชิงกลเป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดตามมาตรฐานสากล

คำสำคัญ: กระบวนการเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ ลวดร้อน เหล็กกล้าคาร์บอน

Abstract

This research presented a hot-wire flux-cored arc welding process (Hot-wire FCAW) for carbon steel-based JIS G3101 grade SS400. The hot-wire FCAW was tested at 150 °C and 250 °C and compared with the results of FCAW without heating wire. After that, the obtained welds were inspected by visual and penetrant testing methods including analyzing the macrostructure characteristics to assess weld appearance, weld quality, defects, and dilution rate. From the research results, it was found that the heating of FCAW wire during welding resulted in reduced weld width and increased convexity and dilution. It also found that the FCAW without heating wire and the FCAW with hot wire at 150 °C exhibited porosity and wormhole defects that were larger than the requirements of international standards. In the case of FCAW with hot-wire at 250 °C, the result showed defect-free with quality weld in both on the weld surface and the inside of the weld. In addition, this research also presented the effect of square butt welding of non-groove SS400 by the hot Wire FCAW process. It was found that the welding specimen that went through the process had deep penetration and complete fusion without any defect. The weld could resist bending force and has good tensile strength with a high joint efficiency of 91%. In addition, it was found that the quality of non-groove butt weld obtained by Hot Wire FCAW was good and the mechanical properties meet the requirements according to international standards.

Keywords: Flux-cored Arc Welding Process, Hot-wire, Carbon Steel

1. บทนำ

เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon Steel) เกรด SS400 ตามมาตรฐาน JIS G3101 คือเหล็กรีดร้อน (Hot-Rolled Steel) ที่ออกแบบสำหรับการใช้งานในด้านวิศวกรรมโครงสร้างสำหรับอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ และอุตสาหกรรมเรือ เป็นต้น [1, 2] SS400 มีองค์ประกอบหลักคือเหล็ก คาร์บอน ผสมกับฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ (ไม่เกิน 0.05%) มีสมบัติการรับแรงดึงดีเยี่ยม [1, 2] และสามารถเชื่อมประกอบได้ง่าย (Excellent Weldability) ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะ อาทิเช่น กระบวนการเชื่อมไฟฟ้า (Shielded Metal Arc Welding: SMAW) หรือกระบวนการเชื่อมอาร์คโลหะแก๊สปกคลุม (Gas Metal Arc Welding: GMAW) เป็นต้น [3]

กระบวนการเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ (Flux-cored Arc Welding: FCAW) คือกระบวนการเชื่อมที่พัฒนาจาก SMAW และ GMAW [4] โดยอาศัยหลักการป้องกันลวดเชื่อมใส่ฟลักซ์ (Flux-cored Wire) เข้าสู่เครื่องเชื่อมอาร์คและหัวเชื่อมอย่างต่อเนื่อง สามารถใช้งานได้กับระบบอัตโนมัติหรือหุ่นยนต์ ทำให้การเชื่อม FCAW สามารถดำเนินการได้อย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมอื่นๆ [3, 4] อีกทั้ง FCAW นั้นยังสามารถเลือกลักษณะการปกป้องรอยเชื่อมได้ทั้งแบบใช้แก๊ส (Gas-Shielded FCAW) และไม่ใช้แก๊ส (Self-Shielded FCAW) รวมถึงสามารถปรับพารามิเตอร์การเชื่อมให้มีรูปแบบการถ่ายโอนน้ำโลหะ [3, 4] ที่จำเพาะเหมาะสมกับลักษณะงานเชื่อมในแต่ละประเภท

อย่างไรก็ตาม แม้ว่า FCAW จะมีข้อเด่นมากมาย แต่ FCAW เป็นกระบวนการเชื่อมที่รวดเร็ว รอยเชื่อมมีอัตราการเร็วในการเย็นตัวสูงซึ่งส่งผลให้ความชื้นและแก๊สที่เกิดขึ้นจากฟลักซ์และสภาพแวดล้อมนั้นไม่มีระยะเวลาเพียงพอที่จะแทรกตัวออกจากรอยเชื่อมได้ทั้งหมด ทำให้รอยเชื่อมไม่สมบูรณ์และมีข้อบกพร่องประเภทรูพรุน (Porosity) และโพรงหนอน (Wormhole) เกิดขึ้น [5, 6] ทั้งนี้ สภาวะความร้อนและสภาพความชื้น ($\geq 60\%$) ของการเก็บรักษาลวดเชื่อมยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้รอยเชื่อมปรากฏข้อบกพร่อง โดยพบว่า ลวดเชื่อมที่ผ่านการเก็บรักษาโดยปราศจากการควบคุมความชื้นนั้นมีความเสี่ยงสูงที่ลวดเชื่อมจะเสียสภาพซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพรอยเชื่อม [5, 6]

แนวทางการแก้ปัญหาเรื่องความชื้นและแก๊สที่เกิดขึ้นจากฟลักซ์ของลวดเชื่อมนั้นสามารถทำได้ด้วยวิธีการอบร้อนและการอบรักษาสภาพลวดระหว่างการเชื่อม (Baking and Holding Process) โดยพบว่าผู้ผลิตลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (Covered Flux Electrode) ได้มีข้อเสนอแนะให้ทำการอุ่นลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์บางประเภทก่อนการเชื่อม อาทิเช่น ลวดเชื่อมประเภท E7013 ที่ระบุให้อบร้อนลวดเชื่อมที่อุณหภูมิ 300-350°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง [7] ก่อนการเชื่อม และอบรักษาสภาพลวดระหว่างการเชื่อมที่อุณหภูมิไม่น้อยกว่า 100 °C เป็นต้น [8] ซึ่งวิธีการดังกล่าวสามารถแก้ปัญหาเรื่องข้อบกพร่องประเภทรูพรุนที่เกิดขึ้นได้และยังช่วยเพิ่มความเสถียรของการเชื่อมอาร์คให้ดียิ่งขึ้นได้อีกด้วย แต่อย่างไรก็ตาม การอบลวดด้วยวิธีการข้างต้นนั้นไม่เหมาะสมกับลวดเชื่อมใส่ฟลักซ์ที่มีลักษณะเป็นม้วนซึ่งถูกติดตั้งอย่างซับซ้อนลงในเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบอุปกรณ์ให้ความร้อนสำหรับลวดเชื่อมโลหะแบบม้วน (Heating Chamber for Rolled Filler Wire) ที่สามารถติดตั้งเข้ากับหัวเชื่อมทอร์ชเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจากการอบลวดเชื่อม (ข้อมูลด้านการออกแบบและการผลิตอุปกรณ์ดังกล่าวอยู่ระหว่างการยื่นขอจดอนุสิทธิบัตร) ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงขอเสนอถึงผลของการปรับปรุงคุณภาพรอยเชื่อมเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์แบบลวดร้อน (Hot-Wire FCAW) โดยพิจารณาถึงลักษณะรูปร่างรอยเชื่อม ความสมบูรณ์ที่ผิวรอยเชื่อมและรอยเชื่อมด้านใน การหลอมละลาย นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังเสนอแนวทางการประยุกต์ใช้ผลวิจัยดังกล่าวเพื่อพัฒนากระบวนการเชื่อมรอยต่อชนแบบไม่บากร่องเหล็กกล้าคาร์บอน ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดหวังเป็นอย่างยิ่งว่าความก้าวหน้าจากงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนากระบวนการเชื่อมในอุตสาหกรรมการผลิตประเภทต่างๆ ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นได้ต่อไป

2. การทดลอง

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

เหล็กกล้าคาร์บอน JIS G3101 เกรด SS400 ขนาด 150 x 350 mm ความหนา 3.0 mm จากบริษัทค้าเหล็กไทย ลวดเชื่อมฟลักซ์คอร์ AWS A5.20 E71T-1 [9] (Rutile Flux, Diffusible $H_2 \leq 5$ mL/100 g) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 mm ทั้งนี้ ลวดเชื่อม E71T-1 ที่เก็บภายใต้ความชื้นสัมพัทธ์ $>75\%$ ก่อนการเชื่อมระยะเวลา 3 เดือน ส่วนผสมทางเคมีและสมบัติทางกลแสดงของ SS 400 และลวดเชื่อม E71T-1 แสดงดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของ SS400 และลวดเชื่อม E71T-1 [1, 9]

Materials	% Elemental Composition					
	C	Mn	Si	P	S	Fe
SS400	N/A	N/A	N/A	0.05 max	0.05 max	Bal.
E71T-1	≤ 0.12	≤ 1.75	≤ 0.9	≤ 0.03	≤ 0.03	Bal.

ตารางที่ 2 สมบัติเชิงกลของ SS400 และลวดเชื่อม E71T-1 [1, 9]

Materials	Mechanical Properties		
	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
SS400	245 MPa	400-510 MPa	21%
E71T-1	548 MPa	582 MPa	29%

เครื่องเชื่อมหุ่นยนต์ (Welding Robot) ยี่ห้อ Panasonic รุ่น Active Tawers ใช้สำหรับดำเนินการเชื่อม โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ 100% (CO_2) จากบริษัทศรีราชาแก๊ส เป็นแก๊สปกคลุมรอยเชื่อม เทอร์โมคัปเปิล และเครื่องบันทึกอุณหภูมิจากบริษัทยูนิไทยแลนด์ การตรวจสอบคุณภาพรอยเชื่อมใช้เกจวัดรอยเชื่อมยี่ห้อ Mitutoyo และสารแทรกซึม

บริษัท NABAKEN CNA การพิจารณาผลการหลอมละลายได้ใช้ 5% กรดไนตริกผสมแอลกอฮอล์ จากบริษัทยูสเวลล์ ดีเวลลอปเม้นท์ กัดผิวรอยเชื่อมที่ผ่านการตัดขวาง จากนั้น ทดสอบความแข็งแรงของรอยเชื่อมด้วยแรงดึงและแรงดัดงอโดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal Testing Machine) บริษัทพีเอส อินสตรูเมนต์

2.2 การเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ลวดร้อนและการตรวจสอบรอยเชื่อม

ติดตั้งอุปกรณ์ให้ความร้อนลวดเชื่อมเข้ากับหัวทอร์ชของเครื่องเชื่อมหุ่นยนต์ โดยกำหนดให้หัวเชื่อมทำมุมตั้งฉากมุม 90° (Perpendicular) กับที่จับยึดชิ้นงาน และทดสอบอุณหภูมิที่แท้จริงของลวดเชื่อมก่อนและหลังการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150°C และ 250°C (อ้างอิงจากข้อกำหนดอุณหภูมิการให้ความร้อนที่ชิ้นงานก่อนการเชื่อมและระหว่างการเชื่อมจากผู้ผลิตลวดเชื่อม) ภายใต้อากาศ CO₂ ที่มีอัตราการไหล 20 L/min จากนั้นติดตั้งชิ้นงาน SS400 เข้ากับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน กำหนดระยะยึดของลวดเชื่อม E71T-1 (Wire Extension 10-12 mm) และควบคุมเครื่องเชื่อมหุ่นยนต์เดินแนวเชื่อมเป็นเส้นตรงบนผิวชิ้นงาน (Bead on Plate) ด้วยท่าเชื่อม PA ดังรูปที่ 1 โดยควบคุมพารามิเตอร์การเชื่อมชิ้นงานและค่าความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานแสดงดังตารางที่ 3 ทั้งนี้ กระบวนการเชื่อมได้ดำเนินการด้วยลวด E71T-1 ที่ไม่ผ่านและผ่านการให้ความร้อนก่อนการเชื่อมที่อุณหภูมิ 150°C และ 250°C ซึ่งจะได้อัตราการเชื่อม A B และ C ตามลำดับ

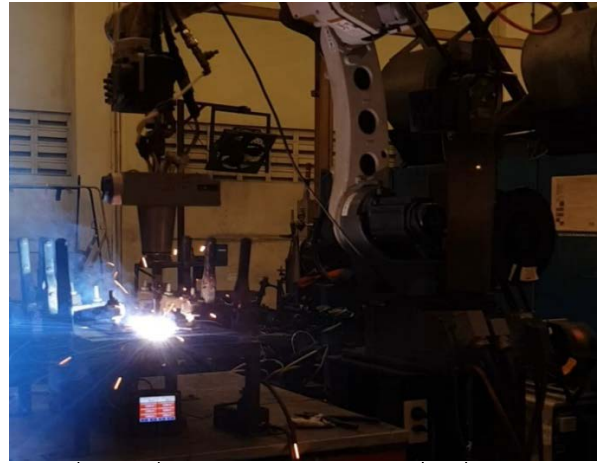
ตารางที่ 3 ข้อมูลการเชื่อมและปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงาน

Current (A)	Volt (V)	Travel Speed (mm/min)	Wire Feed (m/min)	Heat Input (kJ/mm)
160-170	18-19	250	10	0.55-0.62

ทดสอบคุณภาพและข้อบกพร่องของรอยเชื่อมด้วยวิธีพีนิจ (Visual Test: VT) และวิธีทดสอบแบบสารแทรกซึม (Penetrant Test: PT) โดยพิจารณาผลตามมาตรฐาน ISO 23277 [10] จากนั้น ดำเนินการตรวจสอบคุณภาพด้านในรอยเชื่อมโดยพิจารณาจากความสมบูรณ์และข้อบกพร่องที่ปรากฏในรอยเชื่อมตัดขวาง (Cross Section Weld) และคำนวณร้อยละคุณภาพพรอยเชื่อม

2.3 การเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ลวดร้อนสำหรับรอยต่อชนแบบไม่บากร่องเหล็กกล้าคาร์บอนและการทดสอบสมบัติเชิงกล

เตรียมชิ้นงาน SS400 ให้มีลักษณะรอยต่อชนแบบไม่บากร่อง (Squared Butt Joint) ที่มีระยะห่างระหว่างรอยต่อ (Root Opening) 2.0-2.2 mm จากนั้น ดำเนินการให้ความร้อนลวดเชื่อมด้วยอุณหภูมิที่เหมาะสม (อ้างอิงผลการทดลองหัวข้อที่ 2.2) และดำเนินการเชื่อมแบบ 1 แนวเชื่อมด้วยหุ่นยนต์ด้วยพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3 จากนั้น ตรวจสอบด้วย VT โดยการใช้เกจวัดรอยเชื่อมเพื่อพิจารณาระดับความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมตามมาตรฐาน ISO 5817 [11] และตัดชิ้นงานเพื่อทดสอบแรงดึงและการดัดงอตามข้อกำหนดของ Level 1 ตามมาตรฐาน ISO 15614-1 [12]

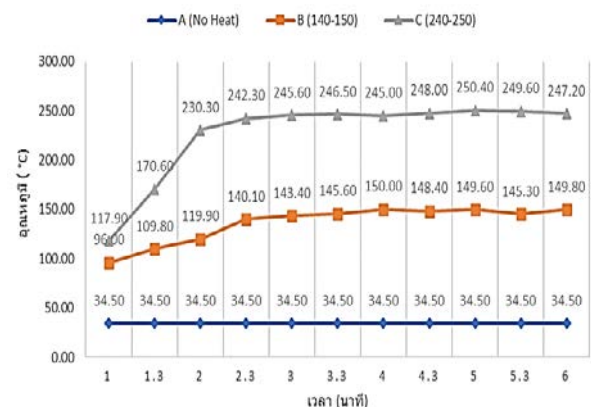


รูปที่ 1 การเชื่อมฟลักซ์คอร์ลวดร้อนด้วยเครื่องเชื่อมหุ่นยนต์

3. ผลการทดลองและการอภิปรายผลการทดลอง

3.1 การเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ลวดร้อนและการตรวจสอบรอยเชื่อม

จากการทดสอบอุณหภูมิบริเวณนอชเชิลของลวดเชื่อมพบว่า ลวดเชื่อมที่ปราศจากการให้ความร้อน (A) มีอุณหภูมิคงที่ที่ 34.50°C เมื่อตั้งแต่อุปกรณ์ให้ความร้อนที่ 150°C (B) พบว่า ช่วง 2.5 นาทีแรก อุณหภูมิของลวดได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 140°C (Rate 19°C/min) และอุณหภูมิต่อๆ เพิ่มขึ้นและคงที่ 150°C ตั้งแต่นาทีที่ 4 ในส่วนของการให้ความร้อนลวดเชื่อมที่ 250°C พบว่า อุณหภูมิของลวดจะเพิ่มขึ้นไปที่ 242°C อย่างรวดเร็วในช่วง 2.5 นาทีแรก (Rate 54°C/min) และอุณหภูมิต่อๆ เพิ่มขึ้นและคงที่ 250°C ตั้งแต่นาทีที่ 5 จากข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่า อุปกรณ์ให้ความร้อนลวดเชื่อมนั้นจะเร่งการให้ความร้อนอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและปรับลดอัตราเร็วลงเมื่ออุณหภูมิเข้าใกล้กับอุณหภูมิที่ตั้งค่าไว้ประมาณ 10°C ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเชื่อมฟลักซ์คอร์ลวดร้อนด้วยเครื่องเชื่อมหุ่นยนต์

จากผลการตรวจสอบด้วยวิธีพีนิจ (VT) พบว่า รอยเชื่อมของชิ้นงาน A B และ C มีขนาดความกว้างโดยเฉลี่ย 7.67 6.86 และ 6.39 mm ตามลำดับ และมีความหนาของแนวเชื่อม 2.23 2.40 และ 2.51 mm ตามลำดับ ชี้ให้เห็นว่าการให้ความร้อนลวดเชื่อมนั้นส่งผลให้ความกว้าง

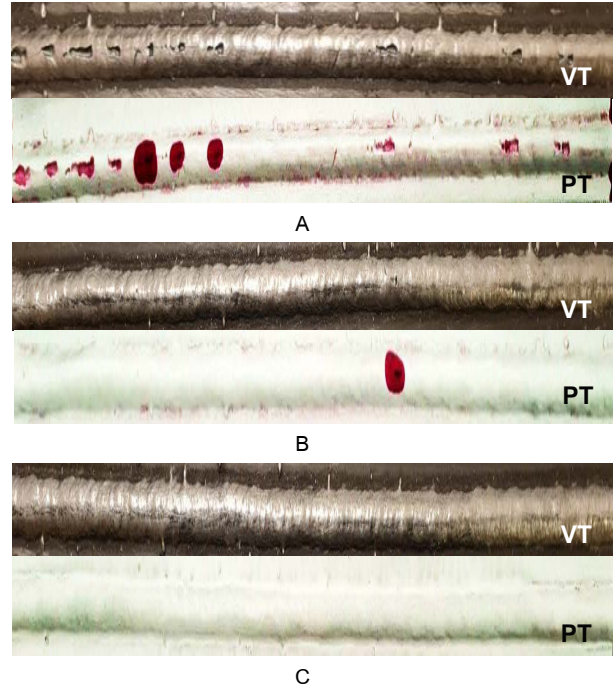
ของรอยเชื่อมบนชิ้นงานนั้นมีแนวโน้มเล็กลงและมีความหนาเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปได้ว่าการให้ความร้อนลวดเชื่อมนั้นส่งผลทำให้สมดุลทางความร้อนของลวดเชื่อมมีค่าสูงขึ้นมากกว่าชิ้นงาน ไอออนและอิเล็กตรอนจากการอาร์คระหว่างลวดเชื่อมและชิ้นงานไหลผ่านได้ดีขึ้น ลวดเชื่อมหลอมละลายและหยุดตัวเป็นน้ำโลหะที่มีขนาดเล็กได้เร็วจึงทำให้รอยเชื่อมมีขนาดความกว้างเล็กลงและมีความหนาเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาความสมบูรณ์ของรอยเชื่อม (รูปที่ 3) พบว่าชิ้นงาน A (ปราศจากการให้ความร้อนลวดเชื่อม) นั้นปรากฏข้อบกพร่องประเภทรูพรุนและโพรงหนอนจำนวนมาก (8.5% Defect Area) ที่มีขนาดข้อบกพร่อง 6-11 mm ซึ่งใหญ่เกินกว่าระดับการยอมรับ (Acceptance Level) ตาม ISO 23277 [10] (รูปที่ 3 A) สำหรับชิ้นงาน B ที่ได้จากการเชื่อม FCAW แบบลวดร้อนที่อุณหภูมิ 150°C พบว่ารอยเชื่อมปรากฏข้อบกพร่อง 1 ตำแหน่ง ขนาด 9 mm (1.2% Defect Area) ซึ่งไม่ผ่านการยอมรับตาม ISO 23277 [10] (รูปที่ 3 B) ในส่วนของชิ้นงาน C ที่ได้จากการเชื่อม FCAW แบบลวดร้อนที่อุณหภูมิ 250°C พบว่ารอยเชื่อมมีความสมบูรณ์ปราศจากข้อบกพร่อง (รูปที่ 3 C) ผ่านตามมาตรฐาน ISO 23277 [10] เมื่อพิจารณาผลโครงสร้างมหภาคจากรอยเชื่อมตัดขวางพบว่า ชิ้นงาน A B และ C ไม่ปรากฏข้อบกพร่องด้านในรอยเชื่อม (รูปที่ 4) ซึ่งให้เห็นว่าการให้ความร้อนระหว่างการเชื่อมสามารถลดการเกิดแก๊สและความชื้นที่ถูกกักไว้ที่บริเวณผิวของรอยเชื่อมให้ลดลงได้ โดยไม่ส่งผลต่อคุณภาพด้านในของรอยเชื่อม

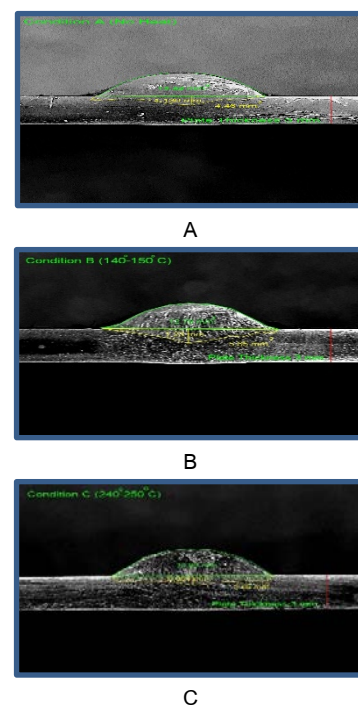
จากผลการวิเคราะห์อัตราการหลอมละลายพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมแบบลวดร้อนชิ้นงาน C (57%) และชิ้นงาน B จะมีอัตราการหลอมละลาย (78%) สูงกว่าชิ้นงาน A (50%) ตามลำดับ จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าการให้ความร้อนลวดเชื่อมนั้นช่วยช่วยลดข้อบกพร่องและปรับปรุงคุณภาพรอยเชื่อมให้ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานสากล ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าการให้ความร้อนลวดเชื่อมนั้นส่งผลให้ความชื้นในฟลักซ์ของลวดเชื่อมลดลง อีกทั้งการให้ความร้อนที่ลวดเชื่อมยังช่วยลดอัตราเร็วในการเย็นตัวของรอยเชื่อม ส่งผลให้แก๊สที่เกิดจากการเชื่อมรวมถึงสแลกสามารถแยกตัวออกจากรอยเชื่อมได้ทัน นอกจากนั้น ยังพบว่าการให้ความร้อนกับลวดเชื่อมยังส่งผลให้การหลอมละลายระหว่างรอยเชื่อมและชิ้นงานมีแนวโน้มดีขึ้น ซึ่งอาจเป็นผลจากอุปกรณ์ให้ความร้อนทำให้แก๊ส CO₂ นั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นและส่งผลต่อศักยภาพการแตกตัวเป็นไอออนและการนำความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้ความร้อนของการอาร์คเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้รอยเชื่อมและชิ้นงานมีการหลอมละลายได้ดียิ่งขึ้น

3.2 การเชื่อมอาร์คฟลักซ์คอร์ลวดร้อนสำหรับรอยต่อชนแบบไม่บากร่องเหล็กกล้าคาร์บอนและการทดสอบสมบัติเชิงกล

การเชื่อมฟลักซ์คอร์ลวดร้อนสำหรับรอยต่อชนแบบไม่บากร่องเหล็กกล้าคาร์บอนได้ดำเนินการโดยใช้การให้ความร้อนลวดเชื่อมที่อุณหภูมิ 250°C เนื่องจากเป็นสถานะที่ให้อุณหภูมิที่มีคุณภาพดีที่สุดจากผลการดำเนินการเชื่อม พบว่าชิ้นงาน C ที่ผ่านการเชื่อมฟลักซ์คอร์



รูปที่ 3 ลักษณะรอยเชื่อมชิ้นงาน A B และ C ที่ผ่านการตรวจสอบด้วย VT และ PT



รูปที่ 4 โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อมบนชิ้นงาน A B และ C

ลวดร้อนนั้นมียูนิฟอร์มด้านหน้า (Cover) รอยเชื่อมซึมลึก (Root) ที่มีการหลอมละลายและซึมลึกสมบูรณ์ (Completed Fusion and Penetration) ปราศจากข้อบกพร่องตลอดรอยเชื่อม ดังรูปที่ 5 โดยพบว่ารอยเชื่อมมี

ความกว้าง 7.69 mm และมีความหนา 1.35 mm ซึ่งลักษณะรอยเชื่อมดังกล่าวนั้นอยู่ในระดับคุณภาพดีเยี่ยม (Quality Level B) ตามมาตรฐาน ISO 5817 [11] เมื่อนำชิ้นงานดังกล่าวมาตัดขวางรอยเชื่อมพบว่าบริเวณด้านในรอยเชื่อมมีการหลอมละลายเติมพื้นที่หน้าตัดของรอยต่อเชื่อมและปราศจากข้อบกพร่องด้านในรอยเชื่อม โดยพบว่ารอยเชื่อมต่อชนแบบไม่บากร่องที่ผ่านการเชื่อมด้วยลวดร้อนนั้นมียัตราการหลอมละลาย (% Dilution) สูงถึง 75% ซึ่งให้เห็นว่ากระบวนการเชื่อมพลาสมาอาร์คด้วยลวดร้อนสามารถใช้ในการเชื่อมรอยต่อชนแบบไม่บากร่องสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนให้มีการหลอมละลายได้โดยการเชื่อมเพียงครั้งเดียว (Single Pass Welding) โดยไม่จำเป็นต้องบากชิ้นงาน และไม่จำเป็นต้องเชื่อมชิ้นงาน 2 ด้าน ซึ่งวิธีการเชื่อมลวดร้อนนั้นใช้ระยะเวลาดำเนินการ 5 นาที ซึ่งเร็วกว่าการเชื่อมซีมลิคในรูปแบบเดิมประมาณที่จำเป็นต้องเจียรหลังรอยเชื่อมและเชื่อมชิ้นงานทั้ง 2 ด้าน (30 นาที) ซึ่งให้เห็นว่าระยะเวลาการผลิตงานด้วยการเชื่อมพลาสมาอาร์คด้วยลวดร้อนนั้นเร็วขึ้นประมาณ 20% (Processing Time) อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณโลหะเติมในการเชื่อมได้มากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมรูปแบบเดิม

จากผลการทดสอบแรงดึง พบว่า รอยเชื่อมต่อชนของชิ้นงาน C นั้นมีสามารถรับแรงกดได้เป็นอย่างดี โดยพบว่าบริเวณรอยเชื่อมซีมลิคไม่ปรากฏรอยแตกหรือข้อบกพร่องขึ้นที่ชิ้นงาน ซึ่งให้เห็นว่ารอยเชื่อม C สามารถหลอมละลายเข้ากันได้ดีกับวัสดุ SS400 ดังรูปที่ 6 (A) เมื่อพิจารณาผลการทดสอบแรงดึง พบว่า ชิ้นงานเชื่อม C หลังการทดสอบแรงดึงจะเกิดรอยแยกจากกันที่บริเวณผลกระทบร้อน (Heat Affected Zone: HAZ) ดังรูปที่ 6 (B) ซึ่งให้เห็นว่ารอยเชื่อมมีความแข็งแรงมากกว่าวัสดุโดยงานเชื่อม C มีค่าทนแรงดึง ณ จุดครากโดยเฉื่อย (Yield Strength) 386 MPa และค่าทนแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) โดยเฉื่อย 462 MPa ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าทนแรงดึงที่ต่ำที่สุดที่สามารถใช้งานได้ของ SS400 (Specified Minimum Tensile Strength, 400 MPa) โดยพบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อม C นั้นจะให้ประสิทธิภาพรอยเชื่อม (Joint Efficiency) สูงถึง 91% (คำนวณจาก Tensile Strength of Weld / Max. Tensile Strength of Base X 100) จากผลการทดสอบเชิงกลสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการเชื่อมพลาสมาอาร์คด้วยลวดร้อนสามารถใช้สำหรับการเชื่อมรอยต่อชนแบบไม่บากร่อง SS400 ซึ่งจะได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพปราศจากข้อบกพร่อง มีการซีมลิคและการหลอมละลายสมบูรณ์ รวมถึงมีสมบัติเชิงกลผ่านเกณฑ์ข้อกำหนด Level 1 ตาม ISO 15614-1 [12]

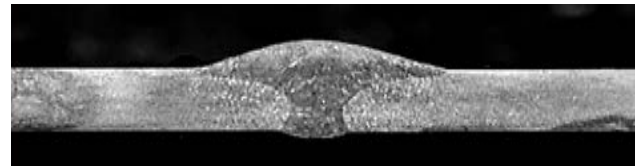
จากผลการดำเนินงานวิจัย ซึ่งให้เห็นว่าการเชื่อม SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์คพลาสมาด้วยลวดร้อนที่อุณหภูมิ 250°C ที่มีรอยต่อแบบไม่บากร่องนั้นจะทำให้ได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพสูงปราศจากข้อบกพร่อง (100% Quality) มียัตราการหลอมละลายสูง (75% Dilution) มีความเร็วในการผลิตเพิ่มขึ้น (20% Reduction of Processing Time) และรอยต่อเชื่อมมีความแข็งแรงสูง (91% Joint Efficiency) ดังรูปที่ 7



A

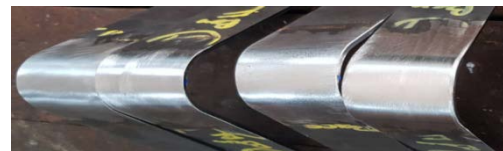


B



C

รูปที่ 5 ลักษณะรอยเชื่อมต่อชนแบบไม่บากร่อง (A) รอยเชื่อมด้านหน้า (B) รอยเชื่อมซีมลิค และ (C) โครงสร้างมหภาคของรอยเชื่อม

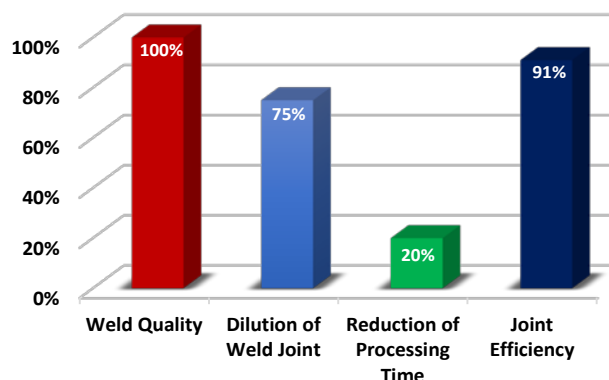


A



B

รูปที่ 6 ลักษณะรอยเชื่อมต่อชนแบบไม่บากร่องที่ผ่านการทดสอบ (A) แรงดึงดัด และ (B) การทดสอบแรงดึง



รูปที่ 7 ค่าร้อยละแสดงผลเชิงคุณภาพและประสิทธิภาพรอยเชื่อมต่อชนแบบไม่บากร่อง SS400 ที่ได้จากกระบวนการเชื่อมพลาสมาอาร์คด้วยลวดร้อน

4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอถึงกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์แบบลวดร้อนสำหรับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 พบว่า การให้ความร้อนลดเชื่อมระหว่างการเชื่อม FCAW จะทำให้ได้รอยเชื่อมที่มีความกว้างลดลง ความนูนและการหลอมละลายเพิ่มขึ้น โดยพบวาร์รอยเชื่อมที่ผ่านการให้ความร้อนลดเชื่อม FCAW ที่ 250°C นั้นจะทำให้ได้รอยเชื่อมที่มีคุณภาพปราศจากข้อบกพร่องประเภทรูพรุนและโพรงหนอนทั้งบริเวณผิวและด้านในของรอยเชื่อม จากการเชื่อมรอยต่อชนแบบไม่บากรอง SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์แบบลวดร้อนที่ 250°C พบว่างานเชื่อมที่ได้นั้นมีการซึมลึกและการหลอมละลายสมบูรณ์ปราศจากข้อบกพร่อง รอยเชื่อมที่ได้นั้นสามารถต้านทานแรงดึงและทนแรงดึงได้ดีโดยมีค่าประสิทธิภาพรอยเชื่อมสูงถึง 91% นอกจากนี้ ยังพบวาร์รอยเชื่อมต่อชนแบบไม่บากรองที่ผ่านการเชื่อมแบบเชื่อมฟลักซ์คอร์แบบลวดร้อนมีคุณภาพและสมบัติเชิงกลเป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนด Level 1 ตามมาตรฐาน ISO 15614-1

เอกสารอ้างอิง

- [1] JIS G3101 : 2015 (E), Japan Industrial Standards, Rolled steels for general structure, Japan Standards Association, Minato-ku, Tokyo, Japan, (2015).
- [2] M. Muslimin, A.M. Muhamad, F. Triawan, A.B.D. Nandiyanto, Surface characteristics of low carbon steel JISG3101SS400 after sandblasting process by steel grit G25, Journal of Engineering Research (Kuwait), 2022, 10(2B), 193-204.
- [3] A. O'Brien, C. Guzman, Welding processes part 1, Welding Handbook, ninth ed., American Welding Society, Florida, USA, 2004.
- [4] L. Jeffus, Flux cored arc welding, Welding: Principles and Applications, seventh ed., Cengage Learning, New York, USA, 2012.
- [5] H. Wang, Z. Li, T. Wolfgang, H.J. Kim, Effect of Flux-Cored ingredients and welding parameters on porosity sensitivity of ENiCrMo3T0-4 flux-cored wire, Rare Metal Materials and Engineering, 2018, 47(4), 1205-1209.
- [6] A. Świerczyńska, Effect of storage conditions of rutile flux cored welding wires on properties of welds, Advances in Materials Science, 2019, 19(4):46-56.
- [7] Kobelco, LB-52 Arc welding electrode, <https://yeowchuan.com.my/wp-content/uploads/2019/01/LB-52.pdf>. (Accessed on 28 Feb 2023)
- [8] A. Kaewwilai, Welding quality assurance and quality control, Teaching documents, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand, 2012.
- [9] AWS-D1.1-D1.1M-2020, Structural welding code steel, 24th Ed., American Welding Society, Florida, USA, 2020.
- [10] ISO 23277:2015, Non-destructive testing of welds — Penetrant testing of welds — Acceptance levels, International Organization for Standardization, London, UK, 2015.
- [11] ISO 5817:2014, Welding—Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections, International Organization for Standardization, London, UK, 2014.
- [12] ISO 15614-1:2017, Specification and qualification of welding procedures for metallic materials—Welding procedure test Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys, International Organization for Standardization, London, UK, 2015.

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EEWMA, IMFIR-EEWMA,
DMEWMA และ IMFIR-DMEWMA สำหรับการแจกแจงไวบูลล์
Efficiency Comparison of EEWMA, IMFIR-EEWMA,
DMEWMA and IMFIR-DMEWMA Control Chart for Weibull Distribution

ชัยวิช สี่แดง ชวนากร สุจินตวงษ์ โสรญา บำรุง ปิยพล ไพจิตร
ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์
E-mail: paichit_p@silpakorn.edu*

Chaitawat Seedang, Chawanagorn Sujintawong, Soraya Bamrung, Piyaphon Paichit
Department of Statistics, Faculty of Science, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus
E-mail: paichit_p@silpakorn.edu*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักเลขชี้กำลังแบบขยาย (EEWMA:EE) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังปรับปรุงซ้ำสองครั้ง (DMEWMA:DME) รวมถึงการนำเทคนิคการตอบสนองเริ่มต้นอย่างรวดเร็วที่ปรับปรุง (IMFIR) มาประยุกต์ใช้กับแผนภูมิควบคุมทั้งสองแผนภูมิข้างต้น ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไวบูลล์ที่มีค่าพารามิเตอร์รูปร่าง (β_0) เท่ากับ 1 และ 5 ค่าพารามิเตอร์บ่งขนาด (α_0) เท่ากับ 1 ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบ (λ) เท่ากับ 0.07, 0.15, 0.2, 0.3 สำหรับแผนภูมิควบคุม EEWMA 0.2, 0.3 สำหรับแผนภูมิควบคุม DMEWMA และขนาดการเปลี่ยนแปลงกระบวนการ (δ) ของทุกแผนภูมิควบคุมเท่ากับ 0.01, 0.05, 0.09, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1 จำลองข้อมูลด้วยวิธีมอนติคาร์โลและกำหนดให้ทำซ้ำ 10,000 รอบ เกณฑ์ที่ใช้วัดประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจะพิจารณาจากความยาวรันเฉลี่ย (ARL) เมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL₁) จากผลวิจัยพบว่าแผนภูมิควบคุม DMEWMA และ IMFIR- DMEWMA มีประสิทธิภาพดีที่สุดใกล้เคียงกันสำหรับการเปลี่ยนแปลงกระบวนการขนาดเล็ก
คำสำคัญ: แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังแบบขยาย แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังปรับปรุงซ้ำสองครั้ง การตอบสนองเริ่มต้นอย่างรวดเร็วที่ปรับปรุง ความยาวรันเฉลี่ย

Abstract

This research aimed to compare between the efficiency of Extended exponentially weighted moving average control chart (EEWMA: EE) and that of Double modified exponentially weighted moving average control chart (DMEWMA: DME). It also aimed at having technique of Improved fast initial response (IMFIR technique) applicable to the two charts aforementioned. What's more, in this research, the data was determined as Weibull distribution with Shape parameter (β_0) equal to 1 and 5, Scale parameter (α_0) equal to 1, Smoothing parameter (λ) equal to 0.07, 0.15, 0.2, and 0.3 in turn. Meanwhile, Extended exponentially weighted moving average control chart (EEWMA) was determined as 0.2 and 0.3 whereas Double modified exponentially weighted moving average control chart (DMEWMA) and shift size of the procedure (δ) of all charts were equal to 0.01, 0.05, 0.09, 0.1, 0.3, 0.5, and 1 respectively. In the meantime, data was simulated by using Monte carlo, together with repetition 10,000 rounds. Additionally, the criteria for evaluating efficiency of control chart was considered from Average run length (ARL) when the procedure was out of control (ARL₁). According to the findings, it appeared that DMEWMA control chart and IMFIR- DMEWMA counterpart showed the best efficiency close to each other for the change of small-sized procedure.

Keywords: Extended exponentially weighted moving average control chart, Double modified exponentially weighted moving average control chart, Improved fast initial response, Average run length

1. บทนำ

การควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistics Process Control: SPC) คือ ชุดของเครื่องมือทางสถิติที่มีประโยชน์อย่างมากในการปรับปรุงคุณภาพของกระบวนการผลิต แผนภูมิควบคุมเป็นเทคนิคที่สำคัญที่สุดของ SPC และถูกนำมาใช้เพื่อระบุและกำจัดสาเหตุที่กำหนดได้ซึ่งมีผลต่อความผันแปรที่ผิดปกติของกระบวนการ ในปี ค.ศ. 1926 Shewhart แนะนำเทคนิคแผนภูมิควบคุมเป็นครั้งแรก และตั้งแต่นั้นมาแผนภูมิควบคุมแบบ Shewhart ได้มีการนำไปใช้งานอย่างกว้างขวางในกระบวนการผลิตหลายประเภท แผนภูมิควบคุม Shewhart เป็นที่นิยมมากเนื่องจากนำไปใช้ได้ง่ายและยังเป็นแผนภูมิที่ไม่มีการนำค่าสถิติในอดีตไปใช้ (memoryless) เนื่องจากสถิติที่ใช้สร้างแผนภูมิขึ้นอยู่กับข้อมูลปัจจุบันเท่านั้น แผนภูมิควบคุม Shewhart มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดใหญ่ของค่าเฉลี่ยของกระบวนการ แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยและปานกลาง เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ ในปี ค.ศ. 1954 และ ค.ศ. 1959 Page และ Roberts ได้เสนอแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (Cumulative Sum : CUSUM) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง (Exponentially Weighted Moving Average: EWMA) ตามลำดับ ซึ่งแผนภูมิเหล่านี้ใช้ค่าสถิติในอดีตมาช่วยปรับค่าสถิติปัจจุบัน (memory) ทำให้แผนภูมิควบคุมที่ได้มีประสิทธิภาพมากในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กและปานกลาง ($< 1.5\sigma$) [1] อีกทั้งสมบัติโรบัสต์ของแผนภูมิควบคุมชนิด memory ทำให้สามารถใช้แผนภูมิควบคุมได้กับข้อมูลที่ไม่ได้มีการแจกแจงปกติได้ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วข้อมูลทางอุตสาหกรรมอาจไม่ได้มีการแจกแจงแบบปกติ ข้อมูลสมบัติของวัสดุ เช่น ความแข็งแรงต่อการแตกหัก ความต้านทาน การยึดตัวหรืออายุการใช้งานของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลเหล่านี้มีการแจกแจงแบบไวบูล [2]

แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลัง (EWMA) ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กของกระบวนการได้ดียิ่งขึ้น ในปี ค.ศ. 1992 Shama and Shama ได้เสนอแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองครั้ง (Double EWMA: DEWMA) โดยอาศัยแนวคิดของการปรับอนุกรมให้เรียบมาใช้และทำการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม DEWMA กับ EWMA ด้วยเกณฑ์ค่าความยาวรันเฉลี่ย (Average Run Length: ARL) เมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุม (ARL_1) พบว่าแผนภูมิควบคุม DEWMA ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ [3] ในปี ค.ศ. 2012 Patel and Divecha ได้เสนอแผนภูมิควบคุมที่พัฒนามาจากแผนภูมิควบคุม EWMA และให้ชื่อว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังปรับปรุง (Modified EWMA: MEWMA) โดยการเพิ่มพจน์ของผลต่างของข้อมูลปัจจุบันและข้อมูลในอดีตหนึ่งวาระเพิ่มเข้าไปในแผนภูมิควบคุม EWMA การเพิ่มพจน์นี้เข้าไปทำให้แผนภูมิควบคุม MEWMA สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กได้ดีและยังสามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงในกรณีข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงอย่าง

ฉับพลันหรือข้อมูลอนุกรมเวลาได้ดีอีกด้วย [4] ในปี ค.ศ. 2013 Abbas et al. นำเสนอแผนภูมิควบคุมแบบผสมโดยนำเอาแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM) มาผสมกับแผนภูมิควบคุม EWMA (mixed CUSUM-EWMA) และทำการเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม mixed CUSUM-EWMA กับ EWMA และ CUSUM ด้วยเกณฑ์ ARL_1 พบว่าแผนภูมิควบคุม mixed CUSUM-EWMA ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ [5] ในปี ค.ศ. 2017 Haq ได้นำเอาแผนภูมิควบคุม EWMA มาผสมกับแผนภูมิควบคุม EWMA และให้ชื่อแผนภูมิใหม่นี้ว่าแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังผสมผสาน (Hybrid EWMA: HEWMA) แผนภูมิควบคุม HEWMA นี้มีความยืดหยุ่นกว่าแผนภูมิควบคุม DEWMA เนื่องจากมีพารามิเตอร์ปรับเรียงถึงสองตัวจึงสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ได้หลากหลายกว่า และเมื่อนำมาเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม Mixed EWMA-CUSUM และ EWMA ด้วยเกณฑ์ ARL_1 พบว่าแผนภูมิควบคุม HEWMA ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าพารามิเตอร์ปรับเรียง [6] และในปี ค.ศ. 2018 Naveed et al. ได้เสนอแผนภูมิควบคุมใหม่ที่ได้จากปรับวิธีการให้ถ่วงน้ำหนักกับข้อมูล โดยจะให้ถ่วงน้ำหนักกับข้อมูลเป็นบวกกับข้อมูลปัจจุบันส่วนข้อมูลในอดีตจะให้ถ่วงน้ำหนักเป็นลบ ผลที่ได้จากการให้ถ่วงน้ำหนักแบบนี้จะทำให้ความแปรปรวนของตัวสถิติมีค่าน้อยลง และให้ชื่อแผนภูมิควบคุมนี้ว่าแผนภูมิควบคุมแบบขยาย (Extended EWMA: EE) และเมื่อนำมาเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม EWMA ด้วยเกณฑ์ ARL_1 พบว่าแผนภูมิควบคุม EE ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติทั้งนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดค่าพารามิเตอร์ปรับเรียงทั้งสองค่า [7] ในปี ค.ศ. 2021 Alevizakos et al. ได้นำเสนอแผนภูมิควบคุมใหม่โดยนำแนวคิดของแผนภูมิควบคุม DEWMA มาผสมรวมกับแผนภูมิควบคุม MEWMA และให้ชื่อแผนภูมินี้คือ แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังสองครั้งปรับปรุง (Double MEWMA: DME) แผนภูมิควบคุมนี้จะมีข้อได้เปรียบจากแผนภูมิควบคุม DEWMA ที่สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กได้ดีกว่าแผนภูมิควบคุม EWMA และยังได้ข้อดีจากแผนภูมิควบคุม Modified EWMA ทำให้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงแบบฉับพลันของข้อมูลรวมทั้งข้อมูลอนุกรมเวลาได้ดี และเมื่อนำมาเปรียบเทียบแผนภูมิควบคุม MEWMA ด้วยเกณฑ์ ARL_1 พบว่าแผนภูมิควบคุม DME ให้ประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ [8] และในปี ค.ศ. 2021 Thanwane et al. ได้พัฒนาและปรับปรุงการตอบสนองเริ่มต้นอย่างรวดเร็วโดยให้ค่าตอบสนองเริ่มต้นอย่างรวดเร็วขึ้นกับฟังก์ชันของเวลาและให้ชื่อว่าค่าปรับการตอบสนองเริ่มต้นอย่างรวดเร็ว (Improve Fast Initial Response: IMFIR) ค่า IMFIR นั้นจะถูกนำไปคูณกับขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุมทำให้ความกว้างของขีดจำกัดควบคุมมีขนาดเล็กลง [9]

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า แผนภูมิควบคุม DME กับ EE นั้นมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงขนาดเล็กและปาน

กลาง อีกทั้งยังสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบได้หลากหลาย และเมื่อนำ IMFIR มาใช้ร่วมกับแผนภูมิควบคุมอาจทำให้แผนภูมิควบคุมที่ได้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม 4 ชนิด คือ DME, EEWMA และ แผนภูมิที่ปรับด้วยค่า IMFIR นั่นคือ IMFIR- DME และ IMFIR-EE เมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล เกณฑ์ที่ใช้พิจารณาประสิทธิภาพจะพิจารณาจากค่า ARL_1 หากแผนภูมิควบคุมใดให้ค่า ARL_1 น้อยที่สุดแสดงว่าแผนภูมิควบคุมนั้นมีประสิทธิภาพที่สุด

2. วิธีวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังแบบขยาย (EE) และแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ถ่วงน้ำหนักแบบเลขชี้กำลังปรับปรุงสองครั้ง (DME) และนำเทคนิคการตอบสนองเริ่มต้นอย่างรวดเร็วที่ปรับปรุง (IMFIR) มาใช้กับแผนภูมิควบคุมทั้งสองชนิดและกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงแบบไวบูล การศึกษาวิจัยนี้ใช้เกณฑ์วัดประสิทธิภาพจากค่าความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุม (out-of-control process : ARL_1) ถ้าแผนภูมิควบคุมใดที่ให้ค่า ARL_1 ต่ำสุดจะเป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพในการตรวจจับขนาดการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์บ่งขนาด (Scale parameter: α) ดีที่สุดเมื่อกำหนด $ARL_0 = 370$ งานวิจัยครั้งนี้จำลองข้อมูลด้วยวิธีมอนติคาร์โล ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบ (λ) สำหรับแผนภูมิควบคุม EE และ IMFIR-EE เป็น $\lambda_1 = 0.3, \lambda_2 = 0.15$ และ $\lambda_1 = 0.2, \lambda_2 = 0.07$ [7] สำหรับแผนภูมิควบคุม DME และ IMFIR-DME เป็น 0.2 และ 0.3 [8] เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมกำหนดพารามิเตอร์บ่งรูปร่าง (β_0) เป็น 1, 5 และพารามิเตอร์บ่งขนาด (α_0) เป็น 1 สำหรับการแจกแจงไวบูล (W) ที่มีฟังก์ชันความน่าจะเป็นคือ

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta x^{\beta-1}}{\alpha^\beta} e^{-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta} & ; x \geq 0 \\ 0 & ; x \text{ Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

2. จำลองข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

2.1 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุมกำหนดให้ค่าความยาวรันเฉลี่ยเป็น 370 ($ARL_0 = 370$) และกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล (W) ดังนั้น $W(\beta_0 = 1, \alpha_0 = 1)$ และ $W(\beta_0 = 5, \alpha_0 = 1)$ โดยขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 1,000 กำหนดจำนวนรอบในการทำซ้ำ (M) เท่ากับ 10,000

2.2 เมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุมกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงไวบูลเป็น $W(\beta_0, \alpha_1)$ กำหนดขนาดการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ $\alpha_1 = \alpha_0 + \delta$ เมื่อ δ เท่ากับ 0.01, 0.05, 0.09, 0.1, 0.3, 0.5 และ 1

โดยขนาดตัวอย่าง (n) เท่ากับ 1,000 กำหนดจำนวนรอบในการทำซ้ำ (M) เท่ากับ 10,000

3. นำข้อมูลที่ได้จากการจำลองในข้อ 2 มาคำนวณค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม $EE(Z_t)$

$$Z_t = \lambda_1 X_t - \lambda_2 X_{t-1} + (1 - \lambda_1 + \lambda_2) Z_{t-1} \quad (2)$$

$$; 0 < \lambda_1 \leq 1, 0 < \lambda_2 \leq \lambda_1$$

โดยที่ Z_t คือ ตัวสถิติ EE ลำดับที่ t ณ เวลา t , X_t คือ ค่าสังเกตของกระบวนการ ณ เวลา t , λ_1, λ_2 คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบตัวที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ($0 < \lambda_1 \leq 1, 0 < \lambda_2 \leq \lambda_1$) กำหนดตัวสถิติเริ่มต้น $Z_0 = X_0 = \theta_0$ คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ เมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุมค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ Z_t คือ $E(Z_t) = \theta_0$ และ

$$Var(Z_t) = \left[(\lambda_1^2 + \lambda_2^2) \left\{ \frac{1 - a^{2t}}{2(\lambda_1 - \lambda_2) - (\lambda_1 - \lambda_2)^2} \right\} - 2a\lambda_1\lambda_2 \left\{ \frac{1 - a^{2t-2}}{2(\lambda_1 - \lambda_2) - (\lambda_1 - \lambda_2)^2} \right\} \right] \sigma^2 \quad (3)$$

และคำนวณค่าสถิติของแผนภูมิควบคุม DME (DME_t)

$$DME_t = \lambda X_t + (1 - \lambda) DME_{t-1} + k (ME_t - ME_{t-1}) \quad (4)$$

$$ME_t = \lambda X_t + (1 - \lambda) ME_{t-1} + k (X_t - X_{t-1})$$

โดยที่ DME_t คือ ตัวสถิติ DME ลำดับที่ t ณ เวลา t , X_t คือค่าสังเกตของกระบวนการ ณ เวลา t , λ คือ ค่าพารามิเตอร์ปรับเรียบ ($0 < \lambda < 1$) งานวิจัยนี้กำหนดค่า k คือ $k = -\lambda / 2$ [8] ตัวสถิติเริ่มต้น $X_0 = ME_0 = DME_0 = \theta_0$ คือค่าเฉลี่ยของกระบวนการเมื่อกระบวนการอยู่ภายใต้การควบคุม ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของ DME_t คือ $E(DME_t) = \theta_0$ และ

$$Var(DME_t) = [A + B - C + D] \sigma^2 \quad (5)$$

โดยที่

$$A = (k + \lambda)^4 + 4\lambda^2 (k + \lambda)^2 (k + \lambda - 1)^2$$

$$B = \frac{4\lambda^2 (k + \lambda - 1)^2 (k + \lambda)^2 (1 - \lambda)^2}{1 - \theta}$$

$$C = \frac{4\lambda^3 (k + \lambda - 1)^3 (k + \lambda) (1 - \lambda)}{(1 - \theta)^2}$$

$$D = \lambda^4 (k + \lambda - 1)^4 \frac{1 + \theta}{(1 - \theta)^3}$$

4. คำนวณขีดจำกัดควบคุมบนและล่างของแต่ละแผนภูมิควบคุมดังนี้
แผนภูมิควบคุม EE มีขีดจำกัดควบคุมบน/ล่าง คือ

$$UCL / LCL = \theta_0 \pm L_1 \sqrt{\text{Var}(Z_t)} \quad (6)$$

โดยที่ θ_0 คือค่าเฉลี่ยของกระบวนการ $a = (1 - \lambda_1 + \lambda_2)$, σ คือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ L_1 คือ ความกว้างของขีดจำกัดควบคุมที่สอดคล้องกับ $ARL_0 = 370$ แผนภูมิควบคุม DME มีขีดจำกัดควบคุมบนและล่างคือ

$$UCL / LCL = \theta_0 \pm L_2 \sqrt{\text{Var}(DME_t)} \quad (7)$$

โดยที่ θ_0 คือ ค่าเฉลี่ยของกระบวนการ σ คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกระบวนการ L_2 คือ ความกว้างของขีดจำกัดควบคุม ที่สอดคล้องกับค่า $ARL_0 = 370$ สำหรับแผนภูมิควบคุม IMFIR-EE และ IMFIR-DME มีขีดจำกัดควบคุมบนและล่างคือ

$$UCL / LCL = \theta_0 \pm L_3 (IMFIR) \sqrt{\text{Var}(Z_t)} \quad (8)$$

และ

$$UCL / LCL = \theta_0 \pm L_4 (IMFIR) \sqrt{\text{Var}(DME_t)} \quad (9)$$

ตามลำดับ

$$IMFIR = \left\{ 1 - (1 - f)^{1+a(t-1)} \right\} \sqrt{t \left(1 + \frac{1}{t} \right)} \quad (10)$$

โดยงานวิจัยนี้กำหนด $a = 0.3$ และ $f = 0.5$ [9] L_3 และ L_4 คือ ความกว้างของขีดจำกัดควบคุมที่สอดคล้องกับค่า $ARL_0 = 370$ สำหรับแผนภูมิควบคุม IMFIR-EE และ IMFIR-DME ตามลำดับ

5. นำค่าสถิติที่คำนวณได้ของทั้ง 4 แผนภูมิควบคุมในข้อ 3 มาเปรียบเทียบกับขีดจำกัดควบคุมของแต่ละแผนภูมิควบคุมที่ได้ในข้อ 4 เพื่อหาจำนวนหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายใต้การควบคุมจนกระทั่งพบว่ากระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกซึ่งเรียกว่า ค่าความยาวรัน (RL_t)

6. ทำซ้ำตั้งแต่ข้อ 1 ถึง 5 จนกว่าจะครบ 10,000 รอบในแต่ละสถานการณ์ คือ $RL_1, RL_2, \dots, RL_{10,000}$

7. คำนวณค่า ARL แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 เมื่อกระบวนการอยู่ในการควบคุม

7.1 นำค่า RL_t ที่ได้จากข้อที่ 6 มาหาค่า ARL_0 ดังนี้

$$ARL_0 = \left(\sum_{t=1}^M RL_t \right) / 10,000 \quad (11)$$

โดยที่ RL_t คือ ค่าความยาวรันเป็นจำนวนหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายใต้การควบคุมจนกระทั่งพบว่ากระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกในการจำลองข้อมูลครั้งที่ $t; t = 1, 2, \dots, 10,000$ หากได้ค่า ARL_0 มีค่าเท่ากับ 370 จะทำการเก็บค่า L และคำนวณค่า UCL มาใช้ในการหาค่า ARL_1

กรณีที่ 2 เมื่อกระบวนการอยู่นอกการควบคุม

7.2 นำค่า RL_t ที่ได้จากข้อที่ 6 มาหาค่า ARL_1 (โดยข้อ 5 จะนำค่าสถิติที่ได้มาเปรียบเทียบกับ UCL ที่ได้จาก ARL_0 มีค่าเท่ากับ 370) ดังนี้

$$ARL_1 = \left(\sum_{t=1}^M RL_t \right) / 10,000 \quad (12)$$

โดยที่ RL_t คือ ค่าความยาวรันเป็นจำนวนหน่วยตัวอย่างที่อยู่ภายใต้การควบคุมจนกระทั่งพบว่า กระบวนการออกนอกขีดจำกัดควบคุมเป็นครั้งแรกในการจำลองข้อมูลครั้งที่ $t; t = 1, 2, \dots, 10,000$

8. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจากค่าความยาวรันเฉลี่ยที่หาได้ในข้อ 7.2 กรณีเมื่อกระบวนการผลิตอยู่นอกการควบคุม โดยแผนภูมิควบคุมที่ให้ค่า ARL_1 ต่ำที่สุดจะเป็นแผนภูมิควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

ตารางที่ 1 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม EE, IMFIR-EE ($\lambda_1 = 0.2, \lambda_2 = 0.07$) และ DME, IMFIR-DME ($\lambda = 0.2$) กรณีข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 1, \alpha_0 = 1)$

δ	ความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม			
	EE	IMFIR-EE	DME	IMFIR-DME
	$\lambda_1 = 0.2, \lambda_2 = 0.07$		$\lambda = 0.2$	
	L=3.8	L=4.15	L = 2.56	L = 2.569
0.01	350.4083	341.0404	343.6498	339.1477
0.05	260.3372	258.5471	247.9239	243.2571
0.09	193.7849	190.7344	183.5297	174.2748
0.1	183.4951	169.2838	168.8325	161.2221
0.3	57.5445	42.1758	54.0225	48.4532
0.5	28.3957	16.2971	27.4735	22.8552
1	10.1785	4.216	12.043	8.9528

ตารางที่ 2 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม EE, IMFIR-EE ($\lambda_1 = 0.3, \lambda_2 = 0.15$) และ DME, IMFIR-DME ($\lambda = 0.3$) กรณีข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 1, \alpha_0 = 1)$

δ	ความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม			
	EE	IMFIR-EE	DME	IMFIR-DME
	$\lambda_1 = 0.3, \lambda_2 = 0.15$		$\lambda = 0.3$	
	L = 4.315	L = 4.7	L = 2.91	L = 2.99
0.01	346.7255	348.9789	346.9662	344.7107
0.05	265.7029	272.4255	253.4997	254.5645
0.09	205.1061	201.8382	192.0464	184.0121

ตารางที่ 2 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม EE, IMFIR-EE ($\lambda_1 = 0.3, \lambda_2 = 0.15$) และ DME, IMFIR-DME ($\lambda = 0.3$) กรณีข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 1, \alpha_0 = 1)$ (ต่อ)

δ	ความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม			
	EE	IMFIR-EE	DME	IMFIR-DME
	$\lambda_1 = 0.3, \lambda_2 = 0.15$		$\lambda = 0.3$	
	L = 4.315	L = 4.7	L = 2.91	L = 2.99
0.1	196.5163	189.1086	180.3897	171.8235
0.3	69.5997	51.4723	60.8415	50.0606
0.5	33.9692	19.8334	29.627	23.4664
1	12.2854	4.9186	11.8975	8.1182

ตารางที่ 3 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม EE, IMFIR-EE ($\lambda_1 = 0.2, \lambda_2 = 0.07$) และ DME, IMFIR-DME ($\lambda = 0.2$) กรณีข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 5, \alpha_0 = 1)$

δ	ความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม			
	EE	IMFIR-EE	DME	IMFIR-DME
	$\lambda_1 = 0.2, \lambda_2 = 0.07$		$\lambda = 0.2$	
	L = 2.886	L = 3.558	L = 2.515	L = 2.545
0.01	353.4664	348.5871	340.9905	336.4904
0.05	122.1652	170.4651	106.6155	100.9288
0.09	41.5879	30.6716	40.8842	35.0416
0.1	33.8354	21.0771	34.1644	29.1004
0.3	4.2088	0.6972	7.5573	4.8406
0.5	1.5476	0.2531	4.8425	2.8318
1	0.3059	0.0496	2.9864	1.5419

ตารางที่ 4 ค่าความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม EE, IMFIR-EE ($\lambda_1 = 0.3, \lambda_2 = 0.15$) และ DME, IMFIR-DME ($\lambda = 0.3$) กรณีข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 5, \alpha_0 = 1)$

δ	ความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม			
	EE	IMFIR-EE	DME	IMFIR-DME
	$\lambda_1 = 0.3, \lambda_2 = 0.15$		$\lambda = 0.3$	
	L = 2.935	L = 3.588	L = 2.65	L = 2.73
0.01	370.3697	364.3377	346.5883	339.0303
0.05	156.9722	223.0473	125.1751	112.2243
0.09	50.7555	46.0048	46.7543	35.2328
0.1	41.0848	30.5819	38.0761	27.8273
0.3	4.8684	0.7446	6.4957	3.6136
0.5	1.797	0.2574	3.9041	2.0182
1	0.3552	0.0527	2.2928	1.1633

3. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุม EE และ DME รวมทั้งการนำ IMFIR มาประยุกต์ใช้กับแผนภูมิควบคุม EE และ DME อีกทั้งยังได้กำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงแบบ

ไวบูล ในส่วนของการพิจารณาประสิทธิภาพของแผนภูมิควบคุมจะพิจารณาจากความยาวรันเฉลี่ยเมื่อกระบวนการออกนอกการควบคุมซึ่งได้ผลมาดังนี้

1. กรณีกระบวนการอยู่ในการควบคุมนั้นคือข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 1, \alpha_0 = 1)$

จากตารางที่ 1 พบว่าที่ $0.01 \leq \delta \leq 0.1$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-DME มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ DME, IMFIR-EE และ EE ตามลำดับ เมื่อ $0.3 \leq \delta \leq 0.5$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-EE มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ IMFIR-DME, DME และ EE ตามลำดับ และเมื่อ $\delta = 0.1$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-EE มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ IMFIR-DME, EE และ DME ตามลำดับ

จากตารางที่ 2 พบว่าที่ $0.01 \leq \delta \leq 0.3$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-DME มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ DME, IMFIR-EE และ EE ตามลำดับ เมื่อ $0.5 \leq \delta \leq 1$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-EE มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ IMFIR-DME, DME และ EE ตามลำดับ

2. กรณีกระบวนการอยู่ในการควบคุมนั้นคือข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 5, \alpha_0 = 1)$

จากตารางที่ 3 พบว่าที่ $0.01 \leq \delta \leq 0.5$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-DME มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ DME, EE และ IMFIR-EE ตามลำดับ เมื่อ $0.09 \leq \delta \leq 0.3$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-EE มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ IMFIR-DME, DME และ EE ตามลำดับ และเมื่อ $0.5 \leq \delta \leq 1$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-EE มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ EE, IMFIR-DME และ DME ตามลำดับ

จากตารางที่ 4 พบว่าที่ $0.01 \leq \delta \leq 0.5$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-DME มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ DME, EE และ IMFIR-EE ตามลำดับ เมื่อ $0.09 \leq \delta \leq 0.1$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-DME มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ IMFIR-EE, DME และ EE ตามลำดับ และเมื่อ $0.3 \leq \delta \leq 1$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-EE มีประสิทธิภาพดีที่สุด รองลงมาคือ EE, IMFIR-DME และ DME ตามลำดับ

4. สรุป

จากผลการวิจัยที่ได้ พบว่าเมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 1, \alpha_0 = 1)$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-DME และแผนภูมิควบคุม DME มีประสิทธิภาพดีที่สุดใกล้เคียงกันที่ $0.01 \leq \delta \leq 0.1$ ส่วนแผนภูมิควบคุม IMFIR-EE จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ $0.3 \leq \delta \leq 1$ และเมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 5, \alpha_0 = 1)$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-DME และแผนภูมิควบคุม DME มีประสิทธิภาพดีที่สุดใกล้เคียงกันที่ $0.01 \leq \delta \leq 0.05$ ส่วนแผนภูมิควบคุม IMFIR-EE จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ $0.3 \leq \delta \leq 1$

การกำหนด $\lambda = 0.2$ ให้กับแผนภูมิควบคุม IMFIR-DME และ DME จะทำให้แผนภูมิควบคุมดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากกว่ากำหนดให้ $\lambda = 0.3$ ที่ $0.01 \leq \delta \leq 0.5$ เมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 1, \alpha_0 = 1)$ และการกำหนด $\lambda = 0.2$ ให้กับแผนภูมิควบคุม IMFIR-DME และ DME จะทำให้แผนภูมิควบคุมดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากกว่ากำหนดให้ $\lambda = 0.3$ ที่ $0.01 \leq \delta \leq 0.09$ เมื่อกำหนดให้ข้อมูลมีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 5, \alpha_0 = 1)$

การนำ IMFIR เข้ามาใช้กับแผนภูมิควบคุม EE และ DME ช่วยทำให้แผนภูมิควบคุมมีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีขึ้น และจะเห็นได้ว่าแผนภูมิควบคุม IMFIR-DME มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงดีที่สุด รองลงมาคือ IMFIR-EE, DME และ EE ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเฉพาะแผนภูมิควบคุม IMFIR-EE กับ DME จะเห็นได้ว่าแผนภูมิทั้งสองให้ค่าความยาวรันเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน แต่ในภาพรวมแผนภูมิควบคุม DME มีประสิทธิภาพดีกว่าอาจเป็นเพราะ แผนภูมิควบคุม DME มีการนำเทคนิคการปรับเรียบมาใช้ถึงสองครั้ง ทำให้ความแปรปรวนของตัวสถิติของแผนภูมิควบคุม DME ลดลง

5. การประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริง

ข้อมูลจริงที่นำมาศึกษาเป็นข้อมูลตัวอย่างขนาด 46 จากข้อมูลความแข็งแรงแรงดึง (Tensile strength) ของใยแก้วขนาดความยาว 1.5 cm [10]

ตารางที่ 5 ความยาวรันเฉลี่ยของแผนภูมิควบคุม EE, IMFIR-EE, DME และ IMFIR-DME กรณี ข้อมูล มีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 5.14748, \alpha_0 = 1)$

t	Dataset	EE		IMFIR-EE	DME		IMFIR-DME
		L = 2.89		L = 3.582	L = 2.51		L = 2.54
		Z	LCL	LCL	DM	LCL	LCL
1	0.37	0.81	0.81	0.88	0.91	0.80	0.89
2	0.4	0.76	0.80	0.87	0.89	0.80	0.88
3	0.7	0.77	0.80	0.86	0.87	0.80	0.87
4	0.75	0.77	0.80	0.85	0.84	0.80	0.86
5	0.8	0.78	0.80	0.84	0.82	0.80	0.86
6	0.81	0.78	0.80	0.83	0.80	0.80	0.85
7	0.83	0.79	0.80	0.82	0.79	0.80	0.84

*** และมีค่าอื่น ๆ อีก 39 ค่า

เมื่อกำหนดพารามิเตอร์ปรับเรียบตัวที่ 1 และ 2 (λ_1, λ_2) ของแผนภูมิควบคุม EE และ IMFIR-EE เท่ากับ (0.2, 0.07) พารามิเตอร์ปรับเรียบของแผนภูมิควบคุม DME และ IMFIR-DME เท่ากับ 0.2 เมื่อข้อมูลอยู่ในกระบวนการควบคุมกำหนดให้มีการแจกแจงไวบูล $W(\beta_0 = 5.14748, \alpha_0 = 1)$ และขนาดการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 0.22965 พบว่า แผนภูมิควบคุม IMFIR-EE สามารถตรวจจับความผิดปกติได้ตั้งแต่ครั้งแรก แผนภูมิควบคุม EE, IMFIR-DME และ

DME สามารถตรวจจับความผิดปกติได้ในครั้งที่ 2, 3 และ 7 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลที่ได้สอดคล้องกับผลการวิจัยที่ว่า เมื่อ $\delta > 0.1$ แผนภูมิควบคุม IMFIR-EWMA มีประสิทธิภาพในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงได้ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] D.C. Montgomery. Introduction to Statistical Quality Control, 6th ed., John Wiley & Sons, 2009.
- [2] L. Huwang and L. W. Lin. 2020. "New EWMA control charts for monitoring the Weibull shape parameter". Quality and Reliability Engineering International, Vol. 36 (11): 1872–1894.
- [3] S. E. Shamma and A. K. Shamma. 1992. "Development and evaluation of control charts using double exponentially weighted moving averages". International Journal of Quality & Reliability Management, Vol. 9 (6): 18–25.
- [4] A.K. Patel and J. Divecha. 2011. "Modified exponentially weighted moving average (EWMA) control chart for an analytical process data". Journal of Chemical Engineering and Materials Science, Vol. 2 (1): 12–20.
- [5] N. Abbas, M. Riaz and R.J. Does. 2013. "Mixed exponentially weighted moving average–cumulative sum charts for process monitoring". Quality and Reliability Engineering International, Vol. 29 (3): 345–356.
- [6] A. A. Haq. 2017. "new hybrid exponentially weighted moving average control chart for monitoring process mean: Discussion." Quality and Reliability Engineering International, Vol. 33 (7): 1629–1631.
- [7] M. Naveed, M. Azam, N. Khan and M. Aslam. 2018. "Design of a Control Chart Using Extended EWMA Statistic". Technologies, Vol. 6 (4): 1-15.
- [8] V. Alevizakos, K. Chatterjee and C. Koukouvinos. 2021 "Modified EWMA and DEWMA control charts for process monitoring". Communications in Statistics Theory and Methods. Vol. 51 (1): 1–25.
- [9] M. Thanwane, S. A. Abbasi, J.C. Malela-Majika, M. Aslam and S.C. Shongwe. 2021. "The use of fast initial response features on the homogeneously weighted moving average chart with estimated parameters under the effect of measurement errors". Quality and Reliability Engineering International, Vol. 37 (6): 2568–2586.
- [10] W. Yuxuan, X. Hanyang, C. Jyun-You, P. Gang and Q. Yan. 2021. "Parameter Estimation and Applications of the Weibull Distribution for Strength Data of Glass Fiber", Mathematical Problems in Engineering, Vol. 2021 (10): 1-13

การศึกษาการจัดการความปลอดภัยของเล่นเด็กในจังหวัดนครราชสีมา

The Study of Children's Toy Safety Management in Nakhon Ratchasima Province

จنگล ศรีธร* กิ่งกาญจน์ กองกาญจนะ ภูมिरพี สธภาพร

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

E-mail: Jongkol@sut.ac.th*

Jongkol Srithorn*, Kingkan Kongkanjana, Phumrapee Sathaporn

Department of Industrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

E-mail: Jongkol@sut.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเรื่องการจัดการความปลอดภัยของเล่นเด็ก โดยทำการเก็บข้อมูลการเล่นของเล่นของเด็กในแต่ละช่วงวัย จากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ดูแลเด็กตั้งแต่อายุ 3 เดือน จนถึง 12 ปี ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่เพื่อทำการเก็บข้อมูลจากการสัมภาษณ์ แบบสอบถาม และแบบสังเกตพฤติกรรมการเล่นของเด็ก รวมทั้งสิ้น 480 ราย ผลการเก็บข้อมูลพบว่าจำนวนของเด็กที่เคยเกิดอุบัติเหตุจากของเล่น คิดเป็นร้อยละ 26 จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด โดยช่วงอายุที่เกิดอุบัติเหตุและได้รับบาดเจ็บจากการเล่นของเล่นบ่อยที่สุดคือเด็กในช่วงวัยก่อนวัยรุ่น (Preadolescence) คือช่วงอายุ 9 ปี ถึง 12 ปี อีกทั้งลักษณะของของเล่นที่ส่งผลให้เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด ได้แก่ ของเล่นที่เป็นชิ้นเล็ก ๆ โดยคิดเป็นร้อยละ 18.86 และลักษณะของอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเล่นของเล่น คือ การเกิดการบาดเจ็บ ฟกช้ำ แผลเลือดออก โดยวิธีการดำเนินการหลังจากเกิดอุบัติเหตุจากแบบสอบถาม ส่วนใหญ่แล้วผู้ปกครองจะทำการสังเกตอาการบาดเจ็บว่ามีระดับการบาดเจ็บอย่างไร และทำการปฐมพยาบาลเบื้องต้น ซึ่งแนวทางในการป้องกันอุบัติเหตุจากการเล่นของเล่นนั้น ผู้ดูแลเด็กควรดูแลเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 3 เดือน ถึง 3 ปี ตลอดเวลาเมื่อมีการเล่นของเล่น เนื่องจากเด็กในช่วงอายุนี้เป็นกลุ่มเด็กที่อยู่ในช่วงการพัฒนาหลากหลายด้าน ทั้งด้านกล้ามเนื้อ อารมณ์ สังคม สติปัญญา เริ่มมีความถนัดในการใช้แขนและขามากขึ้น แต่ยังไม่สามารถแยกแยะอันตรายได้ด้วยตนเอง ในส่วนของเด็กที่มีอายุตั้งแต่ 4 ถึง 12 ปี ผู้ปกครองควรคอยสังเกตอยู่ห่าง ๆ ตามความเหมาะสม เนื่องจากเด็กอายุช่วงนี้สามารถคิดหาเหตุผล การแก้ปัญหาเป็นระบบได้ แต่ยังคงมีความจำเป็นที่ต้องสอนวิธีการเล่นที่ถูกต้องก่อน เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

คำสำคัญ: ความปลอดภัย, ของเล่นเด็ก, อันตรายในเด็ก, การป้องกันอันตราย

Abstract

This research is a study on the safety management of children's toys. The researcher collects data on playing patterns of toys and toys in each age group from the sample group, which are parents and teachers of children from 3 months to 12 years old. In addition, the research team collected data from interviews, questionnaires, and observation forms on children's playing behavior for 480 people. The data collection results revealed that the number of children who have experienced accidents from toys accounted for 26% of the total. The age range where accidents and injuries from playing with toys are most common in children during Preadolescence is between 9 and 12 years of age. The most common characteristics of toys that result in accidents are small toys, such as models or blocks, accounting for 18.86%. Furthermore, the danger of playing with toys is the occurrence of injuries, bruises, and bleeding wounds—the method of action after the accident from most questionnaires. Parents noticed what the injury was like first. After that, first aid was performed. Finally, guidelines for preventing accidents from playing with that toy. Child caregivers should always supervise children aged 3 months to 3 years when playing with toys. Because children in this period are in a range of developmental stages, especially the small muscles, emotional, social, and intellectual, they become more used to using their arms. However, they are still unable to differentiate the dangers by themselves. In the case of children aged 4 to 12 years, parents or teachers should be observed at a distance as appropriate because children in this period can think of reasons and systematic solutions. However, teaching how to play the right way is necessary first to prevent potential hazards.

Keywords: Safety, Children's toys, Danger in children, Danger prevention

1. บทนำ

ของเล่นและกระบวนการเล่น เป็นสิ่งที่ช่วยกระตุ้นส่งเสริมพัฒนาการด้านต่าง ๆ ของเด็กในช่วงวัย 1-14 ปี ไม่ว่าจะเป็นทางด้านร่างกายจิตใจ ระบบประสาทสัมผัสทุกส่วน พัฒนาการของกล้ามเนื้อมัดใหญ่หรือเล็ก และการประสานงานของกล้ามเนื้อ กระตุ้นพัฒนาการทางภาษาและการสื่อสาร อารมณ์ และจินตนาการความคิดสร้างสรรค์ โดยจากการสำรวจสาเหตุจากการบาดเจ็บในเด็กช่วงอายุ 1-15 ปีของกรมควบคุมโรค พบว่าในปี พ.ศ. 2557 มีเด็กที่มีอาการบาดเจ็บจากอุบัติเหตุพลัดตกหกล้มจากการใช้งานเครื่องเล่นเด็กมากถึง 121,000 คน และเพิ่มมากขึ้นเป็น 139,900 คน ในปี พ.ศ. 2559 ซึ่งเป็นการหกล้มจากการลื่นสะดุด และเสียหลัก ร้อยละ 31.7 ตกจากระดับหนึ่งไปสู่อีกระดับหนึ่ง ร้อยละ 10.0 ตกจากต้นไม้ ร้อยละ 6.2 และเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่น ร้อยละ 5.7 จากการสำรวจข้อมูลพบว่าสถิติในประเทศไทยมีเครื่องเล่นและของเล่นสำหรับเด็กที่มีความไม่ปลอดภัยมากกว่าร้อยละ 95 จากรายงานในจำนวนนี้พบว่ามีเด็กกว่า 34,075 คน ที่มีอาการบาดเจ็บจากเครื่องเล่นในสนามเด็กเล่น [1] และอีกส่วนหนึ่งของอาการบาดเจ็บของเด็ก เกิดจากการเล่น ของเล่นเด็กที่มีขนาด รูปร่าง และส่วนผสมในของเล่น ที่ไม่เหมาะสมสำหรับเด็ก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษ้อันตรายที่เกิดขึ้นจากการเล่นของเล่นและหาแนวทางการจัดการความปลอดภัยในของเล่นเด็ก เพื่อให้สามารถหลีกเลี่ยง ป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากเครื่องเล่นและของเล่นในเด็กได้ โดยนำผลการวิจัยไปพัฒนาต่อยอดการออกแบบและผลิตของเล่นที่ปลอดภัยให้แก่เด็กต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภรณ์ คุรุรัตน์ (2535) กล่าวว่า ของเล่น (Toy) หมายถึง เครื่องเล่นทุกชนิด สิ่งของหรืออุปกรณ์ที่นำมาให้เด็กเล่น โดยเฉพาะสิ่งที่ทำขึ้นเลียนแบบของจริง ยกตัวอย่างเช่น เครื่องบิน ตุ๊กตา ใช้เพื่อสร้างความสนุกสนานเพลิดเพลินให้กับผู้เล่น โดยของเล่นเป็นสิ่งที่นำเด็กไปสู่กระบวนการเรียนรู้และส่งเสริมพัฒนาการทุกด้าน

ปิยะชาติ แสงอรุณ (2526) ได้กล่าวถึงการเล่นที่เป็นสื่อกลางที่ช่วยให้เด็กซึมซับสารสนเทศใหม่หรือเก็บบันทึกความทรงจำหรือการกระทำอันนำไปสู่การพัฒนาทางด้านร่างกาย อารมณ์ จิตใจ สังคมและสติปัญญาได้ โดยสามารถแบ่งของเล่นออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ 1. ของเล่นที่ทำให้เด็กเกิดการพัฒนาทักษะ (Active Toy) คือ ของเล่นที่เป็นกิจกรรมให้เด็กได้กระทำเพื่อจุดประสงค์ในการเรียนรู้ พัฒนาทักษะ 2. ของเล่นที่ทำให้เกิดความสนุกสนานเพลิดเพลิน (Passive Toy) คือ ของเล่นที่มีจุดประสงค์เพื่อให้เด็กได้มีกิจกรรมกระทำในเวลาว่าง ไม่ได้มีการเล่นที่ส่งเสริมทักษะ เช่น เครื่องเล่นที่มีเสียงและรูปร่างแปลกตา

อดิศักดิ์ ผลิตผลการพิมพ์ (2556) ได้มีการแบ่งแยกของเล่นที่มีความอันตรายต่อเด็ก โดยจากการสำรวจพบว่าในประเทศไทยมีเครื่องเล่นที่ไม่ปลอดภัยกว่าร้อยละ 95 ซึ่งสามารถจำแนกได้ คือ 1.ของเล่นที่มีส่วนประกอบเป็นชิ้นเล็กชิ้นน้อย มีโอกาสในการทำให้สำลักอุดตันทางเดินหายใจได้มาก 2.ของเล่นที่มีสาย โดยความยาวของสาย

มากกว่า 22 ซม. ของเล่นประเภทนี้สามารถขดเป็นวงทำให้รัดคอหรืออวัยวะในร่างกายของเด็กได้ 3.ของเล่นที่มีลูกกระสุน โดยยิงที่ความแรงมากกว่า 0.08 จูล 4.ของเล่นที่มีลักษณะแหลมคม 5.ของเล่นที่ติดไฟได้ง่าย แล้วสามารถนำมาสวมหัวหรือสวมตัวได้ 6. ของเล่นที่มีเสียงดังเกินกว่า 110 เดซิเบล 7.ของเล่นเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว 8.ของเล่นที่มีลักษณะเป็นรู 9.ของเล่นที่มีวงจรไฟฟ้า และ 10.ของเล่นที่มีแม่เหล็กเป็นส่วนประกอบ

Rich Kraft. (2560) ได้มีการรวบรวมอันตรายที่เกิดขึ้นจากของเล่นเด็กที่มักเกิดขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วย 1. อันตรายจากการสำลัก (choking hazard) 2. อันตรายจากไฟฟ้าดูดหรือไฟฟ้าช็อต 3. อันตรายจากการหายใจไม่ออก 4. อันตรายจากการได้รับสารพิษ (toxic toy) 5. อันตรายจากเสียงดัง (Loud toy) 6. อันตรายจากการบาดเจ็บ

จิตตินันท์ เตะคุบต์ (2552) ได้อธิบายไว้ว่า ในช่วงชีวิตของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงปฐมวัย นับตั้งแต่แรกเกิดจนถึงอายุ 6 ปี ถือได้ว่าเป็นช่วงวัยที่สำคัญที่สุดของการเจริญเติบโตและพัฒนาการทุก ๆ ด้านของมนุษย์ ทั้งนี้การเล่นและของเล่นเพื่อส่งเสริมพัฒนาการและการเรียนรู้ของเด็กปฐมวัย มีความสำคัญในการเสริมสร้างประสบการณ์การเรียนรู้และพัฒนาการที่สอดคล้องกับธรรมชาติ และความต้องการของเด็กวัยนี้ ผู้ปกครองควรมีความรู้ความเข้าใจ เกี่ยวกับความสำคัญของการเล่นและของเล่นที่เหมาะสม การเลือกของเล่นให้เด็ก นอกจากจะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลักแล้ว ยังต้องเหมาะสมกับพัฒนาการของเด็กในแต่ละช่วงอายุด้วย และได้มีการแนะนำวิธีการป้องกันอันตรายที่เกิดจากของเล่นเด็กไว้ โดยแนะนำสำหรับเด็กก่อนวัยเรียนหรือเด็กแรกเกิดจนถึงอายุ 5 ปี ดังนี้ 1. ของเล่นควรมีขนาดใหญ่พอ 2. ของเล่นที่ต้องใช้ถ่านควรมีช่องสำหรับใส่ถ่านที่มีฝาปิดแน่นหนาเพื่อป้องกันเด็กนำถ่านออกมาเล่น ได้ 3. ของเล่นสำหรับเด็กที่เหมาะสมสำหรับเด็กที่สามารถนั่งด้วยตัวเองได้ และควรมีสายรัดเพื่อป้องกันการลื่น 4. ของเล่นที่เลียนแบบอาวุธชนิดต่าง ๆ อย่างลูกดอก ลูกศร ดาบหรือปืน ไม่ควรมีสายแหลมและควรมีสีสันสดใส 5. ของเล่นที่มีตาข่ายควรขึงตาข่ายอย่างแน่นหนาเพื่อป้องกันตาข่ายหลุด และ 6. ของเล่นประเภทที่เป็นจักรยานหรือพาหนะขับขีสำหรับเด็ก ควรมีอุปกรณ์ป้องกันการบาดเจ็บในการเล่นอย่างเสมอ

อิศรารัตน์ อิศราภรณ์ (2560) ได้กล่าวถึงความสำคัญของคุณภาพและความปลอดภัยของของเล่น โดยมาตรฐานความปลอดภัยในของเล่นหรือ ISO 8124 เป็นมาตรฐานในการทดสอบผลิตภัณฑ์ของเล่นที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากของเล่น

ทาโร ยามานะ (Yamane, 1973) พัฒนารายการที่ใช้หาขนาดของกลุ่มตัวอย่างเพื่อประมาณค่าสัดส่วนของประชากร โดยตารางสำเร็จรูปของ Yamane เป็นตารางสำเร็จรูปที่นักวิจัยนิยมใช้ในระยะแรก โดยต่อมา Butkovich, Smith & Hoffman (2004) เสนอว่าตารางสำเร็จรูปนี้มีตารางเดียวคำนวณจากขนาดกลุ่มประชากรและความคลาดเคลื่อนเท่านั้นและใช้กับสถิติทดสอบทุกประเภทจึงมีความเหมาะสมน้อย ต่อมา Yamane ปรับสูตรให้ถูกต้องมากขึ้น

3. กระบวนการวิจัย

3.1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยนี้ เป็นการศึกษาวิจัยในเชิงเอกสาร (Documentary Research) และการวิจัยในเชิงสำรวจ (Survey Research) มีวัตถุประสงค์เพื่อการนำข้อมูลไปวิเคราะห์ถึงความเสี่ยงและอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากของเล่นเด็ก โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างที่กำหนดไว้ โดยเก็บข้อมูลผ่านการใช้แบบสอบถาม การสัมภาษณ์ และแบบสำรวจ จากประชากรที่ประกอบไปด้วย ครู ผู้ดูแลเด็ก ผู้ปกครอง ที่อาศัยอยู่ในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา

3.1.1 กลุ่มประชากรเป้าหมาย

กลุ่มประชากรที่กำหนดสำหรับการศึกษาในครั้งนี้ เป็นประชากรเป้าหมายสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) อันได้แก่ ครู ผู้ดูแลเด็ก หรือผู้ปกครอง ที่ดูแลเด็กที่มีช่วงอายุตั้งแต่ 3 เดือน ถึง 12 ปี โดยการลงพื้นที่เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลในพื้นที่จังหวัดนครราชสีมา (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 สถานที่ในการเก็บรวบรวมข้อมูล

สถานที่	ตำบล	อำเภอ	จังหวัด
โรงเรียนบ้านธารปราสาท	ธารปราสาท	โนนสูง	นครราชสีมา
โรงเรียนบ้านพิชิตเดชนทร์	โชคชัย	โชคชัย	นครราชสีมา
จุดบริการฉีดวัคซีนโรงพยาบาลมหาราช นครราชสีมา	ในเมือง	เมือง	นครราชสีมา

3.1.2 ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

ขนาดของกลุ่มตัวอย่างจากกลุ่มประชากรที่ได้กำหนดไว้ในการดำเนินงานวิจัยเป็น ครู ผู้ดูแลเด็ก หรือผู้ปกครอง ที่ดูแลเด็กที่มีช่วงอายุตั้งแต่ 3 เดือน ถึง 12 ปี ที่อาศัยอยู่ในจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 349,030 คน (ข้อมูลประชากร ณ วันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2565) โดยจากกลุ่มประชากรสามารถนำมาคำนวณกลุ่มตัวอย่างได้โดยวิธีการของ ทาโร ยามาเน่ เพื่อหาจำนวนขนาดกลุ่มตัวอย่าง โดยการใช้

$$n = \frac{N}{1+(N)(e^2)} \quad (1)$$

โดย n คือขนาดตัวอย่าง N คือขนาดกลุ่มประชากร e คือระดับความแตกต่างของสถิติกับพารามิเตอร์ (error = e)

โดยในการคำนวณกลุ่มตัวอย่าง มีการกำหนดค่าความเชื่อมั่นที่ 95% และค่าความคลาดเคลื่อนที่ 5% ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังนี้

$$n = \frac{N}{1+(N)(e^2)} \quad (1)$$

$$n = \frac{349,030}{1+(349,030)(0.05^2)}$$

$$n \approx 400 \text{ คน}$$

จากการคำนวณกลุ่มตัวอย่างจากประชากรที่ได้กำหนดไว้ในการดำเนินงานวิจัยเป็น ครู ผู้ดูแลเด็ก หรือผู้ปกครอง ที่ดูแลเด็กที่มีช่วงอายุตั้งแต่ 3 เดือน ถึง 12 ปี ที่อาศัยอยู่ในจังหวัด เมื่อนำมาคำนวณด้วยสูตรการคำนวณของ ทาโร ยามาเน่ จะทำให้ได้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้คือ 400 คน เนื่องจากในการลงพื้นที่เก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้มีจำนวนผู้เข้าร่วมตอบแบบสอบถามทั้งสิ้น 480 คน ดังนั้นในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากผู้ถูกทดสอบโดยแบบสอบถาม แบบบันทึกการสัมภาษณ์ แบบสังเกตพฤติกรรมการเล่นของเด็กทั้งหมด ซึ่งจากการคำนวณด้วยสูตรของทาโร ยามาเน่ ผู้วิจัยสามารถเก็บข้อมูลได้มากกว่าการคำนวณกลุ่มตัวอย่าง 400 คน เพื่อเป็นการเพิ่มความเชื่อมั่นในการเก็บข้อมูล

3.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ แบบสอบถาม แบบบันทึกการสัมภาษณ์ แบบสังเกตพฤติกรรมการเล่นของเด็ก โดยมีขั้นตอนในการสร้างทั้งหมด 7 ขั้นตอน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการสร้างแบบสอบถามความปลอดภัยของเล่นเด็ก

ลำดับ	ขั้นตอน
1	ทำการศึกษางานวิจัยและวรรณกรรมที่มีความเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการเล่นของเด็ก
2	ศึกษาวิธีสร้างแบบสอบถามและเทคนิคการรวบรวมข้อมูล
3	สร้างแบบสอบถาม ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน 1. ข้อมูลทั่วไป 2. การประเมินความเสี่ยงและอันตรายจากของเล่น 3. คำถามปลายเปิดตามความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม
4	ตรวจสอบเนื้อหาและข้อคำถามเพิ่มเติม
5	ทำการวิเคราะห์ดัชนีความสอดคล้องระหว่างเครื่องมือและวัตถุประสงค์ (IOC: Index of Item Objective Congruence)
6	นำแบบสอบถามที่ผ่านการปรับปรุง ทดลองใช้กับกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็ก เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ความถูกต้องของภาษาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในการตอบแบบสอบถาม

ตารางที่ 2 ขั้นตอนการสร้างแบบสอบถามความปลอดภัยของเล่นเด็ก (ต่อ)

ลำดับ	ขั้นตอน
7	นำแบบสอบถามที่ได้กลับคืนมาตรวจสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม โดยวิธีสัมประสิทธิ์อัลฟาของครอนบาค (Cronbach, 1970) โดยจากการหาความเชื่อมั่น ของแบบสอบถามได้ค่าความเชื่อมั่น 0.7 ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้

3.2 การเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลผู้ถูกทดสอบโดยแบบสอบถาม แบบบันทึกการสัมภาษณ์ แบบสังเกตพฤติกรรมการเล่นของเด็ก ทั้งหมด 480 คน แบ่งออกเป็นเพศชาย 228 คน และเพศหญิง 252 คน ดังแสดงในตารางที่ 3

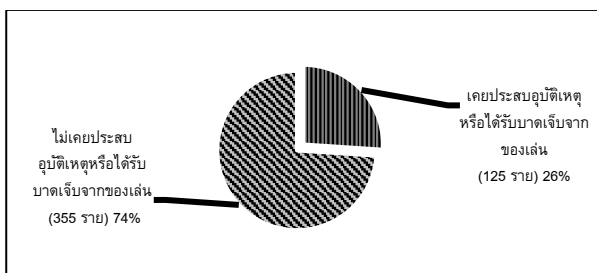
ตารางที่ 3 จำนวนผู้ถูกทดสอบแบ่งตามเพศและอายุ

เพศ	อายุ (ปี)				รวม (คน)
	0-2	3-5	6-8	9-12	
ชาย	14	40	93	81	228
หญิง	19	39	106	88	252
รวม (คน)	33	79	199	169	480

จากการกำหนดกลุ่มประชากรเป้าหมายและลงพื้นที่เพื่อสัมภาษณ์ผ่านแบบสอบถามที่ได้สร้างขึ้น เมื่อเก็บข้อมูลทั้งหมดแล้ว จำนวนของผู้ถูกทดสอบมีทั้งหมด 480 คน โดยในการเก็บข้อมูลได้มีการแบ่งช่วงอายุของผู้ถูกทดสอบตามเพศและอายุออกเป็น 4 ช่วง โดยในช่วงวัยแรกเกิดจนถึง 2 ปี มีทั้งหมด 33 คน ช่วง 3 ถึง 5 ปี มี 79 คน ช่วงวัย 6 ถึง 8 ปี มี 199 คน และ ในช่วงวัย 9 ถึง 12 ปี มีทั้งหมด 169 คน

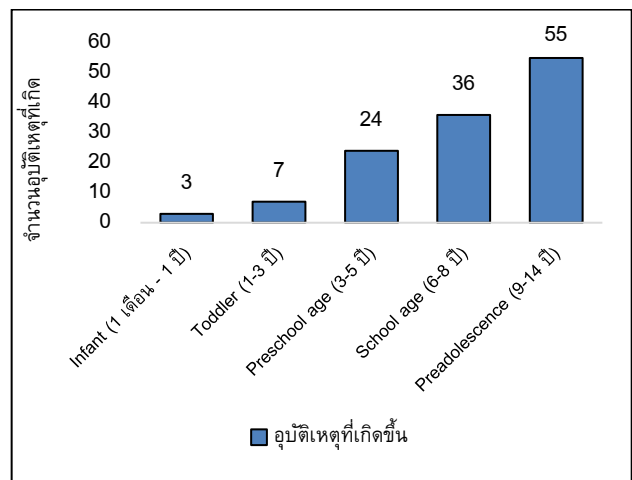
3.2.1 ข้อมูลอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น

โดยข้อมูลจากแบบสอบถามพบว่า จำนวนของเด็กในความดูแลของผู้ตอบแบบสอบถาม เคยประสบอุบัติเหตุหรือเกิดการบาดเจ็บจากการเล่นของเล่นเป็นจำนวน 125 ราย ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 26 และเด็กในความดูแลของผู้ตอบแบบสอบถามยังไม่เคยประสบอุบัติเหตุหรือได้รับบาดเจ็บจากการเล่นของเล่น 355 ราย คิดเป็นร้อยละ 74 (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 จำนวนของเด็กที่เคยเกิดอุบัติเหตุจากของเล่น

ในการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามนี้พบว่าจำนวนของอุบัติเหตุที่เคยเกิดขึ้นในแต่ละช่วงอายุของเด็กโดยแบ่งแยกตามช่วงอายุของเด็กตามหลักทางการแพทย์ [7] จะสามารถแบ่งช่วงอายุของเด็กได้ ดังนี้ 1. เด็กแรกเกิดหรือทารกแรกเกิด (New born หรือ Neonate) หมายถึง เด็กตั้งแต่แรกเกิดจนอายุ 28 วัน หรือ 1 เดือน 2. เด็กอ่อนหรือ เด็กทารก (Infant) หมายถึง เด็กอายุตั้งแต่ 1 เดือน ถึง 1 ปี 3. เด็กวัยเตาะแตะ (Toddler) คือ เด็กในช่วงอายุ 1 ปี ถึง 3 ปี 4. เด็กก่อนวัยเรียน หรือเด็กเล็ก (Preschool age) คือ เด็กช่วงอายุ 3 ปี ถึง 5 ปี 5. เด็กวัยเรียน (School age) คือ เด็กช่วงอายุ 6 ปี ถึง 8 ปี 6. เด็กโต ซึ่งอาจเรียกว่า วัยก่อนวัยรุ่น (Preadolescence) คืออายุช่วง 9 ปี 14 ปี

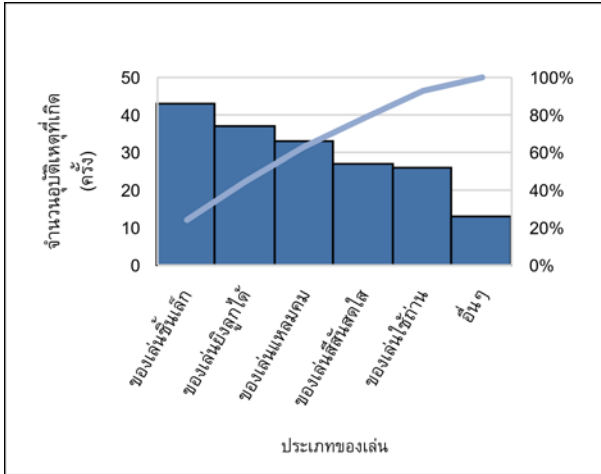


รูปที่ 2 จำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงอายุ

โดยจำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นจากการศึกษา (รูปที่ 2) พบว่าในเด็กช่วงอายุ 1 เดือน - 1 ปี มีอุบัติเหตุเกิดขึ้น 3 ครั้ง ซึ่งน้อยที่สุด และในช่วงวัย 9-14 ปี เป็นช่วงอายุที่เกิดอุบัติเหตุจากของเล่นมากที่สุด เนื่องจากเด็กในช่วงวัยก่อนวัยรุ่น (Preadolescence) ซึ่งเป็นช่วงอายุที่เด็กมีพัฒนาการทั้งด้านร่างกายและสมอง ต้องการประสบการณ์และการผจญภัยใหม่ ๆ ตลอดเวลา รวมไปถึงการลองผิดลองถูก [3]

3.2.2 ลักษณะของเล่นที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ

ในการเก็บข้อมูลพบว่าลักษณะของของเล่นที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุประกอบไปด้วยของเล่นที่เป็นชิ้นเล็ก ๆ เกิดอุบัติเหตุขึ้น 43 ครั้ง ของเล่นที่สามารถยิงลูกว้ตูกออกมาได้เกิดอุบัติเหตุขึ้น 37 ครั้ง ของเล่นที่มีความแหลมหรือคมเกิดอุบัติเหตุขึ้น 33 ครั้ง ของเล่นที่มีสีสนัดสีเกิดอุบัติเหตุขึ้น 27 ครั้ง ดังแสดงได้ในรูปที่ 3

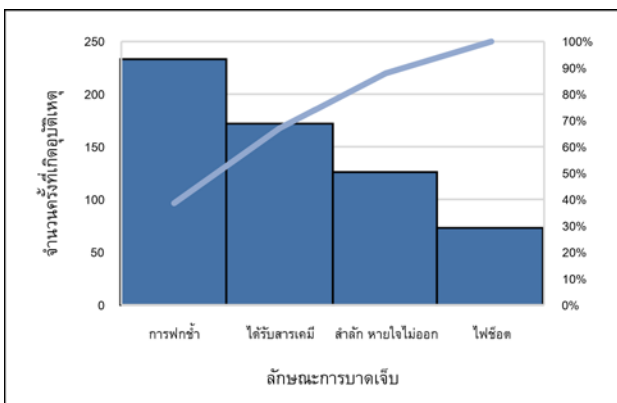


รูปที่ 3 จำนวนอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในของเล่นแต่ละประเภท

โดยจากแผนภูมิแสดงให้เห็นว่าของเล่นที่เป็นชั้นเล็ก ๆ เช่น โมเดลที่มีขนาดเล็ก ตัวต่อหรือลูกปัดมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 18.86 รองลงมา เป็นของเล่นที่สามารถยิงลูกวัตถุออกมาได้ เช่น ปืนอัดลม ปืนลูกดอก คันธนู คิดเป็นร้อยละ 16.23 ของเล่นที่มีความแหลมหรือคม เช่น ลูกดอกปาเป้า มีดของเล่น คิดเป็นร้อยละ 14.47 ต่อมาเป็นของเล่นที่มีสีสนสไลด์ เช่น ตุ๊กตายางบับ ลูกโป่งฟองสบู่ ลูกโป่ง ร้อยละ 11.84

3.2.3 ลักษณะอันตรายที่เกิดขึ้น

ลักษณะอันตรายและการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นจากการเล่นของเล่น ประกอบไปด้วยการฟกช้ำ แผลเลือดออก 233 ครั้ง การได้รับสารเคมีจากส่วนผสมในของเล่น 172 ครั้ง การสำลัก หายใจไม่ออก 126 ครั้ง และของเล่นที่ใช้แบตเตอรี่ทำให้เกิดไฟช็อต 73 ครั้ง แสดงได้ดังรูปที่ 4



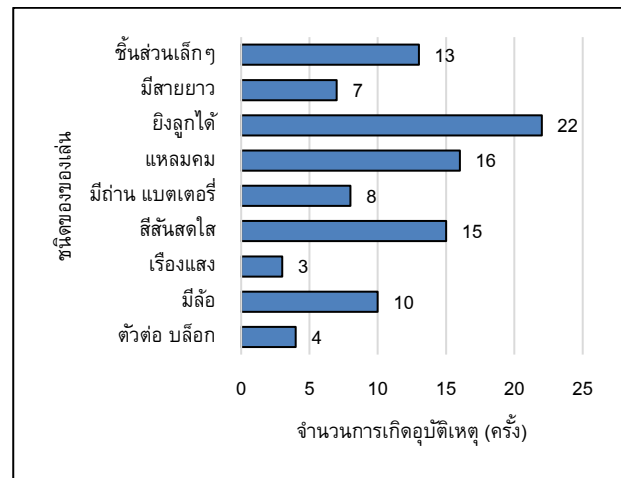
รูปที่ 4 ลักษณะอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเล่นของเล่น

ลักษณะอันตรายที่เคยเกิดขึ้นจากการเล่นของเล่น เป็นอันตรายจากการฟกช้ำ แผลเลือดออก มากที่สุดร้อยละ 38.58 รองลงมาได้แก่อันตรายจากการได้รับสารเคมีจากส่วนผสมในของเล่น ร้อยละ 28.48 เป็นอันตรายจากการสำลัก หายใจไม่ออก ร้อยละ 20.86 และเป็นอันตรายจากของเล่นที่ใช้แบตเตอรี่ทำให้เกิดไฟช็อต น้อยที่สุดโดยมีร้อยละ 12.09

3.3 การวิเคราะห์ผล

3.3.1 การวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุจากการเล่นของเล่นตามช่วงอายุของเด็ก

ในการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามพบว่าช่วงอายุของเด็กมีผลโดยตรงกับจำนวนครั้งที่เกิดอุบัติเหตุอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเด็กในแต่ละช่วงวัยมีพฤติกรรมการเล่นของเล่นที่ต่างกันตามพัฒนาการทางสมองและร่างกายของเด็ก โดยช่วงอายุที่เกิดอุบัติเหตุขึ้นบ่อยที่สุดคือ เด็กในช่วงอายุ 7-9 ปี โดยเกิดอุบัติเหตุขึ้นจำนวน 59 ครั้ง โดยของเล่นที่เกิดอุบัติเหตุในเด็กช่วงอายุนี้ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 จำนวนการเกิดอุบัติเหตุของเด็กในช่วงอายุ 7-9 ปี

เนื่องจากพฤติกรรมของเด็กในช่วงอายุ 7 ถึง 9 ปี เริ่มมีความคิดเป็นตัวของตัวเองสูงขึ้น เริ่มเข้าสังคมมากขึ้น เริ่มมีความคล่องแคล่วสูง ทำให้อันตรายที่เกิดขึ้นกับเด็กในวัยนี้ส่วนใหญ่มีความรุนแรง เช่น การขว้าง การปา หรือการยิง จากพฤติกรรมการเล่นของเล่นเด็กในช่วงอายุดังกล่าว ทำให้อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในช่วงวัยนี้จะเป็นอุบัติเหตุจากของเล่นที่สามารถยิงลูกวัตถุออกมาได้ เช่น ปืนอัดลม ปืนลูกดอก คันธนู เป็นอันดับแรก รองลงมาเป็นของเล่นที่มีความแหลมหรือคม เช่น ลูกดอกปาเป้า มีดของเล่น ทำให้อันตรายที่เกิดขึ้นกับเด็กในวัยนี้ส่วนใหญ่รุนแรง เช่น การขว้าง การปา การโยน หรือการถูกยิง ทำให้ในบางกรณีเด็กอาจต้องเข้ารับการรักษาที่โรงพยาบาล

3.3.2 การวิเคราะห์ลักษณะของของเล่นที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ

จากข้อมูลพบว่าลักษณะของของเล่นที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ เป็นของเล่นที่เป็นชิ้นเล็กๆ เช่น โมเดลตัวเล็ก ๆ ตัวต่อเลโก้ ลูกปัด มากที่สุด เนื่องจากเด็กในช่วงวัยนี้มีการเจริญเติบโตและมีความสามารถเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ได้อย่างรวดเร็ว มีความอยากรู้อยากเห็น และสนใจสิ่งแวดล้อมรอบ ๆ ตัว มีความชอบค้นคว้า ทดลองทำสิ่งต่าง ๆ อยู่ตลอดเวลา และจากงานวิจัยพบว่า เด็กที่อยู่ในช่วงอายุ แรกเกิดถึง 12 ปี เป็นช่วงอายุที่อยู่ในช่วงการพัฒนาหลากหลายด้าน ทั้งด้านกล้ามเนื้อ อารมณ์ สังคม

สติปัญญา แต่ยังไม่สามารถแยกแยะอันตรายได้ด้วยตนเอง และไม่มี ความระมัดระวังในการเล่นของเล่น ด้วยวัยนี้เป็นวัยที่มีความอยากรู้อยากลอง โดยผลจากการสำรวจจลนพื้นที่ พบว่าอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นมักเกิดจากการที่เด็กเล่นของเล่นไม่ถูกวิธีหรือเล่นอย่างพิเรนทร์

3.3.3 การวิเคราะห์ลักษณะอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเล่นของเล่น

จากการเก็บข้อมูลในการศึกษาวิจัยพบว่าลักษณะอันตรายที่เคยเกิดขึ้นจากการเล่นของเล่น ส่วนใหญ่จะเป็นอันตรายที่เกิดเป็นอาการบาดเจ็บดังเช่น การฟกช้ำ แผลเลือดออก ซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการเล่นของเด็ก เช่น การขว้าง ปา โยน ยิง เคาะ ฯลฯ จากการลงพื้นที่สำรวจเก็บข้อมูล ที่พบว่าอุบัติเหตุที่เกิดขึ้น ส่วนมากมักเป็นเด็กที่อยู่ในช่วงอายุ 3 เดือน ถึง 9 ปี โดยที่ผู้ปกครองของเด็กมีลักษณะในการดูแลเด็กที่ต่างกัน ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 แบบ คือ 1. มีการดูแลอย่างใกล้ชิด 2. คอยสังเกตอยู่ห่าง ๆ ตามความเหมาะสม

ซึ่งจากการศึกษาพบว่าพฤติกรรมของเด็กในช่วงอายุดังกล่าว มีพัฒนาการผ่านกิจกรรมต่างๆ การเล่นที่ใช้พัฒนาทักษะการวางแผน มีความอยากรู้อยากเห็นและสนใจสิ่งแวดลอมรอบๆ ชอบค้นคว้า ทดลอง ทำสิ่งต่างๆ อยู่ตลอดเวลา แต่ยังไม่มีความระมัดระวังในการเล่นของเล่นที่ดีพอ และด้วยวัยนี้เป็นวัยที่มีความอยากรู้อยากลอง โดยจากการสำรวจจลนพื้นที่และเก็บข้อมูลพบว่าอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นเกิดจากการที่เด็กเล่นของเล่นไม่ถูกวิธีหรือความคึกคะนองจนเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้

3.3.4 แนวทางการป้องกันอันตรายจากของเล่นเด็ก

จากการศึกษาอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเล่นของเล่นเด็กในแต่ละช่วงวัย สามารถสรุปเป็นแนวทางการป้องกันอันตรายจากของเล่นของเด็กสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4 ต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แนวทางการป้องกันอันตรายจากของเล่นเด็ก

ของเล่นที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ	แนวทางการป้องกัน
ของเล่นที่เป็นชิ้นเล็ก (18.86%)	ของเล่นทุกชิ้นต้องมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่เด็กจะกลืนได้ เพื่อป้องกันการกลืนกิน ควรตรวจเบื้องต้นโดยนำของเล่นลอดผ่านแกนกระดาษชำระ หากลอดผ่านได้จะถือว่าของเล่นชิ้นนั้นมี ความอันตรายต่อเด็ก ไม่ควรให้เล่น
ของเล่นที่สามารถยิงลูกวัตถุออกมา (16.23%)	ไม่ควรสนับสนุนให้เด็กเล่นของเล่นที่มีลูกกระสุนทุกชนิด โดยเฉพาะปืนอัดลมเพราะอาจทำให้ผู้อื่นได้รับบาดเจ็บ รวมไปถึงการหลีกเลี่ยงการสร้างพฤติกรรมที่นำไปสู่ความรุนแรงในอนาคต

ตารางที่ 4 แนวทางการป้องกันอันตรายจากของเล่นเด็ก (ต่อ)

ของเล่นที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ	แนวทางการป้องกัน
ของเล่นความแหลมหรือคม (14.47%)	ควรตรวจสอบความแหลมคมของของเล่นในทุกๆ ด้าน เมื่อเล่นของเล่นเสร็จควรเก็บของเล่นใส่กล่องใส่ตะกร้า และจะมีการแยกประเภทไว้เพื่อเพิ่มความระมัดระวัง
ของเล่นที่มีสี สีสันสด (11.84%)	โดยชื่อของเล่นที่ได้รับมาตรฐาน มอก.685-2540 โดยของเล่นต้องเคลือบด้วยสีที่ปลอดภัย สารพิษ ผู้ปกครองควรหลีกเลี่ยงเมื่อพบว่าของเล่นมีสีหลุดลอก เมื่อเด็กเล่นของเล่นควรดูแลอย่างใกล้ชิด
ของเล่นที่มีล้อ ร้อยละ (11.40%)	ควรใส่อุปกรณ์เสริมความปลอดภัยทุกครั้ง เนื่องจากการบาดเจ็บบางกรณีอาจรุนแรงถึงขนาดกระดูกหักและเคลื่อนได้ ควรฝึกฝนและมีผู้ดูแลใกล้ชิด เพื่อป้องกันการบาดเจ็บและต้องได้รับการฝึกการล้มตัวที่ถูกวิธี และต้องเล่นในพื้นที่สำหรับเล่นโดยเฉพาะ

จากตารางที่ 4 แนวทางการป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเล่นของเล่นเด็ก ของเล่นที่มีขนาดเป็นชิ้นเล็กควรที่จะป้องกันโดยการตรวจสอบขนาดของของเล่นให้เหมาะสม โดยการนำของเล่นมาลอดผ่านแกนกระดาษชำระ หากสามารถลอดผ่านได้ ผู้ปกครองควรพิจารณาไม่ให้เด็กเล่นของเล่น หรือควรดูแลอย่างใกล้ชิด ของเล่นที่สามารถยิงได้ไม่ควรให้เด็กเล่นเนื่องจากอาจเป็นการสร้างพฤติกรรมที่นำไปสู่ความรุนแรงในอนาคต ของเล่นที่มีความแหลมคมควรตรวจสอบความคมและจัดเก็บให้เรียบร้อยทุกครั้ง ของเล่นที่มีสี สีสันสดควรตรวจสอบมาตรฐานความปลอดภัยของของเล่นเสมอ และในส่วน ของเล่นที่มีล้อ ผู้ปกครองควรให้เด็กสวมอุปกรณ์ป้องกันอันตรายและฝึกฝนให้เด็กสามารถไถ่อย่างถูกต้อง เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลจากการตอบแบบสอบถามของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการลงพื้นที่โรงเรียนในจังหวัดนครราชสีมา ห้างสรรพสินค้า และข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามออนไลน์ และทำการวิเคราะห์ข้อมูล โดยมีข้อสรุปดังนี้

1. จากการเก็บข้อมูลของผู้ถูกทดสอบทั้งหมด 480 คน แบ่งเป็นเพศชาย 228 คน และเพศหญิง 252 คน โดยสามารถแบ่งช่วงอายุของผู้ถูกทดสอบออกเป็น 4 ช่วงได้แก่ ช่วงวัยแรกเกิดถึง 3 ปีมีจำนวน 33

คน ช่วงวัย 3 ถึง 6 ปีมี 79 คน ช่วงวัย 6 ถึง 9 ปีมีจำนวนมากที่สุดคือ 199 คน และช่วงวัย 9 ถึง 12 ปี มี 169 คน

2. จากการเก็บข้อมูลพบว่ามีเด็กจำนวน 125 รายที่เคยประสบอุบัติเหตุจากการเล่นของเล่น ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 26 จากทั้งหมด โดยช่วงอายุของที่มีอุบัติเหตุเกิดขึ้นมากที่สุดคือช่วงก่อนวัยรุ่น (Preadolescence) คือ ช่วงอายุ 9-14 ปี เนื่องจากเด็กในช่วงอายุนี้นี้เป็นช่วงอายุที่เด็กมีพัฒนาการทั้งด้านร่างกายและสมอง ซึ่งต้องการประสบการณ์และการผจญภัยใหม่ ๆ อยู่เสมอ จึงส่งผลให้เกิดการลองผิดลองถูก และเกิดเป็นอุบัติเหตุได้

3. ลักษณะของของเล่นที่ทำให้เกิดอุบัติเหตุ จากการศึกษพบว่าของเล่นประเภทที่มีขนาดเล็ก ๆ ทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นมากที่สุดซึ่งเกิดอุบัติเหตุขึ้นจำนวน 43 ครั้ง เนื่องจากเมื่อเด็กเล่นของเล่นที่มีขนาดเล็ก เด็กอาจกลืนของเล่น ทำให้หายใจไม่ออก หรือเด็กอาจเหยียบของเล่นที่มีขนาดเล็กจนเกิดการบาดเจ็บได้ และลักษณะของอันตรายที่เกิดขึ้นจากการเล่นของเล่น มากที่สุดคือการฟกช้ำ คิดเป็นร้อยละ 38.58 รองลงมาได้แก่อันตรายจากการสำลัก หายใจไม่ออก และอันตรายจากของเล่นที่ใช้แบตเตอรี่

4. จากแนวทางการป้องกันอันตรายจากของเล่นเด็ก ของเล่นที่มีขนาดเล็กควรป้องกันโดยการตรวจสอบขนาดของของเล่นให้เหมาะสมก่อน ของเล่นที่สามารถยกลูกได้ไม่ควรให้เด็กเล่นเพื่อหลีกเลี่ยงพฤติกรรมความรุนแรงที่จะเกิดขึ้นในอนาคต และของเล่นที่มีสีสนัสดสี ควรตรวจสอบมาตรฐานของของเล่นก่อนเสมอ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณโรงเรียนบ้านธารปราสาท โรงเรียนบ้านพิชิตคเชนทร์ ศูนย์การค้าเซ็นทรัลนครราชสีมา และโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเข้าไปเก็บข้อมูลภายในโรงเรียนและเก็บข้อมูล ณ จุดบริการฉีดวัคซีนโรงพยาบาลมหาราชนครราชสีมา ไปถึงนักเรียนและผู้ปกครองทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลครั้งนี้เป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (สกสว.) ประจำปีงบประมาณ 2565 ที่ได้มอบทุนในการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมโรค. 2556. "การบาดเจ็บและอันตรายในเด็ก", จาก <https://ddc.moph.go.th/uploads/publish/1037220200813043> (วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2565)
- [2] พรทิพย์ ประยุทธ์เต. 2557. "อันตรายจากของเล่นที่เกิดกับเด็ก", จาก <https://www.bkdplay.com/article/21/อันตรายจากของเล่นที่เกิดกับเด็ก> (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 พฤศจิกายน 2565.)
- [3] ภรณ์ คุรุรัตน์ และคณะ. 2535. "การเรียนรู้ของเด็กปฐมวัย". แนวคิดของกลุ่มนักศึกษา, นนทบุรี, 5-6

- [4] ปิยะชาติ แสงอรุณ. 2526. "ของเล่นเพื่อเสริมคุณค่าในชีวิต เครื่องเล่นเพื่อพัฒนาเด็ก ม.ป.พ.". ศิลปสำหรับเด็ก
- [5] อติศักดิ์ ผลิตผลการพิมพ์. 2556. "หลากอันตรายจากของเล่นเด็ก", จาก <http://www.rama.mahidol.ac.th/atrama/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 27 กุมภาพันธ์ 2566)
- [6] Rich Kraft. 2560. "Toys are More Dangerous Than Cars and Electrical Appliances." จาก <https://www.wirece.com/toys-dangerous-cars-electrical-appliances/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 พฤษภาคม 2564)
- [7] จิตตินันท์ เดชะคุปต์. 2552. "ของเล่นเสริมพัฒนาการเด็ก", สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
- [8] อิศรารัตน์ อิศราภรณ์, "มาตรการทางกฎหมายว่าด้วยความปลอดภัยในของเล่นเด็ก", (วิทยานิพนธ์นิติศาสตรมหาบัณฑิต คณะนิติศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, (2560)
- [9] ณัชนันท์ ชีวานนท์. 2559. "อุบัติเหตุในเด็ก: สถานการณ์ และแนวทางการป้องกัน". วารสารคณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา, ปีที่ 24 ฉบับที่ 3: 1-12.
- [10] วิลลภ รัฐฉัตรานนท์. 2563. "การหาขนาดตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการวิจัย มายาคติในการใช้สูตรของ ทาโร ยามาเนะ และเครจซี่-มอร์แกน" (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพมหานคร. คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การลดของเสียในกระบวนการผลิตชีสแผ่น : กรณีศึกษา

Waste Reduction in the Cheese Slices Production : A Case Study

ภัทรพงศ์ คงธีรภาพัฒน์ ธนรงค์ฤทธิ์ สนใจธรรม

สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี

E-mail: s6206011620181@email.kmutnb.ac.th*

Pattarapong Kongtheerapap*, Narongrit Sonjaitam

Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus

E-mail: s6206011620181@email.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการบรรจุชีสแผ่น และลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตของบริษัท กรณีศึกษา กระบวนการผลิตชีสแผ่นประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ 1) การบดชีส, 2) การต้มชีส, 3) การบรรจุชีสแผ่น และ 4) การแพ็คชีสแผ่น และบรรจุลงลัง ซึ่งการค้นหาค้นหาขั้นตอนการทำงานที่ทำให้เกิดการสูญเสียวัตถุดิบหลักในกระบวนการผลิตชีสแผ่น โดยการประยุกต์ใช้หลักการสมดุลมวล (mass-balance) โดยนำหลักการนี้มาใช้และครอบคลุมเฉพาะด้านข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์เท่านั้น พบว่า ขั้นตอนการบรรจุชีสแผ่น มีการสูญเสียมากที่สุดเฉลี่ยประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมีลักษณะของเสียและปริมาณสัดส่วนของเสีย คือ 1) ตัดเสีย ร้อยละ 3.1, 2) ชีสไม่เต็มแผ่น ร้อยละ 2.8, 3) ซีลพลาสติกใสรั่ว ร้อยละ 2.8 และ 4) ลักษณะอื่นๆ ร้อยละ 1.2 และการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา โดยการประยุกต์ใช้หลักการ Why - Why Analysis พบว่า 1) ปัญหาตัดเสีย เกิดจากไม่มีการกำหนดอายุการใช้งานของใบตัด, 2) ปัญหาชีสไม่เต็มแผ่น เกิดจากขาดการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องต้มชีสก่อนการเริ่มการผลิต และ 3) ปัญหาซีล พลาสติกใสรั่ว เกิดจากไม่มีแผนงานการบำรุงรักษาเครื่องบรรจุชีสและโปรแกรมที่ชัดเจน การดำเนินการแก้ปัญหาเบื้องต้น ได้ดำเนินการแก้ไขปัญหาคัดเสีย โดยการกำหนดอายุใบตัดที่ประมาณ 900,000 ครั้ง ซึ่งสามารถลดปัญหาการตัดเสียจากเดิมร้อยละ 3.1 ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 1.1 หรือจากปริมาณการตัดเสียจากเดิมเฉลี่ยประมาณ 761 กิโลกรัมต่อเดือน ลดเหลือเพียงประมาณ 269 กิโลกรัมต่อเดือน ซึ่งคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่ลดลงได้ประมาณ 196,800 บาทต่อเดือน

คำสำคัญ: การลดของเสีย, ชีสแผ่น, สมดุลมวล

Abstract

The objective of this research is to study the procedure of cheese slices packing process and the waste reduction incurred in the procedure of a case study. The procedures of cheese slices consist of four main steps 1) grinding cheese; 2) boiling cheese; 3) packing cheese slices; and 4) wrapping cheese slices and packing them in crates. The mass balance principle was applied where only product defects are used to determine to processes to figure out the process that caused the loss of the main raw materials in the fabrication of cheese slices packing process. It found that the procedure of packing cheese slices caused the most loss on average, about 10 percent, with the nature of waste and the proportion of waste as follows: 1) 3.1 percent of waste from cutting, 2) 2.8 percent of not-fully-filled cheese slices, 3) 2.8 percent of leaking plastic seals, and 4) 1.2 percent of other kinds of waste. Moreover, the analysis of the main problem by applying the principle of Why - Why Analysis found that: 1) the problem of waste cutting was caused by not specifying the lifespan of the cutting blade; 2) the problem of not-fully-filled cheese slices caused by a lack of inspection and maintenance of the cheese boiler machine before the start of production; and 3) the problem of leaking plastic seals caused by there is no apparent cheese packing machine maintenance plan and program. Preliminary troubleshooting has solved the problem of waste cutting by determining the lifespan of the cutting blade at about 900,000 times. This can reduce the problem of waste cutting from 3.1 percent to 1.1 percent, or the average amount of waste cutting from the original average of about 761 kilograms per month to about 269 kilograms per month. It represented a reduction in the value of the loss of about 196,800 baht per month.

Keywords: Waste reduction, Cheese slices, Mass-balance

การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแนวเชื่อมโดยการเชื่อมวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 ด้วยกระบวนการเชื่อมชนิดเลเซอร์

The Study of Parameters Affecting Weld Bead by Welding SS400 Grade Carbon Steel Materials with Nd:YAG Laser Welding Process

จงกล ศรีธร เกษมสันต์ แสงสาร*

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

E-mail: kasemsan3631@gmail.com*

Jongkol Sriethorn, Kasemsan Saengsan*

School of Industrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology

E-mail: kasemsan3631@gmail.com*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการเชื่อมเลเซอร์ถูกนำมาใช้หลายลักษณะงาน เช่น การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อากาศยาน ตลอดจนการเชื่อมอัญมณี โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ในอุตสาหกรรม เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการทำงานใกล้เคียงกับแม่พิมพ์ก่อนที่จะมีการชำรุดเสียหาย โดยการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแนวเชื่อม ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ความถี่ของพัลส์ และระยะเวลาของพัลส์ 2) ศึกษาโครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม โดยการศึกษาที่ใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 ด้วยชนิดเลเซอร์เชื่อมกับลวดเชื่อมสเตนเลส เกรด 316 ผลจากการศึกษาโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อมมีขนาดเล็กระดับไมโครเมตร มีค่าเฉลี่ยความสูงของแนวเชื่อมเท่ากับ $332.01 \pm 36.06 \mu\text{m}$ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าการเชื่อมประเภทอื่น ๆ ผลจากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคพบว่า บริเวณโลหะฐานของการเชื่อมมีโครงสร้างเป็นแบบเฟอร์ไรต์ (Ferrite) และเพิร์ลไลต์ (Pearlite) ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม จึงทำให้โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง และพบว่าโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมมีลักษณะประกอบด้วยโครงสร้างที่หลากหลาย โดยที่บริเวณของแนวเชื่อมมีลักษณะของเกรนแบบแท่ง (Columnar grain) และ Dendritic ferrite มีขนาดที่เท่า ๆ กันกระจายในโครงสร้าง Austenite ซึ่งโครงสร้างของ Dendritic มีลักษณะที่เป็นเกรนละเอียดที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld zone) และเกรนของ Dendritic มีการเติบโตในทิศทางแบบสุ่ม (Random direction) ซึ่งจากการศึกษาโครงสร้างนี้มีแนวโน้มให้แนวเชื่อมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและสามารถต้านทานการสึกหรอได้ และผลการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแนวเชื่อม พบว่าถ้าค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ระยะเวลาของพัลส์ และความถี่ของพัลส์ต่ำ จะส่งผลให้แนวโน้มของแนวเชื่อมมีขนาดเล็กลง แต่ถ้าค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ระยะเวลาของพัลส์ และความถี่ของพัลส์สูง จะส่งผลให้แนวโน้มของแนวเชื่อมมีขนาดกว้างขึ้นสามารถใช้เป็นแนวทางในการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ในอุตสาหกรรมในการศึกษาวิจัยในอนาคตในระยะถัดไป

คำสำคัญ: นีโอติเมียมแย็กเลเซอร์, โครงสร้างจุลภาค, โครงสร้างมหภาค, เหล็กกล้าคาร์บอน

Abstract

Nowadays, laser welding is used in a wide variety of applications, including the production of automotive parts, aircraft, and jewelry. Especially in advanced manufacturing mold repair welding. for close sufficient for the mold to be effective before it is damaged. The objectives of this study were 1) to study the parameters affecting the weld bead, such as the arc current, pulse frequency, pulse duration. 2) to study the macrostructure and the microstructure of the weld bead. In this study, SS400 grade carbon steel was used with a Nd-YAG laser and stainless-steel welding wire grade 316. The results from the study of the macrostructure of the weld bead are small at the micrometer level. The average height of the weld bead was $332.01 \pm 36.06 \mu\text{m}$. which is smaller than other types of welding. The base metal area of the weld consisted of a ferrite and pearlite structure, which was unaffected by the welding heat, according to the results of the microstructure study. As a result, the microstructure of carbon steel of the SS400 grade is unchanged. It was found that the microstructure of the weld bead consisted of a variety of structures. where the weld region is characterized by columnar grains and dendritic ferrites are evenly distributed in the austenite structure. The dendritic structure is fine grain at the weld zone and the dendritic grain grows in a random direction. According to research on this type of structure, the hardness and wear resistance of the weld line tends to increase, and the results of the study of parameters affecting the welding line found that if the welding current, Pulse Duration, and pulse frequency are low it will result in a smaller tendency of the weld line. But on the other hand, if the welding current, Pulse Duration, and pulse frequency are higher, the larger the tendency of the weld line will be. This can be used as a guideline for repairing the welding of industrial molds in future research studies.

Keywords: Nd:YAG laser process, Microstructure, Macrostructure, Carbon steel

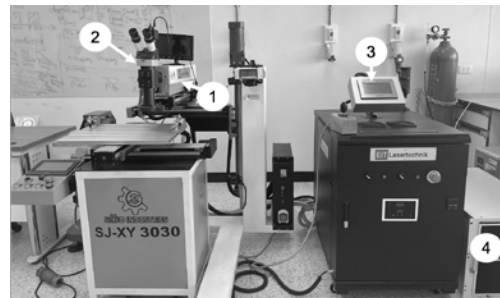
1. บทนำ

ปัจจุบันการเชื่อมเลเซอร์ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีข้อดีคือลำแสงเลเซอร์มีขนาดเล็ก และเป็นเส้นตรง ทำให้การเชื่อมบริเวณที่ลึกและซับซ้อนได้ดี ไม่เกิดการบิดงอของชิ้นงานในบริเวณใกล้เคียงของแนวเชื่อม อีกทั้งพื้นที่อิทธิพลความร้อน (Heat affected zone) มีขนาดเล็กเป็นผลให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรง แคมและเล็ก [1,2] สำหรับประเทศไทยการเชื่อมเลเซอร์ถูกนำมาใช้หลายลักษณะงาน เช่น การเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ (Mold) การผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อากาศยาน ตลอดจนอัญมณีหรือเครื่องประดับ โดยเฉพาะวัสดุทองคำและเงินที่มีราคาสูง เป็นต้น การเชื่อมเลเซอร์ได้รับความนิยมเนื่องจากสามารถเชื่อมอัตโนมัติได้ มีความเร็วในการเชื่อมสูง บริเวณผลกระทบร้อนมีขนาดเล็ก อันตราสวนการเชื่อมลึกต่อความกว้างของแนวเชื่อมสูง และการเสียรูปจากความร้อนของชิ้นงานต่ำ [3,4,5] ในประเทศไทยกระบวนการเชื่อมด้วยเลเซอร์ถูกนำมาใช้หลายชนิด โดยแบ่งเป็นตามชนิดของตัวกลาง ตัวกลางที่เป็นก๊าซ เช่น อาร์กอน เลเซอร์ (Ar Laser) คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ (CO₂ laser) ชนิดที่ใช้ตัวกลางเป็นของเหลว เช่น Rhodamin 6G Lasera เป็นต้น ชนิดตัวกลางที่ใช้เป็นของแข็ง ได้แก่ Nd:YAG Laser, Ruby Laser เป็นต้น สำหรับในอุตสาหกรรมแม่พิมพ์มักใช้ชนิดไอติมแย้มแย้มเลเซอร์ (Nd:YAG) ซึ่งมีผลึกของแข็งเป็นแบบ Yttrium-aluminium garnet (Y₃Al₅O₁₂) สามารถให้แสงได้ทั้งแบบพัลส์ (Pulse) และแบบต่อเนื่อง (continuous) ในการซ่อมแม่พิมพ์ เพราะมีข้อดีหลายประการเนื่องจากสามารถควบคุมพารามิเตอร์ของเลเซอร์อย่างแม่นยำ รวมถึงสามารถกำหนดพารามิเตอร์ได้อย่างชัดเจน เช่น สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับลำแสงเลเซอร์ (Laser Beam) ได้ ประกอบด้วยระยะเวลาของพัลส์ (Pulse Duration) ความถี่ของพัลส์ (Pulse Frequency) พลังเลเซอร์ (Laser power) [6,7,8] สำหรับการเชื่อมด้วยเลเซอร์นี้จะมีโครงสร้างจุลภาคในบริเวณที่มีผลกระทบและบริเวณที่มีผลกระทบอันเนื่องมาจากความร้อน (Heat affected zone: HAZ) จะมีโครงสร้างที่แตกต่างไปจากเนื้อโลหะเดิม (Base Metal) [2,9] ซึ่งมีประโยชน์ต่อการปรับปรุงคุณสมบัติทางกลของโลหะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแนวเชื่อม ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ความถี่ของพัลส์ และระยะเวลาของพัลส์ ศึกษาโครงสร้างมหภาค และโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม โดยใช้วัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SS400 ด้วยชนิดไอติมแย้มแย้มเลเซอร์ กับลวดเชื่อมสเตนเลส เกรด 316 เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปใช้ในการเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ในอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพในการทำงานใกล้เคียงกับแม่พิมพ์ก่อนที่จะมีการชำรุดเสียหาย ทำให้มีการใช้งานที่ยาวนานขึ้น และมีต้นทุนในการซ่อมบำรุงที่ต่ำ รวมถึงการศึกษานี้สามารถใช้ในการต่อยอดงานวิจัยในอนาคตต่อไป

2. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อลักษณะของแนวเชื่อมและโครงสร้างทางโลหะวิทยา ด้วยกระบวนการเชื่อมเลเซอร์ชนิดไอติมแย้มแย้มเลเซอร์ (Nd:YAG) โดยใช้เครื่องเชื่อมเลเซอร์ EIT Laser Schweissen System รุ่น Smart 225iL ดังแสดงได้ในรูปที่ 1 โดยเครื่องเชื่อมมีส่วนประกอบ ดังนี้ ส่วนที่ 1 ประกอบด้วย 3 ส่วนย่อย ได้แก่ 1) ส่วนนิวสตุตัวกลาง (Laser medium) โดยวัสดุที่ถูกกระตุ้นแล้วให้แสงเลเซอร์ออกมาในครั้งนี่คือ ตัวกลางที่เป็นผลึกของแข็งเป็นแบบ Yttrium-aluminium garnet (Y₃Al₅O₁₂) 2) ออปติคัลเรโซเนเตอร์ (Optical resonator) เป็นส่วนที่ทำให้เครื่องกำเนิดเลเซอร์เกิดการปล่อยแสงแบบถูกกระตุ้นซ้ำแล้วซ้ำอีก ซึ่งประกอบด้วยกระจก 2 แผ่น วางหันหน้าเข้าหากัน โดยมีตัวกลางชนิดใน ส่วนที่ 1 คือ YAG อยู่ และ 3) ส่วนที่กำเนิดพลังงาน (Energy source) เพื่อกระตุ้นให้เกิดอะตอม ส่วนที่ 2 คือ ระบบสังเกตรอยเชื่อม (Dual system CCD & Micro scope welding pattern recognition) มีทั้ง CCD จอสี และกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง ปรับระยะโฟกัสได้ ส่วนที่ 3 ระบบทัชสกรีน (Touchscreen & Graphical user interface) สำหรับสั่งงาน ควบคุมรูปร่าง และความถี่เลเซอร์ และส่วนที่ 4 ระบบแลกเปลี่ยนความร้อน และระบบตรวจค่าอุณหภูมิ อัตราการไหล และค่าความนำไฟฟ้า (External air water heat exchanger)



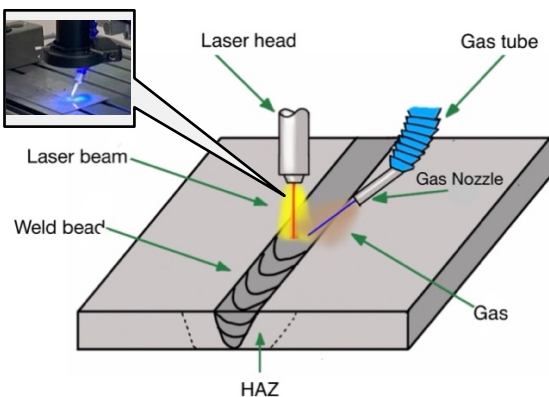
รูปที่ 1 EIT Laser Schweissen System รุ่น Smart 225iL

การศึกษาส่วนที่ 1 การศึกษาผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อแนวเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมด้วยชนิดไอติมแย้มแย้มเลเซอร์ (Nd:YAG) โดยเลือกพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อแนวเชื่อม ได้แก่ กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ระยะเวลาของพัลส์ และความถี่ของพัลส์ [6,7,8] ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษานำร่อง (pilot study) เพื่อคัดเลือกระดับพารามิเตอร์ ผลจากการศึกษานำร่องพบว่าถ้าค่าของพารามิเตอร์ต่ำกว่าค่าที่กำหนด จะส่งผลให้ลวดเชื่อมหลอมได้ไม่ดี และถ้ามากกว่าพารามิเตอร์ที่กำหนด จะเกิด spatter เยอะ ซึ่งมีผลต่อการวิเคราะห์ผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่อแนวเชื่อม ผู้วิจัยจึงมีการกำหนดขอบเขตค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมเลเซอร์ตามการศึกษานำร่อง (pilot study) ได้แก่ กำหนดค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม (Welding Current) ซึ่งเป็นพลังงานเลเซอร์ (Laser power) ทั้งหมด 3 ค่าคือ 120, 140 และ 160 แอมแปร์ (A) โดยเพิ่มทีละ 20 แอมแปร์ ระยะเวลาของพัลส์ (Pulse Duration) ได้แก่ 3, 4 และ 5 มิลลิวินาที (ms) โดยเพิ่มทีละ 1

มิลลิวินาที ความถี่ของพัลส์ (Pulse Frequency) เป็น 5,7 และ 9 เฮิร์ต (Hz) โดยเพิ่มทีละ 2 เฮิร์ต ซึ่งสามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาได้ตามตารางที่ 1 โดยใช้การเชื่อมเลเซอร์ชนิดนีโอติเมียมแย็กเลเซอร์ (Nd:YAG) ที่ใช้ผลึกของแข็งเป็นแบบ Yttrium-aluminium garnet ($Y_3Al_5O_{12}$) ลักษณะการเชื่อมตามรูปที่ 2 และใช้แก๊สอาร์กอนสำหรับปกคลุมแนวเชื่อมและเพื่อลดการเกิดออกซิเดชัน [10,11] ด้วยอัตราการไหลของแก๊ส (Gas Flow rate) เท่ากับ 8 ลิตรต่อนาที (L/min) ใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) รวมไปถึงการใช้วัสดุในการทดลองเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Steel) ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมของญี่ปุ่น หรือ Japanese Industrial Standard เกรด SS400 และใช้ลวดเชื่อมสแตนเลส เกรด 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตร (mm) มีส่วนผสมทางเคมีตามตารางที่ 2 และใช้วิธีการเชื่อมแบบเดินบนชิ้นงาน (Bead-on-Plate)

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์เกี่ยวกับการเชื่อมเลเซอร์

การศึกษา	พารามิเตอร์	ค่า
ผลกระทบของกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม	กระแสไฟฟ้า(A)	120, 140 และ 160
	ระยะเวลาของพัลส์ (ms)	3
	ความถี่ของพัลส์(Hz)	7
ผลกระทบของความถี่ของพัลส์	กระแสไฟฟ้า(A)	140
	ระยะเวลาของพัลส์ (ms)	3
	ความถี่ของพัลส์(Hz)	5, 7 และ 9
ผลกระทบของระยะเวลาของพัลส์	กระแสไฟฟ้า(A)	140
	ระยะเวลาของพัลส์ (ms)	3, 4 และ 5
	ความถี่ของพัลส์(Hz)	7



รูปที่ 2 ลักษณะการเชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมเลเซอร์

ตารางที่ 2 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเชื่อมสแตนเลสเกรด 316

ธาตุ	Fe	C	Cr	Ni	Mo	Mn
ร้อยละ	68.06	0.02	16.20	11.00	2.18	1.71
ธาตุ	Si	P	S	N	Cu	
ร้อยละ	0.50	0.03	0.02	0.07	0.35	

ในการศึกษาส่วนแรก เป็นการศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ 3 ค่าพารามิเตอร์ คือ กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ความถี่ของพัลส์ และระยะเวลาของพัลส์ที่มีต่อแนวเชื่อม ทั้งนี้ในการศึกษาได้มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่คงที่ (Fixed Parameters) ได้แก่ อัตราการไหลของแก๊ส 8 ลิตรต่อนาที (L/min) ความเร็วในการเดินแนวเชื่อม 50 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) ซึ่งเป็นค่าที่ทำการทดลองแล้วว่าลวดเชื่อมสามารถหลอมละลายได้อย่างเหมาะสม และนำไปวิเคราะห์แบบไม่ทำลายโดยการทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เพื่อดูลักษณะและความกว้างของแนวเชื่อม

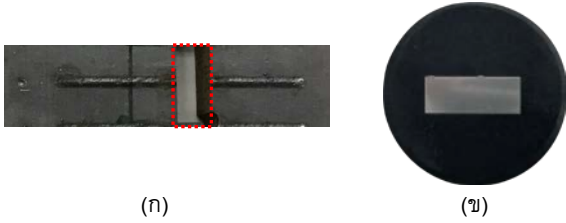
การศึกษาผลกระทบของกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม (Welding Current) ต่อแนวเชื่อม โดยกำหนดค่ากระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน 3 ค่า ประกอบด้วย 120, 140 และ 160 หน่วยแอมแปร์ (A) โดยกำหนดค่าระยะเวลาของพัลส์ (Pulse Duration) เท่ากันทั้งหมดคือ 3 มิลลิวินาที (ms) และกำหนดค่าความถี่ของพัลส์ (Pulse Frequency) เท่ากันทั้งหมดเป็น 7 เฮิร์ต (Hz)

การศึกษาผลกระทบของความถี่ของพัลส์ (Pulse Frequency) ต่อแนวเชื่อมเชื่อม โดยกำหนดค่าที่แตกต่างกัน 3 ค่า ประกอบด้วย 5,7 และ 9 หน่วยเป็นเฮิร์ต (Hz) โดยกำหนดค่าระยะเวลาของพัลส์ (Pulse Duration) เท่ากันทั้งหมดคือ 3 มิลลิวินาที (ms) และกำหนดค่ากระแสไฟฟ้า (Welding Current) เท่ากันทั้งหมดเป็น 140 แอมแปร์ (A)

การศึกษาผลกระทบของระยะเวลาของพัลส์ (Pulse Duration) ต่อแนวเชื่อม โดยกำหนดระยะเวลาของพัลส์ที่แตกต่างกัน 3 ค่า ประกอบด้วย 3, 4 และ 5 หน่วยมิลลิวินาที (ms) โดยกำหนดค่ากระแสไฟฟ้า (Welding Current) เท่ากันทั้งหมดเป็น 140 แอมแปร์ (A) และกำหนดค่าความถี่ของพัลส์ (Pulse Frequency) เท่ากันทั้งหมดเป็น 7 เฮิร์ต (Hz)

การศึกษาส่วนที่ 2 การศึกษาโครงสร้างทางโลหะวิทยา

เพื่อตรวจสอบโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) และโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของแนวเชื่อมและโลหะฐาน เมื่อเตรียมชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมตามค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในส่วนที่ 1 เสร็จเรียบร้อยแล้ว เลือกชิ้นงานที่มีความเหมาะสมที่สุดของแต่ละพารามิเตอร์ไปตัดตามขวางของแนวเชื่อม (Cross-sectional) ด้วยเครื่อง EDM Wire cut รุ่น Mitsubishi MV1200R Wire EDM ดังแสดงได้ใน รูปที่ 3(ก) จากนั้นจึงนำชิ้นงานไปขึ้นเรือน (Mounting) ตามรูปที่ 3(ข) และนำชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นเรือนแล้วไปขัดหยาบ (Grinding process) ด้วยกระดาษทรายเบอร์ 80, 100, 320, 400, 600, 800, 1000 และ 1,200 หลังจากนั้นจึงนำชิ้นงานขัดเงา (Polishing process) ด้วยผ้าสักหลาดและผงอะลูมินา ขนาด 0.3 ไมครอน และทำการกัดผิว (Etching) ด้วย กรด 5% Nital โดยกัดเป็นเวลา 10 วินาที แล้วล้างออกด้วยเอทิลแอลกอฮอล์และเป่าลมให้แห้งจึงนำชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Carl Zeiss รุ่น Axio Scope Mat เพื่อศึกษาโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) และโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของแนวเชื่อมและโลหะฐาน

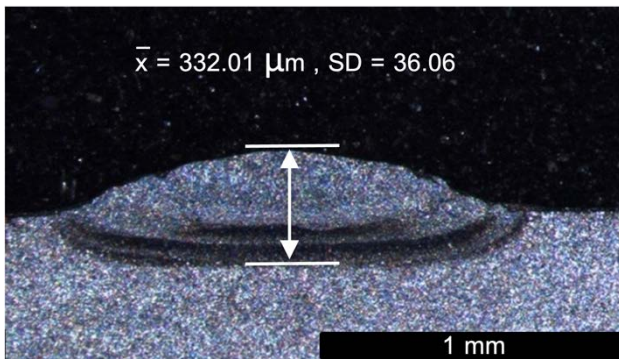


(ก) ชิ้นงานที่ตัดด้วยเครื่อง EDM wire cut
(ข) ชิ้นงานที่ผ่านการขึ้นเรือน (Mounting)

3. ผลการศึกษา

3.1. การศึกษาโครงสร้างมหภาค (Macrostructure)

จากการศึกษาโครงสร้างมหภาคของชิ้นงาน เมื่อนำชิ้นงานที่ได้ไปผ่านกระบวนการทดสอบตามขั้นตอนต่าง ๆ แล้ว และนำชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง เพื่อศึกษาโครงสร้างมหภาค (Macrostructure) ของแนวเชื่อม จะได้ภาพโครงสร้างมหภาคของแนวเชื่อม ค่าเฉลี่ยความสูงทุกแนวเชื่อม ทุกพารามิเตอร์คือ $332.01 \mu\text{m}$ ค่าต่ำสุดเท่ากับ $259.68 \mu\text{m}$ ในส่วนของค่าที่สูงที่สุดคือ $412.84 \mu\text{m}$ และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ $36.06 \mu\text{m}$ ดังแสดงในรูปที่ 4



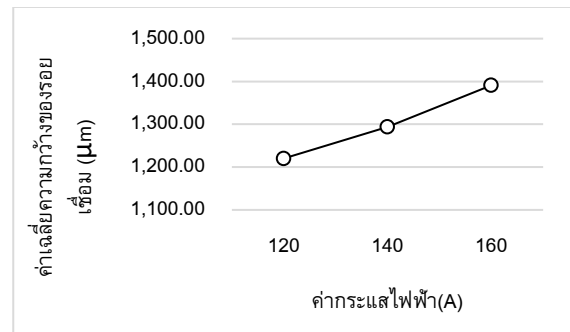
รูปที่ 4 โครงสร้างมหภาคที่ผ่านการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์

3.1.1 การศึกษาผลกระทบของกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม (Welding Current) ต่อแนวเชื่อม

ผลการศึกษาโดยใช้ค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อมที่มีความแตกต่างกัน คือ 120, 140 และ 160 แอมแปร์ (A) และกำหนดค่าระยะเวลาของพัลส์ เท่ากับ 3 มิลลิวินาที (ms) และค่าความถี่ของพัลส์ เท่ากับ 7 เฮิร์ต (Hz) ด้วยอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน (Gas Flow rate) เท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที (L/min) ใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) ดังแสดงในรูปที่ 5 และลักษณะแนวเชื่อมและโครงสร้างจุลภาคตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะแนวเชื่อมและโครงสร้างจุลภาคจากการศึกษาผลกระทบของของกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม

กระแสในการเชื่อม (A)	Bead on plate	โครงสร้างมหภาค (Macrostructure)
120		
140		
160		



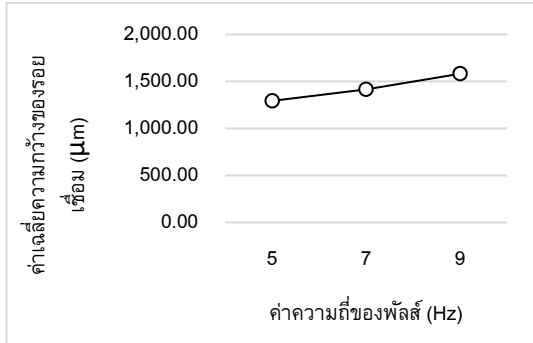
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของแนวเชื่อมกับค่ากระแสไฟฟ้า

จากการศึกษาพบว่า เมื่อมีการเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่กว้างขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเพิ่มขึ้น โดยที่กระแสไฟในการเชื่อม 120 A ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเท่ากับ $1,220.14 \mu\text{m}$ และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเป็น 140 จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อม $1,293.76 \mu\text{m}$ และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเป็น 160 A จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมที่กว้างที่สุดคือ $1,390.84 \mu\text{m}$

3.1.2 การศึกษาผลกระทบของความถี่ของพัลส์ (Pulse Frequency) ต่อแนวเชื่อม

ผลการศึกษาโดยใช้ค่าความถี่ของพัลส์ที่มีความแตกต่างกัน คือ 5, 7 และ 9 เฮิร์ต (Hz) และกำหนดค่าระยะเวลาของพัลส์ เท่ากับ 3 มิลลิวินาที (ms) และค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม (Welding Current)

เท่ากันทั้งหมดเป็น 140 แอมแปร์ (A) ด้วยอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน (Gas Flow rate) เท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที (L/min) ใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) ดังแสดงในรูปที่ 6

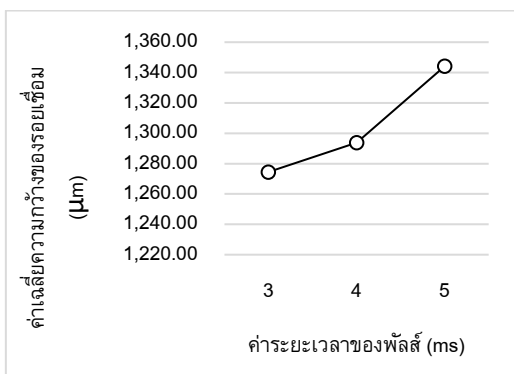


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของแนวเชื่อมกับค่าความถี่ของพัลส์

จากการศึกษาพบว่า เมื่อมีการเพิ่มความถี่ของพัลส์ ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่กว้างขึ้นเมื่อความถี่ของพัลส์เพิ่มขึ้น โดยที่ความถี่ของพัลส์ 5 Hz ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเท่ากับ 1,293.76 μm และเมื่อเพิ่มความถี่ของพัลส์เป็น 7 Hz จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อม 1,417.15 μm และเมื่อเพิ่มความถี่ของพัลส์เป็น 9 Hz จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมที่กว้างที่สุดคือ 1,582.06 μm

3.1.3 การศึกษาที่ 3 การศึกษาผลกระทบของระยะเวลาของพัลส์ (Pulse Duration) ต่อแนวเชื่อม

ผลการศึกษาโดยใช้ค่าระยะเวลาของพัลส์ที่มีความแตกต่างกัน คือ 3, 4 และ 5 มิลลิวินาที (ms) ค่าความถี่ของพัลส์ เท่ากับ 7 เฮิร์ต ค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม (Welding Current) เท่ากันทั้งหมดเป็น 140 แอมแปร์ (A) ด้วยอัตราการไหลของแก๊สอาร์กอน (Gas Flow rate) เท่ากับ 2 ลิตรต่อนาที (L/min) ใช้ความเร็วในการเชื่อมที่ 50 มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min) ดังแสดงในรูปที่ 7

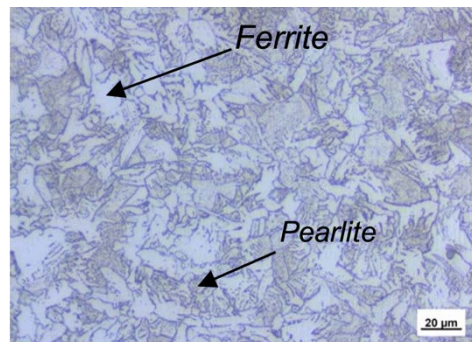


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความกว้างของแนวเชื่อมกับค่าระยะเวลาของพัลส์

การศึกษาพบว่า เมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาของพัลส์ ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่กว้างขึ้นเมื่อระยะเวลาของพัลส์เพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาของพัลส์ 3 ms ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเท่ากับ 1,274.50 μm และเมื่อเพิ่มระยะเวลาของพัลส์ 4 ms จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อม 1,293.76 μm และเมื่อเพิ่มระยะเวลาของพัลส์เป็น 5 ms จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมที่กว้างที่สุดคือ 1,344.12 μm

3.2 การศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure)

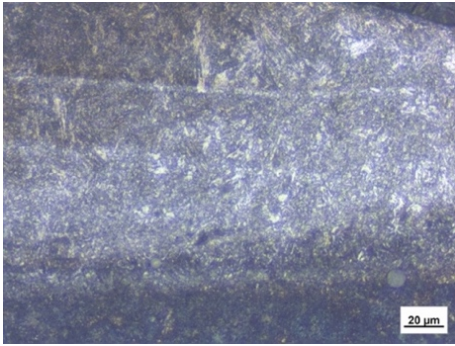
จากการทดลองในการศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของชิ้นงาน เมื่อนำชิ้นงานที่ได้ไปผ่านกระบวนการทดสอบตามขั้นตอนต่างๆ แล้ว และนำชิ้นงานไปตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเพื่อศึกษาโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของแนวเชื่อมและโลหะฐาน จะได้ภาพโครงสร้างจุลภาค (รูปที่ 8) เป็นโครงสร้างของโลหะฐาน (Base Metal) เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400



รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคของโลหะฐาน (Base Metal)

จากการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของโลหะฐาน (Base Metal) เหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 พบว่าลักษณะโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย โครงสร้างเฟอร์ไรต์ (Ferrite) และเพิร์ลไลท์ (Pearlite) เนื่องจากเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำเกรด SS400 มีปริมาณคาร์บอนประมาณ 0.13 - 0.18% ซึ่งมีคาร์บอนน้อยกว่า 0.8% จึงเป็นเหล็กกล้าประเภทเหล็กกล้าไฮโปยูเทคตอยด์ (Hypo eutectoid) [12] โดยบริเวณโลหะฐาน (Base Metal) ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม จึงทำให้โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง [13]

และจากการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของบริเวณแนวเชื่อม เพื่อดูลักษณะของเกรน (Grain) ของโลหะเชื่อม ผ่านกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ที่มีกำลังขยาย 20 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อม

จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณแนวเชื่อมที่เชื่อมด้วยลวดเชื่อมสแตนเลส เกรด 316 พบว่าโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมมีลักษณะประกอบด้วยโครงสร้างที่หลากหลาย โดยที่บริเวณของแนวเชื่อมมีลักษณะของเกรนแบบแท่ง (Columnar grain) และ Dendritic ferrite มีขนาดที่เท่า ๆ กันกระจายในโครงสร้าง Austenite ซึ่งโครงสร้างของ Dendritic มีลักษณะที่เป็นเกรนละเอียดที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld zone) และเกรนของ Dendritic มีการเติบโตในทิศทางแบบสุ่ม (Random direction) ซึ่งจากการศึกษา โครงสร้างนี้มีแนวโน้มให้แนวเชื่อมมีความค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและสามารถต้านทานการสึกหรอได้ [14,15]

4. สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล

จากการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อแนวเชื่อมโดยการเชื่อมวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนด้วยนีโอดีเมียมแย็กเลเซอร์ (Nd:YAG Laser) โดยใช้โลหะฐาน SS400 กับลวดเชื่อมสแตนเลส เกรด 316 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเท่ากับ 0.4 มิลลิเมตรโดยผ่านกรรมวิธีในการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางมหภาคและจุลภาคของชิ้นงาน ซึ่งเป็นการศึกษาเบื้องต้น โดยพิจารณาแยกแต่ละพารามิเตอร์ สรุปผล ดังนี้

การศึกษาผลกระทบของกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม (Welding Current) ต่อแนวเชื่อม จากการศึกษาพบว่า เมื่อมีการเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่กว้างขึ้นเมื่อกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเพิ่มขึ้น โดยที่กระแสไฟฟ้าในการเชื่อม 120A ขนาดความกว้างแนวเชื่อมเท่ากับ 1,220.14 μm และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเป็น 140 A จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อม 1,293.76 μm และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเป็น 160 A จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมที่กว้างที่สุดคือ 1,390.84 μm

การศึกษาผลกระทบของความถี่ของพัลส์ (Pulse Frequency) ต่อแนวเชื่อม จากการศึกษาพบว่า เมื่อมีการเพิ่มความถี่ของพัลส์ในการเชื่อม ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่กว้างขึ้นเมื่อความถี่ของพัลส์ในการเชื่อมเพิ่มขึ้น โดยที่ความถี่ของพัลส์ในการเชื่อม 5 Hz ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเท่ากับ 1,293.76 μm และเมื่อเพิ่มความถี่ของพัลส์ในการเชื่อมเป็น 7 Hz จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อม 1,417.15 μm และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเป็น 9 Hz

จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมที่กว้างที่สุดคือ 1,390.84 μm ซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

การศึกษาผลกระทบของระยะเวลาของพัลส์ (Pulse Duration) ต่อแนวเชื่อม จากการศึกษาพบว่า เมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาของพัลส์ในการเชื่อม ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมมีแนวโน้มที่กว้างขึ้นเมื่อระยะเวลาของพัลส์ในการเชื่อมเพิ่มขึ้น โดยที่ระยะเวลาของพัลส์ในการเชื่อม 3 ms ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมเท่ากับ 1,274.50 μm และเมื่อเพิ่มระยะเวลาของพัลส์ในการเชื่อมเป็น 4 ms จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อม 1,293.76 μm และเมื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าในการเชื่อมเป็น 9 ms จะได้ขนาดความกว้างของแนวเชื่อมที่กว้างที่สุดคือ 1,344.12 μm ซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น

จากการศึกษาดังกล่าวสรุปได้ว่าถ้าค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ระยะเวลาของพัลส์ และความถี่ของพัลส์ต่ำ จะส่งผลให้แนวโน้มของแนวเชื่อมมีขนาดเล็กลง แต่ถ้าค่ากระแสไฟฟ้าในการเชื่อม ระยะเวลาของพัลส์ และความถี่ของพัลส์สูง จะส่งผลให้แนวโน้มของแนวเชื่อมมีขนาดกว้างขึ้น ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการวิจัยด้านการเชื่อมซ่อมแซมพื้ในอนาคตต่อไป

ในการทดสอบโครงสร้างทางจุลภาคพบว่า โครงสร้างของโลหะฐาน SS400 เป็นโครงสร้างเฟอร์ไรต์ (Ferrite) และเพิร์ลไลท์ (Pearlite) ซึ่งมีคาร์บอนน้อยกว่า 0.8% โดยบริเวณโลหะฐาน (Base Metal) ไม่ได้รับผลกระทบจากความร้อนในการเชื่อม จึงทำให้โครงสร้างจุลภาคของเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด SS400 นั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากการทดสอบด้วยการเชื่อมเลเซอร์ พบว่าโครงสร้างจุลภาคของแนวเชื่อมมีลักษณะประกอบด้วยโครงสร้างที่หลากหลาย โดยที่บริเวณของแนวเชื่อมมีลักษณะของเกรนแบบแท่ง (Columnar grain) และ Dendritic ferrite มีขนาดที่เท่า ๆ กันกระจายในโครงสร้าง Austenite ซึ่งโครงสร้างของ Dendritic มีลักษณะที่เป็นเกรนละเอียดที่บริเวณแนวเชื่อม (Weld zone) และเกรนของ Dendritic มีการเติบโตในทิศทางแบบสุ่ม (Random direction) ซึ่งจากการศึกษา โครงสร้างนี้มีแนวโน้มให้แนวเชื่อมมีความค่าความแข็งเพิ่มขึ้นและสามารถต้านทานการสึกหรอได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Adams, John T., and Joseph J. Kwiatkowski. Nd-YAG laser welding of the fiber optic connector to the header shell on the 2SL actuator. No. MLM-3790. EG and G Mound Applied Technologies, Miamisburg, OH (United States), 1994.
- [2] F. Behzad, F. W. Steven, L. Gladius and A. Ebrahim, A Review on Melt-Pool Characteristics in Laser Welding of Metals, Adv. Mater. Sci. Eng., 2018, 1-18.
- [3] Sharma R S & Molian P (2011) Weldability of advanced high strength steels using an Yb: YAG disk laser. Journal of Materials Processing Technology, 211(11), 1888–1897. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2011.06.009

- [4] Yuce C, Tutar M, Karpat F, Yavuz N & Tekin G (2017). The effect of process parameters on the microstructure and mechanical performance of fiber laser-welded AA5182 aluminium alloys. *Strojnicki Vestnik/Journal of Mechanical Engineering*, 63, 510–518.
- [5] Mohammadpour M, Yazdian N, Yang G, Wang H P, Carlson B & Kovacevic, R (2018). Effect of dual laser beam on dissimilar welding-brazing of aluminum to galvanized steel. *Optics and Laser Technology*, 98, 214–228. DOI: 10.1016/j.optlastec.2017.07.035
- [6] Hekmatjou H & Naffakh-Moosavy H (2018). Hot cracking in pulsed Nd:YAG laser welding of AA5456. *Optics and Laser Technology*, 103, 22–32. DOI: 10.1016/j.optlastec.2018.01.020
- [7] B. Alex, D. Matt, S. David, D. John, N. Samih, Laser Welding of Titanium and its Alloys for Medical Applications: Current Knowledge and Future Direction, *Mater. Sci. Forum*, 618-619, 2009, 291- 294.
- [8] J. Dezhi, S.A. Ali, A. Mohammad, A. Masoud, A.A. Abdulrahman, Numerical and Experimental Studies on the Effect of Varied Beam Diameter, Average Power and Pulse Energy in Nd: YAG Laser Welding of Ti6Al4V, *Infrared Phys. Technol.*, 101, 2019, 180-18
- [9] S. Katayama, in S. Katayama (Ed), Introduction: Fundamentals of Laser Welding, *Handbook of Laser Welding Technologies*, Woodhead Publishing Limited, India, 2013, 3-16.
- [10] C. Fabrizia, C. Alessandra, Investigation of Laser Welding of Ti Alloys for Cognitive Process Parameters Selection, *Mater.*, 11, 632, 2018, 1-11.
- [11] K. Tomáš, M. Ivan, K. Pavel, The Laser Beam Welding of Titanium Grade 2 Alloy, *Grant J.*, 2012, 77-79.
- [12] ณรงค์ศักดิ์ ชรรณโชติ. โลหะวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2560.
- [13] เอกราช ชุ่นสัน. การศึกษาการเชื่อมพอกผิวด้วยลวดเชื่อม Alloy C276 โดยกระบวนการเชื่อมพลาสมา. วิทยานิพนธ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2562. 69-74
- [14] Alali, M., Todd, I., & Wynne, B. P. (2017). Through-thickness microstructure and mechanical properties of electron beam welded 20 mm thick AISI 316L austenitic stainless steel. *Materials & Design*, 130, 488-500.
- [15] Wu, D., Liang, X., Li, Q., & Jiang, L. (2010). Laser rapid manufacturing of stainless steel 316L/Inconel718 functionally graded materials: Microstructure evolution and mechanical properties. *International Journal of Optics*, 2010

การปรับปรุงเส้นทางขนส่งโดยขั้นตอนวิธี LNS Improving Transport Routes through LNS Algorithm

คงเดช คำจอร์ อรุไร แสงสว่าง
สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตปทุมธานี
E-mail: s6206011620059@email.kmutnb.ac.th*

Kongdech Kamkajon^{*}, Omurai Sangsawang
Department of Industrial Management Faculty of Industrial Management Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Prachinburi Campus
E-mail: s6206011620059@email.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

ในการวางแผนการจัดเส้นทางรถในการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทที่รับและจัดจำหน่ายสินค้าประเภทกระดาษ จากที่ได้สำรวจการทำงานภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า มีการใช้ทักษะและประสบการณ์ของพนักงานในการวางแผนการจัดเส้นทาง ในแผนจัดส่งและพนักงานขับรถเป็นส่วนใหญ่ โดยวิธีดังกล่าวทำให้ได้ซึ่งผลลัพธ์ที่อาจไม่ดีที่สุดและเพื่อให้มีมาตรฐานในการวางแผนการจัด เส้นทางรถจึงจำเป็นต้องมีการนำเครื่องมือและวิธีการเข้ามาใช้แก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางรถ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากยานพาหนะและรอบในการเดินทางลดลง และหาเส้นทางรถที่เหมาะสม ในการทดลองผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มลูกค้าออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มลูกค้าในเขตการขนส่งจำนวน 120 ราย และกลุ่มลูกค้านอกเขตการขนส่งจำนวน 277 ราย เพื่อในการพิจารณาในการทดลองโดยใช้วิธี Large Neighborhood Search Algorithm (LNS) โดยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver ผลจากการทดลองพบว่า ค่าใช้จ่ายการขนส่งโดยรถปิกอัพลดลง 53.15% ค่าใช้จ่ายการขนส่งโดยรถบรรทุกสี่ล้อกลางทั้ง 3 คันลดลง 29.41%, 15.79% และ 2.94% ตามลำดับ ในขณะที่รถหกล้อนั้นมีค่าใช้จ่ายการขนส่งที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากข้อจำกัดด้านค่าใช้จ่ายขนส่งต่อความจุ

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดเส้นทางรถ, LNS Algorithm, ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง, VRP Spreadsheet Solver

Abstract

In planning the transportation route of the case study, a company receives and distributes paper products. From the work survey of the company's warehouse, planning routing in the shipping department based on the experience of employees. Therefore, the obtained delivery routes are not guaranteed to be the suitable routes. In order to obtain the suitable routes, we use the Large Neighborhood Search Algorithm (LNS) for solving the vehicle routing problems. The objective of this study is to reduce the total transportation cost and to find the optimal routes. In the experiment, we have divided our customers into two groups, 120 customers in the shipping zone and 277 customers outside the shipping zone. We used the LNS Algorithm via the VRP Spreadsheet Solver. The results showed that the cost of transportation by pickup trucks decreased by 53.15%, and the cost of transportation by the three intermediate four-wheeled trucks decreased by 29.41%, 15.79%, and 2.94%, respectively. However, six-wheelers have increased transportation costs due to cost-per-capacity limitation.

Keywords: Vehicle routing problem, LNS Algorithm, Transportation costs, VRP Spreadsheet Solver

1. บทนำ

ปัจจุบันในภาคอุตสาหกรรม และธุรกิจต่างๆ จำเป็นต้องมีระบบโลจิสติกส์และการขนส่ง ซึ่งถือได้ว่าเป็นกิจกรรมที่สำคัญในการดำเนินงานต่าง ๆ เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าหรือผู้บริโภคให้มากขึ้นโดยตรง ซึ่งส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรในด้านต้นทุนของธุรกิจอย่างมาก ดังนั้นปัญหาทางด้านโลจิสติกส์หรือปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง จึงเป็นปัญหาที่สำคัญ ซึ่งตัวแปรนั้นเกิดขึ้นได้หลายปัจจัย เช่น ปริมาณการขนส่ง ความจุของยานพาหนะ ระยะทางในการขนส่งให้ลูกค้า เส้นทางทางการขนส่ง เป็นต้น

ซึ่งแนวทางทางการจัดการด้านปัญหาการกำหนดเส้นทางการเดินทาง (Vehicle routing problem: VRP) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนจัดการด้านโลจิสติกส์และการขนส่ง และเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน (NP - Hard Problem) ซึ่งในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมในวิธีแม่นยำ (Exact Algorithm) นั้นทำได้ยาก จึงทำให้มีการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Algorithm) หรือวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics Algorithm) เพื่อนำมาเป็นวิธีการที่จะสนับสนุนทางเลือกนั้น ๆ หรือใช้เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจ ซึ่งวิธีการที่ค้นพบอาจมีความเหมาะสม และใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพเพียงบางกรณี เมื่อปัญหานั้นมีขนาดใหญ่ขึ้น หรือมีเงื่อนไขเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพของวิธีการนั้นอาจลดลง [1]

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่จำหน่ายสินค้าประเภทกระดาษพิมพ์เขียนต่าง ๆ ในเครือ SCG และโดยส่วนใหญ่จะรับสินค้าจากซัพพลายเออร์หรือผู้ผลิตจากต่างประเทศมากกว่าร้อยละ 60 เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ซึ่งบริษัทมีหน้าร้านหนึ่งแห่งเพื่อรับออเดอร์และส่งสินค้าจากซัพพลายเออร์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า โดยมีคลังสินค้าจำนวน 3 แห่ง ได้แก่ คลังสินค้านครราชสีมา คลังสินค้าพุทธรักษา (จังหวัดกรุงเทพมหานคร) และคลังสินค้าพุทธรณทลสาย 8 (จังหวัดนครปฐม) เพื่อสำหรับการวางแผน จัดเก็บ แพ็ค และกระจายสินค้าเป็นหลัก ซึ่งคลังสินค้าพุทธรณทลสาย 8 ที่ผู้ศึกษาได้ปฏิบัติงานอยู่นั้น มีขั้นตอนการแปรรูปสินค้า (การตัดกระดาษ, การแพ็คเก็จสินค้า) เพื่อเพิ่มระดับความพึงพอใจของลูกค้าและมูลค่าของสินค้าให้สูงขึ้น

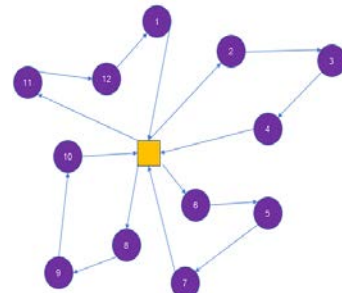
ในการดำเนินโครงการงานวิจัยได้ศึกษาการกระจายสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะของบริษัทกรณีศึกษา และรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ และศึกษาแนวทางในการวางแผนการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ โดยการประยุกต์ใช้วิธี LNS Algorithm โดยใช้โปรแกรม VRP Spreadsheet Solver โดยมีลูกค้าบางรายที่กำหนดกรอบเวลาในการส่ง ซึ่งจะกำหนดเส้นทางเป็นรอบการเดินทางโดยอ้างอิงจากข้อมูลที่ผ่านมา (รอบการส่ง) จากออเดอร์ของลูกค้าที่มาในช่วงนั้น ซึ่งจะหาผลเฉลยเพื่อเทียบกับเส้นทางเดินทางโดยวิธีเดิม โดยวิธีเดิมนั้นเป็นการใช้ประสบการณ์ของตัวพนักงานเองในการวางแผนจัดเส้นทาง โดยวิธีดังกล่าวอาจทำให้ได้ผลลัพธ์ไม่ดีเท่าที่ควร จึงจำเป็นต้องมีวิธีการตั้งที่กล่าวและเครื่องมือเข้ามาช่วยหาผลลัพธ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

ศึกษาระบบโลจิสติกส์ภายในบริษัทกรณีศึกษา หาเส้นทางในการจัดส่งสินค้าที่เหมาะสม

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางทางการขนส่ง

ในการหาเส้นทางทางการขนส่งหรือการกระจายสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าในตำแหน่งต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุดซึ่งอยู่ในปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง (Vehicle Routing Problem) ซึ่งเป็นการแก้ไขปัญหาลักษณะอยู่ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด โดยปัญหาการจัดเส้นทางทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นมา ในการบริหารและการจัดการ ทางด้านการขนส่งและระบบโลจิสติกส์ มีปัญหาการจัดเส้นทางทางการขนส่งซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยในการกำหนดเส้นทางของรถแต่ละคันให้มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งในการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะจะประกอบไปด้วย ศูนย์กระจายสินค้าหรือคลังสินค้าซึ่งเป็นศูนย์กลาง เพื่อที่จะกระจายสินค้าไปยังผู้รับสินค้าหรือลูกค้า ซึ่งการขนส่งจะเริ่มจากจุดศูนย์กลางหรือคลังสินค้าไปยังตำแหน่งของลูกค้าตามเส้นทาง และกลับมาสิ้นสุดที่คลังสินค้าที่เป็นจุดเริ่มต้น ซึ่งในการขนส่งอาจจะมีข้อจำกัดต่าง ๆ ในเรื่อง กรอบเวลา (Time Windows) ของคลังสินค้าและตำแหน่งของลูกค้า ความสามารถทางด้านการบรรจุของยานพาหนะ สอดคล้องกับทางด้านต้นทุน และค่าใช้จ่ายในการขนส่ง



รูปที่ 1 ตัวอย่างรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ [3]

2.2 การแบ่งกลุ่มตามวิธีในการแก้ไขปัญหการจัดเส้นทาง

วิธีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะจะจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ ซึ่งได้แก่ วิธีแม่นยำ (Exact Methods) และกระบวนการประมาณค่าที่ดีที่สุด (Approximate Methods) เป็นกลุ่มที่รวมวิธีการแก้ปัญหาทั้งแบบฮิวริสติก (Heuristics) และเมตาฮิวริสติก (Metaheuristics)

Heuristics Method เป็นวิธีการในการหาคำตอบที่ดีเพียงพอกายในเวลาที่ค่อนข้างจำกัดและค่อนข้างเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อน (NP-Hard problem) วิธีดังกล่าวจะไม่มีแบบแผนที่แน่นอนและตายตัว คำตอบที่ได้มาอาจใช้หรือไม่ใช้คำตอบที่ดีที่สุด แต่

เป็นคำตอบที่ค่อนข้างดีและยอมรับได้ เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณที่รวดเร็ว วิธีวิวิธวิธีมีหลายวิธี เช่น Saving Methods, Nearest Neighbor, Arbitrary Insertion, Sweep เป็นต้น

Metaheuristic Method วิธีการที่จะดัดแปลงให้วิธีวิวิธวิธีมีความยืดหยุ่นในการหาคำตอบของปัญหาที่สนใจ โดยเหมาะกับปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก เป็นวิธีที่เน้นทำให้ได้ผลลัพธ์ที่รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าวิธีวิวิธวิธี Metaheuristic Method จะสามารถแบ่งออกได้เป็นสองรูปแบบตามลักษณะของการแก้ปัญหา คือ รูปแบบการวนซ้ำเรื่อย ๆ เช่น Simulated Annealing (SA), Large Neighborhood Search (LNS), Variable Neighborhood Search (VNS) เป็นต้น อีกกลุ่มหนึ่งคือรูปแบบที่มีลักษณะการสร้างคำตอบใหม่ โดยจะหาคำตอบที่ดีมากกว่าหนึ่งคำตอบจากการวนซ้ำในแต่ละครั้ง ซึ่งเป็นการรวมคำตอบปัจจุบันที่เลือกจากเซตของคำตอบจากนั้นจะเก็บไว้นำไปหาคำตอบต่อ ยกตัวอย่างเช่น Generic Algorithm (GA), Memetic Algorithm (MA) และ Scatter Search (SS) เป็นต้น [2]

สุดท้ายกระบวนการหาคำตอบกลุ่ม Exact Method วิธีการนี้ใช้พื้นฐานจากการทำงานโปรแกรมเชิงเส้นตรง หรือวิธีการอื่น ๆ เพื่อที่จะให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด เช่น วิธีตัดแบบระนาบ (Cutting plane method) วิธีบริชแอนด์บาวด์ (Branch and bound method) เป็นต้น Exact Method เหมาะกับปัญหาที่มีขนาดเล็ก แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น วิธีดังกล่าวอาจทำให้ความน่าเชื่อถือของค่าที่เหมาะสม (Optimization) หรือคำตอบนั้นลดลง

2.3 Large Neighborhood Search Metaheuristics

เป็นวิธีการค้นหาที่เหมาะสมกับปัญหาการจัดเส้นทางที่มีขนาดใหญ่ โดยวิธีนี้จะอยู่ในกลุ่มของ Very Large Scale Neighborhood Search โดย VLSN algorithms จะมีพื้นฐานมาจากการค้นหาจุดที่มีค่าดีที่สุดของเฉพาะจุด (Local Optima) ที่มีค่าใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุดอย่างแท้จริง (Global Optimum) โดยในการค้นหาตัวแปรหรือชุดคำตอบในกลุ่มของ Neighborhood ที่มีขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องใช้เวลาในการคำนวณสูง สำหรับแนวคิดของ Large Neighborhood Search หรือ LNS Algorithm นั้นจะเป็นการวนซ้ำ โดยในแต่ละครั้งจะจำแนกตัวแปรบางส่วนจากคำตอบดั้งเดิมหรือคำตอบที่มีอยู่ (Incumbent Solution) นำออกมาหาคำตอบ ซึ่งจะเรียกตัวแปรหรือชุดคำตอบกลุ่มนี้ว่าเป็นการกำหนด Neighborhood แต่ในขณะที่เดียวกันจะกำหนดให้ค่าของตัวแปรหรือชุดคำตอบกลุ่มนี้ที่เหลือจะเป็นค่าคงที่ตรงตามจากคำตอบดั้งเดิม (Incumbent Solution) [7], [8]

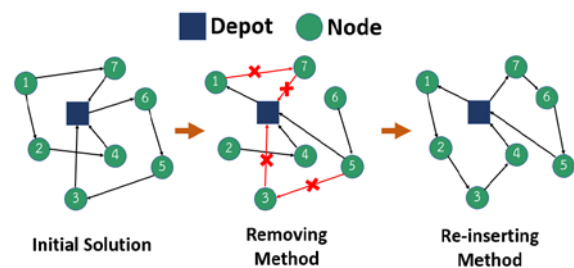
ข้อสำคัญ [6] ที่มีผลต่อประสิทธิภาพและคุณภาพของคำตอบที่ได้ของกระบวนการ LNS ซึ่งได้แก่

1. คุณภาพคำตอบเริ่ม (Initial Solution) ของ LNS โดยในการหาคำตอบอาจใช้เวลาที่นานในการหาคำตอบเมื่อคำตอบเริ่มต้นไม่มีค่าที่ไม่ดี

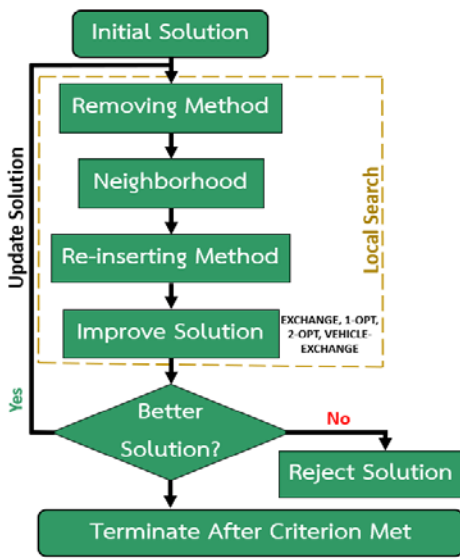
2. จำนวนของตัวแปรหรือจำนวนคำตอบมีความสำคัญต่อระยะเวลาในการหาคำตอบ โดยเมื่อ Neighborhood จะมีขนาดใหญ่ขึ้นแปรผกผันตามจำนวนตัวแปรตัวแปรที่เป็นค่าคงที่

3. หลักการของการเลือกกำจัดตัวแปรหรือเส้นทางของ node หรือกำหนดของ Neighborhood ที่ผ่านกระบวนการกำจัด โดยจะมีลักษณะตั้งแต่โดยการสุ่มไปจนถึงหลักการเลือกกำจัดที่ซับซ้อน ซึ่งจะให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันออกไป

4. กระบวนการในการหาคำตอบหรือการสร้างเส้นทางขึ้นมาใหม่ (Re-inserting) ควรให้คำตอบที่มีค่าที่ดีและใช้เวลาในการคำนวณที่น้อย โดยในภาพรวมของกระบวนการ Large Neighborhood Search (LNS) ของโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver ดังในรูปที่ 3 โดยเป็นกระบวนการที่นำคำตอบเริ่มต้น หรือเส้นทางเริ่มต้น มาเข้ากระบวนการหาคำตอบ local search ที่เป็นกระบวนการค้นหาคำตอบจากเซตของคำตอบที่มีขนาดที่ใหญ่ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงคำตอบเมื่อคำตอบใหม่มีค่าที่ดีกว่าคำตอบเดิม โดยจะทำซ้ำ ๆ จนกว่าจะได้คำตอบที่พอใจหรือครบเงื่อนไข ซึ่ง LNS จะใช้ด้วยวิธีการกำจัดเส้นทาง (Removing Method) โดย Neighborhood ที่จะเป็นคำตอบที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ โดยวิธีการกำจัดเส้นทางจะทำการลบเส้นทางออกจาก Node โดยการสุ่ม จากนั้นจะเชื่อมเส้นทางใหม่ด้วยวิธีการสร้างเส้นทางดังในรูปที่ 2 เมื่อได้เส้นทางขึ้นมาใหม่ จะทำการนำคำตอบเข้าสู่ขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทางทั้ง 4 วิธีของโปรแกรม ได้แก่ EXCHANGE (การแลกเปลี่ยน node ระหว่างเส้นทาง 2 เส้นทาง), 1-OPT (การย้าย node ภายในเส้นทาง เช่น 0-1-2-3-0 เป็น 0-3-1-2-0), 2-OPT (การย้ายลำดับลูกค้าโดยเลือกเส้นทางที่เชื่อมระหว่าง node ที่ไม่ติดกัน เช่น 0-1-2-3-4-0 เลือก 0-1 และ 3-4 จากนั้นสลับกับจะได้ 0-3-2-1-4-0), VEHICLE-EXCHANGE (การสลับยานพาหนะ) จากนั้นจะเข้าสู่การตรวจสอบโดยเมื่อได้เส้นทางที่มีคำตอบที่มีค่าที่ดีกว่าคำตอบของเส้นทางตั้งต้นหรือคำตอบของเส้นทางเดิมที่ทำการค้นหาก่อนหน้านี้ จะทำการแทนที่เส้นทางนั้น และคำตอบนั้นจะเป็นคำตอบเดิมเมื่อกระบวนการวนรอบถัดไปและยังไม่สิ้นสุด และเมื่อกระบวนการค้นหาสิ้นสุดหรือครบเงื่อนไข คำตอบที่เป็นคำตอบสุดท้ายจะเป็นคำตอบที่เราพอใจ



รูปที่ 2 ตัวอย่างกระบวนการกำจัดและการสร้างเส้นทางใหม่ [7]



รูปที่ 3 ภาพรวมของกระบวนการแก้ปัญหาโดยวิธี Large - Neighborhood Search โดยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญญวัฒน์ จันทร์ชัยภักดิ์ [3] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการจัดเส้นทาง การเดินทาง ของรถรับส่งนักเรียนในกรณีศึกษา โรงเรียนประสิทธิ์ศึกษา สงเคราะห์ โดยใช้วิธีฮิวริสติกทั้งหมด 4 วิธีได้แก่ Nearest Neighbor heuristic, Clarke-Wright Saving heuristic, Sweep heuristic และ Farthest-Nearest neighbor heuristic พบว่าการใช้ Clarke-Wright Saving heuristic โดยการใช้รถรับส่ง ให้ระยะทางที่สั้นที่สุด โดยมีระยะทางรวม 733 กิโลเมตรต่อรอบ และมีต้นทุนค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงในการรับส่งรวม 206,283 บาทต่อเดือน จากต้นทุนการรับส่งแบบเดิมในปัจจุบัน 341,100 บาทต่อเดือน พบว่า สามารถลดต้นทุนต่อเดือนได้ 134,817 บาทต่อเดือน ซึ่งลดไปได้ 39.52%

ณัฐนิชา รุ่งโรจน์ชัชวาล, อินทอร ศรีสว่าง, และวันฐณพพงษ์ คงแก้ว [4] ได้วิจัยเกี่ยวกับการจัดเส้นทางรถโดยสารของรถเก็บขนขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยใช้วิธีการแบบประหยัด (Savings algorithm) และฟังก์ชันวิวัฒนาการเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary method) ใน Microsoft Excel Solver โดยพิจารณา 2 กรณี คือกรณีการเดินทางเพียง 1 เส้นทาง และกรณีการเดินทางจำนวน 2 เส้นทางพบว่าวิธีการเชิงวิวัฒนาการให้เส้นทางที่มีระยะทางรวมที่สั้นที่สุดสามารถลดระยะทางจากเดิม 19.632 กิโลเมตรต่อวัน (มีการเดินทางจำนวน 2 รอบ) เป็น 12.418 กิโลเมตรต่อวัน หรือคิดเป็น 36.75% สำหรับกรณีการเดินทาง 2 เส้นทาง พบว่า สามารถลดระยะทางรวมเป็น 13.690 กิโลเมตรต่อวัน มีระยะทางรวมลดลง 5.942 กิโลเมตรต่อวัน คิดเป็น 30.27%

ปารณัท กัญญิมล, และสรารุช จันทรสุวรรณ [5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการวิเคราะห์และปรับปรุงการขนส่งรูปแบบมัลติคันของโรงงานประกอบรถยนต์แบบทันเวลาพอดี โดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีแบบ Metaheuristics Large Neighborhood

Search (LNS) ด้วยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver พบว่า วิธีแบบวิธี Saving Algorithm สามารถลดต้นทุนการขนส่งลดลง 9,089,924 บาทต่อปี คิดเป็น 41.6% ขณะที่วิธี LNS Algorithm สามารถลดต้นทุนการขนส่งเหลือ 11,962,011 บาทต่อปี ซึ่งลดลง 9,897,072 บาทต่อปี คิดเป็น 45.28% ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถลดต้นทุนได้มากที่สุดของงานวิจัยนั้นนอกจากนั้น

3. การดำเนินงานวิจัย

3.1 ขอบเขตงานวิจัย

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่จำหน่ายกระดาษชนิดและขนาดต่างๆ โดยในส่วนใหญ่จะเป็นการบริการในด้านส่งสินค้าให้กับลูกค้า โดยทั่วไปจะเป็นร้านค้าหรือบริษัทที่แปรรูปสินค้าจากกระดาษเพื่อจำหน่าย ซึ่งมีลูกค้าอยู่ตำแหน่งต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย โดยคลังสินค้าหรือบริษัทกรณีศึกษาจะตั้งอยู่ในอำเภอนครชัยศรี จังหวัดนครปฐม โดยจะมีพาหนะในการให้บริการส่งสินค้าทั้งหมด 3 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุกสี่ล้อกลาง จำนวน 3 คัน รถบรรทุกหกล้อ จำนวน 1 คัน และรถปิกอัพ จำนวน 1 คัน โดยมีความจุ 3 ตัน 7.5 ตัน และ 1.8 ตัน (ความจุมาตรฐาน) ตามลำดับ โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกเฉพาะลูกค้าที่มีการส่งสินค้าในเดือนกรกฎาคม และเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2565

ตารางที่ 1 ประเภทและความจุมาตรฐานของรถบรรทุก

ชนิดรถบรรทุก	ประเภทรถบรรทุก	ความจุ (กิโลกรัม)
รถบรรทุกสี่ล้อกลางคันที่ 1	รถบริษัท	3000
รถบรรทุกสี่ล้อกลางคันที่ 2	รถบริษัท	3000
รถบรรทุกสี่ล้อกลางคันที่ 3	รถบริษัท	3000
รถปิกอัพ	รถร่วมบริษัท	1800
รถบรรทุกหกล้อ	รถร่วมบริษัท	7500

ในการรับคำสั่งซื้อจากลูกค้า นั้น โดยรายการสั่งซื้อจะมาจากลูกค้าทางโทรศัพท์หรือสื่อทางอินเทอร์เน็ต ซึ่งโดยทางบริษัทจะมีข้อกำหนดในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าภายใน 3 วันโดยปกติซึ่งนับจากเมื่อรายการสินค้าเข้ามาถึงบริษัท และเมื่อมีลูกค้าที่จำเป็นต้องการสินค้าแบบเร่งด่วนบริษัทจะทำการส่งสินค้าภายในวันนั้น หรือช้าที่สุดคือภายในวันถัดมา โดยลูกค้าจะกำหนดที่เครื่องครัดระยะเวลาในการจัดส่งจะกำหนดเวลาในการจัดส่ง เช่น ช่วงเช้า (8:00 - 12:00 น.) หรือช่วงบ่าย (13:00 - 16:00 น.) ในวันใดวันหนึ่ง โดยขึ้นอยู่กับรถตกลงการสั่งซื้อ

3.2 การแบ่งกลุ่มประเภทของสถานที่จัดส่ง

ในการแบ่งกลุ่มของลูกค้าโดยจะแบ่งกลุ่มของลูกค้าจากตำแหน่งที่อยู่ลูกค้า ได้แก่ ลูกค้ากลุ่มที่อยู่ในเขตการขนส่ง และลูกค้ากลุ่มที่อยู่นอกเขตการขนส่ง (ตำแหน่งอยู่ต่างจังหวัด) โดยการแบ่งประเภทจะแบ่งตามการให้บริการด้านการขนส่ง ซึ่งระยะทางระหว่างตำแหน่งคลังสินค้าและลูกค้าตามดุลพินิจทางของผู้บริหารและพนักงานที่มีส่วน

เกี่ยวข้องกับการแบ่งประเภทในการขนส่ง โดยในการหาตำแหน่งของลูกค้าจะใช้ Google Map ในอินเทอร์เน็ต

ซึ่งลูกค้ากลุ่มที่อยู่ในเขตการขนส่ง ในกลุ่มนี้จะเป็นร้านค้าและบริษัทประเภทโรงพิมพ์ โดยจะมีลูกค้าบางรายเป็นลูกค้าประจำที่มีตำแหน่งอยู่ต่างจังหวัดในบางส่วนซึ่งจะเป็นลูกค้าประจำ ซึ่งมีระยะทางที่ไกลจากคลังสินค้า ซึ่งมีลูกค้าที่ให้บริการขนส่งสินค้าในกลุ่มนี้จำนวน 120 ราย

และลูกค้ากลุ่มที่อยู่นอกเขตการขนส่ง ลูกค้าในกลุ่มนี้โดยทั่วไปจะอยู่ต่างจังหวัด โดยการให้บริการในการขนส่งสินค้าที่รถส่งสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาไม่สามารถไปส่งสินค้าถึงหน้าร้านหรือในบริษัทได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้การขนส่งสินค้าของบริษัทขนส่งต่าง ๆ เป็นตัวกลางในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า โดยบริษัทกรณีศึกษาจะแบ่งขนส่งตามสายพหุคมนาคม (จังหวัดนครปฐม) ซึ่งบริษัทขนส่งส่วนที่จะที่อยู่ภายในกลุ่มเดียวกันผู้วิจัยจึงใช้ตำแหน่งในการส่งสินค้าเดียวกัน และบริษัทขนส่งบางบริษัทจะแยกออกมาจากกลุ่มบริษัทขนส่งหรืออยู่นอกศูนย์การขนส่งทำให้เส้นทางในการเดินทางออกไป มีลูกค้าที่ให้บริการขนส่งสินค้าในกลุ่มนี้จำนวน 277 ราย โดยรวมทั้งสองกลุ่มมีลูกค้าที่ทำการวิจัยทั้งหมด 397 ราย

3.3 วิธีในการหาคำตอบ

ในการหาคำตอบในโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver ใน Microsoft Excel นั้นต้องทำการประมวลผลจากโปรแกรมก่อน โดยนำข้อมูลที่เตรียมเพื่อในการหาคำตอบ มาใส่ในโปรแกรมจากนั้นทำการประมวลผลตามลำดับในโปรแกรม จนถึงขั้นตอน Solver ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย หลังจากนั้นเมื่อได้ผลเฉลยจะนำมาวิเคราะห์ในลำดับถัดไป โดยอันดับแรกจำเป็นต้องมีข้อมูลเพื่อในการหาคำตอบดังนี้

- 1) ตำแหน่งลูกค้า (ละติจูดและลองจิจูดที่ค้นหาได้ใน Google Map)
- 2) ปริมาณความต้องการของลูกค้า (Input)
- 3) จำนวนและชนิดของรถ
- 4) ความเร็วเฉลี่ยของรถบรรทุก
- 5) ความจุที่รถบรรทุกสามารถบรรทุกได้
- 6) เวลาขนถ่ายสินค้า
- 7) ช่วงเวลาการรับสินค้าของลูกค้า

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การเตรียมข้อมูล

รอบในการเดินทางของวิธีเดิม โดยรถบรรทุกสี่ล้อกลางมีรอบการขนส่งเท่ากับ 159 รอบ รถปิกอัพ 111 รอบ และรถหกล้อ 50 รอบ (หกล้อที่มีการเดินทางหนึ่งรอบภายในวันจำนวน 27 รอบ และมีการเดินทางมากกว่าหนึ่งรอบภายในวันจำนวน 23 รอบ) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้ารวมทั้งหมดเท่ากับ 335,611.91 บาท ซึ่งค่าใช้จ่ายจะคิดเป็นต่อรอบการขนส่ง

ตารางที่ 2 ค่าใช้จ่ายของรถสี่ล้อกลาง

รถบรรทุกสี่ล้อกลาง	(1)	(2)	(3)	ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
คันที่ 1	1,360	13,000	19,843.9	34,203.9
คันที่ 2	2,360	22,000	21,502.35	45,782.35
คันที่ 3	2,760	26,000	20,002.02	48,722.02

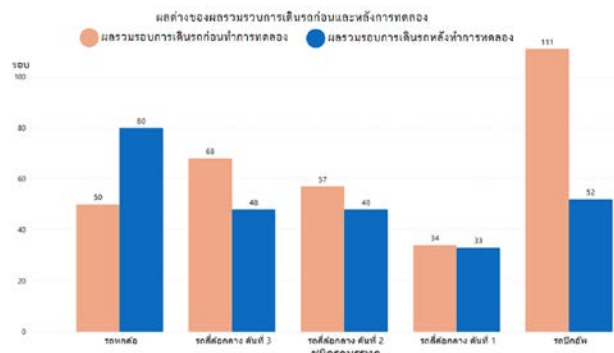
หมายเหตุ (1): ค่าเที่ยวพนักงาน (บาท), (2): ค่าเชื้อเพลิง (บาท), (3): ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา (บาท)

$$\text{ค่าใช้จ่ายของรถสี่ล้อกลางต่อรอบ} = \frac{\text{ค่าใช้จ่ายรวม}}{\text{จำนวนรอบในการเดินทางรถสี่ล้อกลาง}} \quad (1)$$

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดส่วนนี้จะเก็บข้อมูลที่มาจากฐานข้อมูลของบริษัทจากสมการ (1) ได้ค่าใช้จ่ายของรถสี่ล้อกลางต่อรอบในการขนส่งเท่ากับ 1,006, 803.2, และ 716.5 บาทต่อรอบ ตามลำดับ โดยในการทดลองจะใช้ค่าใช้จ่ายของรถบรรทุกสี่ล้อกลางเป็นค่าเดียว โดยจะทำการเฉลี่ยค่าใช้จ่ายต่อรอบของรถสี่ล้อทั้ง 3 คัน ได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 841.9 บาทต่อคันต่อหนึ่งรอบในการส่งสินค้า และในส่วนของค่าใช้จ่ายของรถปิกอัพและรถหกล้อจะมีค่าที่ตายตัวโดยรถปิกอัพมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 750 บาทต่อรอบ และรถหกล้อคิดค่าใช้จ่าย 2 กรณีโดยกรณีมีการส่งสินค้ารอบเดียวภายในหนึ่งวันจะคิด 2600 บาทต่อรอบ และในกรณีมีการส่งสินค้ามากกว่าหนึ่งรอบต่อวันจะคิด 2100 บาทต่อรอบ ในการทดลองจะใช้น้ำหนักของรถบรรทุกที่สามารถบรรทุกได้โดยอาจจะมีการบรรทุกที่เกินหรือน้อยความจุมาตรฐานเพียงเล็กน้อยเพื่อความยืดหยุ่นของงาน

4.2 ผลการทดลอง

การเปรียบเทียบผลเฉลยผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบจำนวนรอบการเดินทางโดยใช้เส้นทางเก่าและจำนวนรอบในการเดินทางโดยใช้เส้นทางใหม่จากโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver ในแต่ละวันที่มีการส่งสินค้าให้กับลูกค้า ในการเปรียบเทียบจำนวนรอบในการเดินทางจากผลเฉลยที่ได้จะแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบรอบในการเดินทางรถบรรทุกทั้ง 5 คัน

จากรูปที่ 4 ในการเปรียบเทียบจำนวนรอบในการเดินทางของรถบรรทุกทั้ง 5 คัน ระหว่างจำนวนรอบการเดินทางโดยใช้เส้นทางเก่าและจำนวนรอบในการเดินทางโดยใช้เส้นทางใหม่

5. สรุปงานวิจัย

จากศึกษาการจัดเส้นทางทางการเดินทางของรถบรรทุกสินค้าเพื่อไปส่งให้กับลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้วิธี LNS algorithm ซึ่งใช้โปรแกรม VRP Spreadsheet Solver ในการประมวลผลเพื่อหาผลเฉลยจากการจัดเส้นทางแบบเดิมในเดือนกรกฎาคม และเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2565 พบว่าการใช้วิธีดังกล่าวทำให้สามารถลดรอบการเดินทางของรถบรรทุกสี่ล้อกลางทั้ง 3 คัน และรถปิกอัพ ซึ่งรถหกล้อนั้นมีจำนวนรอบในการเดินทางที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากโปรแกรมมีเป้าหมายที่ทำให้มีระยะทางที่สั้นลง เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งโปรแกรมจึงได้พิจารณาการบรรทุกที่มีความจุที่มากที่สุดเพื่อที่จะรวมจุดหรือลูกค้าได้มากที่สุดในการขนส่งสินค้าเพียงหนึ่งรอบ เพื่อทำให้เกิดระยะทางที่สั้นที่สุดและขความคุ้มค่าทางด้านค่าใช้จ่ายและการบรรทุกสินค้าควบคู่

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

ชนิดรถบรรทุก	แบบเดิม (บาท)	LNS Algorithm (บาท)	เปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลง
รถสี่ล้อกลางคันที่ 1	28,624.56	27,782.66	2.94
รถสี่ล้อกลางคันที่ 2	47,988.23	40,411.14	15.79
รถสี่ล้อกลางคันที่ 3	57,249.12	40,411.14	29.41
รถปิกอัพ	83,250.00	39,000.00	53.15
รถหกล้อ	118,500.00	171,000.00	-44.30

ผลการทดลองจากการเปรียบเทียบของตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าโดยรวมในการจัดเส้นทางทางการเดินทางแบบเดิมเท่ากับ 335,611.91 สามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนการขนส่งทั้งหมดเท่ากับ 318,604.94 ซึ่งลดไปได้ 17,006.96 บาท หรือลดลง 5.07% และเมื่อเปรียบเทียบในส่วน Output/Input ผู้วิจัยจะใช้ค่าใช้จ่ายโดยรวมในการขนส่งต่อจำนวนน้ำหนักที่ให้บริการขนส่งทั้งหมดของทั้งสองเดือน (904,033.75 กิโลกรัม)

ซึ่งรถหกล้อในกรณีที่มีค่าใช้จ่าย 2,100 บาทต่อรอบหรือมีการขนส่งมากกว่าหนึ่งรอบต่อวัน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่อความจุมาตรฐานอยู่ที่ 0.28 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งน้อยที่สุดเท่ากับรถสี่ล้อกลาง แต่รถหกล้อซึ่งมีข้อได้เปรียบทางด้านความจุที่มากกว่าจึงสามารถรวมจุดในการขนส่งจึงทำให้ใช้ระยะทางน้อยกว่ารถสี่ล้อกลาง โปรแกรมจึงได้พิจารณาเลือกรถหกล้อในการขนส่งมากกว่ารถสี่ล้อกลาง ในขณะที่รถปิกอัพมีค่าใช้จ่ายต่อความจุที่มากที่สุด และมีความจุที่น้อยจึงทำให้ค่าใช้จ่ายการเดินทางลดลงมากที่สุด

งานวิจัยในอนาคตสามารถประยุกต์ใช้เมตาฮิวริสติกส์หลายวัตถุประสงค์สำหรับการจัดเส้นทางแบบมีกำหนดเวลา (MOVRPTW)

ได้แก่ Nondominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) และ Multi-Objective Large Neighborhood Search (MO-LNS) โดยพิจารณาหลายวัตถุประสงค์ เช่น วัตถุประสงค์จำนวนยานพาหนะที่ใช้ น้อยที่สุด เวลาเดินทางรวมต่ำสุด ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดและเวลาส่งซ้ำรวมน้อยที่สุด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ภูมิบัณฑิต มาบพา. 2561. การประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบแบบทามูสำหรับการจัดเส้นทางเดินทางขนส่งแบบมีกรอบเวลาและมีการแบ่งรับสินค้าที่ละส่วน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] ธนาวัฒน์ สิทธิสันติกุล. 2563. "การแก้ปัญหาการรับส่งเอกสารโดยวิธีการค้นหาเส้นทางคำตอบข้างเคียงขนาดใหญ่", ในเอกสารการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ, ครั้งที่ 25, จังหวัดชลบุรี, วันที่ 15 - 17 กรกฎาคม 2563.
- [3] ปัญญวัฒน์ จันทร์ชัยภักดิ์. 2561. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางรับส่งนักเรียน กรณีศึกษาโรงเรียนประสิทธิ์ศึกษาศงเคราะห์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [4] ณัฐนิชา รุ่งโรจน์ชัชวาล, อินทอร ศรีสว่าง, และวันฐณพงษ์ คงแก้ว. 2559. "การประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางทางการเดินทางสำหรับการเก็บขนขยะมูลฝอย กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่." วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, ปีที่ 4 ฉบับที่ 2.
- [5] ปารณท์ กัญวิมล และสรารุช จันทร์สุวรรณ. 2564. การศึกษาเพื่อจัดเส้นทางเดินทางขนส่งแบบมีคลังรับและการจัดการกำหนดการรับสินค้า กรณีศึกษา การส่งชิ้นส่วนโรงงานประกอบรถยนต์แบบทันเวลาพอดี ABC. คณะสถิติประยุกต์ ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
- [6] Ropke and D. Pisinger. "A unified heuristic for a large class of Vehicle Routing Problems with Backhauls," European Journal of Operational Research, vol. 171, no. 3, pp. 750-775, 2006.
- [7] P. Shaw. "Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems," in International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming, 1998, pp. 417-431: Springer.
- [8] R. K. Ahuja, Ö. Ergun, J. B. Orlin, and A. P. Punnen. "A survey of very large-scale neighborhood search techniques," Discrete Applied Mathematics, vol. 123, no. 1, pp. 75-102, 2002.

Agent-based Simulation for Comparative Product Promotion Strategy

Chutima Binsiravanich*, Naragain Phumchusri

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: 6470337621@student.chula.ac.th*

Abstract

A suitable price promotion strategy is essential to effectively attract customers, particularly through promotions and discounts on products to increase sales, generate profits and increase opportunity competition in the retail industry. However, studying the relationship between products and customers to create effective promotions can be complex, especially in retail stores have substitute products to make promotion. To maximize profits, these stores need to develop promotions for substitute products. This study aims to use agent-based simulation to create a product modelling for substitute products and to study pricing promotion strategies effect on customers. The promotions will consider depth of price reduction and frequency of promotion, with each pricing strategy producing different results in terms of sales and profit for the convenience store. This study provides a new perspective for understanding the effect of price promotion strategy on substitute products.

Keywords: Agent-based simulation, Retailer, Convenience store, Price promotion, Substitute products

1. Introduction

Convenience stores are the last point in the supply chain to deliver products to consumers. Nowadays, convenience stores play an increasingly important role for people in urban areas [1]. The strategic decisions of retail stores affect customer satisfaction and sales [2]. One of the most important and popular strategies is pricing, which is a way to attract customers and is easy to implement [3]. However, it should be considered whether the profit gained is higher or lower than the normal sales before a price reduction [4]. Normally, retailers always have substitutes from different manufacturers on the shelf [5]. It's not clear how to choose the appropriate strategy to maximize profit when there are promotions for similar products but different brands with different price reductions and frequencies [14]. Although the use of a pricing strategy to increase sales is a key factor in increasing the likelihood of purchase in customer decision-making, there are many factors that influence customer decisions, including customer behavior [6]. The customer reference for determining purchase probability includes many factors, such as personality and interaction between shoppers [7].

Several Previous studies on pricing strategy have used various tools, such as mathematical approaches, to consider pricing strategies that promote capability and increase competitive market share [8]. Empirical models using daily sales data have been used to consider the promotional price effectiveness of retailers. However, an empirical approach to building a mathematical model can have many complex dimensions that can be costly and time-consuming. An agent-based simulation can be created using simple data or uncomplicated elements such as pricing strategy and customer behavior to represent the real world situation [4]. However, when similar products are promoted with substitutes, the results may not always be favorable. It is necessary to analyze the outcome of the frequency and price reduction strategy that provides the most benefit to the store.

This study aims to develop an agent-based simulation to consider promotion strategies that provide the most profitable results as a useful tool for future decision making.

2. Literature review

2.1 Customer Behaviors

An agent-based simulation comprehensively considers both the microstructure and macrostructure of a system that grows from the bottom up. [9]. It is created from micro-elements, such as customer behavior, leading to decisions on purchasing products

[4]. Previous studies on customer behavior have identified that it is caused by two factors: internal factors, such as personal preferences or tastes, which are influenced by age, income, society, education, and others; and external factors, which come from the environment, such as television advertisements, and billboards. Since internal factors are difficult to collect, analyze, and track, external factors, which are more likely, are used in the model [7].

Sales are driven by word of mouth and social contagion [10]. For agent interactions, have both direct and indirect, with Word of mouth (WoM) being a direct interaction, similar to media advertising [12]. Word of mouth (WoM) is the exchange of information between customers, which occurs when a customer makes a purchase or learns about a product and tells another agent who is not aware of the product, and then that other customer comes to buy the product. Word of mouth (WoM) can be represented as a constant value to indicate the rating of a product, and as the number of customers increases, the probability of buying the product also increases accordingly.

The effectiveness of advertising can increase a customer's probability of buying a product when they see advertisements through media advertising campaigns, which has a greater impact on purchasing behavior than customers who have never seen the product before [11]. Internal and external factors can influence a customer's decision-making process before they arrive at the store, and there are factors that can increase the customer's probability of buying, such as a change in buying probability (ΔBP), which refers to promotions or discounts [9].

2.2 Agent-based Model and Simulation

Agent-based simulation is a useful tool to study various problems, such as investigating factors that affect human purchasing behavior and developing agent-based models and simulation methods to consider factors such as quality, price, and promotions, which can analyze and predict the impact of factors on sales [7]. The simulation approach is used to consider consumer behavior and competition between retail stores, creating dynamic interactions that use profits and sales as a measure of the effectiveness of the behavior that occurs [12]. Previous studies have used simulation-based approaches to model complex retail pricing and analyze pricing strategies, which include two types of agents: customers and retailers. Customer buying decisions are influenced by many factors, such as customer preferences, while retailers base their prices on promotional strategies that consider

the frequency and depth of discounting, which impact retailer profits and provide valuable insights into promotion strategy [13]. However, none of these studies have investigated the interactions between customer behavior and substitute products with different pricing strategies.

Therefore, our study aims to investigate the impact of customer behavior because of the complexity of individual decision-making processes and behaviors on products that are similar but from different brands. An agent-based simulation is ideal for us to study various promotion scenarios and analyze customer reactions to this promotion. Finally, the results can be used to solve basic problems in real-world environments.

3. Method

3.1 Simulation Design

The modeling framework adopted by [4] covers the key elements of a conceptual model, which include model content, experiment factors, assumptions, and simplifications of the model that are then implemented to vary the promotional strategy, which is a two-dimensional strategy of price reduction and frequency.

The substitute products have homogenous and heterogeneous promotional strategies. The promotional strategies are divided into three levels such as high-shallow, moderate, and low-deep, which mean following frequency high to low 40%, 25%, 10%, and depth of price cut deep to shallow 40%, 25%, 10%, respectively [14].

Table 1 Strategy type for substitute product description by frequency and price reduction

Strategy type	Product A	Product B
A	high-shallow	high-shallow
B	moderate	moderate
C	low-deep	low-deep
D	moderate	high-shallow
E	high-shallow	low-deep
F	moderate	low-deep

3.2 Customer model and Buying Probability Function

In order to investigate the relationship between customer behavior and promotion. The buying probability function states that at the beginning of the simulation, each customer has an initial buying probability that is influenced by two factors consists of word of mouth and the effectiveness of advertising. When customers

come to the store, the buying probability can be further increased by a price discount. The buying probability [15] and change buying probability [9] are calculated using the following equations:

$$BP(A_{ij}) = BP'(A_{ij}) * \Delta BP(A_{ij}) \quad (1)$$

Where:

$BP(A_{ij})$ is the new buying probability of agent i after coming to the store and selling product j .

$BP'(A_{ij})$ is the buying probability of agent i before coming to the store to sell product j .

$\Delta BP(A_{ij})$ is the change in buying probability because of the discounted price.

$$\Delta BP(A_{ij}) = (1 + \Omega(d_j * k_j)) \quad (2)$$

Where:

d is the discount rate of product j

k is the price sensitivity of product j

Ω is the normal distribution function with standard deviation and mean values as $(k*d)/3$ and $k*d$ subsequently

This model uses price sensitivity of substitute products A and B of 0.5, and the initial buying probability of the customer before coming to the store is 0.32 from advertising effectiveness and word of mouth come to store to buy product and decision to buy from promotion [4]. There are a few studies that relate to this study. For instance, the researchers examined retail price promotion strategies in 3x3 scenarios to examine retail price promotion methods in terms of depth, width, how price cuts are made, and frequency of price reductions. They established a basic logical decision for their agent, which is based on an assumption [13].

3.3 Simulation Process

The model consists of an agent, an environment, interactions, and behavior rules. In the simulation, only one type of agent is used the customer agent. The initial buying probability customer is influenced by advertising campaign such as television, brochure, billboard or internet as well as word of mouth from interaction customer agent.

At the beginning, the first stage is the PotentialUser state, representing the population with the potential to become a customer. At the start of the simulation, all of the customer agents are in this state. The second state is the decision state, where agents consider whether to buy or don't buy based on advertising

effectiveness and word of mouth. Each agent in this state has a chance to buy the product based on the buying probability. If the agents choose to buy, they move to User state. If they do not, they return to the PotentialUser state, and if they see the prices of interchangeable products that have discounts cheaper than the discounts on the products they intended to buy initially, they change to the MadeUptheirMind state to compare promotions and go to buy another brand that is different from the original. When they buy and go to User state, each agent in this state counts as one product sold. In the User state, agents have a chance to persuade other agents in the PotentialUser state to move to the decision state, with the contact rate repressing word of mouth. However, after customers purchase the product, the agent will have WOM ability. After they consume all the product, User state will return to Decision state again.

The customer's action is presented as the pricing and promotion strategy used. The promotion strategy is set to be an experimental factor or the key input of the model that influences the consumer's purchasing behavior. In this study, the output of the simulation is measured by profit. The time unit is days, and the number of replicates is 30, with a simulation length of 365 days. Figure 1 shows the state chart displayed by the customer agent, and figure 2 shows an example of the simulation run by the Anylogic software for MacOS Personal Learning Edition.

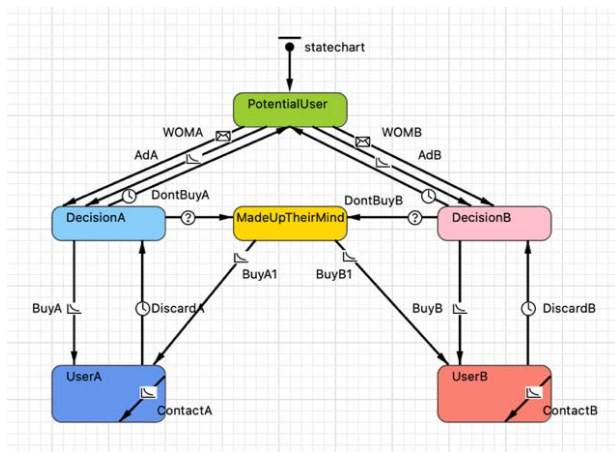


Fig. 1 State chart of customer agent

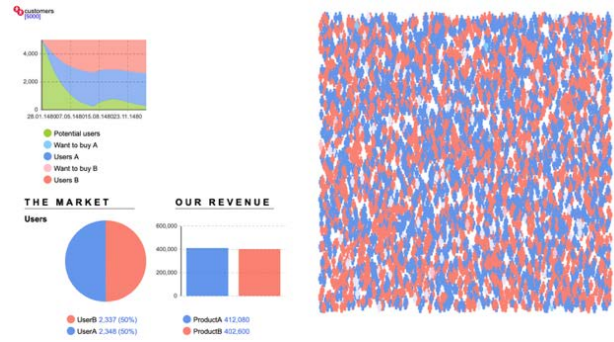


Fig. 2 Example of running of the simulation

4. Result

After running every strategy type, substitute product descriptions are ordered by frequency and price reduction as shown on table 1. The profit summary for both products is shown in table 2.

Table 2 Result of promotion strategy

Product	Strategy type	Price Reduction (%)	Frequency (% per month)	Profit (Bath)
X	A	10	40	171,106
	B	25	25	160,720
	C	40	10	162,170
	D	25	25	161,893
	E	10	40	170,785
	F	25	25	161,004
Y	A	10	40	171,056
	B	40	25	160,997
	C	40	10	162,497
	D	10	40	168,820
	E	40	10	169,133
	F	40	10	169,402

This paper present preliminary of the model for analyzing the effect of price promotion on substitute products. From the table 2, it can be seen that product A and product B achieved its maximum profit under condition strategy A where product A and product B used a high-shallow strategy that meaning shallow dept of price

but frequent and long-term reduction can generate higher sales and profits than a larger reduction, but done less frequently and for shorter periods of time.

Providing a price promotion involve a trad-off reducing profit per unit and increase the volume of units sold. To determine the effectiveness of a promotion, it's essential to weigh the benefit and promotion. If sales and profits are higher than usual, it will benefit the store. But if they are lower, it will not. Not only does the retailer lose profit per unit, but also fail to generate sufficient to make up for loss. Thus, offering deep discount for higher sales does not always increase profitability.

When retailers use a high-shallow strategy of substituting products, they make more profit than when they use other strategies. Moreover, when retailers use the high-shallow strategy for two substitute products against promotion at the same time, it will lead to the most profit among other strategies. On the other hand, when retailers use a moderate strategy of substituting products, they get less profit than when they use other strategies.

In addition, low-deep strategy is more profitable than moderate strategy, and it is even better when low-deep strategy is combined with a high-shallow strategy than when the moderate strategy is combined with a high-shallow strategy. However, a high-shallow strategy of substituting products is well suited to uplift the sale profit for the substitute product, as shown in table 3.

Table.3 Result of sum promotion strategy

Strategy		Product	Total Profit
A	high-shallow	X	342,163
	high-shallow	Y	
B	moderate	X	321,717
	moderate	Y	
Strategy		Product	Total Profit
C	low-deep	X	324,667
	low-deep	Y	
D	moderate	X	330,713
	high-shallow	Y	
E	high-shallow	X	339,917
	low-deep	Y	
F	moderate	X	330,406
	low-deep	Y	

Table.4 Result of word of mouth effect

WOM	Price Sensitivity	Strategy	Product	Profit
0.25	0.5	A	X	159,223
			Y	159,339
		B	X	150,223
			Y	149,942
		C	X	146,866
			Y	156,944
		D	X	125,143
			Y	156,767
		E	X	158,600
			Y	158,018
		F	X	150,603
			Y	157,186
0.5	0.5	A	X	163,123
			Y	163,544
		B	X	153,778
			Y	153,823
		C	X	161,851
			Y	162,313
		D	X	129,675
			Y	160,592
		E	X	162,713
			Y	161,812
		F	X	154,263
			Y	161,354
0.75	0.5	A	X	166,681
			Y	168,127
		B	X	157,917
			Y	157,438
		C	X	165,487
			Y	165,822
		D	X	129,675
			Y	160,592
		E	X	162,713
			Y	161,812
		F	X	154,263
			Y	161,354
1	0.5	A	X	171,106
			Y	171,056
		B	X	160,720
			Y	160,997
		C	X	162,170
			Y	162,497
		D	X	161,893
			Y	168,820
		E	X	170,785
			Y	169,133
		F	X	161,004
			Y	169,402

Table.4 represents the real-world situation where the product's reputation increases as the number of users in the system or community grows. The initial buying probability function is directly influenced by word of mouth (WOM). The results show that a higher WOM value leads to increased sales and greater profits. This information can be beneficial when we have precise knowledge about the WOM rate, as we can develop an appropriate promotional strategy to meet expectations.

5. Conclusions

This paper presented an agent-based simulation modeling approach that is a useful tool for analyzing the impact of pricing strategies on substitute products, with a particular focus on price promotion. The research evaluates three pricing strategy consist of high-shallow, moderate, and low-deep strategies. For the component of model simulation, this study adopted a customer model based on buying probability, initially influenced by the effectiveness of advertising and word of mouth (WOM). This model enabled the simulation to project the interaction between each agent, which reflected the real-world situation of the promotion, and designed the logic and action of agents in simulation to answer the question of how agents react to various promotions. Furthermore, the results showed that the higher the rate of word-of-mouth, the higher the sales, since word of mouth directly increased the likelihood of purchasing the goods.

In sum, the research findings indicate that a pricing strategy with a low-price reduction rate but frequent promotions can lead to high profits for products, while a strategy with a high price reduction rate but infrequent promotions may not be as effective in generating high profits, and the study suggests that a balance between dept of price reduction and promotion frequency is crucial in determining the success of a pricing strategy in functional product markets.

The paper uses an agent-based simulation model approach to analyze and understand the interaction between customers and substitute products. For future research, it may be considered to add more stores to create competition scenarios in the market, and that more products or categories and factors that are interesting may enhance and provide a more comprehensive result for simulation in the future studies.

References

- [1] M. Busu, M.V. Vargas, and I.A. Gherasim. 2020. "An analysis of the economic performances of the retail companies in Romania". *Management & Marketing. Challenges for the Knowledge Society*, Vol. 15(1): 125-133.
- [2] NI Arvitrida, A Candra, N Siswanto, L Yuwana, The Effect of Pricing Strategies on Retailers: An Agent-Based Modeling Approach, *International Conference on Operations and Supply Chain Management*; 2019, Ho Chi Minh, Vietnam.
- [3] D.M. Vrânceanu, C.E. Tuclea, and G. Tjgu. 2020. "Price Search Behaviour in Digital Markets – a Perspective from Romania." *Management & Marketing. Challenges for the Knowledge Society*, Vol. 15 (2): 219–235.
- [4] N. Phumchusri, W. Kosawanitchakarn, S. Srimook and S. Chawanapranee, Agent-based Simulation for Convenient Store's Promotion Strategy Selection, *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 2022, Thailand.
- [5] L. Zhang, G. Zhang and Z. Yao. 2020. "Analysis of Two Substitute Products Newsvendor Problem with a Budget Constraint". *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 140: 106235.
- [6] M.C. Monroe. 2003 . "Two avenues for encouraging conservation behaviors". *Human Ecology Review*, 113-125.
- [7] N. Zhang and X. Zheng. 2019. "Agent-Based Simulation of Consumer Purchase Behaviour Based on Quality, Price and Promotion". *Enterprise Information Systems*, Vol. 13 (10): 1427–1441.
- [8] O. Kwon, G. P. Im and K. C. Lee. (2007). "MACE-SCM : A multi-agent and case-based reasoning collaboration mechanism for supply chain management under supply and demand uncertainties." *Expert Systems with Applications*, Vol. 33 (3): 690–705.
- [9] C. Baydar. 2003. "Agent-Based Modeling and Simulation of StorePerformance for Personalized Pricing." *Proceedings of the 2003 WinterSimulation Conference*, 2003, Louisiana, USA.
- [10] S. A. Delre, W. Jager, T. H. Bijmolt and M. A. Janssen. 2007. "Targeting and timing promotional activities: An agent-based model for the takeoff of new products". *Journal of Business Research*, Vol. 60 (8): 826-835.
- [11] C. Stummer and E. Kiesling. 2020. "An Agent-Based Market Simulation for Enriching Innovation Management Education". *Central European Journal of Operations Research*, Vol. 29 (1): 143–161.
- [12] M. Fassnacht and S. El Husseini. (2013). "EDLP versus Hi–Lo pricing strategies in retailing a state of the art article". *Journal of Business Economics*, Vol. 83 (3): 259-289.

- [13] A. C. Kurniawan and N. I. Arvitrida. 2021. "An Agent-Based Simulation for a Trade-off between Frequency and Depth in Retail Price Promotion Strategy". Management & Marketing. Challenges for the Knowledge Society, vol. 16 (1): 1–12.
- [14] K. Sivakumar. 1996. "Tradeoff between frequency and depth of price promotions: Implications for high-and low-priced brands". Journal of Marketing, Vol. 4 (1): 1–8.
- [15] C. M. Baydar. 2002. "One-To-One Modeling and Simulation: A New Approach in Customer Relationship Management for Grocery Retail". Data Mining and Knowledge Discovery: Theory, Tools, and Technology IV, 346-354.

อิทธิพลของอุณหภูมิการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นพลาสติกต่อคุณสมบัติเชิงกลและความแม่นยำเชิงมิติ

Influence of FDM 3D Printing Temperature on Mechanical Properties and Dimension Accuracy

วัฒนชัย ประสงค์^{1*} วรธน ทิลกการย์¹ สาวิตรี พิบูลศิลป์¹ สมเดช อิงคะวะระ¹ สุเนตร มุลทา¹ ประยูร สุรินทร์²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

²สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตขั้นสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

E-mail: wattanachai@pit.ac.th*

Wattanachai Prasong^{1*}, Worrathon Tilokkarn¹, Sawitree Phieboosilapa¹, Somdech Ingkawara¹, Sunate Moontha¹, Prayoon Surin²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology

²Department of Advanced Manufacturing Technology, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology

E-mail: wattanachai@pit.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันนี้การผลิตชิ้นส่วนด้วยเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติได้รับความนิยมในการนำมาทดแทนการผลิตแบบดั้งเดิม โดยเฉพาะวิธีการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นพลาสติก (Fused Deposition Modelling: FDM) อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เป็นการการหลอมเส้นพลาสติกแล้วฉีดเส้นใยหลอมเหลวทับถมไปที่ละชั้นเพื่อสร้างเป็นชิ้นงาน ส่งผลให้คุณสมบัติเชิงกลต่ำและมีความผิดเพี้ยนของขนาดชิ้นงานเมื่อเทียบกับค่าที่ออกแบบงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิการพิมพ์ที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลและความแม่นยำเชิงมิติของชิ้นงาน โดยเลือกศึกษาเส้นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลาย คือ โพลีแลคติกแอซิด (Polylactic acid: PLA) อะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอีนสไตรีน (Acrylonitrile butadiene styrene: ABS) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตไกลคอล (Polyethylene terephthalate Glycol-modified: PETG) ซึ่งเริ่มจากการออกแบบชิ้นงานการทดสอบแรงดึงและชิ้นงานทรงลูกบาศก์ แล้วพิมพ์ชิ้นงานด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ จากนั้นทำการทดสอบความต้านทานแรงดึงและตรวจวัดขนาดชิ้นงานทรงลูกบาศก์ ผลการวิจัยพบว่าเมื่อปรับอุณหภูมิการพิมพ์สูงขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงและยังโมดูลัสและสูงขึ้น โดยช่วงอุณหภูมิการพิมพ์ต่ำถึงสูงของแต่ละวัสดุมีค่าความต้านทานแรงดึง คือ PLA มีค่า 45.58 ถึง 55.82 MPa, ABS มีค่า 21.00 ถึง 34.01 MPa และ PETG มีค่า 26.04 ถึง 44.09 MPa ตามลำดับ ซึ่งเนื่องจากความร้อนขณะพิมพ์สูงขึ้นช่วยลดช่องว่างระหว่างชั้นและส่งเสริมให้การยึดติดของแต่ละชั้นพิมพ์ดีขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อวัสดุที่มีความแข็งแรงมากขึ้นก็ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวต่ำลง นอกจากนี้อิทธิพลของอุณหภูมิการพิมพ์ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ความแม่นยำเชิงมิติลดลง โดยเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของชิ้นงานของวัสดุทั้งหมด มีค่าอยู่ที่ -0.437 ถึง 0.937 % ซึ่งเพราะความร้อนขณะพิมพ์ที่สูงขึ้นทำให้เกิดการหดตัวของวัสดุมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้ด้วยการนำค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมาชดเชยในการออกแบบขนาดชิ้นงานเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำเชิงมิติได้

คำสำคัญ: การพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้น อุณหภูมิการพิมพ์ คุณสมบัติเชิงกล ความแม่นยำเชิงมิติ

Abstract

Presently, the production of parts by 3D printing technology has been popular to be replacing traditional production, especially the Fused Deposition Modelling (FDM) method. However, this method is melting the plastics and injecting the molten filament deposit layer by layer to be 3D printing parts. Resulting in low mechanical properties and distortion of the dimensions compared to the dimensions of the design. The aim of this research was studied to the Influence of FDM 3D printing temperature on the mechanical properties and dimension accuracy of 3D printing parts. Which choose to study plastic filament that is widely used are Polylactic acid (PLA), Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS), and Polyethylene Terephthalate Glycol-modified (PETG). Tensile testing and cuboid specimens were designed after that adjust the printing parameters with Cura program and then printing the 3D printing parts via the Ultimaker printer. The tensile strength test was performed and the cube dimension was measured with a micrometer. It was found that when the printing temperature was increased, Young's modulus and tensile strength increased. The tensile strength of each material in the low to high printing temperature range is 45.58 to 55.82 MPa for PLA, 21.00 to 34.01 MPa for ABS, and 26.04 to 44.09 MPa for PETG, respectively. Because of the higher temperature, the printing process reduced the layer gaps and promoted better layer adhesion of each layer. On the other hand, the higher strength of the material, the lower the elongation. In addition, the influence of higher printing temperature results in a decrease in dimensional accuracy, in which the error percentage of specimens

of all materials was -0.437 to 0.937% because higher printing temperature increases shrinkage. However, this trouble can be solved by adding the obtained error percentage to compensate for the design of the parts to increase dimensional accuracy.

Keywords: FDM 3D printing, Printing temperature, Mechanical properties, Dimension accuracy

1. บทนำ

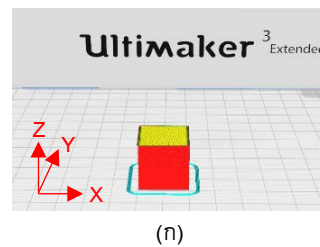
ในปัจจุบันเทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ (3D printing) เข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในการสร้างหรือผลิตสิ่งต่างๆ ทดแทนการผลิตแบบดั้งเดิม การพิมพ์สามมิตินั้นเป็นกระบวนการผลิตแบบเติมเนื้อวัสดุเพื่อทำให้เกิดเป็นรูปร่างที่สามารถจับต้องได้ตามที่ต้องการ โดยอาศัยข้อมูลในรูปแบบดิจิทัล ซึ่งการพิมพ์นั้นจะค่อยเป็นไปทีละชั้น จึงทำให้สามารถช่วยลดกระบวนการผลิตให้สั้นลงได้ พร้อมทั้งมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า รองรับการสร้างงานต้นแบบหรือการผลิตจำนวนน้อย อีกระดานการตีพิมพ์ผลิตภัณฑ์ง่ายต่อการดัดแปลงแก้ไขชิ้นงาน สร้างชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้มากกว่า ไม่จำเป็นต้องใช้แม่พิมพ์หรือเครื่องมือช่วยผลิต จึงเป็นที่นิยมในการนำไปใช้งานในหลายอุตสาหกรรม เช่น การสร้างส่วนประกอบต้นแบบ หรืออุปกรณ์ทางการสอน ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การเครื่องมือแพทย์หรืออวัยวะเทียมในทางการแพทย์ การทำเนื้อเทียมในอุตสาหกรรมอาหาร ตลอดจนการสร้างบ้านหลังใหญ่ด้วยคอนกรีตในอุตสาหกรรมก่อสร้าง เป็นต้น [1-4]

เทคโนโลยีการพิมพ์สามมิติ มีอยู่หลายวิธีการในการสร้างชิ้นงาน เช่น วิธีการพิมพ์สามมิติแบบ Stereolithography (SLA) และแบบฉีดเส้นพลาสติก (Fused Deposition Modelling: FDM) โดยปัจจุบันนี้เครื่องพิมพ์สามมิติระบบฉีดเส้น (FDM) กำลังได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น เพราะมีราคาที่ถูกเมื่อเทียบกับเครื่องพิมพ์สามมิติแบบอื่น การใช้งานง่ายสามารถพิมพ์ชิ้นงานได้อย่างรวดเร็ว สำหรับการสร้างชิ้นงานที่มีความซับซ้อน และที่สำคัญอีกอย่างคือการมีวัสดุพิมพ์ให้เลือกซื้อได้อย่างหลากหลาย ซึ่งวัสดุสำหรับการพิมพ์สามมิติแบบ FDM โดยส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุประเภทเทอร์โมพลาสติก ซึ่งเส้นพลาสติกที่ได้รับความนิยมในลำดับต้นๆ ได้แก่ เส้นพลาสติกพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid: PLA) เส้นพลาสติกอะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอินสไตรีน (Acrylonitrile butadiene styrene: ABS) และเส้นพลาสติกพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตไกลคอล (Polyethylene terephthalate Glycol-modified: PETG) [2]

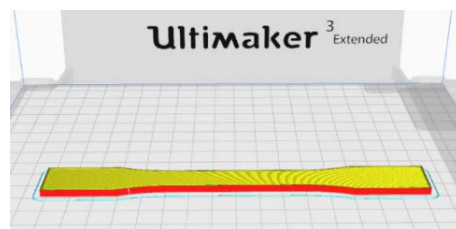
แต่อย่างไรก็ตามการพิมพ์สามมิติระบบฉีดเส้นพลาสติก เป็นการการหลอมเส้นพลาสติกแล้วฉีดเส้นไหลลงทาบถมไปที่ละชั้นเพื่อสร้างเป็นชิ้นงาน ซึ่งจะส่งผลให้ความแข็งแรงน้อยกว่าชิ้นงานที่ผลิตจากแบบดั้งเดิม นอกจากนี้ยังมีผลต่อความแม่นยำและความละเอียดของชิ้นงานต่ำกว่า รวมถึงความหยาบผิวที่สูงขึ้น ซึ่งการเลือกใช้ชนิดของเส้นพลาสติกและการปรับอุณหภูมิการพิมพ์ให้เหมาะสมอาจส่งผลต่อการยึดติดที่ดีของชั้นพิมพ์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติเชิงกล ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัยในการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอุณหภูมิการพิมพ์ที่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลและความแม่นยำเชิงมิติของชิ้นงานสามมิติแบบฉีดเส้นพลาสติก

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยเริ่มจากการเลือกวิธีการเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยวิธีการพิมพ์สามมิติแบบฉีดเส้นพลาสติก (Fused Deposition Modelling: FDM) และเลือกวัสดุการพิมพ์ที่เป็นเส้นพลาสติกที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน คือ พอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid: PLA) อะครีโลไนไตรล์บิวทาไดอินสไตรีน (Acrylonitrile butadiene styrene: ABS) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลตไกลคอล (Polyethylene terephthalate Glycol-modified: PETG) จากนั้นออกแบบชิ้นงานการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D638 Type I [3] และชิ้นงานทรงลูกบาศก์ ขนาด 20 x 20 x 20 มิลลิเมตร (มม.) ด้วยโปรแกรม SOLIDWORKS แล้วบันทึกเป็นสกุลไฟล์ STL (Standard Triangle Language) จากนั้นชิ้นงานถูกออกแบบทิศทางพิมพ์ที่แสดงในรูปที่ 1 และปรับตั้งเงื่อนไขการพิมพ์ด้วยโปรแกรม CURA ซึ่งกำหนดค่าอุณหภูมิการพิมพ์เป็น ค่าต่ำ ค่ากลาง และค่าสูง เพื่อแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของผลการทดลอง ซึ่งค่าอุณหภูมิการพิมพ์ของเส้นพลาสติกทั้ง 3 ชั้น เป็นช่วงอุณหภูมิการพิมพ์ที่สามารถพิมพ์ชิ้นงานได้ของแต่ละชนิดเส้นพลาสติกนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ต่อมาชิ้นงานจะถูกพิมพ์ด้วยเครื่องพิมพ์สามมิติ ยี่ห้อ Ultimaker รุ่น Ultimaker 3 Extended ขนาดหัวฉีด 0.4 มม. ด้วยเส้นพลาสติก ยี่ห้อ Ultimaker ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.85 มม. จำนวนตัวอย่างละ 5 ชิ้น



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 การวางตำแหน่งการพิมพ์ของตัวอย่างชิ้นงานทดสอบ (ก) สำหรับการตรวจวัดขนาด (ข) สำหรับการทดสอบแรงดึง

ตารางที่ 1 เงื่อนไขและข้อกำหนดการพิมพ์สามมิติ

รหัสชิ้นงาน (วัสดุ/อุณหภูมิ)	วัสดุ	อุณหภูมิ พิมพ์ (C°)	อุณหภูมิ ฐาน (C°)	ความเร็ว (มม/ วินาที)	ความ สูงชั้น (มม.)
PLA T-190*	PLA	190	60	60	0.2
PLA T-210	PLA	210	60	60	0.2
PLA T-230	PLA	230	60	60	0.2
ABS T-210	ABS	210	80	60	0.2
ABS T-230	ABS	230	80	60	0.2
ABS T-250	ABS	250	80	60	0.2
PETG T-210	PETG	210	80	60	0.2
PETG T-230	PETG	230	80	60	0.2
PETG T-250	PETG	250	80	60	0.2

หมายเหตุ รหัสชิ้นงาน PLA T-190 คือวัสดุเป็น PLA และอุณหภูมิพิมพ์ ที่ 190 C°

เมื่อชิ้นงานพิมพ์เสร็จจะถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ด้วยวิธีการทดสอบความต้านทานแรงดึง กับเครื่องทดสอบแรงดึง ยี่ห้อ Zwick/Roell กำหนดความยาวเกจเป็น 50 มม. และดิ่งที่อัตราเร็ว 5 มม. ต่อนาที สำหรับชิ้นงานทรงลูกบาศก์จะถูกตรวจวัดขนาดความกว้าง ยาว และสูง ในแนวแกน X แกน Y และแกน Z ตามลำดับ ด้วยไมโครมิเตอร์ ยี่ห้อ Mitutoyo ความละเอียด 0.001 มม. ละเอียด 0-25 มม. แล้วนำค่าที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับขนาดจากการออกแบบ คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (% Error) ของแต่ละชิ้นงาน ตัวอย่าง ดังสมการที่ 1

$$\text{Relative error} = \left[\frac{x_{\text{mea}} - X_t}{X_t} \right] \quad (1)$$

% Error = Relative error x 100

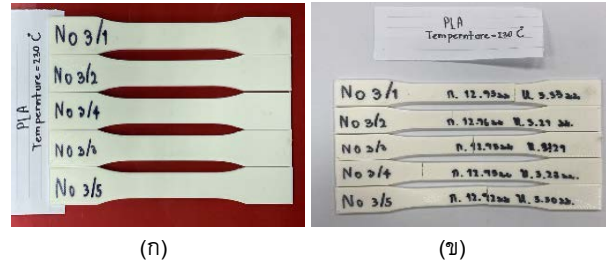
แทนค่า X_t = ค่าจริง (True value)

x_{mea} = ค่าที่ได้จากการวัด (Measure value)

3. ผลการทดลอง

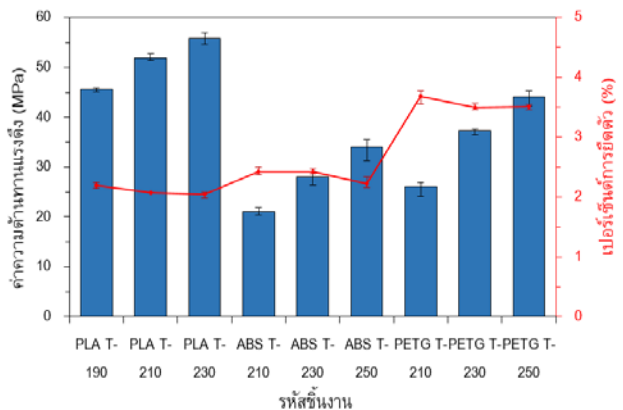
3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

จากการเตรียมชิ้นงานสามมิติของวัสดุและอุณหภูมิการพิมพ์ที่แตกต่างกัน ดังแสดงชิ้นงานตัวอย่างในรูปที่ 2 (ก) ตัวอย่างชิ้นงานก่อนทดสอบ และดำเนินการทดสอบต้านทานแรงดึง ดังแสดงชิ้นงานตัวอย่างในรูปที่ 2 (ข) ตัวอย่างชิ้นงานหลังทดสอบ ผลการทดลองแสดงเป็นค่าต้านทานแรงดึง (Tensile Strength) ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (Elongation) และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Young's Modulus) ดังแสดงในรูปที่ 3 ค่าความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ และรูปที่ 4 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น

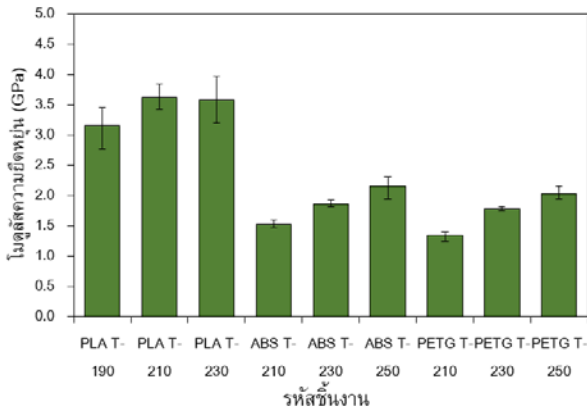


รูปที่ 2 ตัวอย่างชิ้นงานก่อนและหลังการทดสอบความต้านทานแรงดึง
(ก) ตัวอย่างชิ้นงานก่อนทดสอบ (ข) ตัวอย่างชิ้นงานหลังทดสอบ

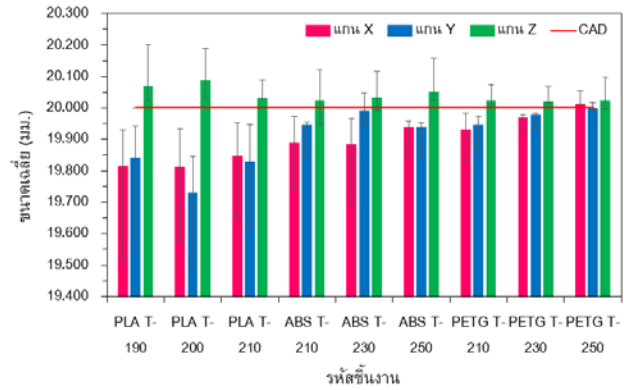
จากผลการทดลองพบว่า ชิ้นงานที่พิมพ์ด้วยวัสดุ PLA ที่อุณหภูมิ 210 C° ถึง 250 C° มีค่าต้านทานแรงดึงและโมดูลัสความยืดหยุ่นสูงสุด อยู่ที่ 45.58 ± 0.44 ถึง 55.82 ± 1.13 MPa และ 3.16 ± 0.39 ถึง 3.59 ± 0.39 GPa ตามลำดับ เนื่องจากโครงสร้างภายในและคุณสมบัติคล้ายแก้วของ PLA ที่สูงกว่าวัสดุ ABS และ วัสดุ PETG อย่างไรก็ตามเมื่อปรับเพิ่มอุณหภูมิการพิมพ์สูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าต้านทานแรงดึงและโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุ PLA ABS และ PETG ทั้ง 3 ชนิดสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่ปรับสูงขึ้นตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากความร้อนขณะพิมพ์สูงขึ้นช่วยลดช่องว่างระหว่างชั้นและส่งเสริมให้การยึดติดของแต่ละชั้นพิมพ์ดีขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อปรับอุณหภูมิการพิมพ์สูงขึ้น ค่าอัตราการยืดตัวของวัสดุจะลดลง แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการพิมพ์สูงขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานแข็งแรงขึ้นแต่ความยืดหยุ่นของชิ้นงานลดลง อย่างไรก็ตามวัสดุ PETG ที่อุณหภูมิพิมพ์ ที่ 210 C° ถึง 250 C° ยังคงแสดงค่าอัตราการยืดตัวของวัสดุสูงสุด [4] อยู่ที่ 3.50 ± 0.3% ถึง 3.68 ± 0.3% ซึ่งสูงกว่าวัสดุ PLA วัสดุ ABS



รูปที่ 3 ความต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของวัสดุ



รูปที่ 4 โมดูลัสความยืดหยุ่น



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลการวัดขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานทรงลูกบาศก์

3.2 ผลการตรวจวัดความแม่นยำทางมิติ

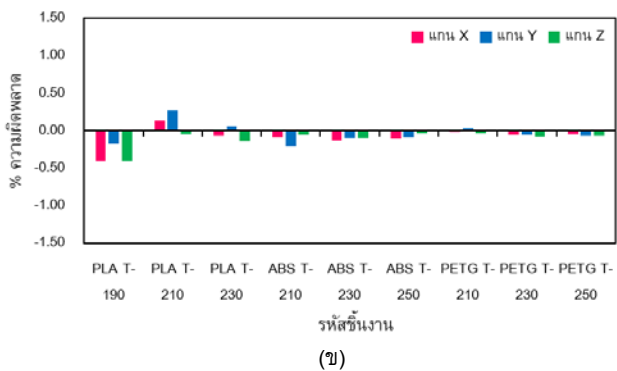
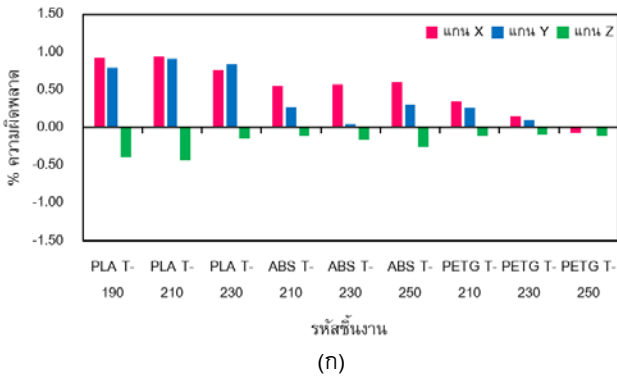
ผลการตรวจวัดความแม่นยำทางมิติ จากการวัดขนาดของชิ้นงานทรงลูกบาศก์ ขนาด 20 x 20 x 20 มม. ในทิศทางแนวแกน X แกน Y และ แกน Z ของวัสดุ PLA ABS และ PETG ในอุณหภูมิการพิมพ์ที่แตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 2 ผลการวัดขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานทรงลูกบาศก์ และมีแสดงผลเปรียบเทียบความแตกต่างของขนาดที่วัดได้กับค่าในการออกแบบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computer-Aided Design: CAD) ของทรงลูกบาศก์ ขนาด 20 x 20 x 20 มม. ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบผลการวัดขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานทรงลูกบาศก์

ตารางที่ 2 ผลการวัดขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานทรงลูกบาศก์

รหัสชิ้นงาน	ขนาดเฉลี่ย (มม.)		
	แกน X	แกน Y	แกน Z
PLA T-190	19.816 ±0.300	19.842 ±0.281	20.070 ±0.131
PLA T-200	19.813 ±0.236	19.819 ±0.236	20.087 ±0.101
PLA T-210	19.848 ±0.201	19.831 ±0.206	20.030 ±0.059
ABS T-210	19.890 ±0.147	19.946 ±0.102	20.023 ±0.098
ABS T-230	19.885 ±0.188	19.992 ±0.055	20.033 ±0.085
ABS T-250	19.935 ±0.097	19.939 ±0.093	20.050 ±0.109
PETG T-210	19.933 ±0.100	19.947 ±0.089	20.023 ±0.050
PETG T-230	19.970 ±0.047	19.979 ±0.046	20.020 ±0.050
PETG T-250	20.013 ±0.043	20.000 ±0.018	20.024 ±0.072

ผลการวัดขนาดของชิ้นงานที่พิมพ์สามมิติพบว่า ขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานทรงลูกบาศก์ในแกน X และแกน Y ของวัสดุ PLA ABS และ PETG ทุกอุณหภูมิต่ำกว่าขนาดที่ออกแบบ (20 มม.) ยกเว้น PETG ที่อุณหภูมิพิมพ์ 250 C° ซึ่งวัสดุ PLA มีขนาดเฉลี่ยต่ำที่สุด ตามด้วย ABS และ PETG ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 19.819 ±0.236 ถึง 20.013 ±0.043 มม. แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานจากการพิมพ์สามมิติในแนวแกน X และแกน Y มีการหดตัวจากขนาดที่ออกแบบไว้ ส่วนขนาดเฉลี่ยของแนวแกน Z ของวัสดุ PLA ABS และ PETG ทุกอุณหภูมิสูงกว่าขนาดที่ออกแบบ (20 มม.) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 20.020 ±0.050 ถึง 20.087 ±0.101 มม. เนื่องจากการปิดกั้นของชั้น (Layer) ด้านข้างทั้งสองข้างขณะพิมพ์ส่งผลให้พลาสติกหลอมเหลวขยายตัวขึ้นด้านบน (แกน Z) [5]

จากการวัดขนาดเฉลี่ยของชิ้นงานพิมพ์สามมิติและนำมาเปรียบเทียบกับขนาดจากการออกแบบสามารถคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของแต่ละชิ้นงานแต่ละแนวแกนได้ ดังแสดงในรูปที่ 6 (ก) กราฟค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดก่อนหดเซยค่าในการออกแบบ ซึ่งกราฟแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิการพิมพ์ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อขนาดชิ้นงานในวัสดุ PLA และ ABS ซึ่งมีค่าอยู่ที่ประมาณ -0.063% ถึง 0.937% ในแกน X และแกน Y และ -0.101% ถึง -0.437% ในแกน Z แต่อย่างไรก็ตามในวัสดุ PETG มีแนวโน้มค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดลดลง จาก 0.337 % ถึง -0.063 ในแกน X และ 0.266% ถึง 0.002% ในแกน Y เมื่อปรับเพิ่มอุณหภูมิการพิมพ์สูงขึ้นจาก 210C° เป็น 230 C° และ 250 C° ตามลำดับ จากกราฟยังแสดงให้เห็นว่าวัสดุ PETG มีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดน้อยที่สุด ตามด้วยวัสดุ ABS และวัสดุ PLA ค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูง ซึ่งกรณีนี้อาจจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการขยายตัวของแต่ละชนิดที่นำมาพิมพ์ชิ้นงานสามมิติ [6]



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดก่อนและหลังการชดเชยค่าในการออกแบบ (ก) ก่อนชดเชยค่า (ข) หลังชดเชยค่า

นอกจากนี้จากค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสามารถนำมาแก้ปัญหาความผิดพลาดของขนาดในกระบวนการพิมพ์สามมิติที่คลาดเคลื่อนจากค่าที่ออกแบบได้ โดยการนำค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมาชดเชยในขนาดในขั้นตอนการออกแบบ ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดได้ ดังแสดงในรูป 6 (ข) กราฟค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดหลังชดเชยค่าในการออกแบบ จากกราฟแสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดหลังชดเชยค่า เข้าใกล้ค่า 0% และลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับค่าก่อนการชดเชย โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอยู่ที่ -0.018% ถึง -0.405 %

4. สรุป

จากการวิจัยพบว่าอิทธิพลของอุณหภูมิการพิมพ์มีผลกระทบต่อความแข็งแรงของชิ้นส่วนการพิมพ์สามมิติ เมื่อปรับอุณหภูมิการพิมพ์สูงขึ้นค่าความต้านทานแรงดึงและยังโมดูลัสของชิ้นงานพิมพ์สามมิติสูงขึ้น เนื่องจากความร้อนขณะพิมพ์สูงขึ้นช่วยลดช่องว่างระหว่างชั้นและส่งเสริมให้การยึดติดของแต่ละชั้นพิมพ์ดีขึ้น ขณะเดียวกันเมื่อวัสดุที่มีความแข็งแรงมากขึ้น ส่งผลให้ความยืดหยุ่นของวัสดุลดต่ำลง นอกจากนี้อิทธิพลของอุณหภูมิการพิมพ์อาจจะมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแม่นยำเชิงมิติในวัสดุ PLA และ ABS แต่มีแนวโน้มช่วยลดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการพิมพ์ในวัสดุ PETG และเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดอาจมีผลมาจากชนิดของวัสดุที่ใช้ในการ

พิมพ์ เช่น วัสดุ PETG มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดต่ำกว่า วัสดุ ABS และ PLA ซึ่งจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการขยายตัวขณะพิมพ์และหดตัวลงเมื่อเย็นตัวของชนิดวัสดุนั้น อย่างไรก็ตาม ปัญหาการขยายและการหดตัวของชิ้นงานสามมิติสามารถแก้ไขได้ด้วยการนำค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดมาชดเชยค่าในการออกแบบขนาดชิ้นงาน จะช่วยให้สามารถลดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดให้น้อยลงหรือมีขนาดใกล้เคียงกับค่าในการออกแบบได้

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีปทุมวันในการเอื้อเฟื้อเครื่องมือ วัสดุ และอุปกรณ์ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณนักศึกษาที่ช่วยทำงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] P. K. Penumakala, J. Santo, A. Thomas, A critical review on the fused deposition modeling of thermoplastic polymer composites, *Composites Part B* 201 (2020) 108336, 2020.
- [2] N. Mohan, P. Senthil, S. Vinodh & N. Jayanth, A review on composite materials and process parameters optimisation for the fused deposition modelling process, *Virtual and Physical Prototyping*, Vol. 12, NO. 1, 47–59, 2017.
- [3] เภยจวรรณ ลีถิรไพบูลย์, ลีพิร ลีถิรไพบูลย์ และปรัชญาพร ดวงคำ, อิทธิพลของการเพิ่มความร้อนและรูปแบบการพิมพ์ของชิ้นงานที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่แอลเอจากเครื่องพิมพ์สามมิติแบบพอก, การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ ครั้งที่ 6 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 1: "การพัฒนาสู่สังคมอัจฉริยะ", ปทุมธานี, 2562.
- [4] Prasong, W., Ishigami, A., Thumsorn, S., Kurose, T., & Ito, H., Improvement of interlayer adhesion and heat resistance of biodegradable ternary blend composite 3D printing. *Polymers*, 13(5), 740, 2021.
- [5] V. E. Kuznetsov, A. N. Solonin, A. G. Tavitov, O. D. Urzhumtsev, A. H. Vakulik, Increasing of Strength of FDM (FFF) 3D Printed Parts by Influencing on Temperature-Related Parameters of the Process, *Rapid Prototyping Journal*, 2019.
- [6] J. S. Chohan, R. Singh, K. S. Boparai, R. Penna, F. Fraternali, Dimensional accuracy analysis of coupled fused deposition modeling and vapour smoothing operations for biomedical applications, *Composites Part B* 117, 138-149, 2017.

การลดของเสียในกระบวนการเชื่อมแหวนอีแปะเพื่อตั้งสันขอบรถยนต์ที่เกิดรอยยุบ

กรณีศึกษา: สถานประกอบการซ่อมสีรถยนต์

Reducing Wastes in Process of Flat Washers to Edge Welding Car with Collapsible

Case Study: Auto Paint Car Repair Establishment

ภีม พรประเสริฐ¹ ศรีนยา ประทีปชนะชัย² ธนรัช มั่นมงคล³ จันทศิริ พลอยงาม⁴ ณัฐภัค พลพะพันธุ์^{1*} สุรพงษ์ แก่นมณี⁵

¹สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

²สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

³สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

⁴สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

⁵สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

E-mail: nattapak.p@ubru.ac.th*

Peema Pornprasert¹, Sarinya Prateepchanachai², Tanatat Monmongkol³, Jansiri Ployngam⁴, Nattapak Palaphan^{1*}, Surapong Keanmanee⁵

¹Department of Logistics Management, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchatani Rajabhat University

²Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

³Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

⁴Department of Industrial Piping Technology, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Isan Khonkaen Campus

⁵Department of Electrical Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

E-mail: nattapak.p@ubru.ac.th*

บทคัดย่อ

กระบวนการซ่อมสีรถยนต์ตัวอย่างมีทั้งหมด 9 ขั้นตอน จากการสังเกตการทำงานจริงของพนักงานพบว่าเกิดปัญหาในขั้นตอนที่ 2 การเชื่อมแหวนอีแปะกับขอบสันรถยนต์ที่ยุบเพื่อใช้เครื่องมือดึงคืนสภาพเกิดรอยทะลุ ทำให้ต้องเสียเวลาในการซ่อมงานเป็นเวลานาน จากการวิเคราะห์ปัญหาเบื้องต้นเกิดจากตัวแหวนอีแปะมีความสกปรกและหน้าสัมผัสไม่เรียบซึ่งเกิดจากการผ่านการใช้งานมาหลายรอบ ผู้วิจัยจึงใช้เทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่าขั้นตอนที่ 1 การทำความสะอาดและตกแต่งรอยยุบของแหวนอีแปะที่ผ่านการใช้งานก่อนนำไปใช้ใหม่ในขั้นตอนที่ 2 ยังไม่สะอาดและหน้าสัมผัสไม่เรียบพอ ทำให้กระแสไฟอาร์คระหว่างการเชื่อมจุดไหลไม่สะดวกส่งผลให้เกิดรอยทะลุ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลของปัญหา ณ จุดปฏิบัติงานแล้วทำการวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยแผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจจากการระดมสมองควรรอบแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ที่ช่วยในการขัดทำความสะอาดแหวนอีแปะทั้งด้านข้างและส่วนที่เป็นสันที่ใช้เป็นหน้าสัมผัสในการเชื่อมจุดแทนการขัดแบบเดิมที่ใช้พนักงานหยิบที่ละชิ้นแล้วขัดกับหินเจียรแบบตั้งพื้น การออกแบบอุปกรณ์เน้นให้สามารถขัดพร้อมกันได้ครั้งละหลายชิ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดรอบเวลาในการทำงานของพนักงาน ผลการปรับปรุงพบว่าอุปกรณ์ช่วยในขัดสามารถขัดแหวนอีแปะพร้อมกันได้ 22 ชิ้นต่อครั้ง โดยใช้เวลาในการขัด 2 นาทีต่อรอบ ซึ่งมากกว่าการขัดแบบเดิม 2 ชิ้นต่อรอบ ที่การขัดเวลาเดียวกัน 2 นาที และลดของเสียจากเชื่อมแหวนทะลุได้ร้อยละ 100

คำสำคัญ: แหวนอีแปะ อุปกรณ์ช่วยในการทำงาน เทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม แผนภูมิต้นไม้ตัดสินใจ

Abstract

The sample car paint repair process has a total of 9 steps. From observing the actual work of employees, it was found that there was a problem in step 2, welding the flat washer with the edge of the collapsed car ridge using a tool to restore the condition, causing punctures. It takes time to repair work for a long time. From analysis of the problem caused by the flat washer being dirty and the contact surface uneven due to being used for many cycles. The researcher therefore uses the why-why technique to analyze the cause of the problem. It was found that step 1 cleaning and finishing the sinkhole of the flat washer that was used before reuse in step 2 was still not clean and the contact surface was not smooth enough. This causes the arc current during spot welding to flow inconveniently, resulting in punctures. The researcher collects data on the problem at the operational point, then analyzes the problem and determines a

solution with a tree diagram. From brainstorming, it should be designed and built equipment that helps to clean the flat washers on both sides and ridges that are used as contact points for spot welding instead of the traditional polishing that uses the staff to pick each piece and scrub with the grinding stone on the floor. The design of the equipment emphasizes that many pieces can be polished simultaneously to increase efficiency and reduce the cycle time of employees. The improvement result showed that the polishing aid can polish 22 flat washers simultaneously with 2 minute polishing time per cycle, which is more than the original polishing 21 pieces per cycle at the same polishing time 2 minute and reduce the 100 percent of the damage from welding the through ring.

Keywords: Flat ring, Jig fixture, Why-Why analysis, Tree diagram

1. บทนำ

สถานประกอบการตัวอย่างเป็นผู้รับซ่อมสัณรยยนต์ที่เกิดจากอุบัติเหตุทุกชนิด มีทั้งการเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ไม่สามารถซ่อมได้แล้วพ่นสีให้เหมือนกับสีเดิม และดึงหรือเคาะคืนสภาพแล้วโป๊วสีตบแต่งจนถึงขั้นตอนสุดท้ายการพ่นสีจริงในกรณีที่สามารถซ่อมได้ซึ่งการดึงหรือการเคาะก็จะมีจุดที่ทำงานและทำยากแตกต่างกันไป โดยเฉพาะจุดที่เป็นขอบสันของรยยนต์ทุกชนิด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 จุดขอบสันรยยนต์

จากรูปที่ 1 แสดงจุดที่เป็นขอบสันรยยนต์ หากเกิดอุบัติเหตุมีรอยยุบซึ่งไม่มีความรุนแรงสามารถซ่อมได้ปัจจุบันช่างซ่อมเลือกที่จะใช้วิธีการดึงคืนสภาพ ก่อนที่จะทำการเคาะและโป๊วสีตบแต่ง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 วิธีการดึงคืนสภาพในส่วนที่เป็นสัน

จากรูปที่ 2 แสดงลักษณะการดึงคืนสภาพขอบสันรยยนต์โดยวิธีการใช้แหวนอีแปะเชื่อมติดกับจุดที่เกิดการยุบ จากนั้นใช้คีมดึงคืนสภาพในจุดที่ยุบที่ละเอียดหรือใช้แท่งเหล็กสอดกลางรูแหวนอีแปะแล้วดึงกระตุกพร้อมกัน วิธีนี้สามารถลดขนาดแผลจากการผ่าจุดที่ยุบแล้วนำมาเคาะคืนสภาพได้ อีกทั้งการตบแต่งด้วยสีโป๊วก็จะน้อยกว่าวิธีการอื่น แต่ปัจจุบันกระบวนการดังกล่าวประสบปัญหาในการเชื่อมแหวนติดกับขอบสันเกิดรอยทะลุ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 รอยทะลุจากการเชื่อมแหวนอีแปะ

จากรูปที่ 3 แสดงลักษณะของเสียรอยทะลุจากการเชื่อมแหวนอีแปะกับขอบสันรยยนต์ซึ่งพบ 73 ชิ้น จากการเชื่อมทั้งหมด 200 ชิ้น คิดเป็นร้อยละ 36.50 จากการสังเกตปัญหาเบื้องต้นพบว่าแหวนอีแปะที่ใช้ในการเชื่อมเป็นแหวนที่ใช้หมุนเวียนในกระบวนการผ่านการเชื่อมมาแล้วหลายรอบก่อนการเชื่อมต้องผ่านการทำความสะอาดระอตรองรอยจากการเชื่อมและคราบสนิมก่อนเนื่องจากเป็นสาเหตุที่ทำให้กระแสไฟอาร์คไหลไม่สะดวก อีกทั้งการปรับกระแสไฟและแรงดันของเครื่องเชื่อมรวมถึงอัตราการความเร็วในการป้อนลวดและการไหลของแก๊ส CO₂ อาจมีส่วนต่อปัญหาของเสียด้วย

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อพยายามลดของเสียที่เกิดจากเชื่อมงานทะลุ ให้ได้น้อยร้อยละ 50 ของปริมาณของเสียที่เกิดก่อนการปรับปรุง และพยายามลดรอบเวลาของการเตรียมแหวนอีแปะด้วยการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram)

เป็นแผนผังที่ใช้ในการค้นหาสาเหตุรากเง้าหรือใช้ในการค้นหาแนวทางการแก้ไขปัญหาลงสู่ล่างได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ประเภทการวิเคราะห์แบบ Why-Why Tree จะใช้เมื่อต้องการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเง้า (Root Cause) ของปัญหาโดยยอดของแผนผังต้นไม้จะแสดง “ปัญหา” ที่เกิดขึ้น และประเภทการวิเคราะห์แบบ How-How Tree จะใช้เมื่อต้องการหาแนวทางการแก้ไขก่อนที่จะนำไปสร้างเป็นแผนปฏิบัติการ โดยยอดต้นไม้จะแสดงถึง “เป้าหมาย” ที่ต้องการจะไปถึง ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของวนิดา พงษ์สงวน และคณะ [1] ใช้เทคนิคผังต้นไม้ตัดสินใจประเมินประสิทธิภาพของแบบ

จำลองด้วยค่าความแม่นยำตรง ผลการวิจัยพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาให้ประสิทธิภาพที่มีค่าความแม่นยำร้อยละ 76.14 และสามารถสร้างกฎการจำแนกจากต้นไม้ตัดสินใจทั้งสิ้น 97 กฎ ซึ่งพบว่าปัจจัยเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดโรคเบาหวาน ได้แก่ อายุ เพศ สถานะภาพ ที่อยู่ อาชีพ ประวัติความดันโลหิตเกินมาตรฐาน พฤติกรรมการสูบบุหรี่ พฤติกรรมการดื่มสุรา และประวัติครอบครัวเป็นเบาหวาน

2.2 เทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม

หลักการวิเคราะห์ปัญหาด้วยการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม (Why-Why) Analysis คือ การวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุที่แท้จริง (Root Cause) ของปัญหาซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบหรือปรากฏการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ขึ้น ด้วยวิธีการอย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอน โดยไม่เกิดการตกหล่นและซ้ำซ้อน และไม่จินตนาการเอง ดังนั้นหลักการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม จึงเปรียบเสมือนการมองเห็น “ผลกระทบ” และ “สาเหตุ” ในบางประเด็น แต่ต้องไม่ด่วนสรุปในทันทีที่เกิดจากสาเหตุใด จึงควรมีการค้นหาข้อเท็จจริงที่ถูกต้องและสอดคล้องที่สุดเพื่อให้ทราบว่า “สาเหตุที่แท้จริงคืออะไร” คล้ายกับงานวิจัยของ สุพัฒตรา เกษราพงศ์ และคณะ [2] ศึกษาและพยายามลดของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนท่อไอเสียรถจักรยานยนต์โดยประยุกต์ใช้เทคนิคทางด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม (IE Techniques) โดยอาศัยหลักการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจาก 3 ปัจจัยหลัก คือ ผ่าท่อฉีก ชิ้นงานบวม และเชื่อมทะลุ ได้แนวทางการแก้ไขเริ่มจากเปลี่ยนแกนตัวหมุดหยุดที่ตัวแม่พิมพ์ขึ้นรูปสำหรับปัญหาผ่าท่อฉีก, ปรับปรุงพื้นที่ในการจัดวางโดยเพิ่มอุปกรณ์เสริมกันกระแทกสำหรับปัญหาชิ้นงานบวม, และควบคุมการปฏิบัติงานของพนักงานในการตั้งคาลาพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าแรงดัน ปริมาณของแก๊สออกซิเจน และแก๊สอะเซทิลีนให้ถูกต้องตามมาตรฐานสำหรับปัญหาเชื่อมทะลุ ผลการปรับปรุงพบว่าสามารถลดของเสียจากร้อยละ 10.82 เหลือร้อยละ 4.71

2.3 การออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน (Jig Design)

คือการออกแบบเครื่องมือเป็นกระบวนการของการออกแบบและปรับปรุงเครื่องมือวิธีการและเทคนิคที่จำเป็นหลาย ๆ อย่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำงานในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถเพิ่มผลผลิต (Productivity) ให้สูงขึ้น รวมถึงการออกแบบเครื่องมือที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรในอุตสาหกรรม และเครื่องมือพิเศษอื่น ๆ ทำให้การผลิตชิ้นงานทำได้อย่างรวดเร็วมีปริมาณสูงอีกทั้งยังทำให้สินค้ามีคุณภาพ ประหยัด ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี และเดชา พวงดาวเรือง [3] ออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อลดเวลาการผลิตของหน่วยเจียรนัยรูใน ของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งพบว่ามีความมาตรฐานที่กำหนดไว้ 20 นาทีต่อชิ้น แต่เวลาเฉลี่ยของการทำงานด้วยอุปกรณ์เดิมใช้เวลา 23 นาทีต่อชิ้น คิดเป็นเวลาสูญเสียร้อยละ 15 เมื่อนำอุปกรณ์จับยึดที่ทำการออกแบบไปทำการติดตั้งสามารถลดรอบเวลาการผลิตของหน่วยเจียรนัยรูในเหลือ 15 นาทีต่อชิ้น คิดเป็นลดลงร้อยละ 25 ทำให้รอบเวลาการผลิตรวมลดลงร้อยละ 37.78

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การลดรอบเวลาในกระบวนการผลิตมีหลายงานวิจัยที่มีการนำเอาเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ อาทิเช่น งานวิจัยของ ชัชพันธ์ หลักฐานดี [4] ศึกษาการลดรอบเวลาการผลิต

ชิ้นงาน SIDE FRAME ณ เครื่องจักร 150T เนื่องจากผลิตไม่ทันตามความต้องการของลูกค้าที่ 70,237 ชิ้น/เดือน

แต่ผลิตได้เพียง 59,426 ชิ้น/เดือน โดยรอบเวลาการผลิตปัจจุบันอยู่ที่ 10.89 วินาที/ชิ้น มีค่าจังหวัดความต้องกรของลูกค้า (Take Time) อยู่ที่ 9.3 วินาที/ชิ้น สาเหตุเกิดจากการเคลื่อนย้ายและการรอคอยที่มากเกิดไป ตามหลักความสูญเสียเปล่า 7 ประการ แนวทางการแก้ไขโดยการนำหลักการจัด Layout ใหม่ เพื่อลดความสูญเสียจากการเคลื่อนย้ายและการเปลืองงานให้พนักงานตรวจสอบคุณภาพทำการเตรียมชิ้นงานให้กับพนักงานบีบชิ้นงานเพื่อเพื่อลดความสูญเสียจากการรอคอย ผลการดำเนินงานสามารถลดรอบเวลาการผลิตได้ร้อยละ 14.60 สามารถเพิ่มผลผลิตได้ 10,811 ชิ้นต่อเดือน

งานวิจัยของ ฉัตรพร เมฆามโนมัย, กิตติชัย อธิกุลรัตน์ และภัทรพงษ์ ภาคภูมิ [5] ปรับปรุงกระบวนการทำงานและลดเวลาความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตเปิดโดยการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมเพื่อศึกษากระบวนการผลิตผ่านแผนภูมิกระบวนการไหลโดยมีกระบวนการผลิตมีขั้นตอนทั้งหมด 25 ขั้นตอน วิเคราะห์กระบวนการโดยอาศัยเทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ปรับปรุงโดยใช้หลักการลดความสูญเสียเปล่าด้วยเทคนิค ECRS ด้วยการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายขึ้นโดยการเปลี่ยนจากการนั่งทำงานเป็นการยืนทำงานตามหลักการยศาสตร์ ผลการปรับปรุงสามารถลดรอบเวลาการทำงานในขั้นตอนที่ 22 ได้ จาก 11.59 วินาที เหลือ 7.04 วินาที คิดเป็นลดลงร้อยละ 39.26

งานวิจัยของ ศุภวัชร เมฆบุรณและ จีรวัดณ์ ปลั่งใหม่ [6] พยายามลดของเสียในกระบวนการผลิตโพลีเมอร์ โซลิดคาปาซิเตอร์ จากการวิเคราะห์พบว่าปัญหาของเสียเกิดจาก คน เครื่องมืออุปกรณ์ วัสดุการผลิต วิธีการทำงาน และสภาพแวดล้อมในการทำงานที่ไม่เหมาะสม กำหนดแนวทางการแก้ไข โดยการใช้วิธีการปรับเปลี่ยนวัสดุการผลิต การปรับปรุงวิธีการผลิต การปรับปรุงเครื่องมืออุปกรณ์สนับสนุนการผลิต และปรับปรุงสภาพแวดล้อมเพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถลดของเสียจากร้อยละ 1.53 เหลือร้อยละ 1.01 เพิ่มค่าดัชนีวัดศักยภาพของกระบวนการในระยะยาว (Pp_{bench}) จาก 0.81 เป็น 0.87 และเพิ่มดัชนีสมรรถนะของกระบวนการ (Ppk_{bench}) จาก 0.72 เป็น 0.78

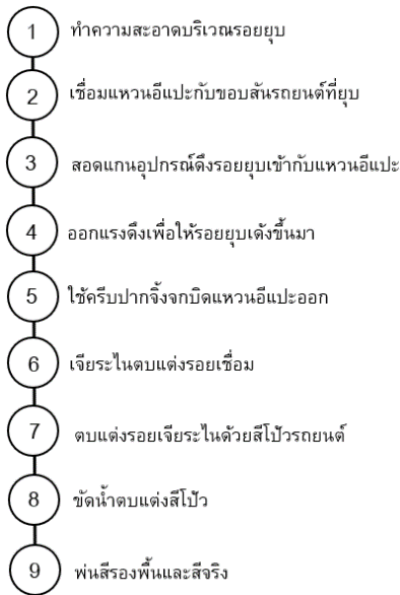
งานวิจัยของวิทยา อินทร์สอน [7] ความสูญเสียต่าง ๆ แฝงอยู่ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพของกระบวนการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เช่น การใช้เวลานานในการผลิตมากเกินไป สินค้ามีคุณภาพต่ำ มีต้นทุนการผลิตสูง คล้ายกับงานวิจัยของ คลอเคลีย จนะวิซากร [8] ลดความสูญเสียเปล่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม้กวาดทางมะพร้าว ด้วยการประยุกต์ใช้การออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพื่อคัดแยกขนาดและตัดทางมะพร้าวให้ได้ขนาดความยาว 40 และ 50 เซนติเมตรตามลำดับช่วยลดความสูญเสียเปล่าในขั้นตอนการทำงานมากขึ้นไปช่วยให้พนักงานทำงานสะดวก รวดเร็ว ใช้เวลาน้อย ในขณะที่ได้ปริมาณของงานมากขึ้นกว่าเดิมผลจากการปรับปรุงสามารถลดจำนวนพนักงานจาก 2 คนเหลือ 1 คน ลดของ

เสียจากเศษลวดและรอบเวลาในการผลิตลดลงจาก 46 นาที/ด้าม เหลือ 40 นาที/ด้าม ลดลง 6 นาที/ด้าม คิดเป็นลดลงร้อยละ 13.04

3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

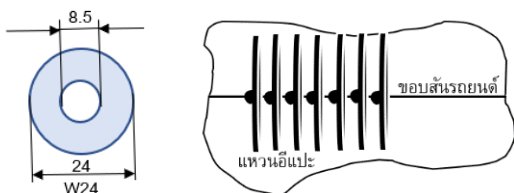
3.1 สืบเสาะสภาพปัจจุบัน

ผู้วิจัยสำรวจสภาพปัจจุบันของขั้นตอนการเชื่อมสัณฐานของสถานประกอบการตัวอย่างมีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 9 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการเชื่อมสัณฐาน

จากรูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการเชื่อมสัณ โดยขั้นตอนที่ผู้วิจัยให้ความสนใจที่จะนำมาทำการแก้ไขคือขั้นตอนที่ 2 การเชื่อมแหวนอีแปะกับขอบสันรถยนต์ที่ยุบ โดยเลือกใช้แหวนอีแปะขนาด W24 ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การเชื่อมแหวนอีแปะกับขอบสันรถยนต์

จากรูปที่ 6 แสดงลักษณะการเชื่อมแหวนอีแปะเข้ากับขอบสันรถยนต์จากนั้นจะใช้คีมดึงในส่วนที่ยุบขึ้นที่ละตัวหรืออาจใช้แท่งเหล็กสอดเข้าตรงกลางแล้วดึงขึ้นพร้อมกัน จากนั้นจะถอดแหวนอีแปะออกแล้วเจียรระไนตกแต่ง ส่วนแหวนอีแปะที่ถอดออกจะนำไปเป็นอุปกรณ์หมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ แต่ก่อนนำกลับมาใช้ต้องมี การขัดและเจียรระไนทำความสะอาดก่อนเนื่องจากแหวนอีแปะที่ผ่านการใช้งานจะมีจุดหนูที่เป็นรอยเชื่อมจากการใช้งานและเกิดสนิมเกาะเป็นจำนวนมากซึ่งจะส่งผลให้การเชื่อมเกิดกระแสไฟอาร์คไหลไม่สะดวกทำให้การเชื่อมเกิดรอยทะลุ ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบนำแหวนอีแปะที่ผ่านการใช้งานและผ่านการทำความสะอาดแล้วในปัจจุบันมาทำการทดสอบเชื่อมกับขอบสันรถยนต์ จำนวน 10 ชิ้น แต่ละชิ้นจะใช้แหวนอีแปะ 20 ตัว เชื่อมติดกันเป็นแนวยาว เก็บข้อมูลรอยเชื่อมที่ทะลุได้ดังนี้

ตารางที่ 1 การเก็บข้อมูลการทดสอบรอยทะลุจากการเชื่อม

ชิ้นที่	ชิ้นงานทดสอบ	ชิ้นงานทะลุ	ตัวอย่างรอยทะลุ
1	20	8	
2	20	6	
3	20	9	
4	20	7	
5	20	5	
6	20	6	
7	20	8	
8	20	7	
9	20	8	
10	20	9	
รวม	200	73	

ข้อมูลจากรายการที่ 1 พบรอยทะลุที่เกิดจากการเชื่อมทั้งหมด 73 ชิ้น จากการเชื่อมทั้งหมด 200 ชิ้น คิดเป็นของเสียร้อยละ 36.50 จากข้อมูลผู้วิจัยจะนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไข

3.2 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและกำหนดแนวทางแก้ไข

จากปัญหาการทดสอบเชื่อมแหวนอีแปะกับชิ้นงานเกิดรอยทะลุ ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้มาระดมสมองกับทีมงานผู้ปฏิบัติ ด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การวิเคราะห์ปัญหาประเภท Why-Why Tree Diagram

จากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุของปัญหาอาจมาจากแหวนอีแปะที่นำมาใช้ในการเชื่อมมีความสกปรก เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่ใช้หมุนเวียนกลับมาใช้ซึ่งก่อนการใช้ต้องมีการทำความสะอาดรอยเชื่อมเก่าและสนิมที่ติดอยู่กับตัวแหวนก่อน ผู้วิจัยจึงใช้หลักการ 3 จริ่ง เพื่อลงไปศึกษากระบวนการทำความสะอาดแหวนอีแปะ ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ ยุทธณรงค์ จงจันทร์ ศรีนิยา ประทีปชนะชัย และธนรัช มั่นมงคล [9] ใช้หลักการ 3 จริ่ง เพื่อลงไปศึกษากระบวนการผลิตแป้งตลับของบริษัทตัวอย่างเพื่อเก็บข้อมูลมาทำการปรับปรุงกระบวนการทำงานเพื่อเพิ่มผลผลิต ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 วิธีการทำความสะอาดแหวนอีแปะวิธีเดิม

จากรูปที่ 8 แสดงวิธีการทำความสะอาดแหวนอีแปะวิธีเดิมก่อนการปรับปรุงซึ่งมีจุดที่ต้องทำความสะอาดหลัก ๆ 2 ส่วน คือ ส่วนสัน

แหวนที่มีลักษณะหมุนจากเนื้อโลหะที่เกิดจากการเชื่อมจะใช้วิธีการให้พนักงานจับที่ตัวแหวนแล้วจี้ขัดเข้ากับหินเจียรไนและส่วนที่เป็นสนิมจะเอวบางบนแผ่นกระดาษทรายแล้วออกแรงถูกขึ้นลง เมื่อทำงานนาน ๆ ทำให้พนักงานเกิดความอ่อนล้า และส่งผลต่อหน้าสัมผัสแหวนกับตัวแหวน ดังแสดงในรูปที่ 9



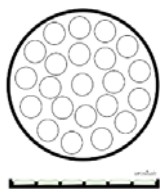
รูปที่ 9 ลักษณะแหวนอีแปะที่ทำความสะอาดด้วยวิธีเดิม

จากรูปที่ 9 พนักงานจะทำความสะอาดได้ครั้งละ 1 ชิ้น ใช้เวลาทำงานประมาณ 2 นาทีต่อชิ้น หน้าสัมผัสที่เอียงและผิวสัมผัสที่สกปรกจะส่งผลโดยตรงต่อของเสียในการเชื่อม ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลไปวิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไข ด้วยแผนภูมิต้นไม้แบบ Why-Why Tree Diagram ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 การวิเคราะห์ปัญหาและกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วย Why-Why Tree Diagram

จากรูปที่ 10 ได้กำหนดแนวทางการแก้ไขสาเหตุของปัญหาด้วยการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงานโดยเน้นให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้นลดเวลาในการขัดแหวนอีแปะและที่สำคัญต้องสามารถขจัดคราบสนิมได้หมด พร้อมทั้งสามารถขัดตกแต่งผิวสัมผัสได้เรียบสม่ำเสมอมากขึ้น การออกแบบแสดงดังรูปที่ 11



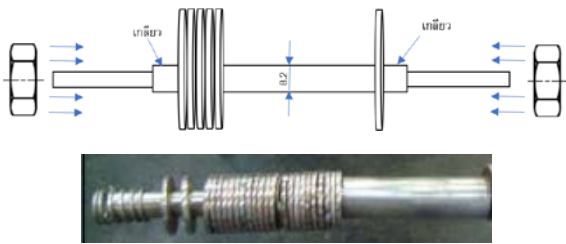
รูปที่ 11 การออกแบบอุปกรณ์ขัดสนิมแหวนอีแปะ

จากรูปที่ 11 แสดงลักษณะแนวคิดในการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการขัดสนิมแหวนอีแปะโดยใช้เหล็กความหนา 10 มิลลิเมตร กัดตามแบบ ให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ซึ่งโตกว่าแหวนอีแปะ 1 มิลลิเมตร ความลึกของรู 2 มิลลิเมตร เล็กกว่าขนาดความหนาของแหวนอีแปะ 1 มิลลิเมตร หลักการทำงานนำแหวนที่ต้องการขัดสนิมวางลงในหลุมซึ่งสามารถวางได้ 22 ชิ้นต่อรอบ เมื่อวางครบใช้เครื่องเจียรไนมือขนาด 4 นิ้ว ตัดแปลงเอาอุปกรณ์ต้นตึกแกลใส่แล้ววางกระดาษทรายเกาะกับตึกแกล เปิดเครื่องขัดงานทั้งสองด้าน อุปกรณ์หินเจียรที่ตัดแปลง ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 เจียร์ไน่มือขนาด 4 นิ้ว ดัดแปลงใส่ตีนตุ๊กแก


จากนั้นผู้วิจัยออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการในการขัดผิวสัมผัสสันขอบของแหวนอีแปะให้มีความสม่ำเสมอ แนวทางการออกแบบ ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 การออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์ขัดขอบสันผิวสัมผัส

จากรูปที่ 13 ผู้วิจัยนำอุปกรณ์มาทดสอบขัดสันผิวสัมผัสโดยการใส่แหวนอีแปะครั้งละ 22 ชิ้น ล็อคให้แน่นด้วยน็อตและนำไปขัดกับหินเจียร์ไน จากนั้นนำแหวนที่ผ่านการทำความสะอาดไปทดลองเชื่อมกับชิ้นงานทั้งหมด 10 ชิ้น แต่ละชิ้นจะใช้แหวนอีแปะ 20 ตัว เชื่อมติดกันเป็นแนวยาว เก็บข้อมูลรอยเชื่อมหลังการปรับปรุง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเก็บข้อมูลการทดสอบรอยทะเล หลังการปรับปรุง

ชั้นที่	ชั้นงานทดสอบ	ชั้นงานทะเล	ตัวอย่างรอยทะเล
1	20	0	
2	20	0	
3	20	0	
4	20	0	
5	20	0	
6	20	0	
7	20	0	
8	20	0	
9	20	0	
10	20	0	
รวม	200	0	

4. ผลการดำเนินงาน

จากตารางที่ 2 ผลการทดสอบการเชื่อมแหวนอีแปะกับชิ้นงานหลังการปรับปรุงวิธีการทำความสะอาดแหวนอีแปะพบว่าลดลงจาก 73 จุด

ต่อการเชื่อม 200 จุด เหลือ 0 จุดต่อการเชื่อม 200 จุด คิดเป็นลดลงร้อยละ 100

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการศึกษากระบวนการซ่อมรถยนต์ของสถานประกอบการตัวอย่างซึ่งมีทั้งหมด 9 ชั้นตอน พบปัญหาในชั้นตอนที่ 2 การเชื่อมแหวนอีแปะกับสันขอบรถยนต์เพื่อตั้งคานสภาพ เกิดรอยทะเลจากการเชื่อม ทำให้เกิดของเสีย พนักงานต้องเสียเวลาในการซ่อมงานเป็นเวลานาน ผู้วิจัยอาศัยหลักการ 3 จริ่ง ในการลงไปสังเกตและเก็บข้อมูลปัญหา ณ จุดปฏิบัติงานจริง การทำงานของจริง จากนั้นนำมาวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยเทคนิคการตั้งคำถาม ทำไม ทำไม พบว่าสาเหตุของปัญหาเกิดจากแหวนอีแปะสกปรกเนื่องจากขั้นตอนการทำงานความสะอาดขาดการปรับปรุงพัฒนาอุปกรณ์ช่วยในการทำงานที่มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยเลือกใช้ Why-Why Tree Diagram วิเคราะห์เพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไข พบว่าควรออกแบบและจัดสร้างอุปกรณ์เพื่อช่วยให้พนักงานทำงานได้ง่ายขึ้น จากนั้นนำไปทดลองเชื่อมและเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่าสามารถลดของเสียที่เกิดจากรอยเชื่อมทะเลได้ร้อยละ 100

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถานประกอบการตัวอย่างที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการเก็บข้อมูล การสนับสนุน และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ในการวิจัยและขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานีในการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ให้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] วนิตา พงษ์สงวน และคณะ, 2561. การพัฒนาแบบจำลองปัจจัยที่มีผลต่อการเป็นโรคเบาหวานด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2561: 1-8.
- [2] สุพัฒตรา เกษราพงศ์ และคณะ, 2555. “การลดของเสียในกระบวนการผลิตท่อไอเสียรถจักรยานยนต์,” งานประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2555, หน้า 105-112.
- [3] สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี และเดชา พวงดาวเรือง, 2555. การลดเวลาการผลิตของหน่วยเจียร์ไนโดยใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานกรณีศึกษาบริษัทแอลเค พีซีซีเวิร์ค จำกัด. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555. หน้า 446-451.
- [4] ชัชพันธ์ หลักฐานดี, 2557. การศึกษาการลดรอบเวลาการผลิตชิ้นงาน SIDE FRAME ณ เครื่องจักร 150T กรณีศึกษา บริษัท แสงเจริญ ทูลส์เซ็นเตอร์ จำกัด. วิทยานิพนธ์ธุรกิจบัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม คณะบริหารธุรกิจ สถาบันเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น.

- [5] ฉัตรพร เมธามโนมัย กิตติชัย อธิกุลรัตน์ และภัทรพงษ์ ภาคภูมิ, 2560, การปรับปรุงและลดเวลาความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิต เบ็ด กรณีศึกษา กิจการสุรตฟาร์ม, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 14 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน วันที่ 7-8 ธันวาคม 2560, หน้า 538-545.
- [6] สุภาวีย์ เมฆบูรณ์ และจิรวัดน์ ปลั่งใหม่, 2560, การลดของเสียใน กระบวนการผลิตโพลิเมอร์ โซลิต คาปาซิเตอร์, วิศวกรรมสารเกษม บัณฑิต ปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2560: 105-123.
- [7] วิทยา อินทร์สอน, ความสูญเสีย 7 ประการ ในกระบวนการผลิต (7 Wastes of Production Process), ข้อมูล จาก <http://www.thailandindustry.com/>(วันที่สืบค้นข้อมูล 19 พฤศจิกายน 2565)
- [8] คลอเคลีย วจนะวิซากร, 2562, “การลดความสูญเสียเปล่าเพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม่กวดทางมะพร้าวกรณีศึกษา วิสาหกิจชุมชนบ้านบึงหวาย จังหวัดอุบลราชธานี วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., ปีที่ 13 ฉบับที่ 1: 141-152.
- [9] ยุทธณรงค์ จงจันทร์ ศรีนยา ประทีปชนะชัยและธนรัช มั่นมงคล, การปรับปรุงกระบวนการขึ้นรูปแป้งฝุ่นอัดแข็งเพื่อลดความสูญเสีย เปล่า: กรณีศึกษาสายการผลิตแป้งฝุ่นอัดแข็งบริษัทตัวอย่าง, วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2564: 45-58.

การประยุกต์ใช้วิธีการทาคุชิในการเพิ่มประสิทธิภาพของพารามิเตอร์การตัดสำหรับความหยาบผิว และอัตราการขจัดเนื้องานสำหรับเครื่องกัดอาร์คขึ้นงานด้วยเส้นลวดไฟฟ้า

Application of Taguchi Method in the Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness and Material Removal Rate in Wire Electrical Discharge Machine

ปัทิตตา นาควงษ์^{1*} อภิวัฒน์ มุตตามระ²

¹ภาควิชาวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สาขาวิศวกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: Patittar.n@gmail.com*

Patittar Nakwong^{1*}, Apiwat Muttamara²

¹Department of Applied Science, Engineering Management, Faculty of Science and Technology

Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

²Faculty of Engineering, Thammasat School of Engineering (TSE), Thammasat University

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประยุกต์ใช้วิธีการทาคุชิเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในการออกแบบการทดลอง เพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชิ้นงานระหว่างวิธีทาคุชิ โดยเส้นลวดที่ใช้ในการกัดอาร์คชนิดเส้นลวดทองเหลืองตัดชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C และเหล็กเครื่องมือร้อน SKD61 โดยใช้ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการขจัดเนื้องานและความเรียบผิว ซึ่งพบว่าในการศึกษาครั้งนี้ปัจจัยที่ส่งผลต่อการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้าที่มีต่อ อัตราการขจัดเนื้องาน (Material Remove Rate : MRR) และ ความเรียบผิว (Surface Roughness) คือ กระแสไฟฟ้าเมื่อทำการกัดอาร์คด้วยลวดทองเหลือง มีระดับความเชื่อมั่นที่มากกว่า 75%

คำสำคัญ: วิธีทาคุชิ, การกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า, อัตราการขจัดเนื้อ, ความเรียบผิว

Abstract

The aim of this research is to investigate the application of Taguchi method to analyze the relationship in experimental design, to determine the appropriate factors for arc erosion using electric wire, and to compare the performance of workpieces using different wire types. The wire used for arc erosion is a type of yellow brass wire, and it is tested on workpieces made of medium carbon steel S50C and hot work tool steel SKD61. The influential factors, including current (IP), wire feed rate (WF), and wire tension (WT), are analyzed to determine their effects on the material removal rate (MRR) and surface roughness. The results of this study show that the current is the most influential factor affecting the MRR and surface roughness when using brass wire for arc erosion, with a confidence level of over 75%.

Keywords: Taguchi method, Wire EDM, MRR, Surface roughness

1. บทนำ

กระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้า ซึ่งเรียกอีกอย่างว่าการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้า(wire electrical discharge machine; WEDM) ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ในอุตสาหกรรมการผลิตแม่พิมพ์ตัด อุตสาหกรรมแม่พิมพ์พลาสติก และอุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น การกำจัดวัสดุที่เกิดขึ้นจากการหลอม การสึกกร่อน และการระเหยของชิ้นงานพร้อมๆ กันโดยเกิดจากความร้อนที่เกิดจากการคายประจุ ตัวแปรการตัดเฉือนที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานต่างๆ ได้แก่ Ton, Toff, Ip, Sv, flushing pressure, wire speed และความตึงของลวด MRR, KW, ความหยาบผิว (SR) ปัจจัยที่สำคัญที่สุด ของกระบวนการผลิตด้วยลวดไฟฟ้านี้เพราะมีความแม่นยำในกระบวนการผลิตสูงจึงนำไปใช้ในการผลิตชิ้นส่วนเครื่องยนต์อากาศยาน เครื่องมือผ่าตัด วัสดุอิเล็กทรอนิกส์ และเซมิคอนดักเตอร์ โมลด์และแม่พิมพ์ จิ๊กฟิกซ์เจอร์และแคมป์จับชิ้นงาน เป็นต้น กระบวนการตัดเฉือนด้วยไฟฟ้า (WEDM) เป็นเครื่องมือที่มีหลักการการทำงานโดยการใช้กระแสไฟฟ้าเป็นตัวหลอมละลายชิ้นงาน ชิ้นงานที่ได้มีความละเอียดสูง ซึ่งสามารถปรับค่าความเร็วในการตัดค่ากระแสไฟฟ้าที่ใช้ และรายละเอียดต่าง ๆ ในการตัดชิ้นงาน การนำเหล็กเครื่องมือร้อน SKD61 มาทดสอบ และนำไปใช้ในกระบวนการผลิต ถือเป็นกระบวนการเพิ่มผลผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพ ลดต้นทุนการผลิต [1] ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้วิจัยมีความสนใจในการวิเคราะห์ปัจจัยที่เหมาะสมต่ออัตราการขจัดเนื้องานและความเรียบผิว ปัจจัยที่นำมาทดลองได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ความเร็วในการตัด และความตึงลวด การหาพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของการตัดด้วยลวดไฟฟ้าผ่านวงคลื่นอัลตราโซนิกด้วยเทคนิคทากูชิ เพื่อศึกษาเปรียบเทียบลักษณะของพื้นผิวหลังการตัดโลหะโคบอลต์โครเมียม (CoCr) ระหว่างลวดทองเหลืองเคลือบสังกะสีกับลวดทองเหลืองเคลือบสังกะสีผนวกอัลตราโซนิก โดยศึกษาหาปัจจัยที่ส่งผลต่องาน (MRR) ซึ่งมีหลักการ คือ กำหนดค่าแต่ละปัจจัยที่ต้องการศึกษาซึ่งประกอบด้วย กระแสไฟฟ้า ความเร็วในการเดินลวด (Ws) และความต่างศักย์ (V) ซึ่งลำดับของการทดลองจะถูกแบ่งเป็น 3 ระดับ โดยใช้ orthogonal array ชนิด L9 จากการศึกษาพบว่าลวดทองเหลืองเคลือบสังกะสีผนวกอัลตราโซนิกที่มีการปรับค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 5 แอมแปร์ ความเร็วในการเดินลวดเท่ากับ 8 เมตรต่อวินาที และความต่างศักย์ เท่ากับ 12 โวลต์ เป็นค่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวอยู่ในระดับที่ดีที่สุดคือ 1.59 ไมโครเมตร [2] นอกจากนี้ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับสภาวะที่เหมาะสมของการตัดเหล็กกล้า P20 แนวเอียงด้วยลวดไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมของพารามิเตอร์ในการตัดเฉือนเหล็กกล้า P20 ด้วยลวดไฟฟ้า คือ เวลาปิดกระแสไฟฟ้า 14 ไมโครวินาที เวลาการหยุด สปาร์ค 50 ไมโครวินาที และแนวเอียงช่วงมุม 10 องศา [3] ดังนั้นในการหาปัจจัยในกระบวนการการกัดอาร์คด้วยลวดไฟฟ้าผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดการนำเอาเทคนิคการออกแบบการทดลองมาเพื่อใช้ในการหาปัจจัยที่เหมาะสม ในการกัดอาร์คชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C และเหล็กเครื่องมือร้อน SKD61โดยมีการนำเอาวิธีการ

ออกแบบการทดลองมาเพื่อใช้ในการหาปัจจัยที่ตัดเฉือนชิ้นงานเหล็ก SKD61 และ S50C เพื่อช่วยในการหาปัจจัยอย่างเหมาะสมและลดระยะเวลาในกระบวนการผลิต โดยการนำเอาวิธีการทากูชิมาประยุกต์ใช้

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การกัดอาร์คด้วยลวดไฟฟ้าเป็นการตัดชิ้นงานโดยใช้หลักการจ่ายประจุไฟฟ้าให้กับลวด โดยที่ลวดจะเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องด้วยอัตราความเร็วที่เหมาะสม การเคลื่อนที่ของลวดจะเคลื่อนที่จากหัวนำลวดด้านบน (upper wire guide) ผ่านมายังชิ้นงานและผ่านหัวนำลวดด้านล่าง (lower wire guide) การเคลื่อนที่ของลวดจะถูกควบคุมด้วยระบบคอมพิวเตอร์ (CNC) การศึกษาการสนับสนุนพารามิเตอร์การตัดเฉือน 3 ปัจจัย เกี่ยวกับการตัดเฉือนลวดที่ประกอบด้วยกระแสไฟฟ้าสูงสุด (IP), เวลาปิดกระแสไฟฟ้า (OFF) และความตึงของลวด (WT) ถึงการตอบสนองของการตัดเฉือนสามแบบคือ อัตราการตัด (CR) อัตราการขจัดวัสดุ (MRR) และความหยาบผิว (SR) บนเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (S50C) ทองเหลือง ใช้ลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร เป็นเครื่องมือตัดเฉือนเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง (S50C) โดยใช้เครื่องจ่ายไฟฟ้า Wire EDM Mitsubishi FX Series Machine เครื่องจักรพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น เวลาปิดพัลส์ ความตึงของลวด และกระแสไฟฟ้าสูงสุด กำหนดโดยอ้างอิงจากแนวทางในหนังสือคู่มือสำหรับ ไฟฟ้า Wire EDM Mitsubishi FX Series Machine การคำนวณอัตราการขจัดวัสดุและอัตราการตัดคือ ได้โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ วัดความหยาบผิวโดยใช้เครื่องวัดแสง Alicona Infinite Focus ความสัมพันธ์ระหว่างวัสดุ อัตราการขจัด และความหยาบผิวแสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์เครื่องจักรที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ลวดทองเหลือง พบว่า ค่า CR, MRR และ SR จะแตกต่างกันไปตามพารามิเตอร์การตัดเฉือนที่ใช้ในด้านความหยาบผิวก็มักจะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ผลิตผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการพื้นผิวที่ค่อนข้างมีความขรุขระของพื้นผิวสูง [4] การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดเหล็กกล้า SKD61 ด้วยวิธีการตัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยใช้ลวดโดยปรับ 3 ปัจจัย คือ ได้แก่ 1.กระแสไฟฟ้า 2.เวลาปิด 3.ความเร็วในการตัดของลวด 4.ความตึงลวด 5.ระยะห่างลวดโดยออกแบบการทดลองแบบ Orthogonal Array (OA) ตามวิธีของทากูชิ ซึ่งพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อความเรียบผิวที่ดีที่สุดคือค่ากระแสไฟฟ้า [5] งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเงื่อนไขที่ทำให้ชิ้นงานมีอัตราการขจัดเนื้องานที่มากที่สุดและความเรียบผิวที่ดีที่สุด และอัตราการตัดชิ้นงานมากที่สุด

2.1 ศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อกระบวนการกัดอาร์คด้วยวิธีทากูชิ

วิธีการทากูชิเป็นเทคนิคสำหรับการออกแบบและทำการทดลองเป็นกระบวนการเพื่อค้นหาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ที่ได้จากปัจจัยในการนำมาทำการศึกษาดู การออกแบบการทดลอง โดยผู้วิจัยอ้างอิงมาจากเล่มคู่มือประจำตัวเครื่องกัดอาร์คด้วยลวดไฟฟ้าของบริษัท JSEDM รุ่น W – B430 ในการทดลองผู้วิจัยได้ใช้ปัจจัยการทดลอง

ประกอบด้วย ค่ากระแสไฟ (IP; Peak Current), ความเร็วลวดในการตัด (WF; Wire Feed) และแรงตึงลวด (WT; Wire Tension) โดยปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ คือ อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) และความเรียบผิว (Ra) ซึ่งในการทดลองนี้เป็นการทดลองแบบ 3 ปัจจัย 3 ระดับ ได้แก่ ค่ากระแสไฟ (Peak Current) แรงตึงลวด (Wire Tension) ความเร็วลวดในการตัด (Wire Feed) จากนั้นพิจารณาอัตราส่วนผลกระทบ โดยเลือกตัวแปรตอบสนองที่ตรงกับเป้าหมาย ซึ่งนำไปสู่การสร้างตัวชี้วัดของวิธีการทากูชิ [6] ผู้วิจัยได้นำเอาค่าอัตราการขจัดเนื้องาน และค่าความเรียบผิว มาทำการวิเคราะห์ปัจจัยรบกวน (S/N ratio) โดยพิจารณาที่ “ค่ายิ่งมากยิ่งดี (Larger is better)” คือค่าที่ดีที่สุด ดังสมการที่ 1 และสำหรับค่าความเรียบผิว พิจารณาที่ “ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี (Smaller is better)” คือค่าที่ดีที่สุด ดังสมการที่ 2 [7]

1) กรณีค่ายิ่งมาก ยิ่งดี

$$\frac{S}{N_L} = -10 \log \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\frac{1/y_i^2}{n} \right] \right\} \quad (1)$$

2) กรณีค่ายิ่งน้อย ยิ่งดี

$$\frac{S}{N_L} = -10 \log \left(\sum \frac{y_i^2}{n} \right) \quad (2)$$

3. วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุในการทดลอง

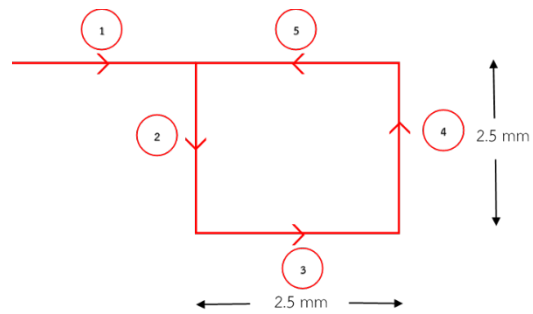
งานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้วัสดุทดลองเป็นเหล็ก SKD 61 และเหล็ก S50C เป็นเหล็กเครื่องมืองานร้อน นำมาใช้น้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมแม่พิมพ์ และอุตสาหกรรมยานยนต์ [5] มีส่วนประกอบทางเคมี ดังตารางที่ 1 นำมาตัดภายใต้ น้ำปราศจากไอออน เส้นลวดที่ใช้ในการตัดเป็นเส้นลวดทองเหลืองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.25 มิลลิเมตร โดยใช้เครื่องกัดอาร์คไฟฟ้าด้วยเส้นลวดยี่ห้อ JSEDM รุ่น W-B430 ดังรูปที่ 1 การติดตั้งชิ้นงานดังรูปที่ 2 ขนาดของชิ้นงานมีเส้นรอบรูป 12.5 มิลลิเมตร มีเส้นทางการตัดชิ้นงานดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 เครื่องกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า



รูปที่ 2 การติดตั้งชิ้นงาน



รูปที่ 3 เส้นทางการตัดชิ้นงาน

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบทางเคมีของเหล็ก SKD61 และ S50C

ธาตุ (สัญลักษณ์)	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์)	
	SKD61	S50C
คาร์บอน (C)	0.33-0.42	0.47 - 0.53
ซิลิกอน (Si)	0.8-1.2	0.15 - 0.35
แมงกานีส (Mn)	0.2-0.5	0.60 - 0.90
ฟอสฟอรัส (P)	สูงสุด 0.03	0.03
ซัลเฟอร์ (S)	สูงสุด 0.03	0.035
โครเมียม (Cr)	4.5-5.5	-
โมลิบดีนัม (Mo)	1.0-1.5	-

3.2 เงื่อนไขการทดลอง

ปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง มีทั้งหมด 3 ปัจจัย 3 ระดับ ซึ่งในการทดลองจะต้องใช้ชิ้นงาน วัสดุ และอุปกรณ์ต่าง ๆ เป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายและลดระยะเวลาในการทดลอง ผู้วิจัยจึงได้นำเอาเทคนิคทากูชิเข้ามาประยุกต์ใช้ในการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบ Orthogonal Array L9 ดำเนินการทำการทดลองทั้งสิ้น 9 การทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง สามารถออกแบบการทดลองได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นในการทดลอง

ปัจจัย		หน่วย	ระดับ 1	ระดับ 2	ระดับ 3
ค่ากระแสไฟ (Peak Current)	IP	แอมแปร์	5	7	9
แรงดึงลวด (Wire Tension)	WT	กรัม	8	9	10
ความเร็วลวดในการตัด (Wire Feed)	WF	เมตรต่อนาที	10	11	12

3.3 การวัดอัตราการขจัดเนื้องาน (Material Removal Rate: MRR)

อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR) สามารถแสดงให้เห็นได้ด้วยสมการในการคำนวณอัตราการขจัดเนื้องานของการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า ซึ่งจะเลือกค่าที่ยิ่งมากที่สุด โดยสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 3 [7-8]

$$MRR = \frac{(L)(t)(Kw)}{T} \quad (3)$$

เมื่อกำหนดให้

MRR คือ อัตราการขจัดเนื้องาน มีหน่วยเป็นลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที (mm³/min)

L คือ ความยาวของชิ้นงาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

t คือ ความหนาของชิ้นงาน มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

Kw คือ ความกว้างรอยตัด (mm)

T คือ เวลาในการตัดชิ้นงาน มีหน่วยเป็นนาที (min)

3.4 การวัดค่าความเรียบผิว (Surface Roughness: Ra)

พื้นผิวหลังการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า จะมีลักษณะที่ต่างกันไป ทำให้ยากต่อการวัดด้วยเครื่องมือธรรมดา ดังนั้นเราจึงต้องมีการนำเครื่องมือวัดความเรียบผิว (Surface Roughness Tester) รุ่น TR200 ดังรูปที่ 4 เข้ามาช่วยวัดความละเอียดผิวชิ้นงานเพื่อให้ได้ค่าที่ดีที่สุด โดยทำการวัด 3 รอบ จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าความเรียบผิวยิ่งมีค่าน้อย แสดงว่าชิ้นงานนั้นมีความเรียบผิวมาก

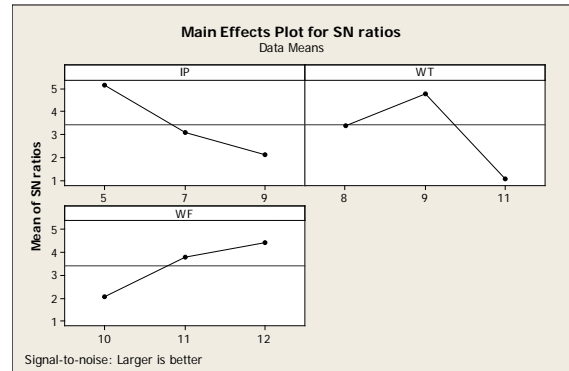


รูปที่ 4 การวัดความเรียบผิว (Surface Roughness Tester)

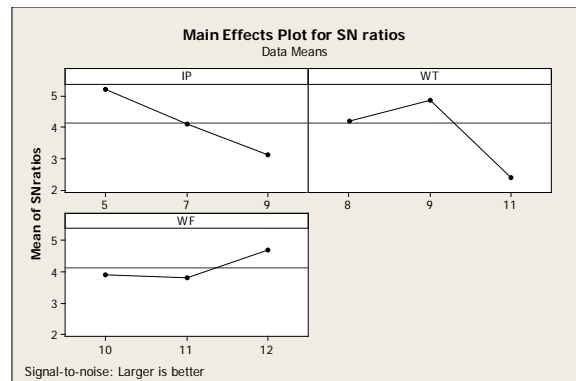
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 การวิเคราะห์ปัจจัยผลกระทบหลักที่ส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน (Effect of Process Parameters on MRR)

ผลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดจากการออกแบบการทดลองของวิธีทากูชิ ผลการทดลองสามารถนำไปวิเคราะห์ปัจจัยผลกระทบหลักที่ส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องาน โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ “ค่าที่ยิ่งมากที่สุด”



รูปที่ 5 ผลกระทบหลักที่ส่งผลต่อค่าอัตราการขจัดเนื้องานของลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C



รูปที่ 6 ผลกระทบหลักที่ส่งผลต่อค่าอัตราการขจัดเนื้องานของลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61

จากรูปที่ 5 ผลกระทบหลักที่ส่งผลต่อค่าอัตราการขจัดเนื้องานของลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C ค่าพารามิเตอร์สูงสุดของกระแสไฟฟ้า (IP) ที่ 9 แอมแปร์ ความดึงลวด (WT) ที่ 10 กรัม และความเร็วในการตัด (WF) ที่ 12 เมตรต่อนาที ส่งผลกระทบให้เกิดอัตราการขจัดเนื้องานเท่ากับ 8.797 ลูกบาศก์มิลลิเมตรเมตรต่อนาที จากการทดลองสามารถหาสมการถดถอยได้ดังสมการ 4

$$MRR = 8.430 + 0.315 IP + 0.002 WT - 0.227 WF \quad (4)$$

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของอัตราการขจัดเนื้องานของ ลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	2.682	2.682	0.894	16.689	0.004
IP	1	2.374	2.374	2.374	44.320	0.001*
WT	1	0.000	0.000	0.000	0.0005	0.982
WF	1	0.308	0.308	0.308	5.748	0.062
Error	5	0.2683	0.2683	0.536		
Total	8	2.950				
S = 0.231441		R-Sq = 90.92%		R-Sq (adj) = 85.47%		

*significance at p-value less than 0.05

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าอัตราการขจัดเนื้องาน ของลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	6.736	6.736	2.245	32.041	0.001
IP	1	6.620	6.620	6.620	94.477	0.000*
WT	1	0.001	0.001	0.001	0.0154	0.906
WF	1	0.114	0.114	0.114	1.631	0.257
Error	5	0.350	0.350	0.070		
Total	8	7.085				
S = 0.264707		R-Sq = 95.06%		R-Sq (adj) = 92.09%		

*significance at p-value less than 0.05

จากตารางที่ 3 แสดงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของกระบวนการกัด อาร์ทด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C ด้วยเทคนิคความแปรปรวน (ANOVA) ผลของค่าความแปรปรวน พบว่าปัจจัยที่สำคัญของพารามิเตอร์ผลกระทบของอัตราการขจัดเนื้อ งานคือ ค่ากระแสไฟฟ้า (IP) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการ คัดการณ์ของการกัดอาร์ทด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้า คาร์บอนปานกลาง S50C อยู่ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R²) ที่ 85.47 % แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง

จากรูปที่ 6 ผลกระทบหลักที่ส่งผลต่ออัตราการขจัดเนื้องานของ ลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61 ค่าพารามิเตอร์ สูงสุดของกระแสไฟฟ้า (IP) ที่ 9 แอมแปร์ ความตึงลวด (WT) ที่ 8 กรัม และความเร็วในการตัด (WF) ที่ 11 เมตรต่อนาที ส่งผลกระทบให้เกิด อัตราการขจัดเนื้องานเท่ากับ 8.883 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที จาก การทดลองสามารถหาสมการถดถอยได้ดังสมการที่ 5

สามารถอภิปรายผลการทดลองได้ว่า เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ชิ้นงาน ความร้อนจากกระบวนการกัดอาร์ทจะไปทำให้ชิ้นงานเกิดการ หลอมเหลวได้ ส่งผลให้เกิดการขจัดเนื้องานที่มากกว่า นอกจากนี้เมื่อ กระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้อัตราการขจัดเนื้องานเพิ่มมากขึ้น ด้วย [9]

$$MRR = 2.144 + 0.525 IP + 0.013WT + 0.138WF \quad (5)$$

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิวชิ้นงาน ของลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	0.690	0.690	0.230	10.909	0.0124
IP	1	0.438	0.438	0.438	20.7686	0.006*
WT	1	0.000	0.000	0.000	0.001	0.970
WF	1	0.252	0.252	0.252	11.958	0.018*
Error	5	0.105	0.105	0.021		
Total	8	0.796				
S = 0.145212		R-Sq = 86.75%		R-Sq (adj) = 78.80%		

*significance at p-value less than 0.05

จากตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของกระบวนการกัด อาร์ทด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61 ด้วย เทคนิคความแปรปรวน (ANOVA) ผลของค่าความแปรปรวน พบว่า ปัจจัยที่สำคัญของพารามิเตอร์ผลกระทบของอัตราการขจัดเนื้องานคือ ค่ากระแสไฟฟ้า (IP) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการคัดการณ์ของ การกัดอาร์ทด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61 อยู่ที่ระดับค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R²) ที่ 92.09 % แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูงมาก

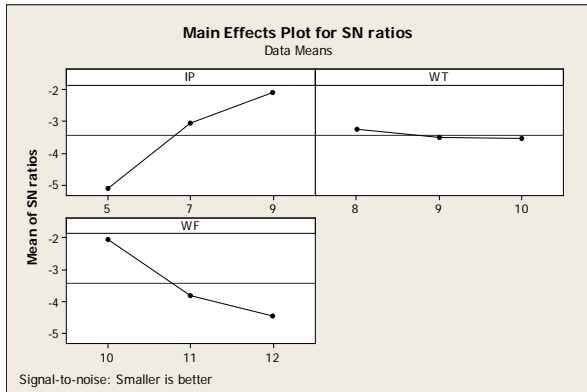
จากตารางที่ 5 แสดงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของกระบวนการกัด อาร์ทด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C ด้วยเทคนิคความแปรปรวน (ANOVA) ผลของค่าความแปรปรวน พบว่าปัจจัยสำคัญของพารามิเตอร์ผลกระทบของค่าความเรียบผิวของ ชิ้นงาน คือ กระแสไฟฟ้า (IP) และความเร็วในการตัด (WF) ผลการ ทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R²) ที่ 78.80% แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง

4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยผลกระทบหลักที่ส่งผลต่อความเรียบผิว (Effect of Process Parameters on Surface Roughness)

ผลของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองการกัดอาร์ทด้วยเส้นลวดจาก การออกแบบการทดลองของวิธีทากูชิ ผลการทดลองสามารถนำไป วิเคราะห์ปัจจัยผลกระทบหลักที่ส่งผลต่อความเรียบผิว โดยพิจารณา

จากค่าพารามิเตอร์ “ค่ายิ่งน้อยยิ่งดี” โดยใช้เครื่องวัดความเรียบผิว รุ่น TR200

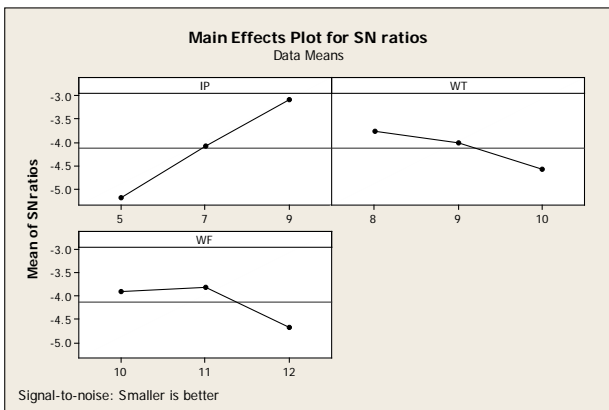
$$Ra = 0.913 - 0.096IP + 0.073WT + 0.066WF \quad (7)$$



รูปที่ 7 ผลกระทบหลักที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C

จากรูปที่ 7 ผลของปัจจัยผลกระทบที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวของลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C ค่าพารามิเตอร์สูงสุดของกระแสไฟ (IP) ที่ 9 แอมแปร์ ความตึงลวด (WT) ที่ 9 กรัมและความเร็วในการตัด (WF) ที่ 10 เมตรต่อนาที ส่งผลให้เกิดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานเท่ากับ 1.128 ไมโครเมตร จากการทดลองสามารถหาสมการถดถอยได้ดังสมการ 6

$$Ra = 0.182 - 0.135IP + 0.002WT + 0.205 WF \quad (6)$$



รูปที่ 8 ผลกระทบหลักที่ส่งผลต่อความเรียบผิวของลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61

จากรูปที่ 8 ผลของปัจจัยผลกระทบที่ส่งผลต่อค่าความเรียบผิวของลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61 ค่าพารามิเตอร์สูงสุดของกระแสไฟ (IP) ที่ 9 แอมแปร์ ความตึงลวด (WT) ที่ 9 กรัมและความเร็วในการตัด (WF) ที่ 10 เมตรต่อนาที ส่งผลให้เกิดค่าความเรียบผิวของชิ้นงานเท่ากับ 1.315 ไมโครเมตร จากการทดลองสามารถหาสมการถดถอยได้ดังสมการ 7

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความเรียบผิวชิ้นงานของลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	0.279	0.279	0.093	11.706	0.010
IP	1	0.221	0.221	0.221	27.849	0.003*
WT	1	0.032	0.032	0.032	4.000	0.102
WF	1	0.026	0.026	0.026	3.268	0.130
Error	5	0.039	0.039	0.007		
Total	8	0.312				
S = 0.0891976		R-Sq = 87.54%		R-Sq (adj) = 80.06%		

*significance at p-value less than 0.05

จากตารางที่ 6 แสดงการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของกระบวนการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61 ด้วยเทคนิคความแปรปรวน (ANOVA) ผลของค่าความแปรปรวน พบว่าปัจจัยสำคัญของพารามิเตอร์ผลกระทบของค่าความเรียบผิวของชิ้นงานคือ กระแสไฟฟ้า (IP) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับค่าสัมประสิทธิ์ในการตัดสินใจ (R^2) ที่ 80.06% แสดงว่ามีความสัมพันธ์กันสูง

จากผลการทดลองดังกล่าวเห็นได้ว่าเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดเศษของชิ้นงานที่หลุดออกมาเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ชิ้นงานภายหลังการกัดอาร์คมีค่าความเรียบผิวเพิ่มมากขึ้นด้วยผลของค่ากระแสไฟและจากรูปที่ 7 และ 8 การทดลองผลความเร็วของเส้นลวดที่ลดลงจะส่งผลให้เกิดการกัดก่อนของชิ้นงานขณะที่เส้นลวดเข้าใกล้ชิ้นงานจะมีเศษของชิ้นงานที่ถูกขัดออกมาหรือแตกออกเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความเรียบผิวดีขึ้น [10-11]

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 จากการศึกษาอัตราการกัดชิ้นงาน พบว่าการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C มีอัตราการกัดชิ้นงานมากที่สุดคือ ค่ากระแสไฟที่ 9 แอมแปร์ ความตึงลวดที่ 10 กรัม และความเร็วในการตัดที่ 12 เมตรต่อนาที โดยมีอัตราการกัดชิ้นงานเท่ากับ 8.797 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที

5.2 อัตราการกัดชิ้นงาน พบว่าการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61 มีอัตราการกัดชิ้นงานมากที่สุดคือ ค่ากระแสไฟที่ 9 แอมแปร์ ความตึงลวดที่ 8 กรัม และความเร็วในการตัดที่ 11 เมตรต่อนาที โดยมีอัตราการกัดชิ้นงานเท่ากับ 8.883 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที

5.3 การกัดอาร์คด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C ให้ค่าความเรียบผิวมากที่สุดคือ ค่ากระแสไฟที่ 9 แอมแปร์ ความตึงลวดที่ 9 กรัม และความเร็วในการตัดที่ 10 เมตรต่อนาที โดยมีค่าความเรียบผิวเท่ากับ 1.128 ไมโครเมตร

5.4 จากการศึกษาความเรียบผิวพบว่า การกัดอาร์คด้วยเส้นลวดทองเหลืองกับเหล็กเครื่องมืองานร้อน SKD61 ให้ค่าความเรียบผิวมากที่สุดคือ ค่ากระแสไฟที่ 9 แอมแปร์ ความตึงลวดที่ 9 กรัม และความเร็วในการตัดที่ 10 เมตรต่อนาที โดยมีค่าความเรียบผิวเท่ากับ 1.315 ไมโครเมตร

5.5 ผลกระทบหลักที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการขจัดเนื้องานและผลกระทบหลักที่ส่งผลความเรียบผิวของเส้นลวดทองเหลือง และ เส้นลวดทองเหลืองเคลือบสังกะสี กับเหล็กทั้ง 2 ชนิด คือ ค่ากระแสไฟฟ้า (IP) เนื่องจากค่ากระแสไฟที่สูงขึ้นจะทำให้อัตราการขจัดเนื้องานและค่าความเรียบผิวเพิ่มมากขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา และคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือสำหรับงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] กมลพงศ์ แจ่มกมล และพิชัย จันทน์มณี. (2555). แมงพิมพ์ SKD 11 ด้วยลวดไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.
- [2] ปัทิตตา นาควงษ์ และอภิวัฒน์ มุตตามระ. (2564). การหาพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดของการตัดด้วยเส้นลวด ไฟฟ้าผวนคลื่นอัลตราโซนิคตัดบวยเทคนิคทาทุชิ, น. 327-332. ในการประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ. 5-7 พฤษภาคม, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย. สงขลา, ไทย.
- [3] มานิตย์ ริมาทา. (2564).สภาวะที่เหมาะสมของการตัดเหล็กกล้า P20 แนวเอียงด้วยลวดไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์.
- [4] Bulan Abdullah , Mohammad Faezeen Mad Nordin และ Muhamad Hafizuddin Mohamad Basir. (2558). การสอบสวนเกี่ยวกับ CR, MRR และ SR ของการตัดเนื้อทางไฟฟ้าของสายไฟ (WEDM) บนเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง S50C.สืบค้นเมื่อ 30 พฤศจิกายน 2564,จาก<https://bit.ly/3robKAK>
- [5] Oriental Special Steel. (2560). คุณสมบัติเหล็กเครื่องมืองานร้อน Hot work tool steel (H13). เข้าถึงเมื่อ 11 ตุลาคม 2564, จาก <http://oss.co.th/index.php/tool-steel/h13-sk61/>
- [6] พิชัย จันทน์มณี, กมลพงศ์ แจ่มกมล และอภิวัฒน์ มุตตามระ. (2554).การศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ในการตัดวัสดุทั้งสแตน

คาร์ไบต์โดยการการกัดกร่อนด้วยลวดไฟฟ้าด้วยวิธีทาทุชิ.

ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ศูนย์รังสิต

- [7] สุรพงศ์ บางพาน. "บทควมวิจัย เรื่องการประยุกต์ใช้วิธีทาทุชิสำหรับกระบวนการกลึงที่ดีที่สุดโดย ศึกษาพารามิเตอร์ของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต" วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. ปีที่ 7, 2557, หน้า 104.
- [8] ปัทิตตา นาควงษ์. (2563). การประยุกต์เทคนิคทาทุชิและความสัมพันธ์แบบเกรย์เพื่อพยากรณ์ ความเหมาะสมของปัจจัยในกระบวนการกัดอาร์คด้วยเส้นลวดไฟฟ้า.วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต. ปีที่ 10 ฉบับที่ 3. กันยายน – ธันวาคม 2563.
- [9] Ishfaq, K., et al., Analysis of the Effect of Wire Electric Discharge Machining Process Parameters for the Formation of High Speed Steel Form Tool. Advances in Science and Technology Research Journal, 2018. 12(1): p. 89-98.
- [10] Durairaj, M., D. Sudharsun, and N. Swamynathan, Analysis of Process Parameters in Wire EDM with Stainless Steel Using Single Objective Taguchi Method and Multi Objective Grey Relational Grade. Procedia Engineering, 2013. 64: p. 868-877.
- [11] Ishfaq, K., et al., Evaluating Material's Interaction in Wire Electrical Discharge Machining of Stainless Steel (304) for Simultaneous Optimization of Conflicting Responses. Materials (Basel), 2019. 12(12).

การประยุกต์ใช้ Hybrid Delphi – GRA สำหรับการเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย ในการทำงานระดับวิชาชีพ

Using the Hybrid Delphi – GRA Technique for Selecting the Suitable Safety Officer Professional Level

ปวีรรต นาสาวดี^{1*} นรงค์ วิชามา² ณัฐพงศ์ สุวรรณกุล¹ วิทยา อินทร์สอน³ ไทยศน์ สุดสวนสี² จันท์ศิริ พลอยงาม⁴

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

³แผนกวิชาช่างเชื่อมโลหะ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์

⁴สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

E-mail: pariwat@techno.rru.ac.th*

Pariwat Nasawat^{1*}, Narong Wichapa², Nuttapong Suwannaku¹, Withaya Insorn³, Thaitat Sudsuansee², Jansiri Ployngam⁴

¹Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Rajanagarindra Rajabhat University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

³Department of Welding, Surin Technic College

⁴Department of Industrial Piping Technology, Faculty of Technical Education Rajamangala University of Technology Isan

Khonkaen Campus

E-mail: pariwat@techno.rru.ac.th*

บทคัดย่อ

กระบวนการตัดสินใจในการเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ เพื่อเข้าทำงานด้านความปลอดภัยในบริษัท กรณีศึกษาซึ่งไม่ควรขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผู้สอบเท่านั้นผู้รับสมัครงานหรือบริษัทควรมีโอกาสเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยโดยใช้มาตรการเชิงรุก ขั้นตอนการคัดเลือกเป็นความซับซ้อนและการเลือกผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยที่เหมาะสมคือการศึกษาที่ตัดสินใจที่สำคัญที่จะได้บุคลากรที่มีประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยมาทำงานให้บริษัทกรณีศึกษา ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเทคนิคเดลฟายร่วมกับการวิเคราะห์เชิงสัมพัทธ์แบบเกรย์ในการประเมินและจัดลำดับความสำคัญของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย เริ่มจากการกำหนดคุณสมบัติที่สำคัญของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะถูกประเมินด้วยเทคนิคเดลฟายให้เป็นตัวแปรจำนวน 13 เกณฑ์ หลังจากนั้นเทคนิคการวิเคราะห์เชิงสัมพัทธ์แบบเกรย์ ได้ถูกนำมาใช้สำหรับการประเมินและจัดลำดับความสำคัญโดยจะเรียงลำดับได้ดังนี้ C3 ประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (ลำดับที่ 1) C7 และนำฝึกสอน และอบรมลูกจ้างเพื่อให้การปฏิบัติงาน (ลำดับที่ 2) C12 ให้ความรู้และอบรมด้านโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมแก่ลูกจ้างก่อนเข้าทำงาน (ลำดับที่ 3) และ (ลำดับที่ 4) C10 ตรวจสอบหาสาเหตุและวิเคราะห์การประสบอันตราย (ตามลำดับ)

คำสำคัญ: เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยระดับวิชาชีพ, เทคนิคเดลฟาย, การวิเคราะห์เชิงสัมพัทธ์แบบเกรย์

Abstract

Stakeholders are responsible for implementing the safety provisions in an organization. Irrespective of organization, the role of safety department is purely advisory as it coordinates with all the departments, and this is crucial to improve the performance. Selection of safety officer professional level is vital job for any organization; it should not only be based on qualifications of the applicant; the incumbent should also have sufficient exposure in implementing proactive measures. The process of selection is complex and choosing the right safety professional is a vital decision. The safety performance of an organization relies on the systems being implemented by the safety officer. Application of multi criteria decision-making tools is helpful as a selection process. The present study proposes the Hybrid Delphi – GRA for selection of the safety officers the case study organization has the finest safety officers. To start, let us define the essential qualifications of safety officers. These properties were evaluated as variables for 13 criteria using the Delphi technique. C3 Evaluate occupational safety, health, and environmental hazards (Rank 1) C7 Provide employees with training and

coaching to help them perform their duties (Rank 2) C12 provide employees with knowledge and training on occupational and environmental diseases before people start work (Rank 3), and (Rank 4) C10 investigate the cause and analyze the danger (respectively).

Keywords: Safety officer professional level, Delphi technique, Grey relational analysis

1. บทนำ

เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ (Safety Officer Professional Level) ทำหน้าที่แนะนำกำกับดูแลรับผิดชอบให้พนักงานในสถานประกอบการได้รับความปลอดภัยในการทำงาน และสำรวจตรวจสอบความปลอดภัยที่อาจเกิดขึ้นได้จากเครื่องจักร อุปกรณ์ และเครื่องมือ ตลอดจนสภาพแวดล้อมในการทำงานเสนอให้มีการป้องกันหรือแก้ไขปรับปรุงสภาพแวดล้อมในสถานประกอบการให้ได้มาตรฐานตามกฎหมายกระทรวง การจัดให้มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน บุคลากร หน่วยงาน หรือคณะบุคคลเพื่อดำเนินการด้านความปลอดภัย ในสถานประกอบการ พ.ศ. 2565 ต้องมีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานโดยหน้าที่เฉพาะ 3 ระดับ ดังนี้ 1) เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับเทคนิค 2) เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับเทคนิคชั้นสูง 3) เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ อุตสาหกรรมที่มีพนักงานหรือลูกจ้างตั้งแต่ 100 คนขึ้นไป เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ อย่างน้อยหนึ่งคน เพื่อปฏิบัติหน้าที่ประจำสถานประกอบการ [1]

การคัดเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยเป็นงานที่สำคัญสำหรับทุกบริษัทซึ่งไม่ควรขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของผู้สอบเท่านั้นผู้รับสมัครงานหรือบริษัทควรมีโอกาสเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยโดยใช้มาตรการเชิงรุก ขั้นตอนการคัดเลือกเป็นความซับซ้อนและการเลือกผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยที่เหมาะสมคือการตัดสินใจที่สำคัญที่จะได้บุคลากรที่มีประสิทธิภาพด้านความปลอดภัยมาทำงานให้บริษัทเพราะความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานขึ้นอยู่กับการทำงานโดยเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย การประยุกต์ใช้การตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์มาเป็นเครื่องมือในกระบวนการคัดเลือก จากปัญหาการตัดสินใจแบบหลายทางเลือก (Multi-attribute decision making problem, MADM problem) งานวิจัยนี้เสนอประยุกต์ใช้เทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) สำหรับการเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในบริษัทกรณีศึกษา การเลือกนี้วิธีการพิจารณาเกณฑ์ 13 ข้อที่เหมาะสมกับบริษัทและกฎหมายกำหนดได้จัดอันดับเกณฑ์ทางเลือก วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ (Grey relational analysis) [2]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ Hybrid Delphi- GRA Technique สำหรับการประเมินและจัดลำดับความสำคัญของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ เริ่มจากรวบรวมข้อมูลคุณสมบัติที่สำคัญของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานโดยหน้าที่เฉพาะ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณค่าประสิทธิภาพและจัดลำดับความสำคัญของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับ

วิชาชีพแต่ละเกณฑ์โดยใช้เทคนิค Delphi Technique ขั้นตอนต่อมา นำผลการคำนวณการจัดลำดับความสำคัญที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ของเทคนิค Delphi Technique ร่วมกับเทคนิค Grey relational analysis ซึ่งทั้งสองเทคนิคนี้ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการนำมาใช้ในการแก้ปัญหา MADM สุดท้ายนำผลการคำนวณลำดับความสำคัญที่ได้มาเรียงลำดับความสำคัญของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพแต่ละเกณฑ์ทางเลือก ทั้งนี้ผู้วิจัยคาดหวังว่าเทคนิคที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์กับงานวิจัยทางเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานโดยหน้าที่เฉพาะ สามารถประเมินและจัดลำดับความสำคัญหรือความเหมาะสมของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพได้ โดยอาจมีการเพิ่มทางเลือก บทบาทหน้าที่เฉพาะหรือเพิ่มเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ เช่น ด้านความรู้ (Knowledge) ด้านทักษะ (Skills) ด้านจริยธรรม (Ethics) และด้านลักษณะบุคคล (Attributes) เพื่อประยุกต์ใช้งานจริง ตลอดจนสามารถนำเทคนิคเหล่านี้ไปใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ได้

2. วรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานโดยหน้าที่เฉพาะ

กฎหมาย การจัดให้มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงาน บุคลากร หน่วยงาน หรือคณะบุคคลเพื่อดำเนินการด้านความปลอดภัย ในสถานประกอบการ พ.ศ. 2565

เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานโดยหน้าที่เฉพาะของสถานประกอบการมีสามระดับ ดังต่อไปนี้ 1) เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับเทคนิค 2) เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับเทคนิคชั้นสูง 3) เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ นายจ้างของสถานประกอบการตามบัญชี 1 ที่มีลูกจ้างจำนวนสองคนขึ้นไป และสถานประกอบการตามบัญชี 2 ที่มีลูกจ้างจำนวนหนึ่งร้อยคนขึ้นไป ต้องจัดให้ลูกจ้างซึ่งมีคุณสมบัติ ตามกฎหมาย ข้อ 21 อย่างน้อยหนึ่งคนเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ เพื่อปฏิบัติหน้าที่ประจำสถานประกอบการ ทั้งนี้ ภายในหนึ่งร้อยแปดสิบวันนับแต่วันที่ลูกจ้างครบจำนวนดังกล่าว ตามกฎหมาย ข้อ 21 เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพต้องมีคุณสมบัติอย่างหนึ่งอย่างใดดังต่อไปนี้

- 1) สำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี สาขาอาชีวอนามัย และความปลอดภัย หรือเทียบเท่าตามที่อธิบดีประกาศกำหนด
- 2) สำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี และเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับเทคนิคชั้นสูงมาแล้วไม่น้อยกว่าห้าปี ละผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ และผ่านการประเมิน

3) สำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี และเป็นผู้มีประสบการณ์ในการปฏิบัติงานไม่น้อยกว่าห้าปีในสถานประกอบการกิจการตามบัญชี 1 หรือสถานประกอบการกิจการตามบัญชี 2 และผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ และผ่านการประเมินภายในห้าปีนับแต่วันที่กฎกระทรวงนี้มีผลใช้บังคับ

4) เคยเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพตามกฎกระทรวงกำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน พ.ศ. 2549

5) เคยเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพตามประกาศกระทรวงแรงงานและสวัสดิการสังคม เรื่อง ความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง ลงวันที่ 31 มีนาคม พ.ศ. 2540 และผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ และผ่านการประเมินภายในห้าปีนับแต่วันที่กฎกระทรวงนี้มีผลใช้บังคับ

6) เคยเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานตามประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานของลูกจ้าง ลงวันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 หรือเป็นผู้มีคุณสมบัติเป็นเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานตามประกาศคณะกรรมการรัฐวิสาหกิจสัมพันธ์ เรื่องความปลอดภัยในการทำงานของพนักงาน ลงวันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2534 และผ่านการฝึกอบรมหลักสูตรเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ และผ่านการประเมินภายในห้าปีนับแต่วันที่กฎกระทรวงนี้มีผลใช้บังคับ [1]

2.2 เทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique)

เทคนิคเดลฟายพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1960 โดย โอลาฟ เฮลเมอร์ (Olaf Helmer) และนอร์แมน ดาลกี (Norman Dalkey) วิจัยของบริษัทแรนด์ (Rand Cooperation) เพื่อระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับการพยากรณ์ทางด้านวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีในอนาคตหลังจากนั้นจึงได้มีการใช้เทคนิคเดลฟายอย่างแพร่หลายทางด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะการวิจัยในสถานศึกษามีการใช้เทคนิคเดลฟายกันอย่างแพร่หลายเพื่อหาข้อสรุปในอนาคตเกี่ยวกับประเด็นต่าง ๆ ที่ต้องศึกษาเนื่องจากยอมรับกันโดยทั่วไปถึงประโยชน์ที่ได้รับจากเทคนิคการวิจัยแบบเดลฟาย [3] ซึ่งได้ข้อสรุปเกี่ยวกับอนาคตที่น่าเชื่อถือสามารถนำไปประยุกต์ได้ [4] เทคนิคเดลฟายถูกออกแบบมาเป็นกลุ่มกระบวนการสื่อสารที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อดำเนินการโดยละเอียด การตรวจสอบและการอภิปรายปัญหาเฉพาะสำหรับวัตถุประสงค์ของการกำหนดเป้าหมายการตรวจสอบนโยบายหรือการคาดการณ์การเกิดเหตุการณ์ในอนาคต การสำรวจทั่วไปพยายามที่จะระบุว่า คืออะไร ในขณะที่เทคนิคเดลฟายพยายามกล่าวถึง สิ่งที่ได้ ควรจะเป็น [5] ในงานวิจัยเดลฟายถูกนำไปใช้ในหลาย ๆ สาขา เช่น การวางแผนโปรแกรมการประเมินความต้องการนโยบาย การกำหนดและการใช้ทรัพยากร [6]

2.3 การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ (Grey Relational Analysis: GRA)

การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์เป็นส่วนหนึ่งของทฤษฎีระบบแบบเกรย์ และวิธีการเติมพัฒนาโดย Deng (1989) [7] มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการแก้ปัญหาความไม่แน่นอนภายใต้ข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องและข้อมูลไม่ครบถ้วน และมีลักษณะความไม่แน่นอนแบบสุ่มวิธี GRA เป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมมากในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ท่ามกลางชุดข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องและทำการตัดสินใจในหลาย ๆ สถานการณ์ และการประยุกต์ใช้กับการวิจัยในกระบวนการคัดเลือกต่าง ๆ [8] การศึกษาเกณฑ์คัดเลือกบุคลากรและตรวจสอบบทบาทของการวิเคราะห์รูปแบบงาน โดยใช้ในการคัดเลือกบุคลากร [9] การแก้ปัญหาเกี่ยวกับข้อมูลเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณภายใต้หลักเกณฑ์ที่ซับซ้อนไม่แน่นอน และข้อมูลหรือสารสนเทศไม่เพียงพอในการตัดสินใจกระบวนการแก้ไขได้โดยใช้ GRA [10] ซึ่งเป็นหนึ่งในความนิยมวิธีการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่าง ๆ ของชุดข้อมูลที่ไม่ต่อเนื่องและจัดทำขึ้นการตัดสินใจในสถานการณ์หลายลักษณะ [11] ข้อได้เปรียบหลักของการใช้วิธี GRA คือ 1) เหมาะสำหรับจัดการกับข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์และปัญหาที่ไม่ชัดเจน 2) ใช้เป็นเครื่องมือวิเคราะห์เมื่อไม่มีข้อมูลเพียงพอ 3) การคำนวณนั้นง่ายและตรงไปตรงมา [12]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคเดลฟาย (Delphi technique)

การประยุกต์ใช้เทคนิคเดลฟาย (Delphi technique) แบ่งออกได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดประเด็นปัญหาของการวิจัย

การเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ

ขั้นตอนที่ 2 คัดเลือกผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ในการวิจัย การเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพจาก ตัวแทนผู้บริหาร วิศวกร หัวหน้างาน พนักงานบริษัทกรณีศึกษา เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมความปลอดภัย จำนวน 19 คน [13] โดยใช้มาตราประมาณค่า (Rating Scale) แบบ 5 ระดับ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คะแนนระดับมาตราส่วนประเมินค่าทั้ง 5 ระดับ

ระดับ	ความคิดเห็น
1	SO.Pro มีความสำคัญน้อยที่สุดหรือเห็นด้วยน้อยที่สุด
2	SO.Pro มีความสำคัญน้อยหรือเห็นด้วยน้อย
3	SO.Pro มีความไม่แน่ใจว่าจะสำคัญหรือไม่
4	SO.Pro มีความสำคัญมากหรือเห็นด้วยมาก
5	SO.Pro มีความสำคัญมากที่สุดหรือเห็นด้วยมากที่สุด

หมายเหตุ SO.Pro คือ Safety Officer Professional level

ขั้นตอนที่ 3 สร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยและเก็บรวบรวมข้อมูล

สร้างแบบสอบถาม รอบที่ 1 แบบสอบถามแบบปลายเปิด รอบที่ 2 แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า รอบที่ 3 แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่ารอบที่ 4 แบบสอบถามแบบมาตราส่วนประเมินค่า รายละเอียดทางเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์ทางเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ

ลำดับ	เกณฑ์ทางเลือก (Criteria)
1	(C1) ตรวจสอบและเสนอแนะให้นายจ้างปฏิบัติตามกฎหมายว่าด้วยความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน
2	(C2) วิเคราะห์งานเพื่อชี้บ่งอันตรายและกำหนดมาตรการป้องกันและขั้นตอนการทำงานอย่างปลอดภัยเสนอต่อนายจ้าง
3	(C3) ประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน
4	(C4) วิเคราะห์แผนงานหรือโครงการ และข้อเสนอแนะของหน่วยงานต่าง ๆ และเสนอแนะมาตรการความปลอดภัยในการทำงานต่อนายจ้าง
5	(C5) ตรวจสอบการปฏิบัติงานของสถานประกอบการกิจการให้เป็นไปตามแผนงาน โครงการหรือมาตรการความปลอดภัยในการทำงาน
6	(C6) แนะนำให้ลูกจ้างปฏิบัติตามคู่มือว่าด้วยความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานของสถานประกอบการ
7	(C7) แนะนำฝึกสอน และอบรมลูกจ้าง เพื่อให้การปฏิบัติงานปลอดภัยจากเหตุอันทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการทำงาน
8	(C8) ตรวจวัดและประเมินสภาพแวดล้อมในการทำงานหรือดำเนินการร่วมกับบุคคล หรือนิติบุคคลที่ขึ้นทะเบียนหรือได้รับใบอนุญาตตามกฎหมายว่าด้วยความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน หรือกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง
9	(C9) เสนอแนะต่อนายจ้างเพื่อให้มีการจัดการด้านความปลอดภัยในการทำงานที่เหมาะสมกับสถานประกอบการและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง
10	(C10) ตรวจสอบหาสาเหตุและวิเคราะห์การประสบอันตราย การเจ็บป่วย หรือการเกิดเหตุเดือดร้อนรำคาญอันเนื่องมาจากการทำงานของลูกจ้าง และรายงานผลการตรวจสอบ รวมทั้งเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่อนายจ้างเพื่อป้องกันการเกิดเหตุโดยไม่ซ้ำซ้ำ

ตารางที่ 2 (ต่อ) เกณฑ์ทางเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ

ลำดับ	เกณฑ์ทางเลือก (Criteria)
11	(C11) รวบรวมสถิติ วิเคราะห์ข้อมูล และจัดทำรายงานและข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการประสบอันตรายการเจ็บป่วย หรือการเกิดเหตุเดือดร้อนรำคาญอันเนื่องมาจากการทำงานของลูกจ้างเสนอนต่อนายจ้าง
12	(C12) ให้ความรู้และอบรมด้านโรคจากการประกอบอาชีพ และสิ่งแวดล้อมแก่ลูกจ้างก่อนเข้าทำงานและระหว่างทำงาน เพื่อทบทวนความรู้อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง
13	(C13) ปฏิบัติงานด้านความปลอดภัยในการทำงานอื่นตามที่นายจ้างมอบหมาย

ขั้นตอนที่ 4 สรุปผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากคำตอบที่ได้ในแบบสอบถามรอบที่ 4 ผู้วิจัยนำคำตอบที่ได้แต่ละข้อความมาวิเคราะห์หาค่ามัธยฐาน ค่าพิสัยระหว่างควอไทล์แล้วนำมาแปลผล

3.2 การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ (GRA)

การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ Grey Relational Analysis (GRA) ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนที่ต้องทำการปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน การคำนวณระดับส่วนเบี่ยงเบน การประมาณค่าสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ และขั้นสุดท้ายให้นำหน้าห้ระดับคะแนนเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์

ขั้นตอนที่ 1 การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลดิบที่อยู่ในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 เรียกอีกอย่างว่าการสร้างความสัมพันธ์แบบเกรย์ โดยการทำให้ข้อมูลเป็นมาตรฐาน แสดงในสมการที่ 1, 2

สำหรับค่ายิ่งสูงยิ่งดี

$$x_i^+(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (1)$$

สำหรับค่ายิ่งต่ำยิ่งดี

$$x_i^-(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (2)$$

โดยที่ $x_i^+(k)$ เป็นค่าปกติของข้อมูลดิบ $x_i^0(k)$ คือค่าของควอไทล์ (Interquartile Range: IR) และ $\min x_i^0(k)$ และ $\max x_i^0(k)$ คือค่าทดลองต่ำสุดและสูงสุดตามลำดับ ผลการตอบสนองของข้อมูลดิบภายหลังจากการแปลงค่าข้อมูลให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 แสดงในตารางที่ 3 สามารถนำไปเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ (Grey relational coefficient) เมื่อ ξ_i คือ สมัยประสิทธิ์ความแตกต่างโดยหาสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ จากผลการตอบสนองในช่วง 0 ถึง 1 ผู้วิจัยพิจารณาว่าค่าสัมประสิทธิ์ความแตกต่างของ GRA คือ 0.5 เนื่องจากจะทำให้อิทธิพลลดลงหากลำดับการเบี่ยงเบน

Δ_{max} มากเกินไป ได้จากสมการ 4, 5

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดลำดับการเรียงเบเน แสดงในสมการที่ 3

$$x_i^*(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x_i^0|}{\max x_i^0(k) - x_i^0} \quad (3)$$

ขั้นตอนที่ 3 โดยหาสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ Grey

Relational Coefficient (GRC) แสดงในสมการที่ 4

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \xi \cdot \Delta_{max}}{\Delta_{oi}(k) + \xi \cdot \Delta_{max}} \quad (4)$$

$$\Delta_{oi}(k) = |x_{oi}^*(k) - x_i^*(k)| \quad (5)$$

เมื่อ $\Delta_{max} = 1.0000, \Delta_{min} = 0.0000$

ขั้นตอนที่ 4 การให้น้ำหนักระดับคะแนนเชิงสัมพันธ์แบบเกรย์

Grey Relational Grade (GRG) แสดงในสมการที่ 6, 7

$$Y_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n w_k \xi_i(k) \quad (6)$$

หรือ

$$GRG_i = \sum_{i=1}^m w_i x_{ij} \quad (7)$$

4. ผลการวิจัย

ผลการประยุกต์ใช้เทคนิคเดลฟายร่วมกับการวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ โดยผลการปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน การคำนวณระดับส่วนเบี่ยงเบน แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการแปลงค่าข้อมูล

Criteria	Delphi Technique		Normalizing Data		Deviation Sequence	
	Mean	IR	Mean [0-1]	IR [0-1]	Mean [0-1]	IR [0-1]
C1	3.632	0.496	0.000	0.088	1.000	0.912
C2	4.579	0.507	0.750	0.029	0.250	0.971
C3	4.895	0.315	1.000	1.000	0.000	0.000
C4	4.368	0.496	0.583	0.088	0.417	0.912
C5	4.526	0.513	0.708	0.000	0.292	1.000
C6	4.632	0.496	0.792	0.088	0.208	0.912
C7	4.789	0.419	0.917	0.476	0.083	0.524
C8	4.316	0.478	0.542	0.179	0.458	0.821
C9	3.895	0.315	0.208	1.000	0.792	0.000
C10	4.684	0.478	0.833	0.179	0.167	0.821
C11	4.105	0.315	0.375	1.000	0.625	0.000
C12	4.737	0.452	0.875	0.306	0.125	0.694
C13	3.737	0.452	0.083	0.306	0.917	0.694

จากสมการที่ 5 เมื่อ $\Delta_{oi}(k)$ คือ ผลต่างของผลการตอบสนองของข้อมูลในอุดมคติ $x_i^0(k)$ กับข้อมูลค่าของควอไทล์ (Interquartile Range: IR) $x_i^0(k)$ สามารถคำนวณเกรดสัมพัทธ์แบบเกรย์ (GRG) ได้จากสมการที่ 6,7 ผลการคำนวณแสดงเกรดของความสัมพันธ์และผลรวมเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์เชิงสัมพันธ์แบบเกรย์ แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกรย์และเกรดความสัมพันธ์แบบเกรย์

Criteria	Grey relational Coefficient (GRC)		Grey relational Grade (GRG)		Rank
C1	0.333	0.354	0.337	0.344	13
C2	0.667	0.340	0.601	0.503	6
C3	1.000	1.000	1.000	1.000	1
C4	0.545	0.354	0.507	0.450	10
C5	0.632	0.333	0.572	0.482	7
C6	0.706	0.354	0.636	0.530	5
C7	0.857	0.488	0.783	0.673	2
C8	0.522	0.379	0.493	0.450	11
C9	0.387	1.000	0.510	0.694	9
C10	0.750	0.379	0.676	0.564	4
C11	0.444	1.000	0.556	0.722	8
C12	0.800	0.419	0.724	0.609	3
C13	0.353	0.419	0.366	0.386	12

จากตารางที่ 4 จะพบว่าการจัดลำดับความสำคัญด้วย Hybrid Delphi – GRA สำหรับเกณฑ์การเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ โดยจะเรียงลำดับได้ดังนี้ C3 ประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (ลำดับที่ 1) C7 แนะนำฝึกสอน และอบรมลูกจ้าง เพื่อให้การปฏิบัติงานปลอดภัยจากเหตุอันจะทำให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน (ลำดับที่ 2) C12 ให้ความรู้และอบรมด้านโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมแก่ลูกจ้างก่อนเข้าทำงานและระหว่างทำงาน เพื่อทบทวนความรู้อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง (ลำดับที่ 3) และ(ลำดับที่ 4) C10 ตรวจสอบหาสาเหตุและวิเคราะห์การประสบอันตราย การเจ็บป่วย หรือการเกิดเหตุเดือดร้อนรำคาญอันเนื่องมาจากการทำงานของลูกจ้าง และรายงานผลการตรวจสอบ รวมทั้งเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาคือ นายจ้างเพื่อป้องกันการเกิดเหตุโดยไม่ชักช้า (ตามลำดับ) อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติอาจใช้บทบาทหน้าที่เฉพาะหรือเพิ่มเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ มาพิจารณาในการตัดสินใจร่วมด้วย ซึ่งวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่มทางเลือกและเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องได้เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความยืดหยุ่นสูงเหมาะกับนำมาประยุกต์ใช้ในด้านกระบวนการตัดสินใจ

5. สรุป

การจัดลำดับความสำคัญเกณฑ์การเลือกเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ เริ่มจากขั้นตอนที่ 1 การกำหนดคุณสมบัติที่สำคัญของเจ้าหน้าที่ความปลอดภัย ซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้จะถูกประเมินด้วยเทคนิคเดลฟายให้เป็นตัวแปรจำนวน 13 เกณฑ์ ขั้นตอนที่ 2 การวิเคราะห์เชิงสัมพันธ์แบบเกอริ โดยการปรับข้อมูลให้เป็นมาตรฐาน การคำนวณระดับส่วนเบี่ยงเบน สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์แบบเกอริและเกรดความสัมพันธ์แบบเกอริ โดยการจัดลำดับความสำคัญเกณฑ์ได้ดังนี้ C3 ประเมินความเสี่ยงด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน (ลำดับที่ 1) C7 แนะนำฝึกสอน และอบรมลูกจ้าง เพื่อให้การปฏิบัติงานปลอดภัยจากเหตุอันจะทำให้เกิดความไม่ปลอดภัยในการทำงาน (ลำดับที่ 2) C12 ให้ความรู้และอบรมด้านโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อมแก่ลูกจ้างก่อนเข้าทำงานและระหว่างทำงาน เพื่อทบทวนความรู้อย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง (ลำดับที่ 3) และ(ลำดับที่ 4) C10 ตรวจสอบหาสาเหตุและวิเคราะห์การประสบอันตราย การเจ็บป่วย หรือการเกิดเหตุเดือดร้อนรำคาญอันเนื่องมาจากการทำงานของลูกจ้าง และรายงานผลการตรวจสอบ รวมทั้งเสนอแนะแนวทางการแก้ไขปัญหาต่อนายจ้างเพื่อป้องกันการเกิดเหตุโดยไม่ชักช้า (ตามลำดับ) ดังนั้นเครื่องมือที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในการนำไปใช้ประเมินและจัดลำดับความสำคัญตำแหน่งงานอื่น ๆ ได้ ซึ่งวิธีที่นำเสนอเหล่านี้มีความยืดหยุ่นสูงเนื่องจากสามารถเพิ่มทางเลือกและปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ สำหรับการวิจัยในอนาคตผู้วิจัยเสนอแนะให้เพิ่มบทบาทหน้าที่เฉพาะหรือเพิ่มเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ เช่น ด้านความรู้ (Knowledge) ด้านทักษะ (Skills) ด้านจริยธรรม (Ethics) และด้านลักษณะบุคคล (Attributes) มาพิจารณาในการตัดสินใจร่วมด้วย เพื่อให้ครอบคลุมเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดสำหรับการตัดสินใจเลือกตำแหน่งงานอื่น ๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผู้บริหาร วิศวกร หัวหน้างาน พนักงาน เจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานระดับวิชาชีพ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมความปลอดภัยปริษัทธิศึกษาที่ช่วยตอบแบบสอบถามจนงานวิจัยนี้สำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงแรงงาน. 2565. กฎกระทรวง การจัดให้มีเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยในการทำงานบุคลากร หน่วยงานหรือคณะบุคคลเพื่อดำเนินการด้านความปลอดภัยในสถานประกอบกิจการ. ราชกิจจานุเบกษา. เล่ม 139 ตอนที่ 39 ก.
- [2] นรงค์ วิชาผา อัจฉรา ชุมพล และไทยทัศน์ สุดสวนสี. 2562. การประยุกต์ใช้เทคนิค Hybrid DEA-TOPSIS สำหรับการคัดเลือกวัสดุชีวมวลที่เหมาะสมสำหรับการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิง. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 15 ฉบับที่ 1:67-84.

- [3] ปวิวรรต นาสวาสดี และคณะ. 2564. การประยุกต์ใช้เทคนิคเดลฟายสำหรับเลือกกลุ่มแปรรูปสินค้าเกษตรตามยุทธศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏเพื่อพัฒนาท้องถิ่น. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา. ครั้งที่ 8, ประเทศไทย, 27 มีนาคม 2564 หน้า 518-527.
- [4] N. C. Dalkey, D. L. Rourke, R. Lewis, & D. Snyder (Eds.). 1972. The Delphi method: An experimental study of group opinion. Studies in the quality of life: Delphi and decision-making. Lexington, MA: Lexington Books. (pp. 13-54).
- [5] L. E. Miller.2006. Determining what could/shouldbe: The Delphi technique and its application. Paper presented at the meeting of the 2006 annual meeting of the Mid-Western Educational Research Association, Columbus, Ohio.
- [6] A. L., Delbecq, A. H., Van de Ven, & D. H. Gustafson, 1975. Group techniques for program planning. Glenview, IL: Scott, Foresman, and Co.
- [7] J, Deng. 1989. Introduction to Grey System Theory. the Journal of Grey System. Vol. 1, pp. 1-24
- [8] L, Sifen. J, Forrest. 2007. The Current Developing Status on Grey System Theory, The Journal of Grey System, v. 2, p. 111-123.
- [9] I.T, Robertson, B, Smith. 2001. Personnel selection, Journal of Occupational and Organizational Psychology, v. 74, p. 441-472.
- [10] E, Irfan, O, Tayfun, O, Abullah, Z, Gulin. 2016. Grey Relational Analysis Approach in Academic Performance Comparison of University: A Case Study of Turkish Universities, European Scientific Journal. p. 128-133.
- [11] G, Sunitha, P, Ruben. 2017. A Grey Based Decision Making Approach for Supplier Selection. Journal of Business and Management. IOSR. v. 19, n. 3, p. 72-75.
- [12] V. Sunku, R. Siva. 2018. Selection of Safety Officers in an Indian Construction Organization by Using Grey Relational Analysis. IJM&P. Vol.9: 97-110.
- [13] T. T. Macmillan. 1971. The Delphi Technique. Paper Presented at the annual meeting of the California Junior Colleges Associations Committee on Research and Development, Monterey, California. (May 1971), 3-5.

การวางแผนการผลิตให้เพียงพอต่อการจำหน่าย สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการสูง:

กรณีศึกษาโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นม

Production Planning for Distribution of Products with High Demand:

A Case Study of Dairy Factory

ประไพพิศ ประสมศรี^{1*} อนันต์ มุ่งวัฒนา² จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน²

¹สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

^{2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: prapaipis.p@ku.th^{1*}, fenganm@ku.ac.th², fengcsr@ku.ac.th³

Prapaipis Prasomsri^{1*}, Anan Mungwattana², Chansiri Singhtaun³

¹Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Kasetsart University

^{2,3}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

E-mail: prapaipis.p@ku.th^{1*}, fenganm@ku.ac.th², fengcsr@ku.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการวางแผนการผลิต โดยมีเป้าหมายเพื่อให้มีปริมาณสินค้าเพียงพอต่อการจำหน่าย และเกิดผลตอบแทนจากการจำหน่ายสูงสุด เนื่องจากปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีปริมาณของน้ำนมดิบรับเข้าไม่เพียงพอต่อความต้องการสินค้าของตลาด คิดเป็นร้อยละ 58.89 ส่งผลให้ต้องมีการขอน้ำนมดิบ และสินค้าจากโรงงานเครือข่าย โดยอาศัยหลักการความชำนาญในการดำเนินงาน ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนารูปแบบในการวางแผนการผลิต ผู้วิจัยมีแนวคิดในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming) เพื่อใช้ในการวางแผนการผลิตสินค้า โดยการเปรียบเทียบผลจากการวางแผนการผลิตสินค้า และการจัดเตรียมสินค้าตามความต้องการของตลาดตามแบบวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษากับผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม จากผลการดำเนินการพบว่าผลตอบแทนจากการจำหน่ายสินค้าจากการวางแผนการผลิตด้วยแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมมีค่า 130.83 ล้านบาท ในขณะที่ผลตอบแทนจากการวางแผนการผลิตตามแบบวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษามีค่า 120.10 ล้านบาท ซึ่งมากกว่ามากกว่า 10.73 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 8.20

คำสำคัญ: การวางแผนการผลิต, แบบจำลองเชิงเส้น, ผลิตภัณฑ์นม

Abstract

The objective of this research is to study production planning methods aimed at ensuring sufficient product quantities for sale and maximizing sales returns. This is because the case study factory currently has a shortage of raw milk supply, with only 58.89% of the required amount being received, resulting in the need to source raw milk products from other factories in the network. Based on operational expertise, the researcher proposes to develop a mathematical model using Mixed Integer Linear Programming to improve the production planning process. The performance of the proposed model will be compared to the results obtained from preparing products according to market demand, as in the case study, and the outcomes of using the Mixed Integer Linear Programming model. The results show the outcomes of using MILP amounted to THB 130.83 million, while the outcomes of using current method amounted to THB 120.10 million, that the proposed model is capable of generating a production plan that yields a return on investment that is 8.20% higher than the current method.

Keywords: Production planning, Linear programming, Dairy product

1. บทนำ

โคนมหนึ่งในอาชีพพระราชทานจากสายพระเนตรอันยาวไกลในพระบาทสมเด็จพระบรมชนกาธิเบศร มหาภูมิพลอดุลยเดชมหาราช บรมนาถบพิตรที่ทรงอยากให้ประชาชนชาวไทยได้ดื่มนม และเกษตรกรได้มีอาชีพที่มั่นคง โรงงานกรณีศึกษาจัดตั้งเพื่อแก้ไขปัญหาความเดือดร้อนของเกษตรกรชาวไร่รับประทังและมะพร้าว ที่ประสบปัญหา ราคาตกต่ำ จึงเกิดเป็นโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์นมสเตอริไรส์

งานวิจัยนี้ได้เก็บข้อมูลการดำเนินงานของบริษัทในปี พ.ศ. 2565 โดยพบว่าช่วงเวลาดังกล่าว โรงงานกรณีศึกษามีปริมาณน้ำนมรับเข้าไม่เพียงพอต่อปริมาณน้ำนมตามความต้องการสินค้าของตลาด เป็นเหตุให้เกิดต้องมีการจัดสรรน้ำนมในรูปแบบของน้ำนมดิบและสินค้าจากโรงงานเครือข่าย ซึ่งปริมาณน้ำนมดิบเฉลี่ยต่อเดือนในปี พ.ศ. 2565 เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการสินค้าในช่วงเวลาเดียวกันพบว่าน้อยกว่าคิดเป็นร้อยละ 58.89 แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ปริมาณความต้องการสินค้าเปรียบเทียบกับปริมาณน้ำนมดิบ

ปัจจุบันวิธีการที่ใช้ในการวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาในการวางแผนการผลิต และการจัดสรรน้ำนมและสินค้าจากโรงงานเครือข่ายโดยอาศัยหลักความชำนาญของพนักงาน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทำงาน และสามารถวางแผนการผลิตได้ตามความต้องการสินค้าของตลาด จึงมีแนวความคิดในการบริหารการรับน้ำนมดิบและสินค้าให้ได้ตามความต้องการของตลาด และมีผลตอบแทนสูงสุด

ซึ่งการวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา เป็นการวางแผนโดยใช้ข้อมูลในการประกอบเพื่อการตัดสินใจ เช่น ปริมาณน้ำนม ความต้องการของตลาด กำลังการผลิต ปริมาณสินค้าคงคลัง เพื่อให้การผลิตเป็นไปอย่างต่อเนื่อง และสามารถรองรับความต้องการของตลาดได้อย่างเหมาะสม โดยมีขั้นตอนการวางแผนการผลิตแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวางแผนการผลิต

การวางแผนการผลิต หมายถึงการวางแผนในการจัดการปัจจัยการผลิตต่าง ๆ เช่น แรงงาน เครื่องจักร วัตถุดิบ กระบวนการผลิต หรือ 4M เพื่อให้ผลการผลิตบรรลุตามเป้าหมายที่ถูกกำหนดไว้ตามความต้องการของลูกค้า [1] นอกจากนี้การวางแผนการผลิตมีความเกี่ยวข้องกับการดำเนินงานทั้งหมดขององค์กร โดยการพยากรณ์และการสั่งซื้อจากลูกค้าจะถูกนำมาจัดทำเป็นแผนการผลิต การประมาณแรงงาน วัตถุดิบ และอุปกรณ์ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 แบบจำลองเชิงเส้น (Linear Programming)

เป็นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมของวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่ โดยสมการวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมถูกกำหนดให้หาคำตอบที่สูงสุดหรือต่ำที่สุดนั้นขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ เช่น การหาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดหรือผลตอบแทนจากการขายสินค้าสูงที่สุด ซึ่งโครงสร้างของแบบจำลองเชิงเส้นประกอบด้วย [2]

2.2.1 สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง เพื่อหาค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เหมาะสม โดยกำหนดวัตถุประสงค์ เพื่อหาคำตอบที่สูงสุดหรือต่ำที่สุด [2]

2.2.2 ข้อจำกัด (Constraints)

เป็นการกำหนดข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของปัญหาจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดหรือตามนโยบายที่ถูกกำหนดขึ้นขององค์กร โดยกำหนดแบบจำลองของปัญหาในรูปแบบของสมการหรืออสมการ [2]

2.2.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

เป็นการกำหนดตัวแปรของแบบจำลองตามลักษณะของรูปแบบปัญหาที่มีความสัมพันธ์ต่อผลการดำเนินงานของสมการวัตถุประสงค์ และข้อจำกัด [2]

2.3 แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming)

การสร้างแบบจำลองเชิงเส้น ซึ่งมีตัวแปรตัดสินใจบางตัวมีค่าเป็นจำนวนเต็มหรือเป็นตัวแปรแบบทวิภาค (Binary) และตัวแปรอื่น ๆ ที่ไม่เป็นจำนวนเต็ม เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาที่ถูกกำหนดขึ้นซึ่งแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมสามารถประยุกต์ใช้กับลำดับในการวางแผนการผลิต [5] การเปลี่ยนแปลงการผลิต ความเร็วในการผลิต ความต้องการสินค้าในแต่ละวัน เวลาในการทำงานตามปกติ และล่วงเวลา [6] เพื่อช่วยในการลดค่าใช้จ่าย และทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการผลิต [3] และการจัดเก็บสินค้าที่ต่ำที่สุด [4]

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลด้านการวางแผนการผลิต

ศึกษาและรวบรวมข้อมูลด้านการวางแผนการผลิต ได้แก่ ปริมาณความต้องการสินค้าโดยจำแนกปริมาณตามชนิดของสินค้า ปริมาณน้ำนมรับเข้า ปริมาณการไหลตสินค้าจากโรงงานเครือข่ายที่ดำเนินการในปี พ.ศ. 2565 และผลตอบแทนจากการจำหน่ายที่ดำเนินการในเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 โดยกำหนดชื่อย่อของแหล่งน้ำนมดังนี้

แหล่งที่ 1 คือ การรับน้ำนมดิบจากพื้นที่ของโรงงานการศึกษา

แหล่งที่ 2 คือ การรับน้ำนมดิบจากโรงงาน A

แหล่งที่ 3 คือ การรับน้ำนมดิบจากโรงงาน B

แหล่งที่ 4 คือ การรับน้ำนมดิบจากโรงงาน C

แหล่งที่ 5 คือ การรับสินค้าจากโรงงาน A

แหล่งที่ 6 คือ การรับสินค้าจากโรงงาน B

แหล่งที่ 7 คือ การรับสินค้าจากโรงงาน C

3.1.1 สินค้าของโรงงานการศึกษา

สินค้าของโรงงานศึกษามีทั้ง 14 ชนิด โดยกำหนดใช้ตัวย่อ P1 ถึง P14 โดยสินค้า P1 ถึง P6 มีปริมาณน้ำนม 250 มิลลิลิตร สินค้า P7 ถึง P10 และ P14 มีปริมาณน้ำนม 200 มิลลิลิตร และสินค้า P11 ถึง P13 มีปริมาณน้ำนม 125 มิลลิลิตร

3.1.2 ปริมาณความต้องการสินค้า

ปริมาณความต้องการสินค้าของโรงงานการศึกษาโดยจำแนกตามชนิดของสินค้าเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 แสดงดังตารางที่ 1

ทั้งนี้เพื่อเป็นการรักษาความลับของโรงงานการศึกษา ผู้วิจัยได้มีการปรับตัวเลขในส่วนของปริมาณความต้องการของสินค้า แต่ยังคงอยู่บนพื้นฐานความถูกต้องของข้อมูล

3.1.3 ปริมาณน้ำนมรับเข้า

ปริมาณน้ำนมรับเข้าที่ได้จากการวางแผนโดยจำแนกตามแหล่งที่มาของน้ำนมตามวิธีการเดิมของโรงงานการศึกษา เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 แสดงดังตารางที่ 2

3.1.4 กำลังการผลิตของโรงงานการศึกษา

กำลังการผลิตสูงสุดของโรงงานการศึกษาอยู่ที่ 243.20 ตัน ต่อ 16 ชั่วโมง ซึ่งมากเกินไปกว่าปริมาณน้ำนมที่นำมาใช้ในการผลิต

3.1.5 ปริมาณการจัดเก็บสินค้าของโรงงานการศึกษา

โรงงานศึกษามีอาคารคลังสินค้าจำนวน 3 คลัง มีพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้านรวม 3,000.00 ตัน

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าด้านกำลังการผลิตของเครื่องจักร และปริมาณการจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้าของโรงงานศึกษามีมากเกินไป ดังนั้นปัญหาที่พบของโรงงานการศึกษาเกิดจากการมีปริมาณของน้ำนมดิบรับเข้า ไม่เพียงพอต่อปริมาณความต้องการสินค้าของตลาด

ตารางที่ 1 ปริมาณความต้องการสินค้าของโรงงานการศึกษาเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565

ชนิด สินค้า	ปริมาณความต้องการสินค้า (ตัน)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
P1	123.0	105.0	150.0	150.0	150.0	120.0	120.0	126.0	120.0	150.0	120.0	150.0
P2	15.0	13.0	22.0	30.0	24.0	15.0	18.0	16.0	12.0	21.0	18.0	24.0
P3	13.5	9.0	18.0	18.0	15.0	9.0	15.0	12.0	12.0	12.0	15.0	13.5
P4	585.0	405.0	405.0	585.0	540.0	495.0	495.0	540.0	468.0	360.0	360.0	495.0
P5	135.0	126.0	270.0	270.0	162.0	171.0	180.0	225.0	153.0	63.0	108.0	225.0
P6	135.0	90.0	135.0	135.0	135.0	72.0	135.0	144.0	108.0	108.0	90.0	180.0
P7	1,080.0	1,080.0	1,080.0	1,584.0	1,584.0	1,584.0	1,440.0	1,512	1,440.0	1,440.0	1,440.0	1,800.0
P8	86.4	93.6	93.6	144.0	144.0	144.0	129.6	129.6	129.6	129.6	115.2	180.0
P9	129.6	18.0	72.0	72.0	72.0	61.2	57.6	64.8	43.2	64.8	50.4	57.6
P10	288.0	324.0	338.4	108.0	360.0	324.0	396.0	360.0	468.0	324.0	324.0	338.4
P11	132.0	78.0	90.0	120.0	150.0	108.0	102.0	102.0	168.0	90.0	102.0	78.0
P12	36.0	16.0	120.0	60.0	36.0	48.0	30.0	24.0	29.4	30.0	13.2	24.0
P13	24.0	15.0	21.0	27.0	30.0	27.0	27.0	24.0	48.0	24.0	24.0	36.0
P14	41.17	37.43	43.04	-	39.30	41.17	41.17	41.17	39.30	39.30	41.17	37.43

ตารางที่ 2 ปริมาณน้ำมันรับเข้าที่ได้จากการวางแผนโดยจำแนกตามแหล่งที่มาของน้ำมันตามวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษาเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565

เดือน	ปริมาณน้ำมันรับเข้าที่ได้จากการวางแผนโดยจำแนกตามแหล่งที่มาของน้ำมันตามวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษา							รวม
	แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3	แหล่งที่ 4	แหล่งที่ 5	แหล่งที่ 6	แหล่งที่ 7	
ม.ค.	1,850.45	-	-	-	366.00	264.60	146.40	2,627.45
ก.พ.	1,478.89	-	-	-	61.50	-	360.00	1,900.39
มี.ค.	1,620.63	14.35	-	-	41.76	155.84	96.00	1,928.58
เม.ษ.	1,200.27	14.01	14.16	-	5.40	-	-	1,233.84
พ.ค.	1,161.83	-	-	-	16.80	17.28	57.60	1,253.51
มิ.ย.	1,125.95	-	-	-	19.50	-	489.60	1,635.05
ก.ค.	1,191.81	-	-	13.92	333.65	19.80	16.80	1,575.99
ส.ค.	1,016.50	39.58	-	148.80	78.00	36.00	57.60	1,376.49
ก.ย.	1,030.84	-	-	14.21	384.00	21.60	36.00	1,486.65
ต.ค.	1,091.55	29.25	-	14.17	48.00	28.80	93.60	1,305.36
พ.ย.	1,018.14	14.30	-	44.61	47.00	30.00	100.00	1,254.05
ธ.ค.	1,095.98	-	-	14.35	300.00	285.48	15.00	1,710.81

3.1.6 ผลตอบแทนจากการจำหน่ายสินค้า

ผลตอบแทนของการจำหน่ายสินค้าของโรงงานกรณีศึกษาต่อเดือน โดยจำแนกตามชนิดของสินค้าเดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 แสดงดังตารางที่ 3 ถึงตารางที่ 5

ทั้งนี้เพื่อเป็นการรักษาความลับของโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยขอเสนอตัวแทนของข้อมูลของผลตอบแทนของสินค้าจากน้ำมันแหล่งที่ 1 แหล่งที่ 2 และแหล่งที่ 5 ซึ่งในการคำนวณจริงใช้ข้อมูลแหล่งที่ 1 ถึงแหล่งที่ 7 และได้มีการปรับตัวเลขในส่วนของผลตอบแทนจากการจำหน่ายสินค้าแต่ยังคงอยู่บนพื้นฐานความถูกต้องของข้อมูล

3.2 พัฒนาแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Linear Programming)

ศึกษาข้อมูลข้อจำกัดต่าง ๆ และพัฒนาสมการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับการวางแผนการผลิตในแต่ละเดือน โดยใช้ข้อมูลด้านปริมาณน้ำมันดิบ และปริมาณสินค้าที่สามารถรับเข้าได้ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดผลประโยชน์สูงสุด

ดัชนีและพารามิเตอร์

i คือ ดัชนีของชนิดของสินค้า ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

j คือ ดัชนีของแหล่งที่มาของน้ำมัน ($j = 1, 2, 3, \dots, m$)

n คือ จำนวนของสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา

m คือ จำนวนของแหล่งที่มาของน้ำมัน

ตัวแปรในฟังก์ชันเป้าหมายและข้อจำกัด

c คือ ผลตอบแทน (บาท) จากการจำหน่ายสินค้า i จากแหล่งที่มาของน้ำมัน j

v คือ ปริมาณการใช้น้ำมัน (ตัน)

Z คือ ผลรวมของผลตอบแทนสูงสุด (บาท) ที่ได้จากการจำหน่ายสินค้า

ตัวแปรตัดสินใจ

x_{ij} คือ จำนวนสินค้าที่ i จากแหล่งที่มาของน้ำมัน j ที่ต้องการผลิต

D คือ ปริมาณความต้องการสินค้า (ตัน)

S คือ ปริมาณน้ำมัน (ตัน) ตามแหล่งที่มาของ j ที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตสินค้าได้

ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Max } Z = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{j=1}^m v_j x_{ij} = D_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ij} \leq S_j \quad \forall j \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (4)$$

สมการ (1) แสดงเป้าหมายการหาผลรวมของผลตอบแทน (กำไร) จากการจำหน่ายสูงสุด (Maximizing Sales Returns: Max Z) เพื่อใช้เป็นเป้าหมายในการวางแผนการผลิต โดยมีข้อจำกัด คือ สมการ (2) ผลรวมของจำนวนสินค้าที่ผลิตต่อหน่วยต้องเท่ากับตามความต้องการของสินค้า i ที่กำหนด (หลังจากการหักลบยอดคงเหลือของเดือนก่อน

หน้า) สมการ (3) ผลรวมของจำนวนสินค้าที่ผลิตต่อหน่วย ต้องไม่เกิน
ตามปริมาณของวัตถุดิบตามแหล่ง j ที่กำหนด และสมการ (4) ตัวแปร
ตัดสินใจต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 3 ผลตอบแทนจากการจำหน่ายสินค้าจากน้ำมันแหล่งที่ 1 ของโรงงานกรณีศึกษาโดยจำแนกตามชนิดของสินค้า เดือนมกราคม ถึงเดือน
ธันวาคม พ.ศ. 2565

ชนิด สินค้า	ผลตอบแทนจากการจำหน่ายสินค้าจากน้ำมันแหล่งที่ 1 (บาท)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
P1	1.838	1.862	1.934	2.014	1.936	1.932	1.910	1.809	1.660	0.759	0.718	0.657
P2	2.296	2.320	2.360	2.463	2.398	2.409	2.408	2.362	2.159	1.448	1.185	1.150
P3	1.855	1.836	1.930	2.036	1.988	1.988	1.994	1.949	1.663	1.096	1.006	0.774
P4	1.803	1.837	1.882	1.965	1.858	1.869	1.860	1.799	1.622	0.991	0.579	0.523
P5	2.130	2.157	2.190	2.295	2.239	2.233	2.199	2.106	2.008	1.357	0.917	0.878
P6	1.664	1.700	1.798	1.894	1.831	1.821	2.079	1.747	1.454	1.031	0.618	0.535
P7	1.938	1.928	1.942	1.980	1.889	1.882	1.846	1.757	1.860	1.153	0.694	0.741
P8	2.322	2.345	2.373	2.424	2.371	2.352	2.342	2.281	2.305	1.688	1.233	1.272
P9	2.031	2.035	2.058	2.110	2.059	2.038	2.025	1.987	1.956	1.412	0.898	0.972
P10	1.044	1.063	1.097	1.244	1.078	1.066	1.040	1.005	0.965	0.238	-0.255	-0.270
P11	1.529	1.531	1.530	1.537	1.505	1.498	1.460	1.432	1.477	1.065	0.620	0.778
P12	1.800	1.801	1.802	1.770	1.728	1.736	1.699	1.666	1.763	1.425	0.962	1.144
P13	1.589	1.594	1.597	1.612	1.569	1.550	1.516	1.510	1.551	1.221	0.826	0.950
P14	0.041	0.104	0.093	0.002	0.124	0.103	0.158	0.232	0.132	0.004	0.219	0.165

ตารางที่ 4 ผลตอบแทนจากการจำหน่ายสินค้าจากน้ำมันแหล่งที่ 2 ของโรงงานกรณีศึกษาโดยจำแนกตามชนิดของสินค้า เดือนมกราคม ถึงเดือน
ธันวาคม พ.ศ. 2565

ชนิด สินค้า	ผลตอบแทนจากการจำหน่ายสินค้าจากน้ำมันแหล่งที่ 2 (บาท)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
P1	1.426	1.726	1.834	1.914	1.914	1.924	1.824	1.759	1.640	0.659	0.668	0.645
P2	2.187	2.187	2.260	2.363	2.363	2.373	2.273	2.312	2.139	1.348	1.135	1.138
P3	1.749	1.749	1.830	1.936	1.936	1.946	1.846	1.899	1.643	0.996	0.956	0.762
P4	1.691	1.691	1.782	1.865	1.865	1.875	1.775	1.749	1.602	0.891	0.529	0.511
P5	2.021	2.021	2.090	2.195	2.195	2.205	2.105	2.056	1.988	1.257	0.867	0.866
P6	1.558	1.558	1.698	1.794	1.794	1.804	1.704	1.697	1.434	0.931	0.568	0.523
P7	1.908	1.908	1.812	1.880	1.880	1.890	1.790	1.707	1.840	1.053	0.644	0.729
P8	2.295	2.295	2.243	2.324	2.324	2.334	2.234	2.231	2.285	1.588	1.183	1.260
P9	2.006	2.006	1.928	2.010	2.010	2.020	1.920	1.937	1.936	1.312	0.848	0.960
P10	1.014	1.014	0.967	1.144	1.144	1.154	1.054	0.955	0.945	0.138	-0.305	-0.282
P11	1.623	1.623	1.400	1.437	1.437	1.447	1.347	1.382	1.457	0.965	0.570	0.766
P12	1.895	1.895	1.672	1.670	1.670	1.680	1.580	1.616	1.743	1.325	0.912	1.132
P13	1.686	1.686	1.467	1.512	1.512	1.522	1.422	1.460	1.531	1.121	0.776	0.938
P14	-0.289	0.011	-0.007	-0.098	-0.098	-0.088	-0.188	0.182	-0.002	-0.015	0.169	0.153

ตารางที่ 5 ผลตอบแทนจากการจำหน่ายสินค้าจากน้ำมันแหล่งที่ 5 ของโรงงานกรณีศึกษาโดยจำแนกตามชนิดของสินค้า เดือนมกราคม ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565

ชนิด สินค้า	ผลตอบแทนจากการจำหน่ายสินค้าจากน้ำมันแหล่งที่ 5 (บาท)											
	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
P1	1.350	1.372	1.663	1.482	1.489	1.748	1.735	1.445	1.314	0.217	0.566	0.558
P2	1.808	1.830	2.089	1.931	1.951	2.225	2.233	1.998	1.813	0.906	1.033	1.051
P3	1.667	1.346	1.659	1.504	1.541	1.804	1.819	1.585	1.317	0.554	0.854	0.675
P4	1.415	1.347	1.611	1.433	1.411	1.685	1.685	1.435	1.276	0.449	0.427	0.424
P5	1.642	1.667	1.919	1.763	1.792	2.049	2.024	1.742	1.662	0.815	0.765	0.779
P6	1.276	1.210	1.527	1.362	1.384	1.637	1.904	1.383	1.108	0.489	0.466	0.436
P7	1.650	1.438	1.671	1.448	1.442	1.698	1.671	1.393	1.514	0.611	0.542	0.586
P8	2.034	1.855	2.102	1.892	1.924	2.168	2.167	1.917	1.959	1.146	1.081	1.173
P9	1.743	1.545	1.787	1.578	1.612	1.854	1.850	1.623	1.610	0.870	0.598	0.873
P10	0.756	0.573	0.826	0.712	0.631	0.882	0.865	0.641	0.619	-0.304	-0.555	-0.369
P11	1.446	1.041	1.259	1.005	1.058	1.314	1.285	1.068	1.131	0.523	0.320	0.679
P12	1.517	1.311	1.531	1.238	1.281	1.552	1.524	1.302	1.417	0.883	0.662	1.045
P13	1.506	1.104	1.326	1.080	1.122	1.366	1.341	1.146	1.205	0.679	0.526	0.851
P14	-1.447	-0.386	-0.178	-0.530	-0.323	-0.081	-0.017	-0.132	-0.348	-0.557	-0.081	0.066

ตารางที่ 6 ปริมาณน้ำมันรับเข้าที่ได้จากการวางแผนโดยจำแนกตามแหล่งที่มาของน้ำมันตามแบบจำลองเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2565

เดือน	ปริมาณน้ำมันรับเข้าที่ได้จากการวางแผนโดยจำแนกตามแหล่งที่มาของน้ำมันตามแบบจำลอง (ตัน)							
	แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3	แหล่งที่ 4	แหล่งที่ 5	แหล่งที่ 6	แหล่งที่ 7	รวม
ม.ค.	1,853.61	30.00	15.00	15.00	-	244.20	-	2,157.80
ก.พ.	1,478.89	15.00	15.00	15.00	-	80.93	238.27	1,843.08
มี.ค.	1,621.39	15.00	15.00	15.00	60.00	230.00	59.84	2,016.23
เม.ษ.	1,203.26	46.54	-	-	-	-	-	1,249.80
พ.ค.	1,147.05	30.00	-	15.00	-	-	-	1,192.05
มิ.ย.	1,130.34	30.00	-	15.00	-	0.65	-	1,175.99
ก.ค.	1,191.81	15.00	-	15.00	-	10.10	-	1,231.91
ส.ค.	1,021.86	40.00	15.00	183.53	-	-	-	1,260.39
ก.ย.	1,035.78	8.64	-	180.00	-	-	-	1,224.42
ต.ค.	1,093.60	30.00	15.00	15.00	-	7.12	-	1,160.72
พ.ย.	1,018.29	15.00	-	9.95	-	30.00	-	1,073.24
ธ.ค.	1,097.18	11.90	-	-	-	300.00	-	1,409.07

3.3 ศึกษาข้อมูลโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม

นำข้อมูลด้านความต้องการสินค้าของโรงงานกรณีศึกษาตามตารางที่ 1 และข้อมูลผลตอบแทนจากการจำหน่าย (c) ตามตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และตารางที่ 5 มาทำการวางแผนการผลิตโดยใช้สมการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม โดยดูผลของแหล่งที่มาที่เหมาะสมมากที่สุดที่นำมาใช้ในการวางแผนเพื่อให้ผลรวมของผลตอบแทนสูงสุด (บาท) ที่ได้จาก การจำหน่ายสินค้า (Z) ซึ่งผลจากการใช้แบบจำลองเชิงเส้นแสดงดังตารางที่ 6 โดยผลจากการใช้สมการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมในการวางแผนพบว่า ของเดือนมกราคม 2565 แสดงดังตารางที่ 7 ซึ่งแสดงผลของการ

วางแผนการผลิตจำแนกตามชนิดของสินค้าโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม เดือนมกราคม พ.ศ. 2565 ซึ่งจากผลของแบบจำลองพบว่ามีการเลือกวางแผนในส่วนของการผลิตภัณฑ์โดยคำนวณจากจำนวนสินค้าที่ i จากแหล่งที่มาของน้ำมัน j ที่ต้องการผลิต (X_{ij}) ตามปริมาณความต้องการสินค้า (D) ซึ่งคำนวณตามปริมาณน้ำมัน (ตัน) ตามแหล่งที่มาของ j ที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตสินค้าได้ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เกิดผลตอบแทนจากการจำหน่ายสูงสุด

ตารางที่ 7 ผลที่ได้จากการวางแผนการผลิตจำแนกตามชนิดของสินค้าโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม เดือนมกราคม พ.ศ. 2565

ชนิด สินค้า	การวางแผนการผลิตจำแนกตามชนิดของสินค้าโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม เดือนมกราคม พ.ศ. 2565 (ตัน)						
	แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3	แหล่งที่ 4	แหล่งที่ 5	แหล่งที่ 6	แหล่งที่ 7
P1	105.80	-	-	-	-	-	-
P2	-	-	-	-	-	9.63	-
P3	-	-	-	-	-	9.47	-
P4	301.71	-	-	-	-	121.17	-
P5	81.12	-	-	-	-	-	-
P6	-	-	-	-	-	103.93	-
P7	983.31	-	-	-	-	-	-
P8	33.17	-	-	-	-	-	-
P9	103.65	-	-	-	-	-	-
P10	125.38	-	-	-	-	-	-
P11	78.29	30.00	0.06	-	-	-	-
P12	-	-	12.38	-	-	-	-
P13	-	-	2.56	15.00	-	-	-
P14	41.17	-	-	-	-	-	-

ซึ่งจากการศึกษาผลของการจัดสรรการใช้ให้น้ำหนักจากแหล่งที่มาที่แตกต่างกันในการวางแผนการผลิตให้สอดคล้องกับปริมาณความต้องการสินค้าควบคู่กับผลตอบแทนจากการจำหน่ายที่ได้รับ พบว่าการเลือกแหล่งที่มาของน้ำหนักรูปแบบจำลองที่พิจารณาเลือกใช้แหล่งวัตถุดิบที่ 1 ก่อนซึ่งสอดคล้องกับการดำเนินงานจริงในปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา แต่หากพิจารณาในส่วนของแหล่งที่มาของน้ำหนักรูปแบบจำลองพบว่าการเลือกใช้แหล่งที่ 2 แหล่งที่ 3 และแหล่งที่ 4 ซึ่งเป็นกรรับน้ำหนักดิบจากโรงงานเครือข่ายมาผลิต และจำหน่าย ณ โรงงานกรณีศึกษา ก่อนการเลือกใช้ให้น้ำหนักจากแหล่งที่ 5 แหล่งที่ 6 และแหล่งที่ 7 ซึ่งเป็นการขอไหลตสินค้าจากโรงงานเครือข่ายมาจำหน่าย เมื่อเปรียบเทียบกับกรดำเนินงานตามวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษาพบว่าการวางแผนโดยใช้แบบจำลองมีการใช้ปริมาณ น้ำหนักดิบจากโรงงานเครือข่ายมากกว่าร้อยละ 3.02 และมีไหลตสินค้าจากโรงงานเครือข่ายเพื่อมาจำหน่ายลดลงร้อยละ 68.70

จากผลของการใช้แหล่งของวัตถุดิบที่แตกต่างกันในการวางแผนตามวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษา และการวางแผนที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มาคำนวณผลตอบแทนที่ได้รับจากการจำหน่ายโดยใช้ข้อมูลปริมาณการจำหน่ายของสินค้าแต่ละชนิดจากแหล่งของน้ำหนักรูปแบบที่แตกต่างกันคู่กับผลตอบแทนที่ได้รับของสินค้าแต่ละชนิดแบบเมทริกซ์ พบว่าผลตอบแทนที่ได้จากการจำหน่ายที่ได้รับในแต่ละเดือนแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบผลตอบแทนจากการวางแผนการผลิต

เดือน	ผลรวมของผลตอบแทน (ล้านบาท)			
	วิธีการเดิม	แบบจำลอง	ผลต่าง	ร้อยละ
ม.ค.	16.96	18.66	1.7	9.08
ก.พ.	14.93	15.88	0.95	5.98
มี.ค.	15.85	17.67	1.82	10.31
เม.ษ.	11.41	11.86	0.45	3.78
พ.ค.	10.07	10.49	0.42	3.97
มิ.ย.	9.51	10.44	0.93	8.92
ก.ค.	10.08	10.56	0.48	4.61
ส.ค.	9.95	10.29	0.34	3.22
ก.ย.	9.35	10.27	0.92	9.01
ต.ค.	4.35	5.91	1.56	26.32
พ.ย.	2.57	3.31	0.74	22.30
ธ.ค.	5.06	5.50	0.44	7.88
รวม	120.10	130.83	10.73	8.20

จากการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมเพื่อใช้ในการวางแผนการผลิต พบว่ามีค่าผลตอบแทนจากการจำหน่ายที่ได้จากแบบจำลองมากกว่าจากการดำเนินงานด้วยวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษาร้อยละ 8.20 เนื่องจากสามารถวางแผนการผลิตได้อย่างแม่นยำมากกว่า ซึ่งสามารถนำไปปรับใช้ในการวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาได้

4. สรุปผลการวิจัย

การวางแผนการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาโดยใช้ข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้า ปริมาณน้ำมัน และผลตอบแทนจากการจำหน่ายแบบแยกประเภทของชนิดของสินค้า พบว่าการวางแผนโดยใช้แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสมมีการใช้น้ำมันในรูปแบบของการใช้น้ำมันดิบมาผลิต ณ โรงงานกรณีศึกษามากกว่าวิธีการเดิมร้อยละ 3.02 และใช้ปริมาณน้ำมันจากการไหลตสินค้าจากโรงงานเครือข่ายเพื่อมาจำหน่ายลดน้อยลง 68.70 แต่ได้ผลตอบแทนจากการจำหน่ายมากกว่าร้อยละ 8.20 เมื่อเปรียบเทียบกับวางแผนโดยวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษา

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

เนื่องจากปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีกำลังการผลิต และพื้นที่ในการจัดเก็บสินค้าที่สูงกว่าปริมาณการผลิต และปริมาณความต้องการของสินค้าที่ต้องการในแต่ละเดือน จึงส่งผลให้ไม่จำเป็นต้องมีการพิจารณาปัจจัยดังกล่าวในข้อกำหนด แต่หากในอนาคตความต้องการสินค้าเพิ่มมากขึ้นเกินกว่ากำลังการผลิต หรือการจัดเก็บสินค้า อาจต้องมีการนำข้อจำกัดดังกล่าวมาใช้ในการพิจารณาร่วมด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ดีนั้น อันเนื่องมาจากการแนะนำ อบรม สั่งสอน และสนับสนุนจากคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่าน รวมถึงข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา และเพื่อนร่วมงานทุกท่านที่ช่วยเหลือในการจัดส่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ศึกษาวิจัย รวมถึงการให้ข้อเสนอแนะ และคำแนะนำ เพื่อให้งานวิจัยมีความถูกต้องและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้เหมาะสม ดังนั้นทางผู้วิจัยขอกราบพระคุณทุกท่านที่ช่วยสนับสนุนมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชุมพล ศฤงคารศิริ. 2556. "การวางแผนและการควบคุมการผลิตฉบับปรับปรุงใหม่". พิมพ์ครั้งที่ 24. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร.
- [2] สรไกร อังสุทัตสรณ์. 2560. "การวางแผนการผลิตสินค้าหลายผลิตภัณฑ์ในแต่ละช่วงเวลาด้วยค่าใช้จ่ายคงที่: กรณีศึกษาสินค้ากระเบื้องมุงหลังคาคอนกรีต". วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [3] Hnaïen, F., F. Yalaoui, A. Mhadhbi and M. Nourelfath, 2016. "A mixed-integer programming model for integrated production and maintenance". IFAC-PapersOnLine 49 (12) 556-561.

- [4] Karim, Y. P. M., A. V. T. Eli and M. Reinaldo. 2016. "Production planning in the molded pulp packaging industry". Computers & Industrial Engineering 98 (2016) 554-566
- [5] Sel, C. and B. Bilgen. 2014. "Hybrid Simulation and MIP Based Heuristic Algorithm for the Production and Distribution Planning in the Soft Drink Industry". Journal of Manufacturing Systems 33 (2014) 385-399.
- [6] Sel, C., B. Bilgen, J.M. Bloemhof-Ruwaard and J.G.A.J. van der Vorst. 2015. "Multi-Bucket Optimization for Integrated Planning and Scheduling in the Perishable Dairy Supply Chain". Computers and Chemical Engineering 77 (2015) 59-73

ผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการต่อความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน PLA ที่พิมพ์ 3 มิติโดย FDM

Effect of Process Parameter on Dimensional Error of 3D Printed PLA Parts by FDM

ทัตพงษ์ ลิ้มหลายั ทศพร อัครรังษี ทนงศักดิ์ คงสินธุ์ อภิชาติ มณีงาม วรณลักษณ์ เหล่าทวีทรัพย์ พัชรพิมล สุวรรณกาญจน์ กัลยา อุบลทิพย์
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: tatpotng38@gmail.com*

Tattapong Limlay¹, Tossaporn Assawarungsri, Tanongsak Kongsin, Apichit Maneengam, Wannalak Laotaweesub, Patpimol Suwankan,
Kanlaya ubontip

Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok

E-mail: tatpotng38@gmail.com*

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการการพิมพ์ต่อความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานทรงกระบอก Polylactic acid (PLA) ที่พิมพ์สามมิติด้วย Fused deposition modeling (FDM) ผู้วิจัยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Central composite design (CCD) เพื่อเก็บข้อมูล และทำการสร้างเข้ากับตัวแบบจำลองพื้นผิวการตอบสนองอันดับสอง ความคลาดเคลื่อนของขนาดของชิ้นงานพิมพ์มีสองค่าตอบสนอง ได้แก่ เปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของความยาว (LE) และเปอร์เซนต์ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทรงกระบอก (DE) ปัจจัยที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ ความหนาของชั้น (LH) และความเร็วในการพิมพ์ของกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ (PS) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของความหนาชั้นทำให้ความคลาดเคลื่อนความยาวของชิ้นงานเพิ่มขึ้น แต่กลับทำให้ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาทรงกระบอกน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญ ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นส่วนทรงกระบอกเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเร็วในการพิมพ์เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามไม่มีหลักฐานที่สรุปว่าความเร็วในการพิมพ์ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของเพลาทรงกระบอกหรือไม่

คำสำคัญ: กระบวนการผลิตแบบเติมเนื้อ พารามิเตอร์กระบวนการการพิมพ์ ความคลาดเคลื่อนของขนาด ความหนาของชั้น ความเร็วในการพิมพ์

Abstract

This paper studies the effect of process parameters on the dimensional error of polylactic acid (PLA) cylindrical part obtained using fused deposition modeling (FDM). We use the central composite design (CCD) for data collection and fit a second-order response surface model. The dimensional error of printed parts is represented by two responses, including the dimensional percentage error of length (LE) and the dimensional percentage error of the diameter for cylindrical parts (LH). The selected factors in this study included: layer height (LH) and print speed (PS). The results showed that an increase in layer height increased the dimensional error of length but decreased the diameter error of the cylindrical shaft significantly. The cylindrical part's diameter error increased significantly when the print speed increased. However, there is no evidence that print speed affects the cylindrical part diameter error.

Keywords: Additive manufacturing, Process printing, Dimensional error, Layer height, Print speed

1. บทนำ

การขึ้นรูปชิ้นงานในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคนิคใหม่ที่สามารถผลิตชิ้นงานได้อย่างรวดเร็ว และสามารถใช้งานได้ ซึ่งกระบวนการพิมพ์แบบ Fused deposition modeling (FDM) เป็นหนึ่งในวิธีที่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็ว โดยการใช้อุปกรณ์จำลองโมเดลสามมิติที่สร้างขึ้นจากโปรแกรม ซึ่งเป็นข้อมูลเพื่อใช้ในการพิมพ์ขึ้นรูป และแปลงข้อมูลเป็น G-code นอกจากนี้ในการผลิตด้วยกระบวนการนี้ยังมีราคาต้นทุนการผลิตที่ต่ำ แต่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตก็มีคุณภาพต่ำเช่นกัน ทั้งเรื่องของความแข็งแรง และขนาดรูปร่างของชิ้นงาน เนื่องจากพารามิเตอร์ในการพิมพ์ชิ้นงานนั้นมีความหลากหลาย ทำให้การควบคุมคุณภาพของชิ้นงานให้มีประสิทธิภาพเป็นไปได้ยากลำบาก การทำให้ชิ้นงานที่ผลิตด้วยวิธีนี้สามารถนำมาใช้งานได้จริงจึงเป็นเรื่องที่มีความท้าทายอย่างมาก

ไม่นานมานี้มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ทำการศึกษาและตรวจสอบผลกระทบของพารามิเตอร์การพิมพ์สามมิติต่อประสิทธิภาพด้านต่างๆ ของชิ้นงานพิมพ์สามมิติดังต่อไปนี้ Rajpurohit and Dave [1] ได้ศึกษาพารามิเตอร์กระบวนการที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติแรงดึงของชิ้นส่วน PLA ที่พิมพ์ด้วย FDM ต่อมา Buj-Corral et al. [2] ศึกษาพารามิเตอร์การพิมพ์ (ความหนาชั้น อุณหภูมิการพิมพ์ ความเร็วพิมพ์ และ อัตราการไหล) ที่ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของขนาด ความละเอียดผิว และ Porosity ของชิ้นงานพิมพ์สามมิติที่ผลิตจากกระบวนการ FDM โดยใช้การออกแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (two-level full factorial design) Hsueh et al. [3] ตรวจสอบผลกระทบของพารามิเตอร์การพิมพ์ (มุมพิมพ์ และมุมแรสเตอร์) ต่อคุณสมบัติการดึงสำหรับชิ้นงานพิมพ์ด้วยวัสดุ PLA ที่ผลิตด้วย FDM ในปีเดียวกัน Hsueh et al. [4] ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิการพิมพ์และเปอร์เซ็นต์การเติมต่อพฤติกรรมทางกลของชิ้นส่วนที่ถูกพิมพ์ด้วยกระบวนการ FDM ในปีถัดมา Valvez et al. [5] ศึกษาการปรับพารามิเตอร์การพิมพ์ให้เหมาะสม (อุณหภูมิหัวฉีด ความเร็วในการพิมพ์ ความสูงของชั้น และการบรรจุ) เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางกลของการพิมพ์สำหรับ polyethylene terephthalate glycol, carbon fibre-reinforced PETG composites และ aramid fibre-reinforced PETG composites โดยการออกแบบขั้นตอนการทดลองด้วยวิธีทาгуชิ (Taguchi method) ล่าสูด Yu et al. [6] ตรวจสอบผลกระทบของพารามิเตอร์การพิมพ์ต่อคุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานพิมพ์สามมิติที่ใช้วัสดุเส้นใยคอมโพสิตชีวมวล (biomass composite) Vanaei et al. [7] ได้ประยุกต์ใช้ central composite design (CCD) ในการปรับอุณหภูมิของเหลว อุณหภูมิแท่นพิมพ์ และความเร็วในการพิมพ์ที่เหมาะสมเพื่อให้คุณสมบัติทางเคมีกายภาพและทางกลได้ค่าที่ดีที่สุด จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้นพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์การพิมพ์ต่อคุณสมบัติเชิงกล

ในปัจจุบันชิ้นงานที่ผลิตจากเทคโนโลยี FDM ถูกนำไปใช้ในงานประกอบที่ต้องการขนาดที่มีความคลาดเคลื่อนต่ำเพื่อทำให้ชิ้นงานสามารถประกอบเข้าด้วยกันได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวทำให้ผู้ผลิตต้องพยายามลดความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานพิมพ์สามมิติให้น้อย

ที่สุด ซึ่งมีเพียงงานวิจัยของ Buj-Corral et al. [2] เท่านั้นที่ศึกษาพารามิเตอร์การพิมพ์ที่ส่งผลกระทบต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดของชิ้นงานสามมิติ การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงานพิมพ์สามมิตียังต้องการการศึกษาเพิ่มเติม

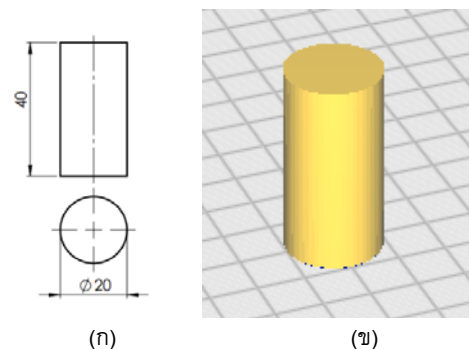
ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและตรวจสอบผลกระทบของพารามิเตอร์การพิมพ์ (ความหนาชั้น และความเร็วในการพิมพ์ของกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ) ต่อความคลาดเคลื่อนของยาวและความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางสำหรับชิ้นงานทรงกระบอกที่พิมพ์สามมิติด้วย Fused deposition modeling (FDM) โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Central composite design (CCD) เพื่อตรวจสอบผลกระทบดังกล่าว

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานมีขั้นตอนการดำเนินทั้งหมด 4 ขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนเป็นการจัดเตรียมชิ้นงานทดสอบเพื่อใช้ในการวิจัย โดยมีขั้นตอน ดังนี้ 2.1 การจัดเตรียมชิ้นงานทดสอบ 2.2 การสร้างชิ้นงานทดสอบ 2.3 การออกแบบการทดลอง 2.4 การเก็บข้อมูลค่าตอบสนอง

2.1 การจัดเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ผู้วิจัยได้มีกำหนดชิ้นทดสอบเป็นทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 มิลลิเมตร และความยาวเท่ากับ 40 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 1 (ก) แล้วใช้โปรแกรม SolidWorks ในการสร้างโมเดลสามมิติของชิ้นงานทดสอบ จากนั้นบันทึกเป็นไฟล์ STL เพื่อนำโมเดลดังกล่าวไปใช้ตั้งพารามิเตอร์และเส้นทางในการพิมพ์ชิ้นงานสามมิติในโปรแกรม Ultimaker Cura 4.10 ดังรูปที่ 1 (ข)



รูปที่ 1 ชิ้นงานทดสอบ (ก) แบบชิ้นงานทดสอบ (ข) การวางชิ้นงานทดสอบในโปรแกรม Ultimaker Cura

2.2 การสร้างชิ้นงานทดสอบ

ขั้นตอนนี้ทำการสร้างชิ้นงานทรงกระบอกจากไฟล์ STL ที่ได้จากหัวข้อที่ 2.1 ด้วยกระบวนการการพิมพ์สามมิติแบบ Fused deposition modeling (FDM) และใช้เส้นพลาสติกชนิด Polylactic Acid หรือ PLA ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.75 มิลลิเมตร เนื่องจากวัสดุชนิดนี้สามารถหาซื้อได้ง่ายและเป็นวัสดุที่ใช้กันโดยทั่วไปในการผลิต เป็นวัสดุที่มีความสามารถพิเศษอย่างหนึ่งคือเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถย่อย

สลายได้เองตามธรรมชาติ และผู้วิจัยใช้เครื่องพิมพ์สามมิติรุ่น BBC3040V.2022 แบบหัวฉีดเดี่ยว โดยมีพื้นที่ในการพิมพ์ชิ้นงานสูงสุด 300 x 300 x 400 มิลลิเมตร หัวฉีดทำความร้อนได้สูงสุด 300 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการพิมพ์ชิ้นงาน ผู้วิจัยกำหนดตามค่าพารามิเตอร์คงที่ตามที่โปรแกรม Ultimaker Cura กำหนดเป็นค่าตั้งต้นไว้ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์คงที่

พารามิเตอร์คงที่	ค่า
อุณหภูมิหัวฉีด	190 °C
อุณหภูมิโต๊ะขึ้นรูป	60 °C
ความหนาแน่นภายใน	20%
โครงสร้างภายใน	Thach
จำนวนผนัง	2 ชั้น
ทิศทางการวางชิ้นงาน	Upright (ตั้งตรง)

2.3 การออกแบบการทดลอง

ขั้นตอนนี้เริ่มทำการออกแบบการทดลองเบื้องต้นแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปที่ 2 ระดับ (2^k full factorial design) โดยการกระทำซ้ำ 4 ครั้ง รวม 16 การทดลอง และเพิ่มการทดลองตรงจุดศูนย์กลาง (Center point) อีก 4 การทดลอง เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตรงหรือเชิงเส้นโค้งหรือไม่ ในการทดลองนี้กำหนดปัจจัยเพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการพิมพ์ต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน ได้แก่ ความหนาของชั้น (LH) และความเร็วในการพิมพ์ชิ้นงาน (PS) โดยที่แต่ละพารามิเตอร์ที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ระดับ ดังตารางที่ 2 ซึ่งเหตุผลที่เลือกพิจารณาพารามิเตอร์เหล่านี้ในการทดลอง เนื่องจากทั้งสองพารามิเตอร์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความแม่นยำในการพิมพ์แตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นงาน และหลังจากสร้างชิ้นงานทดสอบโดยปรับค่าพารามิเตอร์กระบวนการตามแผนการทดลองที่ถูกกำหนดไว้และทำการวิเคราะห์ผลการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปที่ 2 ระดับ สำหรับทั้งค่าตอบสนอง DE และ LE พบว่า Curvature ของทั้ง DE และ LE มีค่า P-value มีค่าเท่ากับ 0.000 และ 0.010 ตามลำดับ ซึ่งน้อยกว่า 0.05 แสดงว่ากระบวนการที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นโค้งอย่างมีนัยสำคัญจึงต้องใช้วิธีการพื้นผิวผลตอบสนองในออกแบบการทดลองนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการออกแบบการทดลองแบบ Central Composite Designs (CCD) เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยพารามิเตอร์กระบวนการต่อความคลาดเคลื่อนขนาดของชิ้นงานทดสอบ เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการใช้งานและเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการออกแบบทดลองอื่น [8] ในการทดลองนี้กำหนดให้ Cube points = 16, Center points in cube = 4, Axial points = 16, $\alpha = 1$, มีทำการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง ดังนั้นจึงมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 36 ครั้ง โดยใช้ปัจจัยในการศึกษาเช่นเดียวกับการทดลองเบื้องต้นดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิมพ์ชิ้นงานทดสอบ

พารามิเตอร์	ระดับ	
	น้อยที่สุด	มากที่สุด
ความหนาของชั้น (LH)	0.1 mm	0.4 mm
ความเร็วการพิมพ์ (PS)	20 mm/s	60 mm/s

2.4 การเก็บข้อมูลค่าตอบสนอง

ผู้วิจัยนำชิ้นงานที่ถูกผลิตขึ้นมาตามตามแผนการทดลองทั้งหมด 36 ชิ้น มาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของชิ้นงานทดสอบด้วยเวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier Caliper) รุ่น TMT322006 ที่มีความละเอียด 0.01 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 จากนั้นนำขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของชิ้นงานทดสอบมาคำนวณเพื่อหาค่าตอบสนองทั้งสองค่า คือ เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาว (DE) และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบ (LE) ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) เพื่อให้ง่ายต่อการวัดประสิทธิภาพเนื่องจาก DE และ LE ไม่มีค่าติดลบทำให้สามารถนำทั้งสองค่าตอบสนองนี้มาใช้ประเมินประสิทธิภาพด้านความแม่นยำได้และยังนำไปใช้กำหนดพารามิเตอร์กระบวนการที่ดีที่สุดสำหรับงานวิจัยในอนาคต



(ก)

(ข)

รูปที่ 2 การวัดขนาดชิ้นงานทดสอบ (ก) การวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบ (ข) การวัดขนาดความยาวของชิ้นงานทดสอบ

$$LE = \frac{|l - L|}{L} \times 100\% \quad (1)$$

$$DE = \frac{|d - D|}{D} \times 100\% \quad (2)$$

โดยที่ LE คือเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวชิ้นงานทดสอบ L คือความยาวชิ้นงานทดสอบตามแบบสั่งผลิตมีค่าเท่ากับ 40 มิลลิเมตร l คือความยาวชิ้นงานทดสอบที่วัดได้จริง DE คือเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบตามแบบสั่งผลิตมีค่าเท่ากับ 20 มิลลิเมตร d คือเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบที่วัดได้จริง จากนั้นค่าตอบสนองทั้ง LE และ DE จะถูกนำไปวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม Minitab19 เพื่อหาผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการต่อ LE และ DE

3. ผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบการทดลองด้วยวิธีแบบ Central Composite Designs (CCD) ด้วยโปรแกรม Minitab19 โดยกำหนดให้พารามิเตอร์ความหนาของชั้น (LH) , ความเร็วในการพิมพ์ (PS) เป็นปัจจัยที่ควบคุมได้ที่ส่งผลกระทบต่อเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบ (DE) ,เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาวชิ้นงานทดสอบ (LE) และทำการทดลองซ้ำ 4 ครั้ง มีการทดลองทั้งหมด 36 ครั้ง เมื่อทำการผลิตชิ้นงานทรงกระบอกด้วยเทคโนโลยี FDM ตามค่าพารามิเตอร์หรือปัจจัยที่กำหนดไว้ในแผนการทดลอง และได้ค่า DE และ LE ตามหัวข้อที่ 2.4 แล้ว ผลที่ได้จากการทดลองดังแสดงตารางที่ 3 นอกจากนี้ทำการกำหนดค่า D เท่ากับ 20 มิลลิเมตร L เท่ากับ 40 มิลลิเมตร ตามรูปที่ 1

ตารางที่ 3 ผลข้อมูลการทดลองสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง

No.	ปัจจัยที่ศึกษา		ผลการวัด (mm)		ค่าตอบสนอง %	
	LH	PS	d	l	DE	LE
1	0.1	20	19.24	39.97	3.80	0.08
2	0.4	20	19.48	40.15	2.60	0.37
3	0.1	60	19.04	39.99	4.80	0.02
4	0.4	60	19.17	40.15	4.15	0.37
5	0.1	40	19.17	39.93	4.15	0.18
6	0.4	40	19.43	40.18	2.85	0.45
7	0.25	20	19.47	39.95	2.65	0.12
8	0.25	60	19.39	39.93	3.05	0.18
9	0.25	40	19.32	39.91	3.40	0.23
10	0.1	20	19.2	39.95	4.00	0.12
11	0.4	20	19.43	40.15	2.85	0.37
12	0.1	60	19.02	40.05	4.90	0.12
13	0.4	60	19.18	40.15	4.10	0.37
14	0.1	40	19.16	39.96	4.20	0.10
15	0.4	40	19.42	40.18	2.90	0.45
16	0.25	20	19.45	39.98	2.75	0.05
17	0.25	60	19.4	40.02	3.00	0.05
18	0.25	40	19.33	39.98	3.35	0.05
19	0.1	20	19.24	39.91	3.80	0.23
20	0.4	20	19.49	40.14	2.55	0.35
21	0.1	60	19.07	40	4.65	0.00
22	0.4	60	19.17	40.11	4.15	0.27
23	0.1	40	19.18	39.95	4.10	0.12
24	0.4	40	19.45	40.21	2.75	0.53
25	0.25	20	19.46	40.02	2.70	0.05
26	0.25	60	19.38	40.02	3.10	0.05

ตารางที่ 3 ผลข้อมูลการทดลองสำหรับการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (ต่อ)

No.	ปัจจัยที่ศึกษา		ผลการวัด (mm)		ค่าตอบสนอง %	
	LH	PS	d	l	DE	LE
27	0.25	40	19.33	39.94	3.35	0.15
28	0.1	20	19.26	39.99	3.70	0.02
29	0.4	20	19.5	40.17	2.50	0.43
30	0.1	60	19.04	40.05	4.80	0.12
31	0.4	60	19.18	40.18	4.10	0.45
32	0.1	40	19.21	40.02	3.95	0.05
33	0.4	40	19.42	40.19	2.90	0.47
34	0.25	20	19.47	40.01	2.65	0.02
35	0.25	60	19.4	40.01	3.00	0.02
36	0.25	40	19.34	39.99	3.30	0.02

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่าค่า d ที่ได้จากการวัดขนาดทุกชิ้นงานทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า D ทั้งหมด เนื่องจากเกิดการหดตัวของวัสดุ PLA ที่ใช้พิมพ์ ส่วนความยาว l มีค่าสูงสุด 40.21 และต่ำสุด 39.91

3.1 ผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการต่อ DE

จากผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการต่อเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบ จากทดลองข้างต้นสามารถนำมาสร้างเป็นสมการการถดถอยของ DE ดังสมการที่ 3 ซึ่งมีค่า R-Squared ของ DE อยู่ที่ 85.56% แสดงว่าตัวแบบถดถอยนี้มีความเหมาะสมกับข้อมูล

$$DE = 5.598 - 20.67LH - 0.0040PS + 30.83LH^2 + 0.000203 PS^2 + 0.0448 LH (PS) \quad (3)$$

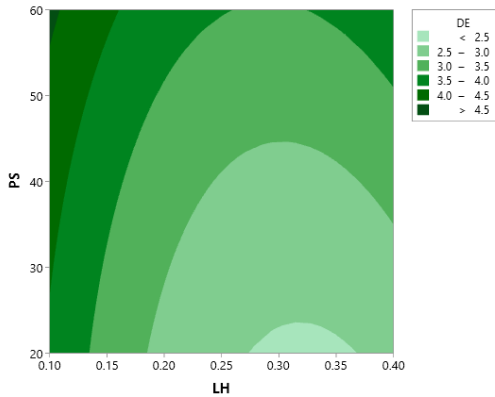
Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	15.9239	3.18478	35.54	0.000
Linear	2	11.7319	5.86594	65.47	0.000
LH	1	6.4584	6.45844	72.08	0.000
PS	1	5.2734	5.27344	58.86	0.000
Square	2	3.9031	1.95156	21.78	0.000
LH*LH	1	3.8503	3.85031	42.97	0.000
PS*PS	1	0.0528	0.05281	0.59	0.449
2-Way Interaction	1	0.2889	0.28891	3.22	0.083
LH*PS	1	0.2889	0.28891	3.22	0.083
Error	30	2.6880	0.08960		

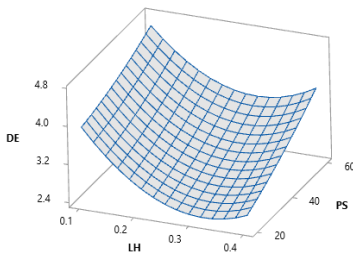
รูปที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของ DE

จากรูปที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยกำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05 สรุปได้ว่าปัจจัย LH, PS และ LH² มี

ผลกระทบต่อ DE อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 แต่ปัจจัย PS² และ LH*PS ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามีผลกระทบต่อ DE หรือไม่ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด



รูปที่ 4 เส้นโครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองระหว่าง DE, LH และ PS



รูปที่ 5 พื้นผิวผลตอบสนอง 3 มิติ ระหว่าง DE, LH และ PS

จากรูปที่ 4 และ 5 แสดงให้เห็นว่า LH ช่วง 0.27 ถึง 0.37 มิลลิเมตร ที่ความเร็วในการพิมพ์ 20 - 23 มิลลิเมตรต่อวินาที จะได้ค่า DE น้อยที่สุด เมื่อปรับค่า LH ให้สูงขึ้นทำให้ DE ลดลง ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของ PS ส่งผลให้ DE เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

3.2 ผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการต่อ LE

จากผลลัพธ์การวิเคราะห์ผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการต่อเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของขนาดความยาวของชิ้นงานทดสอบ จากทดลองข้างต้นสามารถนำมาสร้างเป็นสมการการถดถอยของ LE ดังสมการที่ 4 ซึ่งมีค่า R-Squared ของ LE อยู่ที่ 87.35% แสดงว่าตัวแบบถดถอยนี้มีความเหมาะสมกับข้อมูล

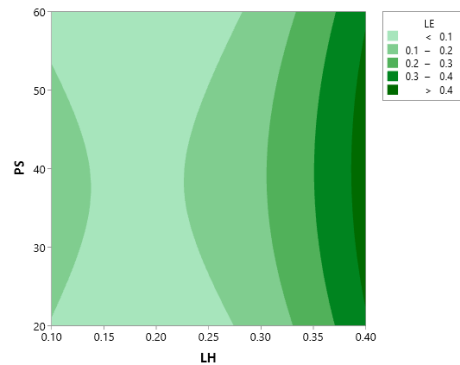
$$LE = 50.153 - 2.843LH + 0.01003PS + 7.546LH^2 + 0.000138PS^2 + 0.00260LH(PS) \quad (4)$$

Analysis of Variance

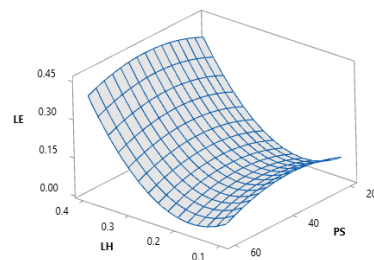
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	5	0.835421	0.167084	41.42	0.000
Linear	2	0.579427	0.289714	71.82	0.000
LH	1	0.578151	0.578151	143.32	0.000
PS	1	0.001276	0.001276	0.32	0.578
Square	2	0.255017	0.127509	31.61	0.000
LH*LH	1	0.230634	0.230634	57.17	0.000
PS*PS	1	0.024384	0.024384	6.04	0.020
2-Way Interaction	1	0.000977	0.000977	0.24	0.626
LH*PS	1	0.000977	0.000977	0.24	0.626
Error	30	0.121020	0.004034		

รูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ของความคลาดเคลื่อนของขนาดความยาว

จากรูปที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) สรุปได้ว่าปัจจัย LH, LH² และ PS² มีผลกระทบต่อ LE อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 หรือระดับนัยสำคัญที่กำหนด แต่ปัจจัย PS และ LH*PS ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามีผลกระทบต่อ LE หรือไม่ เนื่องจากมีค่า P-Value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด



รูปที่ 7 เส้นโครงร่างพื้นผิวผลตอบสนองระหว่าง LE, LH และ PS



รูปที่ 8 พื้นผิวผลตอบสนอง 3 มิติ ระหว่าง LE, LH และ PS

จากรูปที่ 7 และ 8 แสดงให้เห็นว่าถ้าปรับค่า LH ช่วง 0.15 ถึง 0.23 มิลลิเมตร สำหรับความเร็วการพิมพ์เท่าใดจะส่งผลให้ค่า LE น้อยที่สุด เมื่อปรับค่า LH ให้สูงขึ้นทำให้ LE เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของ PS ส่งผลกระทบบกับ DE ค่อยข้างน้อยซึ่งสอดคล้องค่า P-Value ของปัจจัย PS ที่ไม่มีนัยสำคัญ

4. สรุปผล

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์กระบวนการพิมพ์ต่อความคลาดเคลื่อนของชิ้นงานทรงกระบอก Polylactic acid (PLA) ที่พิมพ์สามมิติด้วย Fused deposition modeling (FDM) โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Central composite design (CCD) เพื่อเก็บข้อมูล ผู้วิจัยกำหนดค่าความคลาดเคลื่อนของขนาดของชิ้นงานพิมพ์ประกอบด้วยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของความยาว และเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทรงกระบอก ปัจจัยที่เลือกใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ ความหนาของชั้น (LH) และความเร็วในการพิมพ์ของกระบวนการพิมพ์ 3 มิติ (PS) จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าปัจจัย LH, PS และ LH² มีผลกระทบต่อ DE อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัย LH, LH² และ PS² มีผลกระทบต่อ LE อย่างมีนัยสำคัญ มากกว่านั้นการเพิ่มขึ้นของ LH ส่งผลกระทบบต่อ DE และ LE แบบขัดแย้งกัน ถ้าต้องการให้ DE และ LE มีค่าน้อยที่สุด เป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อกำหนดความหนาชั้น (LH) น้อยลงจะส่งผลให้ใช้เวลาการพิมพ์ชิ้นงานนานขึ้นและมีอุณหภูมิสะสมที่ชิ้นงานสูงขึ้นทำให้เกิดการหดตัวของพลาสติกมากขึ้น เหตุผลข้างต้นจึงทำให้ d ที่วัดได้จริงมีค่าน้อยกว่าค่า D อย่างชัดเจนและ DE มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อ LH ลดลง ในขณะที่เมื่อกำหนด LH มากขึ้นจะทำให้เกิดช่องว่างระหว่างชั้นพลาสติกมากขึ้นซึ่งเกิดจากการที่เส้นพลาสติกแต่ละชั้นไม่ยึดติดกัน แต่ถ้ากำหนด LH น้อยจะทำให้ความยาวของชิ้นงานน้อยกว่าค่า L เนื่องจากเกิดจากการหดตัวของวัสดุและไม่มีช่องว่างระหว่างชั้น นอกจากนี้ปัจจัย PS มีผลกระทบต่อ LE ค่อนข้างน้อย

ในอนาคตผู้วิจัยจะประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดแบบหลายจุดประสงค์เพื่อหาค่า LH และ PS ที่เหมาะสม และให้ค่าพาริตโตโซลูชัน (Pareto solution) เพื่อช่วยให้ผู้ผลิตมีตัวเลือกที่มีประสิทธิภาพและสามารถเลือกค่า การหาความเหมาะสมหรือหาประสิทธิภาพของความหนาที่เหมาะสม LH และ PS ที่เหมาะสมกับเงื่อนไขหรือความต้องการของผู้ผลิตได้ นอกจากนี้ผู้วิจัยจะเพิ่มการพิจารณาปัจจัยและค่าตอบสนองอื่นๆที่น่าสนใจเพื่อกำหนดระดับปัจจัยที่เหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

[1] S. R. Rajpurohit and H. K. Dave. 2018. "Effect of process parameters on tensile strength of FDM printed PLA part". Rapid Prototyping Journal, Vol. 24 (8): 1317-1324.
[2] I. Buj-Corral, A. Bagheri, and M. Sivatte-Adroer. 2021. "Effect of Printing Parameters on Dimensional Error, Surface Roughness and Porosity of FFF Printed Parts with Grid Structure". Polymers, Vol. 13 (8): 1213.

[3] M.-H. Hsueh, C.-J. Lai, C.-F. Chung, S.-H. Wang, W.-C. Huang, C.-Y. Pan, Y.-S. Zeng, and C.-H. Hsieh. 2021. "Effect of Printing Parameters on the Tensile Properties of 3D-Printed Polylactic Acid (PLA) Based on Fused Deposition Modeling". Polymers, Vol. 13 (14): 2387.
[4] M.-H. Hsueh, C.-J. Lai, K.-Y. Liu, C.-F. Chung, S.-H. Wang, C.-Y. Pan, W.-C. Huang, C.-H. Hsieh, and Y.-S. Zeng. 2021. "Effects of Printing Temperature and Filling Percentage on the Mechanical Behavior of Fused Deposition Molding Technology Components for 3D Printing". Polymers, Vol. 13 (17): 2910.
[5] S. Valvez, A. P. Silva, and P. N. B. Reis. 2022. "Optimization of Printing Parameters to Maximize the Mechanical Properties of 3D-Printed PETG-Based Parts". Polymers, Vol. 14 (13): 13.
[6] W. Yu, J. Shi, L. Sun, and W. Lei. 2022. "Effects of Printing Parameters on Properties of FDM 3D Printed Residue of Astragalus/Polylactic Acid Biomass Composites". Molecules, Vol. 27 (21): 7373.
[7] H. R. Vanaei, S. Khelladi, and A. Tcharkhtchi. 2022. "Roadmap: Numerical-Experimental Investigation and Optimization of 3D-Printed Parts Using Response Surface Methodology". Materials, Vol. 15 (20): 7193.
[8] ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบและการวิเคราะห์การทดลอง. สำนักพิมพ์ท็อป. กรุงเทพมหานคร

Formula Development of EVA Compound with Recycled EVA

Kittipat Jirvanstitt¹, Napassavong Osothsilp

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: kittipat.jira@gmail.com*

Abstract

This research was based on the case study factory manufacturing EVA foam compound. The factory had the aim to reduce the compound cost and increase the utilization of EVA scrap in the compound. Adding scrap definitely lowers the material cost but also affects the property of expansion. Therefore, the factory had an interest in developing the new formula with recycled plastic, which was scrapped, to give the targeted expansion length of 175 mm with the lowest material cost. The design of experiment and the stepwise regression analysis techniques were used to effectively find out the relationship between the expansion length and the significant factors. Half-factorial Central composite design was used because it provided the fewest number of experimental runs for the case of five factors under study, which were the proportion of EVA I in virgin resins, the proportion of recycled plastic, the amount of natural rubber compound (NNR), crosslinking agent (CA), and blowing agent (BA). It was found that significant terms were the main effects of NNR, CA, BA, the quadratic term of BA, and the interaction effect between NNR and recycle at the significance level of 0.05. The optimization technique was then used to determine the optimal formula. It was found that the optimal formula was when adding recycle up to 67.34% of the total resins, where 90% of EVA I was used in the virgin resins. With this proportion of resins, the suitable amount of NNR, CA, and BA were 10.38, 0.5, and 1.46 phr, respectively to give the expansion length on target with the lowest cost. With this optimal formula, the material cost was 63.26 baht/kg, equivalent to 4.15% reduction of the material cost of the original formula.

Keywords: EVA compound, Recycle, Foaming, Response surface design

1. Introduction

Thailand plastic industry has occupied an important place in both global and domestic plastic industry. According to plastic institute of Thailand, domestic plastic production is up to 4,968 kilotons annually. However, the use of recycled plastic is still a small proportion [1]. Many leading plastic companies have raised this awareness of recycled plastic and have initiated to utilize more recycled plastic. One of the convenient ways is to mix virgin plastic with recycle scrap in plastic production.

In this research, the case study company produces EVA foam compound pellet for plastic processing customers. The factory had an interest in utilizing more recycled plastic from the scrap to reduce the cost of compound, raise awareness of recycling plastic product, and decrease stock area of materials. Nevertheless, using recycle in plastic compound might deteriorate an important property of the compound, which was the expansion. However, using more recycled plastic reduces the total material cost. Thus, there is a need to find a formula, which lower the material cost and still reach the desirable expansion property of the compound.

2. Literature Review

EVA foam is a versatile product used by different end users from footwear to daily-use equipment. One of the main properties is the expansion, which is related to many factors, such as the amount of EVA, the blowing agent, and the crosslinking agent. Paiva et al. studied the usage of EVA mixed with EVA scrap of 15, 25, and 35 phr. Their study found that EVA scrap acted as a nucleation cell agent, which increased the foam cell density. The suitable EVA formula had added scrap of 25 phr [2]. The effect of crosslinking agent on foaming and expansion was also important. The study of Chen [3] found that crosslinking agent helped to structure the foam and kept released gas inside. Excessive crosslinking agent led to the disruption of the crosslink network of the EVA foam. Moreover, blowing agents added in EVA foam should correspond to the amount and the type of crosslinking agent. In addition, the DCP crosslink agent was widely and commercially used with an Azodicarbonamide blowing agent for the EVA footwear foam, due to economy cost and the efficiency [4]. Ján et al studied the relationship between DCP crosslink agent and EVA foam with rubber. The study found that adding rubber had a positive correlation to DCP. EVA foam mixed with DCP and rubber had more crosslink than the formula without rubber. High crosslinking lowered the expansion of the foam [5].

Besides the research of material, the statistical aspect was also important. Sirivimolphan et al. proposed a statistical method to determine the relationship between the bending strength of resin coated sand and the ratio of three types of sand and three types of resin used in resin coated sand production. They applied the CCD because this design excellently explains the quadratic term and has high quality of prediction. ANOVA technique and backward elimination regression analysis were conducted to determine the significant factors and form the model of bending strength [6]. Rakthongthai et al. applied Box-Behnken design, which is one of the response surface design (RSD) type, to study the effect of cleaning temperature, pressure, and electrodeposited paint voltage on the defective rate in a painting process. In this case, for 3 factors, applying Box-Behnken design required fewer number of experimental runs compared to other types of RSD [7].

Various studies have been done related to EVA compound. However, there were few researchers studying the interaction effects of resins and additives on the expansion property in the same experiment. Thus, this research proposed a practical method for developing the EVA foam formula mixed with recycled EVA scrap from the factory to minimize the compound cost and yield the expansion on target. The result of this study would benefit to lower the factory cost and motivate other factories in plastic industry to raise awareness of green and circular economy.

3. Material, Process and Method

3.1 Material

Producing EVA compound requires many materials, which are categorized into two parts: resins and additives. All materials of interest in this study were as follows: resins including EVA I, EVA II, and recycled EVA; the additives including natural rubber compound (NNR), blowing agent (BA), crosslinking agent (CA) and support additives. Support additives helps the compound to be well-mixed. In this study, the support additives were not studied. The properties and the cost of each resin and additive under study were shown in table 1 and 2, respectively. The original formula was a compound without recycle. EVA I and EVA II had a unit of percentage of total resins. NNR, BA, and CA had a unit of phr (part per hundred resins). Unlike percentage, phr unit was not limited to 100 parts of the total compound. Therefore, additives in resins commonly use phr unit, which allows additives to be flexibly added or reduced with the resins. When both weight units of the original formula were converted to percentage, the weight profile of

EVA I, EVA II, NNR, CA, BA and support additives were 63.2, 15.8, 15.8, 0.4, 1.3 and 3.5%, respectively.

The average cost per kilogram of the original formula EVA compound was 65 baht, which was majorly influenced by the costs of EVA I and EVA II. To minimize the cost, some portion of EVA I and II should be substituted by recycled plastic, which had lower cost. Nevertheless, the expansion property of product had to be also satisfied. Thus, there was a need to find the suitable proportion of all resins and all additives to meet the targeted expansion with the lowest cost.

Table 1 Properties of resins used in mixing compound

Name	Component	Melting point (°C)	Density (g/cm. ³)	Cost (Baht/kg)
EVA I	EVA with 18% VA content	86	0.941	62
EVA II	EVA with 28% VA content	70	0.953	65
Recycle	Scrap of EVA from the factory	70 - 86	0.869	37

Table 2 Properties of additives used in mixing compound

Name	Component	Specific Characters	Cost (Baht/kg)
NNR	Natural rubber compound	Density 1.32 g/cm. ³ Melting point 110 °C	64
CA	Dicumyl Peroxide	Melting point 38 - 40 °C	105
BA	Azodicarbonamide	Decompose 200 - 208 °C	168

3.2 Process

The manufacturing process of the EVA compound for the case study company consisted of three main steps: material preparation, mixing, and properties testing as shown in figure 1.

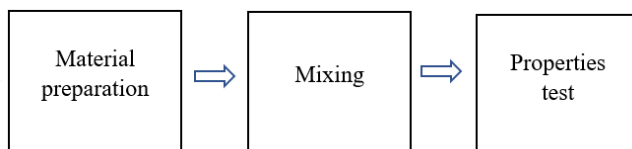


Figure 1 The case study process flow of EVA compounding

In the material preparation process, the resins and additives were weighed by a digital scale and filled into separate bags. Next, EVA I, EVA II, and NNR were mixed in the mixing chamber. In the case

of mixing with recycle, the recycled resin was also filled at the same time as filling EVA I, EVAII and NNR. Friction caused by the mixing of materials inside the chamber generated the heat and increased the temperature, leading to soften EVA and additives. As temperature was up to 105 °C, CA and BA were added. At temperature of 120 °C, mixed material dough was moved to a two-mill roller for calendaring dough into a flat sheet. To test the expansion length, 90 grams of compound sheet was pressed inside a compression mold at the temperature of 165 °C and the pressure of 9 bars for 350 seconds.

3.3 Method

There were six materials of interest in the experiment, which were the amount of EVA I, EVA II, recycle, NNR, CA and BA. Due to the limited space of the mixing chamber, the weight summation of the EVA I, EVA II, and recycle needed to be equal to 4,000 grams. If the amount of EVA I and recycle were determined, the amount of EVA II, which was dependent on the amount of these two materials, could be calculated. The amount of NNR, CA, and BA were determined independently as a portion compared to the amount of total resins. The unit of these additives was part per hundred resins (phr). Thus, there were only five independent factors in the study, which were 1) the percentage of EVA I in the sum of EVA I and EVA II, denoted as EVA I factor, 2) the percentage of recycle in the total resins, denoted as Recycle factor, 3) the amount of NNR in the unit of phr, 4) the amount of CA in the unit of phr, and 5) the amount of BA in the unit of phr.

To find the suitable formula of these materials, the design of experiment technique with the use of regression analysis was used to find the relationship equation between the expansion property of the compound and the significant factors. Then, the optimization technique was used to find the optimal solution for the new foam formula, which helped lower the material cost and gave the desirable expansion property of the compound.

Design selection was an important step before conducting the experiment. The researcher considered a mixture design and RSD. Mixture design was suitable for designing mixing components, which had to sum up to 100%. For this study, the mixture design was not suitable since any additive had the unit of phr, and then the resins and the additives did not need to sum up to 100% [8]. For example, 100 parts of resin with additive of 10 phr led to the total resin and additive of 110 parts. Therefore, the design choice left was RSD. However, RSD had several designs, such as CCD with full-factorial or half-factorial, and the Box-Behnken design. The

selection criteria were the number of experimental runs, the design resolution, and the prediction quality. In case of 5 factors, the half-factorial CCD needed only 32 experimental runs, compared to the Box-Behnken design with 46 runs. This half-factorial CCD had the resolution of V, which was high enough to neglect the confounding effects among the interaction terms. In addition, the quality of prediction was acceptable at all range of factor levels including the factorial runs, the center runs, and the axial runs.

The CCD design is rotatable in the sense that the points are all equidistant from the center. The distance between a center point and an axial point, α , is 2 for half-factorial CCD with five factors. This rotatable design provides an equal variance of prediction. After the half-factorial CCD was chosen, the levels of each factor were determined to cover the possible range of the amount of resins and additives that not causing significant number of defects or any damage to the machine and enable the mixing process to run properly. The experimental levels of each factor were shown in table 3.

Table 3 Factors levels used in the half-fractional CCD

Factor	Unit	Level				
		-2	-1	0	1	2
EVA I	% of virgin resin	10	30	50	70	90
Recycle	% of total resin	10	25	40	55	70
NNR	phr	10	15	20	25	30
CA	phr	0.5	0.75	1	1.25	1.5
BA	phr	1	1.55	2.1	2.65	3.2

All experimental runs were randomized when collecting the data. Next, the expansion length of the EVA foam of each experimental run after being released from a compression mold was measured. The length between two points on the foam sheet showed how much the foam had expanded. If there is no expansion, the length between two points on a foam is 100 mm. Table 4 shows the design matrix and the experimental results, which are the expansion length and the compounding cost of all experimental runs. After that, the regression analysis was performed to find out the relationship between the expansion length and the proportion of resins and additives. The regression model was then used by the optimization technique to calculate the optimal percentage of resins and phr of additives, which gave the minimal cost and still met the expansion target of 175 mm. Finally, the predicted expansion length by Minitab was tested in the actual production to verify its prediction error.

Table 4 Expansion lengths and compounding costs for experimental runs

Std order	EVAI (%)	REC (%)	NNR (phr)	CA (phr)	BA (phr)	Expansion (mm)	Cost (Baht/kg)
1	30	25	15	0.7	2.2	190	66.30
2	70	25	15	0.7	1.4	169	65.27
3	30	55	15	0.7	1.4	170	64.16
4	70	55	15	0.7	2.2	187.3	64.62
5	30	25	25	0.7	1.4	164	65.53
6	70	25	25	0.7	2.2	184.7	65.81
7	30	55	25	0.7	2.2	187.3	64.80
8	70	55	25	0.7	1.4	166.3	63.96
9	30	25	15	1.1	1.4	158	65.76
10	70	25	15	1.1	2.2	175.3	66.06
11	30	55	15	1.1	2.2	174.7	64.97
12	70	55	15	1.1	1.4	153	64.07
13	30	25	25	1.1	2.2	169	66.27
14	70	25	25	1.1	1.4	149	65.31
15	30	55	25	1.1	1.4	155	64.29
16	70	55	25	1.1	2.2	170.3	64.71
17	10	40	20	0.9	1.8	174.7	65.40
18	90	40	20	0.9	1.8	174.3	64.84
19	50	10	20	0.9	1.8	172.3	66.46
20	50	70	20	0.9	1.8	168.7	63.78
21	50	40	10	0.9	1.8	174.7	65.19
22	50	40	30	0.9	1.8	170	65.06
23	50	40	20	0.5	1.8	182	64.99
24	50	40	20	1.3	1.8	158.3	65.24
25	50	40	20	0.9	1	146	64.47
26	50	40	20	0.9	2.6	188	65.76
27	50	40	20	0.9	1.8	170	65.12
28	50	40	20	0.9	1.8	173.7	65.12
29	50	40	20	0.9	1.8	173	65.12
30	50	40	20	0.9	1.8	173	65.12
31	50	40	20	0.9	1.8	173	65.12
32	50	40	20	0.9	1.8	172	65.12

4. Result and Discussion

Model adequacy was checked by the residual analysis. The Normal probability plot of residuals with the p-value of 0.063 showed that the residuals were normally distributed at the

significance level of 0.05. The plot of Residual versus Fitted Value showed that the variance of the residuals can be assumed constant over fitted values. The plot of Residual versus Order showed a random pattern, which indicated independence of residuals. Since all assumptions for the model adequacy were valid, thus the model was proper to be used further.

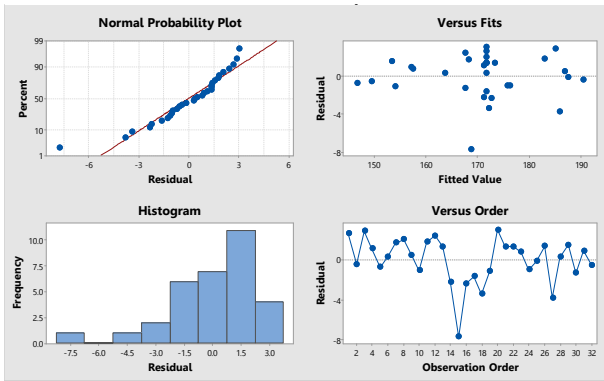


Figure 2 Residual plots

Next, stepwise regression analysis was performed in order to reduce the model to include only significant terms. The Analysis of Variance result shown in table 5 illustrated significant terms at the significance level of 0.05, which were three main effect terms: NNR, CA, and BA, one quadratic term: BA*BA, and one two-way interaction term: RECYCLE*NNR. The regression model was shown in equation 1.

Table 5 Analysis of variance showing significant terms

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	6	3620.69	603.45	94.67	0
Linear	4	3511.64	877.91	137.72	0
RECYCLE	1	1.35	1.35	0.21	0.649
NNR	1	100.45	100.45	15.76	0.001
CA	1	1199.92	1199.92	188.24	0
BA	1	2209.92	2209.92	346.68	0
Square	1	61.78	61.78	9.69	0.005
BA*BA	1	61.78	61.78	9.69	0.005
2-Way Interaction	1	47.27	47.27	7.41	0.012
RECYCLE*NNR	1	47.27	47.27	7.41	0.012
Error	25	159.36	6.37		
Lack-of-Fit	20	150.69	7.53	4.34	0.055
Pure Error	5	8.67	1.73		
Total	31	3780.05			

$$\text{Expansion (mm)} = 157.1 - 0.443\text{RECYCLE} - 1.326\text{NNR} - 35.35\text{CA} + 56.3\text{BA} - 8.97\text{BA*BA} + 0.023\text{RECYCLE*NNR} \quad (1)$$

The model had the high values of R^2 , $R^2(\text{adjust})$ and $R^2(\text{predict})$ of 95.78%, 94.77%, and 92.27%, respectively. Besides, according to table 5, the p-value for lack of fit of 0.055 indicated that there is no evidence that the model does not fit the data at the significance level of 0.05.

The main effect plots of significant factors were shown in figure 3. The main effects of EVA I and recycle, which were not statistically significant were not shown.

Next, the experimental results were discussed. Natural rubber in NNR had higher elasticity than the EVA. The high elasticity of NNR hindered the expansion of the EVA foam. The results corresponded to this fact. A negative effect of NNR was found in the main effect as shown in figure 2. CA was a main material to structure crosslinking network in the EVA foam, bond EVA into firm shape, and trap released gas of BA. Thus, a significant decrease in the expansion was observed as CA was more added. BA had a thermal decomposition reaction to release gas and expand EVA foam. The more BA added, the longer the expansion was. The result of ANOVA at significance of 0.05 showed that the quadratic term of BA was also significant. Thus, the change in expansion decreased at high level of BA because the saturation of gas inside the EVA foam obstructed the expansion.

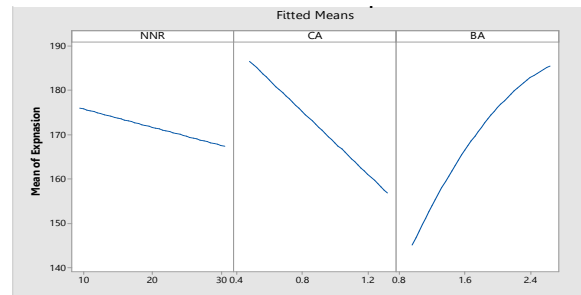


Figure 3 Main effect plots of NNR, CA and BA on expansion length of EVA foam.

Regarding the interaction effect between the amount of recycle and NNR, it can be explained by the surface plot in figure 4. The surface plot represented that at the low level of recycle, adding more NNR led to a decrease in expansion because NNR contained natural rubber suppressing expansion. On the other hand, at the high level of recycle, adding NNR led to a slight increase in expansion. The reason was that the modifier added at the high level of recycle could increase the softness of material and allowed the material to be blown and expanded easily. Therefore, at the high level of recycle, the effect of the modifier could overcome the

negative expansion effect of NNR, contributing to the higher expansion length.

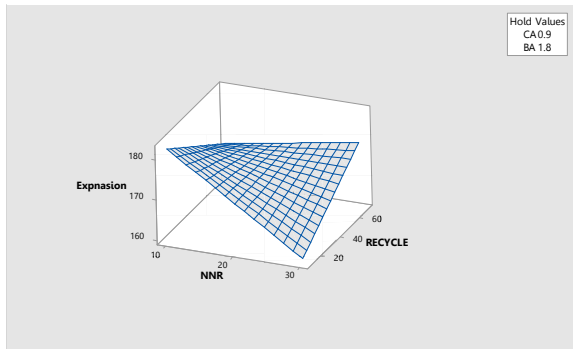


Figure 4 Surface plot of recycle and NNR

The interaction effect between the recycle and NNR could also be explained as follows: adding more recycle at low level of NNR, resulted in a decrease in expansion length because a sample with low level of recycle and NNR contained more virgin EVA material, which could accommodate the EVA foam expansion. As mentioned above, NNR had a negative effect on expansion, for this case of low NNR, the expansion would mainly depend on a change in recycle. As more recycle added in sample with low NNR, recycle suppressed the expansion by blocking the foaming procedure. On the contrary, adding more recycle at high level of NNR showed a significant increase in expansion, where the combination of low recycle and high NNR yielded the lowest expansion length. The reason was that NNR itself had a negative effect on the expansion. The sample with high NNR and low recycle, which expansion length was mainly influenced by high level of NNR, thus gave the lowest expansion length. However, this negative expansion effect of NNR was mitigated when more recycle was added because more modifier in recycle was now dominant, resulting in the increase in expansion.

5. Optimization and Verification

To verify that the regression equation well predicts the expansion value, the confirmatory experiments were conducted with 4 formulae of EVA compound as shown in table 6. It can be seen that the maximum percentage of error was 6.93%, which was acceptable for the factory requirement.

Table 6 Confirmatory experiments of expansion equation

No.	EVA1 (%)	RECYCLE (%)	NNR (phr)	CA (phr)	BA (phr)	Predict value (mm)	Actual value (mm)	Error (%)
1	80.0	10.0	30.0	0.50	1.74	173.00	163.7	5.39
2	79.9	50.0	30.0	0.83	1.83	173.03	172.0	0.60
3	77.9	70.0	23.5	0.98	1.93	173.00	161.0	6.93
4	90.0	67.3	10.4	0.50	1.46	175.00	173.0	1.14

The next step is to find the optimal formula of the EVA compound at the expansion target length of 175 mm with the lowest cost. The optimal solution, shown in table 7, was determined by the optimizer tool in Minitab. The optimal formula contained recycle at 67.34% of total resins, where in the virgin resins, 90% of EVA I was used. With this proportion of resins, the amount of NNR, CA, and BA were 10.38, 0.5, and 1.46 phr, respectively. The optimal formula gave the predicted value of expansion at 175 mm, which overpredicted the actual confirmatory result (173 mm) of 1.16%. This level of error was acceptable. The optimal formula helped lower the cost to 63.26 baht/kg, which was 4.15% lower than the cost of the original formula.

Table 7 Proportion of the original and the optimized formula.

Component	Original	Optimized
EVA I (%)	80	90
Recycle (%)	0	67.34
NNR (phr)	20	10.38
CA (phr)	0.6	0.5
BA (phr)	1.7	1.46
Cost (baht/kg)	66	63.26
Predicted value (mm)		175
Actual value (mm)		173
Prediction error (%)		1.16

6. Conclusion

This research proposed a statistical method to develop the EVA foam formula mixed with recycled EVA. Five factors in the formula were studied, which were the proportion of EVA I, the proportion of recycle, the amount of NNR, CA, and BA additives. With 5 factors, the Half-factorial Central Composite Design was selected to be used to do the experiment because this type of design required the fewest number of experimental runs in case of 5 factors. In addition, it provided the resolution of the design of V, which was satisfactory. Moreover, the CCD also gave good quality of prediction over entire

range of factor levels. Next, ANOVA and stepwise regression were conducted to determine the final model representing the relationship between the expansion length and the significant terms. The significant terms were the main effects of NNR, CA, BA, the quadratic term of BA, and interaction term between NNR and recycle. The optimal formula for the targeted expansion target length of 175 mm and the lowest cost was when using the recycle of 67.73% of total resins, 90% of EVA I was used in the virgin resins. With this proportion of resins, the suitable amount of NNR, CA, and BA were 10.38, 0.5, and 1.46 phr, respectively. This optimal formula helped lower the cost to 63.26 baht/kg., which equivalent to 4.15% reduction in the total material cost compared to that of the original formula.

Reference

- [1] Khanunthong, A., *THAILAND INDUSTRY OUTLOOK 2021-23 PLASTICS*. 2021, Krungsri Research.
- [2] Paiva, J., Cristiano, Z., Rogério, S., Fabiana, D.C., Williane, D.O., Lucineide, B., *Performance of ethylene vinyl acetate waste (EVA-w) when incorporated into expanded EVA foam for footwear*. Journal of Cleaner Production, 2021. **317**: p. 128352.
- [3] Chen, N. *The Effects of Crosslinking on Foaming of EVA*. 2012.
- [4] Coste, G., C. Negrell, and S. Caillol, *From gas release to foam synthesis, the second breath of blowing agents*. European Polymer Journal, 2020. **140**: p. 110029.
- [5] Ján, K., Simona, H., Andrea, K., Ivan, H., *Dicumyl Peroxide used as curing Agent for different Types of Rubber Matrices Part I: effect of Temperature*. ROHSTOFFE UND ANWENDUNGEN RAW MATERIALS AND APPLICATIONS, 2020.
- [6] Sirivimonpan P., Osothsilp, N., *Effects of Resin Coated Sand Mixture on Bending Strength and Cost*. Key Engineering Materials, 2018. **765**: p. 255-259.
- [7] Rakthongthai C., Osothsilp, N., *Reduction of Defective Rate from Crack Defects in Painting Process* Srinakharinwirot Engineering Journal, 2021.
- [8] Montgomery, D., *Design and Analysis of Experiments 10th Edition*. 2019: John Wiley & Sons, Inc.

การพัฒนาระบบต้นทุนมาตรฐานในกระบวนการผลิต

กรณีศึกษา : โรงงานผลิตติ่มซำสำเร็จรูปแช่แข็ง

The Development of a Standard Cost System in the Production Process

A Case Study of Frozen Dim Sum Factory

มนัสวี ตั้งเพียร* พิชิต พุ่มเกษร

สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือวิทยาเขตปราจีนบุรี

E-mail: manatsawee.ta@gmail.com*

Manatsawee Tangphien*, Pichet Pumkesorn

Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology and Management,

King Mongkut's University of Technology North Bangkok Prachinburi Campus

E-mail: manatsawee.ta@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาต้นทุนมาตรฐานในกระบวนการผลิตติ่มซำ และเพื่อวิเคราะห์ผลต่างระหว่างต้นทุนมาตรฐานเดิมกับต้นทุนมาตรฐานใหม่ ด้วยวิธีการเปรียบเทียบระหว่างราคาขายกับต้นทุนการผลิต และผลต่างของกำไรขาดทุนรายผลิตภัณฑ์ กลุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์สำหรับการจัดทำต้นทุนมาตรฐานครั้งนี้ คือ กลุ่มผลิตภัณฑ์ติ่มซำ โดยผู้วิจัยทำการเลือกกลุ่มผลิตภัณฑ์ติ่มซำที่มียอดขายสูงที่สุดของเดือนสิงหาคมปี 2565 จำนวน 10 ผลิตภัณฑ์ จากนั้นทำการศึกษาโดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลในด้านต่างๆ และศึกษาโครงสร้างของหน่วยงานในโรงงาน รายละเอียดของผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนในการผลิตของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง และวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนมาตรฐานเดิมในระบบโปรแกรมบัญชีสำเร็จรูป จากนั้นจึงเริ่มจัดทำต้นทุนมาตรฐานใหม่โดยคำนวณหาต้นทุนวัตถุดิบ ต้นทุนค่าแรงงาน และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต และนำเสนอแนวทางในการกำหนดต้นทุนมาตรฐานใหม่ให้กับโรงงานกรณีศึกษา ผลการศึกษาค้นคว้าพบว่า มีผลต่างของต้นทุนมาตรฐานเดิม ต้นทุนมาตรฐานใหม่ และราคาขาย มี 3 ผลิตภัณฑ์ มีการกำหนดราคาขายให้ได้กำไรเกิน 20% ขึ้นไป ซึ่งตรงตามเกณฑ์ที่ทางโรงงานกำหนด มี 6 ผลิตภัณฑ์ มีการกำหนดราคาขายให้ได้กำไรต่ำกว่า 20% ซึ่งไม่ตรงตามเกณฑ์ที่โรงงานกำหนดไว้ และมี 1 ผลิตภัณฑ์ มีการกำหนดราคาขายที่ต่ำกว่าต้นทุน ซึ่งส่งผลให้ขาดทุน และไม่ตรงตามเกณฑ์ที่โรงงานกำหนด

คำสำคัญ : ต้นทุนมาตรฐาน, กระบวนการผลิต, ติ่มซำ

Abstract

The objectives of this research were to develop a standard cost system for dim sum production process and to analyze the differences between the conventional standard cost and the new standard cost by comparing sales prices and production costs and analyzing the profit and loss differences of the products. The sample of this study consisted of dim sum product group, with the researchers selecting the top-selling dim sum products in August 2022, with 10 products in total. The study began by collecting data on various aspects and studying the structure of the organization in the factory, the details of the products, the production process of the sample products, and analyzing the old standard cost data in the accounting software package. The new standard cost was then developed by calculating raw material costs, labor costs, and production expenses, and presenting guidelines for the factory to set new standard costs. The results of the study found that there were differences in the old standard cost, the new standard cost, and the selling price. There were three products with a selling price that resulted in a profit of over 20%, which met the factory's criteria; Six products had a selling price that resulted in a profit of less than 20%, which did not meet the factory's criteria; One product had a selling price lower than the production cost, resulting in a loss and not meeting the factory's criteria.

Keywords: Standard cost, Production process, Dim sum

1. บทนำ

ปัจจุบันผู้บริโภคมีพฤติกรรมและความต้องการซึ่งเน้นไปที่ความสะดวกรวดเร็ว ความหลากหลาย และราคาที่เหมาะสม ผลจกกลายเป็นมาตรฐานใหม่ ทำให้ผู้ประกอบการในธุรกิจอุตสาหกรรมอาหารจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรที่สูงขึ้น เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการดังกล่าว อย่างไรก็ตามการปรับขึ้นราคาอาหารอาจเป็นเรื่องที่ทำได้ยาก ส่งผลให้ผู้ประกอบการต้องพยายามควบคุมต้นทุน ในขณะที่เดียวกันก็ต้องรักษาคุณภาพของสินค้า และบริการให้อยู่ในระดับที่ผู้บริโภคคาดหวัง จากสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบัน ต้นทุนรอบด้านของอุตสาหกรรมอาหารสูงขึ้น ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำนาย และมีผลกระทบต่อผู้ประกอบการในธุรกิจอุตสาหกรรมอาหารรวมถึงภาวะจากภาษีที่ดินและสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งเจ้าของที่ดินอาจผลักมายังผู้เช่า โดยต้นทุนต่างๆที่ปรับตัวสูงขึ้น น่าจะกระทบต่อผลกำไรสุทธิของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมอาหาร

ติ่มช้ำถือเป็นอาหารว่างหรืออาหารเรียกน้ำย่อยชั้นเยี่ยมที่นิยมกันมากในประเทศจีน โดยเฉพาะเมืองกว่างโจว ซึ่งมีชื่อเสียงเรื่องติ่มช้ำมาอย่างยาวนาน คำว่า "ติ่มช้ำ" นั้นเป็นการเรียกรวมอาหารหลากหลายชนิดซึ่งโดยส่วนมากจะเป็นอาหารประเภทห่อหนึ่ง อาทิเช่น ขนมจีบ ฮะเก๋า ซาลาเปา ผั้นโก๋ กุยช่าย โดยเสิร์ฟพามาในภาชนะใบเล็ก อาทิเช่น เหยงติ่มช้ำไม้ไผ่ หรือจานขนาดเล็ก

เนื่องจากร้านขายติ่มช้ำเป็นธุรกิจที่เริ่มต้นได้ง่าย จึงทำให้มีผู้ประกอบการรายใหม่ ๆ เกิดขึ้นได้อย่างเสมอ ทางผู้ประกอบการต้องมีสูตรเคล็ดลับในการทำติ่มช้ำเป็นเอกลักษณ์ และมีการสร้างตราของสินค้าหรือร้านค้าให้ผู้บริโภคจดจำ หากผู้ประกอบการร้านขายติ่มช้ำไม่มียอดขายหรือสาขาจำนวนมาก อำนาจในการต่อรองซื้อวัตถุดิบอาจจะน้อย และไม่สามารถเพิ่มมูลค่าสินค้าที่จำหน่ายเพื่อทดแทนส่วนกำไรจากซัพพลายเออร์ได้

ดังนั้นหากผู้ประกอบการไม่ทราบถึงต้นทุนในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ จะขาดความสามารถในการวางแผนงบประมาณได้ และไม่สามารถตั้งราคาขายที่เหมาะสมได้ การกำหนดราคาขายเป็นส่วนสำคัญสำหรับการแข่งขันทางด้านธุรกิจ จึงต้องคำนวณต้นทุนเพื่อที่จะตั้งราคาขายอย่างเหมาะสม ราคาของสินค้าและบริการที่กำหนดขึ้นต้องสอดคล้องกับกลยุทธ์เพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งสำหรับการตัดสินใจของผู้บริโภค การคำนวณต้นทุนครั้งนี้จะมีส่วนประกอบหลักคือ ต้นทุนทางวัตถุดิบ ต้นทุนค่าแรงงาน ต้นทุนค่าวัสดุการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการบัญชีต้นทุน

โดยทั่วไปแล้วนั้น วัตถุประสงค์เบื้องต้นของการจัดทำบัญชีของหน่วยงานต่างๆ ก็เพื่อให้ได้ข้อมูลทางการเงินที่แสดงถึงผลการดำเนินงานและฐานะทางการเงิน ตลอดจนการเติบโตของหน่วยงานนั้นๆ ดังนั้น การจัดทำบัญชี จึงเป็นเรื่องที่เกี่ยวกับการจัดบันทึก การรายงาน การวัดผลงาน ตลอดจนการวิเคราะห์และแปลตามหมายข้อมูล

ทางการเงินต่างๆ ที่เกิดขึ้นเพื่อประโยชน์แก่บุคคลต่างๆ เช่น ผู้ถือหุ้น นักลงทุน เจ้าหนี้ ผู้บริหาร เป็นต้น ซึ่งการนำข้อมูลทางบัญชีไปใช้ประโยชน์แก่บุคคลต่างๆ ก็มักมีความแตกต่างกันไปตามวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายของแต่ละบุคคล เช่น ผู้ถือหุ้น อาจจะมีการต้องการใช้ข้อมูลทางการเงินบัญชี เพื่อนำมากำหนดนโยบายทางการเงินของกิจการ นักลงทุนอาจต้องการใช้ข้อมูลทางการเงินบัญชีเพื่อที่จะตัดสินใจลงทุนในหน่วยงาน หรือการที่ผู้บริหารมีความจำเป็นที่จะใช้ข้อมูลทางการเงินบัญชีเพื่อการตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนและควบคุมการดำเนินงานของธุรกิจ [2]

2.2 ระบบบัญชีต้นทุน

การวิเคราะห์ต้นทุนเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการบริหารการผลิตซึ่งต้องดูแลด้านประสิทธิภาพการผลิต โดยเฉพาะด้านการลดต้นทุนการผลิตภายใต้สภาวะการแข่งขันทางการตลาดที่มีความรุนแรงมากขึ้น การวิเคราะห์ต้นทุนเพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างของต้นทุนการผลิตจะช่วยให้สามารถกำหนดนโยบายทางการเงินและทางการเงินได้ สำหรับในการลดและควบคุมต้นทุนการผลิตจะใช้ระบบต้นทุนมาตรฐานและการวิเคราะห์ความแปรปรวนของต้นทุนการผลิต เมื่อมีการกำหนดต้นทุนวัสดุทางตรง ต้นทุนแรงงานและค่าใช้จ่ายโรงงานไว้เป็นเกณฑ์มาตรฐานของต้นทุนและเมื่อมีการผลิตเกิดขึ้นจะมีต้นทุนที่เป็นค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นจริงถ้าค่าใช้จ่ายสูงกว่าหรือต่ำกว่ามาตรฐาน จะต้องมีการวิเคราะห์ความแปรปรวนและหาสาเหตุของปัญหาที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุน เพื่อวางแผนแนวทางในการลดและควบคุมต้นทุนที่มีประสิทธิภาพ [1]

2.3 ต้นทุนมาตรฐาน (Standard Cost)

ต้นทุนที่ได้มีการกำหนดไว้ล่วงหน้า ภายใต้สภาวะการณ์ของการทำงานที่มีประสิทธิภาพและกำลังการผลิตตามที่ได้มีการวางแผนไว้ ซึ่งการตั้งมาตรฐานต้นทุนนั้นเพื่อเป็นการควบคุมต้นทุนด้วยวิธีการเปรียบเทียบกับต้นทุนที่ได้จ่ายจริง (Actual Cost) กับต้นทุนมาตรฐาน (Standard Cos) การวิเคราะห์ต้นทุนที่เบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายตามแผนการดำเนินงานจะทำให้ทราบความบกพร่องในการดำเนินงาน และใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงการดำเนินงานให้ดีขึ้น ดังนั้นผู้จัดทำจะต้องใช้ความระมัดระวังในการจัดตั้งต้นทุนมาตรฐาน โดยอาศัยหลักเกณฑ์ที่สมเหตุสมผลและมีความรัดกุม [2] โดยสามารถคำนวณหาต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน ต้นทุนค่าแรงงานทางตรงมาตรฐาน และต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตมาตรฐาน ได้ดังสมการที่ (1) – (3)

$$DM = SQ \times SP \quad (1)$$

กำหนดให้

- DM = ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน
- SQ = ปริมาณวัตถุดิบมาตรฐาน
- SP = ราคาวัตถุดิบมาตรฐาน

$$DL = SR \times SH \quad (2)$$

กำหนดให้

DL = ต้นทุนค่าแรงงานทางตรงมาตรฐาน

SR = อัตราค่าแรงงานมาตรฐาน

SH = จำนวนชั่วโมงแรงงานมาตรฐาน

$$OH-F = (DM+DL) \times 20\% \quad (3)$$

กำหนดให้

OH-F = ต้นทุนค่าใช้จ่ายการผลิตมาตรฐาน

DM = ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน

DL = ต้นทุนค่าแรงงานทางตรงมาตรฐาน

2.4 การวิเคราะห์ผลต่าง (Analysis of Variance)

เมื่อต้องการที่จะวิเคราะห์และประเมินผลการดำเนินงานของฝ่ายผลิตว่ามีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ เราสามารถกระทำได้โดยการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตมาตรฐานที่ได้กำหนดขึ้นไว้ล่วงหน้ากับต้นทุนการผลิตจริง ส่วนที่แตกต่างกันเรียกว่า "ผลต่าง" (Variance) ซึ่งความสำคัญของผลต่างที่วิเคราะห์ได้ สามารถนำมาเป็นเครื่องมือที่จะชี้ถึงความมีหรือไม่มีประสิทธิภาพในการดำเนินงานเกี่ยวกับการผลิตได้ [2]

2.5 การศึกษาเวลา (Time Study)

เป็นเทคนิคของการวัดผลงานเพื่อหาเวลา และอัตราการทำงานของส่วนงานย่อยของงานชิ้นหนึ่ง และสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการทำงานชิ้นหนึ่งได้ ซึ่งการศึกษาเวลานี้จะเกี่ยวกับการวัดผลงานโดยตรง และผลที่ได้จะถูกกำหนดให้ออกมาหน่วยเป็นนาทีหรือวินาทีที่คนงานสามารถทำงานนั้นได้ตามวิธีการที่กำหนดให้ ซึ่งเวลาที่ได้ เรียกว่า เวลามาตรฐาน (Standard Time)

2.5.1 การกำหนดจำนวนวัฏจักร

จะบันทึกจับเวลาก็คือการหาขนาดของตัวอย่างในการบันทึกเวลา โดยทั่วไปเมื่อเรานับที่กเวลาเราจะพบว่า โอกาสที่จะบันทึกเวลาให้สามารถจับเวลาของหน่วยงานย่อยแต่ละงาน ให้มีค่าเวลาเดียวกันในทุกๆ วัฏจักรของงานที่จับได้เป็นเรื่องยากเนื่องจากความผิดพลาดในการจับเวลาหรือความไม่สม่ำเสมอในการทำงานของคนงาน หรือเพราะมีความแปรผันด้านอื่นๆ ของงาน ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องเก็บบันทึกข้อมูลเวลาหลายๆ รอบหรือหลายๆ วัฏจักรจากนั้นจะเลือกใช้เวลาที่ เป็นตัวแทนเวลาของงานย่อยแต่ละงาน โดยจะเลือกใช้ค่าเฉลี่ย (mean)

กรณีที่ข้อมูลมีขนาดน้อยกว่า 30 ข้อมูล ถ้าเราต้องการให้มีระดับความเชื่อมั่น 95% และความผิดพลาด $\pm 5\%$ สามารถคำนวณหาค่า N ได้ดังสมการที่ (4) [4]

$$N = \left(\frac{40(n)}{\sum_{i=1}^n X_i} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n X_i)^2}{n}}{n-1}} \right)^2 \quad (4)$$

3. วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อที่จะศึกษาและพัฒนา ระบบต้นทุนจริงที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตต้มชา และเพื่อกำหนด ต้นทุนมาตรฐาน กรณีศึกษา โรงงานผลิตต้มชาสำเร็จรูปแช่แข็ง โดยมีวิธีการดำเนินงานดังต่อไปนี้

1. ศึกษารายละเอียดข้อมูล และโครงสร้างของโรงงานกรณีศึกษา โรงงานที่ทำการศึกษาดังกล่าวเป็นส่วนหนึ่งของกลุ่มบริษัทที่ผลิตบะหมี่ แผ่นกึ่งต้มชาแช่แข็ง อาหารสำเร็จรูปแช่แข็ง โดยอธิบายโครงสร้างของหน่วยงานต่างๆในโรงงาน

2. เลือกและศึกษารายละเอียดของผลิตภัณฑ์การศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษากลุ่มผลิตภัณฑ์ต้มชาเท่านั้น ซึ่งทางโรงงาน กรณีศึกษา มีการผลิตต้มชาทั้งหมด 28 รายการ แต่การศึกษาค้นคว้านี้ได้ทำการเลือก มาเพียง 10 รายการ โดยใช้หลักพาเรโต 80 20 เป็นตัวตัดสินใจเลือก ผลิตภัณฑ์

3. ศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์การศึกษาครั้งนี้จะทำการศึกษาขั้นตอนการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยจะแสดงขั้นตอน ตั้งแต่กระบวนการเตรียมการผลิต จนกระทั่งนำผลิตภัณฑ์บรรจุ และแพ็ค

4. วิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนมาตรฐานเดิมของโรงงานในขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนมาตรฐานเก่าของโรงงาน ทางผู้ศึกษาได้รวบรวม ข้อมูลการใช้วัตถุดิบ ค่าแรง และค่าใช้จ่ายในการผลิต จากโปรแกรม บัญชีสำเร็จรูป (Business Plus) ในเดือนสิงหาคม 2565 มาคำนวณ ต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงต่อแพ็ค

5. พัฒนาค่าต้นทุนมาตรฐานใหม่ในขั้นตอนนี้เพื่อคำนวณหาต้นทุน มาตรฐานใหม่ ทางผู้ศึกษาได้ใช้ฐานข้อมูลในเดือนสิงหาคม ปี 2565 และในส่วนของการหาต้นทุนวัตถุดิบมาตรฐาน เพื่อหาต้นทุนวัตถุดิบต่อ หน่วย ทางผู้ศึกษาได้นำข้อมูลปริมาณวัตถุดิบที่เข้ามาจากสูตรการผลิต (BOM) และรวบรวมข้อมูลราคาวัตถุดิบจากใบรับสินค้าได้จากโปรแกรม บัญชี ในส่วนข้อมูลค่าแรงของพนักงานในแผนกต้มชาได้รวบรวมข้อมูล จากฝ่ายบัญชีของโรงงาน และค่าเสียการผลิตคิดตามนโยบายของ ผู้บริหาร

6. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลต่างของต้นทุนมาตรฐานเดิม-ใหม่ และ ราคาขายในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์เปรียบเทียบผลต่างของต้นทุน มาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่ และราคาขาย ว่ามีการตั้งราคาขาย ตามเกณฑ์ที่กำหนดหรือไม่ เราสามารถกระทำได้โดยการเปรียบเทียบ ต้นทุนการผลิตมาตรฐานและราคาขายได้ ซึ่งจะเห็นถึงส่วนที่แตกต่าง กันเรียกว่า "ผลต่าง"

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนมาตรฐานเก่าของโรงงาน

วิเคราะห์ข้อมูลต้นทุนมาตรฐานเดิมของโรงงาน สามารถคำนวณได้จากใบรับสินค้าเข้าคลังในโปรแกรมบัญชีสำเร็จรูป (Business Plus) โดยนำข้อมูลการใช้วัตถุดิบ ต้นทุนค่าแรง และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต ซึ่งเป็นต้นทุนมาตรฐานเดิมของทางโรงงาน โดยต้นทุนค่าแรง และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตเท่ากัน ซึ่งทางผู้ศึกษาได้ทำการเก็บข้อมูลหลังจากทางโรงงานได้ทำการปิดงวดในเดือนสิงหาคม 2565 แล้ว โดยแสดงต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงของทางโรงงานได้ดังตารางที่ 1

4.2 ผลการจัดทำต้นทุนมาตรฐานใหม่

การดำเนินงานในการจัดทำต้นทุนมาตรฐานใหม่ โดยใช้ข้อมูลในเดือนสิงหาคม 2565 ทางผู้ศึกษาได้วิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนการคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์ ดังต่อไปนี้

4.2.1 การคำนวณต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน

ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐานในการผลิต บาท/Batch ของทั้ง 10 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่างมา และขั้นตอนถัดไปทางผู้ศึกษาจะคำนวณหาต้นทุนวัตถุดิบทางตรงต่อหน่วยของทั้ง 10 ผลิตภัณฑ์ โดยได้แสดงการคำนวณได้ดังตารางที่ 2

4.2.2 การคำนวณต้นทุนค่าแรงทางตรงมาตรฐาน

ในขั้นตอนการคำนวณต้นทุนมาตรฐานค่าแรงทางตรง ทางผู้ศึกษาได้เริ่มทำการศึกษาหาเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตเมื่อคำนวณหาต้นทุนมาตรฐานค่าแรงทางตรงในกระบวนการผลิต และเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ที่เกี่ยวข้องของโรงงานกรณีศึกษา โดยการสัมภาษณ์ สอบถามและดูลักษณะการทำงานจริงโดยแสดงการตัวอย่างการคำนวณหาเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิตได้ดังตารางที่ 3

จากการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากอัตราค่าแรงงานของพนักงานแต่ละคนมีความแตกต่างกัน ทางผู้ศึกษาจึงขอใช้ค่าแรงงานขั้นต่ำเป็นมาตรฐานในการคิดครั้งนี้ โดยในเขตจังหวัดที่โรงงานกรณีศึกษาตั้งอยู่ โดยมีอัตราค่าแรงงานขั้นต่ำอยู่ที่ 353 บาทต่อวัน ซึ่งอัตราค่าแรงงานทางตรงหาได้จากมาตรฐานค่าแรงงานทางตรงหารด้วยจำนวนชั่วโมงแรงงานทางตรง และยึดอัตราค่าแรงขั้นต่ำในพื้นที่เป็นมาตรฐานในการคิดคำนวณหาต้นทุนค่าแรงทางตรงมาตรฐานแล้ว ทางผู้ศึกษาจะใช้ข้อมูลในส่วนนี้คิดคำนวณโดยแสดงการคำนวณได้ดังตารางที่ 4

4.2.3 การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตมาตรฐาน

ในขั้นตอนการคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตมาตรฐาน เนื่องจากทางโรงงานกรณีศึกษามีนโยบายในการตั้งเกณฑ์ค่าใช้จ่ายในการผลิตขั้นต่ำอยู่ที่ 20% ตามนโยบายของผู้บริหาร ซึ่งนำไปคูณกับผลรวมของต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน และต้นทุนค่าแรงทางตรงมาตรฐาน โดยแสดงการคำนวณหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตมาตรฐานได้ดังตารางที่ 5

4.2.4 การคำนวณต้นทุนมาตรฐานของผลิตภัณฑ์

หลังจากที่ได้คำนวณหาต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐาน ต้นทุนค่าแรงงานทางตรงมาตรฐาน และต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตมาตรฐาน แล้วทางผู้ศึกษาจะแสดงการคำนวณหาต้นทุนมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ทั้ง 10 ตัวอย่าง โดยแสดงได้ดังตารางที่ 6

4.3 ผลวิเคราะห์เปรียบเทียบผลต่างของต้นทุนมาตรฐานเดิม ต้นทุนมาตรฐานใหม่ และราคาขาย

จากนโยบายของผู้บริหารต้องการตั้งราคาขายให้ได้เกณฑ์กำไรขั้นต่ำอยู่ที่ 20% จากต้นทุนรวมต่อแพ็ค ผู้ศึกษาจึงสังเกตเห็นถึงความสำคัญถึงการตั้งราคาขายของโรงงานในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา และเพื่อให้เห็นถึงผลกำไร และขาดทุนจากการขายสินค้าในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา ทางผู้ศึกษาจึงได้นำข้อมูลราคาขายมาใช้ในการเปรียบเทียบเพิ่มเติมระหว่างต้นทุนมาตรฐานเดิมของโรงงาน และต้นทุนมาตรฐานใหม่ และราคาขาย โดยแสดงการเปรียบเทียบดังตารางที่ 7

ตารางที่ 1 ต้นทุนมาตรฐานเดิมของโรงงานจำนวน 10 ผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ผลผลิตมาตรฐาน (ลูก/Batch) (1)	ราคา (บาท/Batch) (2)	ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐานต่อหน่วย (บาท/ลูก) (2)/(1) = (3)	ปริมาณบรรจุ ต่อแพ็ค (ลูก) (4)	ต้นทุนวัตถุดิบทางตรงมาตรฐานต่อแพ็ค (บาท/แพ็ค) (3)x(4) = (5)
ฟองเต๋อู้	820.00	10,471.72	12.77	20.00	255.40
ขนมจีบกุ้ง	3,456.00	14,104.52	4.08	54.00	220.32
กุ้งมะนาว	560.00	4,824.00	8.61	20.00	172.20
สะเก๋จืดพรตติ	360.00	2,104.80	5.85	24.00	140.40
ไส้กึ่งจัมโบ้	1,032.00	10,015.91	9.71	24.00	233.04
หอยจืด	1,280.00	2,172.40	1.70	40.00	68.00
ซาลาเปร์รี่ไข่เย็น	330.00	3,032.24	9.19	6.00	55.08
สาหร่ายกุ้ง	1,095.00	4,288.80	3.92	15.00	58.80
ขนมจีบหมู	1,455.00	3,618.81	2.49	15.00	37.35
ซาลาเปร์รี่	1,128.00	3,027.00	2.68	12.00	32.16

ตารางที่ 2 การคำนวณหาต้นทุนวัตถุดิบทางตรง

ผลิตภัณฑ์	วัตถุดิบทางตรง (บาท)	ค่าแรงทางตรง (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการผลิต (บาท)	ต้นทุนรวมต่อหน่วย (บาท) (1)	ปริมาณบรรจุ ต่อแพ็ค (ลูก) (2)	ต้นทุนรวม (บาท/แพ็ค) (1)x(2) = (3)
ฟองเต๋อู้	9.92	0.83	0.83	11.58	20.00	231.60
ขนมจีบกุ้ง	2.65	0.83	0.83	4.31	54.00	232.74
กุ้งมะนาว	7.54	0.83	0.83	9.20	20.00	184.00
สะเก๋จืดพรตติ	0.58	0.83	0.83	2.24	24.00	53.76
ไส้กึ่งจัมโบ้	3.61	0.83	0.83	5.27	24.00	126.48
หอยจืด	0.35	0.83	0.83	2.01	40.00	80.4
ซาลาเปร์รี่ไข่เย็น	8.93	0.83	0.83	10.59	6.00	63.54
สาหร่ายกุ้ง	2.35	0.83	0.83	4.01	15.00	60.15
ขนมจีบหมู	0.49	0.83	0.83	2.15	15.00	32.25

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการคำนวณหาเวลามาตรฐานในกระบวนการผลิต

ขั้นตอนหลัก	ขั้นตอนย่อย	เวลาเฉลี่ย (รอบ) (1)	สปรนธ์ปรับแก้ (RF) (2)	เวลาปกติ (NT) (1)×(2) = (3)	เปอร์เซ็นต์เวลาเผื่อ (4)	เวลามาตรฐาน (3)×(4) = (5)
เตรียมการผลิต	1.เตรียมเครื่องจักร	16.53	+1.08	17.85	9%	19.46
	2.เตรียมแผนงานเจ้าหน้าที่	2.18	+1.08	2.63	9%	2.57
	3.ตัดขอบแผ่นาง	3.44	+1.08	3.72	9%	4.05
	4.นำใช้กับกึ่งวงกลมบนเครื่อง	1.27	+1.08	1.37	9%	1.50
ปั้นขึ้นรูป และบรรจุ	5.เปิดเครื่องปั้นขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และบรรจุ	180.57	+1.08	195.01	9%	212.56
แพ็ค	6.แพ็คด้วยกระดาษคอตตอน	38.88	+1.08	41.99	9%	45.77
รวม (นาที/Batch)		242.87		262.30		285.91

ตารางที่ 4 การคำนวณหาต้นทุนค่าแรงงานทางตรง

ผลิตภัณฑ์	จำนวนคนงาน (1)	ค่าแรงงานรายชั่วโมง (บาท/วัน) (2)	ต้นทุนค่าแรงงานรวม (บาท) (1)×(2) = (3)	อัตราค่าแรงงานทางตรง (บาท/นาที) (3)÷(4) = (4)	เวลาการผลิต (นาที/Batch) (5)	ต้นทุนค่าแรงงานทางตรง (บาท/Batch) (4)×(5) = (6)	ผลผลิตมาตรฐาน (เม็ด/Batch) (7)	ต้นทุนค่าแรงงานต่อเม็ด (บาท/เม็ด) (6)÷(7) = (8)
ฟองคำทุ้	6.00	353.00	2,118.00	4.41	132.74	585.72	41.00	14.29
ขนมจีบกุ้ง	3.00	353.00	1,059.00	2.21	285.91	630.79	64.00	9.88
กึ่งมะนาว	8.00	353.00	2,824.00	5.88	154.59	909.50	28.00	32.48
สะก๊อจกรพรรดิ	9.00	353.00	3,177.00	6.62	103.96	688.09	15.00	45.87
ไส้ก๊อจจัมโบ้	5.00	353.00	1,765.00	3.68	85.59	314.72	43.00	7.32
หอยจ๊อ	8.00	353.00	2,824.00	5.88	105.68	621.75	32.00	19.43
ซาลาเปาครีมไข่เยิ้ม	8.00	353.00	2,824.00	5.88	117.30	690.12	55.00	12.55
สาหร่ายกุ้ง	5.00	353.00	1,765.00	3.68	131.26	482.65	73.00	6.61
ขนมจีบหมู	3.00	353.00	1,059.00	2.21	153.28	338.17	97.00	3.49
ซาลาเปาครีม	10.00	353.00	3,530.00	7.35	202.27	1,487.53	94.00	15.82

ตารางที่ 5 การคำนวณหาต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุนวัตถุดิบทางมาตรฐานต่อเม็ด (บาท/เม็ด) (1)	ต้นทุนค่าแรงงานทางตรงมาตรฐานต่อเม็ด (บาท/เม็ด) (2)	ผลรวมต้นทุนวัตถุดิบทางมาตรฐาน และต้นทุนค่าแรงงานทางตรงมาตรฐาน (บาท/เม็ด) (1)+(2) = (3)	ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตมาตรฐานต่อเม็ด (บาท/เม็ด) (3)×20% = (4)
ฟองคำทุ้	255.40	14.29	269.69	53.94
ขนมจีบกุ้ง	220.32	9.86	230.18	46.04
กึ่งมะนาว	172.20	32.48	204.68	40.94
สะก๊อจกรพรรดิ	140.40	45.87	186.27	37.25
ไส้ก๊อจจัมโบ้	233.04	7.32	240.36	48.07
หอยจ๊อ	68.00	19.43	87.43	17.49
ซาลาเปาครีมไข่เยิ้ม	55.08	12.55	67.63	13.53
สาหร่ายกุ้ง	58.80	6.61	65.41	13.08
ขนมจีบหมู	37.35	3.49	40.84	8.17
ซาลาเปาครีม	32.16	15.82	47.98	9.60

ตารางที่ 6 การคำนวณหาต้นทุนมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ทั้ง 10 ผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง

ผลิตภัณฑ์	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนมาตรฐานเก่า และต้นทุนมาตรฐานใหม่	ต้นทุนต่อเม็ด (บาท) (1)	ราคาขายต่อเม็ด (บาท) (2)	ผลต่างกำไรขาดทุน (บาท) (2)-(1) = (3)	เปอร์เซ็นต์กำไรขาดทุน (3)÷(2)×100 = (4)
ฟองคำทุ้	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	231.80 323.83	300.00 300.00	68.40 -23.82	23.00% -8.00%
ขนมจีบกุ้ง	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	232.74 276.22	378.00 378.00	145.26 101.78	38.00% 27.00%
กึ่งมะนาว	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	184.00 245.82	300.00 300.00	116.00 54.38	39.00% 18.00%
สะก๊อจกรพรรดิ	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	53.78 223.52	240.00 240.00	188.24 16.48	78.00% 7.00%
ไส้ก๊อจจัมโบ้	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	126.48 288.43	312.00 312.00	185.52 23.57	59.00% 8.00%
หอยจ๊อ	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	80.4 104.92	280.00 280.00	199.6 175.08	71.00% 63.00%
ซาลาเปาครีมไข่เยิ้ม	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	63.54 81.16	84.00 84.00	20.46 2.84	24.00% 3.00%
สาหร่ายกุ้ง	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	60.15 78.49	90.00 90.00	29.85 11.51	33.00% 13.00%
ขนมจีบหมู	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	32.25 49.01	75.00 75.00	42.75 25.99	57.00% 35.00%
ซาลาเปาครีม	ต้นทุนมาตรฐานเก่า ต้นทุนมาตรฐานใหม่	88.56 57.58	80.00 80.00	-8.56 2.42	-48.00% 4.00%

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบระหว่างต้นทุนมาตรฐานเดิม ต้นทุนมาตรฐานใหม่ และราคาขาย

ผลิตภัณฑ์	ต้นทุนวัตถุดิบทางมาตรฐานต่อเม็ด (บาท/เม็ด) (1)	ต้นทุนค่าแรงงานทางตรงมาตรฐานต่อเม็ด (บาท/เม็ด) (2)	ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตมาตรฐานต่อเม็ด (บาท/เม็ด) (3)	ต้นทุนมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ต่อเม็ด (บาท/เม็ด) (1)+(2)+(3) = (4)
ฟองคำทุ้	255.40	14.29	53.94	323.63
ขนมจีบกุ้ง	220.32	9.86	46.04	276.22
กึ่งมะนาว	172.20	32.48	40.94	245.62
สะก๊อจกรพรรดิ	140.40	45.87	37.25	223.52
ไส้ก๊อจจัมโบ้	233.04	7.32	48.07	288.43
หอยจ๊อ	68.00	19.43	17.49	104.92
ซาลาเปาครีมไข่เยิ้ม	55.08	12.55	13.53	81.16
สาหร่ายกุ้ง	58.80	6.61	13.08	78.49
ขนมจีบหมู	37.35	3.49	8.17	49.01
ซาลาเปาครีม	32.16	15.82	9.60	57.58

จากตารางที่ 7 การเปรียบเทียบผลต่างของต้นทุนมาตรฐานเดิม ต้นทุนมาตรฐานใหม่ และราคาขาย พบว่ามี 3 ผลิตภัณฑ์ หรือร้อยละ 30% ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คือผลิตภัณฑ์ ขนมจีบกุ้ง ขนมจีบหมู หอยจ๊อ มีการกำหนดราคาขายให้ได้กำไรเกิน 20% ขึ้นไป ตรงตามเกณฑ์ที่โรงงานกำหนด และพบว่ามี 6 ผลิตภัณฑ์ หรือร้อยละ 60% ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คือผลิตภัณฑ์ กึ่งมะนาว สะก๊อจกรพรรดิ ไส้ก๊อจจัมโบ้ ซาลาเปาครีมไข่เยิ้ม สาหร่ายกุ้ง ซาลาเปาครีม มีการกำหนดราคาขายให้ได้กำไรต่ำกว่า 20% ซึ่งไม่ตรงตามเกณฑ์ที่โรงงานกำหนด นอกจากนี้ยังพบว่ามี 1 ผลิตภัณฑ์ หรือร้อยละ 10%

ของผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง คือ ฟองเต้าหู้ มีการกำหนดราคาขายที่ต่ำกว่าต้นทุนมาตรฐานใหม่ ซึ่งส่งผลทำให้ขาดทุนจากการขาย และไม่ตรงตามเกณฑ์การกำหนดกำไรขั้นต่ำที่โรงงานกำหนดไว้

5. สรุปผลการดำเนินงาน

จากผลการศึกษา พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ยังคงมีกำไรขั้นต่ำตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดจำนวน 3 ผลิตภัณฑ์ คือ ขนมจีบกุ้ง ขนมจีบหมูหอยจ้อ มี 8 ผลิตภัณฑ์ คือ กุ้งมะนาว สะเก๋จักรพรรดิ ใส้เกี้ยวจัมโบ้ ซาลาเปาครีมไข่เยี่ยวกุ้ง ซาลาเปาครีม มีกำไรขั้นต่ำต่ำกว่า 20% และมี 1 ผลิตภัณฑ์ คือ ฟองเต้าหู้ มีการกำหนดราคาขายที่ต่ำกว่าต้นทุน ซึ่งส่งผลทำให้เกิดสถานะขาดทุน

โดยการต้นทุนมาตรฐานใหม่ที่ทางผู้ศึกษาได้จัดทำขึ้น มีผลต่างกำไรขาดทุนของผลิตภัณฑ์คือ ฟองเต้าหู้ผลต่าง -23.62บาท หรือคิดเป็นผลขาดทุน 8.00% ขนมจีบกุ้งผลต่าง 101.78 บาท หรือคิดเป็นกำไรขั้นต่ำ 27.00% กุ้งมะนาวผลต่าง 54.38 บาท หรือคิดเป็นกำไรขั้นต่ำ 18.00% สะเก๋จักรพรรดิผลต่าง 16.48 บาท หรือคิดเป็นกำไรขั้นต่ำ 7.00% ใส้เกี้ยวจัมโบ้ผลต่าง 23.57 บาท หรือคิดเป็นกำไรขั้นต่ำ 8.00% หอยจ้อผลต่าง 175.08 บาท หรือคิดเป็นกำไรขั้นต่ำ 63.00% ซาลาเปาครีมไข่เยี่ยวกุ้งผลต่าง 2.84 บาท หรือคิดเป็นกำไรขั้นต่ำ 3.00% ซาลาเปาครีมผลต่าง 11.51 บาท หรือคิดเป็นกำไรขั้นต่ำ 13.00% ขนมจีบหมูผลต่าง 25.99 บาท หรือคิดเป็นกำไรขั้นต่ำ 35.00% และ ซาลาเปาครีมผลต่าง 2.42 บาท หรือคิดเป็นกำไรขั้นต่ำ 4.00%

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. การคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ถูกต้องและใกล้เคียงกับข้อมูลปัจจุบัน ควรตรวจสอบและเปรียบเทียบถึงปริมาณการใช้วัตถุดิบในสูตรการผลิต (BOM) รวม และควรมีการปรับสูตรการผลิตในสูตรการผลิต (BOM) ในระบบโปรแกรมบัญชี (Business Plus) ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลง

2. ข้อมูลราคาวัตถุดิบควรทำการอัปเดตราคาในระบบโปรแกรมบัญชี (Business Plus) ทุกๆ 2 เดือน เพื่อให้ได้ข้อมูลต้นทุนวัตถุดิบที่เป็นปัจจุบัน

3. การเปรียบเทียบผลต่างระหว่างต้นทุนมาตรฐานเดิม ต้นทุนมาตรฐานใหม่ และราคาขาย พบว่ามีจำนวน 8 ผลิตภัณฑ์ที่มีการกำหนดราคาขายที่ผิดพลาดทำให้ได้กำไรต่ำกว่า 20% ฝ่ายการตลาดควรใช้เกณฑ์ต้นทุนมาตรฐานใหม่มาปรับราคาขายใหม่แต่บวกกำไรไม่เกิน 20% เพราะการปรับราคาสูงเกินไปอาจส่งผลให้เสียลูกค้าได้

4. ธุรกิจที่ให้ฝ่ายการตลาดเป็นผู้กำหนดราคา ควรที่จะมีการประชุมกับทางโรงงาน เพื่อทบทวนเรื่องต้นทุนของการผลิต และเรื่องราคาวัตถุดิบทุกๆ 2-4 เดือน

เอกสารอ้างอิง

- [1] อุกฤษ์ สายสิทธิ์. การวิเคราะห์ความแปรปรวนระหว่างต้นทุนมาตรฐานกับต้นทุนจริง วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [2] อิทธิผล ไชยนาพันธ์. การจัดทำโครงสร้างต้นทุนมาตรฐานการผลิตโดยใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนกิจกรรม วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการพัฒนางานอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2555.
- [3] สมนึก เอื้อจิระพงษ์พันธ์. การบัญชีต้นทุน1 (Cost Accounting 1). กรุงเทพมหานคร : แมคกรอฮิล, 2540.
- [4] กิ่งแก้ว สุณา และคณะ. การปรับปรุงกระบวนการผลิตก่อนซื้อเห็ดโดยใช้เทคนิคการศึกษาการทำงานและการศึกษาเวลา วิทยานิพนธ์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2564.
- [5] อรเอม วัดเล็กนียกุล. การประยุกต์ใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม เพื่อกำหนดต้นทุนมาตรฐาน กรณีศึกษา : บริษัทฉีดขึ้นรูปพลาสติกแห่งหนึ่ง ในเขตจังหวัดระยอง วิทยานิพนธ์บัญชีมหาบัณฑิต คณะการจัดการและการท่องเที่ยว, 2562.
- [6] กันภริมย์ ฉัตรพุทธรักษา. การศึกษาวิธีการคำนวณต้นทุนวิธีการบัญชีต้นทุนฐานกิจกรรม กรณีศึกษา : บริษัทผลิตบรรจุภัณฑ์ชนิดอ่อน วิทยานิพนธ์บัญชีมหาบัณฑิต สาขาบัญชี คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2562.
- [7] พิเชษฐ์ ปานูราช. การบัญชีต้นทุนมาตรฐาน : กรณีศึกษา บริษัทผลิตสื่อพิมพ์ จำกัด วิทยานิพนธ์บัญชีมหาบัณฑิต สาขาบัญชี คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2564.

การปรับปรุงรถเข็นในงานก่อสร้างโดยใช้หลักการยศาสตร์ Improvement the Construction Cart using Ergonomics Principles

อำพล สานสุข ปิติภัทร์ ไพโรศรี ธีรวัฒน์ สุวรรณวัฒน์
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: teerawat.suw@rmutr.ac.th*

Amphon Sansook, Pitipat Paisri, Teerawat Suwannawat

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

E-mail: teerawat.suw@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมก่อสร้างมักมีความเสี่ยงด้านกรายศาสตร์โดยเฉพาะงานที่มีการขนย้ายสิ่งของ ซึ่งอาจจะส่งผลให้พนักงานมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บแบบสะสมเรื้อรัง และนำไปสู่ความผิดปกติของระบบ กล้ามเนื้อและกระดูกโครงร่างจากการทำงาน การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงท่าทางในการทำงานของพนักงานแบก/หามในการใช้รถเข็นในงานก่อสร้าง จากนั้นได้ดำเนินการประเมินทางด้านการยศาสตร์ด้วยแบบสอบถามความเมื่อยล้าจากการทำงานแยกตามส่วนของร่างกายของกลุ่มตัวอย่างและดำเนินการประเมินความเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA ผลจากการประเมินด้วยวิธีการ REBA พบว่า ระดับความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับไม่ได้ และมีความเสี่ยงสูงสุดในขั้นตอนการยกรถเข็นและการวางรถเข็น ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงรถเข็นที่ใช้ในการทำงานใหม่โดยอาศัยหลักการทางกรายศาสตร์ ผลจากการวิจัยพบว่าอาการบาดเจ็บที่มือ ข้อมือ หลัง คอ และแขนมีอาการลดลง

คำสำคัญ: การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์, รถเข็นงานก่อสร้าง, REBA

Abstract

In construction industry with ergonomic risk, worker are vulnerable to cumulative trauma that leads to work-related musculoskeletal disorders. Therefore, this study aims to improve the ergonomic of carrying workers using the construction cart. The study preparation involved the of data on workers used construction carts. Then, collected data on personal details and muscular fatigue problem among sample group by using body discomfort questionnaire. Ergonomics risk assessment of working posture was conducted by using REBA and invested ergonomics risk management. Therefore, the assessment result by using REBA showed that the assessment of work posture by using REBA had the level of risk that was unacceptable. The results of the assessment of ergonomics It was found that the sample group had the highest risk of lifting and placing position. The construction cart was improved by ergonomics consideration were implemented. The results showed that the risk factors related to the hand, wrists, back, neck and arms injuries was decreased.

Keywords: Ergonomics Risk Assessment, Construction cart, REBA

1. บทนำ

การเจ็บป่วยกระดูกหรือกล้ามเนื้อจากการปฏิบัติงาน เป็นปัญหาหนึ่งที่พบมากในสถานประกอบการหรือตามพื้นที่ปฏิบัติงานก่อสร้างทั่วไป โดยมีสาเหตุเกิดมาจากปัจจัยหลายอย่างประกอบกันและการประกอบอาชีพเป็นปัจจัยหนึ่งของการเกิดโรคทั้งนี้ปัจจัยต่างๆ ที่มีส่วนทำให้เกิดโรค อาจได้แก่ พันธุกรรม พฤติกรรมสุขภาพของคนประกอบอาชีพ ท่าทางการประกอบอาชีพ ลักษณะหรือระบบงานที่ไม่เหมาะสม ตัวอย่างเช่น โรคปวดหลังจากการประกอบอาชีพ โรคความดันโลหิตสูง เป็นต้น การเกิดโรคจากการประกอบอาชีพ ถ้ามีปัจจัยจากภายนอกมาทำให้เกิดโรค ก็ถือเป็นโรคจากอาชีพ แต่ถ้ามีสาเหตุจากปัจจัยส่วนตัวร่วมกับสภาพและสิ่งแวดล้อมการประกอบอาชีพทำให้อาการของโรคมักขึ้น หรือเกิดความผิดปกติชัดเจนยิ่งขึ้น ก็ถือเป็นกลุ่มโรคเนื่องจากการประกอบอาชีพ เช่น โรคปวดหลัง ซึ่งคนที่มีอริยาบถไม่ถูกต้องมีแนวโน้มปวดหลังได้ง่าย [1] เมื่อต้องมาประกอบอาชีพแบบรีบเร่งหรือขนย้ายของหนัก ๆ ก็ยิ่งทำให้ปวดหลังง่ายขึ้นหรือทำให้อาการปวดหลังกำเริบมากยิ่งขึ้น

งานก่อสร้างพนักงานส่วนใหญ่จะเป็นการปฏิบัติงานที่ใช้แรงงานคนในการปฏิบัติงานโดยมีอุปกรณ์ต่างๆในการช่วยปฏิบัติงาน จึงทำให้พบปัญหาของอาการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อหรือบาดเจ็บของกระดูกทางกายศาสตร์ที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานของพนักงานตามพื้นที่ปฏิบัติงานก่อสร้าง โดยอาการส่วนมากพบว่าเป็นอาการปวดแขนและอาการปวดหลังอันเนื่องมาจากการปฏิบัติงานที่ไม่เหมาะสมของผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งทำให้ส่งผลถึงสุขภาพ และความสะดวกในการปฏิบัติงาน อันเนื่องมาจากท่าทางที่ผิดธรรมชาติในการปฏิบัติงานนั้นจะส่งผลต่อกระดูกและกล้ามเนื้อ นอกจากนั้นยังพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องทางกายศาสตร์ในด้านท่าทางการปฏิบัติงาน เป็นสาเหตุของการเกิดอุบัติเหตุและอาการบาดเจ็บเนื่องจากการปฏิบัติงาน

งานก่อสร้างมักพบลักษณะท่าทางการปฏิบัติงานของพนักงานที่มีท่าทางผิดธรรมชาติมากที่สุดได้แก่ งานแบก/หาม ซึ่งมีงานย่อยแบ่งออกได้ดังนี้ เช่น การแบกหิน การแบกทราย การแบกอิฐ การแบกปูน เป็นต้น [2] เนื่องจาก งานแบก/หาม นั้นจะมีการใช้งานอุปกรณ์ในการช่วยขนย้าย ได้แก่ รถเข็นในงานก่อสร้าง ซึ่งพนักงานที่ใช้รถเข็นในงานก่อสร้าง เพื่อจะใช้ในการขนย้าย เช่น การขนหิน การขนทราย การขนอิฐ การขนปูน เป็นต้น ซึ่งได้มีลักษณะท่าทางการปฏิบัติงานที่ไม่เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์ จึงได้สนใจที่จะทำการพัฒนาและปรับปรุงแก้ไขรถเข็นในงานก่อสร้างเพื่อช่วยลดท่าทางผิดธรรมชาติและ การออกแรงในการปฏิบัติงานของพนักงาน เพื่อให้มีท่าทางการปฏิบัติงานที่เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์มากยิ่งขึ้น และยังช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดปัญหาทางกายศาสตร์ซึ่งส่งผลต่ออาการบาดเจ็บของพนักงานให้ดียิ่งขึ้นไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การยศาสตร์

เออร์โกโนมิกส์ (Ergonomics) หรือการยศาสตร์มาจากภาษากรีกซึ่งประกอบด้วย 2 คำ คือ "ergon" หมายถึง การงานอาชีพ (work) และ "nomos" หมายถึง กฎธรรมชาติ (natural law) หรือวิทยาศาสตร์จึงอาจสรุปความหมายของเออร์โกโนมิกส์ได้ว่าเป็นศาสตร์ที่เกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างคนกับสภาพแวดล้อมในการทำงาน เพื่อที่จะนำไปประยุกต์หรือปรับปรุงสภาพของงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงานและทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพ รวมทั้งทำให้ผู้ปฏิบัติงานมีความเป็นอยู่และสุขภาพอนามัยที่ดี คำว่าเออร์โกโนมิกส์ ได้ใช้เป็นครั้งแรกในประเทศอังกฤษเมื่อมีการก่อตั้ง The Ergonomics Society ขึ้นในปี ค.ศ. 1949 [3]

2.2 แบบสอบถามอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก Nordic questionnaires

Nordic Council of Ministers ได้พัฒนาแบบสอบถามมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์อาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก (Standardized Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms) เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับอาการผิดปกติในส่วนต่างๆ ของร่างกาย โดยอาจจะใช้วิธีการสัมภาษณ์ หรือให้ผู้ตอบแบบสอบถามตอบด้วยตนเองก็ได้ แบบสอบถามดังกล่าวพัฒนาขึ้นเป็นครั้งแรกโดยใช้ภาษา Swedish และ Danish แล้วได้มีการแปลออกมาเป็นภาษาต่างๆ ทั่วโลก วัตถุประสงค์หลักของแบบสอบถามนี้คือ การใช้เป็นเครื่องมือในการกรองปัญหาด้านการยศาสตร์ที่เกี่ยวกับอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูก และใช้เป็นข้อมูลในการบริการด้านอาชีวอนามัย แบบสอบถามนี้ยังใช้เป็นการวัดผลลัพธ์ของการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกได้ การใช้แบบสอบถามนี้ในการค้นหาหรือการกรองปัญหาอาการผิดปกติของกล้ามเนื้อและกระดูกอาจใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมในการทำงาน การออกแบบสถานีงาน และการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้งาน การใช้แบบสอบถามนี้ในเชิงอาชีวอนามัยอาจใช้ในการวิเคราะห์ความเครียดในการทำงาน การติดตามผลที่ได้จากการปรับปรุงสภาพแวดล้อมในการทำงาน [4]

2.3 ทฤษฎีการประเมินทางกายศาสตร์ของ REBA (Rapid Entire Body Assessment)

วิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกาย REBA (Rapid Entire Body Assessment) เป็นการประเมินท่าทางการทำงานที่เป็นการประเมินตั้งแต่ส่วนของ คอ ลำตัว ขา แขน และมือ เป็นเทคนิคที่คิดค้นโดย ซูเอิกเน็ต (Sue Hignett) ซึ่งเป็นนักการยศาสตร์ของโรงพยาบาลแห่งเมือง Nottingham ประเทศสหราชอาณาจักร และ Lyn McAtamney ผู้อำนวยการของบริษัทที่ให้บริการทางด้านการยศาสตร์และอาชีวอนามัย (Occupational health and ergonomic services Ltd.) ในประเทศสหราชอาณาจักรเช่นกัน การประเมินด้วยวิธี REBA จะเหมาะสำหรับ

การประเมินส่วนต่างๆของร่างกายสำหรับงานที่มีลักษณะเปลี่ยนท่าทางอย่างรวดเร็วหรืองานที่ไม่อยู่กับที่ งานที่ไม่นั่งหรือยืนปฏิบัติงานในท่าทางเดิมๆ ซ้ำๆ ตลอดเวลา รวมถึงงานที่มีท่าทางการทำงานที่ไม่สามารถคาดเดาได้ [5] การประยุกต์ใช้การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA ทั้งทางปรับปรุงกระบวนการทำงาน สถานะงานหรือทางปรับปรุงอุปกรณ์การทำงาน เช่น การปรับปรุงทางงานยกย้ายของการผลิตสุกภัณฑ์ [6] การปรับปรุงรถเข็นสำหรับยกของ [7] เป็นต้น

การประเมินท่าทางการทำงานด้วยวิธี REBA ควรมีการดำเนินการตามลำดับดังนี้

1. การเตรียมการ
ในขั้นตอนนี้ผู้ประเมินควรต้องชี้แจงผู้ปฏิบัติงานที่จะได้รับการประเมินเพื่อสื่อสารวัตถุประสงค์ของการประเมินให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับทราบ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานอย่างเป็นปกติ ไม่เกิดการเกร็ง หรือทำงานเป็นท่าทางที่แตกต่างไปจากการปฏิบัติงานประจำ หลังจากนั้นผู้ประเมินควรต้องสัมภาษณ์ลักษณะงานและขั้นตอนการทำงานของผู้ปฏิบัติงานรวมทั้งสังเกตการณ์ทำงาน ท่าทางการเคลื่อนที่ของผู้ปฏิบัติงาน หลายๆรอบของการทำงานเพื่อให้เข้าใจลำดับและขั้นตอนการทำงาน รอบเวลาที่ใช้ตำแหน่ง และท่าทางผู้ปฏิบัติงาน รวมถึงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้งานประกอบการปฏิบัติงาน ทั้งนี้เพื่อให้สามารถประเมินได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. การเลือกงานที่จะประเมิน
การประเมินด้วยวิธี REBA สามารถประเมินได้อย่างรวดเร็วจึงทำให้สามารถประเมินได้หลายตำแหน่งและหลายงานในรอบของการทำงาน การประเมินด้วย REBA สามารถประเมินเพียงร่างกายด้านซ้ายหรือด้านขวาเพียงด้านเดียวก็ได้ หรือในกรณีที่ทำเป็นอาจจะประเมินทั้ง 2 ด้านก็ได้ การเลือกท่าทางที่จะประเมินอาจพิจารณาดังนี้

- (1) เป็นท่าทางหรืองานที่ยากที่สุด (จากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงาน และจากการสังเกตของผู้ประเมิน)
- (2) เป็นท่าทางที่ใช้เวลานานที่สุด
- (3) เป็นท่าทางที่ต้องมีการใช้แรงมากที่สุด

3. การประเมินด้วยแบบประเมิน REBA
การประเมินด้วย REBA ได้มีการจัดทำเป็นรูปแบบ แบบประเมินเพื่อให้ง่ายต่อผู้ประเมินในการประเมินในพื้นที่ปฏิบัติงาน มีการประเมินเป็น 2 กลุ่มหลักคือ กลุ่ม A ประกอบด้วยการประเมินคอ ลำตัว และขา และกลุ่ม B ประกอบด้วยการประเมินส่วนแขนและข้อมือ มีเกณฑ์คะแนนค่าความเสี่ยงของท่าทางในการทำงาน ดังนี้

- ระดับ 1 : คะแนน 1 ความเสี่ยงน้อยมาก ยอมรับได้
- ระดับ 2 : คะแนน 2 - 3 ความเสี่ยงน้อย ยังต้องมีการเฝ้าระวังและปรับปรุง
- ระดับ 3 : คะแนน 4 - 7 ความเสี่ยงปานกลาง ควรได้รับการปรับปรุง
- ระดับ 4 : คะแนน 8 - 10 ความเสี่ยงสูงควรปรับปรุง
- ระดับ 5 : คะแนน 11 หรือมากกว่า ความเสี่ยงสูงมากควรปรับปรุงทันที

3. วิธีดำเนินงาน

3.1 ศึกษาข้อมูลทั่วไปของพื้นที่ปฏิบัติงานก่อสร้าง

สำรวจพื้นที่ปฏิบัติงานก่อสร้างที่มีลักษณะของการดำเนินงานที่มีการขนย้ายวัสดุก่อสร้างด้วยรถเข็น โดยพื้นที่เป็นลักษณะแนวราบ การขนย้ายสิ่งของในพื้นที่เป็นการขนย้ายจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งตัวการรถเข็นในในงานก่อสร้าง โดยรถเข็นที่ใช้ในพื้นที่ปฏิบัติงาน สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ รูปแบบแรก รถเข็นในงานก่อสร้าง แบบ 1 ล้อ เป็นรถเข็นที่มีเพียง 1 ล้อ อยู่ในส่วนด้านหน้า ส่วนด้านหลัง เป็นขาตั้งสำหรับพักรถเข็น มาพร้อมถาดหรือกระบะกันลื่นสำหรับใส่ปูน ดินทราย ก้อนอิฐ หรือวัสดุอื่น ๆ มักใช้ในงานที่มีพื้นที่จำกัด หรือพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นพื้นดิน หิน ทราย รูปแบบที่สอง รถเข็นในงานก่อสร้าง แบบ 2 ล้อ เป็นรถเข็นที่มี 2 ล้อ อยู่ในส่วนด้านหลัง มาพร้อมถาดหรือกระบะกันลื่นสำหรับใส่ปูน ดิน ทราย ก้อนอิฐ หรือวัสดุอื่น ๆ มักใช้ในงานที่มีพื้นที่โล่ง หรือพื้นที่ที่มีลักษณะเป็นพื้นที่ราบง่ายต่อการเคลื่อนที่ เช่น พื้นปูน พื้นถนนลาดยาง เป็นต้น

3.2 การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ทำการคัดเลือกพนักงานที่ทำงานก่อสร้างในพื้นที่กรณีศึกษา ที่มีสุขภาพดี และได้ทำงานเข็นรถเข็นมาอย่างน้อย 12 เดือนขึ้นไป จำนวน 5 คน

3.3 สำรองปัญหาและวิเคราะห์ปัญหาทางการยศาสตร์

สำรวจและศึกษาการทำงานของพนักงานในพื้นที่งานก่อสร้างมีการขนย้ายวัสดุก่อสร้างด้วยรถเข็น ด้วยการประเมินโดยใช้แบบสอบถามอาการผิดปกติทางกล้ามเนื้อและกระดูก โดยแบ่งการประเมินตามส่วนต่างๆของร่างกาย การประเมินส่วนของร่างกายทั้งหมด 12 ส่วน คือ คอ ไหล่ หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขนส่วนบน แขนส่วนล่าง ข้อศอก มือ/ข้อมือ สะโพก/ต้นขา หัวเข่า น่อง เท้า จากอาการผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ และอาการที่รบกวนการทำกิจกรรมต่างๆในรอบ 12 เดือน โดยทำการประเมินความเสี่ยงกับคนงานที่ทำงานก่อสร้างจากพื้นที่กรณีศึกษาจำนวน 5 คน และได้ทำงานเข็นรถเข็นมาอย่างน้อย 12 เดือน ขึ้นไปแบ่งความรุนแรงตามระดับตัวเลขดังนี้

- เลข 0 : ไม่รู้สึกปวด
- เลข 1 : รู้สึกปวด
- เลข 2 : รู้สึกปวดปานกลาง
- เลข 3 : รู้สึกปวดมาก
- เลข 4 : รู้สึกปวดมากเกินไป

จากผลของแบบสอบถามพบว่าการทำงานของพนักงานทั้ง 5 คน ที่มีระดับตัวเลขตั้งแต่ 2 ขึ้นไป มีอาการปวดระดับปานกลาง ซึ่งถือว่ามี ความรุนแรงและมีความเสี่ยงต่ออาการผิดปกติของระบบโครงร่างกระดูกและกล้ามเนื้อตามเกณฑ์ที่ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ คือ คอ หลัง มือ/ข้อมือ และขา และพบว่า มีระดับ ปวดมาก คือ เลข 3 ซึ่งมีอาการปวดมากที่เกิดจากการทำงานเป็นเวลาหลายชั่วโมงติดต่อกัน ซึ่งมีอาการเกิดขึ้นใน หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขนส่วนบน และแขนส่วนล่าง

จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการศึกษาท่าทางในการทำงานของผู้ใช้รถเข็นในงานก่อสร้าง เพื่อปรับปรุงท่าทางการทำงานที่ผิดธรรมชาติที่ส่งผลต่ออาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อจากการทำงานของพนักงาน ผู้วิจัยจึงได้ทำการประเมินด้วยแบบประเมินความเสี่ยงทางด้านกายศาสตร์ของท่าทางการทำงานด้วยวิธี REBA โดยทำการประเมินการทำงานของพนักงานทั้ง 5 คน คนละ 10 ครั้ง โดยประเมินจากท่าทางในการทำกิจกรรมที่ใช้รถเข็นในงานก่อสร้างทั้งหมด 3 ท่าทาง ประกอบด้วย (a) ท่าทางการยก (b) ท่าทางการเข็น และ (c) ท่าทางการวาง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ท่าทางการทำงานโดยใช้รถเข็น

จากผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธีการ REBA ของการใช้รถเข็นในงานก่อสร้างของพนักงานกลุ่มตัวอย่างจำนวน 5 คน โดยทำการประเมินด้วยท่าทางการยก ท่าทางการเข็น และท่าทางการวาง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางสรุปคะแนนการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธีการ REBA ก่อนปรับปรุง

พนักงานคนที่	ท่าทางการยก	ท่าทางการเข็น	ท่าทางการวาง
1	4.3	11.3	5.8
2	7.2	10.9	6.1
3	6.0	10.6	4.0
4	6.4	10.6	4.9
5	4.3	10.7	4.3
ค่าเฉลี่ย	5.64	10.82	5.02

จากตารางที่ 1 พบว่าท่าทางในการเข็นรถเข็นในงานก่อสร้างนั้นมีความเสี่ยงสูงกว่าท่าทางทำทางอื่นๆ เนื่องจากมีการใช้งานในส่วนต่างๆ ของร่างกายในการทำงานที่ผิดหลักการยศาสตร์ จึงพิจารณาท่าทางการใช้งานรถเข็นในงานก่อสร้างอย่างละเอียดจากการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธีการ REBA ในขั้นตอนการเข็น พบปัญหาดังต่อไปนี้

- คอมีการก้ม โดยมีมุม 0-20° หรือมากกว่า 20° ในพนักงานบางคน
- ลำตัวมีการเอนไปด้านหลัง 20° - 60° มีการหมุนตัวเพื่อเลี้ยวซ้ายและเลี้ยวขวาและมีการเอนตัวไปด้านข้างเพื่อรักษาสมดุลของรถเข็นในงานก่อสร้าง
- ขามีสภาวะย่นไม่สมดุลเนื่องจากการเคลื่อนไหว เพื่อทำการออกแรงเข็นรถเข็นในงานก่อสร้าง

- แขนส่วนบนอยู่ด้านหลังเกิน 20° มีการยกหัวไหล่และมีการเกร็งกล้ามเนื้อเพื่อออกแรงเข็น
- แขนส่วนล่างมีมุมระหว่าง 60° - 100° มีการตกลงมาด้านล่างและยกขึ้นด้านบนและมีการเกร็งกล้ามเนื้อเพื่อออกแรงเข็น
- ข้อมือขึ้นหรือลงมากกว่า 15° มีการเกร็งข้อมือ
- การจับยึดวัตถุเนื่องจากรถเข็นในงานก่อสร้างมีที่จับยึดมีมือจับ ผู้ปฏิบัติงานสามารถจับยึดได้ถนัดมือ
- การเคลื่อนไหวร่างกายมีการเคลื่อนไหวร่างกายส่วนใดส่วนหนึ่งซ้ำๆ มากกว่า 4 ครั้งต่อนาทีเนื่องจากต้องออกแรงเข็นอยู่ตลอดเวลา

3.4 หาแนวทางการปรับปรุงรถเข็นที่ใช้ในงานก่อสร้าง

จากผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธีการ REBA พบว่า ปัญหาทางการยศาสตร์เกิดขึ้นในส่วนของไหล่ และลำตัว ซึ่งเกิดจากท่าทางในการทำงานของพนักงาน จึงได้มีการออกแบบรถเข็นในงานก่อสร้างเพื่อช่วยลดปัญหาทางการยศาสตร์ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบปรับปรุงของรถเข็นที่ใช้ในงานก่อสร้าง

จากรูปที่ 2 เป็นรถเข็นในงานก่อสร้างแบบปรับปรุงใหม่ โดยมีการออกแบบเพื่อช่วยลดการออกแรงของแขนและลดการก้มตัวในการทำงาน อีกทั้งมีความสมดุลเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มล้อเข้าไปด้านหลังตัวถังรถ 2 ล้อ ส่งผลให้ผู้ใช้งานไม่ต้องออกแรงยกรถเข็นทำให้ลดการออกแรงของแขนจากการยก และไม่ต้องต้องก้มตัวลงเพื่อวางรถเข็นขณะปฏิบัติงาน และส่วนของมือจับสามารถปรับระดับของความสูงของรถได้เพิ่มขึ้น 3 ระดับ เพื่อให้เหมาะสมกับความสูงของผู้ใช้งานได้นำหลักการทางการยศาสตร์มาช่วยในการออกแบบ และนำข้อมูลจากแบบประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์มาวิเคราะห์เพื่อกำหนดข้อสรุปการปรับปรุง ดังนี้

- ส่วนของลำตัว ในขณะที่ทำการเข็นรถ ควรให้พนักงานเข็นรถเข็นโดยโน้มลำตัวไปข้างหน้าเล็กน้อยโดยที่ไม่เกิน 10° กับแนวลำตัว
- ส่วนของแขนส่วนบน ในขณะที่ทำการเข็นรถ ควรให้แขนส่วนบนแนบกับลำตัวโดยห้ามทำมุมเกิน 20° กับแนวลำตัว
- ส่วนของแขนส่วนล่าง ในขณะที่ทำการเข็นรถ ควรให้แขนส่วนล่างทำมุมระหว่าง 60° - 100° กับแนวลำตัว

- ส่วนของมือ ในขณะที่ทำการเข็นรถเข็น ควรให้พนักงานจับแฮนด์ จับเข้าหาตัว

4. ผลการดำเนินงาน

จากผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์พบว่าพนักงานมีการก้มตัวและการออกแรงแขนในการยกที่มากเกินไป ทางผู้วิจัยจึงดำเนินการปรับปรุงรถเข็นในงานก่อสร้างใหม่เพื่อเป็นการปรับท่าทางการปฏิบัติงานให้มีความเหมาะสม การดำเนินการสร้างต้นแบบรถเข็นในงานก่อสร้าง โดยการปรับปรุงจากตัวรถเข็นที่ใช้ในงานก่อสร้างในปัจจุบัน และทำการวัดส่วนสูงของพนักงานของพื้นที่ปฏิบัติงาน มีความสูงระหว่าง 160 – 178 เซนติเมตร การกำหนดความสูงของตัวรถเข็นในงานก่อสร้างจากเดิม ด้านหน้าของตัวรถเข็นสูง 59 เซนติเมตร ลดลงเหลือ 56 เซนติเมตร ด้านหลังของตัวรถเข็นสูง 50 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 61 เซนติเมตร และมีมือจับสูง 64 เซนติเมตร เพิ่มขึ้นเป็น 83 เซนติเมตร มีการออกแบบให้มือจับให้สามารถปรับระดับความสูงได้ 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ความสูง 83 เซนติเมตร เหมาะสำหรับผู้ที่มีความสูง 160-166 เซนติเมตร ระดับที่ 2 ความสูง 88 เซนติเมตร เหมาะสำหรับผู้ที่มีความสูง 167-173 เซนติเมตร ระดับที่ 3 ความสูง 93 เซนติเมตร เหมาะสำหรับผู้ที่มีความสูง 173-178 เซนติเมตร เพื่อช่วยลดภาระการก้มและการออกแรงในการเข็น และได้มีการเพิ่มล้อแบบหมุนได้ 360 องศา ขนาด 8 นิ้ว จำนวน 2 ล้อ ทางด้านหลังของตัวรถเข็น เพื่อช่วยในการทรงตัว การเลี้ยว และลดภาระของแขนจากการยกรถเข็นในงานก่อสร้าง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบรถเข็นในงานก่อสร้างก่อนและหลังการปรับปรุง

ตำแหน่ง	ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ลดปัญหา
1	มือจับมีความสูง 64 เซนติเมตร	มือจับมีความสูง 83 เซนติเมตร และสามารถปรับระดับความสูงเพิ่มขึ้นได้อีก 3 ระดับ	ลดภาระการก้มของหลังและคอ เนื่องจากและช่วยให้มีพื้นที่ในการจับเพิ่มขึ้น
2	โครงรับกระบะปูน	เพิ่มล้อแบบหมุนได้ 360° จำนวน 2 ล้อ	ลดภาระในการออกแรงยกของไหล่และแขน การก้มของหลังและคอ

จากตารางที่ 2 ตำแหน่งที่ 1 รถเข็นในงานก่อสร้างก่อนปรับปรุง เวลาที่พนักงานจะใช้งาน พนักงานจะต้องก้มตัวลงเพื่อจับตัวมือจับและออกแรงยกตัวรถเข็นขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้เกิด อาการบาดเจ็บในส่วนของหลังและคอ เนื่องจากระยะความสูงของมือจับถึงพื้นมีความสูงเพียง 64 เซนติเมตร ผู้ใช้จึงต้องก้มตัวลงเพื่อจับมือจับ หลังจากได้ทำการปรับปรุงรถเข็นในงานก่อสร้างแล้วพบว่าได้ลดภาระของการก้ม

ของหลังและคอ เนื่องจากได้ปรับปรุงในส่วน ของมือจับทำให้มือจับมีพื้นที่จับที่เพิ่มขึ้น และเพิ่มความสูงของตัวมือจับจาก 64 เซนติเมตร เป็น 83 เซนติเมตร และสามารถปรับระดับความสูงเพิ่มได้อีก 2 ระดับ ระดับที่ 1 (ระดับเดิม) ความสูง 83 เซนติเมตร เหมาะสำหรับผู้ที่มีความสูง 160-166 เซนติเมตร ระดับที่ 2 ความสูง 88 เซนติเมตร เหมาะสำหรับผู้ที่มีความสูง 167-172 เซนติเมตร ระดับที่ 3 ความสูง 93 เซนติเมตร เหมาะสำหรับผู้ที่มีความสูง 173-178 เซนติเมตร

ตำแหน่งที่ 2 โครงรับน้ำหนักรถเข็นในงานก่อสร้างก่อนปรับปรุง ช่วยใน การเพิ่มสมดุลของรถเข็นในขณะวางอยู่กับพื้น หลังจากทำการปรับปรุงรถเข็นในงานก่อสร้าง ได้เพิ่มล้อแบบหมุนได้ 360° จำนวน 2 ล้อ โดยที่ล้อสามารถรับน้ำหนักได้ไม่เกิน 150 กิโลกรัม (ข้อมูลจาก: www.thaiwatsadu.com/th/product/ล้อยางแบบแบนหมุนได้ไม่มี เบรค-GIANT-KINGKONG-รุ่น-1102-160-ขนาด-16-ซม-สีดำ-60139195) ทำให้รถเข็นใน งานก่อสร้างมีสมดุลขณะใช้งาน ไม่มีการโคลงเคลง และล้อสามารถเลี้ยวได้ 360° พนักงานจึง ไม่ต้องออกแรงในการยกรถเข็น และไม่ต้องเกร็งแขนเพื่อประคองตัวรถในขณะเข็นรถเข็นและ เลี้ยวรถเข็น และยังลดภาระของการก้มหลังและคอ

จากการปรับปรุงรถเข็นในงานก่อสร้างทำให้ท่าทางการทำงานของพนักงานนั้นลดลง จึงทำให้การประเมินการทำงานของพนักงานแบก/หามที่ใช้งานรถเข็นในงานก่อสร้างที่ปรับปรุงใหม่นั้นเหลือเพียงท่าทางการเข็น ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ท่าทางการเข็นรถเข็นในงานก่อสร้างแบบปรับปรุงใหม่

เนื่องจากรถเข็นในงานก่อสร้างแบบปรับปรุงใหม่มีการเพิ่มสมดุลให้ตัวรถจากการเพิ่มล้อเข้าไป 2 ล้อ จึงทำให้ขั้นตอนที่ 1 การยกรถเข็นและขั้นตอนที่ 3 การวางรถเข็น หายไป สามารถสรุปขั้นตอน การทำงานก่อนและหลังปรับปรุงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตารางการเปรียบเทียบขั้นตอนการทำงานของการใช้งานรถเข็นก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง	
○	ขั้นตอนที่ 1 การยกรถเข็น	○	ขั้นตอนที่ 1 ปรับระดับมือจับรถเข็นในงานก่อสร้างให้เหมาะสมกับความสูงของผู้ใช้งาน
➡	ขั้นตอนที่ 2 การเข็นรถเข็น	➡	ขั้นตอนที่ 2 การเข็นรถเข็น
○	ขั้นตอนการ 3 การวางรถเข็น		

การใช้รถเข็นต้นแบบทำให้ขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุงมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการปรับปรุงรถเข็นในงานก่อสร้างนั้นได้มีการเพิ่มล้อแบบหมุนได้ 360° จำนวน 2 ล้อ ที่ด้านหลังของตัวรถเข็นในงานก่อสร้าง ทำให้ตัวรถเข็นในงานก่อสร้างเกิดความสมดุล จึงทำให้ลดขั้นตอนในการยกและวางรถเข็นในงานก่อสร้าง และเพิ่มขั้นตอนในการทำงานใหม่ คือ การปรับระดับมือจับให้เหมาะสมกับความสูงก่อนที่จะใช้งาน

การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธีการ REBA หลังการปรับปรุง จะทำการประเมินความเสี่ยงเพียงท่าทางเดียว คือ ท่าทางในการเข็นรถเข็นในงานก่อสร้าง เนื่องจากขั้นตอนในการปรับระดับมือจับให้เหมาะสมกับความสูงก่อนที่จะใช้งานนั้น เป็นขั้นตอนที่กระทำเพียง 1 ครั้งก่อนเริ่มใช้งานรถเข็นในงานก่อสร้างเท่านั้น จึงไม่นับว่าเป็นท่าทางในการทำงาน โดยผลของการประเมินเสี่ยงทางการยศาสตร์ จะทำการประเมินกับพนักงานกลุ่มเดิม ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 10 ครั้ง สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตารางสรุปคะแนนการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธีการ REBA หลังปรับปรุง

พนักงานคนที่	ท่าทางการยก	ท่าทางการเข็น	ท่าทางการวาง
1	0	5.6	0
2	0	4.9	0
3	0	5.9	0
4	0	6.3	0
5	0	4.4	0
ค่าเฉลี่ย	0	5.42	0

จากตารางที่ 4 แสดงคะแนนเฉลี่ยในการทำงานของพนักงานแบก/หามที่ใช้ขารรถเข็นในงานก่อสร้างหลังปรับปรุงแล้ว มีคะแนนความเสี่ยงในท่าทางต่างๆที่ใช้ในการทำงานดังนี้ ท่าทางในการยกและวางรถเข็นในงานก่อสร้างมีคะแนนความเสี่ยงเฉลี่ยหลังปรับปรุงเป็น 0 คะแนน เนื่องจากรถเข็นในงานก่อสร้างที่ปรับปรุงใหม่มีความสมดุลจึง

ช่วยลดท่าทางในการยกและวางรถเข็นในงานก่อสร้าง ส่วนของท่าทางในการเข็นรถเข็นในงานก่อสร้างมีคะแนนความเสี่ยงเฉลี่ยหลังปรับปรุงเป็น 5.42 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง

5. สรุปผลงานวิจัยและอภิปรายผล

จากการประเมินท่าทางในการใช้รถเข็นในงานก่อสร้างก่อน และหลังการปรับปรุง พบว่ามีค่าความเสี่ยงเฉลี่ยของการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบคะแนนความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วย REBA ในการใช้รถเข็นในงานก่อสร้างก่อนและหลังการปรับปรุง

	การยก	การเข็น	การวาง
ก่อนปรับปรุง	5.64	10.82	5.02
หลังปรับปรุง	0	5.42	0

จากการนำรถเข็นในงานก่อสร้างที่ปรับปรุงแล้วให้พนักงานแบก/หามที่ใช้รถเข็นในงานก่อสร้างทดลองใช้งาน และทำการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA พบว่ามีคะแนนความเสี่ยงเฉลี่ยของขั้นตอนการยกรถเข็นในงานก่อสร้างลดลงจาก 5.64 เป็น 0 คะแนน คะแนนความเสี่ยงเฉลี่ยของขั้นตอนการวางรถเข็นในงานก่อสร้างลดลงจาก 5.02 เป็น 0 คะแนน เนื่องจากรถเข็นในงานก่อสร้างที่ปรับปรุงแล้วนั้นช่วยลดท่าทางในการยกและวาง และคะแนนความเสี่ยงเฉลี่ยของขั้นตอนการเข็นรถเข็นในงานก่อสร้างลดลงจาก 10.82 เป็น 5.42 คะแนน ซึ่งอยู่ในระดับความเสี่ยงปานกลาง ซึ่งมากจากการปรับปรุงลักษณะของรถเข็นจากรูปแบบเดิม โดยมีการเปลี่ยนระดับความสูงของมือจับให้เหมาะสมกับพนักงานสามารถลดความเสี่ยงทางการยศาสตร์ [8] และปรับปรุงขั้นตอนการทำงานด้วยการออกแบบการทำงานจากรถเข็นที่ได้รับการปรับปรุง ส่งผลให้ขั้นตอนการยกและขั้นตอนการวางถูกตัดออกไป ทำให้ไม่มีผลกระทบทางด้านการยศาสตร์ต่อพนักงาน แต่อย่างไรก็ตามผลการวิจัยยังไม่สามารถลดความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของขั้นตอนการเข็นได้ในระดับความเสี่ยงน้อยเนื่องจากน้ำหนักมีผลทางตรงกับการปฏิบัติงาน [9] ทั้งนี้การหยุดพักสั้นๆระหว่างการทำงานจะสามารถลดความเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์ได้มากขึ้น [10]

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณพื้นที่ก่อสร้างกรณีศึกษา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่สนับสนุนเงินสำหรับการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] อลงกรณ์ ฉัตรเมียงปัก. วิทยานิพนธ์เรื่องการวิเคราะห์ความเครียดจากการทำงาน คอนกรีตของผู้ใช้แรงงานก่อสร้างอาคาร ข้อมูลจาก <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/4134/2/Fulltext.pdf>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 ธันวาคม 2565)
- [2] พรศิริ จงกล. รายงานการวิจัยเรื่องการวิเคราะห์งานก่อสร้างโดยหลักการยศาสตร์ ข้อมูลจาก <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/4657/2/Fulltext.pdf>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 ธันวาคม 2565)
- [3] กิตติ อินทรา นนท์. การยศาสตร์. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553
- [4] Kuorinka, I., Jonsson, B., Kilbom, A., Vinterberg, H., Biering-Sørensen, F., Andersson, G., & Jørgensen, K. 1987. Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms. *Applied ergonomics*, 18(3), 233-237.
- [5] Hignett, S., & McAtamney, L. 2000. Rapid entire body assessment (REBA). *Applied ergonomics*, 31(2), 201-205.
- [6] ชนิกภาพ ใหม่ตัน และ นิวิธ เจริญใจ. 2558 การประเมินความเสี่ยงในงานยกย้ายในการผลิตโถสุกภัณฑ์แบบนั่งยอง. *วารสารช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย*. 1 (1) : 31-36
- [7] Umar, R. Z. R., Ahmad, N., Halim, I., Lee, P. Y., & Hamid, M. 2019. Design and development of an ergonomic trolley-lifter for sheet metal handling task: a preliminary study. *Safety and health at work*, 10(3), 327-335.
- [8] Lee, K. S., Chaffin, D. B., Herrin, G. D., & Waikar, A. M. 1991. Effect of handle height on lower-back loading in cart pushing and pulling. *Applied Ergonomics*, 22(2), 117-123.
- [9] Laursen, B., & Schibye, B. 2002. The effect of different surfaces on biomechanical loading of shoulder and lumbar spine during pushing and pulling of two-wheeled containers. *Applied Ergonomics*, 33(2), 167-174.
- [10] Faucett, J., Meyers, J., Miles, J., Janowitz, I., & Fathallah, F. 2007. Rest break interventions in stoop labor tasks. *Applied ergonomics*, 38(2), 219-226.

การปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์พอลีเอสเตอร์ Overall Equipment Effectiveness Improvement in the Polyester Filament Production Process

สุพัตตรา ศรีญาณลักษณะณ์ คัทลียา พยุงสกุล
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

Suphattra Sriyanalugsana*, Cattaleeya Phayungsakul
Department of Industrial Engineering, School of Engineering, Sripatum University
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

กระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์พอลีเอสเตอร์ในแผนกกรณีศึกษาที่มีเครื่องจักรที่ทำการผลิต 7 เครื่อง คือ เครื่องจักร 12-18 ซึ่งมีอายุการใช้งานแตกต่างกัน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 มีอายุ 20 ปี ประกอบด้วยเครื่องจักรที่ 12-14 และกลุ่มที่ 2 มีอายุ 16 ปี คือ เครื่องจักร 15-18 ปัจจุบันพบปัญหาเครื่องจักร 13 และ 18 มีค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) ต่ำที่สุดในกลุ่ม และต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ โดยค่าเป้าหมาย กลุ่มที่ 1 คือ 70.76% และกลุ่มที่ 2 คือ 81.19% บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มค่า OEE ในกระบวนการผลิตเส้นด้ายพอลีเอสเตอร์ในแผนกกรณีศึกษา จากการศึกษาพบว่าสาเหตุที่ทำให้ค่า OEE ต่ำมาจากปัจจัยด้านประสิทธิภาพในการเดินเครื่อง (Performance Efficiency) ต่ำ ซึ่งมีสาเหตุหลักจากการสูญเสียเวลาการบำรุงรักษา ทำให้ผลิตชิ้นงานได้น้อยลง และพบว่าปัญหาสำคัญคือ เส้นด้ายขาดระหว่างกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Yarn Break) สาเหตุเกิดจาก ตัวเรียงเส้นด้าย (Hanetora Guide) และตัวประกอบเส้นด้าย (Wave Guide) เป็นรอย ตัวเป่าลมเส้นด้าย (Air Guide) พองตัว (Balloon) ไม้ตี ลูกกลิ้งยัดเส้นด้าย (Godet Rolls) เป็นรอย และลูกกลิ้งยัดเส้นด้าย (Godet Rolls) สกปรก เมื่อประยุกต์ใช้หลักการบำรุงรักษาที่มีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance) และจัดทำระบบมาตรฐานปฏิบัติงาน (Work Instruction) ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุง พบว่าค่า OEE ของเครื่องจักร 13 เพิ่มขึ้นเป็น 82.29% และเครื่องจักร 18 เพิ่มขึ้นเป็น 88.59%

คำสำคัญ: ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร ประสิทธิภาพในการเดินเครื่อง กระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์

Abstract

The Polyester filament production process in the case study contained of 7 production machines, namely as machines 12-18 with different machine age which can divided into 2 groups. (Group#1, aged 20 years old, consisted of machines 12-14 and group#2 was 16 years old, consisted of machine 15-18) At this time, the 13 and 18 had the poorest overall equipment effectiveness (OEE) value and underneath the target line. The target value of group 1 was set 70.76% and group 2 was set 81.19%. This article purposes to improvement the OEE value of polyester yarn manufacturing process in the case study. The study has shown that the cause of low OEE is came from the low performance efficiency factor, which is mainly caused by loss of maintenance time and get the low output. The study also found that the key problem was the yarn breaking caused by the Hanetora Guide and Wave Guide are scratched, the Air Guide is badly inflated (Balloon), and also the Godet Rolls are scratched and dirty. The applying the principle of Total Productive Maintenance and establishing a standardized operation system (Work Instruction) can gained the results by the OEE of the machine 13 increased to 82.29% and the machine 18 increased to 88.59%

Keywords: Overall Equipment Effectiveness, Performance efficiency, Synthetic fiber process

1. บทนำ

โรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ เป็นบริษัทอุตสาหกรรมสิ่งทอที่มีความต้องการเป็นอย่างมาก มีการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ 2 ประเภท คือ เส้นใยสังเคราะห์ชนิดเส้นด้ายพอลิเอสเตอร์ และ เส้นใยสังเคราะห์ชนิดเส้นด้ายไนลอน โดยที่เส้นด้ายพอลิเอสเตอร์ซึ่งเป็นเส้นด้ายกรณีศึกษา มีกำลังการผลิตสูงที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 79.2 [1] ในแผนกกรณีศึกษา ปัจจุบันพบปัญหาค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness: OEE) ต่ำเมื่อพิจารณาค่า OEE พบว่าในเครื่องจักร 13 และ 18 มีค่า OEE เท่ากับ 52.90% และ 70.28% ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดในกลุ่ม โดยค่าเป้าหมาย OEE ของบริษัทกรณีศึกษา ที่กำหนดไว้ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่ม 1 คือ 70.76% และกลุ่ม 2 คือ 81.19%

ดังนั้นงานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อเสนอแนวทางในการปรับปรุงค่า OEE ให้มีค่าสูงกว่าเป้าหมายของโรงงานที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้เพิ่มความสามารถในการทำงานของเครื่องจักร ผลิตชิ้นงานเพิ่มขึ้น และลดจำนวนเงินที่สูญเสียจากการลดการสูญเสียของชิ้นงานของบริษัทกรณีศึกษา

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร

การวัดค่า OEE ทำให้ทราบประเภทการสูญเสียและสาเหตุช่วยให้สามารถปรับปรุงแก้ไขลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง ระบบการซ่อมบำรุงที่ตีกำหนดให้ค่า OEE เท่ากับ 85% โดยมีพารามิเตอร์ความพร้อมใช้งาน 90% ผลผลิต 95% และคุณภาพ 99% ค่า OEE เกิดจากผลคูณของ 3 ปัจจัย คือ อัตราการเดินเครื่อง (Availability Rate: A) ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance Efficiency: P) และ อัตราคุณภาพ (Quality Rate: Q) [2-3] มีงานวิจัยจำนวนมาก เช่น [4-5] ที่ปรับปรุงค่า OEE เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

2.2 การบำรุงรักษาทีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance: TPM)

TPM เป็นเทคนิคในการดูแลเครื่องจักร เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูง โดยทุกฝ่ายมีส่วนร่วม ประกอบด้วย 8 เสาหลัก [6] บทความนี้ได้เลือกประยุกต์ใช้ใน 2 เสาหลัก คือ การปรับปรุงมุ่งเน้นไปที่เครื่องจักรและกระบวนการ (Focused Equipment and Process Improvement) โดยทำการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เครื่องจักร เพื่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรที่ดีขึ้น และการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous Maintenance) โดยการทำการบันทึกข้อมูลเครื่องจักร การตรวจสอบด้วยตนเอง และกำหนดมาตรฐานในขั้นตอนการทำงาน

2.3 เครื่องมือในการวิเคราะห์สาเหตุและจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

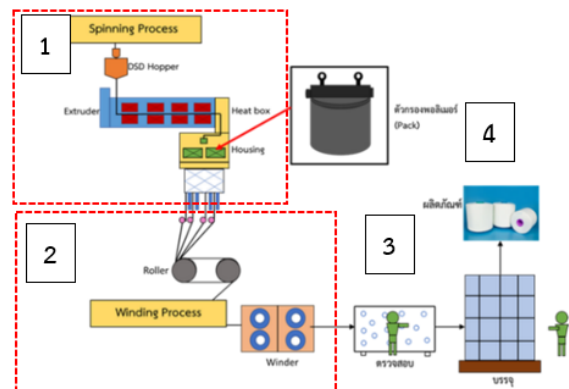
เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์สาเหตุและจัดลำดับความสำคัญของปัญหา [7] ซึ่งพบว่า

ประยุกต์ใช้สามารถช่วยแก้ปัญหาได้ถึง 95% ทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง [8-9] นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ปัญหาด้วยเทคนิค Why-Why Analysis ที่นิยมใช้เพื่อค้นหาสาเหตุที่แท้จริง ส่วนในการจัดลำดับความสำคัญของปัญหาที่มีการประยุกต์ใช้ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number: RPN) เกิดจากผลคูณของ 3 ปัจจัย ความรุนแรง (Severity: S) ผลกระทบที่เกิดความล้มเหลว (Occurrence: O) และความสามารถในการตรวจจับ (Detection: D) งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือดังกล่าวเพื่อช่วยในการวิเคราะห์และจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การศึกษากระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์ แบ่งเป็น 4 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 กระบวนการปั่นด้าย (Spinning Process) โดยเริ่มจาก รัมเม็ดพลาสติกจาก (Hopper) และดันเม็ดพลาสติกโดยใช้แรงดัน (Extruder) มาหลอมละลายที่กล่องความร้อน (Heat box) และเข้าตัวกรองพอลิเมอร์ (Housing) เพื่อหลอมเป็นเส้นใย ส่วนที่ 2 กระบวนการม้วนด้าย (Winding Process) โดยเริ่มจากดึงยึดเส้นด้าย (Godet Rolls) และม้วนเก็บเข้าหลอด (Winder) เข้าสู่ส่วนที่ 3 ตรวจสอบ (Quality Control) เช่น ตรวจสอบน้ำหนักเส้นด้าย (Denier) จำนวนเส้นใย (Cross Cut) การยืดตัวเส้นด้าย (Dry Elongation) และการหดตัวของเส้นด้าย (Dry Shrinkage) และส่วนที่ 4 บรรจุสินค้า (Packaging Unit) จัดเก็บบรรจุภัณฑ์เพื่อเตรียมจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์พอลิเอสเตอร์

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลในกระบวนการผลิต

การเก็บข้อมูลย้อนหลังเป็นระยะเวลา 3 เดือน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เก็บข้อมูลทั่วไปของกระบวนการผลิต และเก็บข้อมูลเพื่อการคำนวณค่า OEE และนำข้อมูลมาคำนวณในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ Microsoft Excel

3.3 การคำนวณประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness) ก่อนปรับปรุง

การคำนวณค่า OEE ก่อนการปรับปรุง โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามอายุการใช้งานของเครื่องจักร ดังนี้

3.3.1 กลุ่มที่ 1 มีอายุการใช้งาน 20 ปี

คือ เครื่องจักร 12-14 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70.76% และค่าเฉลี่ยเป็นเป็นค่าเป้าหมาย โดยเครื่องจักร 13 มีค่า OEE น้อยที่สุดคิดเป็น 52.90% ดังตารางที่ 1

3.3.2 กลุ่มที่ 2 มีอายุการใช้งาน 16 ปี

คือ เครื่องจักร 15-18 ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 81.19% และค่าเฉลี่ยเป็นเป็นค่าเป้าหมาย โดยเครื่องจักร 18 มีค่า OEE น้อยที่สุดคิดเป็น 70.28% ดังตารางที่ 1

เนื่องจากในแผนกกรณีศึกษา ยังไม่มีการคำนวณ ค่า OEE ของเครื่องจักรมาก่อน จึงทำการระดมสมองร่วมกับทางแผนกกรณีศึกษาเพื่อกำหนดเป้าหมายโดยได้ใช้ค่าเฉลี่ยเป็นค่าเป้าหมาย

ตารางที่ 1 การคำนวณค่า OEE ของเครื่องจักรเฉลี่ยต่อเดือน (ก่อนปรับปรุง)

Overall Equipment Effectiveness						
กลุ่ม	Machine	A	P	Q	OEE	Average
1	12	95.41%	89.25%	93.75%	79.83%	70.76%
	13	90.40%	69.99%	83.62%	52.90%	
	14	95.43%	90.31%	91.16%	79.55%	
2	15	98.59%	100.81%	91.15%	90.56%	81.19%
	16	96.15%	84.38%	95.68%	77.64%	
	17	97.65%	91.26%	96.64%	86.27%	
	18	95.75%	78.43%	92.22%	70.28%	

3.4 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

จากค่า OEE ที่คำนวณได้จากตารางที่ 1 พบว่าสาเหตุที่ทำให้ค่า OEE ของเครื่องจักร 13 และ 18 ต่ำมาจากค่าประสิทธิภาพในการเดินเครื่อง (Performance Efficiency: P) ต่ำสุด เป็นปัญหาที่ต้องแก้ไขก่อน จึงวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่าประเด็นที่สามารถปรับปรุงได้ มี 2 ประเด็น คือ จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ลดลง (Number of Production) กล่าวคือ ต้องปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดการสูญเสียเส้นด้าย และเวลาที่เครื่องจักรหยุด (Stoppage Time) กล่าวคือ ต้องปรับปรุงการหยุดบำรุงรักษาอุปกรณ์เครื่องจักรลง เนื่องจากเมื่อทำการบำรุงรักษาอุปกรณ์เครื่องจักร ด้ายที่ไหลออกจะต้องถูกปล่อยทิ้ง จากผลกระทบ 2 ประเด็นนี้ จึงมุ่งเน้นไปที่ลดความสูญเสียเวลา เพื่อนำไปสู่การผลิตเป็นชิ้นงานได้เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุที่เป็นไปได้ข้างต้น จึงได้ทำการค้นหาสาเหตุที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพในการเดินเครื่อง (Performance Efficiency)

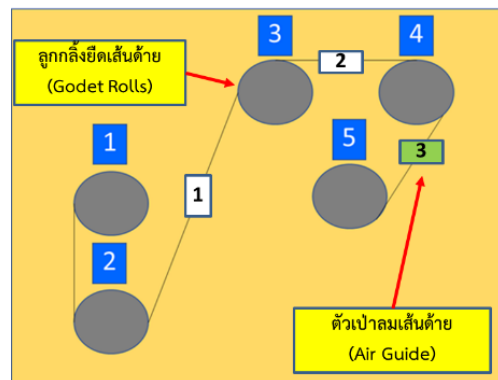
ของเครื่องจักร 13 และ 18 ต่ำ โดยพิจารณาจากสาเหตุความสูญเสียเวลาในกระบวนการผลิต สามารถระบุถึงสาเหตุของปัญหาได้ 4 สาเหตุ ดังนี้

- 1) เส้นด้ายขาดระหว่างกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Yarn Break) 68%
- 2) ตัวกรอเส้นด้ายกำลังกลับตัวแล้วเส้นด้ายขาด (Revolution Miss) 23%
- 3) ตัวกรอเส้นด้ายเข้าหลอดมีปัญหาแล้วเส้นด้ายขาด (Yarn Break for Winder) 8%
- 4) การเปลี่ยนตัวกรอของพอลิเมอร์ (Pack Change) 1%

สาเหตุที่สูญเสียเวลามากที่สุด คือ ปัญหาเส้นด้ายขาดระหว่างกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Yarn Break) คิดเป็น 68% และเสนอแนวทางการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป

3.4.1 สาเหตุของปัญหาเส้นด้ายขาดระหว่างกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Yarn Break)

ปัญหานี้เกิดขึ้นที่ลูกกลิ้งยึดเส้นด้าย (Godet Rolls) โดยมี 5 ตำแหน่ง คือ ลูกกลิ้งยึดเส้นด้าย ตัวที่ 1-5 ดังรูปที่ 2 ลูกกลิ้งยึดเส้นด้ายทำหน้าที่ยึดเส้นด้ายด้วยความร้อน ซึ่งแต่ละตัวจะมีความร้อนและความเร็วในการหมุนที่แตกต่างกัน หากยึดเส้นด้ายแล้วขาดเกิดจากอุปกรณ์เครื่องจักร กระบวนการผิดพลาด หรือการปรับตั้งการทำงานของเครื่องจักรไม่เหมาะสมกับเส้นด้าย สาเหตุการขาดของเส้นด้ายแสดงดังรูปที่ 3



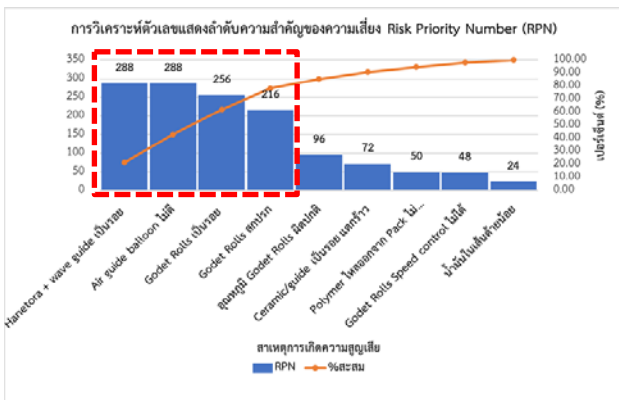
รูปที่ 2 ตำแหน่งเส้นด้ายขาดระหว่างกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Yarn Break)

จากรูปที่ 2 การเก็บข้อมูลก่อนการปรับปรุง เกิดด้ายขาดที่ตำแหน่งลูกกลิ้งตัวที่ 2 (Godet Roll #2) คิดเป็น 7% และลูกกลิ้งตัวที่ 4 (Godet Roll #4) คิดเป็น 93% ซึ่งขาดมากที่สุด คือ ลูกกลิ้งตัวที่ 4 (Godet Roll #4) ของตำแหน่งทั้งหมด

3.4.2 การประยุกต์ใช้เทคนิค Why-Why Analysis และ RPN ที่ลูกกลิ้งตัวที่ 4

จากตำแหน่งลูกกลิ้งตัวที่ 4 (Godet Roll #4) ที่ทำให้เส้นด้ายขาดมากที่สุดนำมาหาสาเหตุโดยการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Why -Why

Analysis พบสาเหตุ 9 สาเหตุดังรูปที่ 3 ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ หลังจากนั้นประยุกต์ใช้ RPN เพื่อแปลงข้อมูลเป็นเชิงคะแนนเพื่อเรียงลำดับความสำคัญของสาเหตุ โดยการระดมสมองของพนักงานในแผนกเพื่อกำหนดเกณฑ์การประเมิน และระบุระดับความเสี่ยง โดยค่า RPN เกิดจากผลคูณของค่าความรุนแรง (Severity) ซึ่งมีคะแนนสูงสุด 5 คะแนน ค่าโอกาสในการเกิด (Occurrence) มีคะแนนสูงสุด 10 คะแนน และค่าการตรวจจับ (Detection) มีคะแนนสูงสุด 10 คะแนน เมื่อหาค่า RPN ของแต่ละสาเหตุแล้ว นำมาจัดลำดับด้วยพาราเรตต์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 สาเหตุที่ทำให้เส้นด้ายขาดระหว่างกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Yarn Break) ที่ลูกกลิ้งตัวที่ 4 (Godet Roll #4)

จากรูปที่ 3 ตามหลัก 80:20 ของพาราเรตต์ ทำการแก้ 4 สาเหตุดังนี้

- 1) ตัวเรียงเส้นด้าย (Hanetora Guide) และตัวประกอบเส้นด้าย (Wave Guide) เป็นรอย เนื่องจากเมื่อเส้นด้ายผ่านทำให้เส้นด้ายเข้าไปชูดกับรอย เส้นด้ายจึงขาด
- 2) ตัวเป่าลมเส้นด้าย (Air Guide) พองตัว (Balloon) ไม่ดี เนื่องจากเมื่อเส้นด้ายผ่านรูตัวเป่าลมเส้นด้าย (Air Guide) เส้นด้ายเกิดการยืดตรง ไม่สะบัดไปมา ซึ่งเกิดจากการอุดตันที่รู ทำให้เส้นด้ายไม่พองตัว และทำให้เส้นด้ายขาด
- 3) ลูกกลิ้งยึดเส้นด้าย (Godet Rolls) เป็นรอย เนื่องจากเกิดรอยขีดข่วนจากอุปกรณ์ตัดด้าย ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เส้นด้ายขาด
- 4) ลูกกลิ้งยึดเส้นด้าย (Godet Rolls) สกปรก เนื่องจากลูกกลิ้งตัวที่ 4 (Godet Roll #4) มีอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดรอยสะสมที่ผิวลูกกลิ้งได้ง่าย เช่น รอยคราบพอลิเมอร์ รอยคราบน้ำมัน ซึ่งทำให้การกระจายความร้อนได้ไม่ดีเป็นสาเหตุให้เส้นด้ายขาด


3.5 เสนอแนวทางการปรับปรุง

ทำการปรับปรุง 4 สาเหตุ โดยประยุกต์ใช้ TPM ดังนี้

3.5.1 ปัญหาตัวเรียงเส้นด้าย (Hanetora Guide) และตัวประกอบเส้นด้าย (Wave Guide) เป็นรอย

ปรับปรุงโดยการมุ่งเน้นที่เครื่องจักรและกระบวนการโดยปรับปรุงวิธีการตรวจสอบ ของตัวเรียงเส้นด้าย (Hanetora Guide) ดังตารางที่ 2 และตัวประกอบเส้นด้าย (Wave Guide) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 การปรับเปลี่ยนวิธีการตรวจสอบรอยของตัวเรียงเส้นด้าย (Hanetora Guide)

ตำแหน่งการตรวจสอบ	การตรวจสอบรอยก่อนปรับปรุง	การตรวจสอบรอยหลังปรับปรุง
ตัวเรียงเส้นด้าย (Hanetora Guide)	ไฟฉาย และ ตาเปล่า	การใช้ดินสอดูด และ ลบดินสอดูดกลับ ไม่ออกแสดงว่ามีรอย 

ตารางที่ 3 การปรับเปลี่ยนวิธีการตรวจสอบรอยของตัวประกอบเส้นด้าย (Wave Guide)

ตำแหน่งการตรวจสอบ	การตรวจสอบรอยก่อนปรับปรุง	การตรวจสอบรอยหลังปรับปรุง
ตัวประกอบเส้นด้าย (Wave Guide)	ไฟฉาย และ ตาเปล่า	การใช้เล็บชูดถ้ามีรอย จะรู้สึกสะดุดกับเล็บ 



3.5.2 ปัญหาตัวเป่าลมเส้นด้าย (Air Guide) พองตัว (Balloon) ไม่ดี

ปรับปรุงโดยการบำรุงรักษาด้วยตนเอง เพื่อจัดทำวิธีการปฏิบัติงาน (Work Instruction) ในการการตรวจสอบและปรับตัวเป่าลมเส้นด้าย (Air Guide)

3.5.3 ปัญหาลูกกลิ้งยึดเส้นด้าย (Godet Rolls) เป็นรอย

ปรับปรุงโดยการมุ่งเน้นที่เครื่องจักรและกระบวนการโดยเปลี่ยนอุปกรณ์ตัดด้ายจากใช้หัวเหล็กตัดด้ายเป็นการตัดด้ายด้วยความร้อน ดังตารางที่ 4 เพื่อลดการเกิดรอยที่ผิวลูกกลิ้ง เนื่องจากลูกกลิ้งยึดเส้นด้าย (Godet Rolls) มีราคาสูง และต้องใช้เวลาเข้าเป็นเวลานาน เพราะในประเทศไทยไม่มีการผลิต และปรับปรุงโดยการบำรุงรักษาด้วยตนเองจัดเก็บอุปกรณ์ตัดด้ายชนิด Heater cutter ให้ถูกต้อง

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบอุปกรณ์ที่ใช้ตัดเส้นด้าย

ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
Knot & cutter 	Heater cutter (ใช้ความร้อนตัดด้าย) 

3.5.4 การแก้ไขปัญหาลูกกลิ้งยึดเส้นด้าย (Godet Rolls) สกปรก

ปรับปรุงโดยการมุ่งเน้นไปที่เครื่องจักรและกระบวนการ ในการเปลี่ยนวิธีการเช็ดผิวลูกกลิ้งทำให้ผิวลูกกลิ้งสะอาดลดอุบัติเหตุที่เกิดจากการหมุนและความร้อนของลูกกลิ้ง ดังตารางที่ 5 ปรับปรุงโดยการบำรุงรักษาด้วยตนเอง จัดทำที่เก็บอุปกรณ์เช็ดผิวลูกกลิ้ง เพื่อเตรียมอุปกรณ์ไว้ก่อนปฏิบัติงาน เพื่อความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น และกำหนดวิธีการปฏิบัติงานของขั้นตอนการปฏิบัติงานการล้างลูกกลิ้งยึดเส้นด้ายตัวที่ 4 (Godet Rolls #4) ด้วยระบบเครื่องล้างอัตโนมัติ (Auto Cleaning)

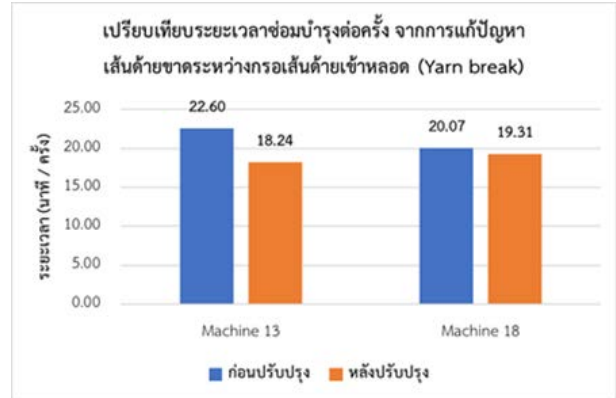
ผลลัพธ์จากการปรับปรุงสาเหตุที่ทำให้เกิดเส้นด้ายขาดระหว่างกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Yarn Break) ที่ลูกกลิ้งตัวที่ 4 (Godet Roll #4) ทั้ง 4 สาเหตุนี้ แสดงในหัวข้อที่ 4 ผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบวิธีการเช็ดผิวลูกกลิ้งยึดเส้นด้าย (Godet Rolls)

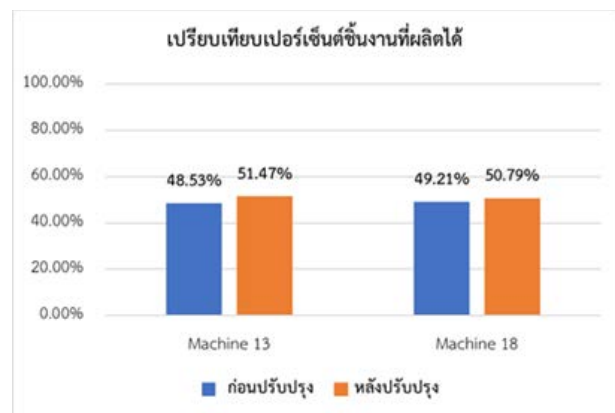
ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
	

4. ผลการดำเนินงาน

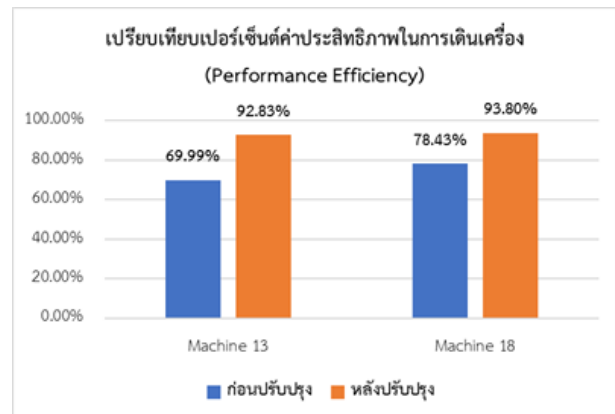
ผลการประยุกต์โดยประยุกต์ใช้หลักการ TPM ใน 2 สาขาหลัก คือ การมุ่งเน้นที่เครื่องจักรและกระบวนการ และการบำรุงรักษาด้วยตนเอง ทำให้สามารถลดเวลาในการบำรุงรักษาต่อครั้งได้ ดังรูปที่ 4 เพิ่มเปอร์เซ็นต์การผลิตชิ้นงานได้มากขึ้น ดังรูปที่ 5 และส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพในการเดินเครื่อง (P) เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 6 เมื่อนำค่าประสิทธิภาพในการเดินเครื่อง (P) ที่ได้ปรับปรุง มาคูณกับค่าอัตราการเดินเครื่อง (A) และอัตราคุณภาพ (Q) ทำให้ค่า OEE ในกลุ่มที่ 1 คือ เครื่องจักร 13 เพิ่มขึ้น ซึ่งสูงกว่าค่าเป้าหมาย 70.76% ที่โรงงานกำหนด ดังรูปที่ 7 และค่า OEE ในกลุ่มที่ 2 คือ เครื่องจักร 18 เพิ่มขึ้น ซึ่งสูงกว่าค่าเป้าหมาย 81.19% ที่โรงงานกำหนด ดังรูปที่ 8



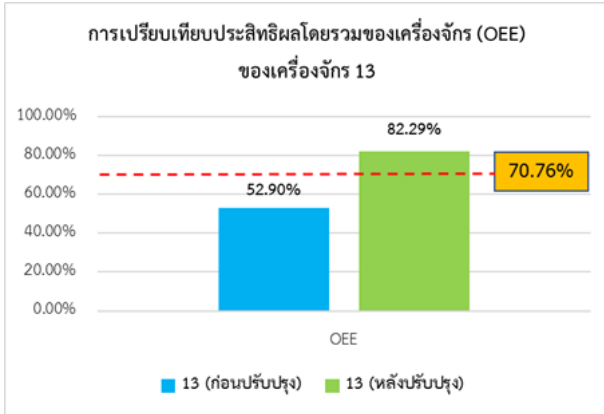
รูปที่ 4 เปรียบเทียบระยะเวลาบำรุงรักษาต่อครั้ง จากการแก้ปัญหาเส้นด้ายขาดระหว่างกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Yarn Break)



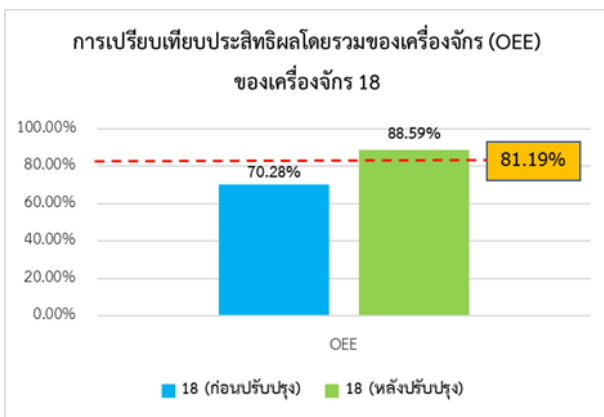
รูปที่ 5 เปรียบเทียบชิ้นงานที่ผลิตได้



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพในการเดินเครื่อง (Performance Efficiency)



รูปที่ 7 การเปรียบเทียบค่า OEE ของเครื่องจักร 13



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบค่า OEE ของเครื่องจักร 18

จากการปรับปรุงปัญหาการเกิดเส้นด้ายขาดระหว่างกรอเส้นด้ายเข้าหลอด (Yarn Break) โดยลดเวลาในการบำรุงรักษา ทำให้ลดการปล่อยด้ายทิ้งขณะบำรุงรักษาได้ สามารถลดปริมาณความสูญเสียของเส้นด้าย และลดจำนวนเงินที่สูญเสียลงได้ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบปริมาณการสูญเสียของเส้นด้ายและจำนวนเงินที่สูญเสีย

รายการ	เครื่องจักร	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ลดลง	% ลดลง
ปริมาณสูญเสียเส้นด้าย (กิโลกรัมต่อนาที)	13	0.12	0.04	0.08	46.68
	18	0.04	0.02	0.02	37.09
ค่าใช้จ่ายที่ลดลง (บาทต่อนาที)	13	9.86	3.58	6.27	46.68
	18	3.59	1.65	1.94	37.09

5. สรุป

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงค่า OEE ในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์พอลีเอสเตอร์ ของเครื่องจักร 13 และเครื่องจักร 18 ที่มีค่า OEE ต่ำที่สุดในแต่ละกลุ่ม โดยประยุกต์ใช้ TPM ใน 2 เสาหลัก คือ การมุ่งเน้นที่เครื่องจักรและกระบวนการ และการบำรุงรักษาด้วยตนเอง และจัดทำระบบมาตรฐานปฏิบัติงาน ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุง พบว่าค่า OEE ของเครื่องจักร 13 เพิ่มขึ้นเป็น 82.29% และเครื่องจักร 18 เพิ่มขึ้นเป็น 88.59% ซึ่งเป็นไปตามเป้าหมายที่โรงงานกรณีศึกษากำหนดไว้ การปรับปรุงยังทำให้ปริมาณความสูญเสียเส้นด้ายของเครื่องจักร 13 ลดลงไปได้ 0.08 กิโลกรัมต่อนาที คิดเป็น 46.68% และลดค่าใช้จ่ายได้เป็น 6.27 บาทต่อนาที คิดเป็น 46.68% และของเครื่องจักร 18 ลดลงไปได้ 0.02 กิโลกรัมต่อนาทีคิดเป็น 37.09% และลดค่าใช้จ่ายได้เป็น 1.94 บาทต่อนาที คิดเป็น 37.09% นอกจากนี้สามารถนำหลักการไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอื่น ๆ ได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้การสนับสนุน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ ทำให้งานนี้บรรลุตามเป้าหมาย

เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ไทยโทเรซินเทคคัล จำกัด, เส้นด้ายพอลีเอสเตอร์, ข้อมูลจาก <https://1th.me/0nPBA> (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 มีนาคม 2565)
- [2] Rohan R. Sangar and Dr N.H. Deshpande. 2019. "Overall Equipment Effectiveness (OEE) Technique of Lean Manufacturing: An Application in Mechanical Company". International Journal of Emerging Technologies and Innovative, Vol. 6 (3): 96–99.
- [3] Salih O. Duffuaa, A. Raouf, John Dixan Campbell. Planning and Control of Maintenance Systems. (Modeling and Analysis), John Wiley & Sons Inc., 1999.
- [4] Lauren Van De Ginste et al. 2022. "The role of equipment flexibility in Overall Equipment Effectiveness (OEE)-driven process improvement". Procedia CIRP, Vol. 107: 289-294.
- [5] Shreeja Basak et al. 2022. "Reducing production losses in additive manufacturing using overall equipment effectiveness". Additive Manufacturing, Vol. 56: 1-12.
- [6] Soo-Fen Fam et al. "Overall Equipment Efficiency (OEE) Enhancement in Manufacture of Electronic Components & Boards Industry through Total Productive Maintenance Practices", MATEC Web of Conferences Volume 150, 2018 Malaysia Technical Universities Conference on Engineering and Technology (MUCET 2017), pp 1–5.

- [7] B. Neyestani. Seven Basic Tools of Quality Control: The Appropriate Techniques for Solving Quality Problems in the Organizations, Online document
<https://doi.org/10.5281/zenodo.400832> (30 March 2022)
- [8] Kaoru Ishikawa. What is Total Quality Control? The Japanese Way, Prentice-Hall, 1985.
- [9] D. Pavletic, M. Sokovic, G. Paliska. "Practical Application of Quality Tools". International Journal for Quality Research, Vol. 2 (3): 199-205.

การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการตรวจสอบของแผนกสกรีน :กรณีศึกษา โรงงานฉีดพลาสติก Increasing Efficiency in the Inspection Process of the Screen Department : Case Study in Plastic Injection Factory

ฐิติสาร ฐิริยะโชติตระกูล ภัทรา ภูปรังค์ พุทธิพร เล็กขาว*
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: Puttiporn.leg@rmutr.ac.th*

Thitisart Suriyachottakul, Pattra Pooprang, Puttiporn Legkhow*
Department of Industrial Engineering and, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: Puttiporn.leg@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดข้อร้องเรียนของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์งานชุบโครเมียม และ เพื่อสร้างระบบการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์งานชุบโครเมียม โดยใช้วิธีการพาเรโตในการเลือกผลิตภัณฑ์ของเสียมูลค่าสูงที่สุด พบว่าผลิตภัณฑ์ชุบโครเมียม อันประกอบด้วย โลโก้สี่เหลี่ยมด้านนอกสีเงิน โลโก้สี่เหลี่ยมด้านในสีเงินและ โลโก้วงกลม มีจำนวนของเสียจากข้อร้องเรียนมากที่สุด โดยปัญหาของงานชุบโครเมียมของผลิตภัณฑ์โลโก้ คือ งานเป็นเม็ด งานพิมพ์ไม่สมบูรณ์และงานเป็นรอย ต่อมาจึงได้มีการใช้ แผนผังก้างปลา ร่วมกับ การวิเคราะห์ปรากฏการณ์แบบ why-why analysis เพื่อหาสาเหตุของปัญหาและหาแนวทางในการแก้ไข ด้วยการระดมสมองระหว่างผู้วิจัย หัวหน้างานและพนักงานที่เกี่ยวข้องพบว่า ในส่วนงานที่ผู้วิจัยสามารถมีส่วนร่วมในการแก้ไขปัญหาได้ คือ วิธีการทำงานของแผนกตรวจสอบ เนื่องจากวิธีการทำงานในปัจจุบันของพนักงานไม่เป็นไปตามมาตรฐาน มาตรฐานที่ใช้งานในปัจจุบันเข้าใจได้ยาก และการตรวจสอบที่ไม่มีความชัดเจน ทำให้เมื่อมีพนักงานเข้ามาทำงานใหม่หรือ เมื่อพนักงานในฝ่ายการผลิตขาดงาน จะทำให้พนักงานคนอื่นไม่สามารถทำงานแทนและการสอนงานให้กับพนักงานใหม่ จะเป็นการสอนตามความเคยชินของพนักงาน ส่งผลทำให้เกิดของเสียส่งออกไปถึงลูกค้าค่อนข้างมาก จากสาเหตุการเกิดปัญหาตามที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงได้มีการจัดทำขั้นตอนการตรวจสอบที่เป็นรูปแบบที่ชัดเจน การสร้างเอกสารประกอบการใช้งานที่ง่ายต่อความเข้าใจของพนักงาน ซึ่งผลการดำเนินงานพบว่า ข้อร้องเรียนจากลูกค้าก่อนและหลังการปรับปรุงของ 1.โลโก้วงกลมสีเงิน ก่อนปรับปรุงคิดเป็น 7.2 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 3.49 เปอร์เซ็นต์ 2. โลโก้สี่เหลี่ยมด้านในสีเงิน ก่อนปรับปรุงคิดเป็น 4.32 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 1.44 เปอร์เซ็นต์ 3. โลโก้สี่เหลี่ยมด้านนอกสีเงิน ก่อนปรับปรุงคิดเป็น 4.46 เปอร์เซ็นต์ ลดลงเหลือ 2.56 เปอร์เซ็นต์ จากการปรับปรุงจะเห็นได้ว่าอัตราของเสียต่อข้อร้องเรียนของลูกค้าลดลง

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์ชุบโครเมียม กระบวนการตรวจสอบ มาตรฐานการทำงาน

Abstract

This research aims to reduce customer complaints against chrome-plated products and establish a quality inspection system for chrome-plated products. The Pareto method is used to select the highest-value waste products. It was found that the chrome-plated product consisted of a silver outer square logo, a silver inner square logo, and a circle logo. The problem with the chrome plating of logo products is granular work, the print job is incomplete, and the job is scratched. Then, fishbone diagrams were used together with why-why analysis to identify the root cause of the problem and find solutions to solve it by brainstorming among researchers, supervisors, and related employees. The researcher was able to participate in solving the problem, which was the audit department, employees did not work to follow the standards because they were difficult to understand and unclear. It will happen when had a new job or is absent, other employees cannot work on their behalf. Normally, old employees were teaching the new employee a job is based on the employee's habit. Many customers receive the waste products. as stated above. Thus, we have established a verification pattern. staff-friendly paperwork. Logo work waste in all chrome plating difficulties showed this. Pre- and post-change complaints were received. 1. Silver circle logo decreased from 7.2 percent to 3.49 percent. 2. Silver inner square logo before improvement, 4.32 percent, 1.44 percent. 3. Silver outside square logo before improvement, 4.46 percent, 2.56 percent. Improvements have reduced the customer complaint ratio for waste.

Keywords: Chrome plated products, Process of inspection, Work standard

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมโรงงานมีการแข่งขันกันอย่างรุนแรง ทั้งในเรื่องของคุณภาพและราคาของสินค้า ซึ่งส่งผลให้บริษัทหรือองค์กรต้องมีการปรับปรุงกลยุทธ์ต่างๆ ในการดำเนินงานเพื่อให้ธุรกิจสามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ งานวิจัยนี้จะให้ความสนใจไปที่อุตสาหกรรมพลาสติก ซึ่งมีบทบาทสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจไทย เนื่องจากมีความเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมอื่นๆ เป็นจำนวนมากและมีทิศทางการเติบโตอย่างต่อเนื่อง กลุ่มอุตสาหกรรมพลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ 1. อุตสาหกรรมเม็ดพลาสติก จะผลิตเม็ดพลาสติกชนิดต่างๆ เพื่อเป็นวัตถุดิบป้อนให้กับอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์พลาสติก 2. อุตสาหกรรมแปรรูปผลิตภัณฑ์พลาสติก เช่น เครื่องใช้พลาสติกถุง เป็นต้น บริษัท อุตสาหกรรมฉีดพลาสติกกรณีศึกษา มีการผลิตผลิตภัณฑ์ด้วยพลาสติกที่หลากหลาย เช่น กล้องใส่นาฬิกา กล้องใส่นกต่าง ๆ ของเล่น เป็นต้น ถึงแม้ผู้ประกอบการมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง แต่กระบวนการผลิตยังคงมีความสูญเสียเกิดขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตและความพึงพอใจของลูกค้า

จากการศึกษาข้อมูลพื้นฐานและการเก็บข้อมูลข้อร้องเรียนของลูกค้าในช่วงเดือนมิถุนายน ถึง เดือนธันวาคม ในปีที่ผ่านมา พบว่าลักษณะของเสียที่เกิดขึ้นมีดังต่อไปนี้คือ ชิ้นงานแฉ่น 6,010 ชิ้น ชิ้นงานเป็นรอย 4,541 ชิ้น ชิ้นงานกระดก 3,784 ชิ้น ชิ้นงานมีครีบก 43 ชิ้น ชิ้นงานยุบ 73 ชิ้น ชิ้นงานแตก และชิ้นงานไม่เต็ม 47 ชิ้น ความสูญเสียเหล่านั้นอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุของแต่ละกระบวนการ ตั้งแต่กระบวนการผลิต กระบวนการตรวจสอบและกระบวนการขนส่ง จากการที่ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้าไปศึกษาและทำงานในส่วนของการตรวจสอบ พบว่า กระบวนการตรวจสอบในปัจจุบันที่ไม่ชัดเจน เช่น เมื่อมีพนักงานเข้ามาทำงานใหม่ จะมีการสอนงานจากพนักงานเก่า โดยสอนตามการทำงานจากความเคยชินที่อาจจะไม่ได้ตามมาตรฐาน จึงทำให้ผู้วิจัยเกิดความสนใจที่จะพัฒนาระบบการตรวจสอบคุณภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบและลดข้อร้องเรียนของลูกค้า ที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพ โดยผู้จัดทำได้นำหลักการ ความรู้ และเทคนิคต่างๆ ด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรม มาใช้ในการหาสาเหตุของการตรวจสอบที่ไม่มีมาตรฐาน จากนั้นจึงดำเนินการแก้ไขปัญหา เพื่อไม่ให้ของเสียหลุดไปถึงมือลูกค้าและเพื่อลดข้อร้องเรียนของลูกค้า ส่งผลให้ลูกค้าเกิดความเชื่อถือต่อบริษัทกรณีศึกษามากขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก

งานฉีดพลาสติกเป็นกระบวนการขึ้นรูปชิ้นส่วนพลาสติกอีกอย่างหนึ่ง โดยอาศัยเครื่องฉีดพลาสติกที่ทำงานเป็นรอบ เริ่มจากพลาสติกที่อยู่ในรูปเม็ด ถูกส่งป้อนเข้าไปในชุดสกรูฉีดแล้วจะค่อยๆ หลอมเหลวและฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ด้วยแรงส่งของลูกสูบหรือสกรูอัดนำพลาสติก จากนั้นน้ำพลาสติกจะไหลเข้าไปสู่แม่พิมพ์จนเต็มแบบชิ้นงานและหล่อเย็นจนกระทั่งพลาสติกแข็งตัว จึงออกมาจากแม่พิมพ์โดยไม่เสียรูปทรง

สุดท้ายจะได้ชิ้นงานพลาสติกตามแบบในแม่พิมพ์นั้น แล้วเริ่มต้นกระบวนการฉีดใหม่ต่อไป[6] เครื่องฉีดพลาสติกแนวนอนซึ่งเป็นแบบเดียวกับที่ทางโรงงานกรณีศึกษาใช้ในการผลิตดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องฉีดพลาสติกแนวนอน (Horizontal Injection Machine)[1]

2.2 เครื่องพิมพ์สกรีน

เครื่องพิมพ์สกรีนเป็นเครื่องที่ไว้พิมพ์รูปหรือลวดลายลงวัตถุอื่นๆ โดยโรงงานกรณีศึกษามีการรับทำการสกรีนโลโก้ ลงไปที่สินค้าด้วยตามแต่ลูกค้าที่มีการว่าจ้าง โดยเครื่องพิมพ์สกรีนมีด้วยการหลากหลายรูปแบบตามลักษณะของชิ้นงานที่นำมาสกรีน โดยในรูปที่ 2 เป็นเครื่องพิมพ์แผ่นเรียบ



รูปที่ 2 เครื่องพิมพ์แผ่นเรียบ[2]

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools)

เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด [3] นับได้ว่าเป็นสิ่งที่ช่วยพัฒนาและแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเครื่องมือที่งานวิจัยนี้จะใช้ในการแก้ไขปัญหาประกอบไปด้วย แผนภูมิพาราด, ผังแสดงเหตุและผล และการวิเคราะห์ปรากฏการณ์แบบ Why-Why Analysis [4]

2.4 คู่มือการปฏิบัติงาน หรือ คู่มือการทำงานให้เป็นมาตรฐาน

เอกสาร คือ สิ่งหรือสื่อที่ใช้อธิบายถึงทิศทาง แนวทาง ขั้นตอนหรือวิธีการปฏิบัติงาน โดยอาจจะอยู่ในลักษณะต่าง ๆ เช่น ระเบียบปฏิบัติ คู่มือการปฏิบัติงาน วิธีการทำงาน รูปภาพ แบบฟอร์ม เป็นต้น [5] การจัดทำเอกสาร คือ การกำหนดแนวทาง ขั้นตอน หรือวิธีการไว้เป็นลายลักษณ์อักษร เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารหรือเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานเอกสารของแต่ละองค์กร (Documentation Overview)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธนกฤษ ชุณเช่ง[6] ได้ทำงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดของเสียประเภทจุดดำที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติก โดยใช้เครื่องมือควบคุมคุณภาพในการค้นหาสาเหตุและเพื่อการปรับปรุงคุณภาพในกระบวนการผลิต จริภรณ์ แก้วโสตน[7] การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์

เพื่อศึกษากระบวนการฉีดพลาสติก วิเคราะห์สาเหตุ หาแนวทาง และปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อลดของเสียให้ชิ้นงาน KNOB A LED โสภณ เกิดสมบัติ[8] การวิจัยครั้งนี้พบปัญหาในขั้นตอนการบรรจุน้ำขวดนั้นพบว่าหัวจ่ายน้ำแต่ละหัวเริ่มจ่ายน้ำและหยุดจ่ายน้ำไม่พร้อมกัน ผู้วิจัยแนะนำเทคนิค 7QC Tools มาใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลและหาสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา จากนั้นนำเทคนิค Why-Why Analysis วิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหา จูไรรัตน์ ลาดุสดี[9] งานวิจัยนี้ทำเพื่อลดปริมาณของเสียในกระบวนการประกอบชิ้นงานสวิตช์ชุดควบคุมกระจกไฟฟ้ามองข้างรถยนต์ ขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย การเก็บรวบรวมข้อมูลของเสีย การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา การคัดเลือกปัญหาที่จะแก้ไข การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนภูมิแก๊งปลาและ Why-Why analysis ศุภวิษญ์ อุทยะพิรุณลักษณ์[11] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตชิ้นงานต้นแบบของเครื่องสามมิติ ทำให้วัตถุดิบเส้นพลาสติกในการผลิตมาก จากการระดมสมองทำให้พบปัญหาที่ส่งผลต่อของเสีย หลังจากการแก้ไขปัญหามาตามปัญหา เช่น เส้นพลาสติกหดรระหว่างพิมพ์ ต้องมีการตรวจสอบเช็คปริมาณเส้นพลาสติกอย่างสม่ำเสมอทุก 15 นาทีเป็นต้น ทำให้หลังการปรับปรุงกระบวนการ ของเสียลดลง 32.99 เปอร์เซ็นต์

3. วิธีการดำเนินการ

3.1 ศึกษาข้อมูล สภาพปัจจุบันของโรงงานอุตสาหกรรมฉีดพลาสติก

กรณีศึกษา บริษัท อุตสาหกรรมฉีดพลาสติกกรณีศึกษา รับผิดชอบผลิตแม่พิมพ์ ฉีด แม่พิมพ์เป่าพลาสติก CNC,EDM และฉีดพลาสติก โดยมีการใช้เม็ดพลาสติกหลากหลายแบบ แตกต่างกันตามคุณภาพ สี ตามความต้องการของลูกค้า โดยมีตัวอย่างของเม็ดพลาสติกดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างเม็ดพลาสติก

โดยผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ของโรงงานจะเป็นการฉีดพลาสติกอย่างเดียว เช่น ถังใส่ยาพริก, กระติกน้ำ, เบาะรถจักรยานยนต์ แต่จะมีบางผลิตภัณฑ์ที่มีการอบชุบด้วย คือ ผลิตภัณฑ์ที่นำไปใช้เป็นโลโก้ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยสนใจดังรูปที่ 4 (ก) โลโก้ชุบโครเมียม และ 4 (ข) การใช้งานติดกล่องผลิตภัณฑ์



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 ผลิตภัณฑ์โลโก้

3.1.1 กระบวนการดำเนินการของผลิตภัณฑ์ทั่วไป

มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) การรับเม็ดพลาสติกเข้าโรงงานเป็นขั้นตอนแรกในการผลิต
- 2) นำเม็ดพลาสติกไปใส่เครื่องฉีดและทำการฉีดอัดเครื่องฉีด
- 3) หลังจากเม็ดพลาสติกได้ทำการฉีดออกมาเป็นผลิตภัณฑ์แล้ว จะมีพนักงาน ที่ทำงานหน้าเครื่องฉีดพลาสติก เป็นคนตรวจสอบความเรียบร้อยเบื้องต้นและตกแต่งผลิตภัณฑ์
- 4) จัดเรียงผลิตภัณฑ์ลงกล่อง จะมีพนักงาน QC เป็นพนักงานที่จะทำการตรวจสอบผลิตภัณฑ์ ก่อนที่จะไปเก็บในคลังสินค้า โดยทำการสุ่มตรวจ ตามค่าของ AQL ที่ทางโรงงานยอมรับได้
- 5) หลังจากผ่านการสุ่มตรวจสอบคุณภาพจากพนักงาน QC แล้ว จะนำผลิตภัณฑ์ทั้งหมด เข้าเก็บที่คลังสินค้า
- 6) ก่อนส่งผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้า จะทำการสุ่มตรวจสอบคุณภาพของพนักงาน QA อีกครั้ง

แต่หากมีการชุบโครเมียมด้วย จะเพิ่มเติมขั้นตอนการส่งออกไปชุบโครเมียมภายนอกโรงงานมาเพิ่มเติม โดยเมื่อมีการชุบโครเมียมเรียบร้อยแล้ว จะส่งกลับไปที่โรงงาน ทางฝ่ายควบคุมคุณภาพจะทำการสุ่มตรวจสินค้า เพื่อเป็นการยอมรับสินค้าล็อตดังกล่าว แต่หากว่าทำการสุ่มตรวจแล้ว สินค้าเกิดความเสียหายหรือมีรอยขีดข่วน เกินกว่าจำนวนที่กำหนด ก็จะมีการส่งกลับไปแก้ไขโรงงานที่รับจ้างชุบโครเมียมต่อไป

3.1.2 ลักษณะงานเสียที่พบในปัจจุบัน

ของเสียของโรงงานที่พบในปัจจุบันประกอบด้วย ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะงานเสียในปัจจุบัน

พิกัดขั้ว ๑ ญศ	พิกัดขั้ว ๒ ญศ	พิกัดขั้ว ๓ ญศ
ขั้ว (Scratches)		พิกัดขั้ว ๑-๓ ญศ 1. ญศ ๑-๓ ญศ ๑-๓
เวป (Wepage)		พิกัดขั้ว ๑-๓ ญศ 2. ญศ ๑-๓
ง (Curved)		พิกัดขั้ว ๑-๓ ญศ ๓. ญศ ๑-๓
ข (Flash)		พิกัดขั้ว ๑-๓ ญศ ๔. ญศ ๑-๓
ค (Sink marks)		พิกัดขั้ว ๑-๓ ญศ ๕. ญศ ๑-๓
บ (Slot shot)		พิกัดขั้ว ๑-๓ ญศ ๖. ญศ ๑-๓

3.2 วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหา

การเปรียบเทียบจำนวนของเสีย 2 ประเภท คือ แอน และรอย พบว่า ประเภทของเสียงานแอน มีจำนวนการส่งที่มากกว่าประเภทของเสียงานรอย จึงทำให้มีโอกาสที่มีจำนวนของเสียที่เยอะกว่าประเภทของเสียงานรอย เมื่อนำมาเปรียบเทียบเป็นอัตราส่วนของเสียแล้ว จะพบว่า อัตราส่วนของเสียของประเภทของเสียงานรอย มีอัตราส่วนที่เยอะกว่างานแอน ดังตารางที่ 2 และทำการเปรียบเทียบราคาต่อหน่วยโดยเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ มาพิจารณากับจำนวนของเสีย พบว่ามูลค่าความสูญเสียทั้งหมดของประเภทของเสียงานรายนั้นมีค่ามากกว่า

ตารางที่ 2 อัตราส่วนของเสียงานแอนและงานเป็นรอย

พิกัดขั้ว ๑ ญศ	ญศ ๑-๓ ญศ (ค)	ญศ ๑-๓ ญศ (ค)	พิกัดขั้ว ๑-๓ ญศ (ค)	พิกัดขั้ว ๑-๓ ญศ (ค)	พิกัดขั้ว ๑-๓ ญศ (ค)
ค	819,529	6,010	7.98	0.73	29,906
ค	466,002	4,541	23.37	0.97	95,247

โดยลักษณะของเสียของผลิตภัณฑ์ที่เกิดรอย จะพบในผลิตภัณฑ์ที่มีการอบชุบโครเมียม ดังเช่น ชิ้นงานโลโก้ที่ผู้วิจัยเลือกมาทำการแก้ไขปัญหามีรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ลักษณะของเสียของผลิตภัณฑ์โลโก้

ชื่อลักษณะงานเสีย	ลักษณะของงานเสีย	รายละเอียดของงานเสีย
เม็ด		ลักษณะเป็นจุดหรืออนุอนุมาจากผลิตภัณฑ์เล็กๆ เกิดจากการอบชุบของอีกโรงงานที่ทำการชุบซึ่งขณะชุบอาจจะมีสิ่งแปลกปลอมร่วงหรือกระเด็นมาติดที่ผลิตภัณฑ์
พิมพ์ไม่สมบูรณ์		ลักษณะคำที่พิมพ์ขาดหายไป สมบูรณ์ เกิดจากการสกรีนที่ผิดพลาด หรือเกิดจากการตรวจสอบที่ทำให้ผลิตภัณฑ์รอยลายพิมพ์ขาดหายไป
รอย		ลักษณะเป็นรอยขีดข่วนบนผลิตภัณฑ์ อาจเกิดจากพนักงานที่ทำการตรวจสอบหรือขณะทำการสกรีน เล็บของพนักงานไปขีดหรืออุปกรณ์ที่ใช้ทำงานไปขีดโดน
ลายน้ำ		ลักษณะเป็นดวงๆเงาๆ เกิดจากเม็ดพลาสติกที่ทำการฉีดนั้นมีความชื้นอยู่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีลายน้ำเกิดขึ้น

จากการวิเคราะห์แผนผังแสดงเหตุและผล เพื่อหาสาเหตุของปัญหาข้อร้องเรียนของลูกค้าจากปัญหาการเกิดรอยและใช้ Why why analysis เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา สามารถแสดงเป็นข้อมูลสรุปตามปัจจัยได้ดังต่อไปนี้

- ปัญหาจากคน เกิดจากพนักงานตรวจสอบQC หรือ พนักงานตรวจสอบ QA ขาดความเอาใจใส่ในการตรวจสอบเพราะมีผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่ต้องทำการตรวจสอบ และบางครั้งอาจจะไม่ปฏิบัติตามขั้นตอนการตรวจสอบ จึงทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ตามคุณภาพหลุดไปยังลูกค้า และ พนักงานป่วย ทำให้ต้องมีพนักงานคนอื่นมาทำงานแทน แต่พนักงานคนอื่นอาจจะไม่ถนัดในงานด้านนั้น จึงทำให้เป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้มีผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้คุณภาพหลุดไปยังลูกค้า จากสาเหตุของปัญหา ทางผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์ เพื่อหาแนวทางการแก้ไข ซึ่งสามารถทำได้ดังนี้ คือ การจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงานและขั้นตอนการทำงานที่ง่ายต่อการใช้งาน
- ปัญหาจากวัตถุดิบ เกิดจากเม็ดพลาสติกชื้นและเม็ดพลาสติกไม่สะอาด อาจเกิดจากการจัดเก็บรักษาที่คลังสินค้าที่ไม่ดีหรืออาจจะเกิดจากโรงงานที่ทำการผลิตเม็ดพลาสติก ผลิตเม็ดพลาสติกไม่ดีหรือจัดเก็บไม่ดี วิธีการแก้ไขอาจจะต้องเปลี่ยนโรงงานที่ทำการผลิตเม็ดพลาสติกใหม่หรือปรับปรุงฝั่งโรงงาน แนวทางแก้ไขดังกล่าวผู้วิจัยไม่สามารถแก้ไขได้เนื่องจากมีการใช้ต้นทุนสูง
- ปัญหาจากวิธีการ เกิดจากวิธีการทำงานในโรงงานไม่มีมาตรฐาน อย่างเช่น ไม่มีมาตรฐานในการทำความสะอาดแม่พิมพ์ อาจทำให้ขณะฉีดพลาสติกมีสิ่งแปลกปลอมปะปนอยู่ การตรวจสอบที่ไม่ทำตามมาตรฐาน เป็นต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่ทางผู้วิจัยสนใจในการศึกษาและดำเนินการแก้ไขที่กระบวนการตรวจสอบ จะแก้ไขโดยการจัดทำ

มาตรฐานในการตรวจสอบ เพื่อให้มีมาตรฐานการทำงานของพนักงานให้ง่ายต่อพนักงานที่มาทำงานใหม่หรือมาทำงานแทนให้เข้าใจง่ายขึ้น - ปัญหาจากเครื่องจักร เกิดจากเครื่องจักรที่ใช้มาเป็นเวลานาน จึงทำให้ตัววัดอุณหภูมิมีปัญหา ไม่เสถียรและแม่พิมพ์ที่ใช้มาเป็นเวลานาน มีการสึกหรอของแม่พิมพ์ ปัญหาของเครื่องจักรทางผู้วิจัยไม่สามารถแก้ไขได้เพราะต้องใช้เงินทุนสูง

3.2.1 กระบวนการที่ดำเนินการแก้ไข

จากการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ผ่านมา ผู้วิจัยได้ปรับปรุงกระบวนการทำงานให้เป็นมาตรฐานและง่ายต่อการทำงานของพนักงานดังต่อไปนี้

- 1) จัดทำขั้นตอนในการตรวจสอบที่เป็นมาตรฐาน ดังรูปที่ 5
- 2) จัดทำตารางคุณภาพที่ยอมรับได้ (Acceptance Quality Level) ให้ง่ายต่อการเข้าใจของพนักงาน ดังตารางที่ 4
- 3) จัดทำแผ่นบันทึกข้อมูลจำนวนของเสียที่พบในระหว่างตรวจสอบที่สามารถนำไปอ้างอิง เพื่อหาที่มาของปัญหาของเสียเบื้องต้นได้

ตารางที่ 4 ระดับคุณภาพที่ยอมรับได้ (Acceptance Quality Level)

Lot or Batch Size	Yield %	AQL 1.5	
		Acceptable Quality Level (AQL)	Acceptable Quality Level (AQL)
28	8	0	1
9-15	8	0	1
16-25	8	0	1
26-50	8	0	1
51-90	13	0	1
91-150	20	1	2
151-280	32	1	2
281-500	50	2	3
501-1200	80	3	4
1201-3200	125	5	6
3201-10000	200	7	8
10001-35000	315	10	11
35001-150000	500	14	15
150001-500000	800	21	22
500001-OVER	800	21	22

และจัดทำมาตรฐานขั้นตอนในการทำงาน ให้กับพนักงานในกระบวนการตรวจสอบตัวอย่างของมาตรฐานในการทำงานดังรูปที่ 5

WORK INSTRUCTION

Customer: Part No.: Department: Issued By: Ched By: Approval By:

Issued Date: Part Name: Material:

Matl No.: Model: Color:

จุดปฏิบัติงาน (Work Point)

1. ตรวจสอบ
2. ตรวจสอบ
3. ตรวจสอบ
4. ตรวจสอบ
5. ตรวจสอบ
6. ตรวจสอบ

ตรวจสอบ (Quality Check)

จุดปฏิบัติงาน	วิธีตรวจสอบ	เครื่องมือ
1	Visual	ตาเปล่า
2	Visual	ตาเปล่า
3	Visual	ตาเปล่า
4	Visual	ตาเปล่า
5	Visual	ตาเปล่า
6	Visual	ตาเปล่า

บรรจุ (Packing Point)

จุดปฏิบัติงาน	วิธีบรรจุ
1	บรรจุ
2	บรรจุ
3	บรรจุ
4	บรรจุ
5	บรรจุ
6	บรรจุ

รูปที่ 5 มาตรฐานการทำงาน

จากรูปที่ 5 ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนตามตัวเลขที่กำหนด และมีการดำเนินการตาม แผนผังกระบวนการโดย ขั้นตอนที่ 1 ก่อนการตรวจสอบทุกครั้งต้องทำการใส่ทุกมือเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำการตรวจสอบเสียหาย ขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบจะตรวจสอบตามในหัวข้อจุดตรวจสอบคุณภาพ (Quality Check) เมื่อตรวจสอบแล้วพบผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านมาตรฐาน จะดำเนินการตามขั้นตอนที่ 3 คือ จะทำตำแหน่งในส่วนที่ไม่ผ่านการตรวจสอบและทำการส่งคืนไปโรงงานที่ทำการซัพตามในขั้นตอนที่ 4 แต่หากผลิตภัณฑ์ผ่านการตรวจสอบจะดำเนินการตามขั้นตอนที่ 5 ในส่วนที่ทำการตรวจแล้วผ่านมาตรฐาน จะทำการจัดเก็บเข้ากล่องตามหัวข้องการบรรจุ (Packing Point) และดำเนินการตามขั้นตอนที่ 6 การสกรีนเป็นขั้นตอนสุดท้าย

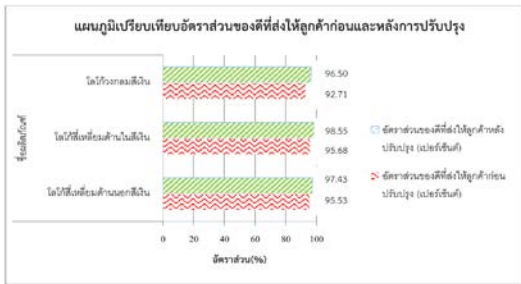
4. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการปรับปรุงของผู้วิจัยทำให้ของเสียที่หลุดไปยังลูกค้านั้นลดน้อยลง เพราะพนักงานที่ทำการตรวจสอบนั้น ได้ตรวจสอบตามมาตรฐานที่ทางโรงงานกำหนดไว้ เพราะการตรวจนั้นเข้าใจง่ายขึ้น ทำตามได้ง่าย และจากการตรวจสอบเมื่อพบเห็นของเสีย ทางพนักงานก็สามารถนำข้อมูลของเสียไปใส่ในแผ่นตรวจสอบ เพื่อไปปรึกษาทางหัวหน้าแผนกตรวจสอบได้ และหาวิธีแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทำให้จำนวนข้อร้องเรียนของลูกค้าลดน้อยลง

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการแก้ไขปัญหาดังกล่าวเมื่อได้ทำการเปรียบเทียบข้อมูลข้อร้องเรียนก่อน และหลังการปรับปรุงพบว่า โลโก้กลมสีเงินอัตราส่วนของเสียจากข้อร้องเรียนก่อนปรับปรุง 4.46 เปอร์เซ็นต์ หลังการปรับปรุง 3.49 เปอร์เซ็นต์ โลโก้เหลี่ยมด้านในสีเงินอัตราส่วนของเสียจากข้อร้องเรียนก่อนปรับปรุง 4.32 เปอร์เซ็นต์ หลังการปรับปรุง 1.44 เปอร์เซ็นต์ โลโก้เหลี่ยมด้านนอกสีเงินอัตราส่วนของเสียจากข้อร้องเรียนก่อนปรับปรุง 7.20 เปอร์เซ็นต์ หลังการปรับปรุง 2.56 เปอร์เซ็นต์ ถ้าคิดเป็นจำนวนของดีที่ส่งไปให้ลูกค้า ก่อนและหลังการปรับปรุง พบว่า โลโก้เหลี่ยมด้านนอกสีเงินจากอัตราส่วน 95.53 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 97.43 เปอร์เซ็นต์ โลโก้เหลี่ยมด้านในสีเงินจากอัตราส่วน 95.68 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 98.55 เปอร์เซ็นต์ และ โลโก้กลมสีเงินจากอัตราส่วน 92.71 เปอร์เซ็นต์ เพิ่มขึ้นเป็น 96.50 เปอร์เซ็นต์โดยแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 แผนภูมิเปรียบเทียบอัตราส่วนของดีที่ส่งให้ลูกค้าก่อนและหลังการปรับปรุง

5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. อาจมีการใช้เทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการตรวจสอบ สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีเข้มในการตรวจรับจากลูกค้าสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบ
2. ควรมีการจัดทำมาตรฐานการตรวจสอบเครื่องจักร เพื่อให้เครื่องจักรมีคุณภาพพร้อมใช้งาน และไม่ให้เครื่องจักรเสียหรือคุณภาพในการทำงานลดน้อยลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ บริษัท กรณีศึกษา ที่สนับสนุนและให้ข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] บริษัท ซี.ซี.ที กรุ๊ป (1997) จำกัด, ความรู้เกี่ยวกับเครื่องฉีดพลาสติกและงานฉีดพลาสติก, ข้อมูลจาก www.cctgroup.co.th/ เครื่องฉีดพลาสติก/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ตุลาคม 2564)

[2] บริษัทวินสัน, เครื่องพิมพ์สกรีน, ข้อมูลจาก www.winsongroup.com/products/machines-equipments/screen-printing/ (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ตุลาคม 2564)

[3] สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC Tools), ข้อมูลจาก <http://econs.co.th/index.php/2016/07/29/7-qc-tools/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 ตุลาคม 2564)

[4] Tawatchai Suwanabutvipa, หลักการวิเคราะห์ปรากฏการณ์แบบ Why- Why Analysis, ข้อมูลจาก <http://leanmanufacturing-tawatchai.blogspot.com/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 ตุลาคม 2564)

[5] สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบข้าราชการ, คู่มือการปฏิบัติงาน, ข้อมูลจาก <https://slideplayer.in.th/slide/13986786/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 22 ตุลาคม 2564)

[6] ธนกฤษ ชูชนะ. 2557. "การลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษา : ของเสียประเภทจุด". ภาควิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต

[7] จริภรณ์ แก้วไสนด. 2559. "การลดของเสียในกระบวนการฉีดขึ้นส่วนพลาสติก". ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีและการจัดการอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[8] โสภณ เกิดสมบัติ. 2560. "การวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุและแนวทางการลดต้นทุนในกระบวนการบรรจุน้ำดื่ม". ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

[9] จูไรรัตน์ ลาธุลี. 2559. "การลดของเสียในกระบวนการผลิตสวิตช์ควบคุมกระแสของขั้วไฟฟ้า". ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[10] มงคล ยุพันธ์. 2557. "การลดความสูญเสียจากกระบวนการฉีดพลาสติก". ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

[11] ศุภวิษณุ อุทะะพิรุณลักษณ์. 2561. "การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นงานต้นแบบจากเครื่องพิมพ์ 3 มิติ". ภาควิชาการจัดการงานวิศวกรรม คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสยาม

[12] ปิยมน โกศลชัย. 2559. "การลดปริมาณของเสียในการกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุน กรณีศึกษา บริษัท ผู้ผลิตถุงนม จำกัด". ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[13] วรรัตน์ วรรณทร์. 2555. "การศึกษาแนวทางลดความสูญเสียใน อุตสาหกรรมตัดเย็บ กรณีศึกษา การตัดเย็บเสื้อผ้ากีฬา จังหวัดขอนแก่น". ภาควิชาการบริหารอุตสาหกรรมและวิสาหกิจ คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

- [14] เกียรติไกร ศรีเลิศ. 2558. “การลดของเสียของการป้อนชิ้นงานในกระบวนการชุบแข็ง กรณีศึกษา บริษัทชุบแข็งตัวอย่าง” . ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
- [15] พิพัฒพงศ์ ศรีชนะ. 2555. “การลดของเสียในกระบวนการผลิตอิฐบล็อก กรณีศึกษา บริษัท มหาอาณาจักร จำกัด” ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
- [16] ศุภวัชร เมฆบุรณ. 2559. “การลดของเสียในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนโลหะ” . ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
- [17] จีรวัดน์ ปล้องใหม่. 2560. “การลดของเสียในกระบวนการผลิตโพลีเมอร์โซลิด คาปาซิเตอร์” . ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
- [18] ศุภชัย นาทะพันธ์. การควบคุมคุณภาพ, สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, บมจ, 2551.

การจัดอันดับพื้นที่ที่ประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำในลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาของประเทศไทย ภายใต้การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์

The Ranking of Areas in Thailand's Chao Phraya River Basin with Water Management Issues Using Multi-Criteria Decision Analysis

กนกวรรณ ทศทีศรีสรณ์ กัญญาภัทร์ สีนวล พรรณรินทร์ ปฐมเจริญวัฒน์ ศุภสร ใจจิตรี
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: sasarse.j@ku.th*

Kanokwan Thossathidrangsan, Kanyaphat Sinuan, Phannarin Pathomcharoenwat, Sasarse Jaijit*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Kamphaeng Saen, Kasetsart University

E-mail: sasarse.j@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุพื้นที่ที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการน้ำแบบเร่งด่วน ด้วยการประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูล ภายใต้แนวคิดการประเมินค่าประสิทธิภาพรายจังหวัดในเขตลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาจากผลลัพธ์ที่เกิดกับ 59 ตัวชี้วัดด้านการจัดการน้ำจากการเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานตัวชี้วัดสูงสุด (ค่า WMI เท่ากับ 5) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับความเป็นจริง 90 % โดยจังหวัดที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการน้ำแบบเร่งด่วนพิจารณาจากค่าคะแนนประสิทธิภาพรายจังหวัดตามลำดับจากค่าน้อยไปมาก จังหวัดที่จัดอยู่ใน 5 อันดับแรก ได้แก่ จังหวัดอ่างทอง ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา กรุงเทพมหานคร และนนทบุรี โดยจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขในมิติของต้นทุนทรัพยากรน้ำ (มิติที่ 1) ความสมดุลของน้ำต้นทุนและการใช้น้ำ (มิติที่ 4) และการจัดการและอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ (มิติที่ 7) ในการแก้ปัญหาของมิติที่ 1 ควรมุ่งเน้นไปที่ปริมาณน้ำท่าและน้ำกักเก็บรายปี ส่วนประเด็นการแก้ปัญหาในมิติที่ 4 ให้มุ่งเน้นที่การรักษาสมดุลของน้ำต้นทุนและการใช้น้ำ สำหรับประเด็นที่ควรมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาในมิติที่ 7 เป็นเรื่องของการแก้ปัญหาด้านการอนุรักษ์พื้นที่ป่า

คำสำคัญ: การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ การวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูล การจัดการน้ำ

Abstract

The study aims to identify areas that require urgent water management by using the data envelopment analysis in the context of evaluating provincial efficiency in the Chao Phraya River Basin based on the results of 59 water management indicators compared to the highest standard indicator of WMI value equal to 5. The analytical result is 90 % accurate, with provinces that require immediate water management are chosen based on their total efficiency scores, which are ranked from lowest to highest. Ang Thong, Pathum Thani, Phra Nakhon Si Ayutthaya, Bangkok, and Nonthaburi are the top five provinces that need to improve in terms of water supply (dimension 1), the balance of water supply and demand (dimension 4), and watershed forest management and conservation (dimension 7).

Keywords: Multi-criteria decision making, Data envelopment analysis, Water management

1. บทนำ

การบริหารจัดการน้ำในประเทศไทยมีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง โดยมุ่งแก้ไขปัญหาคritical 3 ประการ ได้แก่ ปัญหากภัยแล้ง อุทกภัย และคุณภาพน้ำ ที่ผ่านจนถึงปัจจุบัน การกำหนดการปฏิบัติงานด้านการบริหารจัดการน้ำเป็นการกำหนดจากบนลงล่าง โดยให้มีการดำเนินการตามนโยบายของรัฐบาลหรือหน่วยงานจากส่วนกลางเป็นหลัก ที่ขาดการศึกษาและวิเคราะห์สภาพปัญหาตามบริบทของแต่ละพื้นที่ ทำให้แต่ละพื้นที่ได้รับประโยชน์จากการบริหารจัดการน้ำได้ไม่เต็มที่ [1]

รายงานผลการสำรวจโครงการระบบการเก็บข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานระดับพื้นที่เพื่อการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืนในลุ่มน้ำทั่วประเทศ ของสำนักงานสถิติแห่งชาติ ได้ให้ข้อมูลดัชนีชี้วัดการจัดการน้ำ เพื่อให้ผู้ที่เกี่ยวข้องด้านการบริหารจัดการน้ำทั้งภาครัฐและเอกชน เข้าใจสถานการณ์น้ำที่เกิดขึ้นในมิติต่างๆ ของแต่ละพื้นที่ในประเทศ และใช้เป็นเครื่องมือสนับสนุนการตัดสินใจด้านการบริหารจัดการน้ำที่มีประสิทธิภาพ ตรงตามสภาพปัญหาเชิงพื้นที่ [2]

ดัชนีชี้วัดการจัดการน้ำของประเทศมี 59 ตัวชี้วัด ภายใต้การบริหารจัดการฯ ใน 8 มิติ ได้แก่ 1) ต้นทุนทรัพยากรน้ำ 2) การจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค 3) ความมั่นคงของน้ำเพื่อการพัฒนา 4) ความสมดุลของน้ำต้นทุนและการใช้น้ำ 5) การจัดการคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อมน้ำ 6) การจัดการภัยพิบัติที่เกิดจากน้ำ 7) การจัดการและอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ และ 8) การบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ [2]

จากผลของโครงการสำรวจฯ ทำให้ได้ข้อบ่งชี้สถานะการบริหารจัดการน้ำในแต่ละพื้นที่ที่จำแนกตามขอบเขตของลุ่มแม่น้ำ โดยพิจารณาจากค่าดัชนีชี้วัดการจัดการน้ำ (Water Management Index: WMI) ที่มีค่าอยู่ในช่วง 0-5 คะแนน (อันตรายน้อย ต้องพัฒนา มีศักยภาพ มีประสิทธิภาพ และต้นแบบ ตามลำดับ) ผลการสำรวจฯ ในปีพ.ศ. 2563 พบว่า สถานะการบริหารจัดการน้ำฯ ในภาพรวมของประเทศอยู่ในระดับที่มีประสิทธิภาพ (ค่า WMI เท่ากับ 3.43) หากพิจารณาค่า WMI รายมิติพบว่าด้านต้นทุนทรัพยากรน้ำ การจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค ความมั่นคงของน้ำเพื่อการพัฒนา ความสมดุลของน้ำต้นทุน และการใช้น้ำ การจัดการคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อมน้ำ การจัดการภัยพิบัติที่เกิดจากน้ำ การจัดการและอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ และการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำมีค่าเท่ากับ 3.52, 4.47, 2.86, 3.74, 3.01, 3.52, 3.67 และ 2.65 ตามลำดับ สำหรับค่า WMI ที่จำแนกตามขอบเขตของลุ่มแม่น้ำพบว่า ลุ่มแม่น้ำส่วนใหญ่มีสถานะอยู่ในระดับที่มีประสิทธิภาพ (ค่า WMI มากกว่า 3 คะแนน) ยกเว้นลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ท่าจีน และมูลที่อยู่ในระดับมีศักยภาพ (ค่า WMI น้อยกว่า 3 คะแนน) [2]

ข้อมูลสถานะการบริหารจัดการน้ำรายพื้นที่ตามขอบเขตลุ่มแม่น้ำข้างต้น ทำให้ทราบเพียงมิติที่จำเป็นต้องเร่งดำเนินการเพื่อยกระดับสถานะการบริหารจัดการน้ำของแต่ละพื้นที่ แต่ไม่สามารถระบุรายละเอียดได้ว่าควรจัดการที่เรื่องใด ดังนั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิผลด้านการบริหารจัดการภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด งานวิจัยนี้จึงอาศัยหลักการวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูลเพื่อจัดอันดับพื้นที่ในเขตลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการน้ำแบบเร่งด่วน โดยสามารถระบุประเด็นปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำจำแนกรายมิติของแต่ละพื้นที่ได้

หลักการที่ใช้ในการจัดอันดับหน่วยตัดสินใจ (Decision making unit: DMU) เช่น จังหวัด หน่วยงานภายในองค์กร บุคคล หรือสิ่งของภายใต้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์มีหลายวิธี เช่น การรวมแบบถ่วงน้ำหนักอย่างง่าย (Simple additive weighting: SAW) การเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for order of preference by similarity to ideal solution: TOPSIS) การกำจัดและเลือกบนพื้นฐานความจริง (Elimination and choice translating reality: ELECTRE) การจัดอันดับความพึงพอใจขององค์กรในการประเมินการเสริมคุณค่า (Preference ranking organization method of enrichment evaluation: PROMETHEE) และการวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูล (Data envelopment analysis: DEA) เป็นต้น [3-4]

หลายงานวิจัยมีการประยุกต์ใช้หลักการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ในการหาข้อสรุปเชิงนโยบายด้านการบริหารจัดการน้ำ เช่น

Khakzand and Yeganeh [5] ใช้หลักการ SAW ในการตัดสินใจเลือกวิธีการบริหารจัดการน้ำที่ยั่งยืนของ Persian garden ประเทศอิหร่าน ภายใต้หลายหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ เช่น ความลาดชันของพื้นที่ หรืออัตราการบริโภคน้ำ เป็นต้น Dai, et al. [6] ใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบเกรย์ (Gray relation analysis: GRA) ร่วมกับวิธี TOPSIS ในการประเมินความมั่นคงทางด้านน้ำ (Water security) ของเมืองปักกิ่ง ประเทศจีน ในช่วงปีพ.ศ. 2539-2550 Yahya, et al. [7] ใช้หลักการ TOPSIS ในการเลือกวิธีบำบัดน้ำเสียภายใต้การตัดสินใจจากหลายหลักเกณฑ์ เช่น ขนาดรูปทรงของเมมเบรน การไหลของน้ำและความดัน งบประมาณที่ใช้ในการลงทุน เป็นต้น Raju, et al. [8] ใช้หลักการ ELECTRE ในการจัดอันดับทางเลือกด้านการบริหารจัดการพื้นที่ในเขตชลประทานของจังหวัด Huesca ประเทศสเปน Maragoudaki and Tsakiris [9] ใช้หลักการ PROMETHEE ในการประเมินทางเลือกของแผนบรรเทาอุทกภัย ภายใต้หลักเกณฑ์การตัดสินใจด้านงบประมาณลงทุนในการป้องกันเกิดอุทกภัยและกาซ่อมบำรุง ตลอดจนหลักเกณฑ์ตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อมและสถานภาพเศรษฐกิจสังคม Le, et al. [10] ใช้หลักการ DEA ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้น้ำและศักยภาพการลดการใช้น้ำของบริษัทในเขตอุตสาหกรรมจำนวนทั้งหมด 58 แห่ง ที่จำแนกการประเมินออกเป็น 4 กลุ่มตามประเภทของอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมสิ่งทอ โลหะประดิษฐ์ ยางและพลาสติก และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณามี 5 หลักเกณฑ์ ได้แก่ ปริมาณการใช้น้ำรายเดือน ปริมาณการปนเปื้อนของน้ำทิ้ง กำลังการผลิตรายเดือน จำนวนพนักงาน และพื้นที่ที่บริษัทครอบครอง

จากการศึกษาวิธีที่ใช้ในการจัดอันดับความสำคัญของทางเลือกภายใต้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ของงานวิจัยต่างๆ ข้างต้น [5-10] พบว่า ทั้งวิธี SAW, TOPSIS, ELECTRE และ PROMETHEE จำเป็นต้องมีการกำหนดค่าน้ำหนักของหลักเกณฑ์โดยผู้เชี่ยวชาญก่อนการวิเคราะห์ ยกเว้นวิธี DEA ที่เป็นการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าประสิทธิภาพที่เป็นผลจากการเปรียบเทียบระหว่างทางเลือก โดยที่น้ำหนักของหลักเกณฑ์เป็นตัวแปรตัดสินใจ ภายใต้เงื่อนไขที่แต่ละ DMU มีขอบเขตของค่าประสิทธิภาพสูงสุดได้เท่ากับ 1

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ที่ต้องการจัดอันดับพื้นที่ในเขตลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการน้ำแบบเร่งด่วน ภายใต้การตัดสินใจจากหลายหลักเกณฑ์ตามดัชนีชี้วัดการจัดการน้ำของประเทศ ที่ระบุในโครงการระบบการเก็บข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานของสำนักงานสถิติแห่งชาติ จึงมีการประยุกต์ใช้วิธี DEA เพื่อลดความโน้มเอียงจากการกำหนดค่าถ่วงน้ำหนักของหลักเกณฑ์ ในการประเมินค่าประสิทธิภาพของพื้นที่ที่ศึกษา และจัดอันดับพื้นที่ๆ จากค่าประสิทธิภาพ เพื่อหาข้อสรุปด้านการจัดการน้ำเชิงพื้นที่

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบุพื้นที่ที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการน้ำแบบเร่งด่วน โดยมีขอบเขตของงานวิจัย ดังนี้

- พื้นที่ที่ใช้ในการศึกษาเป็นพื้นที่รายจังหวัดในเขตลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาจำนวน 16 จังหวัด ได้แก่ กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ นนทบุรี ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา อ่างทอง ลพบุรี สิงห์บุรี ชัยนาท สระบุรี ฉะเชิงเทรา นครนายก สุพรรณบุรี นครปฐม สมุทรสาคร และสมุทรสงคราม
- หลักเกณฑ์ที่ใช้ในแบบจำลองฯ อ้างอิงตามดัชนีชี้วัดการจัดการน้ำของประเทศทั้งหมดจำนวน 59 ตัวชี้วัด (ดังแสดงในหัวข้อที่ 3.1) ใน 8 มิติ และเป็นข้อมูลที่มีการรายงานในปีพ.ศ. 2563

3. การวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูล

ในการจัดอันดับพื้นที่รายจังหวัดในเขตลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา เป็นการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ ด้วยวิธีการวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูล ค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการวิเคราะห์จะถูกนำมาใช้ในการจัดอันดับพื้นที่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการประเมินการจัดสรรทรัพยากรให้แก่พื้นที่ที่ต้องการได้รับการจัดสรรอย่างเร่งด่วน การเก็บรวบรวมข้อมูลและหลักการวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูล แสดงรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองฯ จำแนกออกเป็น 2 ชุดคือ 1) ปัจจัยนำเข้า ได้แก่ ค่า WMI และ 2) ปัจจัยผลผลิต ได้แก่ 1) ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี 2) ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อประชากร 3) ปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำมาใช้ได้อายุปีต่อประชากร 4) ปริมาณน้ำเก็บกักรายปีต่อประชากร 5) ปริมาณน้ำเก็บกักต่อหน้าท่า 6) ปริมาณน้ำบาดาลที่พัฒนาไปใช้ต่อปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำมาใช้ได้ 7) คุณภาพน้ำผิวดิน 8) คุณภาพน้ำบาดาล 9) คริวเรือนในชนบทที่มีน้ำประปาใช้ต่อคริวเรือนในชนบททั้งหมด 10) คริวเรือนในเขตเมืองที่มีน้ำประปาใช้ต่อคริวเรือนในเขตเมืองทั้งหมด 11) คริวเรือนที่มีน้ำประปาคุณภาพดีต่อคริวเรือนที่มีน้ำประปาใช้ทั้งหมด 12) ปริมาณการใช้น้ำอุปโภค-บริโภคต่อคน 13) ระยะเวลาที่น้ำประปาไม่มีปัญหา 14) พื้นที่ชลประทานต่อพื้นที่เกษตรกรรม 15) คริวเรือนที่มีพื้นที่เกษตรกรรมในเขตชลประทาน 16) ปริมาณน้ำกักเก็บต่อพื้นที่เกษตรกรรม 17) ผลผลิตทางการใช้น้ำด้านเกษตรกรรม 18) คุณภาพน้ำที่ใช้ในการเกษตร 19) ผลผลิตทางการใช้น้ำด้านการผลิต 20) คุณภาพน้ำที่ใช้ในการผลิต 21) ผลผลิตทางการใช้น้ำด้านบริการ 22) คุณภาพน้ำที่ใช้ในการบริการ 23) สถานที่ราชการที่มีน้ำประปาใช้ต่อสถานที่ราชการทั้งหมด 24) สถานที่ราชการที่มีน้ำประปาคุณภาพดีต่อสถานที่ราชการที่มีน้ำประปาใช้ทั้งหมด 25) สมดุลของน้ำต้นทุนและการใช้น้ำ 26) โรงงานอุตสาหกรรมที่มีระบบบำบัดน้ำเสียต่อโรงงานอุตสาหกรรมทั้งหมด 27) พื้นที่เมืองต่อพื้นที่ทั้งหมด 28) หมู่บ้านที่มีระบบบำบัดน้ำเสียต่อหมู่บ้านทั้งหมด 29) แหล่งน้ำผิวดินที่มีคุณภาพน้ำระดับพอใช้ขึ้นไป 30) เวลาที่มีปริมาณน้ำรักษาสมดุลนิเวศท้ายน้ำ 31) ความหนาแน่นของระบบติดตามคุณภาพน้ำ 32) ความหนาแน่นของโรงงานอุตสาหกรรม 33) โรงงานอุตสาหกรรมที่มีน้ำเสียจากระบบการผลิตต่อโรงงานอุตสาหกรรม

ทั้งหมด 34) มูลค่าความเสียหายจากน้ำท่วมต่อพื้นที่ทั้งหมด 35) พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากต่อพื้นที่ทั้งหมด 36) พื้นที่มีโอกาสเกิดดินถล่มต่อพื้นที่ทั้งหมด 37) ประชากรในพื้นที่น้ำท่วมต่อประชากรทั้งหมด 38) ความยาวถนนต่อพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซาก 39) พื้นที่เขตเมืองในพื้นที่น้ำท่วมซ้ำซากต่อพื้นที่เขตเมืองทั้งหมด 40) ระยะเวลาที่น้ำท่วมขังในเขตที่อยู่อาศัย 41) ระดับความลึกของน้ำท่วม ในเขตที่อยู่อาศัย 42) หมู่บ้านในพื้นที่น้ำท่วมที่มีการเตือนภัยและมาตรการช่วยเหลือต่อหมู่บ้านในพื้นที่น้ำท่วม 43) มูลค่าความเสียหายจากภัยแล้งต่อพื้นที่ทั้งหมด 44) พื้นที่แล้งซ้ำซากต่อพื้นที่ทั้งหมด 45) พื้นที่เกษตรกรรมในพื้นที่แล้งซ้ำซากต่อพื้นที่เกษตรกรรมทั้งหมด 46) พื้นที่ป่าไม้ต่อพื้นที่ทั้งหมด 47) ความสมบูรณ์ของป่าไม้ 48) การกระจายตัวขององค์กรด้านการอนุรักษ์และการจัดการป่าไม้ 49) แผนการจัดการน้ำ 50) โครงการชลประทานที่มีส่วนร่วมต่อโครงการชลประทานทั้งหมดในพื้นที่ 51) การกระจายตัวขององค์กรจัดการน้ำ 52) GPP ต่อปริมาณน้ำต้นทุน 53) GPP ต่อประชากร 54) ประชากรวัยทำงานต่อประชากรทั้งหมด 55) โครงการวิจัยด้านการจัดการทรัพยากรน้ำ 56) ความยาวทางน้ำที่เหมาะสมสำหรับการขนส่งทางน้ำต่อความยาวทางน้ำทั้งหมด 57) ความครอบคลุมของสถานีอุตุ-อุทกวิทยา 58) สถานีอุตุ-อุทกวิทยาที่มีการตรวจวัดเป็นปัจจุบันต่อสถานีอุตุ-อุทกวิทยาทั้งหมด และ 59) อ่างเก็บน้ำที่มีการบริหารจัดการน้ำต่ออ่างเก็บน้ำทั้งหมด

ปัจจัยผลผลิตที่ 1-8 จัดเป็นตัวชี้วัดในมิติการจัดการน้ำฯ มิติที่ 1 ส่วนปัจจัยผลผลิตที่ 9-13, 14-24, 25, 26-33, 34-45, 46-48 และ 49-59 จัดเป็นตัวชี้วัดในมิติการจัดการน้ำฯ มิติที่ 2-8 ตามลำดับ ข้อมูลปัจจัยผลผลิต 59 ตัวและค่า WMI สามารถเข้าถึงได้จากลิงค์ https://docs.google.com/file/d/1IuNWVl-66hm_UgJgHskneoncs0ShihQ/edit?filetype=msexcel

ข้อมูลของแต่ละปัจจัยใช้เป็นค่าคะแนนของตัวชี้วัด ที่ประเมินจากสภาพความสำคัญและปัญหาของการจัดการน้ำในตัวชี้วัดนั้นๆ เทียบกับตัวชี้วัดอื่นๆ ในดัชนีชี้วัดการจัดการน้ำรายมิติเดียวกัน ค่าคะแนนอยู่ในช่วง 0-5 โดยที่ค่าคะแนนเท่ากับ 5 แสดงถึงความมั่นคงด้านต้นทุนทรัพยากรน้ำสูงและลดลงตามลำดับคะแนนจนถึงระดับคะแนนเท่ากับ 0 ที่แสดงถึงการขาดแคลนต้นทุนทรัพยากรน้ำ [2] ข้อมูลที่ใช้เป็นข้อมูลที่มีการรายงานในปีพ.ศ. 2563 จำแนกรายจังหวัด 16 จังหวัดในเขตลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา (รายชื่อจังหวัดแสดงไว้ในหัวข้อที่ 2)

3.2 หลักการวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูล

หลักการวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูลเอาต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (สมการที่ 1) ในการคัดเลือกค่าถ่วงน้ำหนักที่ทำให้หน่วยตัดสินใจหน่วยที่กำลังถูกเปรียบเทียบกับหน่วยตัดสินใจอื่นๆ (หน่วยที่ j_0) ได้รับค่าคะแนนประสิทธิภาพสูงสุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านผลรวมของค่าถ่วงน้ำหนักด้านปัจจัยผลผลิต (Output-oriented) และปัจจัยนำเข้าการผลิต (Input-oriented) ของแต่ละ DMU ที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพสูงสุดได้ไม่เกิน 1 ภายใต้ค่าถ่วงน้ำหนักเดียวกัน

กรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้คือต้องการประเมินค่าประสิทธิภาพจากผลลัพธ์ที่เกิดกับตัวชี้วัดการจัดการน้ำจากการเปรียบเทียบ (Benchmarking) กับค่ามาตรฐานตัวชี้วัดสูงสุด (ค่า WMI เท่ากับ 5) หลักการวิเคราะห์ ที่เลือกใช้จึงเป็นแบบการประเมินค่าประสิทธิภาพทางด้านผลผลิต (Output-oriented measure) ดังแสดงในสมการที่ (1) โดยการหาค่าประสิทธิภาพของแต่ละจังหวัด มีการจำแนกตามมิติ 8 มิติ

$$\max \phi + \mathcal{E} \left(\sum_{i=1}^I s_i^- + \sum_{k=1}^K s_k^+ \right)$$

ภายใต้ข้อจำกัด (1)

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} \lambda_j + s_i^- = x_{i0}, i = 1, 2, \dots, I$$

$$\sum_{j=1}^N y_{kj} \lambda_j - s_k^+ = \phi y_{k0}, k = 1, 2, \dots, K$$

$$\lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, N$$

โดยที่ ϕ คือค่าคะแนนประสิทธิภาพที่มีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 ค่า \mathcal{E} คือจำนวนจริงที่มีค่ามากกว่าศูนย์แต่มีค่าน้อยกว่าจำนวนจริงบวกใดๆ ค่า s_i^- คือค่าปัจจัยการผลิตส่วนเกิน (Input slack) ค่า s_k^+ คือค่าผลผลิตส่วนที่ขาด (Output slack) โดยค่า s_i^- และ s_k^+ จะเกิดขึ้นเมื่อใช้วิธีการประเมินค่าประสิทธิภาพทางด้านปัจจัยนำเข้าการผลิต (Input-oriented measure) และ ปัจจัยผลผลิต Output-oriented measure ตามลำดับ เมื่อค่าคะแนนประสิทธิภาพของแต่ละหน่วยตัดสินใจเป็นผลจากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกันระหว่างหน่วยตัดสินใจอื่นๆ ที่พิจารณาร่วมกัน ภายใต้ขอบเขตของค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 1 หากแบบจำลองใช้วิธี input-oriented หน่วยตัดสินใจใดที่เมื่อถูกเปรียบเทียบกับหน่วยอื่นแล้วพบว่ามีความปัจจัยการผลิตที่มากเกินไป (ทำให้ค่าคะแนนประสิทธิภาพเกินขอบเขตสูงสุดเท่ากับ 1) ค่าปัจจัยการผลิตส่วนเกินเหล่านั้นจะถูกเรียกว่า input slack ในทางตรงกันข้าม ถ้าใช้วิธี output-oriented หน่วยตัดสินใจใดที่เมื่อถูกเปรียบเทียบกับหน่วยอื่นแล้วพบว่ามีความผลผลิตน้อยที่ส่งผลให้ค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 หน่วยตัดสินใจนั้นจะถือว่ามีความ output slack ค่า x_{ij} คือระดับของปัจจัยการผลิตประเภท i ที่ถูกใช้ในการผลิตของหน่วยตัดสินใจหน่วยที่ j เมื่อ i มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง I ในที่นี้ x_{ij} ของทุกหน่วยตัดสินใจมีค่าเท่ากันเท่ากับ 5 ตามกรอบแนวคิดของแบบจำลองที่กล่าวไว้ข้างต้น ค่า x_{i0} คือ ระดับของปัจจัยการผลิตประเภท i ที่ถูกใช้ในการผลิตของหน่วยตัดสินใจหน่วยที่ j ของหลักเกณฑ์ที่ถูกกำหนดให้เป็นคู่เทียบ 0 ค่า y_{kj} คือ ระดับของผลผลิตประเภท k ที่ถูกใช้ในการผลิตของหน่วยตัดสินใจหน่วยที่ j เมื่อ k มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง K โดย y_{kj} ในที่นี้คือค่าของตัวชี้วัดทั้ง 59 ตัว ($k = 1, 2, \dots, 59$) ของ 16 หน่วยตัดสินใจหรือ 16 จังหวัด ($j = 1, 2, \dots, 16$) ค่า y_{k0} คือ ระดับของผลผลิตประเภท k ที่ถูกใช้ในการผลิตของหน่วยตัดสินใจหน่วยที่ j ของหลักเกณฑ์ที่ถูก

กำหนดให้เป็นคู่เทียบ 0 และค่า λ_j จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดจุดอ้างอิง (Reference points) บนขอบเขตประสิทธิภาพของหน่วยตัดสินใจ j เมื่อ j มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง N

4. ผลการวิจัย

ค่าคะแนนประสิทธิภาพรายจังหวัดทั้ง 16 จังหวัดในเขตลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาที่จำแนกรายมิติแสดงในตารางที่ 1 หากพิจารณาสัดส่วนของจังหวัดที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 (พื้นที่ที่ประสบปัญหาหรือจำเป็นต้องได้รับการจัดการน้ำแบบเร่งด่วน) จำแนกรายมิติพบว่าในมิติที่ 4: ความสมดุลของน้ำต้นทุนและการใช้น้ำ และมิติที่ 7: การจัดการและอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ มีสัดส่วนของพื้นที่ที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการฯ มากที่สุดเมื่อเทียบกับมิติด้านอื่นๆ (รูปที่ 1)

หากพิจารณาการจัดอันดับพื้นที่จำแนกรายมิติพบว่า ในมิติที่ 1: ด้านต้นทุนทรัพยากรน้ำ จังหวัดที่ประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดอ่างทอง พระนครศรีอยุธยา ปทุมธานี และนครปฐม ตามลำดับ ในมิติที่ 2: ด้านการจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค จังหวัดที่ประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการฯ มากที่สุด ได้แก่ จังหวัดฉะเชิงเทรา สระบุรี และนครปฐม ตามลำดับ ในมิติที่ 4: ด้านความสมดุลของน้ำต้นทุนและการใช้น้ำ มีหลายจังหวัดที่ประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำ โดยเรียงลำดับจากระดับปัญหาที่มากที่สุด ได้แก่ จังหวัดนนทบุรี สิงห์บุรี อ่างทอง สมุทรสาคร นครปฐม พระนครศรีอยุธยา ชัยนาท สุพรรณบุรี สมุทรสงคราม ปทุมธานี กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ ลพบุรี และสระบุรี ตามลำดับ ในมิติที่ 6: ด้านการจัดการภัยพิบัติที่เกิดจากน้ำ มีเพียงจังหวัดลพบุรีที่เผชิญปัญหาด้านนี้มากที่สุด ในมิติที่ 7: ด้านการจัดการและอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ จังหวัดที่ประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการน้ำมากที่สุด ได้แก่ จังหวัดอ่างทอง ปทุมธานี กรุงเทพมหานคร สมุทรปราการ พระนครศรีอยุธยา ชัยนาท นนทบุรี นครปฐม สมุทรสงคราม ลพบุรี สิงห์บุรี และสุพรรณบุรี ตามลำดับ ส่วนมิติที่ 3: ด้านความมั่นคงของน้ำเพื่อการพัฒนา มิติที่ 5: ด้านการจัดการคุณภาพน้ำและสิ่งแวดล้อมน้ำ มิติที่ 4: ด้านการจัดการภัยพิบัติที่เกิดจากน้ำ และมิติที่ 8: ด้านการบริหารจัดการทรัพยากรน้ำ ไม่มีจังหวัดใดที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ ไม่มีจังหวัดใดที่ประสบปัญหาในมิติต่างๆ ดังกล่าว

หากพิจารณาค่าผลผลิตส่วนขาดที่เกิดขึ้นเฉพาะกรณีที่หน่วยตัดสินใจ (DMU: จังหวัด) มีค่าประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 สามารถใช้ชี้บ่งประเด็นที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการในแต่ละพื้นที่ของแต่ละมิติได้ รูปที่ 2-5 แสดงสัดส่วนของค่าผลรวมของผลผลิตส่วนขาดจากจังหวัดที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 รายปัจจัยในแต่ละมิติ ส่วนมิติที่ 4 มีเพียงประเด็นเดียวคือเรื่องความสมดุลของน้ำต้นทุนและการใช้น้ำ โดยเป็นมิติที่มีสัดส่วนของพื้นที่ที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการแบบเร่งด่วนมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 88 ของจำนวนจังหวัดที่พิจารณาทั้งหมด

ตัวอย่างการใช้ผลจากแบบจำลองในการพิจารณานโยบายด้านการบริหารจัดการน้ำ เช่น ภายใต้การมีงบประมาณที่จำกัดที่สามารถรองรับการแก้ปัญหาได้มากที่สุด 5 พื้นที่ จังหวัดที่มีค่าผลรวมของค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยสุด 5 อันดับแรกจะถูกพิจารณาเพื่อหาแนวทางการ

จัดการมาก่อน ได้แก่ จังหวัดอ่างทอง ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา กรุงเทพมหานคร และนนทบุรี หากพิจารณาตัวอย่างของจังหวัดอ่างทองพบว่าในมิติที่ 1 มีค่าคะแนนประสิทธิภาพเท่ากับ 0.79 โดยมิติที่ 1 มีประเด็นการพิจารณาย่อยอีก 8 ประเด็น (รูปที่ 2) โดยประเด็นย่อยที่มีค่า output slack (เข้าถึงข้อมูลได้จาก <https://docs.google.com/file/d/1KCGKB3YhPuj9t8o756RSvtVAif5Fi4HX/edit?filetype=msexcel>) จะถูกนำมาพิจารณาในการกำหนดนโยบายการแก้ปัญหาระดับพื้นที่ ได้แก่ ประเด็นปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีต่อประชากร ปริมาณน้ำบาดาลที่สามารถนำมาใช้ได้ ปริมาณน้ำเก็บกักรายปีต่อประชากร ปริมาณน้ำบาดาลที่พัฒนามาใช้ได้ และคุณภาพน้ำผิวดิน ส่วนการกำหนดแนวทางการแก้ปัญหาจะเป็นงานในลำดับถัดไปของหน่วยงานผู้เสนอแนะนโยบาย

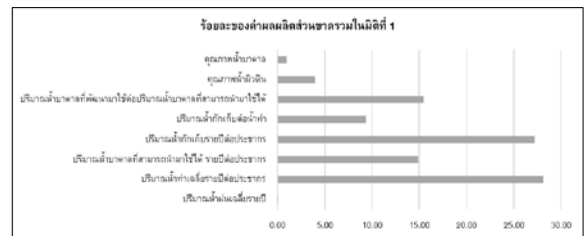
ในการตรวจสอบความถูกต้องเหมาะสมของแบบจำลอง (Validation) อาศัยผลการเปรียบเทียบการจัดอันดับจังหวัดระหว่างการจัดอันดับด้วยค่า WMI ในภาพรวมของทุกมิติจากรายงานของโครงการระบบการจัดเก็บข้อมูลโครงสร้างพื้นฐานระดับพื้นที่ที่เรียงลำดับจากค่าน้อยไปมาก กับการจัดอันดับด้วยค่าผลรวมของคะแนนประสิทธิภาพที่เรียงจากค่าน้อยไปมาก (ตารางที่ 1) โดยการตรวจสอบที่พิจารณาผลการเปรียบเทียบใน 10 อันดับแรกพบว่า ผลของแบบจำลอง มีความสอดคล้องกับความเป็นจริง 90 %

ตารางที่ 1 ค่าคะแนนประสิทธิภาพของ 16 จังหวัดที่จำแนกรายมิติ

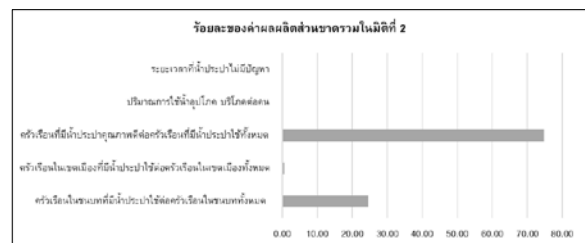
จังหวัด	ค่าประสิทธิภาพ							
	มิติที่ 1	มิติที่ 2	มิติที่ 3	มิติที่ 4	มิติที่ 5	มิติที่ 6	มิติที่ 7	มิติที่ 8
กรุงเทพฯ	1.00	1.00	1.00	0.15	1.00	1.00	0.51	1.00
สมุทรปราการ	1.00	1.00	1.00	0.25	1.00	1.00	0.60	1.00
นนทบุรี	1.00	1.00	1.00	0.02	1.00	1.00	0.65	1.00
ปทุมธานี	0.90	1.00	1.00	0.15	1.00	1.00	0.42	1.00
พระนครศรีอยุธยา	0.87	1.00	1.00	0.06	1.00	1.00	0.62	1.00
อ่างทอง	0.79	1.00	1.00	0.03	1.00	1.00	0.00	1.00
ลพบุรี	1.00	1.00	1.00	0.31	1.00	0.98	0.88	1.00
สิงห์บุรี	1.00	1.00	1.00	0.03	1.00	1.00	0.95	1.00
ชัยนาท	1.00	1.00	1.00	0.06	1.00	1.00	0.63	1.00
สระบุรี	1.00	0.99	1.00	0.33	1.00	1.00	1.00	1.00
ฉะเชิงเทรา	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
นครนายก	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
สุพรรณบุรี	1.00	1.00	1.00	0.06	1.00	1.00	0.95	1.00
นครปฐม	0.92	0.99	1.00	0.04	1.00	1.00	0.81	1.00
สมุทรสาคร	1.00	1.00	1.00	0.04	1.00	1.00	1.00	1.00
สมุทรสงคราม	1.00	1.00	1.00	0.07	1.00	1.00	0.88	1.00



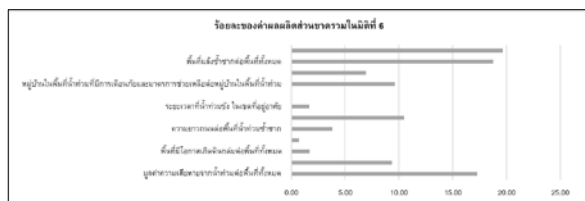
รูปที่ 1 ร้อยละของจังหวัดที่ประสบปัญหาด้านการจัดการน้ำ จำแนกเป็นรายมิติ



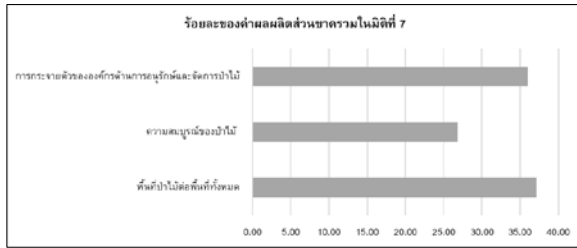
รูปที่ 2 สัดส่วนของค่าผลรวมของผลผลิตส่วนขนาดจากจังหวัดที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 รายปัจจัยในมิติ 1



รูปที่ 3 สัดส่วนของค่าผลรวมของผลผลิตส่วนขนาดจากจังหวัดที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 รายปัจจัยในมิติ 2



รูปที่ 4 สัดส่วนของค่าผลรวมของผลผลิตส่วนขนาดจากจังหวัดที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 รายปัจจัยในมิติ 6



รูปที่ 5 สัดส่วนของค่าผลรวมของผลผลิตส่วนขาดจากจังหวัดที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 รายปัจจัยในมิติ 7

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

หากมีการเก็บข้อมูลตัวชี้วัดอย่างต่อเนื่อง ข้อมูลของตัวชี้วัดที่มีจำนวนมากจะถูกอธิบายภายใต้ความไม่แน่นอน ดังนั้นในการวางแผนการบริหารจัดการน้ำในระยะยาว ควรพัฒนาแบบจำลองฯ ที่มีการพิจารณาความไม่แน่นอนร่วมด้วย

6. สรุป

งานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์การโอบล้อมข้อมูลเพื่อประเมินพื้นที่ที่จำเป็นต้องได้รับการจัดการน้ำแบบเร่งด่วน โดยค่าคะแนนประสิทธิภาพภายใต้การพิจารณา 59 หลักเกณฑ์ตามตัวชี้วัดการจัดการน้ำของประเทศ ถูกใช้ในการจัดอันดับพื้นที่ตามค่าคะแนนประสิทธิภาพจากน้อยไปมาก (ค่าสูงสุดเท่ากับ 1) พื้นที่ที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพน้อยกว่า 1 จัดเป็นพื้นที่ที่ต้องได้รับการจัดการน้ำแบบเร่งด่วน จากการพิจารณาค่าคะแนนประสิทธิภาพรวมรายจังหวัด จังหวัดที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพรวมน้อยคือจังหวัดที่ต้องได้รับการจัดการน้ำแบบเร่งด่วน โดยจังหวัดที่มีค่าคะแนนประสิทธิภาพรวมน้อย 5 อันดับแรก ได้แก่ จังหวัดอ่างทอง ปทุมธานี พระนครศรีอยุธยา กรุงเทพมหานคร และนนทบุรี ที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วนในมิติของต้นทุนทรัพยากรน้ำ ความสมดุลของน้ำต้นทุนและการใช้น้ำ และการจัดการและอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ

สำหรับการระบุประเด็นที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขพิจารณาได้จากปัจจัยที่มีค่าผลผลิตส่วนขาดเกิดขึ้น นอกจากนี้ ค่าสัดส่วนของผลผลิตส่วนขาดรายมิติยังสามารถใช้เป็นข้อมูลให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องใช้วางแผนการจัตุสรทรัพยากรด้านการบริหารจัดการน้ำของประเทศได้ หากพิจารณาตามค่าสัดส่วนฯ ที่เป็นผลลัพธ์จากงานวิจัยพบว่า ในพื้นที่ลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาจำเป็นต้องได้รับการแก้ไขด้านต้นทุนทรัพยากรน้ำ (มิติที่ 1) การจัดการน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค (มิติที่ 2) การจัดการภัยพิบัติที่เกิดจากน้ำ (มิติที่ 6) และการจัดการและอนุรักษ์ป่าต้นน้ำ (มิติที่ 7) โดยในการแก้ปัญหาของมิติที่ 1 ควรมุ่งเน้นไปที่ปริมาณน้ำท่าและน้ำกักเก็บรายปี ส่วนประเด็นการแก้ปัญหาในมิติที่ 2 ควรมุ่งเน้นที่เรื่องการมีน้ำประปาคุณภาพดีไว้ใช้ในครัวเรือน สำหรับประเด็นที่ควรมุ่งเน้นในการแก้ปัญหาในมิติที่ 6 เป็นเรื่องของ

พื้นที่เกิดภัยแล้งและน้ำท่วม และในมิติที่ 7 ควรมุ่งเน้นการแก้ปัญหาในเรื่องของการอนุรักษ์พื้นที่ป่า

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการสนับสนุนงบประมาณการวิจัยจากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม และคณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] ปราโมทย์ ไหมกัณฑ์, ทางออกการบริหารจัดการน้ำของไทย, ข้อมูลจาก <https://tdri.or.th/water/thaipublica20140309/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 มกราคม 2566)
- [2] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, ดัชนีชี้วัดการจัดการน้ำ เพื่อการบริการจัดการทรัพยากรน้ำอย่างยั่งยืน, ข้อมูลจาก <http://www.nso.go.th/sites/2014/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 มกราคม 2566)
- [3] U.S. Kashid, A.U. Kashid and S.N. Mehta, A Review of Mathematical Multi-Criteria Decision Models with A Case Study, International Conference on Efficacy of Software Tools for Mathematical Modeling, 19-20 Apr 2019, Mumbai
- [4] A.B. Leoneti. 2016. "Considerations Regarding the Choice of Ranking Multiple Criteria Decision Making Methods". Pesquisa Operacional, Vol. 36 (2): 259-277.
- [5] M. Khakzand and R.S.T. Yeganeh. 2013. "Investment methods in sustainable water resource management using SAW method". Armanshahr Architecture & Urban Development, Vol. 5 (10): 55-66.
- [6] J. Dai, J. Qi, J. Chi, S. Chen, J. Yang, L. Ju and B. Chen. 2010. "Integrated water resource security evaluation of Beijing based on GRA and TOPSIS". Frontiers of Earth Science in China, Vol. 4 (3): 357-362.
- [7] M.N. Yahya, H. Gokcekus, D.U. Ozsahin and B. Uzun. 2020. "Evaluation of wastewater treatment technologies using TOPSIS". Desalination and Water Treatment, Vol. 177 (1): 41-422.
- [8] K.S. Raju, L. Duckstein and C. Arondel. 2000. "Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: a case study in Spain". Water Resources Management, Vol. 14 (1): 435-456.
- [9] R. Maragoudaki and G. Tsakiris. 2005. "Flood mitigation planning using Promethee". European Water, Vol. 9 (10): 51-58.
- [10] T.M. Le, K. Kujawa-Roeleveld, D.T.M. Tran and H.M.M. Rijnaarts. 2022. "Data envelopment analysis as a tool to assess the water demand minimization potential in industrial zones in the Vietnamese delta". Water Resources and Industry, Vol. 28 (1): 1-11.

การปรับปรุงกระบวนการออกใบเสนอราคา กรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

Creating Quotation Process Improvement: a Case Study of Electronic Component Manufacturer

ณัฐฐา รัตคอง^{1*} ไอลดา ตรีรัตน์ตระกูล²

¹สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: nutta.rodkong@ku.th*

Nutta Rodkong^{1*}, Ailada Treeratrakoon²

¹Graduate Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

E-mail: nutta.rodkong@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระบบการออกใบเสนอราคาในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ด้วยการนำองค์ความรู้ในระบบการทำงานมาจัดเก็บระบบฐานข้อมูล ภายหลังจากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาพบว่า ข้อมูลมีความหลากหลายและมีจำนวนมากแต่ระบบการจัดเก็บการค้นหายังไม่ดีพอทำให้เสียเวลาในการค้นหา ข้อมูลไม่สอดคล้องกันและเป็นสาเหตุให้เกิดความล่าช้าของการทำงาน ผลการศึกษาพบว่าการจัดเก็บข้อมูลใบเสนอราคาของแผนกจัดทำใบเสนอราคา มีการจัดเก็บฐานข้อมูลส่วนกลาง โดยจัดเก็บภายใต้โฟลเดอร์ชื่อของผู้รับผิดชอบแต่ละกลุ่มลูกค้า ซึ่งมีรูปแบบในการจัดเก็บไม่เหมือนกัน เป็นผลให้เมื่อต้องการค้นหาข้อมูลในกลุ่มลูกค้าที่ตนเองไม่ได้รับผิดชอบ จะใช้เวลาในการค้นหานานและอาจไม่พบข้อมูล จึงทำการออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูลโดยเริ่มจากการออกแบบ E-R Model สร้างระบบฐานข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Access สร้างแอปพลิเคชันด้วยโปรแกรม Microsoft Visual Studio โดยใช้ภาษา VB.NET หลังจากใช้งานแอปพลิเคชันในการสืบค้นข้อมูล ทำให้สามารถลดเวลาในการค้นหาใบเสนอราคา คิดเวลาเฉลี่ยร้อยละ 36.87

คำสำคัญ: การจัดการฐานข้อมูล, การสร้างโมเดลความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูล, ไมโครซอฟต์แอคเซส, วิซวลสตูดิโอ

Abstract

This objective of this research was to improve a quotation providing system in an electronic component manufacturer by using knowledge in the working system to store the database system. After analyzing the cause of the problem, it was found that the information was diverse and large, but the search storage system was not good enough causing time to search. The data was inconsistent and caused delays in performance. The result of the study indicated that the quotation data storage of the quotation department had a central database. The data was stored under the folder named by the person in charge of each group of customers which had different storage formats. As a result, when looking for information in a group of customers which was not responsible for, it would take a long time to search and might not find information. Therefore, the database system was designed and developed starting from the design of an E-R Model, creating the database system with Microsoft Access, creating the application with Microsoft Visual Studio using VB.NET language. After using the application searching for information, the time of searching for quotations could be reduced by an average of 36.87 percent.

Keywords: Database Management, Data Relationship Modeling, Microsoft Access, Visual Studio

1. บทนำ

เนื่องจากการแข่งขันกันทางธุรกิจในปัจจุบันมีอัตราการแข่งขันค่อนข้างสูงทำให้การตอบสนองความต้องการของลูกค้าจำเป็นต้องมีความถูกต้อง แม่นยำและรวดเร็วในทุก ๆ ด้าน ซึ่งในส่วนของผู้วิจัยอยู่ในแผนกจัดทำใบเสนอราคา (Request for Quotation: RFQ) มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดทำใบเสนอราคาให้แก่ลูกค้า โดยลูกค้าจะส่งข้อมูลของสินค้าที่ต้องการส่งผลิตผ่านทางฝ่ายขาย ในปัจจุบันระบบการทำงานของแผนกจัดทำใบเสนอราคาพบปัญหาการจัดทำใบเสนอราคาส่งให้ลูกค้าไม่ทัน สาเหตุเกิดจากการจัดเก็บข้อมูลที่ประกอบในการจัดทำใบเสนอราคาไม่เป็นระบบ ทำให้ใช้เวลานานในการค้นหาข้อมูลตัวอย่างใบเสนอราคาแสดงดังรูปที่ 1

Customer: A
 Project Name : A1
 Quote date : 15-Jul-2022
 RFQ # XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 Revision: 01

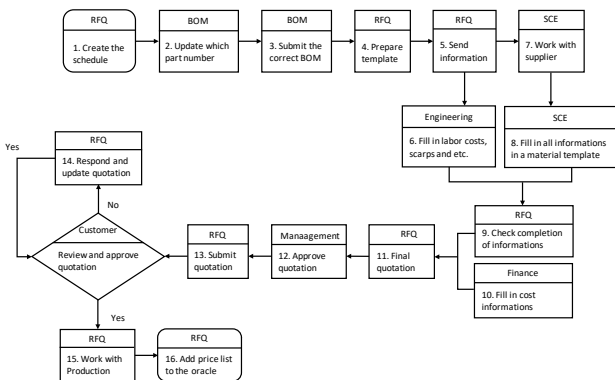
Item	Description	A1 Step 1
1	Landed Yielded BOM cost	\$598.880
2	Cost of Money	\$5.990
3	Material lose handling	\$18.150
4	Total Material	\$623.010
5	Labor overhead Transformation	\$77.300
6	SG&A	\$21.010
7	Profit	\$25.250
8	Unit price (Ex-Work)	\$746.570

Volume 10

Required NRE PO \$15,670.100

รูปที่ 1 ตัวอย่างใบเสนอราคา

ในการทำงานของแผนกจัดทำใบเสนอราคาเปรียบเสมือนการทำงานต้นน้ำซึ่งเป็นด่านแรกในการดำเนินธุรกิจของบริษัท คือมีการติดต่องานกับหลายหน่วยงาน ได้แก่ แผนกจัดทำรายการวัสดุ (BOM) แผนกวิศวกรรม (Engineering) แผนกจัดหาราคาวัสดุ (Supply Chain Engineering: SCE) แผนกการเงิน (Finance) รวมทั้งผู้บริหาร (Management) ช่วยในการสนับสนุนการทำงาน รวมไปถึงแผนกจัดซื้อที่ต้องมีการประสานงาน ทำงานร่วมกันเป็นทีม ซึ่งขั้นตอนในการทำใบเสนอราคาจะประกอบไปด้วยกระบวนการของหน่วยงานต่าง ๆ ที่ทำงานร่วมกันแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขั้นตอนการจัดทำใบเสนอราคา

ขั้นตอนที่ 1 แผนกจัดทำใบเสนอราคา รับข้อมูลสินค้าที่ต้องการสั่งผลิตจากฝ่ายขาย โดยมีปริมาณตามคำสั่งผลิตของลูกค้า (Make to Order) สร้างกำหนดการตามตารางของลูกค้าและประชุมวางแผนงานกับหัวหน้าฝ่ายที่รับผิดชอบ

ขั้นตอนที่ 2 แผนกจัดทำรายการวัสดุ กำหนดหมายเลขชิ้นส่วนที่ต้องจัดทำใบเสนอราคาและจำนวนที่ลูกค้าต้องการ

ขั้นตอนที่ 3 แผนกจัดทำรายการวัสดุ ส่งรายการวัสดุที่ถูกต้องพร้อมทำใบเสนอราคาให้แผนกจัดทำใบเสนอราคา

ขั้นตอนที่ 4 แผนกจัดทำใบเสนอราคา เตรียมแบบฟอร์มสำหรับค่าแรงและรายการวัสดุทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 5 แผนกจัดทำใบเสนอราคา ส่งข้อมูลรายละเอียดงานให้ทุกหน่วยงาน ได้แก่ แผนกวิศวกรรม แผนกการเงินและแผนกจัดหาราคาวัสดุ

ขั้นตอนที่ 6 แผนกวิศวกรรม จัดทำค่าแรงในการผลิตสินค้า

ขั้นตอนที่ 7 แผนกจัดหาราคาวัสดุ ติดต่อกับผู้จำหน่ายวัสดุเพื่อขอราคาต้นทุนสินค้า

ขั้นตอนที่ 8 แผนกจัดหาราคาวัสดุ จัดทำใบเสนอราคาวัสดุและรายละเอียดของชิ้นส่วนวัสดุลงแบบฟอร์ม

ขั้นตอนที่ 9 แผนกจัดทำใบเสนอราคา ตรวจสอบข้อมูลให้ครบถ้วน รวมถึงการกำหนดราคาวัสดุ

ขั้นตอนที่ 10 แผนกการเงิน วิเคราะห์ต้นทุนและกรอกข้อมูลต้นทุนในการผลิตส่งให้แผนกจัดทำใบเสนอราคา

ขั้นตอนที่ 11 แผนกจัดทำใบเสนอราคา จัดทำใบเสนอราคาและคำนวณต้นทุนการผลิต

ขั้นตอนที่ 12 ผู้บริหาร ทำการอนุมัติใบเสนอราคา

ขั้นตอนที่ 13 แผนกจัดทำใบเสนอราคา ส่งใบเสนอราคาที่ได้รับการอนุมัติให้กับลูกค้า เพื่อพิจารณาการสั่งผลิต

ขั้นตอนที่ 14 กรณีที่ลูกค้าไม่อนุมัติใบเสนอราคา หรือมีข้อเสนอแนะ ใบเสนอราคาจะถูกส่งกลับมาที่แผนกจัดทำใบเสนอราคาเพื่อประชุมหาความเป็นไปได้ตามข้อเสนอแนะของลูกค้าแล้วจัดทำใบเสนอราคามันฉบับแก้ไขส่งให้ลูกค้าอีกครั้ง

ขั้นตอนที่ 15 กรณีที่ลูกค้าอนุมัติใบเสนอราคา แผนกจัดทำใบเสนอราคาแจ้งดำเนินการผลิตสินค้า

ขั้นตอนที่ 16 แผนกจัดทำใบเสนอราคา เพิ่มใบเสนอราคาในระบบซึ่งประกอบด้วย

1. หน้า Cover Page แสดงรายละเอียดเงื่อนไขและข้อจำกัดในการผลิตสินค้า
2. รายการสรุปรวมราคาสินค้า
3. ค่าอุปกรณ์ในการจัดเตรียมกระบวนการผลิตในครั้งแรก
4. รายการชิ้นส่วนอุปกรณ์ และราคาต่อชิ้น
5. รายการชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ใช้จริง และราคารวม
6. รายละเอียดกระบวนการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบริหารจัดการฐานข้อมูล (Database Management System)

ปัจจุบันเป็นสังคมเทคโนโลยีสารสนเทศ แต่ละหน่วยงานจะมีข้อมูลอยู่เป็นจำนวนมาก ข้อมูลเหล่านี้จะต้องมีการจัดเก็บและมีการเรียกใช้ อย่างมีประสิทธิภาพ การรวบรวมและการเก็บข้อมูลไว้ด้วยกันจะช่วยให้ การเปลี่ยนแปลงข้อมูล เช่น การเรียกค้น การเพิ่มเติม การลบข้อมูลจะกระทำได้ง่าย การรวบรวมข้อมูลเข้าด้วยกัน เรียกว่า ระบบบริหารจัดการฐานข้อมูล หรือ DBMS (Database Management System) ประโยชน์ของฐานข้อมูล จะช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลร่วมกัน หลีกเลี่ยงความซ้ำซ้อนของข้อมูลที่อาจจะเกิดขึ้น ขจัดความขัดแย้งของข้อมูล และสามารถกำหนดความเป็นมาตรฐานเดียวกันได้ง่าย [1, 2]

2.2 การออกแบบฐานข้อมูลโดยใช้ E-R Model

แบบจำลองที่อธิบายโครงสร้างฐานข้อมูล ซึ่งเขียนออกมาในลักษณะรูปภาพและอธิบายโครงสร้างความสัมพันธ์ของข้อมูล เพื่อให้ ผู้ใช้งานเข้าใจและสามารถทำงานได้รวดเร็วยิ่งขึ้น โดยองค์ประกอบหลักของ E-R Diagram จะมี 3 ส่วน ดังนี้ เอนทิตี (Entity) เป็นวัตถุหรือ สิ่งของที่เรสนใจในระบบงาน แอตทริบิวต์ (Attribute) เป็นคุณสมบัติของ วัตถุและความสัมพันธ์ระหว่างเอนทิตี (Relationships) เพื่อนำไปพัฒนา โครงสร้างข้อมูลของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะต้องมีการศึกษาและลงมือทำ เพื่อทำความเข้าใจรูปแบบของการออกแบบ ฐานข้อมูล [3]

2.3 ไมโครซอฟต์แอ็กเซส (Microsoft Access)

ไมโครซอฟต์แอ็กเซส (Microsoft Access) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า แอ็กเซส เป็นโปรแกรมทางด้านบริหารจัดการฐานข้อมูล (Database Management) ที่มีขีดความสามารถสูงแต่ใช้งานง่าย ผู้สามารถใช้ แอ็กเซสในการจัดการฐานข้อมูล ค้นหาข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นมา แสดงในแบบฟอร์มที่สวยงาม หรือจัดพิมพ์เป็นรายงานได้อย่างง่ายดาย โปรแกรมแอ็กเซสนั้นยังมีความสามารถต่างๆ ที่ตอบสนองความต้องการในระดับสูง เช่น การเชื่อมต่อกับระบบฐานข้อมูลอื่น ๆ ได้ง่าย การสร้างโปรแกรมฐานข้อมูลบนระบบเครือข่าย การนำข้อมูลใน ฐานข้อมูลออกมาเผยแพร่บนอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ยังมีโปรแกรม VBA ให้ใช้ หากต้องการสร้างระบบจัดการฐานข้อมูลที่มีความซับซ้อน มากขึ้น สามารถนำเข้าและส่งออกไปในรูปแบบต่าง ๆ เช่น Excel, Microsoft SQL Server และ Text File ส่วนประกอบของฐานข้อมูลแอ็ก เซส ในฐานข้อมูลหนึ่ง ๆ จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่ใช้จัดการข้อมูล ซึ่งเรียกว่าวัตถุฐานข้อมูล (Database Object) ซึ่งมีดังต่อไปนี้ ตาราง (Table) ใช้เก็บตัวข้อมูลที่ต้องการซึ่งอยู่ในรูปของตาราง โดยมีแต่ละ แถวเป็นเรคคอร์ด (Record) และแต่ละคอลัมน์เป็นฟิลด์ (Field) คิวรี (Query) ใช้ในการคัดกรองข้อมูลเพื่อเลือกเอาเฉพาะที่ต้องการรายงาน (Report) ใช้ในการพิมพ์รายงานจากข้อมูลในแบบฟอร์มข้อมูลที่ได้ไว้

เป็นส่วนหนึ่งของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic เพื่อ สั่งงานแบบซับซ้อน [1, 2]

2.4 โปรแกรมวิซวลสตูดิโอ (Visual Studio)

โปรแกรมวิซวลสตูดิโอเป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาซอฟต์แวร์และ ระบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถติดต่อสื่อสารพูดคุยกับคอมพิวเตอร์ได้ในระดับ หนึ่ง แต่ยังไม่สามารถพัฒนาเป็นระบบเองได้ เหมาะกับการใช้ภาษา VB และ VB.NET เนื่องจากไมโครซอฟต์ได้พัฒนาโปรแกรมและภาษา ขึ้นมาควบคู่กันเพื่อให้ใช้งานได้ซึ่งกันและกัน ซึ่งนักเขียนโปรแกรมจะ นำเครื่องมือมาใช้ในการพัฒนาต่อยอดให้เกิดเป็นระบบต่าง ๆ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรชนก (2554) ได้ทำการวิจัยระบบสารสนเทศเพื่อการวางแผน และงบประมาณ กรณีศึกษาวิทยาลัยอาชีวศึกษาเอี่ยมละออ โดยพัฒนา ระบบด้วยโปรแกรม Microsoft Dreamweaver และ MySQL [4]

ชัยรัตน์ (2555) ได้ทำการวิจัยระบบสารสนเทศเพื่อการบริหาร จัดการ ปริญญา นิน พันธ์ และ สาร นิน พันธ์ บัณฑิต วิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โดยพัฒนาระบบด้วยโปรแกรม ASP.Net และใช้ Oracle เป็นระบบจัดการฐานข้อมูล ซึ่งเป็นการนำ ระบบงานเดิมมาพัฒนาเป็น ระบบงานใหม่และแบ่งกลุ่มผู้ใช้งานเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ อาจารย์ บุคลากรและนิสิต [5]

ธนกร (2560) ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) และโปรแกรมไมโครซอฟท์แอ็กเซส (Microsoft Access) ในการจัดการสินค้าคงคลัง ซึ่งปัญหาที่พบนั้นคือทางร้านใช้ วิธีการส่งสินค้าแบบใช้ประสบการณ์ในการคาดคะเนปริมาณสินค้าที่ส่ง ในแต่ละครั้ง ซึ่งทำให้เกิดปริมาณสินค้าขาดแคลน และปริมาณสินค้า เกินสต็อกกันไปมา จึงส่งผลให้สูญเสียโอกาสในการขายสินค้าเมื่อขาด แคลนสินค้า และสูญเสียพื้นที่จัดเก็บโดยไม่จำเป็น เมื่อส่งสินค้าเกิน จึง ได้พัฒนาโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล และไมโครซอฟท์แอ็กเซส เพื่อ จัดการสินค้าคงคลังให้มีปริมาณที่เหมาะสม หลังจากได้นำโปรแกรมมา ทดลองใช้แล้ว สามารถลดพื้นที่การจัดเก็บสินค้าลงได้ และยังลดต้นทุน ในการจัดเก็บลง รวมถึงได้ปริมาณสินค้าคงคลังที่เหมาะสมอีกด้วย [6]

ปรีชญา และ ณัฐญา (2557) ได้ร่วมกันพัฒนาระบบการจัดการ สำนักพิมพ์ภูมิบัณฑิต เพื่อใช้ในการค้นหาข้อมูลที่มีอยู่จำนวนมาก และ นำข้อมูลไปประมวลผลเพื่อช่วยในการตัดสินใจ โดยใช้ภาษา VB.Net (Microsoft Visual Studio 2010) และฐานข้อมูล Microsoft SQL Server 2008 ผลการทดสอบการทำงานของระบบพบว่า ระบบสามารถ ประมวลผลข้อมูลได้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้งานระบบ ซึ่งสามารถ นำระบบไปใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพ [7]

ศิริญา (2554) ได้ทำการวิจัยระบบการจัดการข้อมูลปฏิบัติงานของ พนักงานทดสอบระบบ กรณีศึกษาบริษัท โพรเกรส ซอฟต์แวร์ จำกัด โดยใช้ภาษา ASP.Net ในการพัฒนาระบบในรูปแบบเว็บ แอปพลิเคชัน และแบ่งการประเมินประสิทธิภาพของระบบออกเป็น 4 ด้าน ได้แก่

1) ด้าน Functional Requirement 2) ด้าน Performance 3) ด้าน Usability และ 4) ด้านการออกแบบระบบ [8]

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาข้อมูลการจัดทำใบเสนอราคา

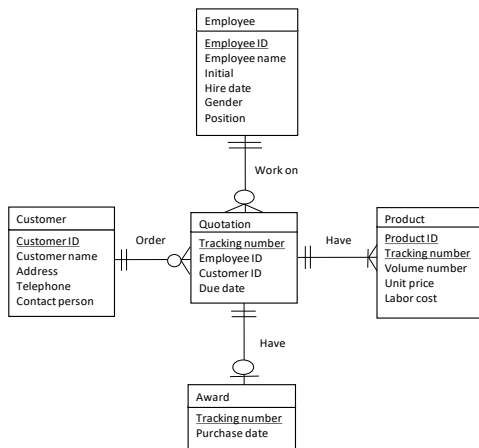
การเก็บข้อมูลใบเสนอราคาของแผนกจัดทำใบเสนอราคามีการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลส่วนกลาง โดยจัดเก็บภายใต้โฟลเดอร์ชื่อของผู้รับผิดชอบแต่ละกลุ่มลูกค้า ซึ่งมีรูปแบบในการจัดเก็บไม่เหมือนกัน เป็นผลให้เมื่อต้องการค้นหาข้อมูลในกลุ่มลูกค้าที่ตนเองไม่ได้รับผิดชอบ จะใช้เวลาในการค้นหานานและอาจไม่พบข้อมูล ผู้วิจัยจึงทำการเก็บข้อมูลเวลาของพนักงานจำนวน 7 คน ในการค้นหาใบเสนอราคา คนละ 10 ครั้ง ได้เวลาเฉลี่ยรวม 8.49 นาที แสดงตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลาเฉลี่ยก่อนใช้แอปพลิเคชันในการค้นหาข้อมูล

พนักงาน	จำนวนครั้งในการค้นหาใบเสนอราคา	เวลาเฉลี่ยในการค้นหาใบเสนอราคา ก่อนใช้แอปพลิเคชัน (นาที)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นาที)
1	10	6.86	4.45
2	10	8.96	3.97
3	10	7.75	5.01
4	10	7.81	5.53
5	10	9.40	4.82
6	10	7.05	4.00
7	10	11.58	7.37
เวลาเฉลี่ยรวม		8.49	5.02

3.2 สร้าง E-R Model ระบุฐานข้อมูลในการจัดเก็บใบเสนอราคา

ผู้วิจัยทำการออกแบบ E-R Model แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพ E-R model

3.3 ออกแบบและพัฒนาระบบฐานข้อมูล

ระบบฐานข้อมูลถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access แอปพลิเคชันถูกสร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Studio ภาษาที่ใช้ในการสร้างแอปพลิเคชัน คือ VB.NET โดยออกแบบให้

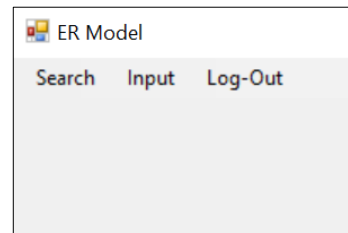
สอดคล้องกับ E-R Model ในข้อ 3.2 และออกแบบให้สามารถใช้ในการค้นหาข้อมูลได้

4. ผลการสร้างระบบฐานข้อมูล

การค้นหาใบเสนอราคาโดยใช้แอปพลิเคชัน เริ่มต้นด้วยการ Login เข้าสู่แอปพลิเคชัน เมนูหลักแสดงดังรูปที่ 4 เมื่อทำการล็อกอินแล้วจะพบแท็บเมนู 3 รายการ คือ 1) Search ใช้ในการค้นหาข้อมูลใบเสนอราคาสินค้า 2) Input ใช้ในการกรอกข้อมูลเพื่อจัดเก็บใบเสนอราคา และ 3) Log-Out ใช้ในการออกจากแอปพลิเคชัน แสดงดังรูปที่ 5

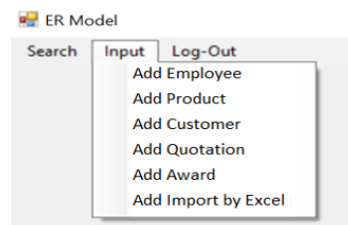


รูปที่ 4 การล็อกอินเข้าใช้งานแอปพลิเคชัน



รูปที่ 5 แท็บการค้นหาข้อมูล

แท็บเมนู Input แสดงดังรูปที่ 6 ประกอบไปด้วย Add Employee, Add Product, Add Customer, Add Quotation, Add Award และ Add Import by Excel โดยสามารถกรอกข้อมูลในแต่ละส่วนได้ใน Input แต่ละประเภท แสดงดังรูปที่ 7 ถึง 12 ผู้ใช้งานสามารถทำการเพิ่ม แก้ไข หรือลบข้อมูลของพนักงาน ผลิตภัณฑ์ ลูกค้า ใบเสนอราคา ใบเสนอราคาที่ได้รับการอนุมัติแล้วได้ (Award) นอกจากนี้แอปพลิเคชันยังสามารถนำเข้าข้อมูลที่ได้รับการอนุมัติแล้วในรูปแบบของไฟล์ Microsoft Excel ได้



รูปที่ 6 แท็บเมนู Input การกรอกข้อมูลเพื่อที่จะจัดเก็บข้อมูลใบเสนอราคา

รูปที่ 7 Add Employee

รูปที่ 8 Add Product

รูปที่ 9 Add Customer

รูปที่ 10 Add Quotation

รูปที่ 11 Add Award

รูปที่ 12 Add Import by Excel

กรณีที่มีการกรอกข้อมูล Tracking ID, Employee ID และ Customer ID ผิดพลาด แอปพลิเคชันจะแสดงข้อความแจ้งเตือนขึ้นและจะไม่สามารถทำการบันทึกข้อมูลได้

แท็บเมนู Search แสดงดังรูปที่ 13 ประกอบไปด้วย Search by Employee, Search by Product, Search by Customer, Search by Quotation และ Search by All Details สามารถค้นหาข้อมูลของพนักงาน ผลิตภัณฑ์ ลูกค้า ใบเสนอราคา และรายละเอียดใบเสนอราคาที่ได้รับการอนุมัติแล้ว โดยสามารถค้นหาข้อมูลในแต่ละส่วนได้ใน Search แต่ละประเภท แสดงดังรูปที่ 14 ถึง 18

รูปที่ 13 แท็บเมนู Search ใช้ในการค้นหาข้อมูลใบเสนอราคา

รูปที่ 14 Search by Employee

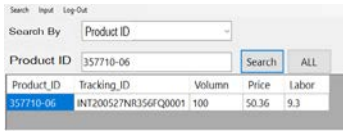
รูปที่ 15 Search by Product

รูปที่ 16 Search by Customer

รูปที่ 17 Search by Quotation

รูปที่ 18 Search by All Details

ทั้งนี้จะขอแสดงตัวอย่างการค้นหาข้อมูลผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 19 โดยกรอกข้อมูล Product ID แล้วกดปุ่ม Search จะแสดงข้อมูลใบเสนอราคาของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการค้นหา ซึ่งทำให้ค้นหาข้อมูลได้ง่าย และประหยัดเวลาในการค้นหา



รูปที่ 19 การค้นหาข้อมูลโดยใช้การค้นหาด้วยผลิตภัณฑ์

แท็บเมนู Log-Out คือข้อมูลการออกจากแอปพลิเคชัน นอกจากนี้ผู้ใช้งานที่ไม่มีรหัสล็อกอิน สามารถเข้าใช้งานในนามของ Guest ได้ ซึ่งจะมีเพียงแท็บเมนู Search เท่านั้น

5. เปรียบเทียบผลก่อนและหลังใช้โปรแกรม

เมื่อสร้างโปรแกรมเสร็จเรียบร้อยแล้วได้ทำการทดลองใช้งานจริง โดยทำการเก็บข้อมูลเวลาของพนักงานจำนวน 7 คน ในการค้นหาใบเสนอราคาจำนวน 10 ครั้ง ได้ผลแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบเวลาก่อนและหลังใช้แอปพลิเคชัน

พนักงาน	จำนวนครั้งในการค้นหาใบเสนอราคา	เวลาเฉลี่ยในการค้นหาใบเสนอราคาก่อนใช้แอปพลิเคชัน (นาที)	เวลาเฉลี่ยในการค้นหาใบเสนอราคาหลังใช้แอปพลิเคชัน (นาที)
1	10	6.86	3.95
2	10	8.96	3.93
3	10	7.75	4.07
4	10	7.81	5.13
5	10	9.40	4.30
6	10	7.05	6.04
7	10	11.58	10.11
เวลาเฉลี่ยรวม		8.49	5.36

Two-Sample T-Test and CI: Time (Before), Time (After)

Method

μ_1 : mean of Time (Before)
 μ_2 : mean of Time (After)
Difference: $\mu_1 - \mu_2$

Equal variances are assumed for this analysis.

Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean
Time (Before)	7	8.49	1.65	0.62
Time (After)	7	5.36	2.23	0.84

Estimation for Difference

Difference	Pooled StDev	95% CI for Difference
3.13	1.96	(0.84, 5.41)

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$	
Alternative hypothesis	$H_a: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
T-Value	DF	P-Value
2.98	12	0.012

รูปที่ 20 การทดสอบ Two-Sample T-Test and CI

เมื่อวิเคราะห์เวลาเฉลี่ยในการค้นหาใบเสนอราคาเปรียบเทียบก่อนและหลังใช้แอปพลิเคชันที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่า ค่า P-Value = 0.012 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก และสามารถสรุปได้ว่า การใช้แอปพลิเคชันมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการค้นหาใบเสนอราคา

6. สรุปผล

จากการใช้แอปพลิเคชันพบว่า เวลาเฉลี่ยในการค้นหาใบเสนอราคาก่อนการใช้แอปพลิเคชันใช้เวลา 8.49 นาที เวลาเฉลี่ยในการค้นหาใบเสนอราคาหลังใช้แอปพลิเคชันใช้เวลา 5.36 นาที สามารถลดเวลาในการค้นหาใบเสนอราคาได้ร้อยละ 36.87

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณพนักงานบริษัทกรณีศึกษาที่กรุณาให้คำแนะนำ และนำเสนอวิธีการแก้ปัญหา

ขอขอบคุณภาควิชาและที่ปรึกษาหลักสูตรในการให้คำแนะนำและสั่งสอน

เอกสารอ้างอิง

- [1] โอภาส เอี่ยมสิริวงศ์. (2558), ระบบฐานข้อมูล Database Systems. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น
- [2] พัฒนพงษ์ อมรวงศ์. (2556), การใช้โปรแกรมจัดการฐานข้อมูล Microsoft Access 2010. อินเทลลิเจนซ์ เทคโนโลยี, 2556
- [3] What is Entity Relationship Diagram, [Online], <https://www.visual-paradigm.com/guide/data-modeling/what-is-entity-relationship-diagram/>
- [4] กรชนก ทัญโยธา (2554), ได้ทำการวิจัยระบบสารสนเทศเพื่อการวางแผนและงบประมาณ. กรณีศึกษาวิทยาลัยอาชีวศึกษาเอี่ยมละออ โดยพัฒนาระบบด้วยโปรแกรม Microsoft Dreamweaver และ MySQL.
- [5] ชัยรัตน์ รอดเคราะห์ (2555), การพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารจัดการงานปริญญานิพนธ์และสารนิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- [6] ธนกร ธนกรวุฒิกุล. (2560), การจัดการระบบสินค้าคงคลังสำหรับร้านค้าอะไหล่รถยนต์. รายงานการ. วิจัยระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยเชียงใหม่. รจนา วานนท์.
- [7] ปรีชญา อุ่นใจ และ ณัฐญา สมุทร (2557), การพัฒนาระบบบริหารและจัดการฐานข้อมูลอาจารย์พิเศษ มจพ.
- [8] ศิริญา ทับทิมศรี (2554), ได้ทำการวิจัยระบบการจัดการข้อมูลปฏิบัติงานของพนักงานทดสอบระบบ. กรณีศึกษา : บริษัทโทรเกรส ซอฟต์แวร์ จำกัด

การจำลองอพยพหนีไฟของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก Fire Evacuation Simulation of Corrugated Boxes Factory

อนงค์ นาคำ^{1*} สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: anong.n.ku.th*

Anong Nacom^{1*}, Supat Patvichaichod²

¹Safety Engineering and Environmental Management, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University

E-mail: anong.n.ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองการอพยพหนีไฟของโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกด้วยโปรแกรม Pathfinder เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารและเวลาสูงสุดในการใช้อพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารออกนอกอาคาร และเพื่อเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงเส้นทางอพยพหนีไฟให้สอดคล้องตามกฎหมายที่เกี่ยวข้อง อาคารมีพื้นที่ 4,950 ตารางเมตร มี 1 บันไดและ ประตูหนีไฟ 5 ประตู มีจำนวนผู้ใช้อาคาร 183 คน แบ่งเป็นเพศชาย จำนวน 103 คน และเพศหญิงจำนวน 80 คน โดยการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code ทั้งหมด 6 เหตุการณ์ ผลการจำลองพบว่า 5 เหตุการณ์ใช้เวลาในการอพยพหนีไฟ เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด แต่เหตุการณ์ที่ 6 ซึ่งสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ไม่ทำงาน ล่าช้าไป 3 นาที และประตูหนีไฟที่ 1 และ 5 ไม่สามารถใช้งานได้ ไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด เพราะผู้ใช้อาคารคนสุดท้ายในเหตุการณ์ที่ 6 ใช้เวลาอพยพหนีไฟออกนอกอาคารสูงสุด 368.5 วินาที ผู้วิจัยทำการปรับปรุง โดยเพิ่มประตูหนีไฟ ในเหตุการณ์ที่ 6 อีก 3 ประตู ผลการจำลองพบว่า ผู้ใช้อาคารคนสุดท้ายใช้เวลาอพยพหนีไฟออกนอกอาคารสูงสุด 295.3 วินาที ซึ่งเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด และจากการศึกษาพฤติกรรมการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคาร 6 เหตุการณ์ พบว่าผู้ใช้อาคารอพยพหนีไฟออกนอกอาคารส่วนใหญ่ใช้ประตูหนีไฟที่ 1 จึงเกิดความแออัดที่บันไดและรอยขอบบริเวณประตูหนีไฟที่ 1 สำหรับข้อเสนอแนะเป็นการปรับปรุงทางวิศวกรรม ควรเพิ่มประตูหนีไฟในส่วนของสำนักงาน จะทำให้ผู้ใช้อาคารมีเส้นทางอพยพหนีไฟเพิ่มขึ้น ลดความแออัดและลดระยะเวลาในการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารทั้ง 6 เหตุการณ์ อย่างปลอดภัย

คำสำคัญ: เวลาอพยพหนีไฟ การจำลองอพยพหนีไฟ โปรแกรม Pathfinder

Abstract

This research is a fire evacuation simulation of corrugated boxes factory using pathfinder program in order to simulate fire evacuation behavior of the occupants and the maximum time for evacuation from the building. In addition, this research was to propose the guideline for designed the mean of egress comply with the laws. The building was a total area of 4,950 square meters with a mean of egress and 5 fire exit doors and a total occupants load of 183 peoples which was divided into 103 males and 80 females by simulated fire evacuation using 6 fire scenarios, according to NFPA 101, Life Safety Code. This Result of the simulation found that there were 5 fire scenarios comply with the laws, but only the 6th fire scenario, did not according to the laws, which fire alarm malfunction with delay time 3 minutes and the exit door no. 1 and no. 5 could not be used, did not according to the laws because the last occupant of the 6th fire scenario evacuated from the building with maximum time 368.5 seconds. The researcher improved the 6th fire scenario by addition 3 escape doors. This simulation found that the last occupant evacuated from the building with taking maximum time for 295.3 seconds, comply with the laws. In addition, the results of the fire evacuation behavior of occupants from 6 fire scenarios illustrated that the most occupants used the exit door no. 1 result in building occupants to congestion at the stairs and wait at the exit door no. 1. For suggestion of engineering improvement, the office should be designed for adding a fire escape this result in decreasing congestion and reducing time of safety fire evacuation of the occupants for the 6 scenarios.

Keywords: Fire Evacuation Time, Fire Evacuation simulation, Pathfinder program

1. บทนำ

ปัญหาการเกิดเพลิงไหม้ในประเทศไทย เป็นอุบัติภัย ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้ง ซึ่งเกิดจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัยของมนุษย์และเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่ปลอดภัย ส่งผลทำให้เกิดความเสียหาย ต่อชีวิตทรัพย์สิน และสภาพแวดล้อม หลายเหตุการณ์ไม่สามารถประเมินมูลค่าความเสียหายได้ รวมถึงการสูญเสียเวลา ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในการฟื้นฟูและบรรเทา หลังเกิดเหตุเพลิงไหม้ จะส่งผลกระทบต่อชีวิตทรัพย์สิน และสภาพแวดล้อม เป็นอย่างมาก

จากสถิติของกรมป้องกันและบรรเทาสาธารณภัย กระทรวงมหาดไทย พบว่า สถานการณ์เพลิงไหม้ของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2563 มีมูลค่าความเสียหายที่เกิดขึ้นจากเพลิงไหม้ สูงถึง 847 ล้านบาท เมื่อเปรียบเทียบกับมูลค่าความเสียหายมาก มีมูลค่ามากกว่า ความเสียหายในปี พ.ศ. 2562 คือ 483 ล้านบาท ซึ่งมีมูลค่าความเสียหายมากกว่า 2 เท่าของปี พ.ศ. 2562 และจากสถิติข้อมูล กองส่งเสริมเทคโนโลยี ความปลอดภัยโรงงาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2560-2564 พบว่า จำนวนครั้งในการเกิดเพลิงไหม้ ที่เกิดขึ้นในโรงงาน คือ 105, 79, 48, 42 และ 92 ครั้ง ตามลำดับ ซึ่งข้อมูล 2 ปีล่าสุด (พ.ศ. 2563-2564) มีแนวโน้มสูงขึ้นคิดเป็น 46.34% และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูล ตามกลุ่มประเภทโรงงาน กลุ่ม 1-8 กลุ่มประเภทโรงงานที่เกิดเพลิงไหม้มากที่สุด ในปี พ.ศ. 2560-2564 คือ กลุ่มโรงงานซ่อม งานโลหะ หล่อหลอม โกดังเก็บสินค้า และกลุ่มโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ พลาสติก โฟม กระจก ยาง ซึ่งกระจกเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวัน และกระจกเป็นวัสดุที่สามารถติดไฟได้ง่ายเนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำ มีความชื้นอยู่ในเนื้อวัสดุต่ำ แต่ในกรณีที่กระจกถูกเรียงตัวกันในลักษณะที่หนาแน่น เช่น การจัดเก็บแผ่นกระจกถูกผูกหรือกระจกที่ผ่านการแปรรูปเป็นกล่องกระจกแล้วจะมีอันตรายด้านอัคคีภัย เนื่องจากจะมีเชื้อเพลิงที่ทำให้การลุกไหม้จัดเก็บปริมาณมาก ทำให้เมื่อเวลาที่มีเพลิงไหม้จะมีเชื้อเพลิงที่ทำให้เกิดเพลิงไหม้เกิดอย่างต่อเนื่องและลุกลามเพิ่มความรุนแรงได้มากขึ้น [1]

สำหรับกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยใช้ในการวิจัย เป็นโรงงานผลิตกล่องกระจก ลูกฟูก มีพื้นที่ 4,950 ตารางเมตร ลักษณะการใช้งาน ใช้ผลิตขึ้นรูปกล่องกระจก มีเครื่องจักร รวมถึงเป็นพื้นที่จัดเก็บวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปประเภทกล่องกระจก ลูกฟูก กรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ในพื้นที่โรงงานผลิตกล่องกระจก ลูกฟูก จะส่งผลกระทบต่อ คลังเก็บสินค้าสำเร็จรูปของบริษัท ซึ่งเป็นพื้นที่ในรั้วเดียว ขนาด พื้นที่ทั้งหมด 7,680 ตารางเมตร ซึ่งคลังสินค้าใช้จัดเก็บสินค้าประเภทกล่องกระจก ลูกฟูก เพื่อจัดส่งให้กับลูกค้า

ดังนั้น จากสถิติและปัญหาการเกิดเพลิงไหม้ในกลุ่มโรงงานซ่อมงานโลหะ หล่อหลอม โกดังเก็บสินค้าและกลุ่มโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับ พลาสติก โฟม กระจก ยาง ซึ่งโรงงานผลิตกล่องกระจก ลูกฟูกเป็นกลุ่มประเภทโรงงานที่เกิดเพลิงไหม้มากที่สุด เพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการอพยพหนีไฟ และพนักงานอพยพ ไปยังจุดปลอดภัยได้เร็วที่สุด ผู้วิจัยสนใจศึกษาพฤติกรรมการอพยพ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และอพยพหนีไฟของพนักงาน ออกจากอาคาร รวมถึงระยะเวลาการอพยพหนีไฟเปรียบเทียบกับระยะเวลา

ตามที่กฎหมายกำหนด [2] และนำผลการจำลองมาเสนอแนะปรับปรุงเส้นทางหนีไฟ และแผนอพยพหนีไฟของโรงงานต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โปรแกรม Pathfinder

โปรแกรม Pathfinder เป็นโปรแกรมการจำลองการเคลื่อนไหวในการหาทางออกของมนุษย์และสามารถใช้วิเคราะห์ได้ทั้งสองมิติและสามมิติ โปรแกรม Pathfinder ถูกสร้างขึ้นจากแนวคิดของการสร้างพื้นที่ทางเดินเป็นหลักกรรมถึงสิ่งกีดขวางและบันไดต่าง ๆ โดยรูปทรงเรขาคณิตที่เกิดขึ้นเป็นแบบจำลองที่เกิดจากการสร้างกริดรูปสามเหลี่ยมติดกันเรียกว่า navigation mesh และ การเคลื่อนไหวของผู้อพยพก็จะเกิดอยู่ในระบบนี้ด้วย โดยโปรแกรม Pathfinder นี้สามารถจำแนกการเคลื่อนที่ได้ทั้งหมด 2 ลักษณะ ดังนี้ 1) The Society of Fire Protection Engineers (SFPE) ความเร็วในการเคลื่อนที่จะพิจารณาจากความหนาแน่นของคนที่อยู่ภายในแต่ละห้องและความเร็วของการเคลื่อนที่ผ่านประตูจะควบคุมโดยความกว้างของประตู การเคลื่อนที่จะเป็นลักษณะ เส้นตรง นั่นคือจากจุดหรือตำแหน่งที่ยืนอยู่ในปัจจุบัน ไปอีกตำแหน่งหนึ่งโดยใช้เส้นตรงเป็นหลักจนกระทั่งถึงทางออก 2) Steering แกนบังคับเลี้ยวจะทำให้เกิดจากการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนได้มากขึ้น คือ การเคลื่อนที่มีความโค้ง โดยได้มาจากผลที่เกิดขึ้นของสมการของการเว้นระยะระหว่าง คนกับคน และคนกับสิ่งกีดขวาง [3]

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานผลวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีหลายงานวิจัย ที่ทำการศึกษากฎการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคาร โดยใช้โปรแกรม Pathfinder จำลองอพยพหนีไฟ เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอพยพของผู้ใช้อาคารและเวลาสูงสุดในการอพยพหนีไฟ และเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงเส้นทางอพยพหนีไฟ ดังนี้

อภิชัย ทานะเวช ได้จำลองอพยพหนีไฟในอาคารโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ด้วยโปรแกรม Pathfinder เทียบกับการอพยพหนีไฟในพื้นที่จริง เพื่อเสนอแนะแนวทางการออกแบบเส้นทางหนีไฟ ให้สอดคล้องกับกฎหมายและเกิดความปลอดภัยต่อผู้ใช้อาคาร พบว่า ความหนาแน่นของผู้อพยพ ในบันไดและประตูหนีไฟที่ 1 ทำให้ขีดความสามารถในการอพยพไปยังจุดรวมพลล่าช้า และมีกรปรับปรุงแก้ไขโดยเพิ่มประตูทางออก สำหรับเส้นทางหนีไฟ และจำลองอพยพใหม่ โดยกำหนดให้ผู้ใช้อาคารอพยพออกประตูหนีไฟและบันไดที่ 2 และบันไดที่ 6 ผลการจำลอง พบว่า พนักงานคนสุดท้ายของชั้น 2 สามารถอพยพออกนอกอาคารเข้าสู่บันไดหนีไฟไปยังจุดรวมพลที่ 4 อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด [4] ณัฐนิชา สามิต ได้จำลองพลศาสตร์อัคคีภัยและการอพยพหนีไฟของอาคารผลิตลูกหมากรถยนต์ ด้วยโปรแกรม FDS (Fire Dynamics Simulator) เทียบกับการใช้แบบจำลองการอพยพด้วยโปรแกรม Pathfinder จำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ 4 สถานการณ์ จากการจำลองอพยพ พบว่า เวลาในการอพยพออกจากอาคาร ทุกสถานการณ์ อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด [5] สุกุลดา เกิดพร ศึกษาการเปรียบเทียบ

เวลาในการอพยพหนีไฟระหว่างการอพยพจริงและการอพยพด้วยโปรแกรม Pathfinder กรณีศึกษา อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนพลาสติกเสริมคาร์บอนไฟเบอร์ ผลการจำลอง เทียบกับผลการอพยพจริง เวลาที่ใช้ในการอพยพเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด เมื่อเปรียบเทียบกับเวลาการอพยพ โดยเวลาน้อยการอพยพจริง มากกว่า การจำลองด้วยโปรแกรม 2.23 นาที [6] กาญจนา ธาดาแก้วเจริญ จำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder กรณีศึกษาอาคารอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า เพื่อศึกษาพฤติกรรมการอพยพหนีไฟ และเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงเส้นทางอพยพหนีไฟ ให้สอดคล้องตามที่กฎหมายกำหนด สถานการณ์อพยพหนีไฟ 8 สถานการณ์ ผลการจำลองพบว่า ใช้เวลาอพยพมากกว่า 300 นาที ซึ่งไม่อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด ได้เสนอแนวทางการปรับปรุง 3 แนวทาง ดังนี้ เพิ่มจุดรวมพล 1 จุดด้านหลังโรงงาน สร้างประตูหนีไฟเพิ่ม เปลี่ยนประตูตรงห้องโถงตรงข้ามห้องอบรมเป็นประตูหนีไฟทั้ง 2 ด้าน ซึ่งผลการจำลอง ทั้ง 3 แนวทาง เวลาที่ผู้ใช้อาคารอพยพออกจากอาคาร อยู่ในเกณฑ์ที่กฎหมายกำหนด [7] จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า โปรแกรม Pathfinder เป็นโปรแกรมที่น่าเชื่อถือ ทำให้สามารถคาดการณ์เวลาในการอพยพหนีไฟ สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของเส้นทางหนีไฟ และนำมาปรับปรุงเส้นทางหนีไฟให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ผู้ใช้อาคารอพยพออกนอกอาคารได้อย่างปลอดภัย

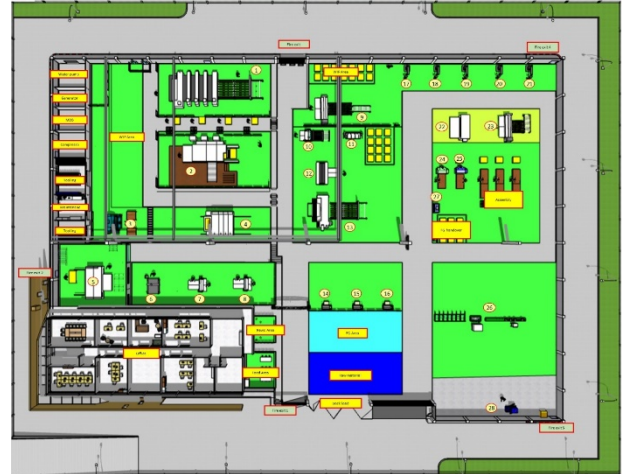
3. วิธีการ

3.1 ข้อมูลอาคาร

โรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กผนังอาคารเป็นคอนกรีต และเมทัลชีท มีพื้นที่ 4,950 ตารางเมตร ความกว้างของอาคาร 55 เมตร ยาว 90 เมตร และสูง 17 เมตร ตามรูปที่ 1 ลักษณะอาคารแบ่งเป็นสำนักงาน 2 ชั้น และชั้น 1 เป็นพื้นที่ผลิตกล่องกระดาษลูกฟูกและจัดเก็บ มี 1 บันได สามารถใช้ได้งานปกติ และมีเส้นทางอพยพสู่ภายนอกอาคาร 5 เส้นทาง ตามรูปที่ 2



รูปที่ 1 มุมสูงบริเวณอาคารผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก



รูปที่ 2 การแบ่งพื้นที่การใช้งานโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก

3.2 จำนวนผู้ใช้อาคาร

ข้อมูลจำนวนพนักงานในอาคารที่ทำการจำลองอพยพหนีไฟ ด้วยโปรแกรม Pathfinder ในงานวิจัยนี้ ใช้จำนวนผู้ใช้อาคารตามจำนวนจริงทั้งหมด 183 คน แบ่งเป็นเพศชาย จำนวน 103 คน และเพศหญิง จำนวน 80 คน ตามตารางที่ 1 และแบ่งตาม สัดส่วนจำนวนของผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงอายุ ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 จำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละพื้นที่

พื้นที่	จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)
ส่วนการผลิตและจัดเก็บ	94
สำนักงานชั้น 1	41
สำนักงานชั้น 2 (ชั้นลอย)	48
รวมจำนวนผู้ใช้อาคารทั้งหมด (คน)	183

ตารางที่ 2 สัดส่วนจำนวนของผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงอายุ

ผู้ใช้อาคาร	อายุ (ปี)	สัดส่วนจำนวนของผู้ใช้อาคารในแต่ละช่วงอายุ (%)		
		สำนักงานชั้น 2	สำนักงานชั้น 1	พื้นที่ผลิตและจัดเก็บ
เพศชาย	>50 ปี	8.89	0.0	3.60
	30-50 ปี	15.56	12.50	31.53
	<30 ปี	11.11	8.33	38.74
เพศหญิง	>50 ปี	0.0	0.0	0.0
	30-50 ปี	31.11	41.67	12.61
	<30 ปี	33.33	37.50	13.51
รวม		100.0	100.0	100.0

3.3 การกำหนดสถานการณ์จำลองการเกิดเพลิงไหม้

การกำหนดสถานการณ์จำลองการอพยพหนีไฟ ตามมาตรฐาน NFPA 101, Life Safety Code [8] ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์ลักษณะกิจกรรม

ของผู้ใช้งานอาคารและสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง กำหนดการจำลอง 6 เหตุการณ์ ตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกำหนดสถานการณ์จำลองการเกิดเพลิงไหม้

เหตุการณ์	รายละเอียดการเกิดเพลิงไหม้
1	เกิดเพลิงไหม้ออฟฟิตชั้น 2 บริเวณห้องครัว สาเหตุเกิดจากพนักงานอุ่นอาหารโดยใช้ไมโครเวฟ ทั้งไว้นานและวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุไม่ทนไฟทำให้เกิดไฟลุกลามไปยังห้องวิจัยและพัฒนา(R&D) และห้องออกแบบ (Design) ซึ่งมีกระดาษลูกฟูก กาว สี จำนวนมาก ใช้ในงานออกแบบ วิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เกิดเพลิงไหม้ลุกลาม ทางออกทุกเส้นทาง ใช้งานไม่ได้
2	เกิดเหตุเพลิงไหม้บริเวณพื้นที่พักผ่อนในอาคาร เนื่องจากพนักงานแอบสูบบุหรี่และทิ้งก้นบุหรี่ในบริเวณพื้นที่พักผ่อน ซึ่งใกล้กับพื้นที่จัดเก็บวัสดุและกล่องกระดาษลูกฟูก ทำงานเกิดไฟฟ้าไหม้ลุกลาม อย่างรวดเร็วใกล้กับทางออกหนีไฟ ทำให้ทางออกที่ 1 ใช้งานไม่ได้
3	เกิดไฟฟ้าลัดวงจรที่ห้อง MDB ทำให้เกิดระเบิดขึ้นเป็นห้องที่ใช้งานเป็นบางครั้งเท่านั้น ไฟลุกลามไปยังห้องอื่น ที่มีพนักงานทำงานอยู่จำนวนมาก ไฟลุกลามมายังทางออกที่ 3 ใช้งานไม่ได้ และไฟลามมายังพื้นที่จัดเก็บกล่องกระดาษ (WIP) ก่อนเข้ากระบวนการพิมพ์และสักร่อง และไฟทำให้เพลิงลุกลามไปยังหน้าห้องเครื่อง Digital Printing ปิดทางออกที่ 2 ใช้งานไม่ได้
4	เกิดเพลิงไหม้ในบริเวณพื้นที่ เครื่องจักร Angle Bar ซึ่งมีการใช้กาวและจัดเก็บกาวเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตจำนวนมาก สาเหตุเกิดจากพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงทำการเชื่อมเหล็กบริเวณเครื่องจักร ทำให้เกิดสะเก็ดไฟกระเด็นไปถูกเศษผ้าที่ชุ่มด้วยกาวน้ำมันกันสนิม ทำให้เพลิงไหม้ลุกลามไปยังบริเวณพื้นที่จัดเก็บกล่องกระดาษ โซนไลน์ประกอบ ทำให้ปิดกั้นทางออกที่ 4 ใช้งานไม่ได้ และเพลิงไหม้ลุกลาม มายังพื้นที่ High Bay Rack ที่จัดเก็บกระดาษในแนวสูง ทำให้ปิดกั้นทางออกที่ 5 ใช้งานไม่ได้
5	เกิดเหตุการณ์หม้อแปลงไฟฟ้าที่อยู่ด้านข้างโรงงานเกิดระเบิดทำให้สัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ (Fire Alarm) ไม่ทำงาน พนักงานในสำนักงานและพนักงานฝ่ายผลิตไม่ได้ที่อยู่ใกล้เคียงไม่ทราบเหตุกาณ์ส่งผลทำให้เกิด Delay time 3 นาที และมีกลุ่มควันลุกลามแพร่กระจายเข้าไปยังทางออกที่ 3 และไฟลามไปยังพื้นที่จัดเก็บกล่องกระดาษ (WIP) ก่อนเข้า กระบวนการเย็บลวด ซึ่งใกล้กับประตูทางออกที่ 4 และเพลิงไหม้ลุกลามไปยังหน้าห้อง Digital Printing ปิดกั้น ทางออกที่ 2 และทางออกที่ 3 และทางออกที่ 4 ใช้งานไม่ได้

ตารางที่ 3 (ต่อ)

เหตุการณ์	รายละเอียดการเกิดเพลิงไหม้
6	เกิดเพลิงไหม้บริเวณพื้นที่จัดเก็บเศษกระดาษสาเหตุเกิดจากพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุงมาซ่อมเครื่องอัดเศษกระดาษ มีการเจียเหล็ก ทำให้เกิดสะเก็ดไฟ กระเด็นไปถูกพลาสติก ที่หุ้มเศษกระดาษเพลิงไหม้ลุกลามไปยังพื้นที่จัดเก็บเศษและเพลิงไหม้ลุกลามไปยังพื้นที่จัดเก็บวัสดุดิบ และ กล่องกระดาษ ส่งผลทำให้สัญญาณแจ้งเหตุเกิดขัดข้อง ไม่ทำงาน เกิด Delay time 3 นาที ทางออกที่ 1 และทางออกที่ 5 ใช้งานไม่ได้

3.4 การกำหนดหน่วงเวลา Pre-Evacuation Time

งานวิจัยครั้งนี้ ทำจำลองการอพยพ ด้วยโปรแกรม Pathfinder ทั้ง 6 เหตุการณ์ สามารถพิจารณาจากองค์ประกอบ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านการบริหารจัดการ (Management Level) ด้านการติดตั้งระบบตรวจจับ และแจ้งเหตุเพลิงไหม้ (Alarm Level) และด้านความซับซ้อนของอาคาร (Building complexity) ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การประเมิน Pre Evacuation Time

Scenario category and modifier	First Occupants Δt_{pre} (1 st Percentile) (นาที)	Occupant distribution Δt_{pre} (99 th Percentile) (นาที)
M1 B1-B2 A1-A2	0.5	1.0
M2 B1-B2 A1-A2	1	2
M3 B1-B2 A1-A3	>15	>15

จากตารางที่ 4 สรุป การวิเคราะห์ลักษณะการใช้อาคาร ตามองค์ประกอบทั้ง 3 จึงมีการกำหนดเงื่อนไข คือ M2-B1-A2 สามารถวิเคราะห์ Pre- Evacuation time โดยพิจารณาจากเวลาล่าช้าตามมาตรฐาน PD794-6:2004 [9] ซึ่งการกำหนดระยะเวลาล่าช้าในการอพยพหนีไฟ จะกำหนดค่า โดยที่ผู้อาคารกลุ่มแรกที่อยู่ใกล้กับจุดเกิดเพลิงไหม้ (First Occupants) ได้ยินเสียงเตือนสัญญาณแจ้งเตือน เป็น Δt_{pre} (1st Percentile) (1 นาที) สำหรับคนที่อยู่ใกล้จุดเกิดเพลิงไหม้จะเริ่มอพยพ (ชั้นที่มีสถานการณ์การเกิดเพลิงไหม้) และ Δt_{pre} (99th Percentile) (2 นาที) สำหรับคนที่อื่นที่เหลือนบริเวณพื้นที่ต่าง ๆ (Occupant distribution) ในชั้นที่ไม่มีเหตุการณ์เพลิงไหม้

4. ผลการวิจัย

4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการอพยพ

จากผลการจำลองการอพยพหนีไฟ ด้วยโปรแกรม Pathfinder โดยใช้ข้อมูลพื้นที่ทั่วไปของอาคารตามแบบแปลนจริงของอาคารผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก ทั้ง 6 สถานการณ์ มีจำนวนผู้ใช้อาคาร 183 คน แบ่งเป็น

เพศชาย จำนวน 103 คน คิดเป็น 56.28% และเพศหญิงจำนวน 80 คน คิดเป็น 43.72% สรุปผลการจำลองเวลาอพยพหนีไฟ ตามตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 5 ผลการจำลองการอพยพหนีไฟ ทั้ง 6 เหตุการณ์

เหตุการณ์	เวลาสูงสุด/จำนวนคน	ประตู 1	ประตู 2	ประตู 3	ประตู 4	ประตู 5
1	เวลาอพยพ (วินาที)	208.3	91.9	98.6	93.8	112.1
	จำนวน (คน)	111	11	11	26	21
2	เวลาอพยพ (วินาที)	x	231.5	98.6	99.9	114.7
	จำนวน (คน)	x	113	11	28	31
3	เวลาอพยพ (วินาที)	215.0	x	x	95.5	112.1
	จำนวน (คน)	132	x	x	27	24
4	เวลาอพยพ (วินาที)	220.4	201.7	116.8	x	x
	จำนวน (คน)	134	33	16	x	x
5	เวลาอพยพ (วินาที)	278.5	x	x	x	237.3
	จำนวน (คน)	136	x	x	x	47
6	เวลาอพยพ (วินาที)	x	368.4	218.6	240.3	x
	จำนวน (คน)	x	116	11	56	x

โดยผลการจำลองการอพยพหนีไฟทั้ง 6 เหตุการณ์ พบว่า เหตุการณ์ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เวลาที่ผู้ใช้อาคารคนสุดท้ายอพยพออกนอกอาคาร ใช้เวลาสูงสุด 208.5 วินาที, 231.5 วินาที, 215.0 วินาที, 220.4 วินาที และ 278.5 วินาที ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 5 เหตุการณ์ใช้เวลาในการอพยพหนีไฟ เป็นไปตามมาตรฐานกฎหมายกำหนด ส่วนเหตุการณ์ที่ 6 เวลาที่ผู้ใช้อาคารคนสุดท้ายอพยพออกนอกอาคาร ใช้เวลาสูงสุด 368.5 วินาที หรือ 6.14 นาที ซึ่งไม่เป็นไปตามที่มาตรฐานกฎหมายกำหนด นอกจากนั้น จากเหตุการณ์ที่ 1 กรณีเกิดเพลิงไหม้ และประตูทางออก ทั้ง 5 ประตู สามารถใช้งานได้ปกติ พบว่า ประตูทางออกที่ 1 มีความหนาแน่นของผู้อพยพ ทำให้ความสามารถในการอพยพออกจากอาคารล่าช้า ดังนั้น ผู้วิจัยทำการเพิ่มอีก 3 ประตู ซึ่งประตูที่ 3 เป็นการสร้างประตูหนีไฟเพิ่มใหม่อีก 1 ประตู มีความกว้างขนาด 93 เซนติเมตร ส่วนอีก 2 ประตูปกติใช้สำหรับรับ-ส่งวัตถุดิบและกล่องสำเร็จรูป และขนส่งกระดาษอัดก้อน

ปกติไม่ได้กำหนดเป็นประตูหนีไฟ มีความกว้างขนาด 330 เซนติเมตร ทั้ง 2 ประตู และทำการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟใหม่ พบว่า เวลาที่ผู้ใช้อาคารคนสุดท้าย อพยพออกนอกอาคาร ใช้เวลาสูงสุด 295.3 วินาที หรือ 4.92 นาที ซึ่งเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด ตามรูปที่ 3



รูปที่ 3 การจำลองการอพยพหนีไฟ เพิ่มประตูหนีไฟ 3 ประตู

5. สรุป

จากการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการอพยพและเส้นทางหนีไฟของอาคาร ทั้ง 6 เหตุการณ์ เวลาที่ใช้สูงสุด ที่ผู้ใช้อาคารออกนอกอาคารอย่างปลอดภัย ทุกเหตุการณ์ ภายใน 5 นาที ดังนี้

1) การจำลองอพยพหนีไฟในเหตุการณ์ที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เวลาที่ผู้ใช้อาคารคนสุดท้าย อพยพออกนอกอาคาร ใช้เวลาสูงสุด 208.5 วินาที, 231.5 วินาที, 215.0 วินาที, 220.4 วินาที และ 278.5 วินาที ตามลำดับ ซึ่งทั้ง 5 เหตุการณ์ใช้เวลาในการอพยพหนีไฟ เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด

2) การจำลองอพยพหนีไฟ เหตุการณ์ที่ 6 มีการปิดกั้น ประตูทางออกที่ 1 และ ประตูทางออกที่ 5 เวลาที่ผู้ใช้อาคารคนสุดท้าย ใช้ในการอพยพออกนอกอาคาร สูงสุด 368.5 วินาที หรือ 6.14 นาที ซึ่งไม่เป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด

3) การปรับปรุงเพิ่มประตูหนีไฟ ในเหตุการณ์ที่ 6 อีก 3 ประตู จากการจำลอง พบว่า เวลาที่ผู้ใช้อาคารคนสุดท้าย อพยพออกนอกอาคาร ใช้เวลาสูงสุด 295.3 วินาที หรือ 4.92 นาที ซึ่งเป็นไปตามที่กฎหมายกำหนด

และพฤติกรรมการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคาร พบว่า การจำลองการอพยพหนีไฟ 6 เหตุการณ์ ทั้งเหตุการณ์ที่ประตูทางออก ทั้ง 5 ประตู สามารถใช้งานได้ และประตูทางออกมีการปิดกั้นเส้นทางหนีไฟอย่างน้อย 1 เส้นทาง ทั้ง 6 เหตุการณ์ พบว่า

1) กรณีประตูทางออกที่ 1 ไม่ถูกปิดกั้น จะเป็นประตูทางออกหลัก ที่ผู้ใช้อาคารใช้อพยพจำนวนสูงที่สุด ทั้ง เหตุการณ์ที่ 1, 3, 4 และ 5 จำนวน 111 คน, 132 คน, 134 คน และ 136 คน ตามลำดับ ซึ่งเกิดความแออัดและ รอคอยบริเวณพื้นที่ประตูทางออกที่ 1 ซึ่งเป็นประตูที่สามารถออกจากอาคารที่ใกล้ที่สุด หากสามารถปรับปรุงในด้านวิศวกรรมเพิ่มประตูหนีไฟในส่วนของสำนักงาน จะทำให้ผู้ใช้อาคาร มีเส้นทาง

อพยพหนีไฟเพิ่มขึ้น ลดความแออัดและลดระยะเวลาในการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารออกนอกอาคารทุกเหตุการณ์ อย่างปลอดภัย

2) ผู้ใช้อาคารจะอพยพหนาแน่นในบริเวณบันไดสัญญาณ ซึ่งกำหนดเป็นเส้นทางหนีไฟของสำนักงาน ชั้น 2 (ชั้นลอย) ลงมายังชั้น 1 ตามเส้นทางอพยพหนีไฟมายัง ประตูที่เป็นทางออกฉุกเฉิน เพื่อออกสู่ประตูทางออกที่ 1 เกิดความแออัด ควรมีการเพิ่มเส้นทางหนีไฟในส่วนของสำนักงาน อีก 1 เส้นทาง โดยปรับปรุงด้านวิศวกรรม ในพื้นที่ห้อง Reception ให้ผนังด้านข้างมีประตูหนีไฟเพิ่ม อีก 1 ประตู และปรับปรุงเส้นทางอพยพหนีไฟใหม่ ให้มีเส้นทางหนีไฟของอาคารอย่างน้อยชั้นละ 2 เส้นทาง ตามกฎหมายกำหนด

6. ข้อเสนอแนะ

การจำลองการอพยพหนีไฟในอาคาร เพื่อเสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาการอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคาร ออกนอกอาคารอย่างปลอดภัยทุกเหตุการณ์ ภายใน 5 นาที ดังนี้

1) หากเกิดเพลิงไหม้ เส้นทางหนีไฟ และประตูหนีไฟ ทั้ง 5 ประตู ต้องไม่ถูกปิดกั้น และหากมีการเพิ่มจำนวนเครื่องจักร หรือขยายไลน์การผลิตในอนาคต ไม่ควรเปลี่ยนแปลงมากกว่าแบบแปลนปัจจุบัน หรือควรหลีกเลี่ยงการวางอุปกรณ์หรือพื้นที่จัดเก็บวัสดุหรือกล่องกระดาษลูกฟูก ในบริเวณเส้นทางหลักในการอพยพหนีไฟของอาคาร

2) กรณีเกิดเหตุเพลิงไหม้ และสัญญาณแจ้งเหตุ ไม่ทำงาน ควรเพิ่มประตูทางออกหนีไฟ อีก 3 ประตู และทำการปรับปรุงเส้นทางหนีไฟใหม่ เพื่อลดความแออัด และระบอบบริเวณประตูทางออกที่ 1 และระยะเวลาและความแออัดในอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคาร ออกจากอาคารได้อย่างปลอดภัย

3) เพิ่มเส้นทางหนีไฟและปรับปรุงเส้นทางอพยพหนีไฟใหม่ ในส่วนของสำนักงาน อีก 1 เส้นทาง เพื่อลดความแออัดตรงบันไดหนีไฟ โดยปรับปรุงด้านวิศวกรรม ในพื้นที่ห้อง Reception ให้ผนังด้านข้างมีประตูหนีไฟเพิ่ม อีก 1 ประตู มีความกว้างขนาด 93 เซนติเมตร และเปลี่ยนเป็นผนังยิบซัมบอร์ดทนไฟ และเปลี่ยนประตู กระจก Automatic Sliding Door เป็นกระจกทนไฟ ซึ่งเป็นทางออกที่ใกล้กับจุดรวมพลมากที่สุด เพื่อใช้ในการซ้อมอพยพจริง และเพิ่มเส้นทางหนีไฟของอาคารอย่างน้อยชั้นละ 2 เส้นทาง ตามที่กฎหมายกำหนด และเพื่อลดเวลาและความแออัดในอพยพหนีไฟ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม กองส่งเสริมเทคโนโลยีและความปลอดภัยโรงงาน, สรุปสถิติอุบัติเหตุ ปี พ.ศ. 2560-2564, ข้อมูลจาก <https://reg3.diw.go.th/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2565)
- [2] กฎกระทรวง เรื่องข้อกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัยอาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555.
- [3] Thunderhead Engineering, Pathfinder Technical Reference Manual, Thunderhead Engineering Consultants, 2018.

- [4] อภิชัย ทานะเวช และเกียรติไกร อายุวัฒน์, การประยุกต์ใช้โปรแกรมจำลองการอพยพ เพื่อวิเคราะห์ขีดความสามารถในการอพยพกรณีศึกษาโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์, การประชุมวิชาการเสนอผลงานระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 20 (น.222-232), 15 มีนาคม 2562, ขอนแก่น.
- [5] ณัฐนิชา สามิต, การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยและการอพยพหนีไฟของอาคารผลิตลูกหมากรถยนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2563.
- [6] สกฤตา เกิดพร, การเปรียบเทียบเวลาในการอพยพหนีไฟระหว่างการอพยพจริงและการอพยพด้วยโปรแกรม Pathfinder กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนพลาสติกเสริมคาร์บอนไฟเบอร์, การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 4 (น.516-523), 28 สิงหาคม 2563,ชลบุรี.
- [7] กาญจนา ธาตแก้วเจริญ, การจำลองการอพยพหนีไฟ ด้วยโปรแกรม Pathfinder กรณีศึกษาอาคารอุตสาหกรรมเครื่องใช้ไฟฟ้า, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2564.
- [8] NFPA, NFPA 101 Life Safety Code, Delmar Cengage Learning, 2015.
- [9] BSI, "PD 7974-6:2019 Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Human factors. Life safety strategies. Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6)". Online document https://kupdf.net/download/pd-7974-6-2004_59f43fdde2b6f5f073480423_pdf# accessed on December 7, 2022.

การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการประกอบห้องโดยสารรถเกี่ยวหวดข้าวด้วยการจัดสมดุลสายการผลิต

Efficiency Improvement of the Assembly Line for the Cabins of Combine Harvesters by Using Line Balancing

เตชินท์ เฉลิมเทวี^{1*} จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน² รุ่งรัตน์ ภิษัเพ็ญ³

¹โครงการปริญญาโท สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

^{2,3}ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: taychin.cha@ku.th*

Taychin Chalermthewe^{1*}, Chansiri Singhtaun², Roongrat Pisuchpen³

¹Master Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Kasetsart University

^{2,3}Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

E-mail: taychin.cha@ku.th^{1*}, chansiri.s@ku.ac.th², fengros@ku.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตห้องโดยสารรถเกี่ยวหวดข้าวด้วยการจัดสมดุลสายการผลิต การดำเนินงานเริ่มจากการศึกษากระบวนการผลิต เก็บข้อมูลเวลาของงานย่อยในกระบวนการผลิต จากนั้นศึกษาความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสมดุลสายการผลิต จากนั้นแก้ปัญหาด้วยวิธีการแตกกิ่งและการตัด (Branch and Cut Algorithm) โดยเลือกใช้คำสั่ง COIN-OR CBC ในโปรแกรมโอเพ่นโซลเวอร์ จากการศึกษาพบว่าสายการผลิตห้องโดยสารรถเกี่ยวหวดข้าวของบริษัทกรณีศึกษาเป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตอย่างง่าย คือสายการผลิตเป็นเส้นตรง เป็นประเภท E ที่มีวัตถุประสงค์ คือ ค่าประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิตสูงสุด มีจำนวนชิ้นงานทั้งหมด 69 ชิ้นงาน ปัจจุบันถูกจัดสรรให้กับสถานีงานทั้งหมด 4 สถานีงาน ใช้พนักงานจำนวน 9 คน มีประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิต 82.52% มีรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 8,738 วินาทีต่อคัน ผลิตได้เฉลี่ย 4.5 คันต่อวัน ซึ่งมากกว่ารอบเวลาเป้าหมายที่ 6,600 วินาทีต่อคันเพื่อให้ผลิตได้ 6 คันต่อวัน ทำให้ปัจจุบันมีค่าแรงงานล่วงเวลาเท่ากับ 350.22 บาทต่อวัน แนวทางในการแก้ปัญหาที่นำเสนอมี 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 กรณีที่บริษัทต้องการคงจำนวนสถานีงานไว้ที่ 4 สถานีงาน และจำนวนพนักงานเท่าเดิม จะสามารถลดรอบเวลาการผลิตเหลือ 7,250 วินาทีต่อคัน และเมื่อจัดสรรงานลงสายการผลิตแล้วจะมีประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิต 99.46% บริษัทจะผลิตได้ 5 คันต่อวัน หากต้องการให้หยุดการผลิตได้ตามต้องการจะเกิดค่าใช้จ่ายค่าจ้างแรงงานล่วงเวลา 108 บาทต่อวัน แนวทางที่ 2 กรณีที่บริษัทต้องการให้สามารถผลิตทันตามรอบเวลาเป้าหมาย จะต้องใช้ 5 สถานีงาน ใช้พนักงานจำนวน 10 คน เมื่อจัดสรรงานลงสถานีงานแล้วจะมีประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิตเป็น 99.02% แนวทางนี้จะทำให้บริษัทต้องจัดสรรพื้นที่สำหรับสถานีงานที่ 5 ซึ่งบริษัทมีพื้นที่เพียงพอแต่ต้องจ้างแรงงานเพิ่มเติมอีก 1 คน ซึ่งมีค่าแรงงาน 353 บาทต่อวัน แนวทางที่ 1 เป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิต ลดรอบเวลาการผลิตและค่าใช้จ่ายให้กับบริษัทได้มากที่สุด

คำสำคัญ: การจัดสมดุลสายการผลิต เครื่องเกี่ยวหวดข้าว การเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิต

Abstract

This research aims to increase the efficiency of the cabins of combine harvesters by balancing the assembly line. The research methodology starts with studying the production process and collecting data on the cycle time of the tasks in the production process. The precedence relationship between tasks is then studied, and a mathematical model is created for balancing the production line. Finally, the problem is solved using the Branch and Cut Algorithm, with the COIN-OR CBC command in the OpenSolver program. From the study, it was found that the assembly line for the cabins of combine harvesters in the case study company is a simple production line balancing problem, which is a straight-line production line of type E with the objective of maximizing the efficiency of the production line balancing. There are a total of 69 tasks in the assembly line. Currently, the production line is allocated to four workstations with nine employees, achieving a production line balance efficiency of 82.52%. The cycle time is 8,738 seconds per cabin, and the average production rate is 4.5 cabins per day. The cycle time is higher than the takt time of 6,600 seconds per cabin to achieve a production rate at 6 cabins per

day. Currently, there is an overtime labor cost of 350.22 baht per day. There are two proposed approaches. Approach 1 is where the company wants to keep the number of workstations at 4 with the same number of employees. They can reduce the production time to 7,250 seconds per cabin and the production line efficiency then be 99.46%. The company will be able to produce five units per day. To achieve the production target, overtime labor costs will be incurred at a rate of 108 baht per day. For approach 2, as the company wants to produce at the takt time, they will need five workstations and ten workers. When the work is allocated to the workstations, the production line efficiency will be 99.02%. This approach requires the company to allocate additional space for the fifth workstation. Although the company has enough space, they will need to hire one more worker, which will cost 353 baht per day. The most suitable solution is approach 1 because it helps to increase the efficiency of the production line, reduce production time, and save the most cost for the company.

Keywords: Assembly line balancing, Combine harvester, Production line efficiency improvement

1. บทนำ

ในปัจจุบันความต้องการของผู้บริโภคนั้นเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นการตอบสนองความต้องการผู้บริโภคและสามารถแข่งขันได้จึงเป็นเรื่องสำคัญ บริษัทกรณีศึกษาเป็นธุรกิจเป็นผู้ผลิตและจำหน่ายสินค้าแปรรูปผลิตภัณฑ์เหล็กได้แก่ รางและท่อร้อยสายไฟฟ้า ตู้สื่อสาร ตู้ไฟฟ้าตู้โลหะ แผงควบคุมไฟฟ้าที่ใช้ตามอาคาร คอนโดมิเนียม สำนักงานห้างสรรพสินค้า เป็นต้น และผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปอื่น ๆ จากโลหะตามความต้องการของลูกค้า เช่น ห้องโดยสารรถเกี่ยวขนาดข้าว ปัญหาที่พบในสายการผลิตนี้คือ การผลิตไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า และการะงานในแต่ละสถานีงานเกิดความไม่สมดุลส่งผลให้เกิดการรอคอยของพนักงานและเครื่องจักรทำให้กระบวนการผลิตหยุดชะงักจึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการผลิตลดลง และทำให้ต้นทุนการผลิตมีค่าที่สูงขึ้น

ห้องโดยสารรถเกี่ยวขนาดข้าวที่บริษัทผลิตมีจำนวน 3 รุ่น โดยทุกรุ่นใช้สายการผลิตร่วมกัน แต่จะไม่มีการคละรุ่นในรอบการผลิตเดียวกัน ห้องโดยสารรถเกี่ยวข้าวที่เลือกนำมาศึกษาคือ รุ่น A เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์รุ่นที่มีคำสั่งซื้อประจำและในปริมาณมาก ปัจจุบันการจัดสายการผลิตห้องโดยสารเกี่ยวข้าวจัดตามทักษะความชำนาญของหัวหน้างานในสายการผลิต บริษัทยังไม่มีแนวทางในการจัดสรรงานในสายการผลิตทำให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลของภาระงานและการรอคอยงานขึ้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะนำเสนอแนวทางในการจัดสมดุลสายการผลิตโดยนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาจำลองปัญหาและพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบแมนตรง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสมดุลสายการผลิตให้กับโรงงานกรณีศึกษาต่อไป

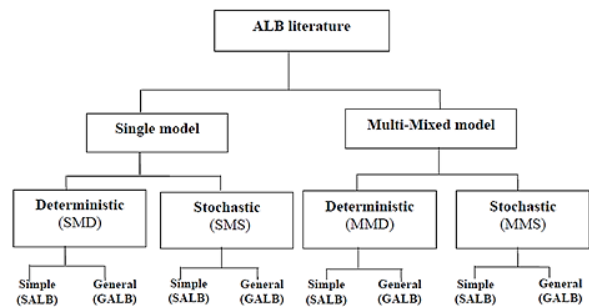
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแบ่งประเภทการจัดสมดุลของสายการผลิตตามลักษณะผลิตภัณฑ์

สายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์เดี่ยว (Single Model Assembly Line) จะมีการผลิตในปริมาณที่มากมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างต่ำและมีข้อจำกัดด้านลำดับในการทำงานก่อน

และหลังรวมไปถึงเวลาในการทำงานที่ถูกกำหนดไว้แล้ว โดยสามารถแบ่งออกได้เป็นอีก 2 ประเภทย่อยคือ 1. Single Model Deterministic (SMD) 2. Single Model Stochastic (SMS) ส่วนใหญ่จะเกิดปัญหาเกี่ยวกับการประกอบแบบใช้มือ (Manual) ซึ่งทำให้เวลาการทำงานจะมีค่าไม่คงที่

สายการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Multi Mixed Model Assembly Line) เป็นสายการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่งชนิดและมีกระบวนการประกอบที่ใกล้เคียงกัน [1] สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



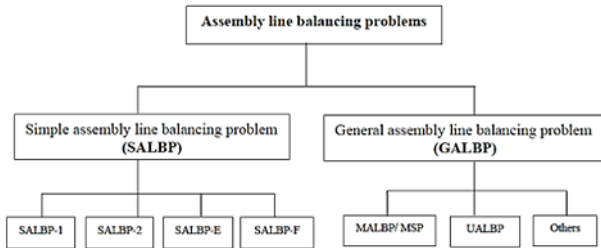
รูปที่ 1 ประเภทการจัดสมดุลของสายการผลิตตามลักษณะผลิตภัณฑ์
ที่มา: Ghosh and Gagnon [1]

2.2 การแบ่งประเภทการจัดสมดุลของสายการผลิตตามวัตถุประสงค์

SALBP คือปัญหาความสมดุลของสายการประกอบที่มีลักษณะเป็นเส้นตรงและมีการคำนึงถึงข้อจำกัดเวลาเป้าหมาย โดยสามารถจำแนกตามวัตถุประสงค์ได้ 4 ประเภท ดังนี้คือ

1. Type 1 Simple Assembly Line-Balancing Problem: SALBP-1 เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายการผลิตที่มีวัตถุประสงค์ต้องการลดจำนวนสถานีงานให้เหลือน้อยที่สุด
2. Type 2 Simple Assembly Line Balancing Problem: SALBP-2 เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตที่ต้องการทำให้รอบเวลาการผลิตน้อยที่สุด
3. Type E Simple Assembly Line Balancing Problem: SALBP-E เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตที่ต้องการหาประสิทธิภาพของสมดุลสายการผลิตสูงสุด ด้วยการลดเวลาการผลิต และจำนวนสถานีงาน
- 4.

Type F Simple Assembly Line Balancing Problem: SALBP-F เป็น ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตที่มีกำหนดเงื่อนไขของสถานีงานตาม รอบเวลาทำงานที่กำหนด GALBP คือปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความ ซับซ้อนที่เพิ่มมากขึ้น มีการเพิ่มข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ เข้ามา เช่น การ ผลิตผลิตภัณฑ์ผสม การจัดสายการผลิตแบบรูปตัวยู หรือ มีสถานีงาน แบบขนาน (Parallel station) เป็นต้น ประเภทของปัญหาการจัดสมดุล สายการประกอบดังกล่าว [2] สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ประเภทปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิต

ที่มา: Scholl and Becker [2]

วิธีการจัดสมดุลสายการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ วิธีการหาคำตอบแบบประมาณ ซึ่งได้แก่ วิธีฮิวริสติก และ วิธีเมตาฮิวริ สติก เช่น วิธี Largest Candidate Rule, วิธี Rank Positioning Weight, วิธี Evolutionary, COMSOAL เป็นต้น และวิธีแม่นยำ ซึ่งได้แก่ วิธีการ แดกกิ่งและการจำกัดขอบเขต วิธีการแดกกิ่งและการตัด เป็นต้น

แม้ว่าวิธีการหาคำตอบแบบประมาณจะมีข้อดีคือใช้งานง่าย แก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็วแต่ก็มีข้อด้อยคือ คำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบ ที่ดีที่สุด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีแม่นยำ เพื่อให้ได้คำตอบที่ดี ที่สุดในการจัดวางสายการผลิต เนื่องจากผลจากการจัดวางสายการผลิต จะส่งผลต่อการจัดสรรกำลังคน การฝึกฝนพนักงานในสถานีงานใหม่ และการจัดสรรพื้นที่ตามสถานีงานซึ่งเป็นผลระยะยาว กระบวนการหา คำตอบเริ่มต้นจากศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับ เป้าหมายและเงื่อนไขของสายการประกอบที่ใช้เป็นกรณีศึกษา พบว่า เป็น ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตประเภท SALBP-E เนื่องจาก สายการผลิตเป็นแบบเส้นตรง และมีวัตถุประสงค์คือการเพิ่ม ประสิทธิภาพสายการผลิตมีเงื่อนไขของรอบการผลิตเป้าหมายและ ลำดับก่อนหลังของงาน ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหานี้ สรุปรูปได้ดังนี้

ดัชนีและพารามิเตอร์

- i คือ ดัชนีของสถานีงาน ($i = 1, 2, 3, \dots, m$)
- j, k คือ ดัชนีของงานย่อย ($j, k = 1, 2, 3, \dots, n$)
- m คือ จำนวนสถานีงานที่ใช้
- n คือ จำนวนงานย่อย
- t_j คือ เวลาของงานย่อยที่ j
- S_i คือ เซตของงานย่อยที่มอบหมายให้สถานีงาน i
- T คือ รอบเวลาเป้าหมาย

Pre(j) คือ เซตของงานก่อนหน้าของงาน j

ตัวแปรในฟังก์ชันเป้าหมาย

CT คือ รอบเวลาการผลิตของสายการผลิต

E คือ ประสิทธิภาพสมดุลของสายการผลิต

ตัวแปรตัดสินใจ

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้างาน } j \text{ ถูกกำหนดให้สถานี } i; \\ 0, & \text{ถ้างาน } j \text{ ไม่ได้ถูกกำหนดให้สถานี } i; \end{cases} \forall i, j$$

ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

$$\text{Max } E = \frac{1}{m \times CT} \sum_{i=1}^m \sum_{j \in S_i} t_j x_{ij} \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = 1; \forall j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m i x_{ik} \leq \sum_{i=1}^m i x_{ij}; \forall j, \forall k \in \text{Pre}(j) \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n t_j x_{ij} \leq T; \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n t_j X_{ij} \leq CT; \forall i \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}; \forall i, j \quad (6)$$

สมการ (1) แสดงเป้าหมายการหาประสิทธิภาพสายการผลิต (Maximize the line efficiency: max E) สูงที่สุด โดยมีข้อจำกัดคือ สมการ (2) งานใดงานหนึ่งจะถูกจัดให้อยู่ได้เพียงสถานีงานเดียวเท่านั้น ข้อจำกัด (3) งานที่จะถูกจัดเข้าแต่ละในสถานีงานจะต้องคำนึงถึงลำดับ งานก่อนหลัง ข้อจำกัด (4) เป็นเงื่อนไขว่าเวลางานรวมของแต่ละสถานี งานจะต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิตเป้าหมาย สมการที่ (5) เป็นสมการ ที่กำหนดให้ค่ารอบเวลาการผลิตของสายการผลิตเป็นรอบเวลาของ สถานีงานที่ใช้เวลานานที่สุด สมการที่ (6) เป็นข้อจำกัดเชิงตรรกะของ ตัวแปร x_{ij} ที่บ่งบอกว่าเป็นตัวแปรแบบไบนารี

การจัดสมดุลสายการประกอบอย่างง่ายประเภท E (SALBP-E) เป็นการรวมปัญหา SALBP-1 และปัญหา SALBP-2 เข้าด้วยกันและได้ ทำการปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับ SALBP-E ที่ คำนึงถึงการเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตด้วยการพิจารณาการลด รอบเวลาการผลิตและจำนวนสถานีงาน จากผลงานวิจัย พบว่า ประสิทธิภาพสายการผลิตที่ดีขึ้นอยู่กับทั้งจำนวนสถานีงานและรอบ เวลาการผลิต [3]

ในการหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดสำหรับปัญหา SALBP-1 ซึ่งมี จุดประสงค์คือเพื่อจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขรอบเวลา คงที่ [4] ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และนำไปประยุกต์ใช้กับ ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบในโรงงานผลิตแบตเตอรี่ตะกั่วกรด โดยใช้ซอฟต์แวร์ GAMS® ในการแก้ปัญหาดังกล่าว พบว่าผลลัพธ์ แสดงให้เห็นว่า สามารถลดจำนวนสถานีงานจาก 10 เป็น 4 สถานีงาน และเพิ่มประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิตได้เป็นอย่างมาก

นอกจากนี้ได้มีการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้นไปประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการผลิตมาตรวัตพลังงานไฟฟ้าแบบอัจฉริยะซึ่งเป็นปัญหา SALBP-E โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงาน และลดเวลาการทำงานให้ต่ำกว่ารอบเวลาการผลิตตามความต้องการของลูกค้าพบว่าอัลกอริทึมใหม่ที่เราสร้างขึ้นให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดสมดุลสายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาในสภาพปัจจุบัน โดยให้ประสิทธิภาพสายการผลิตที่มากกว่า จำนวนสถานีงานที่น้อยกว่า และ รอบเวลาการผลิตที่ลดลง [5]

ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการแมนตรงสำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้นซึ่งจัดอยู่ในประเภทปัญหาคำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed-Integer Linear Programming: MILP) คือ วิธีการแตกกิ่งและการตัด โดยจะใช้ไลบรารีซอฟต์แวร์ Coin-OR Branch and Cut (COIN-OR CBC) ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับแก้ไขปัญหาคำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบผสม ในโปรแกรม OpenSolver ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อนและไม่มีการจ่ายเพิ่มเติม

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาปัญหาสายการผลิตห้องโดยสารรถเกี่ยวขนาดข้าวของโรงงานกรณีศึกษา

ปัจจุบันสายการผลิตนี้ประกอบด้วย 69 ชิ้นงานโดยถูกจัดลงในสายการผลิตห้องโดยสารรถเกี่ยวขนาดข้าวลงใน 4 สถานีงานหลัก ดังนี้
 สถานีงาน 1 ขั้นตอนประกอบกระบอกเข้ากับตัวโครง
 สถานีงาน 2 ขั้นตอนการติดตั้งระบบไฟฟ้าและระบบทำความเย็น
 สถานีงาน 3 ขั้นตอนการยิงซีลโคนตามจุดต่างๆ ตรวจสอบรอยรั่วและการติดตั้งประตู
 สถานีงาน 4 ขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม เก็บรายละเอียดขั้นสุดท้าย และ ตรวจสอบ
 มี รอบเวลาการผลิตเป้าหมาย (takt time) เท่ากับ 6,600 วินาทีต่อคัน โดยแต่ละสถานีงาน มีเวลามาตรฐาน จำนวนพนักงาน และชิ้นงานแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เวลามาตรฐาน จำนวนพนักงานของสายการผลิตห้องโดยสารรถเกี่ยวขนาดข้าว

สถานีงาน	เวลา (วินาที)	จำนวนพนักงาน	ชิ้นงาน
1	5,471	1	{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21}
2	7,774	3	{22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38}
3	6,860	2	{39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55}
4	8,738	3	{56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69}

จากตารางที่ 1 พบว่ารอบเวลาการผลิตของสายการผลิตนี้เท่ากับ 8,738 วินาทีต่อคัน ซึ่งเกินรอบเวลาการผลิตเป้าหมายแสดงให้เห็นว่าผลิตไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า และจะต้องเปิดการทำงานล่วงเวลาเพิ่มอีก 0.59 ชั่วโมง คิดเป็นค่าใช้จ่าย 9,456 บาทต่อเดือน จากสูตร (แรงงานขั้นต่ำต่อวันหารด้วยชั่วโมงการทำงาน) x อัตราค่าทำงานล่วงเวลา x ชั่วโมงงานล่วงเวลาเพิ่มขึ้น x จำนวนวันทำงาน x จำนวนพนักงาน จะได้ $(353/8 \times 1.5) \times 0.59 \times 27 \times 9 = 9,456$ บาทต่อเดือนต่อคน

3.2 ศึกษาลำดับความสัมพันธ์ของชิ้นงานก่อนหลัง

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาชิ้นงานย่อยของสายการผลิตห้องโดยสารรถเกี่ยวขนาดข้าว เพื่อกำหนดลำดับความสัมพันธ์ของแต่ละชิ้นงาน โดยขอบเขตงานในแต่ละสถานีงานจะแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งลำดับความสัมพันธ์ของชิ้นงานก่อนหลัง แสดงดังรูปที่ 3

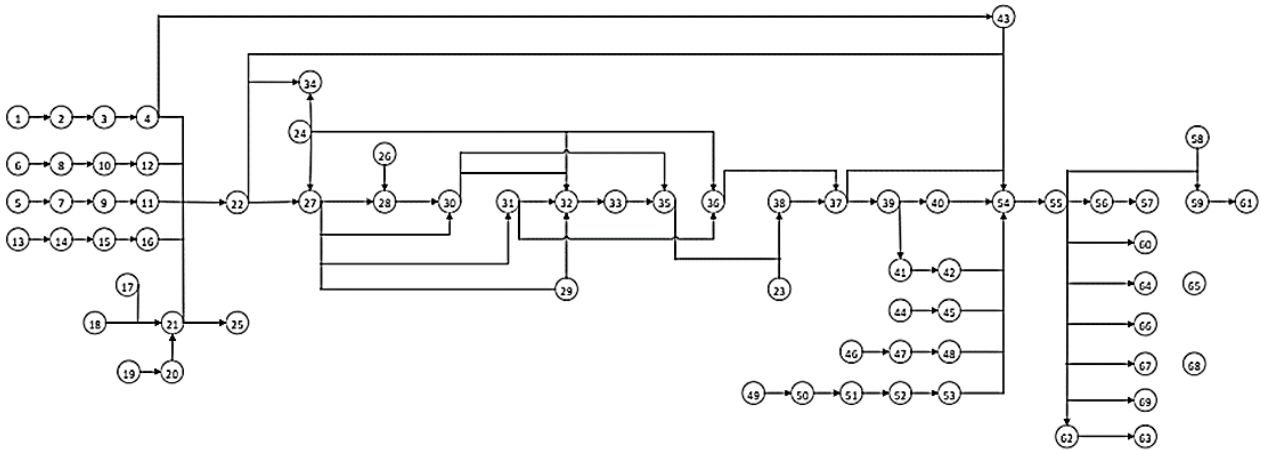
3.3 การพัฒนาอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการผลิต

เนื่องจาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา SALBP-E มีฟังก์ชันเป้าหมาย (1) อยู่ในรูปไม่เป็นเชิงเส้นทำให้ปัญหาเป็นปัญหาคำหนดการไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Integer Programming Problem) จึงทำการแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปเชิงเส้น ด้วยการเปลี่ยนฟังก์ชันเป้าหมายเป็นดังสมการที่ (7)

$$\text{Minimize} = CT \quad (7)$$

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการแก้ปัญหา 2 แนวทางได้แก่

3.3.1 แนวทางที่ 1 ใช้จำนวนสถานีงานเท่ากับ 4 สถานีงานเหมือนเดิม เนื่องจากบริษัทต้องการคงจำนวนสถานีงานไว้เท่าเดิมจากนั้นทำการจัดสมดุลสายการผลิตให้ได้รับรอบเวลาการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งอาจไม่ต่ำกว่ารอบเวลาการผลิตเป้าหมายในแนวทางนี้จะเป็นการแก้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีฟังก์ชันเป้าหมาย ดังสมการที่ (7) ภายใต้ข้อจำกัดที่ (2) – (3) และสมการที่ (5) – (6) ด้วยวิธีการแตกกิ่งและการตัด โดยใช้ไลบรารี COIN-OR CBC ในโปรแกรม Open Solver



รูปที่ 3 แผนผังลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของการผลิตห้องโดยสารรถเกี่ยวนวดข้าว

3.3.2 แนวทางที่ 2 ใช้จำนวนสถานีงาน 5 สถานีงาน ซึ่งเกิดจากการคำนวณหาจำนวนสถานีงานที่เหมาะสมจาก การนำเวลารวมของสายการผลิตหารด้วยรอบเวลาการผลิตเป้าหมาย คือ $28,843 / 6,600 = 4.37$ สถานีงาน บัดขึ้นเป็น 5 สถานีงาน จากนั้นทำการจัดสมดุลให้ได้รอบเวลาที่ต่ำที่สุดและอยู่ภายใต้รอบเวลาการผลิตเป้าหมาย ซึ่งจะเป็นการแก้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สมการ (7) เป็นฟังก์ชันเป้าหมาย และใช้สมการที่ (2) – (6) เป็นสมการข้อจำกัด จากนั้นทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแตกกิ่งและการตัด โดยใช้ไลบรารี COIN-OR CBC ในโปรแกรม OpenSolver

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการแก้ไข้ปัญหาของแนวทางที่ 1 จากการแก้ปัญหาได้ผลลัพธ์การจัดสรรงานเข้าสถานีงานดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์การจัดสมดุลสายการผลิตของแนวทางที่ 1

สถานีงาน	เวลา (วินาที)	จำนวนพนักงาน	ชั้นงาน
1	7,148	1	{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,13,14,15,16,17,18,19,20,21,24,25,26,44,46,47,48,49}
2	7,250	3	{12,22,23,27,28,29,30,31,32,33,35,38,39,41,50}
3	7,242	2	{36,37,40,42,43,45,51,52,53,54,55,56,58,62,65}
4	7,204	3	{34,57,59,60,61,63,64,66,67,68,69}

จากตารางที่ 1 รอบเวลาการผลิตของสายการผลิตนี้เท่ากับ 7,250 วินาทีต่อคัน โดยใช้จำนวนพนักงานเท่าเดิม ซึ่งทำให้ผลิตไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า ทำให้ต้องทำงานล่วงเวลาเพิ่มขึ้น 0.18 ชั่วโมง

4.2 ผลการแก้ไข้ปัญหาของแนวทางที่ 2 จากการแก้ปัญหาได้ผลลัพธ์การจัดสรรงานเข้าสถานีงานดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การจัดสมดุลสายการผลิตของแนวทางที่ 2

สถานีงาน	เวลา (วินาที)	จำนวนพนักงาน	ชั้นงาน
1	5,825	1	{1,2,3,5,6,7,8,9,10,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,23,26,44,46,49,50,51,52,53,68}
2	5,804	3	{4,11,22,24,27,28,29,30,31,43,47,58}
3	5,684	2	{25,32,33,34,35,36,38,39,41,42,45,48,65}
4	5,705	3	{37,40,54,55,60,64,66}
5	5,825	1	{56,57,59,61,62,63,67,69}

จากตารางที่ 3 รอบเวลาการผลิตของสายการผลิตนี้เท่ากับ 5,825 วินาทีต่อคัน สามารถทำการจัดสมดุลให้ได้รอบเวลาที่ต่ำที่สุดและอยู่ภายใต้รอบเวลาเป้าหมายได้แต่จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนสถานีงานจาก 4 เป็น 5 สถานีงาน และต้องจ้างพนักงานประจำสถานีงานเพิ่มอย่างน้อยจำนวน 1 คน

โดยแนวทางที่ 1 และ แนวทางที่ 2 จะเกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมคำนวณได้ดังนี้ คือ คิดจากแรงงานขั้นต่ำวันละ 353 บาท ค่าทำงานล่วงเวลาเท่ากับ 1.5 เท่าของค่าจ้างต่อชั่วโมง จากสูตร (แรงงานขั้นต่ำต่อวันหารด้วยชั่วโมงการทำงาน) x อัตราค่าทำงานล่วงเวลา x ชั่วโมงงานล่วงเวลาเพิ่มขึ้น x จำนวนวันทำงาน x จำนวนพนักงาน จะได้ $(353/8 \times 1.5) \times 0.18 \times 27 \times 9 = 2,916$ บาทต่อเดือน และ 9,531 บาทต่อเดือน ตามลำดับ จากผลลัพธ์การจัดสมดุลสายการผลิตของทั้งสองแนวทางสามารถเปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการจัดสมดุลสายการผลิตสภาพ
ก่อนและหลังปรับปรุง

การจัด สมดุล สายการผลิต	จำนวน สถานี งาน หน่วย: สถานี	รอบเวลา การผลิต (วินาที/คัน)	ต้นทุน แรงงานที่ เพิ่มขึ้น (บาท)	ร้อยละ ประสิทธิภาพ สายการผลิต หน่วย: %
ก่อน ปรับปรุง	4	8,738	9,456	82.52
แนวทางที่ 1	4	7,250	2,916	99.46
แนวทางที่ 2	5	5,825	9,531	99.02

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่า หากต้องการผลิตห้องโดยสารเที่ยววัน
เช้าให้ได้ 6 คันต่อวัน ในแนวทางที่ 1 จะมีต้นทุนแรงงานเพิ่มเติมจาก
การทำงานล่วงเวลาที่ต่ำที่สุดคือ 2,916 บาทต่อคัน และมีประสิทธิภาพ
สายการผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 99.46 % ด้วยจำนวนสถานีงาน 4 สถานี
งาน และใช้พนักงานจำนวน 9 คนเหมือนเดิมตามกระบวนการก่อน
ปรับปรุง และสามารถลดต้นทุนแรงงานจากการทำงานล่วงเวลาลงได้
6,540 บาทต่อเดือนเมื่อเทียบกับสายการผลิตก่อนปรับปรุง ในขณะที่
แนวทางที่ 2 เพื่อผลิตให้ทันตามรอบเวลาการผลิตเป้าหมายโดยไม่ต้อง
ทำงานล่วงเวลา จึงต้องมีการเพิ่มสถานีงานเป็น 5 สถานีงานและเพิ่ม
พนักงานอย่างน้อยจำนวน 1 คน เพื่อทำผลิตให้ทันตามรอบเวลาการ
ผลิตเป้าหมายทำให้ต้นทุนค่าแรงเพิ่มขึ้น 9,531 บาทต่อเดือน

5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาการจัดสมดุลสายการผลิตของการผลิตห้องโดยสารรถ
เที่ยววันเช้า ซึ่งจัดอยู่ในประเภท SALBP-E พบว่า การหาผลลัพธ์
ด้วยวิธีวิธีแมนตรง ในแนวทางที่ 1 และ แนวทางที่ 2 ที่สร้างขึ้นให้
ประสิทธิภาพสายการผลิตที่มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดสมดุล
สายการผลิตของโรงงานกรณีศึกษาในสภาพปัจจุบัน และ ขั้นตอนการ
ทำงานในแต่ละสถานีหลังจากการหาผลลัพธ์ด้วยวิธีแมนตรงของทั้ง
สองแนวทางมีความใกล้เคียงกันและใกล้เคียงกับสภาพปัจจุบันของโรงงาน
กรณีศึกษา จะมีในบางขั้นตอนการทำงานเท่านั้นที่อาจจะถูกจัดให้อยู่ใน
สถานีงานที่แตกต่างออกไปจากสายการผลิตในปัจจุบันของโรงงาน
กรณีศึกษา เพราะในบางขั้นตอนการทำงานสามารถทำได้ก่อนโดยไม่มี
งานก่อนหลัง จำนวนสถานี และข้อจำกัดรอบเวลาเป้าหมาย

แนวทางที่ 1 เป็นแนวทางที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อ
เพิ่มประสิทธิภาพสมดุลสายการผลิต เนื่องจากให้ประสิทธิภาพสมดุล
สายผลิตที่ดีที่สุด ด้วยต้นทุนแรงงานน้อยที่สุด โดยสามารถลดต้นทุน
แรงงานจากการทำงานล่วงเวลาให้กับบริษัทลงได้ถึง 6,540 บาทต่อ
เดือน และสามารถให้พนักงานประจำที่มีอยู่เดิมในแต่ละสถานีงานได้
เลย ซึ่งในแนวทางที่ 2 การเพิ่มสถานีงานและพนักงานนั้นส่งผลให้รอบ

เวลาการผลิตได้ตามเป้าหมายซึ่งทางบริษัทมีพื้นที่เพียงพอแต่ต้องจ้าง
แรงงานเพิ่มเติมอีก 1 คนจะทำให้เกิดต้นทุนแรงงานที่เพิ่มมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาของงานวิจัย สามารถนำไปใช้กับปัญหาการจัด
สมดุลสายการผลิตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ซึ่งการนำไปใช้อาจเลือกใช้
อัลกอริทึมในการหาคำตอบที่แตกต่างออกไป เช่น การเลือกเงื่อนไขใน
การปรับปรุงคำตอบและหยุดหาคำตอบของอัลกอริทึม เป็นต้น เหล่านี้
จะส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบที่ได้และเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบและ
เพื่อให้สามารถนำไปใช้กับกระบวนการทำงานจริงได้อย่างมี
ประสิทธิภาพ ในอนาคตอาจจะเพิ่มเติมการศึกษาเรื่องข้อจำกัดของ
พื้นที่การทำงาน และความสามารถของพนักงานในแต่ละกระบวนการ
ร่วมด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท บางกอกซีทีเมทัลล จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความ
อนุเคราะห์และสนับสนุนข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้ รวมถึงผู้เกี่ยวข้องกับ
งานวิจัยนี้ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ghosh, S. and R.J. Gagnon. 1989. A Comprehensive Literature Review and Analysis of the Design, Balancing and Scheduling of Assembly Systems. International Journal of Production Research 27 (4): 637-670.
- [2] Scholl, A. and C. Becker. 2006. State-of-the-art Exact and Heuristic Solution Procedures for Simple Assembly Line Balancing. European Journal of Operational Research 168 (3): 666-693.
- [3] W. Nai-Chieh, and C. I-Ming. 2011. A Solution Procedure for Type E Simple Assembly Line Balancing. Computer and Industrial Engineering, Vol 61: 824-830.
- [4] Navas-Barrios, E., A Riquett-Rodríguez, M A. Macías-Jiménez, and A R. Romero-Conrado. 2022. An assembling line balancing problem: Lead-acid batteries case study. Procedia Computer Science, 203, 525-530.
- [5] ประภาพรณ ทองดี. 2560. การจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตมาตรวัดพลังงานไฟฟ้า แบบอัจฉริยะ. การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาดและแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา ไอศกรีมกะทิสด (ผลิตภัณฑ์ธุรกิจขนาดย่อม)

A Market Feasibility Study and a Product Development Model: a Case Study of Coconut Milk Ice-cream (SMEs Product)

เกษรินทร์ พูลทรัพย์ ณิชฐ์สุดา จันทรพรหม ณิชฎกานต์ สายหมี วันชัย ลีลากรวิวงศ์ สุขุม โฆษิตชัยมงคล มนต์รี พิพัฒน์ไพบูลย์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: phoonsup_k@su.ac.th*

Kedsarin Phoonsup^{*}, Chatsuda Chanprom, Natthakan Saimee, Wanchai Leelakaweewong,
Sukhum Kositchaimongkol, Montree Pipatpiboon

Department of Industrial Engineering and Management, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Silpakorn University

E-mail: phoonsup_k@su.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการตลาดและหาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมถึงนำเสนอกลยุทธ์ที่เหมาะสมในธุรกิจไอศกรีมขนาดย่อม โดยวิเคราะห์ถึงสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกองค์กร สภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรม ส่วนผสมทางการตลาด และบ้านแห่งคุณภาพ ผลการวิเคราะห์แบบสอบถามจำนวน 120 ชุด เกี่ยวกับพฤติกรรมการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีม พบว่าการกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดเพื่อช่วยในการดำเนินงาน แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) กลยุทธ์ระดับองค์กร ใช้กลยุทธ์การเจาะตลาดโดยมุ่งเน้นตลาดเฉพาะส่วน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเฉพาะกลุ่ม และการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ใหม่ 2) กลยุทธ์ระดับธุรกิจ ใช้กลยุทธ์การตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว โดยการเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ 3) กลยุทธ์ระดับสายงาน ใช้กลยุทธ์ด้านการวางแผนและควบคุมการผลิต เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและผลิตภาพ ทั้งนี้แนะนำให้มีการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จัดทำโครงสร้างต้นทุนเพื่อควบคุมต้นทุนผลิตภัณฑ์ และเสนอให้มีการจ้างแรงงานท้องถิ่นเพิ่มเติม สำหรับแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก แบบประเมิน และบ้านแห่งคุณภาพ พบว่า การใช้วัตถุดิบที่หลากหลาย มีค่าน้ำหนักความสำคัญมากที่สุด ดังนั้นองค์กรควรใช้วัตถุดิบที่หลากหลายมากขึ้นเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรสชาติที่หลากหลายและแปลกใหม่กว่าคู่แข่ง

คำสำคัญ: การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด การพัฒนาผลิตภัณฑ์ บ้านแห่งคุณภาพ การจัดการงานวิศวกรรม ไอศกรีม

Abstract

This research aims to analyze a marketing feasibility and suggest a product development model of a coconut milk ice-cream (SMEs Product). An analysis of internal and external environment factors, a five-force model and a marketing mix, and a House of Quality Model were used as research tools. An analysis of the 120 questionnaires on ice-cream buying behavior results in a 3 levels-marketing strategy as follows. Firstly, the Corporate-level Strategy: a market penetration strategy which focusing on specific market segments, and a product development strategy which focusing on product and packaging development, are used in order to meet the targets' needs. Secondly, the Business-level Strategy: to respond to customer needs quickly by expanding of product distribution channels. Thirdly, the Functional-level Strategy: to focus on a production planning and control for increasing a production capacity and productivity. Additionally, the created strategy plan suggests that tools and equipment used in the production process should be improved for more efficiency. A cost structure should be developed in order to be able to control the product cost. And a workforce should be added by hiring more local labor. A product development model, by using an in-depth interview, an assessment form and a House of Quality, shows that the use of various raw materials has the most important weight. Thus, the organizations should use more various raw materials to develop more creative flavors and novelty that make the ice-cream differ from other competitors.

Keywords: Market Feasibility Study, Product Development, House of Quality, Engineering Management, Ice-Cream

1. บทนำ

ธุรกิจไอศกรีมมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่องและมีมูลค่าของตลาดเพิ่มมากขึ้นแบบก้าวกระโดด โดยมูลค่าตลาดไอศกรีมในประเทศไทยมีการเติบโตเพิ่มขึ้นขึ้นประมาณร้อยละ 8 จากปีก่อนหน้า [1] เนื่องจากความต้องการบริโภคไอศกรีมมีเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนประชากรของประเทศทำให้ผู้ประกอบการหันมาสนใจธุรกิจไอศกรีมเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ จากการที่มูลค่าของตลาดไอศกรีมขยายตัวในทุก ๆ ปี ทำให้การแข่งขันในตลาดไอศกรีมมีมากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะตลาดธุรกิจขนาดย่อม ซึ่งผู้ประกอบการต่างปรับกลยุทธ์เพื่อแย่งส่วนแบ่งทางการตลาด ไม่ว่าจะเป็นการสร้างตราสินค้า การขยายช่องทางการจัดจำหน่าย เป็นต้น จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นและสภาพปัจจุบันของธุรกิจกรณีศึกษาพบว่า เป็นผลิตภัณฑ์หนึ่งที่มีความนิยมของคนในพื้นที่ เนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่างที่ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ ไม่ว่าจะเป็นเป็นด้านราคาและรสชาติของผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากในปัจจุบันตลาดไอศกรีมมีการแข่งขันสูง รวมถึงมีสินค้าที่สามารถมาทดแทนไอศกรีมจำนวนมาก ผู้บริโภคจึงมีทางเลือกในการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์มากขึ้น ส่งผลให้ในปัจจุบันธุรกิจกรณีศึกษามียอดขายค่อนข้างคงที่และมีแนวโน้มลดลง ผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นกับองค์กร ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการตลาด โดยการศึกษากิจกรรมทางธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ ราคา การส่งเสริมการตลาด การจำหน่ายสินค้าหรือบริการ การวางแผนการจัดการ เพื่อให้ตอบสนองความต้องการแก่ลูกค้าในปัจจุบันและผู้คาดการณ์ว่าจะเป็นลูกค้าในอนาคต [2] เพื่อให้มั่นใจว่าธุรกิจที่กำลังลงทุนสามารถดำเนินกิจการไปได้หรือควรปรับปรุงในส่วนตัว โดยการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในและภายนอกองค์กร เพื่อให้ทราบถึงจุดอ่อน จุดแข็ง โอกาส และอุปสรรค ในการดำเนินกิจการขององค์กร รวมถึงผลกระทบต่าง ๆ ที่มีผลต่อการดำเนินกิจการ นอกจากนี้ยังมี การวิเคราะห์ส่วนผสมทางการตลาด วิเคราะห์พฤติกรรมทางเลือกซื้อของผู้บริโภค เพื่อสร้างกลยุทธ์ทางการตลาดที่เหมาะสมกับองค์กร รวมถึงการใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพ เพื่อวิเคราะห์ความต้องการที่แท้จริงของลูกค้า และนำเสนอแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

2. วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาดของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมกะทิสด เพื่อวางแผนกลยุทธ์ระดับองค์กร ระดับธุรกิจ และระดับหน้าที่ ที่เหมาะสมกับธุรกิจกรณีศึกษา รวมถึงทำการวิเคราะห์บ้านแห่งคุณภาพ เพื่อนำเสนอแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้า

3. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยใช้หลักการการจัดการงานวิศวกรรม ซึ่งเป็นการนำเครื่องมือต่าง ๆ ทางวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในการจัดการองค์กร [3] โดยทำการศึกษารายการขององค์กรกรณีศึกษา ตั้งแต่

การศึกษาความต้องการของลูกค้า การวิเคราะห์องค์กรทั้งภายในและภายนอก เพื่อนำไปสู่แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการสร้างกลยุทธ์ทางการตลาดที่เหมาะสมกับองค์กร งานวิจัยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้หลักการการสร้างแบบสอบถาม [4] และการสัมภาษณ์เชิงลึก [5] ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ทฤษฎี SWOT Analysis และ TOWS Matrix [6] ทฤษฎี Five-Fore Model [7] และทฤษฎีบ้านแห่งคุณภาพ [8]

4. ระเบียบวิธีวิจัย

4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย 9 ขั้นตอน ดังนี้ 1.ศึกษาสภาพทั่วไปของธุรกิจกรณีศึกษา โดยการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ประกอบการ 2. วิเคราะห์ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกขององค์กร ด้วยการใช้ SWOT Analysis และสร้าง TOWS Matrix เพื่อกำหนดกลยุทธ์ทางเลือก 3. วิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อธุรกิจด้วยการใช้ Five-Fore Model 4. สร้างแบบสอบถาม เพื่อวิเคราะห์ส่วนผสมทางการตลาด 5. วิเคราะห์ TOWS Matrix และส่วนผสมทางการตลาดจากแบบสอบถาม เพื่อกำหนดกลยุทธ์ที่เหมาะสม 6. สัมภาษณ์เชิงลึกกับลูกค้า เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของลูกค้า 7. สร้างแบบประเมิน เพื่อสำรวจระดับคะแนนความสำคัญของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจ และเพื่อสำรวจระดับคะแนนความพึงพอใจในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม 8. วิเคราะห์แบบประเมินเพื่อสร้างบ้านแห่งคุณภาพ 9. วิเคราะห์บ้านแห่งคุณภาพเพื่อนำเสนอแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

4.2 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ประชากรทั่วไป ซึ่งไม่ทราบจำนวนประชากรที่แน่นอน กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยบุคคลทั่วไป และเนื่องจากไม่ทราบจำนวนประชากร ผู้วิจัยจึงใช้วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่าง โดยคำนวณหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างแบบไม่ทราบประชากร [9] และได้กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 96 ตัวอย่าง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ความผิดพลาดร้อยละ 10 และนอกจากนี้ ผู้วิจัยได้เก็บตัวอย่างเพิ่มเติมสำหรับแบบสอบถามและแบบประเมินที่ไม่สมบูรณ์ไว้อีกร้อยละ 20 โดยเก็บเพิ่มจำนวน 24 ตัวอย่าง จึงได้กลุ่มตัวอย่างเป็นจำนวนทั้งสิ้น 120 ตัวอย่าง โดยใช้สูตรคำนวณดังนี้

$$n = \frac{P(1-P)z^2}{e^2} \quad (1)$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

P = สัดส่วนของประชากรที่ผู้วิจัยกำหนดสุ่ม เท่ากับ 0.5

Z = เท่ากับ 1.96 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

e = กำหนดให้มีความผิดพลาดร้อยละ 10

ผู้วิจัยได้ใช้หลักการเลือกกลุ่มตัวอย่างที่ไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Nonprobability sampling) ด้วยวิธีสุ่มแบบสะดวก (Convenience Sampling) เป็นการเลือกกลุ่มตัวอย่าง เพื่อให้ได้จำนวนตามต้องการ โดยไม่มีหลักเกณฑ์และเป็นกลุ่มตัวอย่างที่สามารถให้ข้อมูลได้

4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือ 1) แบบสอบถาม 2) การสัมภาษณ์เชิงลึก และ 3) แบบประเมิน

4.3.1 แบบสอบถาม

แบบสอบถามนี้ใช้สำหรับศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับพฤติกรรมของผู้บริโภคเกี่ยวกับการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ไอศกรีม เพื่อศึกษาปัจจัยส่วนบุคคล และปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด [10] และนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อวางแผนกลยุทธ์ที่เหมาะสมกับธุรกิจ ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่าง โดยลักษณะของแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 1 แบบสอบถามเกี่ยวกับลักษณะบุคคลของกลุ่มตัวอย่าง ส่วนที่ 2 แบบสอบถามพฤติกรรมการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค และส่วนที่ 3 แบบสอบถามเกี่ยวกับระดับความสำคัญของปัจจัยส่วนผสมทางการตลาด

4.3.2 การสัมภาษณ์เชิงลึก

การสัมภาษณ์ในงานวิจัยนี้จะทำการสัมภาษณ์แบบกึ่งโครงสร้าง ประกอบด้วยการสัมภาษณ์ 2 ส่วน คือ 1) การสัมภาษณ์เชิงลึกภายในองค์กร โดยสัมภาษณ์ถึงสภาพทั่วไปขององค์กร เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอกขององค์กร 2) สัมภาษณ์เชิงลึกกับลูกค้า เพื่อวิเคราะห์เสียงของลูกค้าและระบุปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจของลูกค้า และใช้เป็นข้อมูลในการสร้างแบบประเมินต่อไป

4.3.3 แบบประเมิน

นำความต้องการของลูกค้าจากการสัมภาษณ์เชิงลึกมาจัดทำแบบประเมินจำนวน 3 ชุด คือ 1) แบบประเมินเพื่อสำรวจระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจ 2) แบบประเมินเพื่อสำรวจระดับคะแนนความพึงพอใจในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และ 3) แบบประเมินเพื่อระบุระดับเป้าหมายขององค์กรที่จะพัฒนาระดับความพึงพอใจในคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบประเมินทั้ง 3 ชุดนี้จะนำไปใช้ในการสร้างบ้านแห่งคุณภาพต่อไป

5. ผลการศึกษา

5.1 ผลการวิเคราะห์แมทริกซ์ TOWS

นำผลจากการวิเคราะห์ SWOT มาทำแมทริกซ์ที่แสดงให้เห็นถึงโอกาส (Opportunities) และอุปสรรค (Threats) จากภายนอกองค์กรที่สัมพันธ์กับจุดแข็ง (Strength) และจุดอ่อน (Weaknesses) ภายในองค์กร โดยมีทางเลือกกลยุทธ์ 4 ทางเลือก ซึ่งเกิดจากการจับคู่ระหว่างปัจจัยภายนอกและปัจจัยภายใน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กลยุทธ์ทางเลือก

<p>SO (กลยุทธ์เชิงรุก)</p> <ul style="list-style-type: none"> - ใช้โอกาสในการใกล้ชิดกับลูกค้า ทำให้เข้าถึงความต้องการของลูกค้าได้มากกว่าคู่แข่ง - จากการที่มีการผลิตที่ทันสมัยทำให้สามารถเพิ่มยอดการผลิตได้ตามความต้องการ 	<p>WO (กลยุทธ์เชิงแก้ไข)</p> <ul style="list-style-type: none"> - เสริมความรู้ด้านวิชาการให้แก่ผู้ประกอบการเพื่อการจัดการธุรกิจได้ดียิ่งขึ้น - เพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายออนไลน์ - ปรับปรุงและพัฒนารูปแบบของบรรจุภัณฑ์ให้น่าสนใจมากกว่าคู่แข่ง
<p>ST (กลยุทธ์เชิงป้องกัน)</p> <ul style="list-style-type: none"> - พัฒนารสชาติไอศกรีมให้มีความหลากหลาย - ใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ทันสมัยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต 	<p>WT (กลยุทธ์เชิงรับ)</p> <ul style="list-style-type: none"> - วางแผนการตลาดและหากลยุทธ์ที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง - เพิ่มช่องทางการประชาสัมพันธ์และการโฆษณา

5.2 ผลการวิเคราะห์สภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรม (Five-Force Model)

การประเมินสภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรม (Five-Force Model) โดยการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อธุรกิจ ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อธุรกิจ

ตารางที่ 2 การประเมินสภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรม

สภาพการแข่งขัน	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ	ผลการวิเคราะห์
การเข้ามาของคู่แข่งรายใหม่	ต้นทุนในการผลิต	ผลเชิงลบ
	กระบวนการผลิต	ผลเชิงลบ
	แนวโน้มพฤติกรรมของลูกค้า	ผลเชิงลบ
	ประสบการณ์และความชำนาญ	ผลเชิงบวก
อำนาจต่อรองของผู้ขาย	วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตไอศกรีม	ผลเชิงบวก
	จำนวนของผู้ขาย	ผลเชิงบวก
การแข่งขันในอุตสาหกรรม	จำนวนคู่แข่งในตลาด	ผลเชิงลบ
	ความแตกต่างของผลิตภัณฑ์	ผลเชิงลบ
	ช่องทางจัดจำหน่าย	ผลเชิงลบ
	การเข้าถึงลูกค้า	ผลเชิงบวก
อำนาจต่อรองของผู้ซื้อ	ปริมาณการซื้อในแต่ละครั้งของลูกค้า	ผลเชิงบวก
	ทางเลือกในผลิตภัณฑ์ของลูกค้า	ผลเชิงลบ
	ราคา	ผลเชิงลบ
สินค้าทดแทน	จำนวนสินค้าทดแทน	ผลเชิงลบ
	ต้นทุนในการเปลี่ยน	ผลเชิงลบ

5.3 ผลการวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภคและส่วนผสมทางการตลาด

การวิเคราะห์พฤติกรรมในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความถี่ในการรับประทานไอศกรีม 1-2 ครั้ง/เดือน, เลือกซื้อไอศกรีมที่ร้านสะดวกซื้อ, ซื้อไอศกรีมในช่วงราคาต่ำกว่า 20 บาท และตัดสินใจซื้อไอศกรีมจากรสชาติของไอศกรีมเป็นหลัก

การวิเคราะห์ระดับความสำคัญของปัจจัยส่วนผสมทางการตลาดในด้านผลิตภัณฑ์ ด้านบรรจุภัณฑ์ ด้านราคา ด้านสถานที่และช่องทางการจำหน่าย และด้านการส่งเสริมการขาย ซึ่งสามารถสรุประดับความสำคัญของปัจจัยได้ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภคและส่วนผสมทางการตลาด

ส่วนผสมทางการตลาด	คะแนนความสำคัญโดยเฉลี่ย (เต็ม 5)	ปัจจัยที่มีความสำคัญในระดับมากที่สุด
ด้านผลิตภัณฑ์	3.85	รสชาติของไอศกรีม
ด้านบรรจุภัณฑ์	3.79	เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
ด้านราคา	4.40	ความเหมาะสมของราคากับคุณภาพไอศกรีม
ด้านสถานที่และช่องทางการจำหน่าย	4.22	หาซื้อผลิตภัณฑ์ได้ง่ายและสะดวก
ด้านการส่งเสริมการขาย	4.06	การจัดโปรโมชั่นในช่วงเทศกาลต่างๆ

5.4 ผลการวางแผนกลยุทธ์

การวางแผนทิศทางและขอบเขตในระยะยาวขององค์กรบนรากฐานของการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมทั้งภายในและภายนอกขององค์กร รวมถึงการประเมินสภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรม การวิเคราะห์พฤติกรรมผู้บริโภค ทำให้สามารถวางแผนกลยุทธ์ขององค์กรเป็น 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แผนกลยุทธ์ขององค์กร

ระดับของกลยุทธ์	แผนกลยุทธ์
แผนกลยุทธ์ระดับองค์กร (Corporate Strategic Planning)	กลยุทธ์การเจาะตลาด (Market penetration strategy) โดยมุ่งเน้นกลุ่มตลาดผู้หญิงวัยรุ่นที่รักสุขภาพ และเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของกลุ่มลูกค้า องค์กรจะต้อง 1) ใช้โอกาสในการใกล้ชิดกับกลุ่มลูกค้าเพื่อให้เข้าถึงความต้องการของลูกค้าได้มากกว่าคู่แข่ง 2) ใช้การผลิตที่ทันสมัยเพื่อเพิ่มยอดการผลิตได้ตามความต้องการ 3) พัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ และ 4) พัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อสร้างเอกลักษณ์ของแบรนด์

ตารางที่ 4 แผนกลยุทธ์ขององค์กร (ต่อ)

ระดับของกลยุทธ์	แผนกลยุทธ์
แผนกลยุทธ์ระดับธุรกิจ (Business Strategic Planning)	1) กลยุทธ์การตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว โดยการเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ให้มีความหลากหลายรูปแบบไม่ว่าจะเป็น ผู้ค้าปลีก ผู้ค้าส่ง ร้านสะดวกซื้อ ร้านค้าสหกรณ์ ร้านค้าอิสระ และสถาบันการศึกษาต่าง ๆ เป็นต้น รวมถึงการเพิ่มช่องทางการขายออนไลน์ผ่าน platform ออนไลน์ต่างๆ 2) กลยุทธ์การมุ่งเน้นลูกค้าเฉพาะกลุ่ม (Focus Strategy) โดยการมุ่งตอบสนองลูกค้าเฉพาะกลุ่มพื้นที่ในจำนวนจำกัด โดยอาจจะเป็นเฉพาะภูมิภาค ซึ่งจะสามารถตอบสนองลูกค้าในกลุ่มได้ดีกว่าผู้อื่น
แผนกลยุทธ์ระดับสายงาน (Functional Strategic Planning)	1) กลยุทธ์การตลาด (Marketing strategic planning) โดยการนำเสนอรูปแบบผลิตภัณฑ์หลายระดับ หลายรสชาติ เพื่อเป็นตัวเลือกของผู้บริโภค และกำหนดราคาให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละระดับ, เพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายทั้งออฟไลน์และออนไลน์, จัดโปรโมชั่นในช่วงเทศกาลต่างๆ และมีการสะสมแต้มเพื่อสนับสนุนให้เกิดการซื้อซ้ำ 2) กลยุทธ์การผลิต (Production strategic planning) มีการพยากรณ์ยอดขายในช่วงต่างๆ การวางแผนการผลิต กำลังการผลิต และระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสม รวมถึงมีการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ และคุณภาพผลิตภัณฑ์ และเตรียมการเพื่อขอการรับรองมาตรฐานคุณภาพต่างๆ 3) แผนกลยุทธ์การเงิน (Financial strategic planning) ตรวจสอบราคาวัตถุดิบ และทำโครงสร้างต้นทุน และวิเคราะห์ต้นทุน เพื่อหาแนวทางในการลดต้นทุน 4) กลยุทธ์ด้านทรัพยากรมนุษย์ (Human resource strategic planning) ทำการเพิ่มพนักงานโดยเน้นการจ้างแรงงานในท้องถิ่น เพื่อให้สามารถเดินทางมาทำงานได้สะดวก และมีการกำหนดหน้าที่รับผิดชอบให้ชัดเจน

5.5 บ้านแห่งคุณภาพและแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์

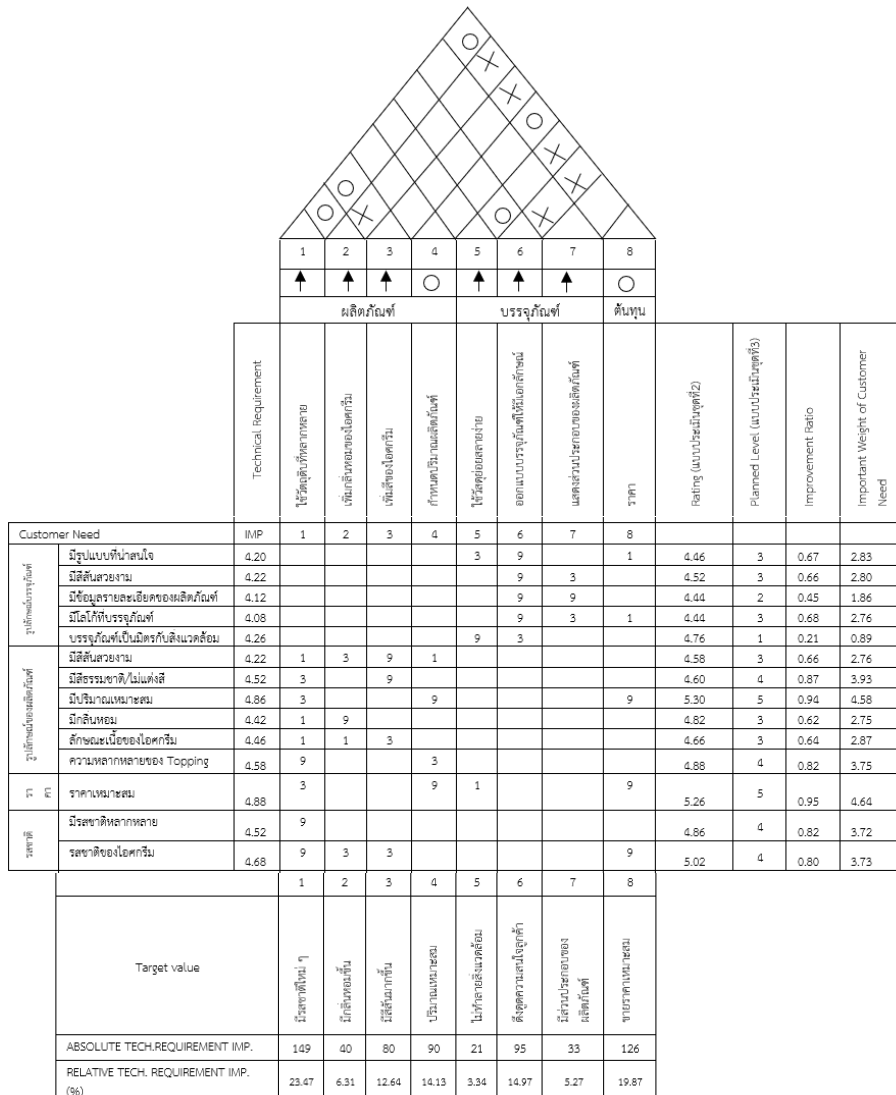
ผลการวิเคราะห์แบบประเมินจะได้ 1) ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยที่มีผลต่อความพึงพอใจในคุณลักษณะผลิตภัณฑ์, 2) ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจในคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ และ 3) ค่าระดับเป้าหมายขององค์กรที่จะพัฒนาระดับความพึงพอใจในคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ และจะนำข้อมูลทั้ง 3 ชุดนี้มาใช้ในการสร้างบ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยจะเป็นการระบุข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement) และค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 5

จากการแปลงความต้องการของลูกค้าให้อยู่ในรูปแบบของข้อกำหนดทางเทคนิคในบ้านแห่งคุณภาพดังแสดงในรูปที่ 1 นั้น ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังนี้ 1) ใช้วัตถุดิบที่หลากหลายเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรสชาติที่หลากหลาย และแปลกใหม่กว่าคู่แข่ง 2) พัฒนาผลิตภัณฑ์หลายระดับ และกำหนดราคาให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละระดับ 3) พัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและ

สร้างการตลาดเฉพาะกลุ่ม และ 4) พัฒนาระบบบรรจุภัณฑ์ที่มีเอกลักษณ์และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างเอกลักษณ์ของแบรนด์

ตารางที่ 5 ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิค

ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirement)	ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ
1 ใช้วัตถุดิบที่หลากหลาย	23.47
2 ราคา	19.87
3 บรรจุภัณฑ์มีเอกลักษณ์	14.97
4 กำหนดปริมาณผลิตภัณฑ์	14.13
5 เพิ่มสีของไอศกรีม	12.64
6 เพิ่มกลิ่นหอมของไอศกรีม	6.31
7 บรรจุภัณฑ์แสดงส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์	5.27
8 บรรจุภัณฑ์ใช้วัสดุย่อยสลายง่าย	3.34



รูปที่ 1 บ้านแห่งคุณภาพ

จากการแปลงความต้องการของลูกค้าให้อยู่ในรูปแบบของข้อกำหนดทางเทคนิคในบ้านแห่งคุณภาพดังแสดงในรูปที่ 1 นั้น ผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ดังนี้ 1) ใช้วัตถุดิบที่หลากหลายเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรสชาติที่หลากหลาย และแปลกใหม่กว่าคู่แข่ง 2) พัฒนาผลิตภัณฑ์หลายระดับ และกำหนดราคาให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละระดับ 3) พัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและสร้างการตลาดเฉพาะกลุ่ม และ 4) พัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่มีเอกลักษณ์และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างเอกลักษณ์ของแบรนด์

6. สรุปผล

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการตลาด และศึกษาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ รวมถึงนำเสนอกลยุทธ์ที่เหมาะสมในธุรกิจไอศกรีมขนาดย่อม โดยใช้หลักการของการจัดการงานวิศวกรรมในการดำเนินงานวิจัย ผลการวิเคราะห์สภาพแวดล้อมภายในและภายนอกองค์กร สภาพการแข่งขันในอุตสาหกรรม และส่วนผสมทางการตลาด พบว่าการกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดเพื่อช่วยในการดำเนินงาน แบ่งเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 1) กลยุทธ์ระดับองค์กร ใช้กลยุทธ์การเจาะตลาดโดยมุ่งเน้นตลาดเฉพาะส่วน เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าเฉพาะกลุ่ม และการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยการออกแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ใหม่ 2) กลยุทธ์ระดับธุรกิจ ใช้กลยุทธ์การตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว โดยการเพิ่มช่องทางการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ 3) กลยุทธ์ระดับสายงาน ใช้กลยุทธ์ด้านการวางแผนและควบคุมการผลิต เพื่อเพิ่มผลผลิตภาพ และนำไปให้มีการพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิต จัดทำโครงสร้างต้นทุน และเสนอให้มีการจ้างแรงงานท้องถิ่นเพิ่มเติม

สำหรับแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ พบว่าองค์กรควรใช้วัตถุดิบที่หลากหลายมากขึ้นเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้มีรสชาติที่หลากหลายและแปลกใหม่กว่าคู่แข่ง พัฒนาผลิตภัณฑ์หลายระดับและกำหนดราคาให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละระดับ พัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพและสร้างการตลาดเฉพาะกลุ่ม และพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่มีเอกลักษณ์และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมเพื่อสร้างเอกลักษณ์ของแบรนด์

7. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1) ในสภาพปัจจุบันนั้นธุรกิจไอศกรีมมีการแข่งขันกันสูงขึ้น และความต้องการของลูกค้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ดังนั้นการประยุกต์ใช้เทคนิคบ้านแห่งคุณภาพจำเป็นต้องปรับปรุงและพัฒนาอยู่เสมอ เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าที่เปลี่ยนแปลงไป

2) วิธีการในการดำเนินงานวิจัย สามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ในการสนับสนุนวัสดุ อุปกรณ์ และครุภัณฑ์ในการวิจัย และขอขอบคุณ

เจ้าของกิจการกรณีศึกษาในการให้ข้อมูลการดำเนินธุรกิจ ให้สินค้าตัวอย่างเพื่อใช้ในการเก็บข้อมูล และการอำนวยความสะดวกในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์วิจัยเพื่ออุตสาหกรรมอาหาร. 2560. ตลาดผลิตไอศกรีมประเทศไทย. ข้อมูลจาก <http://ffc.nfi.or.th/MarketOverviewDomesticDetail.php?> (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 กันยายน 2562)
- [2] ชลทิพย์ รัตนะ, เกวริน สังข์เมือง. 2562. หลักการตลาด (Principle of Marketing). ข้อมูลจาก <https://sites.google.com/site/bunrienonline2/khwam-hmay-khxng-tlad-market-laea-kar-tlad-markting>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 11 ตุลาคม 2562)
- [3] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยศิลปากร. 2560. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการเรียนเกี่ยวกับอะไร. ข้อมูลจาก http://ieml.eng.su.ac.th/?page_id=146 (วันที่สืบค้นข้อมูล 21 ตุลาคม 2562)
- [4] Siamsurvey. 2562. ทำความรู้จักแบบสอบถาม. ข้อมูลจาก https://www.siamsurvey.com/th/web_page/questionnaire (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 ตุลาคม 2562)
- [5] อมรรรัตน์ และคณะ. 2562. การสัมภาษณ์เชิงลึก (In-depth Interview). ข้อมูลจาก <https://home.kku.ac.th/sompong/cm2/indepth.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 ตุลาคม 2562)
- [6] วิจิตรา ประเสริฐธรรม. 2548. การวิจัยการตลาด Marketing Research. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โครงการศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.
- [7] สมเกียรติ เอี่ยมกาญจนาลัย. 2561. การตลาดเชิงกลยุทธ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ด้านสหวิชาการพิมพ์ จำกัด.
- [8] ณัฐดนัย เสาร์แดง และคณะ. 2560. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ กรณีศึกษาผลิตภัณฑ์สบู่นมแพะสูตรเมล็ดกาแฟ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [9] กัลยา วานิชย์บัญชา. 2542. การวิเคราะห์สถิติ: สถิติเพื่อการตัดสินใจ. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [10] วุฒม์ ประไพพัทธ์. 2557. ปัจจัยพฤติกรรมผู้บริโภคและปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดบริการที่ส่งผลต่อกระบวนการตัดสินใจซื้อสินค้าประเภทเครื่องครัวในเขตอำเภอเมือง จังหวัดระยอง. การค้นคว้าอิสระ. หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

การปรับสมดุลสายการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ Rebalancing the Electronic Parts Production Line

อารีรัตน์ มีแอด สุदारัตน์ คงคาสัย พุทธิพร เล็กขาว ภัทรา ภูโปร่งค์
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: pattra.poo@rmutr.ac.th*

Arreerat Mehad, Sudarat Kongkasai, Puttiporn Legkhaw, Pattra Pooprang
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin
E-mail: pattra.poo@rmutr.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตโมเดล Handset (HH) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตจากการศึกษาพบว่าปริมาณการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งมีสาเหตุมาจากความไม่สมดุลของสายการผลิตที่มีสถานีงานที่เป็นคอขวดและมีวิธีการปฏิบัติงานในบางขั้นตอนที่ไม่เหมาะสม จึงส่งผลให้สูญเสียเวลาในกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาด้วยการนำหลักการจัดสมดุลสายการผลิต (Line balancing) และ ECRS มาใช้ในการแก้ไขปัญหา โดยจะใช้หลักการรวมขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Combine) และการจัดลำดับงานใหม่ (Rearrange) รวมไปถึงการออกแบบอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงานใหม่ (Simplify) เพื่อช่วยลดเวลาการทำงานในกระบวนการยึดสกรู จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต ค่าความแปรปรวน และค่าความเท่าเทียมในการกระจายงานของแต่ละขั้นตอนการทำงาน ผลการดำเนินงานวิจัย พบว่าสามารถลดขั้นตอนของสถานีงานย่อยได้ ซึ่งก่อนการปรับปรุง มีจำนวนสถานีย่อยของกระบวนการ Assembly 1 Handset ทั้งหมด 3 สถานีงานย่อย หลังจากการปรับปรุงเหลือสถานีงานย่อยเพียง 1 สถานีงาน และสามารถลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตลงได้จำนวน 2 คน ค่าความแปรปรวนของภาระงานลดลงจาก 14.25 เหลือ 2.40 ค่าความเท่าเทียมในการกระจายงานลดลงจาก 12.85 เหลือ 4.95 และค่าประสิทธิภาพของสายการผลิตเพิ่มขึ้น 40.51%

คำสำคัญ: การจัดสมดุลสายการผลิต เทคนิคอีซีอาร์เอส ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

Abstract

This research aims to balance the production line of the handset (HH) manufacturing process to increase the production line's efficiency. The study found that the production quantity did not meet the set target due to the imbalance of the production line, which had bottleneck workstations and some inappropriate work procedures. This resulted in a time loss in the production process. This research proposed a solution to the problem by using the principles of line balancing and ECRS to address the issue. The approach included combining and rearranging work steps and designing new fixtures to simplify the process of holding workpieces to reduce the time required for screwing in the production process. The performance of the production process, variability, and equality of distribution of work for each step of the process was then compared before and after the improvement. The results of the research found that the number of sub-workstations in the Assembly 1 Handset process was reduced from 3 to 1 after the improvement. The number of workers in the production process was reduced by 2. The variance of duty was decreased from 14.25 to 2.40, and the equivalence of distribution of duty was reduced from 12.85 to 4.95 The efficiency of the production line increased by 40.51%.

Keywords: Line balancing, ECRS technique, Electronic parts

1. บทนำ

กรณีศึกษา บริษัทตัวอย่างเป็นผู้ผลิต และจัดจำหน่ายอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีการทำงานร่วมกับบริษัทอื่นๆ ทั้งในประเทศและต่างประเทศ ซึ่งจำเป็นจะต้องมีการพัฒนาการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ตอบสนองและสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า โดยพยายามปรับปรุงกิจกรรมที่ไม่สร้างคุณค่าในกระบวนการผลิต ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ เพื่อให้ได้เปรียบทางด้านศักยภาพการผลิตสามารถแข่งขันกับสินค้าของคู่แข่งได้ ในปัจจุบันพบว่ากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ Handset (HH) ยังคงพบปัญหาการผลิตงานไม่ทันตามความต้องการของทางบริษัท พบว่ายังมีความสูญเสียเปล่าเกิดขึ้นในกระบวนการ โดยมีสถานีงานที่เป็นจุดคอขวด จำนวน 2 สถานี คือ สถานีที่ 1 (Assembly 1 Handset) กับ สถานีที่ 4 (final test Handset) ทำให้ชิ้นงานเกิดการไหลอย่างไม่ต่อเนื่อง ส่งผลให้ประสิทธิภาพสายการผลิตลดลง รวมไปถึงวิธีการปฏิบัติงานที่ยังไม่เหมาะสม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ดังกล่าว เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสายการผลิต โดยใช้หลักการของการจัดสมดุลของกระบวนการผลิต (Line Balancing) ร่วมกับเทคนิค ECRS



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์ Handset (HH)

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยการปรับสมดุลสายการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการผลิตผลิตภัณฑ์ Handset (HH) ได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 การศึกษาเวลา (Time Study)

การหาเวลาที่เป็นมาตรฐานในการทำงานใช้ในการวัดผลงานเป็นเวลาที่ทำงานได้ โดยที่ผลของการศึกษาเวลา คือ การได้เวลามาตรฐาน (Standard Time) หมายถึง ค่าเวลาของงานโดยพนักงานซึ่งได้รับการฝึกฝนงานนั้นมาเป็นอย่างดี ทำงานนั้นภายใต้เงื่อนไขการทำงานปกติด้วยอัตราความเร็วมาตรฐาน ในการศึกษารังนี้จะใช้การศึกษาเวลาทางตรง (Direct Time Study) ซึ่งหมายถึง การหาค่าเวลาที่จำเป็นต่อการปฏิบัติงานโดยการเก็บข้อมูลเวลาที่ใช้ในการทำงานจริง ใช้การจับเวลาพนักงานที่มีการเลือกไว้แล้ว มาทำการจับโดยนาฬิกาจับเวลา ทั้งนี้ต้องคำนวณจำนวนครั้งในการจับเวลา แล้วจึงนำมาหาเวลาทำงานปกติ (Normal Time) และเวลามาตรฐานต่อไป [1,3] สามารถคำนวณหาเวลาของการทำงานมาตรฐานได้ ดังนี้

$$\text{Std.Time} = \text{NT} (1 + A) \quad (1)$$

โดยที่ Std.Time (Standard Time) = เวลามาตรฐาน

NT (Normal Time) = เวลาปกติ

A (Allowance Time) = %ค่าเผื่อต่างๆ

2.2 หลักการจัดสมดุลสายการผลิต

การจัดสมดุลสายงานการผลิต (Production Line Balancing) หมายถึง การพยายามที่จะจัดให้สถานีงานต่างๆ มีอัตราการทำงานหรือเวลาที่ใช้ในการผลิตแต่ละชิ้นนั้นเท่าๆ กัน หากว่าเวลาที่ใช้ในการผลิตไม่เท่ากันแล้วนั้น อัตราการผลิตสินค้าจะถูกกำหนดโดยเวลาการทำงานของสถานีงานที่มีการใช้เวลามากที่สุดนั่นก็คือ ลักษณะงานคอขวด (Bottleneck) ซึ่งเวลาที่ใช้ในสถานีงานที่เป็นตัวกำหนดอัตราการผลิตของสินค้าจะเรียกว่า รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ซึ่งหมายถึง เวลาระหว่างที่สินค้าดำเนินการเสร็จออกมาแต่ละชิ้น ซึ่งจะเท่ากับเวลาของสถานีงานที่ช้าที่สุด ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเกิดการรอคอยขึ้นในสถานีงานที่ใช้เวลาในการผลิตน้อยกว่า ก่อให้เกิดความสูญเสียอัตราการผลิตหรือการว่างงานเกิดขึ้น หรืออาจจะมีของค้างอยู่ปริมาณมาก โดยปกติแล้วการจัดสมดุลสายงานการผลิตจะต้องเริ่มด้วยการกำหนดรอบเวลาการผลิต ลำดับขั้นตอนงานต่างๆ รวมไปถึงเวลามาตรฐานของการทำงานแต่ละชิ้นของงานนั้น ต่อจากนั้นพยายามรวมขั้นตอนงานเข้าด้วยกันให้เป็นสถานีงาน โดยพยายามให้เกิดเวลาว่างทั้งหมดน้อยที่สุด พยายามทำให้เวลาสถานีงานนั้นเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด สามารถผลิตได้ตามเป้าหมายตามรอบเวลา ในกรณีที่มีจำนวนของสถานีงานมากหรือน้อยไปอาจจัดใหม่โดยให้มีรอบเวลาในการผลิตมากขึ้นหรือน้อยลง

รอบเวลาการทำงาน (Cycle Time) หมายถึง เวลาที่จะมีผลผลิตออกมาจากสายการผลิต 1 ชิ้น

$$\text{รอบเวลาการทำงาน} = \frac{\text{เวลาในการทำงานต่อวัน}}{\text{ผลผลิตที่ต้องการต่อวัน}} \quad (2)$$

หมายความว่า จะต้องทำการจัดสมดุลสายการผลิต หรือจัดสถานีงาน โดยให้เวลารวมของงานย่อยที่จะจัดสถานีงานมีค่าไม่เกินรอบเวลา

รอบจังหวะการผลิตสินค้าต่อชิ้น (Takt Time) คือ รอบจังหวะการผลิตสินค้าต่อชิ้น เพื่อให้ได้จำนวนของผลิตภัณฑ์ตามเป้าหมายตามที่ได้ทำการวางแผนไว้

$$\text{รอบจังหวะการผลิต} = \frac{\text{เวลาในการทำงาน}}{\text{เป้าหมายการผลิต}} \quad (3)$$

2.3 การลดความสูญเสียเปล่าด้วยหลักการ ECRS

หลักการ ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วย การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย

(Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่ายๆที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเสียเปล่าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram: CE)

แผนผังแสดงเหตุและผลหรือผังก้างปลา เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจจะก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause)

2.5 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพของสมดุสสายการผลิต

2.5.1 ประสิทธิภาพสายการผลิต ((Efficiency of line)

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n T_i \times 100}{n \times C} \quad (4)$$

โดยที่ E คือ ประสิทธิภาพสายการผลิต

C คือ รอบเวลาการทำงาน

n คือ จำนวนสถานีงาน

T_i คือ เวลาทำงานของแต่ละสถานี i

2.5.2 ดัชนีความเท่าเทียมกันในการกระจายงาน (S_X)

$$S_X = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C_t - T_i)^2} \quad (5)$$

โดยที่ S_X คือ ดัชนีความเท่าเทียมในการกระจายงาน

C_t คือ รอบเวลาการทำงาน

T_i คือ เวลาทำงานของแต่ละสถานี i

2.5.3 ความแปรปรวนของภาระงาน

$$wv = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \frac{w}{n})^2}{n} \quad (6)$$

โดยที่ wv คือ ความแปรปรวนของภาระงาน

w คือ เวลารวมที่ใช้ในการผลิต

n คือ จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด (เป็นจำนวนเต็ม)

T_i คือ เวลาทำงานของแต่ละสถานี i

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

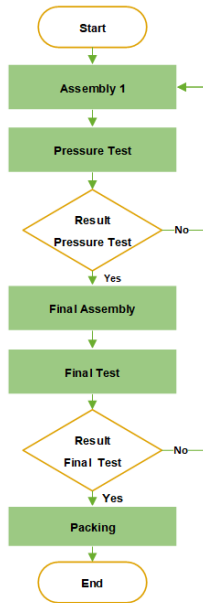
ในการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ศึกษางานวิจัยด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต โดยการประยุกต์ใช้หลักการ ECRS และการจัดสมดุลสายการผลิต อาทิเช่น [4] การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต กรณีศึกษา สายการผลิตขดลวดแม่เหล็ก โดยการประยุกต์ใช้หลักการการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา การปรับสมดุลสายการผลิตและการลดความสูญเสียเปล่าด้วย ECRS ทำการศึกษากระบวนการผลิต ทำการรวมขั้นตอนการปฏิบัติงาน การออกแบบ

อุปกรณ์ช่วยในการปฏิบัติงาน พร้อมทั้งจัดทำเวลามาตรฐาน เพื่อปรับความสมดุลของสายการผลิต [3] การจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการประกอบโครงอลูมิเนียม การวิเคราะห์สาเหตุด้วยผังก้างปลา และนำแนวคิดจากหลักการ ECRS เพื่อช่วยลดเวลาสูญเสียเปล่าในการทำงาน ออกแบบอุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสมและออกแบบรถเข็นช่วยลำเลียงและคัดแยกประเภทโครงอลูมิเนียม ช่วยให้การทำงานในกระบวนการคอบขดลวดลง [5] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดสมดุลสายการผลิตของกระบวนการบรรจุชิ้นงานในสายการผลิตกล่องเครื่องประดับ ปัญหาเบื้องต้น พบว่าอุปกรณ์สำหรับใช้บรรจุชิ้นงานไม่เหมาะสม พนักงานทำงานตามความเคยชินและขาดทักษะในการปรับปรุงงาน ทำให้บริษัทผลิตชิ้นงานไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า การลดความสูญเสียเปล่าด้วยหลักการ ECRS ถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงสายการผลิต และเพื่อช่วยขจัดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำงาน โดยการรวมขั้นตอนการทำงานในสถานีงาน การสร้างอุปกรณ์ช่วยในการขนส่งชิ้นงานและจัดพนักงานให้มีความเหมาะสมกับสถานีงาน จากการดำเนินการลดเวลากระบวนการ สามารถลดจำนวนสถานีงาน และลดจำนวนพนักงานลงได้ ทั้งนี้ในการวัดผลงานวิจัยดังกล่าว ได้มีการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงจากค่าประสิทธิภาพสายการผลิต ค่าความแปรปรวนของภาระงาน และค่าความเท่าเทียมในการกระจายงานของแต่ละขั้นตอนการทำงาน เป็นต้น

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาขั้นตอนการประกอบ Handset (HH) และเวลามาตรฐาน

ขั้นตอนการปฏิบัติงานในกระบวนการผลิต Model Handset (HH) ซึ่งจะเริ่มด้วย Assembly 1 จะเป็นขั้นตอนแรกของการประกอบซึ่งจะตรวจสอบความถูกต้องของแผ่น PCBA ,Test battery และยึดสกรู ขั้นตอนถัดมาคือ Pressure test จะเป็นการทดสอบความดันอากาศที่อาจจะเกิดในตัวของชิ้นงาน เมื่อ test ผ่าน จึงจะนำชิ้นงานไปขั้นตอน Final assembly เพื่อทำการยึดสกรู 4 จุด และหลังจากประกอบชิ้นงานเสร็จ ชิ้นงานจะเข้าสู่ขั้นตอน Final test เพื่อทำการ Test ปุ่มกด และโปรแกรมจากนั้นเข้าสู่ Packing เป็นขั้นตอนสุดท้าย ดังรูปที่ 2



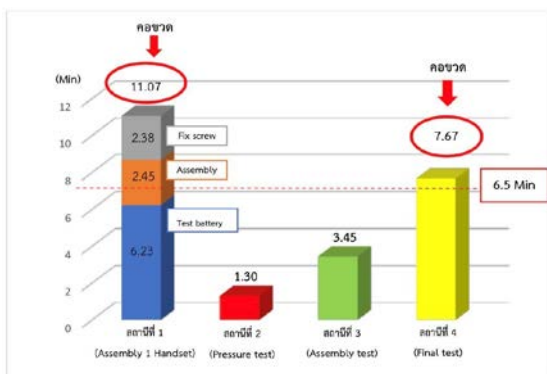
รูปที่ 2 แผนภูมิการไหล (Flowchart) ของกระบวนการประกอบผลิตภัณฑ์ Handset (HH)

ตารางที่ 1 เวลามาตรฐานในการประกอบ Handset (HH) (ก่อนปรับปรุง)

สถานี	ขั้นตอน	เวลามาตรฐาน (นาที)
1	Assembly 1 handset (Assembly, Test Battery, Fix screw)	11.07
2	Pressure test	1.30
3	Final assembly	3.45
4	Final test	7.67
รวม		23.49

3.2 การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุ

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลด้านเวลาการผลิตในขั้นตอนการปฏิบัติงานในกระบวนการปัจจุบัน ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิรอบเวลาของกระบวนการผลิตโมเดล Handset (ก่อนปรับปรุง)

จากผลการผลการศึกษารอบจังหวะเวลาในการผลิต ซึ่งในหนึ่งวันจะใช้เวลาในการผลิตทั้งหมด 390 นาที จำนวนชิ้นงานที่ลูกค้าต้องการ

ต่อวันคือ 60 ชิ้น ดังนั้น จะได้รอบเวลาในการผลิตชิ้นงานหนึ่งชิ้นเท่ากับ 6.5 นาที และสำหรับประสิทธิภาพสายการผลิต โดยผลรวมเวลาการประกอบชิ้นงานในปัจจุบันมีค่าเท่ากับ 23.49 นาที ที่รอบเวลาในการทำงานสูงสุด 11.07 นาที จากจำนวนสถานีทั้งหมด 4 สถานี จะได้ว่า ประสิทธิภาพสายการผลิต ณ ปัจจุบันเท่ากับ 53.05 % ซึ่งสามารถผลิตชิ้นงานได้เท่ากับ 35 ชิ้น/วัน

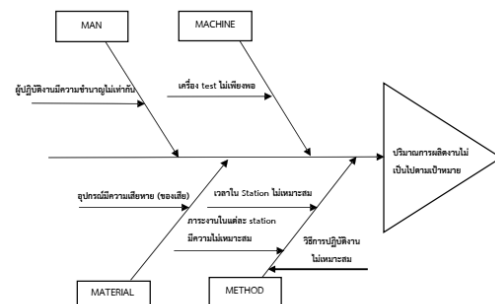
ตารางที่ 2 ความแปรปรวนของภาระงาน (ก่อนปรับปรุง)

สถานี	เวลาทำงาน(นาที) T_i	$(T_i - \frac{W}{n})^2$	ความแปรปรวนของภาระงาน WV
1	11.07	27.04	14.25
2	1.30	20.88	
3	3.45	5.86	
4	7.67	3.23	
รวม	23.49	57.01	

ตารางที่ 3 ความเท่าเทียมกันในการกระจายงาน (ก่อนปรับปรุง)

สถานี	เวลาทำงาน(นาที) T_i	$(C_t - T_i)^2$	ความเท่าเทียมกันในการกระจายงาน S_X
1	11.07	0.00	12.85
2	1.30	95.45	
3	3.45	58.06	
4	7.67	11.56	
รวม	23.49	165.07	

จากการศึกษาข้อมูลพบปัญหาปริมาณการผลิตไม่เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ เนื่องจากปริมาณการผลิตได้น้อยกว่าแผนที่ทำไว้จึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล เพื่อค้นหาความสัมพันธ์ของเหตุและผลของปัญหาพื้นฐานที่เกิดขึ้น รวมถึงปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานในกระบวนการประกอบ พบว่าสาเหตุหลักคือ เวลาในแต่ละสถานีไม่เหมาะสม, ภาระงานในแต่ละสถานีมีความไม่เหมาะสม และวิธีการปฏิบัติงานไม่เหมาะสม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอทำการปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานโดยใช้หลักการจัดสมดุลสายการผลิต, ECRS และทำการออกแบบจัดทำ Jig & fixture

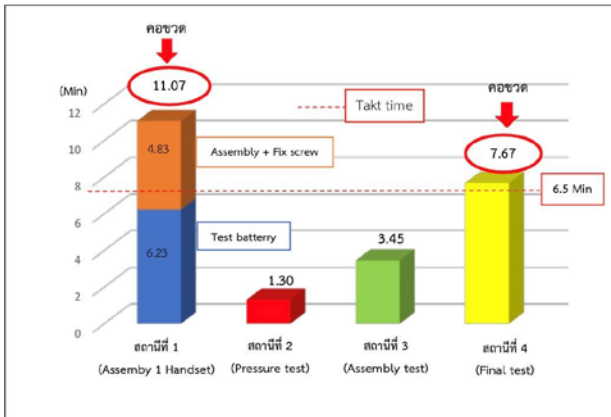


รูปที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาปริมาณการผลิตงานไม่เป็นไปตามเป้าหมายด้วยแผนผังแสดงเหตุและผล

3.3 การปรับปรุงกระบวนการโดยใช้หลัก ECRS

การปรับสมดุลของกระบวนการผลิตโมเดล Handset (HH) ผู้วิจัยได้ใช้หลัก ECRS แบ่งขั้นตอนการปรับปรุงออกเป็น 4 ระยะ ดังนี้

3.3.1 ระยะที่ 1 การรวมกันของสถานีงานย่อย (Assembly + Fix screw)

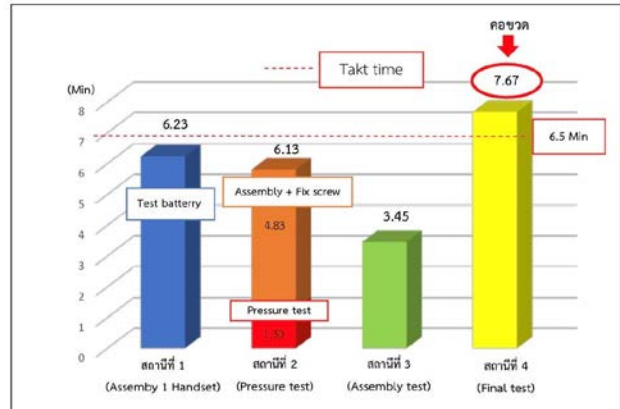


รูปที่ 5 การรวมขั้นตอนการปฏิบัติงานเข้าด้วยกันของสถานีงานที่ 1 (Assembly 1 Handset)

ผู้วิจัยเห็นว่าสถานีงานย่อยที่ 2 (Assembly) สามารถปฏิบัติงานในขั้นตอนยึดสกรูต่อไปได้เนื่องจากเป็นสถานีที่ทำงานต่อกันและขั้นตอนในการยึดสกรูใช้ทักษะน้อย ไม่ซับซ้อน จึงทำการรวมกันของสถานีงาน โดยนำหลักการ ECRS ใช้ C (Combine) มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงแก้ไขปัญหา รวมการปฏิบัติงานเข้าด้วยกัน ส่งผลให้จำนวนสถานีงานย่อยในการปฏิบัติงานของกระบวนการนี้ลดลงจากเดิมที่มีสถานีงานย่อย 3 สถานี เป็น 2 สถานีงานย่อย และยังสามารถลดจำนวนของผู้ปฏิบัติงานลงได้ 1 คน

3.3.2 ระยะที่ 2 การจัดขั้นตอนกระบวนการทำงาน (Assembly + Fix screw + Pressure test)

ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการใหม่อีกครั้ง โดยเล็งเห็นว่าผู้ปฏิบัติงานในสถานีที่ 2 (Pressure test) มีการปฏิบัติงานที่ไม่ซับซ้อนและใช้เวลาในการปฏิบัติงานต่อชิ้นงานหนึ่งชิ้น จึงทำการแบ่งภาระงานจากสถานีที่ 1 คือส่วนของขั้นตอน Assembly + Fix screw มาให้กับสถานีที่ 2 (Pressure test) เพราะเป็นการทำงานที่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่องและไม่เกินรอบเวลาที่กำหนด ส่งผลให้สามารถลดคอขวดในสถานีที่ 1 ได้ โดยจะใช้หลักการ R (Rearrange) ซึ่งเป็นการจัดลำดับงานและกระจายภาระงาน ดังรูปที่ 6

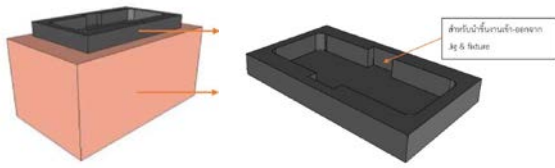


รูปที่ 6 การแบ่งภาระงานในสถานีที่ 1 (งาน Assembly + Fix screw) มาให้กับสถานีที่ 2 (Pressure test)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ทำการจัดกระบวนการใหม่เสร็จสิ้นแล้ว พบว่าสามารถลดเวลาในสถานีที่ 1 ได้ โดยก่อนการปรับปรุงกระบวนการจะเป็นจุดคอขวดที่มีเวลาการผลิต 11.07 นาที ซึ่งหลังจากการปรับปรุงกระบวนการ สามารถลดเวลาในการปฏิบัติงานเป็น 6.23 นาที คิดเป็น 43.67% และน้อยกว่าค่ารอบเวลาที่กำหนดไว้คือ 6.5 นาที นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่าในกระบวนการสถานีงานย่อย Assembly + Fix screw ซึ่งในขั้นตอนการยึดสกรูมีเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานนานเกินความเวลาดังนั้นผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ปัญหา และพบว่าขั้นตอนการปฏิบัติงานมีความไม่เหมาะสมในการใช้เครื่องมือเพื่อยึดสกรู ทำให้ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงกระบวนการอีกครั้งใน ระยะที่ 3 (Fix screw + Jig & Fixture)

3.3.3 ระยะที่ 3 การปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงานให้ง่ายขึ้นโดยการใช้ Jig & fixture (Fix screw + Jig & fixture)

จากปัญหาที่เหลืออยู่ในกระบวนการระยะที่ 2 (Assembly + Fix screw) ในขั้นตอนการ Fix screw ซึ่งในขั้นตอนนี้มีการทำงานที่ยากลำบากในการจับยึดชิ้นงาน เพราะในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานทำการจับชิ้นงานเพื่อยึดสกรู ชิ้นงานจะมีการเคลื่อนที่ไป-มาบนโต๊ะปฏิบัติงาน ทำให้ชิ้นงานเกิดรอยขีดข่วน และส่งผลให้เวลาในการปฏิบัติงานนี้มากเกินความจำเป็น ผู้วิจัยจึงได้ใช้หลัก ECRS มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงแก้ไขปัญห โดยใช้ S (Simplify) คือการเสนอและออกแบบจัดทำ Jig & fixture เพื่อจับยึดชิ้นงานทำให้การทำงานง่ายขึ้น แล้วจึงทำการรวมกันของสถานีงานอีกครั้ง ทั้งนี้ในส่วนของผู้ปรกณ์ที่ได้จัดทำขึ้นนั้นได้นำเศษวัสดุที่เหลือใช้ (โฟมอัดแข็ง) จากในโรงงานมาดัดแปลง โดยมีผลการดำเนินงาน ดังนี้



รูปที่ 7 แบบอุปกรณ์สำหรับจับยึดชิ้นงาน

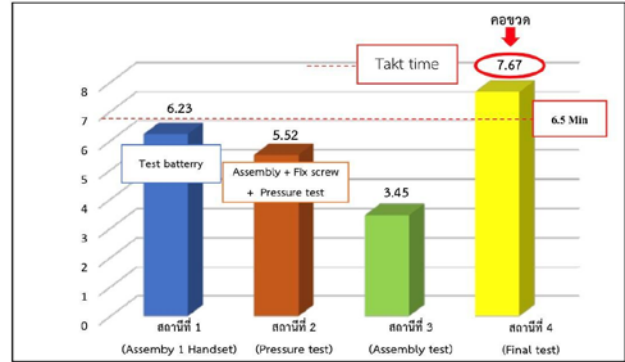
อุปกรณ์เสริมที่ใช้จับยึดชิ้นงาน ทำให้ชิ้นงานที่ใส่ลงไปนั้นไม่สามารถเคลื่อนที่ไป-มาได้ ซึ่งยังช่วยลดการเกิดรอยขีดข่วนได้อีกทางหนึ่ง ทั้งนี้ในการออกแบบจึงต้องคำนึงถึงสัดส่วนต่างๆ เช่น ขนาดรูปร่าง ที่ต้องมีขนาดที่พอดีกับตัวชิ้นงาน ไม่เล็กหรือใหญ่จนเกินไป เพื่อรองรับการปฏิบัติงานในขั้นตอนการยึดสกรู ซึ่งในแต่ละจุดที่ออกแบบมานั้น สำหรับช่องที่เกินออกมาเพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานมีการหยิบชิ้นงานเข้าและออกจาก Jig & fixture สะดวกมากขึ้น สำหรับขอบและมุมทำออกมาอย่างพอดี เพื่อยึดจับชิ้นงานไม่ให้เคลื่อนที่ไป-มา ทำให้การยึดสกรูง่ายขึ้น ส่งผลต่อเวลาการปฏิบัติงานที่ลดลง แสดงดังตาราง

ตารางที่ 4 เวลามาตรฐานของผลการทดลองใช้งานอุปกรณ์สำหรับจับยึดชิ้นงานในขั้นตอนการยึดสกรู

กิจกรรม	เวลาก่อนใช้ Jig fixture (นาที)	เวลาหลังใช้ Jig fixture (นาที)	เวลาการใช้งาน (%)
การยึดสกรู	4.83	4.22	12.75

3.3.4 ระยะที่ 4 การรวมขั้นตอนการปฏิบัติงานเข้าด้วยกันของกระบวนการย่อย (Assembly + Fix Screw) และกระบวนการย่อย (Pressure test) ในสถานีที่ 2 (Pressure test)

การรวมกันของทั้ง 2 กระบวนการ โดยให้ผู้ปฏิบัติงานที่ทำในขั้นตอนของ (Assembly + Fix screw) ของสถานีที่ 1 มาปฏิบัติงานแทนในสถานีที่ 2 (Pressure test) เพราะในสถานีที่ 2 (Pressure test) มีวิธีในการปฏิบัติงานที่ใช้ทักษะในการทำงานน้อย ไม่ซับซ้อน โดยขั้นตอนการปฏิบัติงานจะเป็นการปฏิบัติงานตามหน้าจอของเครื่องจักร จึงสามารถฝึกผู้ปฏิบัติงานได้ง่ายกว่าที่จะให้ผู้ปฏิบัติงานประจำสถานีที่ 2 มาฝึกทักษะการปฏิบัติงานในขั้นตอน (Assembly + Fix screw) ของสถานีที่ 1 ผลจากการรวมกันของสถานีที่ 2 แสดงดังรูปที่ 8 การรวมกันของงานอีกครั้งโดยให้สถานีที่ 2 ประกอบด้วย Assembly + Fix screw และ Pressure test จะมีเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานลดลง จากเดิมที่ใช้เวลาในการปฏิบัติงาน 6.13 นาที หลังการรวม พบว่าเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานลดลงเหลือเพียง 5.52 นาที และสามารถลดจำนวนของผู้ปฏิบัติงานในกระบวนการ Pressure test ได้ 1 คน



รูปที่ 8 การรวมกันของงานในสถานีที่ 2 (Pressure test)

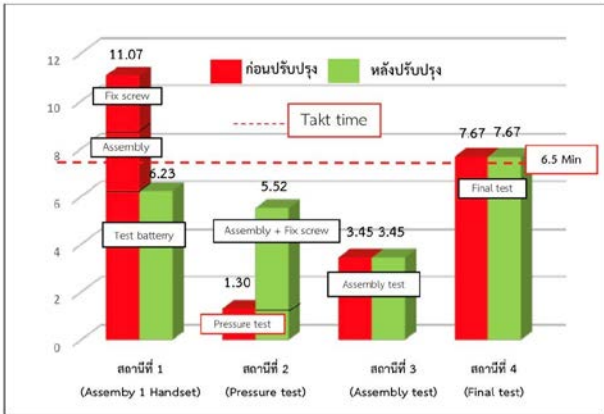
ทั้งนี้ในส่วนของสถานีงานที่ 4 (Final test) ซึ่งยังมีเวลาสูงกว่ารอบเวลาที่กำหนด (Takt time) สำหรับในงานวิจัยนี้ยังไม่สามารถดำเนินการปรับปรุงได้ เนื่องจากเครื่อง Test ที่ใช้ในกระบวนการทดสอบชิ้นงานมีราคาค่อนข้างสูง และด้วยลักษณะของรูปแบบการผลิตตามคำสั่งซื้อ จำเป็นต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะเพิ่มเครื่องจักรใหม่ เพราะเป็นการลงทุนที่ค่อนข้างเสี่ยงสำหรับทางบริษัท จึงต้องมีกระบวนการวิเคราะห์ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และนำเสนอกับทางบริษัทเพื่อขออนุมัติเพิ่มเครื่องจักรต่อไป

4. ผลการดำเนินงาน

หลังทำการปรับปรุงกระบวนการ ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บข้อมูลขั้นตอนการทำงานและเวลาในการผลิต (หลังการปรับปรุง) ได้ดังนี้

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบขั้นตอนและเวลาการปฏิบัติงานในสายการผลิต (ก่อน - หลังการปรับปรุงกระบวนการ)

สถานี	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	STD.Time ก่อนปรับปรุง (นาที)	สถานี	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	STD.Time หลังปรับปรุง (นาที)
1	Assembly handset - Test Battery - Assembly - Fix screw	11.07	1	Assembly handset - Test Battery	6.23
2	Pressure test	1.30	2	-Assembly -Fix Screw -Pressure test	5.52
3	Final assembly	3.45	3	Final assembly	3.45
4	Final test	7.67	4	Final test	7.67
รวม		23.49	รวม		22.87



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบขั้นตอนและเวลาการปฏิบัติงานในสายการผลิต (ก่อน - หลังการปรับปรุงกระบวนการ)

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของภาระงานและความเท่าเทียมกันในการกระจายงาน หลังการปรับปรุงกระบวนการ แสดงข้อมูลดังตารางที่ 6 และตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ความแปรปรวนของภาระงาน (หลังปรับปรุง)

สถานี	เวลาทำงาน(นาที) T_i	$(T_i - \frac{W}{n})^2$	ความแปรปรวนของภาระงาน wv
1	6.23	0.26	2.40
2	5.52	0.04	
3	3.45	5.14	
4	7.67	3.81	
รวม	22.87	9.61	

ตารางที่ 7 ความเท่าเทียมกันในการกระจายงาน (หลังปรับปรุง)

สถานี	เวลาทำงาน(นาที) T_i	$(C_t - T_i)^2$	ความเท่าเทียมกันในการกระจายงาน S_x
1	6.23	2.07	4.95
2	5.52	4.62	
3	3.45	17.80	
4	7.67	0.00	
รวม	22.87	24.49	

5. สรุป

จากการดำเนินการปรับสมดุลสายการผลิตของกระบวนการผลิตโมเดล Handset (HH) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิต สามารถแสดงข้อมูลได้ ดังตาราง

ตารางที่ 8 สรุปการเปรียบเทียบข้อมูล ก่อน-หลังการปรับปรุง

ตัวชี้วัด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลการปรับปรุง
จำนวนคนงาน (คน)	6	4	ลดลง 2
ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	53.05	74.54	เพิ่มขึ้น 40.51
จำนวนชิ้นงาน (ชิ้นต่อวัน)	35	51	เพิ่มขึ้น 16
ความแปรปรวนของภาระงาน	14.25	2.40	ลดลง 11.85
ความเท่าเทียมกันในการกระจายงาน	12.85	4.95	ลดลง 7.90

จากตารางข้อมูลเปรียบเทียบ พบว่า ผลการปรับปรุงกระบวนการทำงาน สามารถลดจำนวนผู้ปฏิบัติงานลงได้จาก 6 คน เหลือเพียง 4 คน ประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น 40.51% ทำให้สามารถผลิตงานได้จำนวน 51 ชิ้นต่อวัน เพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม 16 ชิ้นต่อวัน ความแปรปรวนของภาระงานลดลงเหลือ 2.40 และความเท่าเทียมกันในการกระจายงานลดลงเหลือ 4.95 แสดงให้เห็นได้ว่ากระบวนการผลิตมีความสมดุลกันมากขึ้น

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

เนื่องจากผลการปรับปรุงประสิทธิภาพยังไม่เป็นไปตามเป้าหมายของทางบริษัทที่กำหนดอัตราผลผลิตไว้อยู่ที่ 60 ชิ้น/วัน จึงควรพิจารณาการเพิ่มเครื่องทดสอบในสถานีที่ 4 (Final test) และวิเคราะห์ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท กรณีศึกษา และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] วันชัย จิรวิณิช. การศึกษาการทำงาน หลักการและกรณีศึกษา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2551.
- [2] รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. การศึกษางานในอุตสาหกรรม Industrial Work Study. ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์ Top Publishing. 2562.
- [3] วรินทร์ เกียรติบุญกุล. 2561. การจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการประกอบโครงอลูมิเนียม กรณีศึกษา: บริษัทตัวอย่าง.วารสารช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย (Thai Industrial Engineering Network Journal). ปีที่ 4 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2561; 49-58.
- [4] ธนิดา สุตารักษ์. 2555. การปรับปรุงประสิทธิภาพสายการผลิต กรณีศึกษา: สายการผลิตขดลวดแม่เหล็ก (Stator) รุ่น D Frame. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและโลหิตวิทยา. คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.
- [5] วรินทร์ เกียรติบุญกุล, พิพัฒน์พงศ์ เทพมณี และสุจี ภัทรพุทธ. 2563. การจัดสมดุลสายการผลิตกระบวนการบรรจุชิ้นงานของสายการผลิตกล่องเครื่องประดับ. งานประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ครั้งที่ 38 ประจำปี 2563 (IE Network 2020). 7-8 พฤษภาคม 2563.
- [6] ยุทธณรงค์ จงจันทร์, เมธี พรหมศิลา, เชกสรร สิงห์ธนู และภิม พรประเสริฐ. 2560. การปรับปรุงกระบวนการประกอบชุดจับยึดที่หนึ่งของรถยนต์โดยใช้หลักการสมดุลสายการผลิต.วารสารช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรมไทย. ปีที่ 3 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2560; 37-46.

ระบบผลิตน้ำแข็งพลังงานชีวมวล Biomass Ice-Production System

บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว* กานต์ นัครวรายุทธ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
E-mail: boonrit.p@en.rmutt.ac.th*

Boonrit Prasartkaew*, Karn Nakaravarayut
Department of Mechanical engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Thanyaburi
E-mail: boonrit.p@en.rmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

น้ำแข็งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ส่งผลให้ความต้องการใช้น้ำแข็งเพื่อการพาณิชย์เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตน้ำแข็งในเชิงพาณิชย์เป็นกระบวนการที่ต้องการพลังงานเพื่อเปลี่ยนสถานะน้ำจากของเหลวให้กลายเป็นน้ำแข็งในปริมาณมากอีกทั้งยังต้องการอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ พลังงานชีวมวลซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากการนำวัสดุชีวมวลมาผ่านกระบวนการแปรรูปไปเป็นพลังงานจึงส่งผลให้สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยต้นทุนที่ต่ำเพราะมีราคาค่อนข้างถูกเพราะมาจากเศษหรือกากของเหลือจากการทำการเกษตรจึงมีหลากหลายไม่จำกัดและไม่หมดไปเหมือนพลังงานฟอสซิล ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปริมาณความต้องการใช้น้ำแข็งในเชิงพาณิชย์ในการผลิตแก๊สชีวมวลเพื่อใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในต่อการผลิตน้ำแข็งในเชิงพาณิชย์ โดยใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำแข็งที่ต้องการผลิตกับปริมาณเชื้อเพลิงชีวมวลที่ใช้สร้างก๊าซชีวมวลเพื่อป้อนพลังงานให้กับระบบทำผลิตน้ำแข็ง พบว่าในหนึ่งรอบการผลิตน้ำแข็งของ 900 กิโลกรัมต่อ 24 ชั่วโมงต้องใช้ชีวมวลที่เป็นไม้ยูคาลิปตัสตัดสับประมาณ 39 - 47 กิโลกรัมและต้องใช้ชีวมวลเพิ่มขึ้น 6.59 กิโลกรัมเมื่อผลิตน้ำแข็งเพิ่มขึ้น 150 กิโลกรัม และเมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นผลิตสูงขึ้น 5 องศาเซลเซียสต้องใช้เชื้อเพลิงชีวมวลเพิ่มขึ้นอีก 1.978 กิโลกรัม ซึ่งเมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำแข็ง 1 กิโลกรัมแล้ว การผลิตด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งจะมีค่าใช้จ่าย 0.108 บาทต่อกิโลกรัมและจะเพิ่มขึ้น 0.027 บาทต่อกิโลกรัมเมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียสในขณะที่การใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายไฟฟ้าหลักมีค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมอยู่ที่ 0.1189 บาท ซึ่งสูงกว่าการผลิตน้ำแข็งด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่ประมาณ 10% และเมื่อเทียบกับการผลิตน้ำแข็งโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมอยู่ที่ 0.3568 บาทต่อกิโลกรัมส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำแข็งด้วยชีวมวลถูกที่สุด

คำสำคัญ: แก๊สสังเคราะห์ กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน น้ำแข็งซอง

Abstract

Ice is a product that can be used in a variety of applications that has led to a steady increase in demand for commercial ice. However, commercial ice production processes require energy to transform water from liquid to ice in large quantities and also needs to be continuous and consistent. Biomass energy is an energy obtained from organic materials that comes from living organisms through the process of processing biomass into energy. That makes it possible to generate electricity at a low cost because it comes from waste or agriculture waste there is no limit to it and not depleted like fossil fuels. Therefore, the researchers were interested in studying the demand for biomass raw materials in the production of biomass gas for the production of electricity by internal combustion engines for commercial ice production. The model was used to study the relationship of the demand of ice to be produced with the biomass fuel used to generate biomass gas to feed the ice production system. After the experiment, it was found that in one cycle the production of 900 kg of ice product per 24 hours that is a demand for 39 - 47 kilograms of eucalyptus wood chips biomass and it requires an increase of 6.59 kilograms of biomass when ice is produced by 150 kilograms. And when the water temperature entering the production process rises by 5 Celsius degrees that make the system requires an additional 1.978 kilograms of solid biomass fuel. Production with solid biomass fuel will cost 0.108 baht per kilogram and will increase by 0.027 baht per kilogram when the water temperature entering temperature increases by 5 degrees Celsius. Meanwhile, electricity consumption from the main grids system costs 0.1189 baht per kilogram that is about 10% higher than the production of ice with biomass fuel. And compared to ice production using electricity from diesel oil, the cost per kilogram is 0.3568 baht per kilogram. As a result, the cost of producing ice using biomass is the lowest.

Keywords: Syngas, Gasification, Molded-Ice

1. บทนำ

น้ำแข็งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ ทั้งใช้เพื่อลดอุณหภูมิของสิ่งต่างๆ เพื่อการถนอมอาหาร ยืดอายุของสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ หรือใช้ประกอบอาหารและเครื่องดื่มต่างๆ ตลอดจนใช้ในการรักษาทางการแพทย์ ส่งผลให้มีความต้องการใช้น้ำแข็งเพื่อการพาณิชย์เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารและกิจการด้านขนสงซึ่งการเพิ่มขึ้นของความ ต้องการนี้จะเห็นเด่นชัดในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศแบบร้อนหรือร้อนชื้นและเพิ่มสูงขึ้นหากพื้นที่ดังกล่าวมีประชากรอยู่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตน้ำแข็งในเชิงพาณิชย์เป็นกระบวนการที่พึ่งพาพลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานหลักและต้องการเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังต้องการอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอจึงส่งผลให้ส่งผลกระทบต่อ การผลิตน้ำแข็งในเชิงพาณิชย์ในพื้นที่ที่มีความมั่นคงของพลังงานไฟฟ้าน้อยหรือพื้นที่ที่ไม่เชื่อมต่อกับโครงข่ายพลังงานไฟฟ้าหลักของประเทศก็ยากที่จะดำเนินงานได้ ซึ่งปัญหาดังกล่าวในหลายพื้นที่ที่เลือกที่จะแก้ปัญหาด้วยการใช้พลังงานทดแทนเช่น พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลม เข้ามาใช้เป็นแหล่งผลิตพลังงานเพื่อใช้ผลิตน้ำแข็งในเชิงพาณิชย์แต่ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์หรือลมเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน มีปัญหาเรื่องความผันผวนของพลังงานและมีช่วงเวลาที่ไม่สามารถผลิต พลังงานได้ค่อนข้างมากซึ่งส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการผลิต น้ำแข็งที่ต้องยาวนานขึ้นหรือจำเป็นต้องหยุดระบบการผลิตชั่วคราวเมื่อ พลังงานไฟฟ้าที่ได้ขาดหายไป แม้ปัญหาดังกล่าวจะสามารถแก้ไขได้ ด้วยการติดตั้งระบบสำรองพลังงานเพื่อจ่ายพลังงานชดเชยให้กับระบบ ผลิตในช่วงที่เกิดความผันผวนของพลังงานหรือพลังงานหายไปจากการ เปลี่ยนแปลงฤดูกาลแต่ด้วยราคาของอุปกรณ์สำรองพลังงานจะมีราคา สูงและมีอายุการใช้งานเฉลี่ยประมาณ 2-5 ปีส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการ สร้างและดูแลรักษาระบบโดยรวมเพิ่มสูงขึ้นและจะยิ่งเพิ่มขึ้นตามขนาด ที่เพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำแข็งที่ต้องการผลิต เมื่อพิจารณาการใช้ พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในรูปแบบอื่นแล้วจะพบว่า พลังงานชีวมวลซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากการนำวัสดุชีวมวลหรือ สารอินทรีย์มาผ่านกระบวนการแปรรูปชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบ ต่างทั้งในรูปแบบการหมัก (Fermentation) การเผา (Combustion) การ ผลิตแก๊ส (Gasification) หรือ การผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากพืช (Liquidification) เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีความน่าสนใจเพราะสามารถนำ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร ขยะอินทรีย์ มูลสัตว์ ตลอดจนพืช เชื้อเพลิงมาผ่านกระบวนการแปรรูป เช่น หรือกรรมวิธีอื่นจนได้เป็น ความร้อนหรือแก๊สเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลายรูปแบบ [1,2] โดยเฉพาะกระบวนการผลิตแก๊สที่อาศัยหลักการการเผาไหม้เชื้อเพลิง ประเภทชีวมวลในที่จำกัดปริมาณอากาศ ทำให้เกิดการเผาไหม้แบบไม่ สมบูรณ์ (Incomplete Combustion) หรือที่เรียกว่า Gasification เพื่อ เปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้กลายเป็น แก๊สเชื้อเพลิงแล้วนำแก๊สที่ผลิตได้ ไปกับเครื่องยนต์สันดาปภายในโดยตรงเพื่อผลิตไฟฟ้าแทนการใช้ เชื้อเพลิงจากฟอสซิล จึงส่งผลให้สามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าได้ด้วย ต้นทุนที่ต่ำเพราะเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากชีวมวลจะมีราคาค่อนข้างถูก

เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้เป็นชีวมวลมาจากเศษหรือกากของเหลือจากการ ทำการเกษตรจึงสามารถใช้วัตถุดิบที่หลากหลายไม่จำกัดและไม่หมดไป เหมือนพลังงานฟอสซิล ส่งผลให้ระบบ Gasification ขนาดเล็กจะช่วย ลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและยังช่วยลดปริมาณขยะและขยะ ชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการทำเกษตรของชุมชน [3] ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่า ให้กับของเหลือใช้ทางการเกษตรและเพิ่มรายได้ให้กับเกษตรกรทั้งยังเป็น การช่วยพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากจึงเป็นระบบที่เหมาะสมกับการ นำมาใช้ผลิตน้ำแข็งในเชิงพาณิชย์สำหรับประเทศที่ทำการเกษตรเป็น หลัก อย่างไรก็ตามการนำพลังงานชีวมวลมาใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อผลิต น้ำแข็งในเชิงพาณิชย์ก็มีข้อควรระวังที่ต้องให้ความสนใจคือวัตถุดิบที่ นำมาผลิตชีวมวลจากพืชผลทางการเกษตรบางชนิดมีอายุการเก็บ รักษาสั้นและส่วนใหญ่จะมีวงจรการผลิตตามฤดูกาลจึงอาจมีปริมาณ ไม่สม่ำเสมอในช่วง เมื่อผนวกกับวัตถุดิบที่นำมาเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล เพื่อการผลิตพลังงานจำเป็นต้องใช้พื้นที่ปริมาณมากในกักเก็บ จึง ต้องมีกระบวนการด้านการบริหารจัดการวัตถุดิบและดูแลกระบวนการ ผลิตที่ดีเพื่อให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่จะนำไปผลิตพลังงานมีเพียงพอต่อการ ใช้งานตลอดทั้งปี [4] ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาปริมาณ ความต้องการใช้น้ำชีวมวลในการผลิตแก๊สชีวมวลเพื่อใช้ผลิต พลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องยนต์สันดาปภายในต่อการผลิตน้ำแข็งของใน เชิงพาณิชย์ว่ามีปริมาณความต้องการใช้น้ำชีวมวลต่อการผลิตมากน้อย เพียงใด และหากปริมาณน้ำแข็งที่ต้องการผลิตมากขึ้นแล้วปริมาณ ความต้องการใช้น้ำชีวมวลจะเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบใด เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีวมวลของผู้ที่มี ความสนใจจะนำพลังงานชีวมวลไปใช้ในการประกอบธุรกิจการผลิต น้ำแข็งของในเชิงพาณิชย์ในพื้นที่ที่มีความมั่นคงของพลังงานไฟฟ้าน้อย หรือพื้นที่ที่ไม่เชื่อมต่อกับโครงข่ายพลังงานไฟฟ้าหลักของประเทศ ซึ่ง จะช่วยให้ชีวิตความเป็นอยู่ของคนในชุมชนที่พึ่งอาศัยในบริเวณ ดังกล่าวมีความสะดวกสบายมากขึ้นซึ่งจะส่งผลให้คุณภาพชีวิตของคน กลุ่มดังกล่าวดีขึ้นอีกด้วย

2. พลังงานในการผลิตน้ำแข็งในเชิงพาณิชย์

น้ำแข็งที่ผลิตเพื่อการพาณิชย์ในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ใหญ่ๆคือ การผลิตน้ำแข็งหลอดที่ผลิตเพื่อใช้ในการบริโภคโดยตรงและ การผลิตน้ำแข็งที่เป็นก้อนขนาดใหญ่ที่เรียกกันว่า น้ำแข็งของ ซึ่งเป็น น้ำแข็งที่ต้องนำมาย่อยให้มีขนาดเล็กลงเพื่อใช้ทั้งรูปแบบที่นำไปบริโภค โดยตรงหรือนำไปใช้ลดอุณหภูมิของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ส่งผล ให้น้ำแข็งของเป็นน้ำแข็งที่มีความต้องการในเชิงพาณิชย์มากกว่าแบบ หลอด ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำแข็งจะเริ่มจากการเติมน้ำเข้าสู่แม่พิมพ์ น้ำแข็งหรือที่เรียกกันโดยผู้ผลิตน้ำแข็งว่าของ จากนั้นจึงนำแม่พิมพ์ ดังกล่าวไปแช่ในบ่อน้ำเกลือซึ่งมีสถานะเป็นของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำ ประมาณ -7 ถึง -12 องศาเซลเซียส ซึ่งจะใช้เวลาแล้วรอนกว่าน้ำใน แม่พิมพ์เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 48 ชั่วโมง เพื่อทำให้น้ำ 150 กิโลกรัมที่บรรจุในแม่พิมพ์ขนาด ความกว้าง 10 นิ้ว ความหนา 20 นิ้ว และสูง 50-60 นิ้ว โดยประมาณแข็งเป็นก้อนทั่วทั้ง

ก่อน ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการทำความเย็นเพื่อผลิตน้ำแข็งเป็นกระบวนการที่มีความต้องการใช้พลังงานเพื่อลดอุณหภูมิ (ดึงความร้อนออก) ในปริมาณ 170-300 เมกะจูล (MJ) ต่อตันผลผลิต 1 ตัน [5,6] หรือคิดเป็น 47.26 – 83.40 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อ 1 รอบการผลิต ดังนั้นหากใน 1 เดือนผลิตน้ำแข็ง 15 รอบการผลิตก็ระบบจะใช้พลังงาน 709-1251 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อเดือน ซึ่งเป็นภาระทางไฟฟ้าที่สูงมากทั้งยังจำเป็นต้องใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกระบวนการแข็งตัว (Solidification) ของน้ำแข็งในแม่พิมพ์ไม่เพิ่มสูงขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนกับสภาพแวดล้อมอีกด้วย

3. กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน (Gasification)

แก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการแปรรูปชีวมวลหรือสารอินทรีย์ ซึ่งมีธาตุคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ (Carbonaceous Materials) โดยอาศัยปฏิกิริยาการเผาไหม้ของชีวมวล หรือสารอินทรีย์ในปฏิกิริยาโดยการให้ความร้อนระดับหนึ่งแต่ไม่ถึงระดับการเผา และจำกัดปริมาณออกซิเจนหรืออากาศเพียง 1 ใน 3 ของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการเผาไหม้แบบปกติ โดยความร้อนระดับนี้จะทำให้โมเลกุลเกิดการแตกตัวแล้วเปลี่ยนรูปพลังงานเคมีภายในของคาร์บอนในชีวมวลไปเป็นแก๊สที่เผาไหม้ได้ที่มีองค์ประกอบที่สำคัญคือ แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H₂) และมีเทน (CH₄) โดยเรียกแก๊สเชื้อเพลิงที่ผลิตได้นี้ว่าแก๊สเชื้อเพลิงสังเคราะห์ (Synthetic Gas (syngas) หรือ Producer Gas) หรือ แก๊สชีวภาพ (biogas) ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าการนำชีวมวลไปใช้เผาไหม้โดยตรงทั้งยังสามารถควบคุมมลภาวะจากการเผาไหม้ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ง่ายและสามารถนำแก๊สชีววมวลไปใช้งานได้หลากหลายกว่าการใช้เชื้อเพลิงแข็งในการเผาไหม้โดยตรงเช่นนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์แก๊สและกังหันแก๊ส (Gas Turbine) เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าหรือใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับหัวเผาชนิดต่าง ๆ หรือนำไปเข้ากระบวนการต่อไปเพื่อผลิตไฮโดรเจน การผลิตก๊าซธรรมชาติ สารเคมี เชื้อเพลิงสำหรับการขนส่ง อย่างเช่น เอทานอล [1,2] ซึ่งการผลิตแก๊สเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะอาศัย เตาแก๊สซิฟิเคชัน (gasification reactor) โดยในกระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงนั้น สามารถแบ่งตามลักษณะการสัมผัสกันระหว่างเชื้อเพลิงแข็งและก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้ภายในเตาออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ เตาแก๊สซิฟิเคชันชนิดเบดคงที่ (Fixed Bed Gasifier) เตาแก๊สซิฟิเคชันชนิดฟลูอิดไรซ์เบด (Fluidized Bed Gasifier) และเตาแก๊สซิฟิเคชันชนิดเอนทรAINED เบด (Entrained Bed Gasifier) โดยเตาแต่ละชนิดจะมีลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงและขนาดของเชื้อเพลิงที่ต่างกัน รวมถึงอุณหภูมิภายในเตาและองค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้แตกต่างกัน [7] ซึ่งเตาแก๊สซิฟิเคชันชนิดเบดคงที่เป็นเตาที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ผลิตพลังงานให้กับบ้านเรือนและกิจการขนาดเล็กมากที่สุดเนื่องจากมีระบบการทำงานที่ได้รับการพัฒนามาอย่างยาวนานและไม่ยุ่งยากซับซ้อนขึ้นส่วนประกอบระบบน้อย และซ่อมบำรุงง่ายรวมทั้งยังสามารถรองรับชีวมวลที่หลากหลายจึงสามารถนำไปปรับใช้ได้หลากหลายสถานที่ ซึ่งระบบฟิสิกส์เบดสามารถแบ่งออกตามทิศ

ทางการไหลของอากาศได้หลายรูปแบบ แต่ที่มีการนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ ระบบเตาแก๊สซิฟายเออร์แบบไหลขึ้น (updraft gasifier) ที่เหมาะสำหรับการนำก๊าซเชื้อเพลิงไปใช้เพื่อผลิตพลังงานแบบให้ความร้อนโดยตรง (direct heat) เช่น นำไปใช้กับหม้อไอน้ำ การอบแห้งผลิตภัณฑ์ แต่เนื่องจากคุณภาพก๊าซมีสิ่งเจือปนสูงจึงไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับเครื่องยนต์หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [8] และระบบเตาแก๊สซิฟายเออร์แบบไหลลง (downdraft gasifier) ซึ่งเป็นระบบผลิตก๊าซชีววมวลที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในหรือการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์ เพราะมีการปนเปื้อนของทาร์ต่ำ ก๊าซที่ได้จึงมีความสะอาดสามารถนำก๊าซชีววมวลที่ได้ไปใช้กับระบบที่ละเอียดอ่อนต่อคุณภาพของก๊าซแม้จะมีข้อจำกัดคือขนาดเตาที่ไม่ควรเกิน 1 MW แต่สำหรับระบบผลิตน้ำแข็งเชิงพาณิชย์ขนาดเล็กแล้วข้อจำกัดดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อ [9]

4. การดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการใช้แบบจำลองเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำแข็งที่ต้องการผลิตกับปริมาณความต้องการใช้งานเชื้อเพลิงชีววมวลที่ใช้สร้างก๊าซชีววมวลเพื่อผลิตไฟฟ้าป้อนให้กับระบบทำความเย็นแทนการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล เพื่อปริมาณของปริมาณชีววมวลที่ต้องใช้เพื่อในการสร้างก๊าซชีววมวลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงป้อนให้กับเครื่องยนต์สันดาปภายในนำไปสร้างพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็นซึ่งจะนำไปใช้ลดอุณหภูมิของน้ำเพื่อผลิตน้ำแข็งเชิงพาณิชย์เชื้อเพลิงชีววมวลที่เปลี่ยนแปลงเมื่อปริมาณน้ำแข็งที่ต้องการผลิตเพิ่มสูงขึ้นแล้ว เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการบริหารจัดการเชื้อเพลิงชีววมวลของผู้ที่มีความสนใจจะนำพลังงานชีววมวลไปใช้ในการประกอบธุรกิจการผลิตน้ำแข็งของในเชิงพาณิชย์ โดยกำหนดให้ระบบผลิตน้ำแข็งเป็นแบบแบบของซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาจากจากการเปลี่ยนสภาพชีววมวลแข็งให้กลายเป็นก๊าซชีววมวลโดยใช้เศษไม้ยูคาลิปตัสที่เป็นไม้โตเร็วสามารถแตกหน่อได้ดีโดยไม่ต้องปลูกใหม่ ตัดฟันเพื่อใช้ประโยชน์ได้ตั้งแต่อายุ 3 – 5 ปี โดยเฉลี่ย และสามารถปลูกได้ในทุกพื้นที่ของประเทศไทยจึงเป็นชีววมวลที่มีแนวโน้มที่จะสามารถจัดหาได้ง่ายและพอเพียงต่อความต้องการใช้งานในทุกพื้นที่ อีกทั้งเศษไม้ยูคาลิปตัสยังเป็นชีววมวลที่เป็นเชื้อเพลิงซึ่งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานจากเชื้อเพลิงแข็งเป็นก๊าซชีววมวลโดยรวมที่ 10% [10] และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และการเงินมากกว่าโรงไฟฟ้าชีววมวลที่ใช้ถลอบและแห้งมันสำปะหลังเป็นเชื้อเพลิง [11] ป้อนเข้าสู่เตาแก๊สซิฟิเคชันชนิดเบดคงที่แบบไหลลงโดยใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยาในเตาซึ่งจะส่งผลให้ก๊าซชีววมวลที่เตาผลิตได้มีค่าความร้อนเท่ากับ 3.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม เมื่อกำหนดให้เศษไม้มีความชื้นสะสมในเนื้อไม้ที่ 30% [12] จากนั้นจึงส่งแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากการแปลงชีววมวลแข็งเป็นก๊าซชีววมวลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์สันดาปภายในจุดระเบิดด้วยประกายไฟในรูปของเชื้อเพลิงเดี่ยว (Producer gas alone mode) แบบติดตั้งกับที่ (Stationary engine) ซึ่งมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์ในการแปลงพลังงานความร้อนของแก๊สเชื้อเพลิงให้เป็น

พลังงานทางกลที่ 35 % โดยเฉลี่ยแล้วจึงส่งพลังงานที่ผลิตได้ไปให้กับระบบผลิตน้ำแข็งกำหนดให้ระบบผลิตน้ำแข็งที่มีประสิทธิภาพในการสร้างความเย็นให้ป้อนน้ำเกลือที่ใช้แช่แม่พิมพ์ที่ 80 % และมีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนระหว่างน้ำเกลือกับน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็งผ่านแม่พิมพ์ที่ 95% โดยมีเป้าหมายเพื่อดึงความร้อนออกจากน้ำในแม่พิมพ์เพื่อเปลี่ยนน้ำที่อุณหภูมิปกติให้กลายเป็นน้ำที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสได้จากสมการ

$$Q = ms [\Delta T] \quad (1)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อนที่ดึงออกจากสาร (แคลอรี) m คือ มวลของสาร (กรัม) S คือ ความจุความร้อนของสาร (Cal/°C) และ ΔT คือความแตกต่างของอุณหภูมิที่ไหลเข้าแม่พิมพ์และน้ำหลังถูกถ่ายเทความร้อนแล้ว โดยกระบวนการดึงความร้อนแฝงในน้ำออกเพื่อเปลี่ยนน้ำที่มีอุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสให้กลายเป็นน้ำแข็งต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอีก 334.92 กิโลจูลต่อกิโลกรัมที่ความดัน 1 บรรยากาศ ส่งผลให้ปริมาณความร้อนที่ดึงออกจากสารในการผลิตน้ำแข็ง 1 กิโลกรัมเปลี่ยนไปเป็น

$$Q = (m(4.2s)[\Delta T]) + (334.92 \times 10^3) \quad (2)$$

โดยสมการที่ได้จะแสดงถึงปริมาณพลังงาน (จูล) ที่ต้องใช้เพื่อดึงความร้อนออกจากน้ำที่บรรจุในแม่พิมพ์ปริมาณ 150 กิโลกรัมต่อแม่พิมพ์โดยกำหนดให้การผลิตน้ำแข็งแต่ละครั้งจะต้องผลิต 6 ถึง 12 ก้อนซึ่งจะทำให้ปริมาณน้ำแข็งที่ระบบผลิตได้เป็น 800 ถึง 1800 กิโลกรัมต่อ 24 ชั่วโมงทำงาน ซึ่งปริมาณความร้อนที่หาได้จากสมการที่ (2) จะนำมาใช้กำหนดขนาดของระบบเครื่องทำความเย็นเพื่อการผลิตน้ำแข็งที่ใช้ระบบใช้สารทำความเย็น 134A ทำงานด้วยระบบอัดไอที่คอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพ 60% ค่าอุณหภูมิไอร้อนยวดยิ่ง (Superheat) 5 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิของเหลวเย็นยิ่ง (Subcooling) 0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแตกต่างที่เครื่องระเหย (Evaporator T) -5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิแตกต่างที่คอนเดนเซอร์ (Condensation) ที่ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งเงื่อนไขที่กำหนดนี้จะนำไปใช้ใช้หาค่าการทำงานของระบบทำความเย็นโดยใช้ p-h diagram 134A ให้ทราบปริมาณความเย็นที่ระบบผลิตได้ ค่าความร้อนที่เกิดจากการอัดตัวของคอมเพรสเซอร์ ค่าความเย็นถ่ายเททิ้ง ซึ่งจะนำไปใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดขนาดของคอมเพรสเซอร์ (P) ต่อเครื่อง 1 กิโลวัตต์ เพื่อนำไปใช้กำหนดขนาดของเครื่องยนต์ต้นกำลังและขนาดของเตาแก๊สซีพีเคชั่นรวมถึงอัตราการใช้ชีวมวลในการเดินเครื่องยนต์ต้นกำลังโดยการหาอัตราการป้อนเชื้อเพลิงด้วยสมการ

$$M_f = \frac{Q}{LHV_{bm} \eta} \quad (3)$$

เมื่อ M_f คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง (Kg/hr) Q คือ พลังงานที่ต้องการมีหน่วยเป็นเมกะวัตต์ (MW) LHV_{bm} คือ ค่าความร้อนของชีวมวลมีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม (KJ/kg) และ η คือประสิทธิภาพของระบบก๊าซซีพีเคชั่น ซึ่งอัตราการป้อนเชื้อเพลิงจะนำไปใช้เป็นตัวแปรหนึ่งในการหาขนาดของเตาแก๊สซีฟายเออร์หรือพลังงานที่ผลิตได้จากเตาแก๊สซีฟายเออร์โดยใช้สมการ

$$Q = \frac{M_f \eta LHV_f}{3600} \quad (4)$$

เมื่อ Q คือ ขนาดของเตาแก๊สซีฟายเออร์ M_f คือ อัตราการป้อนเชื้อเพลิงมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อชั่วโมง (kg/hr) เมื่อ η คือประสิทธิภาพของเตาแก๊สซีฟายเออร์ ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.6-0.75 [11]

5. ผลการทดลอง

สมการคณิตศาสตร์เพื่อจำลองหาปริมาณพลังงานที่ต้องการเพื่อเปลี่ยนน้ำที่อุณหภูมิต่างๆให้กลายเป็นน้ำแข็งโดยกำหนดให้อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นแตกต่างกันโดยเริ่มตั้งแต่ 20 ถึง 40 องศาเซลเซียสโดยมีความแตกต่างของอุณหภูมิในการจำลองที่ 5 องศาเซลเซียสเพื่อทำให้น้ำขนาด 900 ถึง 1800 กิโลกรัมกลายเป็นน้ำแข็งที่อุณหภูมิเริ่มต้นที่ 20 ถึง 40 องศาเซลเซียสแล้วพบว่า

ตารางที่ 1 พลังงานที่ใช้เปลี่ยนน้ำเป็นน้ำแข็ง (กิโลจูล)

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (Celsius)	ปริมาณของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง (กิโลกรัม)						
	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800
20	375,840	438,480	501,120	563,760	626,400	689,040	751,680
25	394,650	460,425	526,200	591,975	657,750	723,525	789,300
30	413,460	482,370	551,280	620,190	689,100	758,010	826,920
35	432,270	504,315	576,360	648,405	720,450	792,495	864,540
40	451,080	526,260	601,440	676,620	751,800	826,980	902,160

ซึ่งเมื่อนำค่าพลังงานที่ได้ไปคิดย้อนกลับโดยใช้ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ประกอบระบบเป็นเงื่อนไขโดยกำหนดให้พลังงานที่ใช้เปลี่ยนน้ำจากอุณหภูมิเริ่มต้นไปเป็นน้ำแข็งบวกด้วยพลังงานที่สูญเสียไปจากการทำงานของอุปกรณ์โดยสูญเสียจากการถ่ายเทความร้อนจากอ่างน้ำเกลือผ่านแม่พิมพ์ 5% และสูญเสียจากการทำงานของเครื่องทำความเย็น 20% ส่งผลให้พลังงานที่ใช้เปลี่ยนน้ำเป็นน้ำแข็งเปลี่ยนเป็น

ตารางที่ 2 พลังงานรวมหลังชดเชยการสูญเสีย (กิโลจูล/กิโลกรัม)

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (Celsius)	ปริมาณของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง (กิโลกรัม)						
	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800
20	20,605	24,039	27,474	30,908	34,342	37,776	41,211
25	21,637	25,243	28,849	32,455	36,061	39,667	43,273
30	22,668	26,446	30,224	34,002	37,780	41,558	45,336
35	23,699	27,649	31,599	35,549	39,498	43,448	47,398
40	24,730	28,852	32,974	37,095	41,217	45,339	49,461

เมื่อนำค่าการทำงานของระบบทำความเย็นด้วย p-h diagram ของสารทำความเย็น 134A ที่กำหนดให้คอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพ 70%

อุณหภูมิไอร้อนยวดยิ่ง 5 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของเหลวเย็นยวดยิ่ง 0 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่เครื่องระเหย -5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่คอนเดนเซอร์ 35 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณความเย็นที่ระบบผลิตได้ ($h_a - h_f$) เท่ากับ 151 KJ/Kg ดังนั้น

ตารางที่ 3 อัตราการไหลของน้ำยา (กิโลกรัมต่อวินาที)

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (Celsius)	ปริมาณของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง (กิโลกรัม)						
	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800
20	0.0379	0.0442	0.0505	0.0569	0.0632	0.0695	0.0758
25	0.0398	0.0464	0.0531	0.0597	0.0663	0.0730	0.0796
30	0.0417	0.0486	0.0556	0.0625	0.0695	0.0764	0.0834
35	0.0436	0.0509	0.0581	0.0654	0.0727	0.0799	0.0872
40	0.0455	0.0531	0.0607	0.0682	0.0758	0.0834	0.0910

ตารางที่ 4 ค่าความร้อนถ่ายเททั้ง (Q_{comd} : กิโลวัตต์)

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (Celsius)	ปริมาณของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง (กิโลกรัม)						
	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800
20	7.221	8.424	9.628	10.831	12.035	13.238	14.442
25	7.582	8.846	10.110	11.373	12.637	13.901	15.165
30	7.944	9.268	10.592	11.916	13.240	14.563	15.887
35	8.305	9.689	11.073	12.458	13.842	15.226	16.610
40	8.667	10.111	11.555	13.000	14.444	15.889	17.333

ตารางที่ 5 ค่าความร้อนที่คอมเพรสเซอร์ (Q_{comp} : กิโลวัตต์)

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (Celsius)	ปริมาณของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง (กิโลกรัม)						
	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800
20	2.096	2.446	2.795	3.144	3.494	3.843	4.192
25	2.201	2.568	2.935	3.302	3.668	4.035	4.402
30	2.306	2.690	3.075	3.459	3.843	4.228	4.612
35	2.411	2.813	3.215	3.616	4.018	4.420	4.822
40	2.516	2.935	3.354	3.774	4.193	4.612	5.032

ซึ่งเมื่อนำขนาดของคอมเพรสเซอร์ที่ได้ไปใช้เป็นภาระทางพลังงานเพื่อหาขนาดของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่สามารถนำไปใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ในการผลิตน้ำแข็งโดยกำหนดให้การสูญเสียพลังงานที่เครื่องยนต์อยู่ที่ 65% ส่งผลให้ขนาดของเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ขับเคลื่อนคอมเพรสเซอร์ในการผลิตน้ำแข็งเป็น

ตารางที่ 6 ขนาดเครื่องยนต์ที่ใช้ในระบบ (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (Celsius)	ปริมาณของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง (กิโลกรัม)						
	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800
20	3.459	4.035	4.612	5.188	5.764	6.341	6.917
25	3.632	4.237	4.842	5.448	6.053	6.658	7.264
30	3.805	4.439	5.073	5.707	6.341	6.976	7.610
35	3.978	4.641	5.304	5.967	6.630	7.293	7.956
40	4.151	4.843	5.535	6.227	6.918	7.610	8.302

ซึ่งในการทดลองกำหนดให้พลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งมาจากเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซชีววมวลที่เกิดจากการเปลี่ยนชีววมวลแข็งให้กลายเป็นก๊าซชีววมวลโดยใช้เศษไม้ยูคาลิปตัสเป็นเชื้อเพลิง โดยใช้เตาก๊าซชีววมวลชนิดเบตคองที่แบบไหลลงที่ใช้อากาศเป็นตัวทำปฏิกิริยาซึ่งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานจากเชื้อเพลิงแข็งเป็นก๊าซชีววมวลโดยรวมที่ 60% โดยประมาณและใช้ชีววมวลแข็งมีค่า

ความร้อนประมาณ 3.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ส่งผลให้อัตราการป้อนชีววมวลเข้าสู่เตาก๊าซชีววมวลอยู่ที่

ตารางที่ 7 อัตราการป้อนชีววมวลเข้าสู่เตา(กิโลกรัมชั่วโมง)

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (Celsius)	ปริมาณของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง (กิโลกรัม)						
	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800
20	1.647	1.921	2.196	2.470	2.745	3.019	3.294
25	1.729	2.018	2.306	2.594	2.882	3.171	3.459
30	1.812	2.114	2.416	2.718	3.020	3.322	3.624
35	1.894	2.210	2.526	2.841	3.157	3.473	3.789
40	1.977	2.306	2.636	2.965	3.294	3.624	3.953

ตารางที่ 8 ขนาดของเตาก๊าซชีววมวล (กิโลวัตต์ชั่วโมง)

อุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำ (Celsius)	ปริมาณของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง (กิโลกรัม)						
	900	1050	1200	1350	1500	1650	1800
20	0.961	1.121	1.281	1.441	1.601	1.761	1.921
25	1.009	1.177	1.345	1.513	1.681	1.850	2.018
30	1.057	1.233	1.409	1.585	1.762	1.938	2.114
35	1.105	1.289	1.473	1.657	1.842	2.026	2.210
40	1.153	1.345	1.537	1.730	1.922	2.114	2.306

พบว่าในหนึ่งรอบการผลิตน้ำแข็งของ 900 กิโลกรัมต่อ 24 ชั่วโมงต้องใช้ชีววมวลที่เป็นไม้ยูคาลิปตัสสับซึ่งให้ความร้อนประมาณ 3.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อกิโลกรัม ประมาณ 39 - 47 กิโลกรัมต่อ 24 ชั่วโมงหรือในหนึ่งชั่วโมงการผลิตต้องใช้ชีววมวลแข็ง 1.65 ถึง 1.98 กิโลกรัมต่อชั่วโมงเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นของน้ำที่ใช้ผลิตน้ำแข็งเป็น 20 องศาเซลเซียส และต้องใช้ชีววมวลเพิ่มขึ้น 6.59 กิโลกรัมต่อ 24 ชั่วโมงหรือเท่ากับเพิ่มขึ้น 275 กรัมต่อชั่วโมงเมื่อผลิตน้ำแข็งเพิ่มขึ้น 1 ก่อน ต่อหนึ่งรอบการผลิต และเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นที่ไหลเข้าสู่กระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส และความต้องการเชื้อเพลิงชีววมวลแข็งจะเพิ่มขึ้นอีก 1.978 กิโลกรัมหรือ 82.43 กรัมต่อชั่วโมงต่อการเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียสของอุณหภูมิเริ่มต้นโดยเป็นไปในรูปแบบที่คงที่ ซึ่งเมื่อคิดค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำแข็ง 1 กิโลกรัมจะพบว่าการผลิตด้วยเชื้อเพลิงชีววมวลแข็งจะมีค่าใช้จ่าย 0.108 บาทต่อกิโลกรัมและจะเพิ่มขึ้น 0.027 บาทต่อกิโลกรัมเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้นเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองดังกล่าวหากนำปริมาณชีววมวลที่ต้องใช้เพื่อผลิตน้ำแข็งมาใช้เป็นต้นทุนในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำแข็ง โดยให้ราคาของไม้ยูคาลิปตัสสับแบบมีเปลือกอยู่ที่ 3,500 บาทต่อตัน และทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำแข็งกับแหล่งพลังงานอื่นที่ น้ำมันดีเซลซึ่งให้พลังงาน 8700 กิโลจูล (36.42 เมกะจูลลิตรที่มีราคาต่อลิตรที่ 34.94 บาท (ราคา ณ วันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2566) และพลังงานไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายหลักของประเทศโดยใช้ราคาเฉลี่ยพบว่าใช้วิธีการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD) ส่งผลให้หนึ่งรอบการผลิตน้ำแข็งจะมีช่วงเวลาในการใช้ไฟฟ้าช่วง Peak time และ Off peak ช่วงละ 24 ชั่วโมง ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Peak อยู่ที่ 5.1135 บาทต่อกิโลวัตต์ และค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak อยู่ที่ 2.6369 บาทต่อกิโลวัตต์ (ณ วันที่ 15 ธันวาคม 2565) พบว่าในเดือนธันวาคมหากใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่ง

ในการผลิตน้ำแข็ง 900 กิโลกรัมที่อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 20 องศาเซลเซียส ระบบผลิตน้ำแข็งจะใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 28 กิโลวัตต์หรือประมาณ 0.1667 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และจะเพิ่มขึ้น 7 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อการผลิตหรือเพิ่มขึ้น 0.1458 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงเมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ไหลเข้าสู่กระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส และเมื่อผลิตน้ำแข็งเพิ่มขึ้น 1 ก้อน ต่อหนึ่งรอบการผลิต จะต้องการพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม 5 กิโลวัตต์หรือประมาณ 0.104 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง หากคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวันโดยค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Peak time อยู่ที่ 5.1135 บาทต่อกิโลวัตต์ และค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak อยู่ที่ 2.6369 บาทต่อกิโลวัตต์ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการผลิตน้ำแข็งด้วยพลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ 0.1189 บาทต่อกิโลกรัม เพิ่มขึ้น 0.396 บาทต่อกิโลกรัมเมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส และหากใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นต้นกำลังในการผลิตน้ำแข็ง 900 กิโลกรัมที่อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 20 องศาเซลเซียส ระบบจะมีปริมาณความต้องการใช้น้ำมันที่ 9.19 ลิตร หรือเท่ากับ 0.1087 ลิตรต่อกิโลกรัมผลิตเมื่อน้ำมันดีเซล 1 ลิตรให้พลังงาน 8700 กิโลจูล ส่งผลให้ในการผลิตน้ำแข็ง 1 กิโลกรัมจะมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ 0.3568 บาทต่อกิโลกรัมและต้องใช้ใช้น้ำมันดีเซลเพิ่ม 2.29 ลิตรหรือเท่ากับ 0.0889 บาทต่อชั่วโมงเมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นการผลิตน้ำแข็งเพิ่มขึ้น 5 องศาเซลเซียส และเมื่อผลิตน้ำแข็งเพิ่มขึ้น 1 ก้อนต่อหนึ่งรอบการผลิตจะต้องการน้ำมันเพิ่ม 1.53 ลิตรต่อการผลิตหรือเท่ากับ 1.1137 บาทต่อชั่วโมง

4. สรุป

น้ำแข็งของเป็นน้ำแข็งที่มีความต้องการในเชิงพาณิชย์สูงเพราะสามารถใช้ได้ทั้งรูปแบบที่นำไปบริโภคโดยตรงหรือนำไปใช้ลดอุณหภูมิของวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งการผลิตน้ำแข็งเป็นกระบวนการผลิตที่ต้องใช้พลังงานสูงมากทั้งยังจำเป็นต้องใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นเมื่อทำการจำลองหาปริมาณชีวมวลที่ต้องใช้เมื่อนำชีวมวลแข็งมาเปลี่ยนเป็นแก๊สชีวมวลด้วยเตาแก๊สซิฟิเคชันเพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีเครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นต้นกำลังผลที่ได้พบว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในการผลิตน้ำแข็งด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลแข็งต่อกิโลกรัมมีความใกล้เคียงกับการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายหลักโดยการใช้ชีวมวลมีค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมอยู่ที่ 0.108 บาท ในขณะที่การใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบส่งจ่ายไฟฟ้าหลักมีค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมอยู่ที่ 0.1189 บาท ซึ่งสูงกว่าการผลิตน้ำแข็งด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลอยู่ประมาณ 10% และเมื่อเทียบกับการผลิตน้ำแข็งโดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากน้ำมันดีเซลค่าใช้จ่ายต่อกิโลกรัมอยู่ที่ 0.3568 บาทต่อกิโลกรัมแล้วจะยิ่งเห็นได้อย่างชัดเจนว่าการผลิตน้ำแข็งด้วยเชื้อเพลิงชีวมวลมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าถึง 230.37% ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำแข็งด้วยชีวมวลถูกที่สุด อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาไปที่ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการผลิตน้ำแข็งแต่ในระบบงานจริงนั้นยังมีปัจจัยแวดล้อมอื่นที่สามารถทำให้การใช้พลังงานรวมของระบบเพิ่มขึ้นหรือ

ลดลงกว่าผลที่ได้รับ อีกทั้งชีวมวลแข็งที่สามารถนำมาใช้สร้างพลังงานได้ยังมีอีกหลากหลายชนิดที่ส่งผลให้ค่าความร้อนที่แตกต่างไปจากงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งเป็นประเด็นที่จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency. 2015. "Alternative Energy Development Plan: AEDP2015". Online document <http://www.eppo.go.th/images/POLICY/PDF/AEDP2015.pdf> accessed on June 14, 2017.
- [2] สหทัย ลาตปลาละ, นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัถกีเชียร. 2550. "การประเมินประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าแก๊สชีวมวล". การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 3, โรงแรมไบร่ตัน กรุงเทพมหานคร
- [3] Jatuporn, K., Jompob, W., Marina, M and Suwit, P. 2005. "Biomass Energy Conversion: Gasification." Thaksin University Journal. 2(2): 56-67.
- [4] Office of Agricultural Economics. 2016. "Agricultural Statistics of Thailand, 2016". Online document <http://www.oae.go.th> accessed on March 17, 2017.
- [5] กฤษณะ อาสน์สุวรรณ. 2546. "แนวทางการประหยัดพลังงานในอุตสาหกรรมน้ำแข็ง". เทคนิคเครื่องกลไฟฟ้าอุตสาหกรรม, ปีที่ 20, ฉบับที่ 225: 165-171.
- [6] ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย. 2547. "คู่มือการฝึกอบรมหลักสูตรการจัดการพลังงานในอุตสาหกรรมโรงน้ำแข็ง". กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. ข้อมูลจาก <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib8504.pdf> (วันที่สืบค้น 15 มกราคม 2566)
- [7] Basu, Prabir. (2013). Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction: Practical Design and Theory. 1-530.
- [8] Ismail, T.M. and El-Salam, M.A. 2017. "Parametric Studies on Biomass Gasification Process on Updraft Gasifier High Temperature Air Gasification." Applied Thermal Engineering, (112): 1460-1473.
- [9] Reed, T B, and Das, A. 1988. "Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems". United States. <https://www.osti.gov/servlets/purl/5206099>.
- [10] ทิพย์สุภินทร์ หินชุย. 2550. "การศึกษาการกำจัดกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อผลิตพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีแก๊สซิฟิเคชัน: กรณีศึกษากากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม". วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสุรนารี: 117 – 121.

- [11] กฤษฎา ปรีชาปรีสุทธิกุล. 2553. "การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กมาก ตำบลอุตุมทรัพย์ จังหวัดนครราชสีมา". มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; DOI : https://doi.nrct.go.th/ListDoi/listDetail?Resolve_Doi=10.14457/KU.the.2010.37
- [12] Forest Research. 2023. "TYPICAL CALORIFIC VALUES OF FUELS". United Kingdom. <https://www.forestresearch.gov.uk/tools-and-resources/fthr/biomass-energy-resources/reference-biomass/facts-figures/typical-calorific-values-of-fuels/>. accessed on December 17, 2022

การพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลสำหรับกำหนดนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังหลายประเภทร่วมกัน สำหรับระบบที่อุปสงค์ไม่แจกแจงแบบปกติ

Development of Monte Carlo Simulation Model to Determine the Proper Multi-item Joint Inventory Replenishment Policy for the System having Non-normal Distribution Demand

พิไลวรรณ สุวรรณฤทธิ์^{1*} วิสุทธิ์ สุพิทักษ์²

¹สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: philaiwan.su@ku.th*, fengwsst@ku.ac.th²

Philaiwan Suwannarit^{1*}, Wisut Supithak²

¹Graduate Program in the Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

E-mail: philaiwan.su@ku.th*, fengwsst@ku.ac.th²

บทคัดย่อ

งานวิจัยทำการศึกษานโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังที่เหมาะสมสำหรับระบบที่มีการสั่งเติมเต็มตามรอบเวลาร่วมกันหลายวัสดุคงคลัง โดยอุปสงค์ของวัสดุคงคลังแต่ละประเภทมีความไม่แน่นอน และไม่แจกแจงแบบปกติ แบบจำลองสถานการณ์ถูกพัฒนาเพื่อวิเคราะห์รอบเวลาเติมเต็มร่วมกัน และระดับบริการลูกค้าต่อรอบที่เหมาะสม หลักการของการแจกแจงเชิงประจักษ์ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อสุ่มค่าอุปสงค์ที่เกิดขึ้นในแต่ละคาบเวลา การกำหนดปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อแต่ละระดับบริการลูกค้าต่อรอบ ถูกทำโดยการสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มต่อช่วงคาบเวลา $T + L$ จากนั้นทำการหาความน่าจะเป็น และความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละค่าอุปสงค์ที่แต่ละระดับบริการลูกค้าต่อรอบ ระดับวัสดุคงคลังสูงสุดถูกกำหนดจากค่าอุปสงค์ต่อช่วงคาบเวลา $T + L$ ที่มีความน่าจะเป็นสะสมเท่ากับระดับบริการลูกค้าต่อรอบที่กำหนด ปริมาณวัสดุคงคลังเพื่อคำนวณได้จากผลต่างของระดับวัสดุคงคลังสูงสุดกับค่าเฉลี่ยอุปสงค์ต่อช่วงคาบเวลา $T + L$ ตัวแบบจำลองสถานการณ์ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบกรณีศึกษาที่มีการสั่งเติมเต็มวัสดุคงคลังห้าประเภทจากผู้ขายรายเดียวกัน โดยมีตัวแปรตัดสินใจ คือ รอบเวลาเติมเต็มร่วมกันสามระดับ (12 17 และ 26 สัปดาห์) และระดับบริการลูกค้าต่อรอบห้าระดับ (80 85 90 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์) ค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมที่เกิดขึ้นเป็นตัวแปรตอบสนอง ผลการจำลองสถานการณ์จากการทำซ้ำ 1,000 รอบ พบว่านโยบายเติมเต็มที่มี $T = 17$ สัปดาห์ และ $CSL = 80\%$ ทำให้ค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมต่ำที่สุด โดยมี 95 เปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่นของค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมเป็น (45008.43, 45374.58) บาทต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับนโยบาย Max-Min ซึ่งเป็นนโยบายปัจจุบันของระบบ พบว่านโยบายที่นำเสนอมีค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมต่ำกว่า 51.73 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ

คำสำคัญ: นโยบายเติมเต็มร่วมกัน วัสดุคงคลัง การจำลองสถานการณ์ การแจกแจงแบบไม่ปกติ

Abstract

The research is to determine the proper inventory replenishment policy for the system having multiple products being replenished at the same time interval. Each product has its own uncertain demand which is not normal distributed. A simulation model is developed to investigate the proper time between orders and cycle service level. The concept of empirical distribution is applied to randomly generated demand of each simulation period. In order to determine the amount of safety stock for each cycle service level, the demands during $T + L$ time periods are randomly generated. The probability and cumulative probability, of each demand value, are then determined. At each given cycle service level, the amount of maximum inventory is selected equal to the value of demand during $T + L$ time periods having its cumulative probability corresponding to the cycle service level. The safety stock is calculated from the difference between the maximum inventory level and the expected value of demands during $T + L$ time periods. The developed simulation model is applied to the system of case study having five products being replenished together from the same supplier. Three different levels of time between orders ($T=12, 17,$ and 26 weeks) and five different levels of cycle service level ($CSL= 80\%, 85\%, 90\%, 95\%,$ and 99%) are investigated. The total variable cost per year is considered as the response variable. According to the simulation result obtained from 1,000 replications, the replenishment policy of $T = 17$ weeks and $CSL = 80\%$ yields the lowest total variable cost. Here, the 95%

confidence interval on mean of total variable cost is (45008.43, 45374.58) bath per year. In comparison to the Max-Min policy currently employed at the system of case study, the proposed policy provides the lower total variable cost of 51.73 percent, approximately.

Keywords: Joint inventory replenishment policy, Inventory, Simulation, Non-normal distribution

1. บทนำ

ในสภาวะปัจจุบัน การแข่งขันธุรกิจทั้งด้านการผลิตสินค้าและบริการมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงให้ความสำคัญกับการบริหารจัดการต้นทุนในการดำเนินงาน เนื่องจากการมีต้นทุนการดำเนินงานที่สูง สามารถส่งผลให้ศักยภาพในการแข่งขันขององค์กรลดลง การบริหารจัดการวัสดุคงคลังจึงจัดเป็นต้นทุนในการดำเนินงานที่สำคัญ นโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังควรถูกพิจารณาให้มีความเหมาะสมต่ออุปสงค์และสภาพแวดล้อมของระบบ การมีระดับวัสดุคงคลังในระบบที่สูงเกินความจำเป็น สามารถส่งผลให้เกิดต้นทุนการถือครองที่สูง (ค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการคลังสินค้า ค่าใช้จ่ายในการขนย้าย ค่าประกันภัย และค่าใช้จ่ายจากต้นทุนจม) ในทำนองกลับกันหากระบบมีวัสดุคงคลังในระดับที่ต่ำเกินไป สามารถส่งผลให้เกิดต้นทุนการขาดสินค้าที่สูงขึ้น (ค่าใช้จ่ายจากการสั่งย้อนหลัง ค่าใช้จ่ายจากการสั่งซื้อเร่งด่วน ค่าใช้จ่ายจากการสูญเสียโอกาสในการทำกำไร และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการดำเนินงานหยุดชะงัก)

โดยทั่วไปในระบบที่มีอุปสงค์วัสดุคงคลังเกิดขึ้นต่อเนื่อง นโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังสามารถจำแนกได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ นโยบายเติมเต็มที่มีปริมาณสั่งเติมเติมคงที่ (Fixed Order Size System) เป็นนโยบายที่ระบบมีการสั่งเติมเติมวัสดุคงคลังแต่ละรอบด้วยปริมาณที่เท่ากัน โดยระบบจะทำการสั่งเติมเติมหรือสั่งซื้อวัสดุคงคลังเมื่อระดับวัสดุคงคลังในระบบมีค่าลดลงถึงจุดสั่งเติมเติมที่กำหนดไว้ และนโยบายการเติมเติมด้วยรอบเวลาคงที่ (Fixed Order Interval System) เป็นนโยบายที่ระบบมีการสั่งเติมเติมวัสดุคงคลังแต่ละรอบด้วยช่วงเวลาเติมเติมที่เท่ากัน โดยระบบจะทำการสั่งเติมเติมหรือสั่งซื้อวัสดุคงคลังเมื่อถึงช่วงเวลาเติมเติมที่กำหนดไว้ ทั้งนี้ปริมาณสั่งเติมเติมวัสดุคงคลังแต่ละรอบอาจมีค่าไม่เท่ากัน โดยปริมาณสั่งเติมเติมวัสดุคงคลังแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างระดับวัสดุคงคลังสูงสุดที่กำหนดไว้กับระดับวัสดุคงคลังในระบบ ณ ช่วงเวลาที่ระบบทำการสั่งเติมเติม [1]

พิจารณานโยบายเติมเต็มที่มีปริมาณสั่งเติมเติมคงที่ ตัวแบบพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณปริมาณสั่งเติมเติม และจุดสั่งเติมเติมที่เหมาะสม คือตัวแบบปริมาณสั่งซื้อแบบประหยัด (Economic Order Quantity Model; EOQ) ซึ่งถูกนำเสนอโดย [2] ทั้งนี้ตัวแบบดังกล่าวมีสมมติฐานของลักษณะอุปสงค์เป็นแบบต่อเนื่องและเป็นอิสระต่อกัน (Independent Demand) การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบดังกล่าว สามารถถูกศึกษาได้จาก [3] นำเสนอระบบสินค้าคงคลังที่สินค้าสามารถเติบโตได้ในระหว่างรอบการเติมสินค้าคงคลัง แต่บางส่วนมีคุณภาพต่ำ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มกำไรรวมทั้งที่คาดหวัง โดยกำหนดคัดเลือกสินค้าที่มีคุณภาพ และกำหนดสินค้าคงคลังที่เหมาะสม [4] ได้นำเสนอตัวแบบภายใต้สมมติฐานของต้นทุนการถือครองแปรผันที่ประกอบด้วยต้นทุนการถือครองขึ้นอยู่กับเวลา ต้นทุนการถือครอง

ขึ้นอยู่กับปริมาณสินค้า และความแปรผันของต้นทุนถือครองอื่นๆ เพื่อกำหนดนโยบายเติมเต็มที่เหมาะสม และ [5] ได้นำเสนอตัวแบบภายใต้ นโยบายที่หากลูกค้าไม่พอใจสินค้าสามารถส่งคืนให้แก่ผู้ค้าปลีกได้ และผู้ผลิตให้สินค้าทางการค้าเติมรูปแบบแก่ผู้ค้าปลีก วัตถุประสงค์เพื่อ กำหนดราคาขาย ปริมาณการสั่งซื้อ และรอบเวลาการเติมสินค้าที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มผลกำไรรวมของผู้ค้าปลีก สำหรับนโยบายการเติมเติมด้วยรอบเวลาคงที่ ตัวแบบพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณรอบเวลาเติมเติมและระดับวัสดุคงคลังสูงสุดที่เหมาะสม คือตัวแบบรอบเวลาการเติมเติมแบบประหยัด (Economic Order Interval: EOI) การคำนวณของตัวแบบดังกล่าวสามารถถูกศึกษาได้จาก [6, 7] หากระบบมีการสั่งเติมเติมวัสดุคงคลังหลายประเภทพร้อมกัน ตัวแบบรอบเวลาการเติมเติมแบบประหยัดมีคุณลักษณะที่เหมาะสมสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบที่มีการสั่งเติมเติมวัสดุคงคลังหลายชนิดพร้อมกัน (ในช่วงเวลาเดียวกัน) ซึ่งถูกนำเสนอโดย [8] การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบดังกล่าว สามารถถูกศึกษาได้จาก [9] พิจารณาจากจำนวนวัสดุคงคลัง n รายการ ที่สั่งซื้อจากผู้ขายรายเดียวกัน โดยการหารอบการสั่งซื้อร่วมกันที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด [10] ได้นำเสนอตัวแบบการสั่งซื้อร่วมกันหลายวัสดุคงคลัง ซึ่งมีการจัดส่งแบบเติมต้นรถ พบว่า ตัวแบบการสั่งซื้อร่วมกันด้วยรอบเวลาคงที่ สามารถลดต้นทุนได้มากกว่าเมื่อเทียบกับนโยบายเดิม จากนโยบายเติมเติมวัสดุคงคลังที่กล่าวมาข้างต้น หากความต้องการที่ไม่แน่นอนเพิ่มมากขึ้น การหานโยบายวัสดุคงคลังให้เหมาะสมกับระบบที่แตกต่างกันนั้นทำได้ยาก จึงได้มีการประยุกต์ใช้ตัวแบบการจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล (Monte Carlo Simulation Techniques) เข้ามาช่วยแก้ปัญหา ซึ่งเป็นการจำลองระบบโดยสุ่มค่าของตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงความน่าจะเป็น และค่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นบนตัวแปรตอบสนอง จากค่าของตัวแปรตัดสินใจที่ต้องการศึกษา โดยการจำลองสามารถถูกนำมาใช้สำหรับการวางแผนบริหารจัดการวัสดุคงคลังเพื่อกำหนดนโยบายเติมเติมที่เหมาะสมกับระบบ สามารถถูกศึกษาได้จากงานวิจัย [11] ได้พัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์สำหรับนโยบายตามรอบเวลาร่วมกันหลายชนิดสินค้า เพื่อกำหนดรอบการสั่งซื้อสินค้า ระดับสินค้าคงคลังสูงสุดและระดับการให้บริการที่เหมาะสม ซึ่งทำให้เกิดกำไรสูงสุดต่อระบบ ของสินค้าที่มีการหมุนเวียนสินค้าแบบเข้าที่หลังออกก่อนและแบบเข้าก่อนออกก่อน [12] ได้ศึกษาการจัดการอะไหล่ภายใต้ความต้องการที่ไม่แน่นอน โดยประยุกต์ใช้การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลด้วยเทคนิค Microsoft Excel Solver เพื่อวิเคราะห์หานโยบายการเติมเติมที่ทำให้ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด [13] ได้วิเคราะห์หาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัดด้วยแบบจำลองมอนติคาร์โล เพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสม โดยทั่วไปการจำลองสถานการณ์เพื่อวิเคราะห์ค่าตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมของตัวแปรตัดสินใจ ควรมีการทำซ้ำ

(Replications) เพื่อให้สามารถทำการคำนวณค่าช่วงความเชื่อมั่น และลดความคลาดเคลื่อนของค่าตอบที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ การจำลองสถานการณ์ด้วยการใช้ฟังก์ชัน YASAI ซึ่งถูกนำเสนอโดย [14] สามารถถูกนำมาใช้เพื่อให้การจำลองสถานการณ์สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ค่าตัวแปรตัดสินใจแตกต่างกัน และการทำซ้ำถูกทำได้ง่ายขึ้น โดย YASAI เป็น Simulation Add-in Function สามารถติดตั้งเพิ่มใน Microsoft Excel ทั้งนี้การจำลองสถานการณ์เพื่อกำหนดนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังโดยทั่วไป สามารถหาจากตัวแปรสุ่มของค่าของอุปสงค์ที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษานโยบายการเติมเต็มวัสดุคงคลังร่วมกันตามรอบเวลา กรณีระบบมีอุปสงค์ที่ไม่แจกแจงแบบปกติ โดยพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลมาใช้ในการบริหารจัดการวัสดุคงคลังอะไหล่ วัตถุประสงค์ในการจำลองสถานการณ์เป็นการกำหนดรอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน และระดับบริการที่เหมาะสมของวัสดุคงคลังเพื่อลดค่าใช้จ่ายแปรผันของระบบ (Total Variable Cost) ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนถือครอง (Holding Cost) ต้นทุนการสั่งเติมเต็ม (Ordering Cost) และต้นทุนการขาดแคลนอะไหล่ (Shortage Cost)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาในงานวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล สำหรับกำหนดนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังร่วมกันตามรอบเวลา กรณีระบบมีอุปสงค์ที่ไม่แจกแจงแบบปกติ โดยมีคำอธิบายสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- C ต้นทุนต่อหน่วยวัสดุคงคลัง (บาทต่อชิ้น)
- D อุปสงค์ต่อปี (ชิ้นต่อปี)
- S ค่าใช้จ่ายในการสั่งเติมเต็มวัสดุคงคลัง (บาทต่อครั้ง)
- F ค่าสัดส่วนถือครอง (Holding Cost Fraction)
- H ค่าใช้จ่ายในการถือครองวัสดุคงคลัง (บาทต่อชิ้นต่อปี)
โดย $H = C \times F$
- T ระยะเวลาต่อรอบการสั่งเติมเต็มแต่ละครั้ง (ปี)
- L ช่วงเวลานำในการสั่งเติมเต็ม (ปี)
- T^* รอบเวลาการเติมเต็มที่ประหยัด (ปี)
- E_{max} ระดับวัสดุคงคลังสูงสุด (ชิ้น)
- SS ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อ (ชิ้น)
- T_{joint}^* รอบเวลาการเติมเต็มร่วมกันที่เหมาะสม (ปี)
- S' ต้นทุนการสั่งเติมเต็มร่วมของวัสดุคงคลัง (บาทต่อครั้ง)
- H_i อุปสงค์ของวัสดุคงคลังแต่ละชนิดต่อปี (ชิ้นต่อปี)
- D_i อุปสงค์ของวัสดุคงคลังแต่ละชนิดต่อปี (ชิ้นต่อปี)
- E_{max_i} ระดับวัสดุคงคลังสูงสุดของวัสดุคงคลังแต่ละชนิด (ชิ้น)
- SS_i ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อของวัสดุคงคลังแต่ละชนิด (ชิ้น)
- CSL_c ระดับบริการลูกค้าต่อรอบ (เปอร์เซ็นต์)
- Z_α ค่าแจกแจงปกติของระดับการให้บริการ
- σ_d ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุปสงค์ต่อคาบเวลา (ชิ้น)

2.1 นโยบายการเติมเต็มด้วยรอบเวลาคงที่

นโยบายการเติมเต็มด้วยรอบเวลาคงที่ เป็นระบบที่สั่งเติมเต็มวัสดุคงคลังมาเติมเต็มแต่ละรอบด้วยช่วงเวลาเติมเต็มต่อรอบที่เท่ากันเสมอ โดยระบบจะทำการเติมเต็มวัสดุคงคลังเมื่อถึงช่วงเวลาที่เติมเต็มปริมาณเติมเต็มแต่ละครั้งมีค่าเท่ากับผลต่างของระดับวัสดุคงคลังสูงสุดที่กำหนดไว้ กับระดับวัสดุคงคลังในระบบ ณ ช่วงเวลาที่ระบบจะทำการสั่งเติมเต็ม ใหม่ เนื่องจากอุปสงค์ในแต่ละช่วงเวลาอาจไม่คงที่ ทำให้วัสดุคงคลังคงเหลือที่ช่วงเวลาสั่งเติมเต็มของแต่ละรอบไม่เท่ากัน ซึ่งส่งผลให้ค่าของปริมาณการสั่งเติมเต็มแตกต่างกันไปในแต่ละรอบการสั่งเติมเต็ม ตัวแบบที่ใช้ในการคำนวณรอบเวลาการเติมเต็มที่เหมาะสมคือตัวแบบรอบเวลาสั่งเติมเต็ม แบบประหยัด (EOI) โดยรอบเวลาการสั่งเติมเต็มที่ประหยัด คำนวณได้จากสมการที่ 1

$$T^* = \sqrt{\frac{2S}{HD}} \quad (1)$$

ปริมาณสั่งเติมเต็มวัสดุคงคลังสามารถคำนวณจากผลต่างของระดับวัสดุคงคลังสูงสุด กับปริมาณวัสดุคงคลังที่มีในระบบ ณ ช่วงเวลาสั่งเติมเต็ม โดยระดับวัสดุคงคลังสูงสุดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$E_{max} = DT + DL + SS \quad (2)$$

2.2 ตัวแบบรอบเวลาการเติมเต็มแบบประหยัด กรณีมีการสั่งเติมเต็ม ร่วมกันหลายวัสดุคงคลัง

ตัวแบบรอบเวลาการเติมเต็มแบบประหยัด (EOI) มีคุณลักษณะที่เหมาะสม สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบที่มีการสั่งเติมเต็มวัสดุคงคลังหลายชนิดพร้อมกัน (ในช่วงเวลาเดียวกัน) ซึ่งเป็นระบบที่พบได้บ่อยครั้ง เมื่อวัสดุคงคลังหลายประเภทถูกสั่งเติมเต็มจากผู้ผลิตรายเดียวกัน โดยรอบเวลาเติมเต็มร่วมกันที่เหมาะสม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$T_{joint}^* = \sqrt{\frac{2S'}{\sum_{i=1}^n H_i D_i}} \quad (3)$$

โดยระดับวัสดุคงคลังสูงสุดของวัสดุคงคลังแต่ละชนิด สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$E_{max_i} = D_i(T_{joint}^* + L) + SS_i \quad (4)$$

2.3 การกำหนดปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อ สำหรับตัวแบบการเติมเต็มด้วยรอบเวลาคงที่

ในกรณีที่ระบบมีอุปสงค์ในแต่ละคาบเวลาไม่คงที่ ตัวแบบการเติมเต็มด้วยรอบเวลาคงที่จำเป็นต้องมีการกำหนดระดับวัสดุคงคลังเมื่อเพื่อป้องกันระบบจากการขาดแคลนวัสดุคงคลังในช่วงเวลา $T + L$ หากพิจารณาการแจกแจงของอุปสงค์ในแต่ละคาบเวลาเป็นการแจกแจง

แบบปกติ ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อที่ระดับบริการลูกค้าต่อรอบ (CSL_c) ที่กำหนด สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 5

$$SS = Z_\alpha \sigma_d \sqrt{T^* + L} \quad (5)$$

โดย α เป็นค่าความน่าจะเป็นในการขาดแคลนวัสดุคงคลัง ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1 - CSL_c$

ในกรณีที่อุปสงค์ต่อคาบเวลาไม่มีการแจกแจงแบบปกติ ปริมาณวัสดุคงคลังเพื่อสามารถคำนวณได้จากผลต่างของระดับวัสดุคงคลังสูงสุดที่แต่ละระดับบริการลูกค้าต่อรอบกับอุปสงค์เฉลี่ยของวัสดุคงคลังในช่วงเวลา $T + L$ (พิจารณาสมการที่ 2) ทั้งนี้ในการคำนวณระดับวัสดุคงคลังสูงสุดที่ระดับบริการลูกค้าต่อรอบนั้น จำเป็นต้องมีการสุ่มค่าอุปสงค์ในช่วงเวลา $T + L$ เพื่อคำนวณความน่าจะเป็นของอุปสงค์ในช่วงเวลา $T + L$ แต่ละค่า

3. การพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โล บนโปรแกรม Microsoft Excel สำหรับระบบที่มีการเติมเต็มหลายวัสดุคงคลังร่วมกัน โดยอุปสงค์ของวัสดุคงคลังแต่ละชนิดไม่มีการแจกแจงแบบปกติ วัตถุประสงค์ในการจำลองสถานการณ์เป็นการกำหนดรอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน และระดับบริการที่เหมาะสมของวัสดุคงคลัง เพื่อลดค่าใช้จ่ายแปรผันของระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย ต้นทุนการถือครอง ต้นทุนการสั่งเติมเต็ม และต้นทุนการขาดแคลนวัสดุคงคลังซึ่งถูกพิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายต่อชิ้นวัสดุคงคลังที่ขาดแคลน ตัวแบบจำลองสถานการณ์ถูกพัฒนาโดยใช้ข้อมูลของสถานประกอบการกรณีศึกษาซึ่งมีคุณลักษณะอุปสงค์วัสดุคงคลังสอดคล้องกับปัญหาในงานวิจัย

3.1 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติของอุปสงค์

ระบบที่ทำการศึกษามีวัสดุคงคลังจำนวน 5 ประเภท (SV_1, SV_2, \dots, SV_5) ถูกสั่งเติมเต็มจากผู้ผลิตรายเดียวกัน จากการทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยวิธีทดสอบ Shapiro-Wilk Test ของข้อมูลอุปสงค์รายสัปดาห์ย้อนหลังจำนวน 104 สัปดาห์ (2 ปี) ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าอุปสงค์รายสัปดาห์ของวัสดุคงคลังทั้ง 5 รายการ มีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก และสรุปได้ว่าอุปสงค์รายสัปดาห์ของวัสดุคงคลังทั้ง 5 รายการ ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

3.2 การสุ่มค่าอุปสงค์สำหรับการจำลองสถานการณ์

จากคุณลักษณะที่อุปสงค์วัสดุคงคลังไม่มีการแจกแจงแบบปกติ โดยอุปสงค์ต่อคาบเวลาที่มีค่าน้อย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูง การสุ่มค่าอุปสงค์สำหรับการจำลองสถานการณ์จึงถูกทำโดยใช้หลักการของการแจกแจงเชิงประจักษ์ (Empirical Distribution) พิจารณาอุปสงค์รายสัปดาห์ของวัสดุคงคลังประเภท SV_1 ข้อมูลความถี่ ความน่าจะเป็น

และความน่าจะเป็นสะสมในการเกิดอุปสงค์แต่ละค่า สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

พิจารณาตารางที่ 1 ช่วงของตัวเลขสุ่ม (คอลัมน์ที่ 5) ถูกกำหนดจากค่าความน่าจะเป็นสะสม (คอลัมน์ที่ 4) การสุ่มค่าอุปสงค์ที่เกิดขึ้นในแต่ละคาบเวลาของการจำลองสถานการณ์ สามารถทำได้โดยการใช้ฟังก์ชัน =RAND() เพื่อสร้างเลขสุ่ม (ระหว่าง 0 กับ 1) ซึ่งเป็นการสุ่มค่าความน่าจะเป็นสะสม หากค่าของเลขสุ่มดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วงของเลขสุ่มค่าใด คาบเวลานั้นจะถูกกำหนดให้มีอุปสงค์เท่ากับอุปสงค์ซึ่งสอดคล้องกับช่วงของตัวเลขสุ่มนั้น

ตารางที่ 1 ช่วงของตัวเลขสุ่มของอุปสงค์รายสัปดาห์ประเภท SV_1

อุปสงค์รายสัปดาห์ (ชิ้น)	จำนวนครั้งที่เกิดขึ้น	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม	ช่วงของตัวเลขสุ่ม
0	72	0.6923	0.6923	$R \leq 0.6923$
1	14	0.1346	0.8269	$0.6923 < R \leq 0.8269$
2	11	0.1058	0.9327	$0.8269 < R \leq 0.9327$
3	6	0.0577	0.9904	$0.9327 < R \leq 0.9904$
4	1	0.0096	1.0000	$0.9904 < R$
รวม	104	1.0000		

3.3 การคำนวณหารอบการสั่งเติมเต็มร่วมกันที่เหมาะสมตามทฤษฎี

พิจารณาอุปสงค์ต่อปี ของวัสดุคงคลังทั้ง 5 รายการ (SV_1, SV_2, \dots, SV_5) เท่ากับ 29, 21, 18, 16, และ 12 ชิ้น และราคาต้นทุนต่อชิ้นของวัสดุคงคลังทั้ง 5 รายการ เท่ากับ 5,136, 2,768, 1,841, 592 และ 62 บาท ตามลำดับ ที่ค่าใช้จ่ายในการสั่งเติมเต็มร่วมกัน 3,000 บาทต่อครั้ง และค่าสัดส่วนถือครอง 0.22 รอบเวลาการเติมเต็มร่วมกันที่เหมาะสมตามทฤษฎี สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 ดังแสดง

$$T_{joint}^* = \sqrt{\frac{2 \times (3,000)}{(0.22) \times \{(29)(5136) + (21)(2768) + (18)(1841) + (16)(592) + (12)(62)\}}}$$

$$= 0.330 \text{ ปี (ประมาณ 17 สัปดาห์)}$$

การคำนวณรอบเวลาการเติมเต็มร่วมกันที่เหมาะสมตามทฤษฎีดังแสดงข้างต้น ไม่ได้พิจารณาถึงปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อ ซึ่งมีผลกับต้นทุนแปรผันของระบบ และเป็นฟังก์ชันของรอบเวลาการเติมเต็ม อย่างไรก็ตาม ค่าของรอบเวลาการเติมเต็มร่วมกันตามทฤษฎีดังกล่าวสามารถถูกใช้เป็นแนวทางในการกำหนดรอบเวลาเติมเต็มสำหรับการจำลองสถานการณ์

ข้อสังเกตระบบกรณีศึกษาที่มีราคาต้นทุนต่อชิ้นของวัสดุคงคลังทั้ง 5 รายการค่อนข้างแตกต่างกัน พิจารณาสมการที่ 3 วัสดุคงคลังที่มีราคาต้นทุนต่อชิ้นต่ำจะส่งผลต่อค่ารอบเวลาการเติมเต็มร่วมกันน้อยกว่าวัสดุคงคลังที่มีราคาต้นทุนต่อชิ้นสูง การสั่งซื้อวัสดุคงคลังที่มีต้นทุนต่อชิ้นต่ำร่วมกับวัสดุคงคลังที่มีต้นทุนต่อชิ้นสูง สามารถทำให้เกิดผลประหยัดในด้านต้นทุนการสั่งซื้อรวมของระบบที่ลดลง โดยที่ค่าต้นทุนถือครองของวัสดุคงคลังที่มีต้นทุนต่อชิ้นต่ำเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

3.4 การกำหนดปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อในแต่ละระดับบริการลูกค้า

งานวิจัยพิจารณาอุปสงค์วัสดุคงคลังที่ไม่มีแจกแจงแบบปกติ ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อ จึงไม่สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5 ในกรณีนี้ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อ สามารถคำนวณได้จากการพิจารณาสมการที่ 2 และสมการที่ 4 กล่าวคือปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อมีค่าเท่ากับผลรวมของระดับวัสดุคงคลังสูงสุด กับอุปสงค์เฉลี่ยช่วงเวลา $T + L$ ในกรณีนี้ งานวิจัยจึงทำการสร้างอุปสงค์อย่างสุ่มต่อช่วงคาบเวลา $T + L$ จากนั้นทำการหาความน่าจะเป็น และความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละค่าอุปสงค์ ตามหลักการของการแจกแจงเชิงประจักษ์ จากนั้นจึงทำการกำหนดค่าระดับวัสดุคงคลังสูงสุดเท่ากับค่าอุปสงค์ต่อช่วงคาบเวลา $T + L$ ที่มีความน่าจะเป็นสะสมเท่ากับระดับบริการลูกค้าต่อรอบที่ต้องการ ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อสามารถคำนวณได้จากผลต่างของระดับวัสดุคงคลังสูงสุดกับค่าเฉลี่ยของอุปสงค์ต่อช่วงคาบเวลา $T + L$

ตัวอย่างการคำนวณวัสดุคงคลังเมื่อตามหลักการที่กล่าวมาสามารถอธิบายได้ดังนี้ พิจารณารอบเวลาเติมเต็ม $T = 17$ สัปดาห์ และ ช่วงเวลานำ $L = 6$ สัปดาห์ ทำการสุ่มอุปสงค์ที่เกิดขึ้นในแต่ละสัปดาห์ และรวมค่าอุปสงค์รายสัปดาห์จำนวน $T + L = 23$ สัปดาห์ เป็นอุปสงค์แต่ละค่าของช่วงเวลา $T + L$ นำค่าอุปสงค์ในช่วงเวลา $T + L$ แต่ละค่าดังกล่าว มาทำการหาความถี่ หรือความน่าจะเป็นที่จะเกิดอุปสงค์ค่านั้น จากนั้นทำการหาความน่าจะเป็นสะสม จะได้ค่าดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อุปสงค์และความน่าจะเป็นที่จะเกิดอุปสงค์ต่อช่วงคาบเวลา $T + L = 23$ สัปดาห์

อุปสงค์ในช่วง $T + L = 23$ สัปดาห์	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม
6	0.0444	0.0444
7	0.0222	0.0666
⋮	⋮	⋮
21	0.0444	0.9334
22	0.0222	0.9556
23	0.0444	1.0000
ค่าเฉลี่ย $\sum(M_i P[M_i])$		13

พิจารณาตารางที่ 2 หากกำหนดระดับบริการลูกค้าต่อรอบที่ 95 เปอร์เซนต์ (ความน่าจะเป็นในการขาดแคลนวัสดุคงคลัง เท่ากับ 0.05) ค่าระดับวัสดุคงคลังสูงสุดที่ถูกเลือกมีค่าเท่ากับ 22 ชิ้น ดังนั้นที่ระดับบริการลูกค้าต่อรอบดังกล่าว ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อจึงคำนวณได้เท่ากับ $22 - 13 = 9$ ชิ้น

3.5 หน้าต่างการจำลองสถานการณ์

ตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลถูกพัฒนามาโปรแกรม Microsoft Excel โดยมีตัวแปรตัดสินใจ คือรอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน และระดับบริการลูกค้าต่อรอบ ตัวแปรตอบสนอง คือค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันที่เกิดขึ้นในแต่ละระดับของตัวแปรตัดสินใจ รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของตัวแบบจำลองสถานการณ์ดังกล่าว โดยจำแนกได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ 1 ข้อมูลนำเข้า ซึ่งประกอบด้วยค่าพารามิเตอร์ซึ่งเป็นค่าคงที่ (เซลล์ E2 ถึง E9) และค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณ (เซลล์ J2 ถึง J6) ทั้งนี้ระดับบริการลูกค้าต่อรอบ (เซลล์ E9) เป็นตัวแปรตัดสินใจซึ่งพิจารณาได้ว่าเป็นข้อมูลนำเข้าที่มีการปรับเปลี่ยนค่าในแต่ละระดับ ส่วนที่ 2 นโยบายวัสดุคงคลังและต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อปี (เซลล์ N2 ถึง N9) ประกอบด้วยรอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อ และระดับวัสดุคงคลังสูงสุด (เซลล์ N3 ถึง N4) ทั้งนี้รอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน (เซลล์ N2) เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีการปรับเปลี่ยนค่าในแต่ละระดับ สำหรับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นต่อปี (เซลล์ N5 ถึง N9) จำแนกได้เป็น ต้นทุนสินค้ารวม และต้นทุนแปรผันรวม ซึ่งประกอบด้วย ต้นทุนถือครองรวม ต้นทุนสั่งเติมเต็มรวม และต้นทุนขาดแคลนรวม ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นผลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์ในส่วนที่ 3 โดยมีรายละเอียดความหมาย ฟังก์ชันการคำนวณ แสดงดังตารางที่ 3

คำพารามิเตอร์นำเข้า			คำพารามิเตอร์นำเข้า (จำนวน)			นโยบายวัสดุคงคลัง				
อุปสงค์	ค่าเฉลี่ย	0.5577	อุปสงค์วัสดุคงคลังต่อปี (D)	29		รอบเวลาการเติมเต็ม (T+L)	23			
เลอัสท์	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.9637	ต้นทุนถือครองต่อชิ้นต่อปี (H)	1,129.96		ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อ (SS)	4			
ต้นทุนวัสดุคงคลังต่อชิ้น (C)	5.136		ต้นทุนถือครองต่อชิ้นต่อคาบเวลา (h)	21.73		ระดับวัสดุคงคลังสูงสุด (Emax)	17			
ต้นทุนส่งเสริมต่อครั้ง (S)	3,000		T Joint	17		ต้นทุนสินค้ารวม (บาท)	215,719.92			
ค่าคิดส่วนถือครอง (F)	0.2200		ช่วงเวลาบำรุงรอส่งเสริมร่วมกัน	23		ต้นทุนแปรปรวม	29,171.39			
ต้นทุนขาดวัสดุคงคลังต่อครั้ง (A)	1,541		อุปสงค์เฉลี่ยในช่วงเวลา T+L	13		- ต้นทุนถือครองรวม (บาท)	7,844.54			
ช่วงเวลา (L)	6					- ต้นทุนสั่งซื้อรวม (บาท)	9,000.00			
ห่วยกับบริการลูกค้า (CSL)	80					- ต้นทุนขาดแคลนรวม (บาท)	12,326.85			

ผลรวม	37	390	361	165	526	8	3	63	236,265	7,845	9,000	12,327	29,171
คาบเวลา	คาบเวลา	อุปสงค์	วัสดุคงคลัง (On Hand)	วัสดุคงคลัง (On Order)	ระดับวัสดุคงคลัง (Inventory Position)	จำนวนวัสดุคงคลัง	สั่ง (On, 1=)	จำนวนวัสดุคงคลัง	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับวัสดุคงคลังต่อคาบเวลา	ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย	ค่าใช้จ่าย
1	0.2939	0	13	13	0	13	0	0	66,770.45	282.49	0.00	0.00	282.49
2	0.4994	0	13	13	0	13	0	0	0.00	282.49	0.00	0.00	282.49
3	0.5702	0	13	13	0	13	0	0	0.00	282.49	0.00	0.00	282.49

รูปที่ 1 หน้าตาการจำลองสถานการณ์ สำหรับนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังตามรอบเวลา

ตารางที่ 3 คำอธิบาย การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลของนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังตามรอบเวลา

เซลล์	ข้อมูล	ฟังก์ชันการคำนวณ	คำอธิบาย
N3	ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อ	=LOOKUP(2,1/(\$V\$2:\$V\$16=\$E\$9)/(\$W\$2:\$W\$16=\$J\$5),(Z2:Z16))	การเลือกค่าปริมาณวัสดุคงคลังเนื่องจากค่าที่ได้จากเงื่อนไขตัวเลขสุ่มของตารางเงื่อนไขของอุปสงค์ต่อช่วงเวลา $T + L$ ที่รอบเวลาการเติมเต็มร่วมกันและระดับบริการลูกค้าต่อรอบที่แตกต่างกัน
N4	ระดับวัสดุคงคลังสูงสุด	=LOOKUP(2,1/(\$V\$2:\$V\$16=\$E\$9)/(\$W\$2:\$W\$16=\$J\$5),(X2:X16))	การเลือกค่าระดับวัสดุคงคลังสูงสุดจากค่าที่ได้จากเงื่อนไขตัวเลขสุ่มของตารางเงื่อนไขของอุปสงค์ต่อช่วงเวลา $T + L$ ที่รอบเวลาการเติมเต็มร่วมกันและระดับบริการลูกค้าต่อรอบที่แตกต่างกัน
C16	อุปสงค์	=ROUND(IF(RN<0.6923,0,IF(RN<0.8269,1,IF(RN<0.9327,2,IF(RN<0.9904,3,4,))),0)	ความต้องการใช้วัสดุคงคลังต่อคาบเวลา ซึ่งเป็นการสุ่มค่าอุปสงค์จากความน่าจะเป็นสะสม หากค่าของเลขสุ่มตั้งกล่าวมีค่าอยู่ในช่วงของเลขสุ่มค่าใด คาบเวลานั้นจะถูกกำหนดให้มีอุปสงค์เท่ากับอุปสงค์ซึ่งสอดคล้องกับช่วงของตัวเลขสุ่มนั้น
E17	วัสดุคงคลังปลายคาบเวลา	=ROUND((E2*O2)+O3,0)	ผลรวมของอุปสงค์เฉลี่ยต่อรอบเวลาการเติมเต็ม ($D \times T$) และปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อ (สำหรับค่าตั้งต้น)
E18	วัสดุคงคลังปลายคาบเวลา	=MAX(D18-C18,0)	วัสดุคงคลังปลายคาบเวลาเท่ากับวัสดุคงคลังต้นคาบเวลาลบด้วยอุปสงค์ ทั้งนี้หากอุปสงค์มากกว่าวัสดุคงคลังต้นคาบเวลา ค่าวัสดุคงคลังปลายคาบเวลาเท่ากับ 0
D18	วัสดุคงคลังต้นคาบเวลา	=IF(MOD(J17,\$E\$8)=1,E17+F17,E17)	หากถึงคาบเวลาเติมเต็ม (จำนวนวันรอส่งของคาบเวลาก่อนหน้าหารด้วยช่วงเวลา นำเหลือเศษเท่ากับ 1) วัสดุคงคลังต้นคาบเวลาที่พิจารณามีค่าเท่ากับวัสดุคงคลังปลายคาบเวลาก่อนหน้ารวมกับปริมาณเติมเต็ม หากไม่ถึงคาบเวลาเติมเต็ม วัสดุคงคลังต้นคาบเวลาที่พิจารณามีค่าเท่ากับวัสดุคงคลังปลายคาบเวลาก่อนหน้า
F18	วัสดุคงคลังสั่งแล้วรอเติมเต็ม	=IF(MOD(J17,\$E\$8)=1,0,IF(I17=1,\$N\$4-G17,F17))	หากคาบเวลาที่กำลังพิจารณาวัสดุคงคลังมาเติมเต็ม (จำนวนคาบเวลารอส่งของคาบเวลาก่อนหน้าหารด้วยช่วงเวลา นำเหลือเศษเท่ากับ 1) วัสดุคงคลังที่สั่งรอการเติมเต็มของคาบเวลาที่พิจารณา มีค่าเท่ากับ 0 หากคาบเวลาที่กำลังพิจารณา ให้พิจารณาว่า คาบเวลาก่อนหน้ามีคำสั่งเติมเต็มหรือไม่ หากมีคำสั่งเติมเต็ม วัสดุคงคลังที่สั่งรอการเติมเต็มของคาบเวลาที่พิจารณา มีค่าเท่ากับระดับวัสดุคงคลังสูงสุดลบกับระดับวัสดุคงคลังของคาบเวลาก่อนหน้า หากคาบเวลาก่อนหน้าไม่มีคำสั่งเติมเต็ม วัสดุคงคลังที่สั่งรอการเติมเต็มของคาบเวลาที่พิจารณา มีค่าเท่ากับจำนวนวัสดุคงคลังที่สั่งรอการเติมเต็มของคาบเวลาที่ก่อนหน้า
G18	ระดับวัสดุคงคลัง	=E18+F18	ระดับวัสดุคงคลังเท่ากับวัสดุคงคลังปลายคาบเวลารวมกับวัสดุคงคลังที่สั่งแล้วรอเติมเต็ม
H18	จำนวนวัสดุคงคลังขาดแคลน	=IF(C18>D18,C18-D18,0)	หากอุปสงค์ของคาบเวลาที่พิจารณา มีค่ามากกว่าวัสดุคงคลังต้นคาบเวลา จำนวนวัสดุคงคลังขาดแคลนมีค่าเท่ากับอุปสงค์ลบด้วยวัสดุคงคลังต้นคาบเวลา

ตารางที่ 3 คำอธิบาย การจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลของนโยบายเติมเต็มวัสดุคงคลังตามรอบเวลา (ต่อ)

เซลล์	ข้อมูล	ฟังก์ชันการคำนวณ	คำอธิบาย
I18	การตัดสินใจสั่ง	=IF(MOD(A18+\$E\$8,\$J\$5)=0,1,0)	หากมีการสั่งเติมเต็ม (ค่าของคาบเวลาที่พิจารณาบวกด้วยช่วงเวลานำ (\$E\$8)หารด้วยรอบเวลาเติมเต็มร่วมกัน (\$J\$5) เหลือเศษเท่ากับ 1) แสดงว่าคาบเวลาที่พิจารณาเป็นคาบเวลาเติมเต็ม ให้แสดงค่าการตัดสินใจเป็น "1" หากไม่มีการสั่งเติมเต็ม ให้แสดงค่าการตัดสินใจเป็น "0"
L18	ค่าใช้จ่ายถือครอง	=E18*\$J\$4	ค่าใช้จ่ายถือครองเท่ากับวัสดุคงคลังคงเหลือปลายคาบเวลาคูณด้วยต้นทุนถือครองต่อชิ้นต่อคาบเวลา (\$J\$4)
M18	ค่าใช้จ่ายสั่งเติมเต็ม	=IF(I18=1,\$E\$5,0)	หากมีการสั่งเติมเต็ม (การตัดสินใจสั่ง เท่ากับ 1) ค่าใช้จ่ายสั่งเติมเต็มเท่ากับต้นทุนการสั่งเติมเต็มต่อครั้ง
N18	ค่าใช้จ่ายการขาดแคลน	=H18*\$E\$7	ค่าใช้จ่ายการขาดแคลนเท่ากับจำนวนวัสดุคงคลังขาดแคลนคูณด้วยต้นทุนขาดแคลนต่อชิ้นต่อคาบเวลา (\$E\$7)

3.6 การเปลี่ยนระดับของตัวแปรตัดสินใจและการทำซ้ำในการจำลองสถานการณ์

การกำหนดระดับตัวแปรตัดสินใจ ค่าตัวแปรตอบสนอง และรอบการทำซ้ำในการจำลองสถานการณ์ ถูกทำโดยฟังก์ชัน YASAI ในการจำลองสถานการณ์พิจารณาตัวแปรตัดสินใจ 2 ตัวแปร คือ รอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน 3 ระดับ (12 17 และ 26 สัปดาห์) และระดับบริการลูกค้าต่อรอบ 5 ระดับ (80 85 90 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นจำนวนรูปแบบ (Scenario) ที่วิเคราะห์ ทั้งหมดจึงมี $3 \times 5 = 15$ รูปแบบ การเปลี่ยนค่าตัวแปรตัดสินใจที่แต่ละระดับถูกทำโดยคำสั่ง simParameter ตัวแปรตอบสนองในการจำลองสถานการณ์ประกอบด้วยต้นทุนถือครอง ต้นทุนสั่งเติมเต็ม ต้นทุนการขาดแคลน และต้นทุนแปรผันรวม การกำหนดค่าตัวแปรตอบสนอง ถูกทำโดยคำสั่ง simOutput ทั้งนี้การทำซ้ำในการจำลองสถานการณ์ถูกกำหนดที่ 1,000 รอบ ตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างการใช้คำสั่งในฟังก์ชัน YASAI ในส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ของรูปที่ 1

ตารางที่ 4 คำอธิบายการจำลองสถานการณ์โดยใช้ฟังก์ชัน YASAI

เซลล์	ข้อมูล	สูตรคำนวณ
E9	ระดับบริการลูกค้าต่อรอบ	=simParameter({80,85,90,95,99},"CSL",2)
J5	รอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน	=simParameter({12,17,26},"TBO",1)
O6	ต้นทุนแปรผันรวม	=simOutput(O12+SV2!O12+SV3!O12+SV4!O12+SV5!O12,"Total Variable Cost")

4. ผลดำเนินงานวิจัย

แบบจำลองสถานการณ์ที่ถูกพัฒนาขึ้น ได้ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าของรอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน และระดับบริการลูกค้าต่อรอบที่เหมาะสม จากการเปลี่ยนค่าตัวแปรตัดสินใจ รอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน 3 ระดับ และระดับบริการลูกค้าต่อรอบ 5 ระดับ ค่าต้นทุน

แปรผันรวมของทั้ง 15 รูปแบบที่เกิดขึ้น จากการทำซ้ำ 1,000 รอบในแต่ละรูปแบบ แสดงดังตารางที่ 5

พิจารณาตารางที่ 5 รูปแบบที่ให้ค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมของระบบต่ำที่สุด คือ นโยบายเติมเต็ม ($T = 17$ สัปดาห์, $CSL = 80\%$) ซึ่งรูปแบบดังกล่าวมี 95 เปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่นของค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมเป็น (45008.43, 45374.58) บาทต่อปี รูปแบบดังกล่าวจึงถูกคัดเลือกเป็นนโยบายเติมเต็มที่เหมาะสมสำหรับระบบ (ทั้งนี้สังเกตว่าช่วงความเชื่อมั่นของนโยบายเติมเต็ม ($T = 17$ สัปดาห์, $CSL = 80\%$) มีส่วนทับซ้อนกับช่วงความเชื่อมั่นกับนโยบายเติมเต็ม ($T = 17$ สัปดาห์, $CSL = 85\%$) จึงอาจไม่สามารถสรุปได้ว่าสองนโยบายมีความแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามนโยบาย ($T = 17$ สัปดาห์, $CSL = 80\%$) ถูกคัดเลือกในกรณีนี้ เนื่องจากมีค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมต่ำกว่า)

ตารางที่ 5 ต้นทุนแปรผันรวมจากการจำลองสถานการณ์ 15 รูปแบบ

รูปแบบ (T, CSL)	ต้นทุนแปรผันรวม (บาท)		
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	95% ช่วงความเชื่อมั่น
(12, 80%)	45,932.04	3,047.69	(45743.15, 46120.94)
(12, 85%)	46,878.46	2,193.61	(46742.51, 47014.42)
(12, 90%)	47,555.61	1,868.72	(47439.78, 47671.43)
(12, 95%)	50,541.74	1,516.62	(50447.74, 50635.74)
(17, 80%)	45,191.51	2,953.85	(45008.43, 45374.58)
(17, 85%)	45,413.79	2,287.46	(45272.01, 45555.56)
(17, 90%)	47,078.00	2,011.20	(46953.35, 47202.66)
(17, 95%)	48,911.61	1,892.92	(48794.29, 49028.93)
(17, 99%)	53,280.14	1,975.90	(53157.68, 53402.61)
(26, 80%)	46,016.17	2,449.77	(45864.34, 46168.01)
(26, 85%)	46,925.68	2,459.15	(46773.27, 47078.10)
(26, 90%)	47,827.64	2,502.87	(47672.52, 47982.77)

ตารางที่ 5 ต้นทุนแปรผันรวมจากการจำลองสถานการณ์ 15 รูปแบบ (ต่อ)

รูปแบบ (T, CSL)	ต้นทุนแปรผันรวม (บาท)		
	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	95% ช่วงความเชื่อมั่น
(26, 95%)	49,825.07	2,383.78	(49677.33, 49972.82)
(26, 99%)	50,798.20	2,466.46	(50645.33, 50951.07)

เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของนโยบายเพิ่มเติมวัสดุคงคลังที่นำเสนอ ($T = 17, CSL = 80\%$) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากนโยบายดังกล่าวได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากนโยบายเดิมวัสดุคงคลังเดิม ซึ่งเป็นนโยบาย Max-Min โดยมีค่าพารามิเตอร์ (Max, Min) ของวัสดุคงคลัง $SV1, SV2, SV3, SV4$ และ $SV5$ เป็น (6, 3) (6, 2) (6, 2) (4, 2) และ (12,6) ตามลำดับ ผลเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต้นทุนที่เกิดขึ้นของสองนโยบายจากการจำลองสถานการณ์ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าใช้จ่ายต้นทุนที่เกิดขึ้นของสองนโยบายจากการจำลองสถานการณ์

ค่าใช้จ่าย	95% ช่วงความเชื่อมั่นค่าใช้จ่าย (บาท)	
	นโยบายเดิม	นโยบายที่นำเสนอ
ต้นทุนถือครอง	(6939.37, 6981.95)	(22571.84, 22780.71)
ต้นทุนการสั่งซื้อ	(37944.22, 38223.78)	9000
ต้นทุนขาดแคลน	(48551.15, 48600.85)	(13310.23, 13720.23)
ต้นทุนแปรผันรวม	(93208.95, 94032.37)	(45008.43, 45374.58)

จากตารางที่ 6 นโยบายที่นำเสนอมีช่วงความเชื่อมั่นของค่าใช้จ่ายต้นทุนต่าง ๆ ไม่ทับซ้อนกับนโยบายเดิม ทั้งนี้สามารถพิจารณาได้ว่านโยบายที่นำเสนอมีต้นทุนสั่งซื้อ ต้นทุนขาดแคลน และต้นทุนแปรผันรวมที่ต่ำกว่า หากพิจารณาค่าเฉลี่ยต้นทุนแปรผันรวม นโยบายที่นำเสนอมีค่าต้นทุนแปรผันรวมต่ำกว่านโยบายเดิม 48,429.16 บาทต่อปี คิดเป็นร้อยละ 51.73 ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวเป็นผลจากต้นทุนการสั่งซื้อและต้นทุนขาดแคลน

5. สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยทำการพัฒนาตัวแบบจำลองสถานการณ์มอนติคาร์โลสำหรับกำหนดนโยบายเพิ่มเติมวัสดุคงคลังร่วมกัน กรณีระบบมีอุปสงค์ที่ไม่แจจแจงแบบปกติ ตัวแบบจำลองสถานการณ์ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อกำหนดรอบเวลาการเติมเต็มร่วมกัน และระดับบริการที่เหมาะสมของวัสดุคงคลัง ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายแปรผันรวมของระบบลดลง เนื่องจากระบบมีอุปสงค์ที่ไม่แจจแจงแบบปกติ การสุ่มค่าอุปสงค์แต่ละคาบเวลาจึงถูกทำโดยหลักการของการแจจแจงเชิงประจักษ์ ปริมาณวัสดุคงคลังเมื่อสามารถกำหนดได้จากผลต่างของระดับวัสดุคงคลังสูงสุดที่ระดับบริการลูกค้าที่กำหนด กับอุปสงค์เฉลี่ยช่วงเวลา $T + L$ แบบจำลอง

สถานการณ์ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับระบบกรณีศึกษาที่มีวัสดุคงคลังห้าประเภทที่สั่งเติมเต็มจากผู้ขายรายเดียวกัน โดยพิจารณาตัวแปรตัดสินใจ คือ รอบเวลาการเติมเต็มร่วมกันสามระดับ (12 17 และ 26 สัปดาห์) และระดับบริการลูกค้าต่อรอบห้าระดับ (80 85 90 95 และ 99 เปอร์เซ็นต์) ดังนั้นจึงมีรูปแบบที่วิเคราะห์ทั้งสิ้น 15 รูปแบบ โดยมีค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมที่เกิดขึ้นเป็นตัวแปรตอบสนอง การจำลองสถานการณ์มีรอบการทำซ้ำ 1,000 รอบ ที่แต่ละรูปแบบของตัวแปรตัดสินใจ จากผลการจำลองสถานการณ์พบว่า นโยบายเพิ่มเติมที่มีค่า $T = 17$ สัปดาห์ และ $CSL = 80\%$ มีค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมต่ำที่สุด โดยมี 95 เปอร์เซ็นต์ช่วงความเชื่อมั่นของค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมเท่ากับ (45008.43, 45374.58) บาทต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับนโยบายปัจจุบันของระบบกรณีศึกษาซึ่งเป็นนโยบาย Max-Min พบว่านโยบายที่นำเสนอมีค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันรวมที่ต่ำกว่า 51.73 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Wisut Supithak. Inventory Planning (Theory and Simulation), Chulalongkorn University Press, Bangkok, 2022.
- [2] F. W. Harris. 1913. "How many parts to make at once". Factory: The Magazine of Management, Vol. 10 (2): 135–136.
- [3] M. Sebatjane and O. Adetunji. 2019. "Economic Order Quantity Model for Growing Items with Imperfect Quality". Operations Research Perspectives, Vol. 6: 1-10.
- [4] H. K. Alfares and A. M. Ghaithan. 2019. "EOQ and EPQ Production-Inventory Models with Variable Holding Cost: State-of-the-Art Review". Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 44: 1737–1755.
- [5] M. Kumari and K. D. Pijus. 2022. "An EOQ Model for Deteriorating Items Analyzing Retailer's Optimal Strategy Under Trade Credit and Return Policy with Nonlinear Demand and Resalable Returns". An International Journal of Optimization and Control: Theories & Applications, Vol. 12 (1): 47-55.
- [6] R.J. Tersine. Principles of Inventory and Materials Management, 4th ed., PTR Prentice-Hall, Inc., 1993.
- [7] T.E. Vollmann, W.L. Berry and D.C. Whybark. Manufacturing Planning and Control Systems, 4th ed., New York: McGraw-Hill, 1997.
- [8] S. Chopra. Supply Chain Management: Strategy Planning, and Operations, 7th ed., New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2010.

- [9] M. Khouja and S. Goyal S. 2008. "A Review of the Joint Replenishment Problem Literature: 1989—2005". European Journal of Operational Research, Vol. 186: 1-16.
- [10] Nutthapol Sankaew and Kannapha Amaruchkul. 2019. "A Multi-item Joint Inventory Replenishment Policy with Full Truckload Case Study of the Office Supplies E-Commerce Store in Thailand". Journal of Applied Statistics and Information Technology, Vol. 7 (2): 18-30.
- [11] Wisut Supithak and Sutheera Purivekin. 2017. "Determination of Joint Inventory Replenishment Policy using Simulation Model for the Retail System having Multiple Perishable Products and Last-in First-out Customer Behavior". Thai Journal of Operations Research, Vol. 5 (2): 22-32.
- [12] S. Siswanto and G.P. Utama. 2017. "Pengamanan Ruangan Dengan DFRDuino Uno R3, Sensor MC-38, PIR, Notifikasi SMS, Twitter". Journal RESTI Rekayasa Sistem dan Teknologi Informasi, Vol. 2 (3): 697-707.
- [13] P. Penpakkol and T. Intarakumthornchai. 2018. "Inventory Management of Spare Parts Under Uncertain Demand: A Case Study of Particle Board Manufacturer (in Thai)". The Journal of KMUTNB, Vol. 28 (1): 9–22.
- [14] J. Eckstein. "Version 3.0 User Guide, YASAI Yet Another Simulation Add-in". Online document <http://www.http://www.yasai.rutgers.edu/yasai-guide-30.html> retrieved on November 24, 2022.

การศึกษาสมบัติของจีโอพอลิเมอร์มวลเบาที่ผลิตจากเถ้าลอยและเศษอลูมิเนียมฟอยล์

Study on The Property of Lightweight Geopolymer Produced from Fly Ash Mixed Aluminum Foil

Scrap

จรรณ พรหมสะโร^{1*} รัศมี แสงศิริมงคลยิ่ง² อรรถพล แก้ววิลัย³ ชญานี ทิพยเสมอ³

¹สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

²สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

³ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเชื่อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

E-mail: jaroon.phd19@gmail.com*

Jaroon Promsaro^{1*}, Ratsamee Sangsirimongkolying², Attaphon Kaewwilai³, Chayanee Tippayasam³

¹Doctor of Philosophy Program, Technology Management, Faculty of Industrial Technology, Phranakhon Rajabhat University

² Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Rajabhat University

³ Department of Welding Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

E-mail: jaroon.phd19@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ขอเสนอการศึกษาสมบัติของจีโอพอลิเมอร์มวลเบาที่ผลิตจากเถ้าลอยและเศษอลูมิเนียมที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรม โดยเปรียบเทียบผลระหว่างจีโอพอลิเมอร์ที่ปราศจากการเติมอลูมิเนียม (จีโอพอลิเมอร์ควบคุม: CGAI) กับจีโอพอลิเมอร์ที่เติมอลูมิเนียมฟอยล์ ในปริมาณ 0.2 - 1.0 phr ทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกล ได้แก่ ความหนาแน่น สภาพรุกรานปรากฏ การดูดซึมน้ำ และกำลังรับแรงอัด จากผลการทดสอบ พบว่า การเติมอลูมิเนียมฟอยล์ลงในปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันจะทำให้เกิดแก๊สและฟองอากาศที่ขึ้นงานจีโอพอลิเมอร์ จากผลการทดสอบพบว่า จีโอพอลิเมอร์ที่ผ่านการเติมอลูมิเนียมในปริมาณ 0.2 - 1.0 phr มีค่าความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1768 - 1332 kg/m³ สภาพรุกรานปรากฏ 20.61 - 16.83 เปอร์เซ็นต์ และค่าการดูดซึมน้ำ 10.14 - 7.72 เปอร์เซ็นต์ โดยมีกำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 72 - 225 kg/cm² นอกจากนี้ ยังพบว่าการใช้อลูมิเนียมฟอยล์ในอัตราส่วน 0.6 0.8 และ 1.0 phr ส่งผลให้ได้วัสดุจีโอพอลิเมอร์มวลเบาที่มีสมบัติด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และกำลังรับแรงอัด เทียบเคียงได้กับเกณฑ์ข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย มอก. 2601-2556 สำหรับคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิด C16 C14 และ C14 ตามลำดับ ซึ่งเห็นว่าวัสดุจีโอพอลิเมอร์มวลเบาที่ผลิตจากเถ้าลอยและเศษอลูมิเนียมฟอยล์นั้นมีสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

คำสำคัญ: จีโอพอลิเมอร์มวลเบา เถ้าลอย อลูมิเนียมฟอยล์

Abstract

This research presented the study on the property of lightweight geopolymer produced from fly ash and aluminum scrap which was industrial wastes. The result of geopolymers without aluminum addition (controlled geopolymer: CGAI) was used for compared with the results of geopolymers added with 0.2 - 1.0 phr of aluminum foil. The physical and mechanical properties were tested as follows; density, porosity, water absorption, and compressive strength. From the testing results, it was found that adding aluminum foil to the polymerization caused gas and air bubbles in the geopolymer specimen. The geopolymers with added aluminum at 0.2 - 1.0 phr had density values in the range of 1768 - 1332 kg/m³, the apparent porosity of 20.61 - 16.83 % and water absorption of 7.29-22.25 %, with compressive strength in the range of 72 - 225 kg/cm². In addition, it was found that the use of aluminum foil at the ratio of 0.6, 0.8, and 1.0 phr resulted in lightweight geopolymer materials with properties in terms of density, water absorption, and compressive strength within the requirements of the Thai Industrial Standards TIS 2601-2556 for lightweight concrete blocks in the types of C16, C14, and C14, respectively. This suggested that lightweight geopolymers produced from fly ash and aluminum foil scrap had suitable properties for use in the construction industry.

Keywords: Lightweight geopolymer, Fly ash, Aluminum foil

1. บทนำ

จีโอพอลิเมอร์ (Geopolymer) เป็นวัสดุสังเคราะห์ที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารประกอบอัลคาไลน์และวัสดุอะลูมิเนียมซิลิเกตทำให้เกิดโครงสร้างสายโซ่โมเลกุลที่มีโครงสร้าง 3 มิติแบบอสัณฐาน (Amorphous) ที่ประกอบด้วยพันธะระหว่าง Si-O-Al [1] ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานทดแทนแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) [2] จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า การนำวัสดุปอซโซลานมาผสมร่วมกับสารละลายเบสความเข้มข้นสูงจะทำให้ได้วัสดุจีโอพอลิเมอร์ชนิดใหม่ที่มีสมบัติทดแทนปูนซีเมนต์ที่มีสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลเทียบเท่ากับปูนซีเมนต์ในทางการค้า [3-5] สารตั้งต้นที่ใช้ในการสังเคราะห์วัสดุจีโอพอลิเมอร์นั้นได้มาจากแหล่งวัตถุดิบที่หลากหลาย อาทิเช่น ดินขาวเผา (Matakaolin) จากธรรมชาติ หรือตะกรัน (Slag) จากอุตสาหกรรมการหลอมเหล็ก เป็นต้น

เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นผลผลิตพลอยได้จากอุตสาหกรรมถ่านหินที่นิยมใช้ในการผลิตจีโอพอลิเมอร์ เนื่องจากเถ้าลอยอุดมไปด้วยซิลิกา (Silica: SiO₂) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (aluminium oxide: Al₂O₃) ที่สามารถใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโซเดียมซิลิเกต โดยพบว่าจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยที่ผ่านการบ่ม (Curing) เป็นเวลา 28 วัน จะมีสมบัติเช่นเดียวกับซีเมนต์ ซึ่งสามารถนำมาผลิตเป็นคอนกรีตและสามารถใช้เป็นวัสดุก่อสร้างได้ตามมาตรฐานของประเทศอิสราเอล [6] นอกจากนี้ Chindaprasit และ Rattanasak (2017) ได้ศึกษาการผลิตจีโอพอลิเมอร์โดยใช้เถ้าลอยผสมโซเดียมไฮดรอกไซด์ผ่านการบ่มด้วยความร้อน พบว่า การบ่มด้วยความร้อนได้ช่วยเพิ่มการสร้างโครงสร้างสายโซ่ของ Si-O-Al ของจีโอพอลิเมอร์และมีความแข็งแรงเทียบเท่ากับจีโอพอลิเมอร์ที่บ่มด้วยอุณหภูมิห้อง [7] สำหรับแนวทางการศึกษาเกี่ยวกับจีโอพอลิเมอร์นั้น ได้มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงความแข็งแรงและความทนทานของจีโอพอลิเมอร์ รวมถึงการพิจารณาถึงอิทธิพลจากสารตั้งต้นและสารละลายต่างที่ส่งผลต่อสมบัติทางวิศวกรรมของจีโอพอลิเมอร์เพื่อให้เหมาะสมสำหรับการใช้งาน [8] อย่างไรก็ตาม การพัฒนาจีโอพอลิเมอร์ให้มีน้ำหนักเบาและมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการใช้งานยังคงเป็นประเด็นวิจัยที่ได้รับความสนใจอย่างยิ่งทั้งในภาคส่วนงานวิชาการและภาคอุตสาหกรรม

อลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminum Foil) คือ โลหะอะลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการรีดร้อน (Hot-rolling Process) เป็นแผ่นบางที่มีผิวมันวาวและผิวด้าน สามารถนำไปผลิตเป็นหลอดบรรจุภัณฑ์สำหรับซิลิโคนที่เป็นวัสดุกันรั่วซึมในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง อย่างไรก็ตาม หลอดบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมฟอยล์ที่ผ่านการใช้งานแล้วจะมีเศษซิลิโคนติดแน่นจึงไม่สามารถนำกลับไปแปรรูปเพื่อใช้งานต่อได้ ทำให้หลอดบรรจุภัณฑ์อะลูมิเนียมฟอยล์กลายเป็นขยะจำนวนมากที่ผู้ประกอบการทำได้เพียงกำจัดทิ้ง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดที่จะนำอะลูมิเนียมที่เป็นของเสียจากแหล่งดังกล่าวมาเป็นโจทย์วิจัยเพื่อ

นำอะลูมิเนียมกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เนื่องจากอะลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีมูลค่าและมีสมบัติเด่นมากมาย จากการศึกษาของ D. Bajare และคณะวิจัย ได้นำตะกรันอะลูมิเนียมกับเศษแก้วเหลือทิ้งมาใช้ในการผลิตอิฐมวลเบาเพื่อประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้าง โดยพบว่า ตะกรันอะลูมิเนียมทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มฟอง ส่งผลให้เกิดรูพรุนในโครงสร้าง ซึ่งทำให้อิฐที่ผลิตได้มีความหนาแน่นต่ำ [9] นอกจากนี้ ยังพบว่าการนำตะกรันอะลูมิเนียมมาผลิตอิฐฉนวนทนไฟโดยผสมร่วมกับเถ้าลอย 2 ประเภท ได้แก่ Fly Ash และ Red Mud ซึ่งผลการวิจัย พบว่าสามารถผลิตอิฐฉนวนทนไฟที่มีสมบัติค่าความหนาแน่นต่ำ มีความพรุนสูง การนำความร้อนต่ำ โดยใช้ตะกรันอะลูมิเนียมเพียง 7.5 เปอร์เซ็นต์ รวมถึงงานวิจัยที่ใช้ตะกรันอะลูมิเนียมเป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุทนไฟ [10-12]

ด้วยเหตุผลข้างต้น งานวิจัยนี้จึงขอเสนอการผลิตจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยและเศษอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง โดยมุ่งเน้นที่การศึกษาผลของปริมาณอะลูมิเนียมต่อสมบัติของจีโอพอลิเมอร์ ได้แก่ ความหนาแน่น รูพรุน การดูดซึมน้ำ และแรงอัด ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของสารตั้งต้นที่ใช้สำหรับผลิตจีโอพอลิเมอร์มวลเบาที่มีการดูดซึมน้ำและกำลังอัดที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างและอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องได้ต่อไป

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 วัสดุและเครื่องมือ

เถ้าลอย (Fly Ash) จากโรงไฟฟ้า จ.ระยอง, หลอดอะลูมิเนียมฟอยล์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide; NaOH) และโซเดียมซิลิเกต (Sodium Silicate; Na₂SiO₃), ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) บริษัท JSR รุ่น JSOF-Series Convection Oven, เครื่องทดสอบแรงกด (Compressive strength tester) HOUNSFIELD รุ่น H50KS, เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง Superior Mini Digital Platform Scale รุ่น I-2000 และเวอร์เนียร์ดิจิตอล

2.2 การเตรียมจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยและอะลูมิเนียมฟอยล์

ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 8 โมลาร์ กับโซเดียมซิลิเกต และผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นผสมกับเถ้าลอยในอัตราส่วนร้อยละ 20:20:60 โดยน้ำหนัก เป็นเวลา 5 นาที จนสารละลายเปลี่ยนลักษณะเป็นเจล จากนั้น เติมน้ำอะลูมิเนียมฟอยล์ ปริมาณ 0.0 - 1.0 phr (อะลูมิเนียมฟอยล์ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 350 °C เพื่อสารเติมแต่งและซิลิโคน) ตามสูตรดังแสดงในตารางที่ 1 จากนั้น รอจนเกิดปฏิกิริยามีฟองอากาศ ทิ้งไว้ 20 นาที จึงเทลงแบบหล่อรูปภาชนะขนาด 2.5x2.5x2.5 cm³ บ่มทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเฉลี่ยประมาณ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง แล้วจึงทำการถอดแบบหล่อออกได้เป็นจีโอพอลิเมอร์มวลเบาและบ่มเป็นเวลา 38 วัน จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลต่อไป

ตารางที่ 1 อัตราส่วนของสารตั้งต้นสำหรับผลิตจีโอพอลิเมอร์มวลเบา

ชุดตัวอย่าง	อัตราส่วนสารหลัก (ร้อยละโดยน้ำหนัก)			ปริมาณอลูมิเนียมฟอยล์ (phr)
	เถ้าลอย	โซเดียมซิลิเกต (Na ₂ SiO ₃)	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 8 M	
CGAI	60	20	20	0.0
02GAI	60	20	20	0.2
04GAI	60	20	20	0.4
06GAI	60	20	20	0.6
08GAI	60	20	20	0.8
10GAI	60	20	20	1.0

2.3 การทดสอบจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยและอลูมิเนียมฟอยล์

นำจีโอพอลิเมอร์ที่เตรียมได้ตามสูตรตารางที่ 1 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความหนาแน่น สภาพพูนฟูพอง และการดูดซึมน้ำ และสมบัติเชิงกล ได้แก่ กำลังรับแรงอัด โดยการชั่งน้ำหนักและวัดขนาดชิ้นงานตัวอย่างที่เตรียมได้จำนวน 24 ชิ้นงาน เพื่อคำนวณปริมาตรและความหนาแน่นแห้งเฉลี่ยตาม มอก. 2601-2556 [13] จากนั้นชั่งน้ำหนักชิ้นงานในน้ำ คำนวณสภาพพูนฟูพองเฉลี่ยและทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด [14]

2.3.1 การทดสอบความหนาแน่น

ทดสอบความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างทดสอบจีโอพอลิเมอร์รูปทรงลูกบาศก์ขนาด 2.5x2.5x2.5 cm³ โดยคำนวณได้จากการนำตัวอย่างทดสอบไปชั่งเพื่อทราบน้ำหนักจากนั้นนำไปหารด้วยปริมาตรของตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$BD = \frac{M_D}{M_W - M_S} \quad (1)$$

เมื่อ BD คือค่าความหนาแน่น (kg/m³), M_D เป็นน้ำหนักชิ้นงานทดสอบแห้ง (กรัม), M_W เป็นน้ำหนักชิ้นงานทดสอบเปียก (กรัม) และ M_S เป็นน้ำหนักชิ้นงานทดสอบในน้ำ (กรัม)

2.3.2 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

ทดสอบการดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์ที่เตรียมได้โดยการแช่ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 2.5x2.5x2.5 cm³ ในน้ำ จากนั้นนำตัวอย่างทดสอบไปอบให้แห้งจนได้มวลคงที่ที่อุณหภูมิ 105±5°C เป็นเวลาไม่น้อยกว่า 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักตัวอย่าง ค่าที่ได้คือมวลของตัวอย่างทดสอบเมื่อแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างทดสอบแช่ในน้ำสะอาดให้ท่วมเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำตัวอย่างทดสอบขึ้นจากน้ำใช้ผ้าสะอาดซับน้ำส่วนเกินที่ผิวของตัวอย่างทดสอบและชั่งน้ำหนักภายในเวลา 3 นาที ค่าที่ได้คือมวลตัวอย่างทดสอบเมื่อเปียก ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2) โดยทำการทดสอบ 3 ตัวอย่าง สำหรับ

แต่ละกลุ่มตัวอย่าง ดังสมการที่ (2)

$$W_A = \frac{M_W - M_D}{M_D} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ W_A คือค่าการดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์), M_D เป็นน้ำหนักชิ้นงานทดสอบแห้ง (กรัม), และ M_W เป็นน้ำหนักชิ้นงานทดสอบเปียก (กรัม)

2.3.3 การทดสอบหาค่าสภาพพูนฟูพอง

ทดสอบสภาพพูนฟูพองของตัวอย่างทดสอบจีโอพอลิเมอร์รูปทรงลูกบาศก์ขนาด 2.5x2.5x2.5 cm³ ที่ด้านเรียบของชิ้นทดสอบ

$$AP = \frac{M_W - M_D}{M_W - M_S} \times 100 \quad (3)$$

เมื่อ AP คือค่าสภาพพูนฟูพอง (kg/cm²), M_D เป็นน้ำหนักชิ้นงานทดสอบแห้ง (กรัม), M_W เป็นน้ำหนักชิ้นงานทดสอบเปียก (กรัม) และ M_S เป็นน้ำหนักชิ้นงานทดสอบในน้ำ (กรัม)

2.3.4 การทดสอบกำลังรับแรงอัด

ทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างทดสอบจีโอพอลิเมอร์รูปทรงลูกบาศก์ขนาด 2.5x2.5x2.5 cm³ โดยใช้หน้าที่เรียบของชิ้นทดสอบ 2 ด้านตรงข้ามกันเป็นด้านที่รับแรงอัด (ผิวด้านหน้าเคลือบด้วยซิลิเฟอให้เรียบและตั้งฉากกับแนวแกนของแรงกด) ให้น้ำหนักกระทำด้วยการควบคุมความเร็วของหัวกดที่อัตราคงที่จนกระทั่งตัวอย่างเกิดการพิบัติและไม่สามารถรับแรงอัดที่สูงขึ้นได้อีกตามมาตรฐาน คำนวณกำลังรับแรงอัดได้ตามสมการที่ (4)

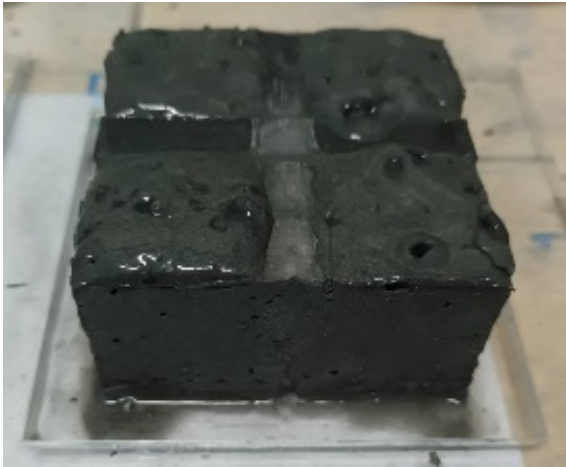
$$C_S = \frac{P_U}{A} \quad (4)$$

เมื่อ C_S คือกำลังรับแรงอัด (kg/cm²) P_U คือน้ำหนักกดสูงสุดของชิ้นทดสอบ (kg) และ A คือพื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของตัวอย่างทดสอบ (cm²) ทั้งนี้มาตรฐาน มอก. 2601- 2556 [13] กำหนดให้ทำการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 2.5x2.5x2.5 cm³ จึงต้องทำการปรับเทียบค่ากับตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์โดยกำลังรับแรงอัดของจีโอพอลิเมอร์รูปทรงลูกบาศก์มีค่าประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ของรูปทรงลูกบาศก์

3. ผลการทดลอง

3.1 การเตรียมจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยและอลูมิเนียมฟอยล์

หลังทำการถอดแบบหล่อออกได้เป็นจีโอพอลิเมอร์เพลส มีลักษณะเป็นก้อนสี่เหลี่ยมที่มีความแข็ง และมีรูปพูนฟูพองที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ผิวเรียบด้านเรียบเป็นเพราะว่าแบบหล่อเป็นอะคริลิกในส่วนด้านบนจะไม่เรียบ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาระหว่างการเติมผงอลูมิเนียมฟอยล์เข้ากับเถ้าลอยที่ผสมสารละลายต่าง จึงก่อให้เกิดเป็นฟองอากาศและแทรกตัวอยู่ภายในก้อนตัวอย่าง และมีความพูนฟู ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ลักษณะของจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยและอลูมิเนียมฟอยล์

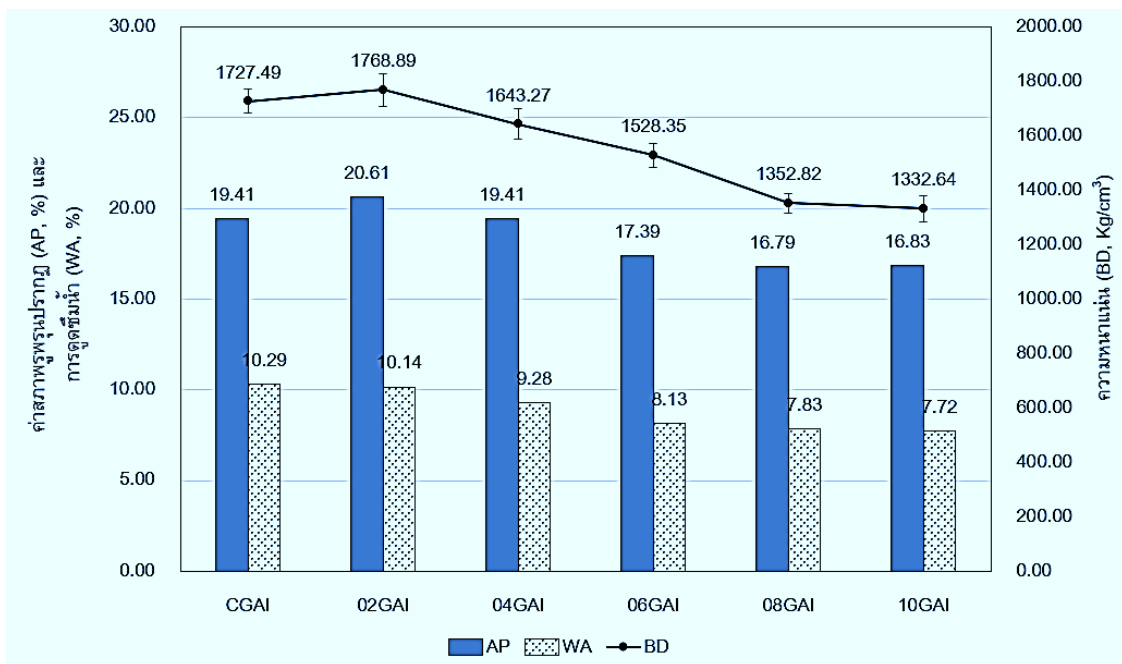
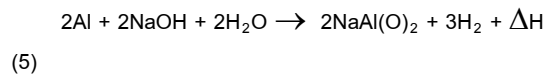
3.2 การทดสอบสมบัติจีโอพอลิเมอร์จากเถ้าลอยและอลูมิเนียมฟอยล์

รูปที่ 2 แสดงผลทดสอบความหนาแน่น สภาพพูนปรากฏ และการดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์ โดยพบว่าจีโอพอลิเมอร์ควบคุมที่ปราศจากการเติมอลูมิเนียม (CGAI) และจีโอพอลิเมอร์ที่เติมอลูมิเนียมฟอยล์ 0.2 phr (02GAI) มีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกัน (1727 และ 1768 kg/m³ ตามลำดับ) เมื่อเพิ่มปริมาณอลูมิเนียมฟอยล์เป็น 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 phr พบว่า ความหนาแน่นของจีโอพอลิเมอร์ (04GAI, 06GAI, 08GAI, 10GAI) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (1643, 1528, 1352, 1332 kg/m³ ตามลำดับ)

จากผลการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ พบว่า จีโอพอลิเมอร์ที่เติมอลูมิเนียมฟอยล์ในช่วง 0.2 - 1.0 phr มีแนวโน้มทำให้ค่าการดูดซึมน้ำลดลง (10.14-7.72%) เมื่อเปรียบเทียบกับจีโอพอลิเมอร์ควบคุมที่ปราศจากการเติมอลูมิเนียม (CGAI) ที่มีค่าการดูดซึมน้ำ 10.29%

เมื่อทดสอบค่าสภาพพูนปรากฏ พบว่า จีโอพอลิเมอร์ผสมเถ้าลอยที่เติมอลูมิเนียมฟอยล์ 0.2 phr (02GAI) นั้นมีค่าร้อยละสภาพพูนปรากฏสูงที่สุด (20.61%) เมื่อเพิ่มปริมาณอลูมิเนียมฟอยล์ 0.4 phr (04GAI) พบว่า ค่าร้อยละสภาพพูนปรากฏใกล้เคียงกับจีโอพอลิเมอร์ควบคุมที่ปราศจากการเติมอลูมิเนียม (CGAI) (19.41%) จากนั้น เมื่อเพิ่มปริมาณอลูมิเนียมฟอยล์เป็น 0.6 0.8 และ 1.0 phr พบว่าสภาพพูนปรากฏของจีโอพอลิเมอร์ 06GAI, 08GAI, 10GAI ลดลงที่ 17.39% 16.79% และ 16.83%

จากผลทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และสภาพพูนปรากฏของจีโอพอลิเมอร์ (รูปที่ 2) สามารถอภิปรายผลการทดสอบได้ดังนี้ การเติมอลูมิเนียมในปริมาณ 0.2 phr นั้นส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างอลูมิเนียมและสารละลายเบสส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนและเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้นระหว่างการเตรียมจีโอพอลิเมอร์ดังสมการที่ (5) [14] ทำให้ชิ้นงานจีโอพอลิเมอร์ที่เติมอลูมิเนียมฟอยล์ 0.2 phr (02GAI) มีสภาพพูนปรากฏสูงมากที่สุด เนื่องจากแก๊สไฮโดรเจนนั้นแทรกตัวขึ้นมابينผิวชิ้นงาน แต่เมื่อพิจารณาจากผลของค่าความหนาแน่นและการดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์ที่เติมอลูมิเนียมฟอยล์ 0.2 phr (02GAI) พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับจีโอพอลิเมอร์ควบคุมที่ปราศจากการเติมอลูมิเนียม (CGAI) ซึ่งเป็นไปได้ว่าแก๊สไฮโดรเจนนั้นลอยตัวขึ้นที่ผิวของชิ้นงานและมีการแทรกตัวระหว่างชิ้นงานน้อย เนื่องจากความร้อนจากปฏิกิริยาทำให้มวลของจีโอพอลิเมอร์มีความเข้มข้นสูงและขยายตัวได้เติมปริมาตรของแบบแม่พิมพ์

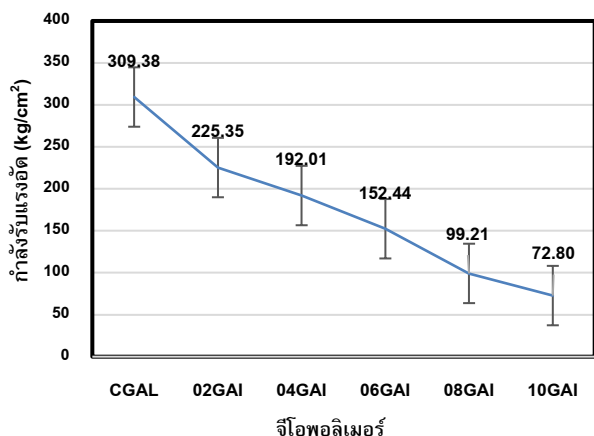


รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง (BD) ความหนาแน่น (AP) สภาพรุกรุนปรากฏ และ (WA) การดูดซึมน้ำของจีโอพอลิเมอร์

ในกรณีของจีโอพอลิเมอร์ที่เติมอลูมิเนียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้น 0.4 - 1.0 phr พบว่า ค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และสภาพรุกรุน ปรากฏนั้นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งให้เห็นว่าชั้นงานจีโอพอลิเมอร์ที่เติมอลูมิเนียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้นนั้นจะทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนปริมาณเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ชั้นงานมีรูพรุนทั้งบริเวณด้านในและด้านนอกของชั้นงาน และความร้อนจากปฏิกิริยาที่สูงมากขึ้นนั้นได้ส่งผลให้อัตราเร็วของการเย็นตัวของชั้นงานสูงทำให้ชั้นงานอาจเกิดการลดปริมาตรอย่างรวดเร็วจนเกิดช่องว่างภายในชั้นงาน ทำให้จีโอพอลิเมอร์ที่เติมอลูมิเนียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้นนั้นมีค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และสภาพรุกรุน ที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับจีโอพอลิเมอร์ควบคุมที่ปราศจากการเติมอลูมิเนียม (CGAI)

จากผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด (รูปที่ 3) พบว่าจีโอพอลิเมอร์ แก้วลอยผสมอลูมิเนียมฟอสเฟตในช่วง 0.2 - 1.0 phr มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง 72 - 225 kg/cm² ซึ่งมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับ CGAI ที่เป็นจีโอพอลิเมอร์ควบคุมที่ปราศจากการเติมอลูมิเนียม (309 kg/cm²) ซึ่งกำลังรับแรงอัดที่ลดลงนั้นเป็นผลจากสภาพความพรุนปรากฏและรูพรุนที่เกิดขึ้นภายในชั้นงาน (พิจารณาจากผลความหนาแน่นและค่าการดูดซึมน้ำที่ลดลง) ทำให้มวลของจีโอพอลิเมอร์ที่จะรับน้ำหนักนั้นลดลง และอาจเป็นผลจากการคายความร้อนที่รวดเร็วระหว่างการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เซชัน ส่งผลให้ความเข้มข้นของจีโอพอลิเมอร์ผสมอลูมิเนียมฟอสเฟตในแต่ละสูตรนั้นมีความแตกต่างกัน ส่งผลให้ผลกำลังรับแรงอัดแตกต่างกันโดยมีแนวโน้มลดลง เมื่อปริมาณอลูมิเนียมฟอสเฟตเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 3

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลทดสอบกับมาตรฐานคอนกรีตบดล็อกมวลเบาตามมาตรฐาน มอก.2601- 2556 [13] พบว่า จีโอพอลิเมอร์ที่ไม่เติมและเติมอลูมิเนียมฟอสเฟต 0.2 และ 0.4 phr นั้นมีความหนาแน่นเกินเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ($\leq 1600 \text{ kg/m}^3$) ในส่วนจีโอพอลิเมอร์ที่เติมอลูมิเนียมฟอสเฟต 0.6 0.8 และ 1.0 phr พบว่ามีผลการทดสอบเทียบเคียงได้ตามเกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบดล็อกมวลเบาชนิด C16 C14 และ C14 ตามลำดับ (ความหนาแน่น 1200 - 1600 kg/m³ การดูดซึมน้ำไม่เกิน 20% และกำลังอัดไม่น้อยกว่า 51 kg/cm²)



รูปที่ 3 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด

4. สรุป

จากผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของจีโอพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแก้วลอยและอลูมิเนียมฟอสเฟตจากหลอดซีลีโคนสามารถสรุปได้ดังนี้ เมื่อเติมอลูมิเนียมฟอสเฟตลงในปฏิกิริยาการเตรียมจีโอพอลิเมอร์ผสมแก้วลอยจะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการคายความร้อนและแก๊สไฮโดรเจนทำให้สมบัติด้านความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และสภาพความพรุนปรากฏเปลี่ยนไปและกำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับจีโอพอลิเมอร์ที่ปราศจากการเติมอลูมิเนียม จากผลการทดลอง พบว่าจีโอพอลิเมอร์ที่มีส่วนผสมของแก้วลอยและอลูมิเนียมฟอสเฟต 0.6 - 1.0 phr มีค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ สภาพความพรุน และกำลังรับแรงอัดที่เทียบเคียงได้กับเกณฑ์ของคอนกรีตบดล็อกมวลเบาชนิด C16 และ C14 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 2601-2556 จากผลการดำเนินงานวิจัยนี้ สรุปได้ว่าแก้วลอยและเศษอลูมิเนียมฟอสเฟตที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งสามารถนำมาใช้ในการผลิตจีโอพอลิเมอร์มวลเบาได้ ซึ่งถือได้ว่าเป็นการนำวัสดุที่เหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัด ลดพื้นที่ฝังกลบ และยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับเศษวัสดุเหลือทิ้ง โดยจีโอพอลิเมอร์มวลเบาที่เตรียมได้นั้นมีสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ผลิตเป็นผนังอาคารที่ไม่รับน้ำหนักมากในงานก่อสร้างและถือเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับผู้บริโภคที่จะนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้างต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] คณิตตา ธรรมจริยวงศา. จีโอพอลิเมอร์: วัสดุก่อสร้างเพื่อสิ่งแวดล้อม ข้อมูลจาก <http://blog.bru.ac.th/wp-content/uploads/bp-attachments/12116/%E0%B8%88%E0%B8%B5%E0%B9%82%E0%B8%AD%E0%B9%82%E0%B8%9E%E0%B8%A5%E0%B8%B4%E0%B9%80%E0%B8%A1%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C.pdf> (วันที่สืบค้นข้อมูล 18 เมษายน 2566)
- [2] พัชรพล โพธิ์ศรี, เจริญชัย ฤทธิรัฐ, ณัฐฐา สิทธิราช, อารณามันถาวรวงศ์, ศิริวรรณ พันธุ์ปรีชา และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. "คุณสมบัติเชิงกลของจีโอพอลิเมอร์คอนกรีตมวลเบาที่ผสมขยะโพลี.", การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 10, 2557.
- [3] กรรณก บัญเสริม, อารีพร เบ้าอุพาล, สิรินันท์ ลิคนันท์ (อินทระกาแหง), ณัฐฐ์ศนิร ศุภเทษานนท์, สุชาติรัตน์ สมบัติศรี, กิตติชาติเผ่าพงษ์ไพบูลย์, ชัยชาญ โชติถนอม และ ปริญญา จินดาประเสริฐ. 2561. "การสังเคราะห์จีโอพอลิเมอร์จากดินพินัยผสมแก้วลอย." วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.), ปีที่41, ฉบับที่ 4: 465-474.
- [4] J. Davidovits, 1991. "Geopolymers: Inorganic Polymeric New Materials." Journal of Thermal Analysis, 37, 1633-1656.

- [5] J. Davidovits, 1999. "Chemistry of Geopolymer Systems Terminology," Proceedings of Geopolymer, International Conference, France, 9-40.
- [6] C. Freidin. 2007. "Cementless pressed blocks from waste products of coal-firing power station" Construction and Building Materials, Vol. 21(1): 12-18.
- [7] P. Chindaprasirt and U. Rattanasak. 2017. "Characterization of the high-calcium fly ash geopolymer mortar with hot-weather curing system for sustainable application." Advanced Powder Technology, 28(9): 2317-2324.
- [8] M.Y.H. Amran, R. Alyousef, H. Alabduljabbar and M. El-Zeadani. 2020. "Clean production and properties of geopolymer concrete; A review." Journal of Cleaner Production, 251: 119679.
- [9] D. Bajare, A. Korjakins and J. Kazjonovs. 2011. "Application of aluminium dross and glass waste for production of expanded clay aggregate." 3rd International Conference Civil engineering`11 Proceedings, Building materials, 27-31.
- [10] H.R.V. Arup Kumar Mandal and O.P. Sinha. 2017. "Utilization of aluminum plant's waste for production of insulation bricks." Journal of Cleaner Production, 162: 949-957.
- [11] H.N. Yoshimura, A.P., Abreu, A.L. Molisani, A.C. de Camargo, J.C.S. Portela, and N.E., Narita. (2008). "Evaluation of aluminum dross waste as raw material for refractories." Ceramics International, 34(3): 581-591.
- [12] ริญญภัทร์ สุขเข. 2560. "การนำเถ้าลอยถ่านหินและตะกรันอลูมิเนียมมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตวัสดุทนไฟ." คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [13] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2556. "มอก.2601-2556 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ." หน้า 1-9.
- [14] P. Keawpapassorn, C. Tippayasam, S. Ruangjan, P. Thavorniti, T. Panyathanmaporn, A. Fontaine, C. Leonelli and C. Chaysuwan, Duangrudee. 2014. "Metakaolin-Based Porous Geopolymer with Aluminium Powder." Key Engineering Materials, 608: 132-138.

การลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์สำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบยืดหยุ่น

Reduction of Defective Rate from Incomplete Solder Defect for Flexible Printed Circuit Assembly

ศตพร คุณาพิสิฐกุล¹, นภัสสงศ์ โอสธสิลป์

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6270270021@student.chula.ac.th*, napassavong.o@chula.ac.th

Sataporn Kunapisitkul¹, Napassavong Osothsilp

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: 6270270021@student.chula.ac.th*, napassavong.o@chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิตโดยลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์สำหรับแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบยืดหยุ่น (Flexible Printed Circuit Assembly) ด้วยหลักการ DMAIC ของเทคนิคซิกม่า ซิกมา (Six Sigma) จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยตัวด้วยแผนผังก้างปลา (Fish Bone) ก่อนการนำไปวิเคราะห์ลำดับความสำคัญด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure mode and effects analysis, FMEA) พบว่ามี 6 ปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อเกิดข้อบกพร่องที่สนใจ ได้แก่ ชนิดพื้นผิวของพื้นที่เปิดแตกต่างกัน การออกแบบแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม ความเร็วของใบปาดไม่เหมาะสม แรงดันที่ใช้ขณะพิมพ์ไม่เหมาะสม ความหนาของแม่พิมพ์น้อยเกินไป และ การติด Glass cloth ผิดวิธี, เยื้อง หลังการปรับปรุงแต่ละปัจจัยยกเว้นปัจจัยพื้นผิวของพื้นที่เปิดแตกต่างกันที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงจากแบบ (Product drawing) ได้ ทางผู้วิจัยได้ใช้หลักการ Poka-yoke สำหรับปัจจัยการติด Glass cloth ผิดวิธี, เยื้องจากพนักงาน และ OFAT เพื่อเปรียบเทียบระดับของพารามิเตอร์สำหรับปัจจัยอื่นๆ พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ได้กว่า 43% หรือคาดว่า จะสามารถลดมูลค่าสูญเสียได้ประมาณ 2 ล้านบาทต่อปี

คำสำคัญ: ข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบยืดหยุ่น กระบวนการพิมพ์ DMAIC

Abstract

This research aims to reduce the defective rate from incomplete solder defect for flexible printed circuit assembly by applying the DMAIC method of Six sigma technique. Fish bone diagram was used to analyze potential causes. Failure Mode and Effects Analysis was performed to analyze the causes of the problem. It was found that there were 6 causes, which highly impacted Incomplete Solder defect, which were the difference of opening surfaces, in-appropriate stencil design, in-appropriate squeegee speed, in-appropriate squeegee pressure, too thin of stencil thickness and wrong glass cloth attachment. To improve the process, Poka-yoke was applied to reduce the occurrence of wrong attachment of glass cloth from operators. The OFAT was applied to compare parameter levels for other causes and determined the better method. The factor regarding the difference of opening surfaces could not be changed due to the design constraint from the customer. The defective rate from incomplete solder defect was reduced by 43%. It is expected that the scrap cost will be reduced by 200,000 baht per year.

Keywords: Incomplete solder defect, Flexible Printed Circuit Assembly, Screen printing, DMAIC

1. บทนำ

แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันได้ถูกพัฒนาตามเทคโนโลยีสมัยใหม่จากแบบบอร์ดแข็ง (Printed Circuit Board, PCB) เป็นแบบทางเลือกอย่างยืดหยุ่น (Flexible Printed Circuit, FPC) เพื่อตอบสนองต่อการใช้งานที่ต้องการการพับ คัด งอสำหรับผลิตภัณฑ์ที่พื้นที่จำกัด ต้องการน้ำหนักเบา และมีรูปแบบหรือคุณสมบัติเฉพาะ [1] โดยจากหลายกระบวนการผลิตก่อนการจำหน่ายให้ลูกค้าในภาคส่วนอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตมักทำให้เกิดมูลค่าการสูญเสียทั้งต้นทุนการผลิต และต้นทุนการกำจัดของเสียหรืออาจรวมไปถึงการสูญเสียในระดับห่วงโซ่อุปทานเมื่อของเสียปะปนไปกับผลิตภัณฑ์ที่จัดจำหน่ายให้แก่ลูกค้า โดยเฉพาะในกระบวนการประกอบชิ้นส่วนนั้นมีมูลค่าของเสียมากที่สุดเนื่องจากเป็นกระบวนการสายการผลิต

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาการสูญเสียอันเกิดจากกระบวนการประกอบชิ้นส่วนโดยใช้ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษาที่ผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์และเลือกโมเดลผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมรถยนต์ที่พบสัดส่วนของเสียและมูลค่าสูญเสียมากเป็นอันดับแรกของโรงงาน เพื่อทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตและลดสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ที่เกิดมากเป็นอันดับหนึ่งในโมเดลดังกล่าวอย่างเป็นระบบด้วยแนวทางซิกซ์ ซิกมา

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปวีณสุตา ปานอำไพ [2] ใช้แนวทางซิกซ์ ซิกมา 5 ขั้นตอน (DMAIC) ในการปรับปรุงลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตคอยล์เย็น โดยวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FMEA เพื่อเลือกสาเหตุที่มีค่า RPN สูงกว่า 100 คะแนนมาทำการแก้ไข หลังการปรับปรุงด้วยการติดตั้งระบบควบคุมเครื่องจักร, ติดตั้งเซ็นเซอร์วัดขนาดชิ้นงาน และฝึกอบรมวิธีการทำงานที่ถูกต้องแก่พนักงาน รวมถึงการจัดทำบอร์ดชี้ควบคุมปริมาณของเสียและเอกสารควบคุมการผลิต พบว่าสามารถลดสัดส่วนของเสียในกระบวนการผลิตคอยล์เย็น 50.46% คือ จาก 0.216% เหลือ 0.107% หรือลดมูลค่าความสูญเสียกว่า 63.16%

Francis K.H Lau [3] ศึกษาข้อบกพร่องที่เกิดในแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แบบบอร์ดแข็งที่มักเกิดขึ้นจากกระบวนการ Solder print โดยศึกษาปัจจัยดังต่อไปนี้ด้วยวิธีการ Taguchi 1. ลักษณะรูเปิดจากวิธีการ Fabrication 2.ความเหมาะสมของชนิดโลหะบัดกรี 3.การส่งผลของระยะเวลาพักโลหะบัดกรี 4.การออกแบบพารามิเตอร์การพิมพ์ และ 5.การออกแบบพารามิเตอร์การบัดกรี พบว่าหลังการปรับปรุงและได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดมาแล้ว สัดส่วนของเสียลดลง 25%

Olivér Krammer และ Balázs Illés [4] กล่าวถึงความแตกต่างของพารามิเตอร์ในการพิมพ์ระหว่างเมื่อใช้โลหะบัดกรีแบบมีสารตะกั่วและแบบไร้สารตะกั่วเนื่องจากแรงยึดเกาะที่มากกว่าในการใช้โลหะบัดกรีแบบมีตะกั่ว ทำให้ต้องนำแม่พิมพ์มาทบทวนรูปแบบใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ในการพิมพ์ จากการทดลองเพื่อดูคุณสมบัติหลังโลหะบัดกรีถูกหลอมเหลว (wetting properties),

ความสามารถในการเชื่อมประสาน (solderability) และ ความสามารถในการพิมพ์ (printability) โดยศึกษาผลระหว่างพื้นที่รูเปิดของแม่พิมพ์ และพื้นที่โลหะบัดกรีหลังพิมพ์ พบว่า electroformed nickel มีผลดีที่สุดแต่มีค่าใช้จ่ายสูงที่สุด สำหรับ laser cut stainless steel, และ laser cut nickel มีผลไม่แตกต่างกัน แต่ทั้งนี้ประสิทธิภาพการพิมพ์ด้วยโลหะบัดกรีแบบไร้สารตะกั่วดีกว่าโลหะบัดกรีแบบมีสารตะกั่วไม่ว่าใช้แม่พิมพ์แบบใดก็ตาม

วรรณฤดี อินทะนง [5] พบค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ปริมาตรของโลหะบัดกรีเบี่ยงเบนไปจากขีดจำกัดข้อกำหนดของแผงวงจรไฟฟ้าทั้งด้านบนและด้านล่างในกระบวนการสกรีนโลหะบัดกรี จากการปรับปรุง 6 ปัจจัยของการกรีนได้แก่ ความเร็ว แรงที่ใช้ ความเร็วในการแยกออก ระยะทางในการแยกออก ขนาดใบปาด และอายุของโลหะบัดกรี รวมไปถึงการหาค่าเหมาะสมแก่ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองของแผงวงจรด้านล่างและด้านบนโดยการทดลองแบบบ็อกซ์-เบห์นเคน สามารถลดเปอร์เซ็นต์ของเสียลงได้ 67% ของแผงวงจรด้านล่าง และ 100% ของแผงวงจรด้านบน

3. วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานในการลดสัดส่วนของเสียข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ที่พื้นที่ตีบุกและพื้นที่ทองด้วยแนวคิดซิกซ์ ซิกมา [6] มีดังนี้

3.1 ระยะเวลาศึกษาข้อมูลและการนิยามปัญหา (Define Phase)

ขั้นตอนการศึกษาระบบการประกอบชิ้นส่วนในโมเดลกรณีศึกษาเพื่อให้ได้มาถึงรายละเอียดในกระบวนการย่อยที่เกี่ยวข้อง สัดส่วน (Reject rate) และสภาพปัญหาจากข้อบกพร่องที่พบตลอดระยะเวลาศึกษา 1 ปี รวมไปถึงความเข้าใจต่อข้อกำหนดจากลูกค้าและลักษณะเฉพาะหรือข้อจำกัดของโมเดลกรณีศึกษา และกำหนดขอบเขตสิ่งที่ต้องการศึกษาและปรับปรุง รวมไปถึงการตั้งเป้าหมายที่ต้องการได้รับหลังการปรับปรุง

3.2 ระยะเวลาวิเคราะห์ระบบการวัด (Measure Phase)

ในขั้นตอนนี้จะทำการประเมินความแม่นยำและเที่ยงของระบบวัดว่าอยู่ในระดับที่เชื่อถือได้หรือไม่ก่อนการนำมาใช้ในการตรวจสอบชิ้นงานจากกระบวนการผลิตจริง ในงานวิจัยนี้ใช้ระบบการวัดข้อมูลแบบจำนวนนับ (Attribute data) โดยให้พนักงานตรวจสอบความสมบูรณ์ของโลหะบัดกรีบนชิ้นงานด้วยสายตาผ่านกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 10X และตัดสินใจว่าชิ้นงานดังกล่าวเป็น งานดี (Good, G) หรือ งานเสีย (No good, NG) ผ่านแผนการทดลองดังต่อไปนี้ คือ ให้พนักงาน 3 คนตรวจสอบชิ้นงานที่มีทั้งงานดีและงานเสียทั้งหมด 56 ชิ้น โดยทำการตรวจสอบซ้ำ 3 ครั้งผ่านการตรวจสอบตามลำดับแบบสุ่ม ตามเกณฑ์การกำหนดจำนวนชิ้นงานตรวจสอบขั้นต่ำของ Fasser and Brettner, 1992

3.3 ระยะเวลาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา (Analyze Phase)

ขั้นตอนนี้จะค้นหาปัจจัยเกี่ยวข้องที่สามารถก่อให้เกิดปัญหา (Potential cause) เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์และกำจัดปัจจัยรากที่แท้จริง (Root cause) โดยงานวิจัยได้ระดมทีมผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในการวิเคราะห์หาปัจจัยเบื้องต้นด้วยแผนผังก้างปลา (Fish Bone) ก่อนการนำไปวิเคราะห์ลำดับความสำคัญด้วยเกณฑ์การวิเคราะห์ความล้มเหลวและผลกระทบ (Failure mode and effects analysis, FMEA) สำหรับการเลือกปัจจัยที่ควรได้รับการปรับปรุงเป็นสำคัญจะพิจารณาจากเกณฑ์การให้คะแนนตามข้อกำหนด AIAG โดยเลือกปัจจัยที่นำมาปรับปรุงด้วยคะแนน RPN (Severity x Occurrence x Detection) > 100 จากข้อกำหนด AIAG (4th edition, 2008)

3.4 ระยะเวลาปรับปรุงกระบวนการ (Improve Phase)

ขั้นตอนนี้จะนำปัจจัยที่ได้จากข้อ 3.4 มาปรับปรุงโดยใช้เทคนิค poka-yoke ในการลดความผิดพลาดของการปฏิบัติงานของพนักงาน และการออกแบบการทดลองทีละปัจจัย (One-Factor-at-a-Time, OFAT) เพื่อเปรียบเทียบและกำหนดวิธีการทำงานหรือค่าปรับตั้งปัจจัยที่ช่วยลดสัดส่วนของเสียลง

3.5 ระยะเวลาควบคุมกระบวนการ (Control Phase)

ขั้นตอนนี้จะนำค่าปรับตั้งใหม่ที่ได้จากข้อ 3.4 มาใช้ในกระบวนการผลิตจริงภายใต้ระยะเวลาและแผนการควบคุมที่รัดกุมกว่าแผนการควบคุมการผลิตปกติ (Launch control plan) ทั้งนี้หากค่าปรับตั้งใหม่สามารถยอมรับได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อผลผลิตหรือข้อบกพร่องประเภทอื่น จึงจะทำการทบทวนและปรับปรุงเอกสารที่เกี่ยวข้อง อาทิ ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work instruction) ฟอรมการตรวจสอบในกระบวนการผลิต (Daily check sheet) รวมไปถึง FMEA และ Control plan เพื่อให้การปรับปรุงดังกล่าวส่งผลอย่างยั่งยืน

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการศึกษาข้อมูลและการนิยามปัญหา

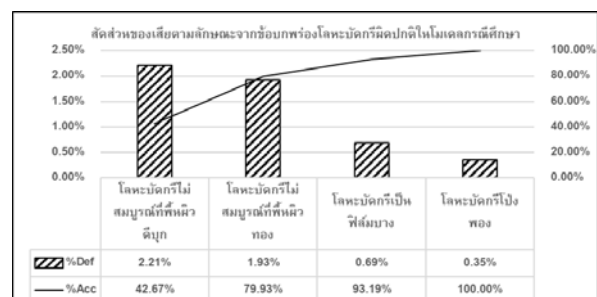
จากกระบวนการประกอบชิ้นส่วนในโมเดลกรณีศึกษา พบว่ามี 4 กระบวนการย่อยคือ Material preparation (การเตรียมและวัดดูดิบเพื่อไล่ความชื้น), FPC setting (การจัดวางแผงวงจรบนพิกซ์เจอร์เพื่อยึดชิ้นงานให้อยู่กับที่), Solder printing (การพิมพ์โลหะบัดกรีลงบริเวณที่กำหนด), Reflow (การบัดกรีด้วยความร้อนเพื่อประสาน) มีสาเหตุที่เป็นไปได้ที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องโลหะบัดกรีผิดปกติ โดยของเสียจากข้อบกพร่องดังกล่าวในโมเดลกรณีศึกษา จะถูกคัดทิ้งเนื่องจากลูกค้าไม่อนุญาตให้มีการซ่อมแซมตัวงาน จากตารางที่ 1 พบว่ามีสัดส่วนของเสียมูลค่า 752,276 บาท ซึ่งคิดเป็น 6.39% ของจำนวนชิ้นงานที่ถูกผลิตทั้งหมดในระยะเวลา 1 ปี และยังพบอีกว่าในเดือนมีนาคมและเดือนเมษายนมีเปอร์เซ็นต์ของเสียมากกว่าเดือนอื่นๆ จึงทำการทวนสอบจากบันทึกการซ่อมบำรุงและพบว่าในช่วงสองเดือนนี้มีความผิดปกติของอุปกรณ์ในเครื่องพิมพ์ (Printer) จึงพิจารณาให้ข้อมูลสองเดือน

ดังกล่าวเป็นข้อมูลผิดปกติ (Outliers) และถูกคัดทิ้งในการคำนวณสัดส่วนของเสียก่อนการปรับปรุง โดยเมื่อนำข้อมูลจาก 10 เดือนที่เหลือมาคำนวณพบว่ามีสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีผิดปกติเท่ากับ 5.17%

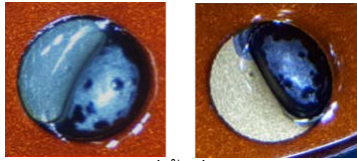
ตารางที่ 1 สัดส่วนข้อบกพร่องประเภทโลหะบัดกรีผิดปกติต่อจำนวนการผลิตรายเดือน

เดือนผลิต	ผลิต (ชิ้น)	ของเสีย (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ของเสีย	มูลค่า (บาท)
มกราคม	108,328	4,462	4.12%	175,714
กุมภาพันธ์	6,531	270	4.13%	10,633
มีนาคม	15,403	1,780	11.56%	70,096
เมษายน	25,639	3,026	11.80%	119,164
พฤษภาคม	7,729	331	4.28%	13,035
มิถุนายน	3,661	217	5.93%	8,545
กรกฎาคม	4,663	217	4.65%	8,545
สิงหาคม	35,023	2,164	6.18%	85,218
กันยายน	17,715	1,338	7.55%	52,690
ตุลาคม	46,428	2,799	6.03%	110,225
พฤศจิกายน	39,277	2,149	5.47%	84,628
ธันวาคม	7,049	350	4.97%	13,783
รวม	31,7446	19,103	6.02%	752,276

และเมื่อพิจารณาลักษณะของของเสียที่ถูกจัดอยู่ในหมวดข้อบกพร่องโลหะบัดกรีผิดปกติ จากแผนผังพาเรโตในรูปที่ 1 พบว่า 2 อันดับแรกของลักษณะข้อบกพร่องที่ควรแก้ไข หรือประมาณ 79.93% ของสัดส่วนของเสียประเภทโลหะบัดกรีผิดปกติทั้งหมด คือ 1. ข้อบกพร่องประเภทโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ที่พื้นที่ที่ตึกคิดเป็น 2.21% ของปริมาณการผลิต หรือ 42.67% ของสัดส่วนของเสียประเภทโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ทั้งหมด และ 2. ข้อบกพร่องประเภทโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ที่พื้นที่ทองคิดเป็น 1.93% ของปริมาณการผลิตหรืออีก 37.26% ของสัดส่วนของเสียประเภทโลหะบัดกรีผิดปกติทั้งหมด รวมสัดส่วนของเสีย 4.14% ของปริมาณการผลิต หรือมูลค่าสูญเสีย 517,542 บาทต่อปีและข้อบกพร่องดังกล่าวมีลักษณะดังรูปที่ 2 โดยต้องการลดสัดส่วนของเสียลงไม่น้อยกว่า 40% ของสัดส่วนของเสียปัจจุบัน

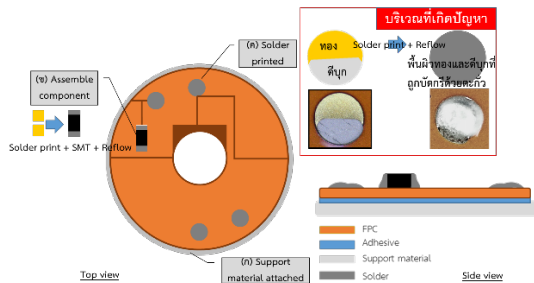


รูปที่ 1 สัดส่วนของเสียตามลักษณะจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีผิดปกติ



รูปที่ 2 โลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ที่พื้นที่ตีบุก (ซ้าย) และ โลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ที่พื้นที่ทอง (ขวา)

และจากการศึกษาข้อกำหนดของผลิตภัณฑ์พบว่า พื้นที่เปิดของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต้องถูกชุบด้วยทอง โดยจะถูกติดลงบนวัสดุชุบเสริมความแข็งแรงประเภทตีบุก (ก) ก่อนนำไปผ่านกระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีประเภทไร้สารตะกั่ว หรือ SAC305 (Sn96.5, Ag3.0, Cu0.5) เพื่อวางส่วนประกอบ (ข) และเสริมแรงยึดจากการคลุมโลหะบัดกรีระหว่างพื้นผิวตีบุกและทอง (ค) โดยบริเวณ (ค) คือบริเวณที่พบปัญหาโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์



รูปที่ 3 ตัวอย่างจำลองผลิตภัณฑ์โมเดลกรณีศึกษา

4.2 ผลการวิเคราะห์ระบบการวัด

จากรูปที่ 4 พบว่าการวิเคราะห์ระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน เป็นไปตามข้อกำหนด AIAG คือ คะแนน Kappa > 0.75 เป็นอย่างน้อย ดังนั้นผลการวัดจากพนักงานตรวจสอบทั้ง 3 คน สามารถเชื่อถือได้

Within Appraisers				Each Appraiser vs Standard					
Assessment Agreement				Assessment Agreement					
Appraiser #	Inspected #	Matched Percent	95% CI	Appraiser #	Inspected #	Matched Percent	95% CI		
1	56	56	100.00 (94.79, 100.00)	1	56	56	100.00 (94.79, 100.00)		
2	56	56	100.00 (94.79, 100.00)	2	56	56	100.00 (94.79, 100.00)		
3	56	54	96.43 (87.69, 99.56)	3	56	54	96.43 (87.69, 99.56)		
# Matched: Appraiser agrees with him/herself across trials.				# Matched: Appraiser's assessment across trials agrees with the known standard.					
Fleiss' Kappa Statistics				Assessment Disagreement					
Appraiser Response	Kappa	SE Kappa	Z P(> 0)	Appraiser #	OK / NG Percent	# NG / OK Percent	Mixed Percent		
1	NG	1.00000	0.0771517 12.9615	0.0000	1	0	0.00	0	0.00
	OK	1.00000	0.0771517 12.9615	0.0000	2	0	0.00	0	0.00
2	NG	1.00000	0.0771517 12.9615	0.0000	3	0	0.00	0	0.00
	OK	1.00000	0.0771517 12.9615	0.0000					
3	NG	0.94542	0.0771517 12.2540	0.0000	# OK / NG: Assessments across trials = OK / standard = NG				
	OK	0.94542	0.0771517 12.2540	0.0000	# NG / OK: Assessments across trials = NG / standard = OK				
				# Mixed: assessments across trials are not identical.					
Fleiss' Kappa Statistics									
Appraiser Response	Kappa	SE Kappa	Z P(> 0)						
1	NG	1.00000	0.0771517 12.9615	0.0000					
	OK	1.00000	0.0771517 12.9615	0.0000					
2	NG	1.00000	0.0771517 12.9615	0.0000					
	OK	1.00000	0.0771517 12.9615	0.0000					
3	NG	0.95886	0.0771517 12.4282	0.0000					
	OK	0.95886	0.0771517 12.4282	0.0000					

รูปที่ 4 ผลวิเคราะห์ระบบการวัด

4.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

หลังการทำการวิเคราะห์ด้วยแผนผังก้างปลาเพื่อหาสาเหตุที่สามารถก่อให้เกิดปัญหาข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ และได้ทำการจัดลำดับความสำคัญด้วย FMEA พบว่า 6 ปัจจัยจากตารางที่ 2 ควรถูกนำมาปรับปรุงเป็นอันดับแรกเนื่องจากมีคะแนน RPN > 100

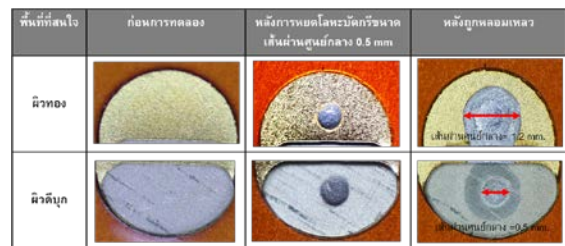
ตารางที่ 2 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อข้อบกพร่องจากการประเมินผ่าน FMEA

ลำดับ	ตัวแปร	ปัจจัย	RPN
1	A	ชนิดพื้นผิวของพื้นที่เปิดแตกต่างกัน	300
2	B	การออกแบบแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม	210
3	C	ความเร็วของใบปาดไม่เหมาะสม	180
4	D	แรงดันที่ใช้ขณะพิมพ์ไม่เหมาะสม	180
5	E	ความหนาของแม่พิมพ์น้อยเกินไป	150
6	F	การติด Glass cloth ผิดวิธี, เยื้อง	120

4.4 ผลการปรับปรุงกระบวนการ

4.4.1 ปัจจัย A

ชนิดพื้นผิวของพื้นที่เปิดแตกต่างกัน คือมีพื้นที่ส่วนหนึ่งเป็นผิวทองจากแผงวงจรและอีกส่วนหนึ่งเป็นพื้นที่ตีบุกจากวัสดุชุบเสริมความแข็งแรงที่ถูกนำมาติดกับแผงวงจรภายหลังตาม customer drawing จึงศึกษาความแตกต่างของการกระจายตัวของโลหะบัดกรีบนพื้นที่ทั้ง 2 ชนิด เพื่อเป็นองค์ประกอบในการปรับปรุงปัจจัย B ต่อไป โดยพบว่าการกระจายตัวบนพื้นผิวทองของโลหะบัดกรีดีกว่าการกระจายตัวบนพื้นผิวตีบุกดังผลลัพธ์ในรูปที่ 5 เนื่องจากพื้นผิวทองมีค่าการนำความร้อนจำเพาะมากกว่าพื้นผิวตีบุก ดังนั้นจากการทดลองสามารถคาดการณ์ได้ว่าหากออกแบบรูเปิดแม่พิมพ์ตรงกับพื้นที่เปิดทั้งสองชนิดจะพบข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์บริเวณพื้นที่ตีบุก ทำให้ในการปรับปรุงปัจจัย B ควรออกแบบรูเปิดแม่พิมพ์ให้เอียงไปทางพื้นผิวตีบุก



รูปที่ 5 ผลการกระจายตัวของโลหะบัดกรีบนพื้นผิวที่แตกต่างกัน

4.4.2 ปัจจัย F

การติด Glass cloth เป็นการปฏิบัติงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการ FPC setting โดยจัดวางแผงวงจรบนฟิซเจอร์เพื่อยึดชิ้นงานให้อยู่กับที่ ก่อนปล่อยเข้าสู่กระบวนการผลิตต่อไป ก่อนการปรับปรุงพนักงานยึดแผงวงจรด้วยการติด Glass cloth หรือเทปชนิดเฉพาะที่ 4 มุมของแผงวงจรกับฟิซเจอร์ที่ถูกยึดตำแหน่งตาม pin โดยมักพบว่าการปฏิบัติงานของพนักงานไม่เป็นไปตามขั้นตอนการปฏิบัติงานเนื่องจาก

ความเคยชินและความเร่งรีบ ทำให้เกิดปัญหาแผงวงจรไม่เรียบไปกับ พิกซ์เจอร์หรือการติดเยื้องเนื่องจากเทปไม่มีประสิทธิภาพจากการใช้ งานซ้ำ ส่งผลให้แผงวงจรที่ไหลไปสู่กระบวนการพิมพ์โลหะบัดกรีขยับ ออกจากตำแหน่งที่กำหนด โดยโลหะบัดกรีจะถูกพิมพ์เยื้องออกจาก พื้นที่ที่เปิดและพบข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์หลังกระบวนการ บัดกรี ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนจากการติด Glass cloth เป็นการใส่แผ่นครอบแม่เหล็กที่แนบไปตลอดพื้นผิวของแผงวงจรตาม แนวคิด poka-yoke คือสร้างรูเปิดเฉพาะพื้นที่พิมพ์เท่านั้น และสามารถ ควบคุมทิศทางการวางแผ่นงานบนพิกซ์เจอร์ได้ทิศทางเดียว พบว่า สัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ลดลงจาก 10.2% เป็น 10.05% โดยการลดลงของเปอร์เซ็นต์ของเสียดังกล่าวที่ไม่มากนัก คาดว่าเกิดจากการระวังขณะปฏิบัติงานของพนักงานเมื่อทราบถึงการ ทดลอง หากแต่การปรับปรุงนี้จะถูกใช้เพื่อคงมาตรฐานการทำงานให้ เป็นไปตามหลักป้องกันข้อผิดพลาด (poka-yoke) แทนการพึ่งพา ความสามารถในการทำงานของพนักงานในระยะยาว

4.4.3 ปัจจัย B

กระบวนการพิมพ์ (Solder printing) มีองค์ประกอบสำคัญคือ ชนิด พื้นผิวที่ถูกพิมพ์ของแผงวงจร (FPC) โลหะบัดกรี (Solder) การตั้ง ค่าพารามิเตอร์เครื่องจักร และรวมไปถึงแม่พิมพ์ (Stencil) อุปกรณ์ที่ถูก ออกแบบเพื่อจำกัดตำแหน่ง รูปทรง และปริมาณของโลหะบัดกรี เมื่อ พิจารณาแม่พิมพ์เพื่อปรับปรุงปัจจัย B พบว่าปัจจุบันรูเปิดของแม่พิมพ์ เป็นรูปร่างครึ่งแคบซูลและมีตำแหน่งเยื้องไปทางพื้นผิวตึบอยู่แล้วโดย มีระยะห่างจากพื้นผิวทอง 0.5 มม. เมื่อใช้พิมพ์ โลหะบัดกรีจะถูกพิมพ์ ได้ผลลัพธ์ตามรูปที่ 6 ซึ่งการออกแบบปัจจุบันมีความสอดคล้องกับผล การทดลองในปัจจัย A แต่เนื่องจากยังพบข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่ สมบูรณ์จึงพิจารณาที่จะเปลี่ยนแปลงระยะห่างของรูเปิดแม่พิมพ์ออก จากพื้นที่ทองแทนการออกแบบแม่พิมพ์ใหม่ พบว่าได้ผลการทดลองดัง ตารางที่ 3 คือเมื่อขยับรูเปิดออกจากพื้นผิวทองด้วยระยะห่าง (d) ที่ 0.19 มม. สามารถลดสัดส่วนของเสียข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ จาก 4.08% เป็น 3.57% คิดเป็นสัดส่วนของเสียที่ลดลงเท่ากับ 12.5% จากระดับเดิม



รูปที่ 6 ภาพแสดงระยะห่างการพิมพ์โลหะบัดกรีบนพื้นที่เปิด

ตารางที่ 3 สัดส่วนของเสียจากการปรับระยะรูเปิด

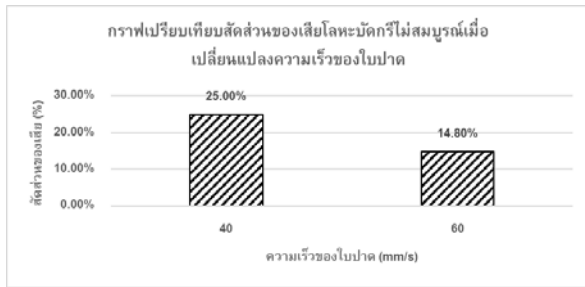
เปอร์เซ็นต์	ระยะ d (mm)	สัดส่วนของเสีย
100% (ค่าปัจจุบัน)	0.5	4.08%
150%	0.75	21.43%
50%	0.25	5.36%
25%	0.13	5.96%
38%	0.19	3.57%

4.4.4 ปัจจัย E

การเพิ่มความหนาของแม่พิมพ์มีผลต่อปริมาตรการพิมพ์แบบแปร ผันตรง กรณีข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์มีความเป็นไปได้ที่เกิด จากปริมาตรของโลหะบัดกรีที่ไม่เพียงพอ จึงทำการทดลองโดยการ เพิ่มความหนาของแม่พิมพ์จาก 5 mil (127 um) เป็น 7 mil (177.8 um) ตามความหนาโลหะที่มีในโรงงานโดยความหนาที่ถูกเลือกยังอยู่ในช่วง แนะนำตาม TDS ของโลหะบัดกรี คือ 120-200 um พบว่าการเพิ่มความ หนาของแม่พิมพ์สามารถลดสัดส่วนของเสียข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่ สมบูรณ์จาก 9.27% เป็น 7.79% หรือคิดเป็นการลดลง 15.97% ของ สัดส่วนของเสียก่อนปรับปรุง ในขณะที่เดียวกันพบสัดส่วนของเสียจาก ข้อบกพร่องโลหะบัดกรีเป็นสะเก็ด (Solder ball) เพิ่มขึ้นกว่า 36.25% เนื่องจากปริมาตรของโลหะบัดกรีที่มากเกินไป ทำให้ปัจจัย E ไม่ถูก นำมาใช้งาน

4.4.5 ปัจจัย C และ D

ค่าพารามิเตอร์ในเครื่องพิมพ์ประกอบไปด้วย ความเร็วของใบปาด (Squeegee speed) แรงดันขณะปาด (Pressure) องศาการเอียงของใบ ปาด (Squeegee angle) ระยะห่างระหว่างใบปาดและแม่พิมพ์ (Snap off) ความเร็วในการแยกตัว (Separation speed) [7] การตั้งค่าอย่าง เหมาะสมจึงเป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของกระบวนการ จึงได้ พิจารณาการออกแบบการทดลองแบบปัจจัยเดียว (OFAT) เพื่อพิสูจน์ ผลของการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยที่สนใจเท่านั้น ทั้งนี้จากสมมติฐานใน ทฤษฎีของกระบวนการ Solder printing สำหรับค่าของปัจจัย C และ D ที่ใช้ขณะพิมพ์ พบว่าปริมาตรโลหะบัดกรีแปรผันตรงตามแรงดันที่ใช้ ขณะปาด (ปัจจัย D) และแปรผกผันกับความเร็วของใบปาด (ปัจจัย C) ในการทดลองกำหนดให้พารามิเตอร์ที่เหลือเป็นค่าคงที่ คือ Snap off = 0 mm, Angle = 60° และ Separation speed = 0.5 mm/s และคงค่า แรงดันที่ 90 N เพื่อเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียจากการเปลี่ยนแปลง ความเร็วใบปาดระหว่าง 40 mm/s และ 60 mm/s

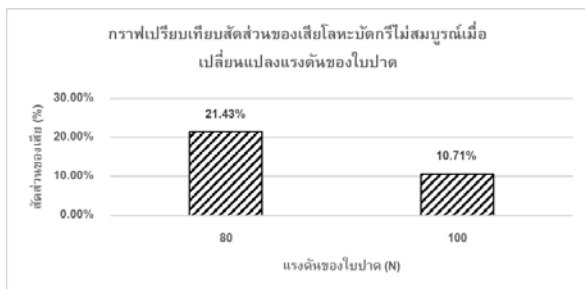


Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0.107143
95% CI for difference: (0.0269564, 0.187329)
Test for difference = 0 (vs ≠ 0): Z = 2.62
P-Value = 0.009

Fisher's exact test: P-Value = 0.013

รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วของใบปาด

พบว่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญคือลดลงจาก 25% เป็น 14.8% เมื่อใช้ความเร็วใบปาดที่ 60 mm/s ดังรูปที่ 7 ซึ่งไม่เป็นไปตามสมมติฐานว่าเมื่อต้องการปริมาณมากขึ้นควรลดความเร็วใบปาดลง โดยคาดว่าได้รับอิทธิพลร่วมจากแรงดันรวมไปถึงความหนืดของโลหะบัดกรี



Difference = p (1) - p (2)
Estimate for difference: 0.107143
95% CI for difference: (0.0352067, 0.179079)
Test for difference = 0 (vs ≠ 0): Z = 2.92
P-Value = 0.004

Fisher's exact test: P-Value = 0.006

รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันของใบปาด

จากผลของความเร็วใบปาดข้างต้น จึงเลือกแรงดันใบปาดที่ครอบคลุมช่วงแรงดันของใบปาดขณะใช้ทดลองก่อนหน้านี้ คือ 80 N และ 100 N เพื่อทำการเปรียบเทียบสัดส่วนของเสียจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันพบว่าสัดส่วนของเสียข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือลดลงจาก 21.43% เป็น 10.71% เมื่อใช้แรงดันใบปาดที่ 100 N ดังรูปที่ 8 โดยผลการทดลองเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่าเมื่อต้องการปริมาณที่มากขึ้นควรเพิ่มแรงดันใบปาดให้มากขึ้น ทั้งนี้ยังสามารถตั้งสมมติฐานเพิ่มเติมได้ว่าสองปัจจัยดังกล่าวอาจมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างกัน (Interaction) ทำให้ผลลัพธ์ในเรื่องความเร็วไม่เป็นไปตามสมมติฐาน

4.5 ผลการควบคุมกระบวนการ

เมื่อนำผลการดำเนินการปรับปรุงจากหัวข้อ 3.4 มาทดลองใช้พบว่าจาก 1 วันการผลิต คิดเป็นการเปลี่ยนล็อตของแผงวงจร 3 ครั้ง และ เปลี่ยนโลหะบัดกรี 2 กระปุก พบว่าสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์ลดลงจาก 4.14% เป็น 2.36% คิดเป็นสัดส่วนของเสียที่ลดลงเท่ากับ 43% จากก่อนปรับปรุง โดยไม่พบความผิดปกติของสัดส่วนของเสียจากข้อบกพร่องอื่นๆ จึงทำการปรับปรุงเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงานที่กระบวนการ FPC setting ปรับปรุงฟอร์มการตรวจสอบในกระบวนการผลิตที่กระบวนการ Solder printing และทำการปรับปรุงแผนควบคุมเผื่อระวังความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นได้จากการเปลี่ยนแปลง อาทิเช่น ข้อบกพร่องโลหะบัดกรีอื่นๆหรือข้อบกพร่องที่เป็นผลข้างเคียงที่เกิดจากปริมาตรที่มากขึ้นอย่างรวดเร็ว เป็นต้น

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากโมเดลกรณีศึกษาพบว่าข้อบกพร่องโลหะบัดกรีไม่สมบูรณ์สามารถเกิดจาก 6 ปัจจัย ได้แก่ ชนิดพื้นผิวของพื้นที่เปิดแตกต่างกัน การออกแบบแม่พิมพ์ไม่เหมาะสม ความเร็วของใบปาดไม่เหมาะสม แรงดันที่ใช้ขณะพิมพ์ไม่เหมาะสม ความหนาของแม่พิมพ์น้อยเกินไป และการติด Glass cloth ผิดวิธี, เยื้อง โดยหลังการปรับปรุงสามารถลดสัดส่วนของข้อบกพร่องได้ตามเป้าหมาย คือ 43% หรือคาดว่าจะสามารถลดมูลค่าสูญเสียได้ ประมาณ 2 แสนบาทต่อปี ทั้งนี้ควรศึกษาปฏิสัมพันธ์ของปัจจัยความเร็วและแรงดันใบปาดเพิ่มเติม รวมถึงสามารถนำปัจจัยเพิ่มเติมที่กระบวนการบัดกรีซึ่งเป็นอีกหนึ่งกระบวนการที่เกี่ยวข้องมาศึกษาเพิ่มเติมเนื่องจากการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ที่ไม่ต้องมีการลงทุนอุปกรณ์ใหม่หรือเพิ่มเติมเพื่อลดสัดส่วนของเสียให้ได้มากที่สุด

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. J. Hong., H. Y. Kim. "Process Optimization for Flexible Printed Circuit Board Assembly Manufacturing," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, vol. 13, no. 3, pp. 129-135, June 25, 2012.
- [2] ปวีณ์สุตา ปานอำไพ. "การลดของเสียผลิตภัณฑ์คอปอลิเออร์ในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยการประยุกต์ใช้แนวทางของซิกซ์ ซิกมา (DMAIC)," *วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2553.
- [3] F. K.H Lau. "A hierarchical evaluation of the solder paste printing process," Department of Manufacturing Engineering Hong Kong Polytechnic University, 2001.
- [4] O. Krammer, B. Illés. "Lead-Free Soldering Technology Review – Evaluating Solder Pastes and Stencils," Budapest University of Technology and Economics, 2006.
- [5] วรณฤดี อินทนะนง. "การกำหนดเงื่อนไขในการลดของเสียในกระบวนการสกรีนโลหะบัดกรี," *วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ*,

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย, 2554.

- [6] นภัตสวงศ์ โอสถศิลป์, เอกสารประกอบการเรียนวิชา Quality Improvement. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2563.
- [7] S. Gopal, J. M. Rohani, S.M. Yusof, Z. A. Bakar. "Optimization of solder paste printing parameters using design of experiments," *Journal of Technology*, Universiti Teknologi Malaysia, 2006.

ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมของร้านซักผ้าบริการตนเอง

A Linear Programming Model for Optimizing the Number of Resources for Self-Service

Laundromats

วุฒินันท์ นุ่นแก้ว^{*} มารีษา กิมพอร

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: nwuttinan@engr.tu.ac.th^{*}, marrisa4242@gmail.com

Wuttinan Nunkaew^{*}, Marrisa Kimaporn

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat School of Engineering, Thammasat University

E-mail: nwuttinan@engr.tu.ac.th^{*}, marrisa4242@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการสร้างตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมที่สุดของร้านซักผ้าบริการตนเอง โดยทั่วไปเจ้าของกิจการนั้นมักจะทำการจัดซื้อเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าซึ่งเป็นทรัพยากรหลักตามงบประมาณที่กำหนดไว้ แต่ไม่ได้มีการพิจารณาปัจจัยที่สำคัญอื่น ๆ ร่วมด้วยในคราวเดียวกัน ทำให้เกิดปัญหาความสูญเปล่าของทรัพยากร ตลอดจนเกิดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมที่สูงกว่าผลตอบแทนที่ได้รับเมื่อมีการใช้งานทรัพยากรมาเป็นระยะเวลานาน งานวิจัยนี้จึงนำเสนอตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่มีการพิจารณาหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่สำคัญ เพื่อให้มีผลกำไรสูงสุด ผลจากการแก้ปัญหาคำหนดจำนวนทรัพยากรด้วยตัวแบบที่นำเสนอเมื่อกำหนดทางเลือกในการลงทุนในส่วนทรัพยากรหลัก 3 รูปแบบได้แก่ เงินลงทุนไม่เกิน 600,000 บาท เงินลงทุนไม่เกิน 1,000,000 บาท และเงินลงทุนไม่เกิน 1,600,000 บาทนั้นแสดงให้เห็นว่าตัวแบบที่นำเสนอสามารถหาคำตอบของจำนวนทรัพยากรที่ทำให้มีกำไรจากการลงทุนสูงที่สุดในแต่ละทางเลือก นอกจากนี้ตัวแบบที่นำเสนอยังช่วยให้เจ้าของกิจการสามารถพิจารณาช่วงของปีที่เปิดให้บริการที่ทำให้มีกำไรเฉลี่ยต่อปีสูงที่สุดได้

คำสำคัญ: ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรง การตัดสินใจ ร้านซักผ้าบริการตนเอง

Abstract

This research proposes a linear programming model for optimizing the number of resources of a self-service laundromat. Conventionally, owners usually purchased washing machines and clothes dryer machines based on a limited budget without simultaneously consideration of other crucial factors. This issue may result in a waste of resources and lead to a higher repair cost than the benefit over a long period of using those resources. This research then proposes a linear programming model that seeks the optimal number of resources based on important constraints that give the maximum profit. After solving the problem of determining the number of resources using the proposed model on the three alternatives of investment budget for the main resources—a maximum budget of 600,000 baht, 1,000,000 baht, and 1,600,000 baht, the results demonstrated that the proposed model provided the optimal solution of the number of resources with the highest possible profit efficiently. Moreover, the proposed model also helped the owner to consider the interval of a period in terms of the number of years of running the business that obtained the maximum average profit.

Keywords: Linear programming model, Decision-making, Self-service laundromat

1. บทนำ

การสวมใส่เสื้อผ้าเป็นสิ่งที่จะต้องอยู่กับมนุษย์มาตั้งแต่ในยุคที่มนุษย์เริ่มนำหนังสัตว์และใบไม้มาห่อหุ้มร่างกายจนถึงปัจจุบัน และสิ่งหนึ่งที่เป็นสิ่งจำเป็นเมื่อมนุษย์มีการสวมเสื้อผ้าคือ "การซักผ้า" จากหลักฐานทางประวัติศาสตร์ทำให้ทราบว่ามนุษย์เริ่มมีการซักผ้าตามแม่น้ำและลำธารด้วยไขมันสัตว์ในช่วงศตวรรษที่ 17 และมีการพัฒนาเครื่องซักผ้าจากถังไม้จนกลายเป็นเครื่องซักผ้าไฟฟ้าในศตวรรษที่ 19 [1] โดยหากมองถึงการซักผ้าในยุคปัจจุบัน นอกจากการซักผ้าด้วยมือหรือการใช้เครื่องซักผ้าที่มีขายพร้อมทั้งตัวเลือกที่หลากหลายแล้วนั้น การใช้บริการ "ร้านซักผ้าบริการตนเอง" หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปในกลุ่มผู้ใช้บริการว่า "ร้านสะดวกซัก" ก็นับเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ใช้งานและกำลังมีตลาดที่ขยายตัวเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องแม้จะมีผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นตามไปด้วยก็ตาม

จากการศึกษาข้อมูลจากผู้ให้บริการทำให้ทราบเหตุผลของการเลือกใช้บริการร้านซักผ้าบริการตนเองอยู่หลายประการ เช่น ผู้ที่พักอาศัยในเขตชุมชน หอพัก คอนโดมิเนียม และอพาร์ทเมนท์ นิยมใช้บริการร้านซักผ้าบริการตนเองเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการมีพื้นที่ใช้สอยที่จำกัด จึงทำให้มีพื้นที่ไม่มากพอในการติดตั้งเครื่องซักผ้า ตลอดจนพื้นที่ในการตากผ้า หรือแม้กระทั่งผู้ที่พักอาศัยตามหมู่บ้านหรือบ้านเดี่ยวก็นิยมใช้บริการร้านซักผ้าบริการตนเองเช่นกัน เนื่องจากการซื้อเครื่องซักผ้านั้นนอกจากจะต้องมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการขนย้ายซักผ้า น้ำยาปรับผ้านุ่ม ค่าน้ำ ค่าไฟฟ้า รวมถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าซ่อมแซมเมื่อเครื่องเสีย นอกจากนี้การใช้บริการร้านซักผ้าบริการตนเองยังสร้างความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้บริการ เนื่องจากมีบริการซักผ้าและอบผ้าในสถานที่เดียวกัน รวมถึงเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าที่มีให้บริการนั้นเป็นแบบเดียวกันกับที่ใช้ในอุตสาหกรรมและโรงแรมต่าง ๆ จึงใช้เวลาในการซักและอบผ้าน้อยกว่า 1 ชั่วโมง เสื้อผ้าก็สามารถแห้งพร้อมใส่ได้ทันที และการที่ร้านซักผ้าบริการตนเองมีการเปิดให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ผู้ใช้บริการไม่ต้องกังวลในกรณีที่เกิดสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยต่อการตากผ้า ไม่มีเวลารอหรือมีเวลาจำกัดในการซักและตากผ้า ซึ่งใช้บริการจะสามารถมาใช้บริการร้านซักผ้าบริการตนเองเวลาใดก็ได้

ตามที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าธุรกิจร้านซักผ้าบริการตนเองนับเป็นธุรกิจที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการที่หลากหลายประเภทได้เป็นอย่างดีและกลายเป็นธุรกิจที่ได้รับความนิยมมากขึ้น โดยจากข้อมูลในปี พ.ศ. 2562 ช่วงเดือนมกราคมถึงตุลาคม มีธุรกิจร้านซักผ้าบริการตนเองเพิ่มขึ้น 142 ราย มูลค่าทุนจดทะเบียนกว่า 254 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 39.22 และคิดเป็น 98.42 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2561 โดยจำนวนร้านซักผ้าบริการตนเองในประเทศไทยของปี พ.ศ. 2560 ถึง 2564 มีจำนวนทั้งสิ้น 747 225 553 1,425 และ 2,406 แห่ง ตามลำดับ [2] จะเห็นได้ว่าธุรกิจร้านซักผ้าบริการตนเองมีแนวโน้มการเติบโตอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเป็นธุรกิจที่ให้ผลตอบแทนในระยะยาวจากการลงทุนเพียงครั้งเดียว ไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนของการพนักงานหากเปิดให้ผู้มาใช้บริการนั้นบริการตนเองแบบ

100% อย่างไรก็ตามการลงทุนเริ่มธุรกิจร้านซักผ้าบริการตนเองนั้นก็มีปัจจัยหลายอย่างในการตัดสินใจ เช่น การเลือกสถานที่ตั้งของร้าน การหาจำนวนของทรัพยากร (เครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้า) แต่ละขนาดที่เหมาะสมกับอัตราการให้บริการ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อกำไร (profit) ที่ได้รับจากการดำเนินธุรกิจ ซึ่งหากจำนวนของทรัพยากรที่ใช้ขึ้นไม่เหมาะสมกับอัตราการให้บริการของลูกค้า จะทำให้ผู้ใช้บริการสูญเสียต้นทุนของทรัพยากรโดยเปล่าประโยชน์ รวมถึงเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรอย่างไม่คุ้มค่าหากลงทุนสูงเกินไป หรือในทางกลับกันธุรกิจอาจสูญเสียโอกาสจากการเปลี่ยนใจไม่เข้าใช้บริการของลูกค้าหากผู้ใช้บริการจัดหาทรัพยากรไว้อย่างไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้บริการของลูกค้า

งานวิจัยฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลจากร้านซักผ้าบริการตนเองในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล เพื่อทำการวิเคราะห์และนำเสนอวิธีการตัดสินใจในการกำหนดจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมของร้านซักผ้าบริการตนเองโดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรง เพื่อช่วยให้ผู้ใช้บริการสามารถจัดหาทรัพยากรที่สอดคล้องกับความต้องการและการใช้งานของลูกค้า เกิดความคุ้มค่าของการลงทุนและทำให้ธุรกิจได้รับกำไรสูงที่สุดได้

2. การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการกำหนดทรัพยากรที่เหมาะสมสำหรับร้านซักผ้าบริการตนเองเพื่อลดต้นทุนการสูญเสียของทรัพยากร และให้ได้ผลกำไรสูงสุด วิธีที่นิยมมาช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรคือตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรง โดยรายละเอียดของตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงและงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงสามารถแสดงได้ดังนี้

2.1 ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรง

โปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming, LP) ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงต้นถึงกลางศตวรรษที่ 20 ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาที่คาบเกี่ยวกับสงครามโลกครั้งที่ 2 สำหรับใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาด้านการวางแผนการใช้งานทรัพยากรและการจัดการโลจิสติกส์ทางการทหาร โดยคำนึงถึงข้อจำกัดในหลาย ๆ ด้าน เพื่อให้สามารถใช้ประโยชน์จากทรัพยากรได้อย่างเหมาะสมและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด โปรแกรมเชิงเส้นตรงเป็นที่แพร่หลายมากขึ้นเมื่อ George B. Dantzing ได้พัฒนาวิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex method) ขึ้นมาในปี ค.ศ. 1947 เพื่อใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรง [3-4]

ปัจจุบันมีการนำโปรแกรมเชิงเส้นตรงมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการวางแผนและการตัดสินใจในเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ สมการวัตถุประสงค์ (objective function) สมการข้อจำกัด (constraints) และตัวแปรตัดสินใจ (decision variables) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 สมการวัตถุประสงค์

สมการวัตถุประสงค์เป็นสมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตัดสินใจและเป้าหมาย เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดตามเป้าหมายสูงสุดหรือต่ำสุด โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$\text{Max (or Min) } Z = \sum_{i=1}^I c_i x_i \quad (1)$$

2.1.2 สมการข้อจำกัด

ข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับการใช้ทรัพยากรจะถูกแสดงในรูปแบบของสมการหรืออสมการ เช่น ชั่วโมงแรงงาน จำนวนเครื่องจักร ปริมาณวัตถุดิบ พื้นที่งบประมาณ เป็นต้น โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2)

$$\sum_{i=1}^I a_{ij} x_i \begin{cases} \geq \\ = \\ \leq \end{cases} b_j, j = 1, 2, \dots, J \quad (2)$$

2.1.3 ตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับค่าตามเป้าหมายของสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งเมื่อแทนค่าของตัวแปรตัดสินใจที่เหมาะสมที่สุดลงในสมการวัตถุประสงค์ จะทำให้ทราบค่าของสมการวัตถุประสงค์ที่เป็นไปตามเป้าหมาย (สูงสุดหรือต่ำสุด) นั่นเอง

$$x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, I \quad (3)$$

โดย a_{ij} คือค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรตัดสินใจที่ i ในข้อจำกัดที่ j

b_j คือปริมาณสูงสุดหรือต่ำที่สุดของข้อจำกัดที่ j

c_i คือค่าสัมประสิทธิ์ที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรตัดสินใจที่ i

2.2 การศึกษางานวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับประยุกต์ใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการแก้ปัญหา โดยพบว่ามีงานวิจัยหลายฉบับนำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงได้อย่างน่าสนใจ เช่น งานวิจัยของ Jahromi และ Moghaddam [5] นำเสนอการใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบ 0-1 สำหรับการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับเครื่องจักร และการจัดสรรการดำเนินงานภายใต้นโยบายการเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนและเลือกเครื่องมือให้กับชิ้นส่วนแต่ละประเภท โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนในการผลิต ลดต้นทุนการติดตั้ง ลดต้นทุนการจัดการวัสดุ และลดต้นทุนการเคลื่อนย้ายเครื่องมือ Delgado, Castillo และ Sanchez [6] นำเสนอการจัดสรรทรัพยากรในการผลิตหรือการวางแผนการผลิตที่เหมาะสมที่สุดด้วยตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรง เพื่อให้มีต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด ในทำนองเดียวกับงานวิจัยของ Nunakaw, Kimaporn และ Singkum [7] ที่นำเสนอการแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดสรรพนักงานให้เหมาะสมกับภาระงานด้วย

ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงแบบจำนวนเต็ม เพื่อลดต้นทุนในการผลิตรวมและเพื่อให้มีค่าทักษะรวมของพนักงานสูงที่สุด Kerrigan และ Norback [8] ใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงในการแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรของการผลิตมอสซาเรลลาชีส (mozzarella cheese) จากวัตถุดิบ 5 ชนิด ได้แก่ น้ำมันดิบ นมผงปราศจากไขมัน นมไขมันต่ำ นมพร้อมมันเนย และครีม โดยมีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มผลตอบแทนสุทธิและลดต้นทุนในการผลิต Yue และคณะ [9] นำเสนอการจัดสรรการใช้งานทรัพยากรน้ำในระดับภูมิภาคที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ความไม่แน่นอนด้วยตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรง เพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการขาดแคลนน้ำต่อภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม การบริการสาธารณะ ผู้อยู่อาศัย และระบบนิเวศสิ่งแวดล้อม

นอกจากนั้น Hua และคณะ [10] นำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการจัดสรรการให้บริการผู้ป่วยนอก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแพทย์ ลดเวลารอคอยและเพิ่มระดับความพึงพอใจในการรับบริการของผู้ป่วย ซึ่งคล้ายคลึงกับงานวิจัยของ Karaca และคณะ [11] ที่นำเสนอการวางแผนและจัดสรรจำนวนของบุคลากรสำหรับทีมแพทย์เฉพาะทางในการดูแลผู้คนในชุมชนที่เหมาะสมที่สุด โดยทำการศึกษากลุ่มตัวอย่างของบุคลากรที่จำเป็นในการดูแลผู้ชวยระยะสุดท้ายหรืออวัยวะล้มเหลว ดังนั้นการศึกษางานวิจัยข้างต้นแสดงให้เห็นว่าตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างหลากหลายและมีประสิทธิภาพ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ในส่วนของการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงการนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการสร้างตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการกำหนดจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมของร้านซักผ้าบริการตนเองสามารถแสดงได้ดังนี้

3.1 การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากร้านซักผ้าบริการตนเองบริการตนเองในระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2565 จนถึง เดือนมกราคม พ.ศ. 2566 รวมทั้งสิ้น 21 แห่ง ซึ่งมีอัตราการให้บริการรวมอยู่ในช่วง 60 - 100 ถัง โดยสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะที่ตั้งของร้านได้ทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ A: บริเวณใกล้กับศูนย์การค้า B: บริเวณตลาดหรือในเขตชุมชน C: บริเวณใกล้กับหอพักของมหาวิทยาลัย และ D: บริเวณติดถนนสายหลัก จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าธุรกิจมีค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการและค่าใช้จ่ายอื่น ๆ รวมอยู่ในช่วง 8,500 - 20,000 บาทต่อเดือน ประกอบไปด้วยค่าจ้างแม่บ้านทำความสะอาด ค่าบริการอินเทอร์เน็ต ค่าแฟรนไชส์ (สำหรับร้านที่เปิดบริการภายใต้การซื้อสิทธิ์ในการเป็นผู้แทนจำหน่าย) และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ นอกจากนี้ในการลงทุนสร้างสิ่งก่อสร้างและการติดตั้งระบบนั้นจะมีค่าก่อสร้างและค่าตกแต่งในอัตราเหมาจ่ายเฉลี่ย 9,500 - 12,500 บาทต่อตารางเมตร โดยข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 - 3

ตารางที่ 1 สรุปข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างร้านซักผ้าบริการตนเอง ระหว่างเดือนตุลาคม 2565 - เดือนมกราคม 2566

ข้อมูล	รายละเอียด		
พื้นที่ (ตารางเมตร)	24-112		
จำนวนเครื่องซักผ้าเฉลี่ย (เครื่อง)		ราคา (พันบาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
S (ความจุ 7-10 กิโลกรัม)	2.75 ^[0.86]	50-90	250 ^o /800 ^d
M (ความจุ 14-16 กิโลกรัม)	4.33 ^[2.26]	60-120	350/925
L (ความจุ 18-23 กิโลกรัม)	2.50 ^[1.67]	90-150	500/1,075
XL (ความจุ 28-30 กิโลกรัม)	1.78 ^[0.97]	100-190	1000/1,200
จำนวนเครื่องอบผ้าเฉลี่ย (เครื่อง)		ราคา (พันบาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
L (ความจุ 14-17 กิโลกรัม)	5.33 ^[1.50]	65-90	600/1,125
XL (ความจุ 20-30 กิโลกรัม)	2.25 ^[1.42]	95-120	900/1,300

หมายเหตุ ตัวเลข a^[b]: a คือค่าเฉลี่ย และ b คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, c คือค่าซ่อมบำรุง, d คือค่าซ่อมแซม

ตารางที่ 2 เวลาการทำงานและอัตราค่าบริการของเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าแต่ละประเภท

ข้อมูล	ประเภท			
	S	M	L	XL
เวลาการทำงานเฉลี่ย (นาที)				
เครื่องซักผ้า	28.8 ^[2.19]	28.7 ^[2.29]	30.0 ^[0.00]	27.8 ^[2.64]
เครื่องอบผ้า	-	-	24.9 ^[0.90]	26.6 ^[2.87]
ฐานนิยมของค่าบริการ (บาท)				
การซักผ้า	40	50	60	100
การอบผ้า	-	-	40	60

หมายเหตุ ตัวเลข a^[b]: a คือค่าเฉลี่ย และ b คือค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 3 ร้อยละของการใช้งานเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าในแต่ละช่วงเวลาของกลุ่มตัวอย่าง

ช่วงเวลา	ร้อยละของการใช้งานเครื่องซักผ้า (%)		ร้อยละของการใช้งานเครื่องอบผ้า (%)	
	พิสัย	เฉลี่ย	พิสัย	เฉลี่ย
00.01-06.00	42-77	64	38-56	42
06.01-12.00	36-64	46	24-53	36
12.01-18.00	41-70	56	40-68	51
18.01-24.00	45-81	62	46-75	55
เฉลี่ย	41-73	57	36-63	46

3.2 การสร้างตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการกำหนดจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมของร้านซักผ้าบริการตนเอง

ในส่วนนี้จะเป็นการแสดงรายละเอียดและคำอธิบายของตัวแปรและสมการที่เกี่ยวข้องกับตัวแบบที่นำเสนอ ดังต่อไปนี้

3.2.1 ดัชนีและตัวแปรที่เกี่ยวข้อง

ดัชนี:

i : ประเภทของเครื่องซักผ้า โดยที่ $i = 1, 2, \dots, I$

j : ประเภทของเครื่องอบผ้า โดยที่ $j = 1, 2, \dots, J$

n : ปีที่พิจารณา โดยที่ $n = 1, 2, \dots, N$

ตัวแปรตัดสินใจ:

x_i : จำนวนเครื่องซักผ้าประเภทที่ i (เครื่อง)

y_j : จำนวนเครื่องอบผ้าประเภทที่ j (เครื่อง)

พารามิเตอร์:

c_i^x : ต้นทุนค่าเครื่องซักผ้าประเภทที่ i (บาทต่อเครื่อง)

c_j^y : ต้นทุนค่าเครื่องอบผ้าประเภทที่ j (บาทต่อเครื่อง)

d_i^x : จำนวนวันที่ให้บริการเครื่องซักผ้าประเภทที่ i (วันต่อปี)

d_j^y : จำนวนวันที่ให้บริการเครื่องอบผ้าประเภทที่ j (วันต่อปี)

f_{Sys} : เงินลงทุนส่วนสิ่งก่อสร้างและระบบ (บาท)

f_{Res}^{max} : เงินลงทุนส่วนเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าสูงสุด (บาท)

h_n : ต้นทุนการให้บริการ (ไฟฟ้า น้ำประปาและอื่น ๆ) ในปีที่ n (บาท)

l_i^{max} : จำนวนเครื่องซักผ้าประเภทที่ i สูงสุด (เครื่อง)

l_i^{min} : จำนวนเครื่องซักผ้าประเภทที่ i ขั้นต่ำ (เครื่อง)

l_j^{max} : จำนวนเครื่องอบผ้าประเภทที่ j สูงสุด (เครื่อง)

l_j^{min} : จำนวนเครื่องอบผ้าประเภทที่ j ขั้นต่ำ (เครื่อง)

m_i^x : จำนวนวันที่ซ่อมบำรุงเครื่องซักผ้าประเภทที่ i (วันต่อปี)

m_j^y : จำนวนวันที่ซ่อมบำรุงเครื่องอบผ้าประเภทที่ j (วันต่อปี)

$p_{i,n}^x$: อัตราค่าซ่อมบำรุงเครื่องซักผ้าประเภทที่ i ในปีที่ n (บาทต่อปี)

$p_{j,n}^y$: อัตราค่าซ่อมบำรุงเครื่องอบผ้าประเภทที่ j ในปีที่ n (บาทต่อปี)

$q_{i,n}^x$: อัตราค่าซ่อมแซมเครื่องซักผ้าประเภทที่ i ในปีที่ n (บาทต่อปี)

$q_{j,n}^y$: อัตราค่าซ่อมแซมเครื่องอบผ้าประเภทที่ j ในปีที่ n (บาทต่อปี)

s_i^x : อัตราค่าบริการของเครื่องซักผ้าประเภทที่ i (บาทต่อครั้ง)

s_j^y : อัตราค่าบริการของเครื่องอบผ้าประเภทที่ j (บาทต่อครั้ง)

w_i^x : อัตราการใช้งานเครื่องซักผ้าประเภทที่ i (ครั้งต่อเครื่องต่อวัน)

w_j^y : อัตราการใช้งานเครื่องอบผ้าประเภทที่ j (ครั้งต่อเครื่องต่อวัน)

3.2.2 สมการวัตถุประสงค์

ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่นำเสนอเป็นแบบที่ทำการหาค่าของตัวแปรตัดสินใจซึ่งเป็นจำนวนของเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าแต่ละประเภทที่ทำให้ผลรวมของกำไรตลอดระยะเวลาที่พิจารณา มีค่าสูงสุด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (4)

$$\begin{aligned} \text{Max } Z = & N \left[\sum_{i=1}^I (d_i^x - m_i^x) w_i^x s_i^x x_i + \sum_{j=1}^J (d_j^y - m_j^y) w_j^y s_j^y y_j \right] \\ & - [f_{\text{Sys}} + \sum_{n=1}^N h_n] \\ & - \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I (c_i^x + p_{i,n}^x + q_{i,n}^x) x_i \\ & - \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^J (c_j^y + p_{j,n}^y + q_{j,n}^y) y_j \end{aligned} \quad (4)$$

3.2.3 สมการข้อจำกัด

สำหรับสมการข้อจำกัดที่สำคัญซึ่งเป็นตัวกำหนดขอบเขตของคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหานั้น ประกอบไปด้วย 4 ส่วนดังนี้

สมการข้อจำกัดเกี่ยวกับเงินลงทุนส่วนเครื่องซักและอบผ้า:

เนื่องจากผู้วิจัยต้องการนำเสนอตัวแบบที่ช่วยให้ผู้ที่ทำการตัดสินใจสามารถพิจารณาขอบเขตของการลงทุนให้อยู่ภายใต้งบประมาณที่มีอยู่หรือเป็นไปตามแผนที่คาดว่าจะสามารถจัดหาเงินลงทุนได้ จึงมีการกำหนดสมการข้อจำกัดดังนี้

$$\sum_{i=1}^I c_i^x x_i + \sum_{j=1}^J c_j^y y_j \leq f_{\text{Res}}^{\text{max}} \quad (5)$$

สมการข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนทรัพยากรขั้นต่ำ:

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างร้านซักผ้าบริการตนเอง พบว่าเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าบางประเภทนั้นมีลูกค้าเข้ามาใช้บริการอย่างต่อเนื่องตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดสมการข้อจำกัดเพื่อให้ผู้ตัดสินใจสามารถระบุจำนวนทรัพยากรขั้นต่ำที่ต้องการจัดหาไว้เพื่อให้บริการลูกค้าได้ดังนี้

$$x_i \geq l_i^{\text{min}} \quad (6)$$

$$y_j \geq l_j^{\text{min}} \quad (7)$$

สมการข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนทรัพยากรสูงสุด:

ในทางกลับกัน ผู้วิจัยพบว่าร้านซักผ้าบริการตนเองบางแห่งนั้นมีข้อจำกัดของพื้นที่ในการติดตั้งเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าบางประเภท รวมถึงอาจไม่เป็นไปตามการใช้งานของลูกค้า เช่น ร้านที่มีกลุ่มลูกค้าเป็นนักเรียนนั้น เครื่องอบผ้าขนาด XL อาจไม่จำเป็นต้องมีไว้ให้บริการถึง 5 เครื่อง เนื่องจากลูกค้ากลุ่มนี้มักจะทยอยซักและอบด้วยเครื่องอบ

ผ้าขนาด L เป็นส่วนมาก ผู้วิจัยจึงกำหนดสมการข้อจำกัดที่ทำให้ผู้ตัดสินใจสามารถกำหนดจำนวนทรัพยากรสูงสุดได้ดังต่อไปนี้

$$x_i \leq l_i^{\text{max}} \quad (8)$$

$$y_j \leq l_j^{\text{max}} \quad (9)$$

สมการข้อจำกัดพื้นฐาน:

ค่าของตัวแปรตัดสินใจซึ่งเป็นจำนวนเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าแต่ละประเภท จะต้องไม่ติดลบและเป็นจำนวนเต็ม ดังสมการต่อไปนี้

$$x_i, y_j \geq 0 \text{ and Integer} \quad (10)$$

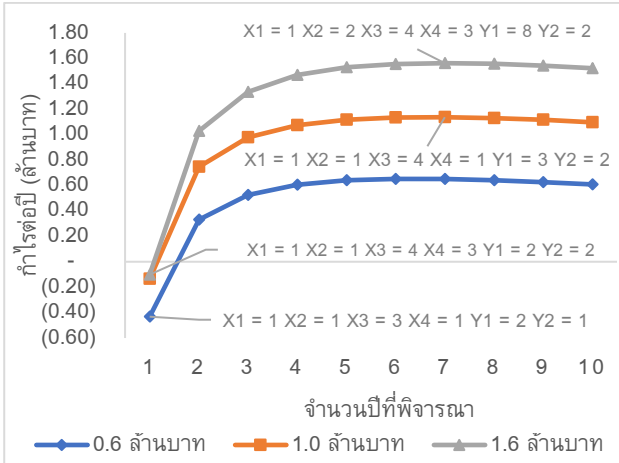
โดยสมการที่ (6) - (10) นั้นใช้สำหรับการพิจารณาทุก ๆ ค่า i และค่า j

การนำตัวแบบที่นำเสนอไปใช้ในการหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมและทำให้ผู้ให้บริการร้านซักผ้าบริการตนเองมีกำไรสูงสุดนั้น จะแสดงไว้ในหัวข้อถัดไป

4. ผลการวิจัย

การแก้ปัญหาการกำหนดจำนวนเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าที่เหมาะสมที่สุดของร้านซักผ้าบริการตนเองด้วยตัวแบบที่นำเสนอในสมการที่ (4) - (10) นั้น ได้กำหนดขนาดพื้นที่ของร้านอยู่ที่ 72 ตารางเมตร และกำหนดรูปแบบของเงินลงทุนส่วนเครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้าสูงสุดเป็น 3 ทางเลือก ได้แก่ เงินลงทุนไม่เกิน 600,000 บาท เงินลงทุนไม่เกิน 1,000,000 บาท และเงินลงทุนไม่เกิน 1,600,000 บาท และทำการพิจารณาจำนวนปีที่เปิดให้บริการตั้งแต่ 1 ถึง 10 ปี โดยการลงทุนเพียงครั้งเดียวในช่วงเริ่มเปิดให้บริการ และหาคำตอบของการกำหนดจำนวนทรัพยากรที่ทำให้มีกำไรเฉลี่ยต่อปีตลอดช่วงการเปิดให้บริการสูงสุด ซึ่งงานวิจัยนี้อ้างอิงอัตราการให้บริการของลูกค้าในทรัพยากรแต่ละประเภทจากข้อมูลที่เก็บมาจากกลุ่มตัวอย่างที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 3.1 และกำหนดช่วงเวลาในการซ่อมบำรุงและการซ่อมแซมที่สอดคล้องกับข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างเช่นกัน

ในการหาคำตอบของตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ใช้เครื่องมือ Solver บนโปรแกรม MS Excel โดยผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบที่นำเสนอแสดงให้เห็นว่าการกำหนดเงินลงทุนที่แตกต่างกันนั้นทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแตกต่างกัน ซึ่งหากพิจารณาการเปิดให้บริการ 1 ปี จะมีผลกำไรสูงสุดที่เป็นค่าติดลบ เนื่องจากมีการลงทุนสร้างสิ่งก่อสร้างและติดตั้งระบบมากกว่ารายรับที่ได้ นอกจากนั้นคำตอบที่ได้จากตัวแบบที่นำเสนอแสดงให้เห็นว่าจำนวนปีที่เปิดให้บริการที่ทำให้ได้กำไรเฉลี่ยต่อปีสูงสุดจะอยู่ในช่วง 6 ถึง 8 ปี โดย x_1, x_2, x_3, x_4 แทนเครื่องซักผ้าประเภท S, M, L, และ XL ตามลำดับ และ y_1, y_2 แทนเครื่องอบผ้าประเภท L, และ XL ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดของจำนวนทรัพยากรที่ทำให้มีกำไรต่อปีเฉลี่ยสูงที่สุดของการลงทุนทั้ง 3 ทางเลือก

คำตอบที่ได้จากตัวแบบที่นำเสนอสามารถนำมาใช้ประกอบการตัดสินใจที่สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดได้เป็นอย่างดี เช่น จากการพิจารณาเงินลงทุนไม่เกิน 1.6 ล้านบาท จะพบว่าหากเจ้าของกิจการทำสัญญาเช่าพื้นที่หรือมีเงื่อนไขที่จะดำเนินกิจการเป็นเวลา 1 ปี ตัวแบบที่จะเสนอนั้นจะแสดงคำตอบได้ว่าเจ้าของกิจการควรซื้อเครื่องซักผ้าประเภท S, M, L, และ XL จำนวน 1, 1, 4, และ 3 เครื่อง ตามลำดับ และซื้อเครื่องอบผ้าประเภท L, และ XL จำนวน 2 เครื่องเท่ากัน แต่หากเจ้าของกิจการนั้นมีแผนในการดำเนินกิจการเป็นเวลา 7 ปี (ซึ่งเป็นจุดที่มีกำไรเฉลี่ยต่อปีสูงที่สุด) เจ้าของกิจการควรซื้อเครื่องซักผ้าประเภท S, M, L, และ XL จำนวน 1, 2, 4, และ 3 เครื่อง ตามลำดับ และซื้อเครื่องอบผ้าประเภท L, และ XL จำนวน 8 และ 2 เครื่อง ตามลำดับ โดยเป็นการลงทุนซื้อในปีที่ 1 และใช้งานเป็นเวลา 7 ปี

5. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นตรงสำหรับการกำหนดจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมของร้านซักผ้าบริการตนเอง โดยอ้างอิงข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างร้านซักผ้าบริการตนเองที่เปิดให้บริการในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล การใช้ตัวแบบที่นำเสนอในการหาจำนวนทรัพยากรที่เหมาะสมที่สุดซึ่งทำให้ได้กำไรจากการเปิดให้บริการสูงที่สุดในช่วงระยะเวลาที่พิจารณานั้นช่วยให้ผู้ให้บริการหรือเจ้าของกิจการสามารถกำหนดจำนวนของทรัพยากรหลัก (เครื่องซักผ้าและเครื่องอบผ้า) ให้สอดคล้องกับความต้องการใช้งานของผู้ใช้บริการหรือลูกค้าภายใต้เงินลงทุนที่จำกัดได้ นอกจากนี้ตัวแบบที่นำเสนอยังช่วยให้ผู้ที่ทำการตัดสินใจสามารถเปรียบเทียบทางเลือก และหาคำตอบที่เป็นทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การศึกษาในส่วนถัดไปจะเป็นการพัฒนาตัวแบบในงานวิจัยนี้ให้มีการพิจารณามูลค่าของเงินตามเวลาและข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนเพื่อให้ตัวแบบมีความยืดหยุ่นและครอบคลุมปัจจัยอื่น ๆ ได้มากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนและได้รับทุนการศึกษาจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. J. Fisher, R. C. Wilson, and O. B. Capen, A word as to the reasons and purpose behind the cypress pocket library. vol. 94, Modern Publishing Company, 1919.
- [2] Department of Business Development. Business Analysis Report. 2020.
- [3] J. K. Sharma, Operations Research: Theory and Applications. 6th ed., Laxmi Publications Pvt. Ltd, 2016.
- [4] H. A. Taha, Operations Research: An Introduction. 8th ed., Pearson Education Inc., 2007.
- [5] M. H. M. A. Jahromi, R. T. Moghaddam. 2012. "A novel 0-1 linear integer programming model for dynamic machine-tool selection and operation allocation in a flexible manufacturing system". Journal of Manufacturing Systems. Vol. 31: 224-231.
- [6] E. M. Avendeno Delgado, O. R. Florian Castillo, and D. Florian-Sanchez. Application of an Optimization Model in the Aggregate Production Planning of a Textile Industry, Proceedings of the International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 18-22 July 2022, USA
- [7] W. Nunkaew, M. Kimaporn, and C. Singkum. 2023. "Multi Product Group Production Planning and Multi Skill Labor Assignment by Integer Linear Programming Model: A Case Study of an Automotive Electrical Cable Manufacturer". Ladkrabang Engineering Journal, Vol. 40 (1): 40-54.
- [8] G. L. Kerrigan and J. P. Norback. 1986. "Linear Programming in the Allocation of Milk Resources for Cheese Making". Journal of Dairy Science, Vol. 69 (5): 1432-1440.
- [9] W. Yue, S. Yu, M. Xu, Q. Rong, C. Xu, and M. Su. 2022. "A Copula-based interval linear programming model for water resources allocation under uncertainty". Journal of Environmental Management, Vol. 317.
- [10] L. Hua, M. Dongmei, Y. Xinyu, Z. Xinyue, W. Shutong, W. Dongxuan, P. Hao, and W. Ying. 2023. "Research on outpatient capacity planning combining lean thinking and integer linear programming". BMC Medical Informatics and Decision Making, Vol. 23 (1).
- [11] U. Karaca, S. I. Birbil, N. Aydin, and G. Mullaoglu. 2023. Masking primal and dual models for data privacy in network revenue management". European Journal of Operational Research, Vol. 308 (2): 818-831.

การประยุกต์ใช้กระบวนการความคิดเชิงออกแบบร่วมกับหลักการ ECRS ในการออกแบบที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

Application of Design Thinking Process with ECRS Principles in Designing Faucet Handle Hanger to Improve Production Process

ศศราญ ลิขมรังษี*, ธนพล สุวรรณโมษิต, ยศพล ส่องสว่าง, ธนัท ปัญญากุลวัต, สวิช ประวิทย์, รุ่งโรจน์ แสนคำราง, ปิยะณัฐ บุญสอน
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

E-mail: sakraan.s@rmutp.ac.th*

Sakraan Sitcharangsie*, Thanapon Suwankosit, Yodsaphon Songsawang, Thanut Panyakullawat, Swich Pravit,

Rungrod Saenkhamrang, Piyanut Boonsorn

Department of Sustainable Industrial Management Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon

E-mail: sakraan.s@rmutp.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กระบวนการความคิดเชิงออกแบบร่วมกับหลักการ ECRS ในการออกแบบที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำ เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ซึ่งมีความสำคัญเนื่องจากยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาแนวทางการออกแบบที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิตโดยประยุกต์กระบวนการความคิดเชิงออกแบบร่วมกับหลักการ ECRS ผลลัพธ์จากการวิจัยนี้พบว่ากระบวนการตัดชิ้นงาน ด้ามจับกับกระบวนการแขวนชิ้นงานด้ามจับสามารถรวมให้เป็นขั้นตอนเดียวกันได้ตามหลัก ECRS เพื่อลดขั้นตอนการผลิต ลดการใช้แรงงานคนที่ไม่จำเป็น จากผลจากการบวนการความคิดเชิงออกแบบทั้ง 5 ขั้นตอนเพื่อใช้ในการออกแบบที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำ พบว่าผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิต ก๊อกน้ำในแผนกพ่นสีทั้ง 3 คนให้ความเห็นว่าควรออกแบบก้านตรงกลางของตะขอที่รองรับชิ้นงานให้ไม่หนาเกิน 2 มิลลิเมตร เนื่องจากต้องรองรับ การพ่นสีหลายรอบ ถ้าก้านตรงกลางหนาเกินไปจะทำให้ที่แขวนทำงานได้รอบการทำงานที่น้อย เพราะเมื่อสีพอกที่ตะขอมากเกินไปจะทำให้ไม่สามารถแขวนด้ามจับได้ ต้นแบบที่ 1 เป็นต้นแบบที่มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้จริงมากที่สุด เนื่องจากสามารถทำให้ด้ามจับอยู่นิ่งได้และไม่มี ส่วนประกอบที่เป็นสปริง เพราะสีที่พ่นเมื่อแห้งแล้วจะขัดขวางการเคลื่อนที่ขึ้นลงของสปริง สำหรับต้นแบบที่ 2 และ 3 ควรปรับการออกแบบให้สีไม่ เข้าสัมผัสกับสปริงได้

คำสำคัญ: กระบวนการคิดเชิงออกแบบ ECRS การผลิต การออกแบบ ก๊อกน้ำ

Abstract

The purpose of this research was to apply the design thinking process in conjunction with ECRS principles to design a faucet handle hanger to improve the production process, which is important because no research has studied the design approach of the faucet handle hanging to improve production efficiency by applying design thinking in conjunction with ECRS principles. As a result of this research, it was found that the cutting process and the hanging process of workpieces can be combined into one process according to the ECRS principle to reduce production time and reduce the use of unnecessary human labor. According to the results of the 5-step design thinking process, it was found that all three experts from faucet manufacturers commented that the middle rod of the hook that supports the faucet handle should be designed not more than 2 millimeters thick. When the diameter of the middle rod of the hook is too large, the hanger will experience reduced cycle efficiency. This is due to the excessive paint on the hook, which impedes the ability to hang the faucet handle. Also, three experts commented that prototype 1 was the most practical prototype because it can keep the faucet handle still and does not have spring components. The ability of the spring to move vertically may be impeded by the dried paint, thus hindering its oscillatory motion. For prototypes 2 and 3, the design should be adjusted so that the paint does not come into contact with the spring.

Keywords: Design thinking, ECRS, Production, Designing, Faucet

1. บทนำ

อุตสาหกรรมการผลิตก๊อกรุ่นเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญ เนื่องจากก๊อกรุ่นเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในทุกภาคส่วน เช่น บ้านเรือน อาคารพาณิชย์ และโรงงานทั่วโลก ก๊อกรุ่นเป็นส่วนสำคัญของระบบประปาเพื่อควบคุมการไหลของน้ำ ก๊อกรุ่นถูกใช้ในห้องครัวและห้องน้ำไปจนถึงในงานอุตสาหกรรมในการทำความสะอาด การทำอาหาร การผลิตน้ำดื่มและในกระบวนการผลิตต่างๆ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทผลิตก๊อกรุ่น ซึ่งกระบวนการผลิตเบื้องต้นของการผลิตตามจับก๊อกรุ่นเริ่มจากการขึ้นรูปวัตถุดิบ การตัดชิ้นงานออกจากกึ่งชิ้นงาน การลบคมชิ้นงานด้วยการยิงทราย การตรวจสอบคุณภาพ การนำตามจับขึ้นที่แขวน การล้าง การเคลือบผิว การพ่นสี และการอบสี บริษัทกรณีศึกษาพบว่าในกระบวนการแขวนตามจับก๊อกรุ่นเป็นกระบวนการที่ควรปรับปรุงเนื่องจากต้องใช้แรงงานคนแขวนจำนวนมาก เพราะพนักงานต้องใส่ตามจับก๊อกรุ่นที่ละอันลงในที่แขวนก่อนที่จะเข้ากระบวนการผลิตอื่นๆ จึงใช้เวลานานในการเคลื่อนที่ในแต่ละสถานีงาน หัวหน้าพนักงานจึงต้องการให้ลดจำนวนคนแขวนตามจับ เพราะบางครั้งพบว่าจำนวนพนักงานมีเยอะกว่าจำนวนงาน พนักงานต้องรอชิ้นงานขณะที่ชิ้นงานยังไม่ลำเลียงมาถึงสถานีงาน อย่างไรก็ตามยังไม่พบงานวิจัยที่ศึกษาแนวทางการออกแบบที่แขวนตามจับก๊อกรุ่นเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของการผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กระบวนการคิดเชิงออกแบบร่วมกับหลักการ ECRS ในการออกแบบที่แขวนตามจับก๊อกรุ่นเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 วิธีการคิดเชิงออกแบบ

กระบวนการคิดเชิงออกแบบ (Design Thinking) เป็นกระบวนการที่ช่วยให้ผู้เรียนรู้คิดอย่างเป็นระบบและสามารถสร้างสิ่งต่างๆ โดยใช้แนวคิดของการออกแบบ [1] ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากดังนี้:

1. ช่วยให้ผู้ใช้หรือผู้เกี่ยวข้องสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้วิธีการนำเสนอปัญหาในมุมมองต่างๆ และพยายามหาทางเลือกที่ดีที่สุด
2. ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถสร้างผลิตภัณฑ์หรือบริการที่มีคุณค่าสูงและเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน
3. ส่งเสริมการทำงานร่วมกันในทีมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

กระบวนการคิดเชิงออกแบบประกอบด้วยขั้นตอน 5 ขั้นตอนดังต่อไปนี้ [1]

1. Empathize การเข้าใจผู้ใช้ เป็นขั้นตอนแรกของการออกแบบ โดยผู้ใช้เป็นศูนย์กลางของกระบวนการออกแบบ ในขั้นตอนนี้ ผู้ออกแบบจะศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับผู้ใช้งาน เพื่อให้เข้าใจความต้องการและปัญหาที่ต้องการแก้ไข
2. Define การตั้งโจทย์ กำหนดปัญหา เพื่อให้ได้กรอบของปัญหาที่ไม่กว้างหรือแคบเกินไป

3. Ideate การคิดนอกกรอบโดยไม่จำกัดวิธีการแก้ไขปัญหา การระดมสมอง เลือกความคิดที่น่าสนใจมาทำตัวต้นแบบ

4. Prototype การนำความคิดมาทำให้เห็นภาพและการสร้างต้นแบบ สิ่งสำคัญคือต้องไม่ใช้เวลานาน ต้นทุนต่ำ และสามารถนำไปทดสอบเพื่อเรียนรู้จากกลุ่มเป้าหมาย

5. Test การนำต้นแบบไปทดสอบกับกลุ่มเป้าหมายเพื่อจะรู้ว่ามาถูกทางหรือไม่ และรับความคิดเห็นมาปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือสินค้า

2.1.2 หลักการ ECRS

หลักการ ECRS เป็นหลักการที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงวิธีการทำงาน เนื่องจากเป็นหลักการที่เข้าใจได้ง่ายและครอบคลุมจึงถูกรวมเข้าเป็นส่วนหนึ่งของการผลิตแบบลีน โดยหลักการ ECRS จะประกอบด้วย 4 หลักการดังต่อไปนี้ [2]

1. หลักการกำจัด (Eliminate) คือการกำจัดหรือยกเลิกกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าหรือไม่จำเป็น กิจกรรมที่ไม่มีประสิทธิภาพและกิจกรรมที่ซ้ำซ้อน
2. หลักการรวมกัน (Combine) คือการควบกิจการหรืองานย่อย สถานีงาน หน้าที่การทำงาน เครื่องมือเข้าด้วยกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานมากขึ้น
3. หลักการจัดใหม่ (Rearrange) คือ การเปลี่ยนหรือสลับลำดับขั้นตอนการทำงานใหม่ การเปลี่ยนหรือสลับลำดับของการวางชิ้นงานหรืออุปกรณ์เครื่องมือใหม่ การจัดกำหนดการหรือตารางผลิตใหม่ ส่งผลให้การทำงานมีเวลาลดลงเมื่อปรับปรุงด้วยวิธีการนี้ และอาจจะมีบางกิจกรรมถูกกำจัดออกไป
4. หลักการทำให้ง่าย (Simplify) คือ การคิดค้นค้นหาออกแบบ และปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่ รวมถึงการพัฒนาอุปกรณ์เครื่องมือและการสร้างเครื่องจักรมาช่วยในการทำงานให้ง่ายและสะดวกมากขึ้นกว่าเดิม โดยอาศัยหลักเศรษฐศาสตร์การเคลื่อนไหว หลักการของวิทยาศาสตร์การควบคุมด้วยสายตา เทคนิคการป้องกันความผิดพลาดจากคนและการออกแบบเพื่อการผลิตและประกอบ

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้กระบวนการคิดเชิงออกแบบในการปรับปรุงการผลิต

บัญชา อริยะจรรยา และวรรธิตา อุทัยรัตน์ [3] มีการประยุกต์วิธีคิดเชิงออกแบบบริการร่วมกับวิธีการศึกษางานในการปรับปรุงกระบวนการผลิตขนมมัชชูปี้ซัดแห่งในวิสาหกิจชุมชนแห่งหนึ่ง แนวความคิดเชิงออกแบบ ที่ผู้วิจัยได้ศึกษา ได้แก่ การสำรวจข้อมูลจากกลุ่มเป้าหมายอย่างลึกซึ้ง การกำหนดกรอบของปัญหา การนำเสนอแนวทางแก้ปัญหา การสร้างต้นแบบ และการทดสอบต้นแบบ ซึ่งผลการวิจัยพบว่าสามารถลดเวลาในการผลิต 33.42% ลดของเสียได้ลงประมาณ 4% รวมถึงผู้ใช้วิธีการทำงานใหม่มีความพึงพอใจมากถึง 95.24%

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ ECRS ในการปรับปรุงการผลิต

ปฏิมาพร คุณาทรพิพัฒน์ และคณะ [4] ได้ประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงการทำงานของสายพานเพื่อลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น มีการรวมขั้นตอนการทำงานและจัดลำดับงานใหม่ของพนักงาน ผลจากการดำเนินการพบว่าสามารถลดการใช้พนักงานจาก 4 คน เหลือ 3 คน มีอัตราการใช้ประโยชน์พนักงานเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 78.11 และลดการจ้างพนักงานได้ ประมาณ 190,000 บาท/ปี

รุจยา เกตุสุวรรณและณัฐนารี สุขเสกสรร [5] ได้ประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ในการปรับตั้ง Calender rolls โดยการกำจัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออกและจัดเรียงขั้นตอนการทำงานใหม่ ซึ่งผลการวิจัยพบว่า ลดความสูญเสียในการปรับตั้ง 40%และลดการใช้คนจาก 4 คนเหลือ 3 คน

3. วิธีการดำเนินการวิจัยและผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเรื่องนี้ทางคณะผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้หลักความคิดเชิงออกแบบและ ECRS ดังต่อไปนี้

3.1 Empathize

ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลตามวิธีการของ [6] ด้วยวิธีการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพ (qualitative data collection) และเพื่อให้มั่นใจในความถูกต้องของข้อมูลจึงมีการตรวจสอบสามเส้าด้านข้อมูล (Data Triangulation) โดยใช้แหล่งข้อมูลหลายแหล่ง ได้แก่ การสังเกต การสัมภาษณ์ และเอกสารต่างๆ [6] การทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายอย่างลึกซึ้งซึ่งทำโดยการสังเกตและสัมภาษณ์ผู้เป็นพนักงานในแผนกพ่นสีของโรงงานระหว่างการเยี่ยมชมโรงงานในระหว่างการผลิตตามจับก้อนน้ำ พนักงานที่ให้ข้อมูลเป็นพนักงานที่ทำงานมากกว่า 10 ปี จำนวน 3 คน ได้แก่ หัวหน้าแผนกพ่นสีก๊อก หัวหน้างานพ่นสีก๊อก และ หัวหน้างานสร้างแม่พิมพ์ เพราะเป็นผู้มีประสบการณ์และมีความสนใจในเรื่องการผลิตที่แขนงตามจับก้อนน้ำและการพ่นสีก๊อกน้ำ

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาระบบการผลิตของโรงงานพบว่า ในกระบวนการผลิตตามจับก้อนจะใช้วิธีกึ่งอัตโนมัติโดยมีการใช้ระบบอัตโนมัติในการควบคุมการเคลื่อนที่ของที่แขวนและใช้แรงงานคนเป็นผู้ป้อนวัสดุต่างๆให้เครื่องจักรทำงานให้ดังตารางที่ 1

จากการสอบถามพนักงานโรงงาน การอ่านเอกสารต่างๆ และสังเกตกิจกรรมในโรงงาน พบว่าโรงงานมีการใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) ทางโรงงานได้พัฒนาตัวต้นแบบที่แขวนตามจับซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 1 เพื่อใช้ในการรวมขั้นตอนระหว่างการแยกตามจับจากกึ่งเชื่อมและการแขวนตามจับให้เป็นขั้นตอนเดียวกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในการเคลื่อนย้ายหรือการแขวนตามจับ รวมถึงลดการใช้แรงงานคนโดยไม่จำเป็น ตามหลักการ ECRS ดังตารางที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามยังพบปัญหาในการนำไปใช้งานจริง จึงต้องการให้คณะผู้วิจัยพัฒนาต่อ

ตารางที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตของโรงงาน

ขั้นตอน	ใช้เครื่องจักร	ใช้แรงงานคนระบบอัตโนมัติ
1.นำวัตถุดิบเข้ากระบวนการหล่อฉีด	ใช้เครื่องหล่อฉีดขึ้นรูปวัสดุ และใช้ระบบอัตโนมัติควบคุมการเทน้ำ วัตถุดิบเข้ากระบวนการหล่อฉีด	ใช้ระบบอัตโนมัติ
2.ใช้เครื่องตัดแยกระหว่างตัวชิ้นงานกับกึ่งที่เชื่อมชิ้นงาน กึ่งที่แยกออกจะถูกนำไปหลอมใหม่เพื่อใช้ในการหล่อฉีดใหม่	เครื่องตัดปีก	ใช้พนักงานป้อนชิ้นงานในเครื่องตัด
3.ชิ้นงานจะไหลลงจากกระบะหลังจากตัดตามแรงโน้มถ่วง	-	-
4.พนักงานเทชิ้นงานจากกระบะลงเครื่องยิงทราย	-	ใช้พนักงานเทชิ้นงาน
5.ใช้เครื่องยิงทรายเพื่อลบคมหรือลบส่วนเกิน	เครื่องยิงทราย	-
4.เช็คสภาพชิ้นงาน	-	ใช้พนักงานตรวจสอบ
5. ชิ้นงานจะถูกนำไปแขวนลงบนที่แขวนที่ละชิ้น	ใช้ระบบอัตโนมัติในการเคลื่อนย้ายที่แขวนไปตำแหน่งต่างๆ	ใช้พนักงานเป็นผู้แขวน
6. ชิ้นงานบนที่แขวนจะถูกนำไปล้างคราบน้ำมันและน้ำสะอาด	-	-
7.ชิ้นงานบนที่แขวนจะถูกนำไปชุบน้ำยาเคลือบผิวและล้างน้ำสะอาด	-	-
8.ชิ้นงานบนที่แขวนจะถูกนำไปอบแห้งเพื่อเพิ่มการเกาะติดของสี	-	-
9.ชิ้นงานบนที่แขวนจะถูกนำไปพ่นสีและอบสี	-	-
10.พนักงานจะนำชิ้นงานออกจากที่แขวนเพื่อเช็คสภาพเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนประกอบ	-	ใช้พนักงานตรวจสอบ

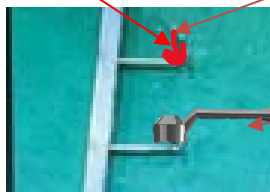
ตารางที่ 2 การประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ของโรงงาน

หลักการ ECRS	การประยุกต์ใช้ในกระบวนการ
1. หลักการกำจัด (Eliminate)	กำจัดขั้นตอนการขนย้ายหลังจากตัดปีกโดยหาวีรีให้เครื่องตัดแยกระหว่างด้ามจับที่เป็นตัวชิ้นงานกับกึ่งที่เชื่อมชิ้นงาน โดยด้ามจับจะตกลงมาลงรูที่แขวนพอดีดังรูปที่ 2
2. หลักการรวมกัน (Combine)	โรงงานได้รวมขั้นตอนระหว่างการแยกด้ามจับกับกึ่งที่เชื่อมและการแขวนด้ามจับให้เป็นขั้นตอนเดียวกัน ซึ่งสามารถลดเวลาในการเคลื่อนย้ายหรือการแขวนด้ามจับได้ รวมถึงลดการใช้แรงงานคนโดยไม่จำเป็น
3. หลักการจัดใหม่ (Rearrange)	โรงงานมีการจัดผังสถานที่ให้สถานีงานที่เชื่อมต่อกันให้มีระยะทางที่ใกล้กันมากขึ้น
4. หลักการทำให้ง่ายใหม่ (Simplify)	โรงงานได้ทำแม่พิมพ์พิเศษที่สามารถรองรับการแขวนด้ามจับทันทีที่แยกชิ้นงานด้ามจับออกจากกึ่งชิ้นงาน



โครงเหล็ก

ตะขอเกี่ยวด้ามจับที่ออกแบบมาจากแสตนเลส



รูปที่ 1 ต้นแบบที่โรงงานสร้างขึ้น

ก้านตรงกลางของตะขอ

ด้ามจับที่ออกแบบ

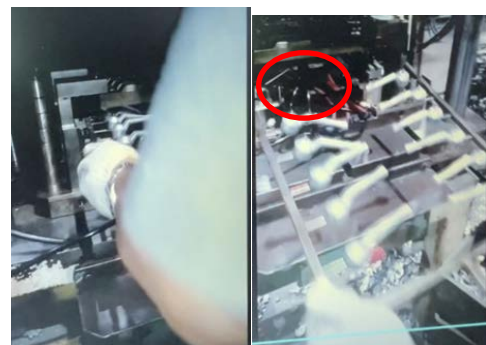
ดึงออกมาจากแม่พิมพ์เพราะตะขอไม่สามารถทำให้ด้ามจับอยู่หนึ่งได้ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 เครื่องตัดแยกระหว่างด้ามจับที่เป็นตัวชิ้นงานกับกึ่งที่เชื่อมชิ้นงาน



รูปที่ 3 ใช้ระบบนิวมaticในการเคลื่อนย้ายที่แขวนด้ามจับที่ออกมาจากแม่พิมพ์



รูปที่ 4 ปัญหาด้ามจับหล่นระหว่างการดึงที่แขวนออกมาจากแม่พิมพ์

ขั้นตอนการทำงานของเครื่องใช้งานต้นแบบที่โรงงานสร้างขึ้นดังรูปที่ 2-4 โดยเครื่องตัดจะแยกระหว่างด้ามจับที่เป็นตัวชิ้นงานกับกึ่งที่เชื่อมชิ้นงาน โดยด้ามจับจะตกลงมาลงรูที่แขวนพอดีดังรูปที่ 2 และมีการใช้ระบบนิวมaticซึ่งเป็นระบบลมช่วยในการเคลื่อนขึ้นลงของที่แขวนด้ามจับที่ออกมาจากแม่พิมพ์ดังรูปที่ 3 หลังจากที่แขวนด้ามจับอยู่ในระดับที่เหมาะสมพนักงานจะทำการดึงที่แขวนด้ามจับออกมา แต่พบว่าในการใช้ต้นแบบที่โรงงานสร้างขึ้น ด้ามจับที่ออกมาจะหล่นจากที่แขวนเมื่อ

ปัญหาและความต้องการของบริษัทได้จากการสัมภาษณ์ เอกสาร และการสังเกตดังนี้

1. พนักงานใส่ด้ามจับที่ออกมาลงในที่แขวนเพื่อเข้ากระบวนการผลิต จึงใช้เวลานานในการเคลื่อนไปแต่ละสถานีงาน
2. หัวหน้าพนักงานต้องการให้ลดจำนวนคนแขวนด้ามจับ เพราะบางครั้งพบว่าพนักงานมีเยอะกว่าจำนวนงาน พนักงานรอชิ้นงานขณะที่ชิ้นงานยังไม่ลำเลียงมาถึงสถานีงาน

3. ที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำที่เป็นตัวต้นแบบดั้งเดิมของบริษัทยังไม่สามารถทำให้ด้ามจับอยู่หนึ่งได้ ทำให้เวลาไปยิงทราย ด้ามจับก๊อกน้ำหล่นออกจากที่แขวน หรือยิงทรายแล้วไม่สามารถกลมคมหรือส่วนเกินของชิ้นงานได้เนื่องจากชิ้นงานด้ามจับอยู่ไม่หนึ่ง

ทั้งนี้ความต้องการของพนักงานอยากให้มีคณะผู้วิจัยออกแบบที่แขวนด้ามจับดังนี้

1. หัวหน้าพนักงานต้องการที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำ โดยให้ขั้นตอนการตัดชิ้นงานด้ามจับก๊อกน้ำออกจากกึ่งเชื่อมเป็นขั้นตอนเดียวกับการแขวนด้ามจับก๊อกน้ำ
2. บริษัทมีแนวโน้มใช้ระบบอัตโนมัติมากขึ้นในการลำเลียงชิ้นงาน
3. เมื่อแขวนด้ามจับก๊อกน้ำแล้ว ด้ามจับก๊อกน้ำต้องไม่หลุดง่ายระหว่างกระบวนการดึงที่แขวนออกจากแม่พิมพ์ นำไปยิงทราย ทำความสะอาด อบ และพ่นสี
4. วัสดุที่ใช้ในการทำที่แขวนด้ามจับจึงต้องทนทานทั้งความร้อนและสารเคมี วัสดุที่ใช้ทำต้องรองรับอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่า 220 องศาเซลเซียส
5. ต้องสามารถนำด้ามจับออกจับที่แขวนโดยง่ายหลังผ่านกระบวนการพ่นสี
6. ต้องออกแบบที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำให้สามารถพ่นสีด้ามจับก๊อกน้ำได้อย่างทั่วถึง

3.2 Define

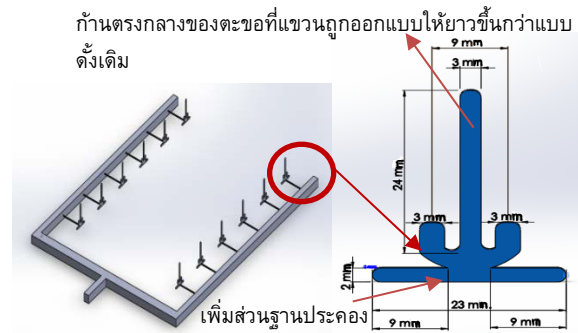
ทางคณะผู้วิจัยจัดทำการตั้งโจทย์ กำหนดปัญหา เพื่อให้ได้กรอบของปัญหาที่ไม่กว้างหรือแคบเกินไป โดยนำข้อมูลที่ได้ทำความเข้าใจกลุ่มเป้าหมายอย่างลึกซึ้งมาวิเคราะห์เพื่อสรุปประเด็นสำคัญและเป้าหมายของการออกแบบ เพื่อให้ได้กรอบโจทย์ที่ชัดเจน มีคุณค่า มีความหมาย ทำหาย และครอบคลุมหลายมุมมอง โดยวิเคราะห์ร่วมกันเป็นทีม โดยใช้วิธีสร้างกรอบโจทย์ในการออกแบบจาก Value Proposition Canvas ดังต่อไปนี้ “การออกแบบที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำจะช่วยบริษัทผลิตก๊อกน้ำซึ่งต้องการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยจะออกแบบที่แขวนด้ามจับก๊อกน้ำที่สามารถทำให้ด้ามจับอยู่หนึ่ง แต่สามารถดึงด้ามจับออกจากที่แขวนได้ง่าย ทำจากวัสดุที่ทนต่ออุณหภูมิและสารเคมีได้ และรองรับระบบลำเลียงอัตโนมัติในอนาคตได้

3.3 Ideate และ Prototype

ในขั้นตอน Ideate ทางคณะผู้วิจัยทำการระดมสมองโดยแบ่งทีมงานออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 2 คน เพื่อแก้ไขปัญหาที่ได้ระบุในขั้นตอน Define ด้วยการต่อยอดความคิดจากตัวต้นแบบทางกายภาพที่โรงงานสร้างขึ้น เนื่องจากโรงงานมีความต้องการให้คณะผู้วิจัยปรับปรุงการออกแบบจากตัวต้นแบบดังกล่าว ตัวต้นแบบที่สามารถนำมาใช้ในการทดสอบในกระบวนการความคิดเชิงออกแบบอาจมีหลายรูปแบบ เช่น ภาพร่าง 2 มิติ แบบจำลอง 3 มิติ แผ่นผัง แบบจำลองทางกายภาพ ฯลฯ [1] ซึ่งในงานวิจัยนี้แบบจำลองสามมิติ (3D modelling) ด้วย

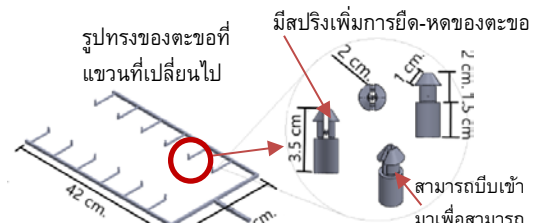
โปรแกรมคอมพิวเตอร์(CAD software) ถูกใช้เป็นตัวต้นแบบที่ใช้ในการทดสอบ เนื่องจากแบบจำลองสามมิติเป็นตัวต้นแบบที่มีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบอุปกรณ์ในกรณีที่มีเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยของคุณลักษณะ (feature) ของอุปกรณ์ เช่น มีการเพิ่มคุณลักษณะ ลดคุณลักษณะ การเปลี่ยนแปลงขนาด เพื่อประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายของผู้ประกอบการ[7] คณะผู้วิจัยสร้างต้นแบบด้วยแบบจำลองสามมิติจำนวนสามต้นแบบ โดยมีการประยุกต์หลัก ECRS ในหัวข้อหลักการทำให้ง่าย Simplify โดยการออกแบบตะขอที่แขวนแบบใหม่ที่สามารถสวมด้ามจับก๊อกน้ำได้โดยง่าย ทำให้ด้ามจับไม่เคลื่อนไหวไปมาเพื่อรองรับกระบวนการต่อไป เช่น การยิงทราย ล้างอบ พ่นสี และจะต้องสามารถถอดด้ามจับก๊อกน้ำออกจากที่แขวนได้ง่ายเพื่อลดเวลาในการตรวจสอบสภาพด้ามจับเพื่อนำไปประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ก๊อกน้ำต่อไป รูปต้นแบบ(Prototype)ที่1-3 ที่ออกแบบใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 5-7

1. ต้นแบบที่ 1 โครงเป็นเหล็ก ส่วนที่แขวนจะเป็นสแตนเลส ส่วนที่ต่างจากต้นแบบเดิมจากของโรงงานคือ แบบใหม่จะออกแบบให้ก้านตรงกลางของส่วนที่แขวนยาวกว่าเดิม เพื่อป้องกันการหลุดของด้ามจับก๊อกน้ำ และเพิ่มส่วนฐานเพื่อให้ประคองด้ามจับก๊อกน้ำได้ดีขึ้น



รูปที่ 5 ต้นแบบที่ 1

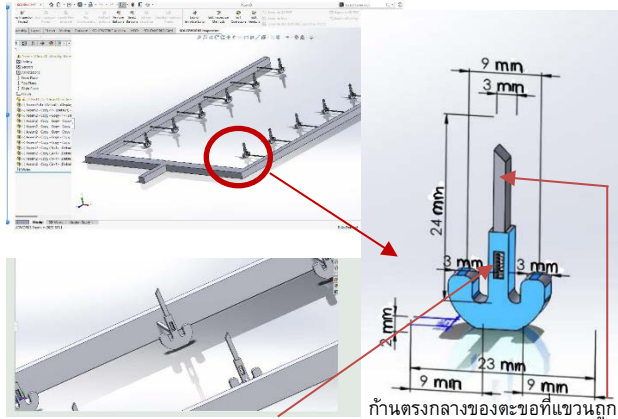
2. ต้นแบบที่ 2 โครงเป็นเหล็ก ส่วนที่ตะขอที่แขวนจะทำมาจากไทเทเนียม มีสปริงเพื่อให้หัวตะขอที่แขวนยึดหดได้ เพื่อให้รองรับที่แขวนให้สามารถใส่ด้ามจับก๊อกน้ำได้แน่นไม่หลุดง่าย และสามารถถอดด้ามจับก๊อกน้ำออกได้ง่ายเมื่อทำการบีบตรงสปริงให้เอาด้ามจับออกเพื่อตรวจสอบสภาพได้ง่าย



รูปที่ 6 ต้นแบบที่ 2

3. ต้นแบบที่ 3 โครงเป็นเหล็ก ส่วนที่แขวนจะเป็นสแตนเลส ส่วนที่ต่างจากต้นแบบเดิมจากของโรงงานคือแบบใหม่จะออกแบบให้ก้านตรง

กลางสามารถยึดหดได้ เพื่อช่วยในการเอาที่แขนด้ามจับออกจากแม่พิมพ์ได้ง่ายมากขึ้น และก้านตรงกลางของส่วนที่แขนยาวกว่าเดิมเพื่อป้องกันการหลุดของด้ามจับก๊อกรุ่น



สปริงทำให้ก้านตรงกลางยึดหดได้

ก้านตรงกลางของตะขอที่แขนถูก

รูปที่ 7 ต้นแบบที่ 3

3.4 Test

ทางคณะผู้วิจัยได้นำต้นแบบทั้ง 3 แบบไปทดสอบกับผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในงานที่แขนด้ามจับก๊อกรุ่นทั้ง 3 คนของโรงงาน ได้แก่ หัวหน้าแผนกพ่นสีก๊อกรุ่น หัวหน้างานพ่นสีก๊อกรุ่น และ หัวหน้างานสร้างแม่พิมพ์ มีการใช้แบบสอบถามเพื่อถามความคิดเห็นที่มีต่อต้นแบบทั้ง 3 แบบเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้การใช้งานจริง ตัวอย่างคำถามได้แก่ 1. ท่านคิดว่าสามารถนำต้นแบบนำไปใช้ในโรงงานจริงมากน้อยเพียงใด 2. อุปสรรคในการนำไปใช้งานจริง 3. ข้อเสนอแนะเพื่อปรับปรุง

ผลการทดสอบพบว่า ทั้ง 3 คนให้คำแนะนำว่าก้านตรงกลางของตะขอที่รองรับชิ้นงานควรไม่หนาเกิน 2 มิลลิเมตรเนื่องจากต้องรองรับการพ่นสีหลายรอบ ถ้าก้านตรงกลางหนาเกินไปจะทำให้ที่แขนทำงานได้รอบการทำงานที่น้อยเพราะสีพอกที่แขนด้ามจับมากเกินไป ต้นแบบที่ 1 มีความเป็นไปได้ในการนำไปใช้มากที่สุด เนื่องจากไม่มีส่วนประกอบของสปริง เพราะเมื่อผ่านการพ่นสีที่ด้ามจับ สีจะเข้าไปจับตัวสปริง สปริงจะขยับขึ้นลงไม่ได้ในที่สุด ต้นแบบที่ 2 และ 3 ควรนำไปปรับปรุงโดยไม่ให้สีเข้าสัมผัสกับสปริงได้ แต่ให้คงการออกแบบส่วนประกอบของหัวตะขอที่แขนให้สามารถขยับยึดหดได้เพื่อให้งานเข้ามายังที่แขนได้สะดวกและตะขอที่แขนสามารถช่วยลีดชิ้นงานได้แน่นอนเมื่อชิ้นงานเข้ามาแล้ว

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กระบวนการความคิดเชิงออกแบบร่วมกับหลักการ ECRS ในการออกแบบที่แขนด้ามจับก๊อกรุ่นเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต หลังจากผ่านกระบวนการคิดเชิงออกแบบ ทดสอบต้นแบบกับกลุ่มเป้าหมาย 3 คน ซึ่งเป็นหัวหน้างานผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่เกี่ยวกับกระบวนการผลิตก๊อกรุ่น พบว่าก้านตรง

กลางของตะขอที่รองรับด้ามจับก๊อกรุ่นไม่หนาจนเกินไปเพื่อรองรับการพ่นสีได้หลายรอบ ต้นแบบที่ 1 มีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้งานจริงมากที่สุด เนื่องจากไม่มีส่วนประกอบที่เป็นสปริง ส่วนต้นแบบที่ 2-3 ก็มีความเป็นไปได้หากนำไปปรับการออกแบบตะขอ โดยไม่ให้สีเข้าสัมผัสกับสปริงได้ เพราะสีที่พ่นเมื่อแห้งแล้วจะทำให้สปริงแข็งและเป็นอุปสรรคต่อเคลื่อนย้ายของที่แขนด้ามจับออกจากแม่พิมพ์ นอกจากนี้ทางคณะผู้วิจัยวางแผนจะทำการขยายผลการวิจัยในอนาคตด้วยการสร้างต้นแบบทางกายภาพซึ่งปรับปรุงจากงานวิจัยในครั้งนี้ให้สามารถนำไปทดสอบการใช้งานในโรงงานในลำดับถัดไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณรายจ่ายมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๖ และคณะผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทการศึกษาที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.L. Michael. The Design Thinking Playbook - Mindful Digital Transformation of Teams, Products, Services, Businesses and Ecosystems, John Wiley & Sons Inc., 2018.
- [2] กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข. การศึกษาการทำงานอุตสาหกรรมเพื่อการผลิตแบบลีน Industrial Work Study, พิมพ์ครั้งที่ 1, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2565.
- [3] บัญชา อริยะจรรยา และวรัตตา อุทัยรัตน์. 2565. "การประยุกต์วิธีคิดเชิงออกแบบบริการร่วมกับวิธีการศึกษางานเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต ระดับวิสาหกิจชุมชน กรณีศึกษาระบบการผลิตขนมขี้หนูพื้ช้อัดแห้ง" Naresuan University Engineering Journal, ปีที่ 16, ฉบับที่ 1: 39-52.
- [4] ปฏิมาพร คุณาทรพิพัฒน์, พิมพ์ภัศ ศรีเที่ยงตรง, โชติ อินทวงศ์ และ อาณัติ วัฒนสังสุทธิ์. การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต : กรณีการประกอบชุดขับเคลื่อนล้อหลังรถยนต์. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2565, 11-12 พฤษภาคม 2565, รูปแบบออนไลน์ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์
- [5] รุจยา เกตุสุวรรณ และณัฐนารี สุขเสกสรร. แนวทางการปรับปรุงกระบวนการตั้ง Calender rolls. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2565, 11-12 พฤษภาคม 2565, รูปแบบออนไลน์ผ่านสื่ออิเล็กทรอนิกส์
- [6] K. R. YIN. Case study research : design and methods, SAGE, 2014.
- [7] J. Liu, X. Liu, Z. Ni and H.Zhou. 2016. "A new method of reusing the manufacturing information for the slightly changed 3D CAD model". Journal of Intelligent Manufacturing, Vol.29 (8): 1827 – 1844.

การแก้ปัญหาด้วยการออกแบบเชิงวิศวกรรมเพื่อลดเวลาในกระบวนการทำความสะอาดสายการผลิต อาหารสัตว์

Problem Solving Engineering Design for Reducing Time in The Cleaning Process of Feed Production Lines

ณราวดี สิทธิเดชธำรงค์

สาขาวิศวกรรมกระบวนการและอุตสาหกรรม สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

E-mail: Narawadee@mut.ac.th*

Narawadee Sithidetchtamrong

Department of Process and Industrial Engineering, Institute of Engineering and Industrial Technology,

Mahanakorn University of Technology

E-mail: Narawadee@mut.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ โดยมุ่งเน้นไปที่การลดเวลาในขั้นตอนการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์ จากการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ในปัจจุบัน พบว่าเกิดความล่าช้าในกระบวนการทำความสะอาดที่เกิดจากกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ที่ทำให้มีฝุ่นของเครื่องร่อนในขั้นตอนการผลิต โดยพนักงานจะต้องเก็บกวาดฝุ่นทุกครั้งก่อนการเริ่มทำการผลิตรอบถัดไป ส่งผลให้ในรอบการทำงานที่ต้องผลิตถัดไปใช้เวลานาน จึงได้นำหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design) ร่วมกับหลักการ ECRS ในการออกแบบอุปกรณ์ช่วยลำเลียงฝุ่น ผลการปรับปรุงเวลาทั้งหมดของกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 9981.00 วินาที หลังการปรับปรุงใช้เวลา 8398.20 วินาที เวลาที่ลดลงเท่ากับ 1582.80 วินาที คิดเป็น 15.86% ในขั้นตอนการที่พนักงานทำความสะอาดสายการผลิตเพื่อเริ่มการผลิตรอบใหม่ก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 1582.80 วินาที หลังปรับปรุงไม่มีขั้นตอนการทำความสะอาดสายการผลิตคิดเป็น 100%

คำสำคัญ: ออกแบบเชิงวิศวกรรม หลักการ ECRS ลดเวลา

Abstract

The purpose of this research was to reduce the processing time of animal feed. It focuses on reducing the time spent cleaning the feed production line. Based on current data collection and analysis It was found that delays in the cleaning process caused by the feed production process caused the dust of the glider in the production process. The employees must clean up the dust every time before starting the next production cycle. Resulting in the next production cycle taking a long time. Therefore, engineering design principles have been combined with ECRS principles in designing a dust-conveying device. The total time improvement effect of the feed production process before the improvement took 9981.00 seconds, after the improvement took 8398.20 seconds, and the time reduction was 1582.80 seconds, representing 15.86% in the process where the operator cleaned the production line to start the operation. A new round of production before the improvement takes 1582.80 seconds. After the improvement, there is no cleaning process for the production line, representing 100%.

Keywords: Engineering design, ECRS, Reducing time

1. บทนำ

ปัจจุบันกระแสความนิยมเลี้ยงสัตว์เสมือนเป็นสมาชิกในครอบครัว (Pet Humanization) ทำให้อุตสาหกรรมอาหารสัตว์เลี้ยงของไทยถือเป็นสินค้าตัวรุ่งที่นำรายได้เข้าประเทศจากการส่งออก ประมาณปีละ 65,000 ล้านบาท จากข้อมูลกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศระบุว่า การส่งออกอาหารสัตว์เลี้ยง ปี 2565 (ม.ค.-ก.ย.) มีมูลค่าการส่งออกรวม 74,975.65 ล้านบาท ขยายตัว 34.41% ตลาดส่งออกสำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา 21,520.36 ล้านบาท ขยายตัว 59.11% ญี่ปุ่น 8,411.20 ล้านบาท ขยายตัว 6.56% และอิตาลี 4,821.45 ล้านบาท ขยายตัว 52.59 % และมีแนวโน้มเติบโตมากขึ้นในอนาคต [1]

บริษัทที่ผลิตอาหารสัตว์เลี้ยงเป็นบริษัทดำเนินธุรกิจด้านอุตสาหกรรมการผลิตอาหารสัตว์เลี้ยง ปัญหาที่พบในปัจจุบันคือเวลาในการเริ่มรอบการผลิตใหม่มีความล่าช้า เนื่องจากหนึ่งในกระบวนการผลิตในส่วนของกระบวนการร่อนวัตถุดิบจะมีฝุ่นที่เกิดจากการร่อนกระจายตามสายการผลิตเป็นจำนวนมาก จึงต้องมีการทำความสะอาดทุกครั้งต่อ 1 รอบการผลิต เพื่อไม่ให้ฝุ่นปนเปื้อนในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์เลี้ยง จึงทำให้การเริ่มรอบการผลิตใหม่มีความล่าช้า

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาปัญหาและกระบวนการผลิตอาหารสัตว์เลี้ยง โดยศึกษากระบวนการทำงานและวิเคราะห์สาเหตุของความล่าช้าของกระบวนการผลิตเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตอาหารสัตว์เลี้ยง ได้นำหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design) ร่วมกับหลักการ ECRS เพื่อออกแบบอุปกรณ์ในการช่วยลดเวลาในการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์เลี้ยง และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของบริษัทที่ผลิต

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

ศึกษากระบวนการทำงานและวิเคราะห์สาเหตุของความล่าช้าของกระบวนการผลิตอาหารสัตว์เลี้ยง เพื่อออกแบบอุปกรณ์ในการช่วยลดเวลาในการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์เลี้ยง

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาดำเนินงานวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 หลักการ ECRS

E (Eliminate, การกำจัด) หมายถึง การลดขั้นตอนการผลิตที่ไม่จำเป็น ไม่เกิดมูลค่าเพิ่มและทำการกำจัดขั้นตอนนั้นออกไป รวมทั้งการกำจัดความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการ

C (Combine, การรวมกัน) หมายถึง การรวมขั้นตอนการผลิตให้เหลือน้อยลง โดยพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการผลิตใดให้เหลือน้อยลงได้หรือไม่

R (Rearrange, การจัดใหม่) หมายถึง การจัดลำดับการผลิตใหม่ โดยการโยกย้ายสลับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิตให้เหมาะสม

S (Simplify, การทำให้ง่าย) หมายถึง การปรับปรุงวิธีการทำงานให้สะดวกและง่ายขึ้น [3-5]

3.2 การศึกษาการทำงาน (Work Study)

การศึกษาการทำงาน (Work Study) คือ การศึกษาวิธี (Method Study) และการวัดผลงาน (Work Measurement) ใช้ในการศึกษากระบวนการทำงาน เพื่อปรับปรุงการทำงานให้ดีขึ้นและพัฒนามาตรฐานการทำงาน รวมไปถึงการนำเครื่องมือไปประยุกต์ใช้เพื่อส่งเสริมให้บุคลากรมีประสิทธิภาพในการทำงาน [2, 6]

3.3 การศึกษาเวลา (Time Study)

การศึกษาเวลาหรือการวัดงาน คือ เทคนิคที่นำมาใช้ในการควบคุมการจัดการในการพัฒนาการทำงานกับปริมาณการผลิตซึ่งเกี่ยวกับการวัดผลงานซึ่งผลที่ได้จะมีหน่วยเป็นนาทีหรือวินาที ที่คนงานหนึ่งคนสามารถทำงานนั้น ๆ ได้ตามวิธีการที่กำหนด [5, 7]

3.4 การออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design)

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม เป็นขั้นตอนที่นำมาใช้ในการดำเนินการเพื่อแก้ปัญหา ซึ่งกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรมนี้จะเริ่มจากการระบุปัญหาที่พบแล้วกำหนดเป็นปัญหาที่ต้องการแก้ไข จากนั้นค้นหาแนวคิดที่เกี่ยวข้องและทำการวิเคราะห์เพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการแก้ไข เมื่อได้วิธีการที่เหมาะสมแล้วจึงวางแผนและพัฒนาสิ่งของเครื่องใช้หรือวิธีการ เมื่อสร้างชิ้นงานหรือวิธีการเรียบร้อยแล้วจึงนำไปทดสอบ หากมีข้อบกพร่องก็ให้ทำการปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้อุปกรณ์หรือวิธีการนั้นสามารถใช้งานได้ [8-9]

3.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอเทคนิคที่หลากหลายในการปรับปรุงกระบวนการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นการบริหารจัดการที่ดีภายในองค์กร การลดต้นทุนรวมถึงการลดเวลาในกระบวนการทำงาน การนำเทคนิคด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาประยุกต์ในงานวิจัยต่าง ๆ นั้น เนื่องจากบริษัทจะต้องสามารถนำเสนอผลิตภัณฑ์ของตนได้ในราคาที่แข่งขันได้และมีคุณภาพสูง หมายความว่าผลผลิตจะต้องปรับปรุงเพื่อให้สามารถแข่งขันและบรรลุผลการปฏิบัติงานได้ [10] สิ่งสำคัญคือต้องตระหนักข้อจำกัดต่าง ๆ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน กระบวนการผลิตจะต้องได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพที่ดีขึ้น รวมถึงผลผลิตที่สูงขึ้น และสามารถทำกำไรให้กับบริษัท [11] มีงานวิจัยที่นำเสนอการประยุกต์ใช้หลักการศึกษางานและการวิเคราะห์กระบวนการศึกษาระดับขั้นตอนการไหลของวัตถุดิบ พนักงาน และอุปกรณ์ที่เกิดขึ้น โดยประยุกต์ใช้หลักการ ECRS ลดความสูญเปล่าในกระบวนการที่เกิดขึ้นสามารถลดขั้นตอนการทำงานลงเหลือ 20 ขั้นตอน และ 25 ขั้นตอน ใช้เวลาทำงานลดลงเหลือ 23.14 นาที/ห้อง และ 31.56 นาที/ห้อง ใช้พนักงานทำงานลดลงเหลือ 4 คน คิดเป็นต้นทุนด้านแรงงานที่ลดลงได้ถึง 9,000 บาท/เดือน [12] ได้ศึกษาความสูญเปล่าทั้ง 7 ประการเพื่อลด

กิจกรรมที่ไม่เป็นประโยชน์ในกระบวนการและเพิ่มคุณค่าของสินค้าสำเร็จรูปหรือการบริการให้กับผู้บริโภคโดยใช้เทคนิค 5W1H วิเคราะห์ความจำเป็นของแต่ละกระบวนการและใช้หลักการ ECRS ในการปรับปรุงกระบวนการ [13] มีงานวิจัยที่นำการออกแบบเชิงวิศวกรรมพบว่าสามารถระบุปัญหาที่เกิดขึ้น ประเมินความซับซ้อนของปัญหาและระบุความเชื่อมโยงของตัวแปรหรือปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา และสามารถประเมินความเหมาะสมของแนวทางหรือข้อสรุปของวิธีการแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม [14]

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาในงานวิจัยนี้ได้นำหลักการใช้หลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design) ร่วมกับหลักการ ECRS เพื่อออกแบบอุปกรณ์ในการช่วยลดเวลาในการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์ ในการแก้ไขปัญหาให้กับบริษัทกรณีศึกษา มุ่งหวังในการช่วยลดเวลาในการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์

4. วิธีการวิจัยและดำเนินงาน

4.1 เก็บข้อมูลและเวลาในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์

กระบวนการผลิตอาหารสัตว์มีทั้งหมด 11 ขั้นตอนและเวลาในการทำงานแต่ละขั้นตอน แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนและเวลาในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์

ขั้นตอน	เวลา (วินาที)
1.พนักงานนำวัตถุดิบเข้าเครื่องผสม	917.40
2.วัตถุดิบไหลเข้าเครื่องบด	1218.60
3.วัตถุดิบไหลเข้าเครื่องร่อน	1042.20
4.วัตถุดิบไหลเข้าเครื่องอบ	921.00
5.วัตถุดิบไหลเข้าถังพัก พนักงานเติมวิตามิน	420.60
6.วัตถุดิบไหลเข้าเครื่องอัดเม็ด	1101.00
7.วัตถุดิบไหลเข้าเครื่องผสมสูตรของบริษัท	403.20
8.วัตถุดิบไหลเข้าเครื่องเป่าแห้ง	792.00
9.วัตถุดิบไหลเข้าเครื่องเป่าลมเย็น	440.40
10.วัตถุดิบไหลเข้าเครื่องบรรจุลงกระสอบ	1141.80
11.พนักงานกวาดทำความสะอาดสายการผลิตเพื่อเริ่มการผลิตใหม่	1582.80
รวม	9981.00

ในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ทั้งหมด 11 ขั้นตอน ใช้เวลาในกระบวนการทั้งหมด 9981.00 วินาที พบว่าขั้นตอนที่ใช้เวลาในการทำงานมากที่สุดในกระบวนการคือขั้นตอนที่ 11. พนักงานทำความสะอาดสายการผลิตเพื่อเริ่มการผลิตใหม่ใช้เวลา 1582.80 วินาที

จากนั้นจึงนำหลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design) มาการวิเคราะห์ระบุปัญหาและแนวทางแก้ปัญหา

4.2 การวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางแก้ปัญหาโดยการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design)

กระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design) ประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

4.2.1 ขั้นที่ 1 ระบุปัญหา (Problem Identification)

ใช้การตั้งคำถามด้วยหลัก 5W1H เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงวิธีการทำงานสามารถลดเวลาการทำความสะอาดได้โดยใช้เทคนิคการตั้งคำถาม 5W1H ควบคู่กับการพิจารณาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการตามหลัก ECRS โดยพิจารณาขั้นตอนย่อยที่ 11 แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การตั้งคำถาม 5W1H และแนวทางปรับปรุงตามหลัก ECRS ในขั้นตอนที่ 11

คำถาม 5W1H	คำตอบ 5W1H	แนวทางการปรับปรุงตามหลัก ECRS
Who	พนักงานใช้เวลาทำความสะอาดสายการผลิตนาน	การกำจัด (Eliminate) พิจารณากำจัดวิธีการทำความสะอาดด้วยการให้พนักงานกวาด เป็นการออกแบบอุปกรณ์ช่วยลดเสียงฝุ่น
What	เวลาทำความสะอาดสายการผลิตนาน	-
When	กระบวนการผลิตอาหารสัตว์	-
Where	สายการผลิตอาหารสัตว์	-
Why	เพื่อต้องการเริ่มกระบวนการผลิตใหม่	-
How	ออกแบบอุปกรณ์ช่วยลดเวลาในการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์	การทำให้ง่าย (Simplify) โดยออกแบบอุปกรณ์มาช่วยลดเสียงฝุ่น ที่ใช้งานได้ง่ายและสะดวก

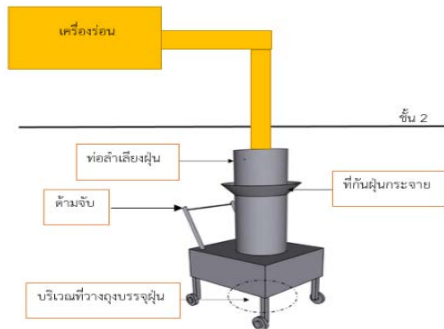
4.2.2 ขั้นที่ 2 รวบรวมแนวคิดแก้ไขปัญห (Related Information Search)

กำหนดแนวทางการแก้ไขปัญหาโดยใช้หลักการ ECRS โดยมุ่งเน้นการกำจัด (Eliminate) ขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก ได้แก่ การกวาดฝุ่นที่เกิดจากเครื่องร่อน และการทำให้ง่าย (Simplify) โดยออกแบบอุปกรณ์ช่วยลดเสียงฝุ่นช่วยลดเวลาในการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์

4.2.3 ขั้นที่ 3 ออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution Design)

การออกแบบอุปกรณ์มาช่วยลดเสียงฝุ่นทำความสะอาด เพื่อลดเวลาในการทำความสะอาดนั้นได้คำนึงถึงลักษณะของการนำไปใช้งานจริงในบริษัท จึงมีการพิจารณาในด้านขนาดและลักษณะของอุปกรณ์ จึงได้ออกแบบ

เป็นอุปกรณ์ลำเลียงฝุ่น ซึ่งจะนำอุปกรณ์นี้ไปต่อกับปลายท่อเครื่องร่อน แสดงดังรูปที่ 1 และได้กำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ช่วยลำเลียงฝุ่น เพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมดังนี้ มีความแข็งแรง มีอายุการใช้งานนาน และราคาไม่แพง



รูปที่ 1 ลักษณะอุปกรณ์ช่วยลำเลียงฝุ่น

4.2.4 ชั้นที่ 4 วางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and Development)

ในการวางแผนและดำเนินการแก้ไขผู้วิจัยได้กำหนดรายละเอียดแต่ละส่วนของอุปกรณ์ลำเลียงฝุ่นแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายละเอียดแต่ละส่วนของอุปกรณ์ลำเลียงฝุ่น

แบบ	รายละเอียด
<p>หน่วย: มิลลิเมตร</p>	<p>ชั้นส่วนท่อและที่กันฝุ่นกระจาย ท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 มิลลิเมตร ที่กันฝุ่นกระจายมีลักษณะมีความสูง 120 มิลลิเมตร สามารถเลื่อนขึ้นไปชนกับรอยต่อระหว่างท่อ เพื่อกันไม่ให้ฝุ่นกระจายออกมาข้างนอกท่อ โดยท่อมีความสูง 800 มิลลิเมตร</p>
<p>หน่วย: มิลลิเมตร</p>	<p>ตัวรถเข็นในส่วนของขารถเข็น มีความสูง 600 มิลลิเมตร ล้อของรถเข็น มีความสูง 100 มิลลิเมตร และความสูงของตัวรถเข็น 200 มิลลิเมตร ด้านบนตัวรถเข็นมีความกว้าง 500 มิลลิเมตร ความยาว 700 มิลลิเมตร</p>

หลังจากออกแบบรายละเอียดขนาดของอุปกรณ์ ผู้วิจัยได้เลือกวัสดุมาสร้างอุปกรณ์ลำเลียงฝุ่น โดยแบ่งเป็นการสร้างชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนเองและซื้อชิ้นส่วนสำเร็จรูปมาติดตั้ง แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดชิ้นส่วนและวัสดุเพื่อทำอุปกรณ์ช่วยลำเลียงฝุ่น

ชิ้นส่วน	วัสดุ	วิธีการ
ท่อปล่อยฝุ่นที่ต่อจากเครื่องร่อนและที่กันฝุ่นกระจาย	อลูมิเนียมเป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับประทานน้ำหนักได้สูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสี่ยงต่อการรอยร้าว และการแตกหัก ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน [15]	สร้างขึ้นเอง
ล้อรถเข็น	-	ซื้อสำเร็จรูป

4.2.5 ชั้นที่ 5 ทดสอบ ประเมินผล และปรับปรุงแก้ไขวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing, Evaluation and Design Improvement)

ติดตั้งอุปกรณ์ช่วยลำเลียงฝุ่นจะเข็นรถเข็นไว้ใต้ท่อปล่อยฝุ่นที่มาจากเครื่องร่อน จากนั้นติดตั้งที่กันฝุ่นกระจาย และใส่ถุงบรรจุฝุ่นแขวนไว้ใต้รถเข็น แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การติดตั้งอุปกรณ์ช่วยลำเลียงฝุ่นของเครื่องร่อน

ทดลองนำอุปกรณ์ช่วยลำเลียงฝุ่นติดตั้งบริเวณปลายท่อปล่อยฝุ่นของเครื่องร่อนก่อนเริ่มกระบวนการผลิตและจับเวลาของกระบวนการผลิตอาหารสัตว์

ตารางที่ 5 ขั้นตอนและเวลาในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ช่วยลำเลียงฝุ่น

ขั้นตอน	เวลา (วินาที)
1. พนักงานนำวัสดุดิบเข้าเครื่องผสม	917.40
2. วัสดุดิบไหลเข้าเครื่องบด	1218.60
3. วัสดุดิบไหลเข้าเครื่องร่อน	1042.20
4. วัสดุดิบไหลเข้าเครื่องอบ	921.00
5. วัสดุดิบไหลเข้าถังพักพนักงานเติมวิตามิน	420.60
6. วัสดุดิบไหลเข้าเครื่องอัดเม็ด	1101.00
7. วัสดุดิบไหลเข้าเครื่องผสมสูตรของบริษัท	403.20
8. วัสดุดิบไหลเข้าเครื่องเป่าแห้ง	792.00

ตารางที่ 5 ขั้นตอนและเวลาในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ช่วยลำเลียงฟ่อน (ต่อ)

ขั้นตอน	เวลา (วินาที)
9. วัตถุประสงค์ป้อนเข้าเครื่องเป่าลมเย็น	440.40
10. วัตถุประสงค์ป้อนเข้าเครื่องบรรจุลงกระสอบ	1141.80
รวม	8398.20

จากตารางที่ 5 จะเห็นว่าขั้นตอนในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ก่อนการปรับปรุงมีขั้นตอนทั้งหมด 11 ขั้นตอน หลังปรับปรุงสามารถลดเหลือ 10 ขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนที่หายไปคือขั้นตอนในการทำความสะอาดสายการผลิตก่อนเริ่มการผลิตรอบใหม่ และเวลาทั้งหมดของกระบวนการก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 9981.00 วินาที หลังการปรับปรุงใช้เวลา 8398.20 วินาที เวลาที่ลดลงเท่ากับ 1582.80 วินาที คิดเป็น 15.86% ฉะนั้นผลการปรับปรุงเวลาในขั้นตอนการที่พนักงานทำความสะอาดสายการผลิตเพื่อเริ่มการผลิตรอบใหม่ก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 1582.80 วินาที หลังปรับปรุงไม่มีขั้นตอนการทำความสะอาดสายการผลิตคิดเป็น 100%

4.2.6 ขั้นที่ 6 นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา ผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation)

ผลการปรับปรุงในการแก้ปัญหาเวลาที่พนักงานทำความสะอาดสายการผลิตเพื่อเริ่มการผลิตรอบใหม่มีความล่าช้า นั้น หลังการปรับปรุงหรือการแก้ไขปัญหามาสามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ได้โดยใช้อุปกรณ์ช่วยลำเลียงฟ่อนแสดงดังตารางที่ 6 ส่งผลให้บริษัทสามารถเริ่มรอบการผลิตใหม่ที่เร็วยิ่งขึ้น

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง

การทำงาน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลการปรับปรุง	% การปรับปรุง
ขั้นตอนทั้งหมดในกระบวนการ	11	10	ลด 1 ขั้นตอน	
เวลาทั้งหมดของกระบวนการผลิตอาหารสัตว์	9981.00 วินาที	8398.20 วินาที	ลด 1582.80 วินาที	15.86

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุง (ต่อ)

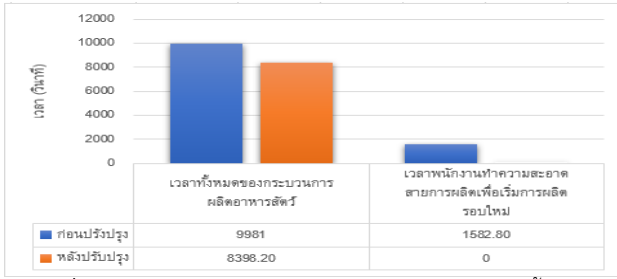
การทำงาน	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลการปรับปรุง	% การปรับปรุง
เวลาพนักงานทำความสะอาดสายการผลิตเพื่อเริ่มการผลิตใหม่	1582.80 วินาที	-	ขจัดขั้นตอนการทำความสะอาดสายการผลิต	100

5. สรุปผลดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลดำเนินการวิจัย

งานวิจัยได้ดำเนินการลดเวลาในขั้นตอนการทำความสะอาดสายการผลิตอาหารสัตว์ ของกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ โดยเริ่มจากศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนำมาวิเคราะห์ปัญหาที่ทำให้เกิดความล่าช้าของกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ เก็บข้อมูลของกระบวนการผลิตอาหารสัตว์ จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และทำการแก้ไขปัญหาพบว่าในขั้นตอนการทำความสะอาดสายการผลิตก่อนเริ่มรอบการผลิตใหม่ ที่ทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์

จากการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาทางผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงการทำงาน โดยใช้หลักการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design) ร่วมกับหลักการ ECRS โดยมุ่งเน้นการกำจัด (Eliminate) ขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก ได้แก่ การกวาดฟ่อนที่เกิดจากกระบวนการผลิตจากเครื่องร่อน และการทำให้ง่าย (Simplify) โดยออกแบบอุปกรณ์มาช่วยการปฏิบัติงานในขั้นตอนดังกล่าว คือ อุปกรณ์ลำเลียงฟ่อนโดยใช้โปรแกรม solid work ในการออกแบบ เพื่อลดปริมาณฟ่อนที่ฟุ้งกระจายทั่วสายการผลิต ทำให้สามารถขจัดขั้นตอนการทำความสะอาดสายการผลิต และเวลาทั้งหมดของกระบวนการก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 9981.00 วินาที หลังการปรับปรุงใช้เวลา 8398.20 วินาที เวลาที่ลดลงเท่ากับ 1582.80 วินาที ฉะนั้นผลการปรับปรุงเวลาในขั้นตอนการที่พนักงานทำความสะอาดสายการผลิตเพื่อเริ่มการผลิตรอบใหม่ก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 1582.80 วินาที หลังปรับปรุงไม่มีขั้นตอนการทำความสะอาดสายการผลิต แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 เปรียบเทียบเวลาในกระบวนการผลิตอาหารสัตว์และขั้นตอนพนักงานทำความสะอาดสายการผลิตก่อนและหลังปรับปรุง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการเข้าไปศึกษากระบวนการผลิตอาหารสัตว์ ยังพบว่ามีความจำเป็นโดยปัญหาเหล่านี้สามารถนำหลักการทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการออกแบบเชิงวิศวกรรม (Engineering Design) ในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้เพื่อลดเวลาในกระบวนการส่วนอื่นของสถานประกอบการได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท เนคเทค เพทฟู้ด จำกัด นักศึกษา นายรัฐพัฒน์ บุญนาค ช่วยเก็บข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] ฐานเศรษฐกิจดิจิทัล, ตลาดอาหารสัตว์เลี้ยงเงินมูลค่า 7 แสนล้านบาท, ข้อมูลจาก <https://thansettakij.com/lifestyle/pet/550580>, (วันที่สืบค้น 10 ธันวาคม 2565)
- [2] รศ.รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. การศึกษางานอุตสาหกรรม, ฉบับปรับปรุงใหม่, บริษัท สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, 2562.
- [3] มงคล กิตติญาณขจร, มณีมนต์ วงหาจัก, มัทนา สุขสมบูรณ์, การประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็วและ ECRS เพื่อลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร: กรณีศึกษา กระบวนการผลิตหัวเชื้อเครื่องตีชนิดผง, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ปีที่ 27 ฉบับที่ 1, ม.ค.-มี.ค.2565.
- [4] Pongchairerks, P. (2013). Benefits and applications of methods engineering. *Kasetsart Engineering Journal*, 83(26), 84-91.
- [5] Authayarat, W., & Ariyajunya, B. (2021), The Application of Service Design Thinking and Work Study in Process Improvement of Community Enterprise Manufacture: A Case Study of Granola Bar Production Process, *Naresuan University Engineering Journal*, Vol.16, No.1, Jan - June 2021, pp.39-52.
- [6] วันชัย ริจิรวนิช, การศึกษาการทำงาน หลักการและกรณีศึกษา, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ พิมพ์ครั้งที่ 8, 2555.

- [7] สุริยันต์ สังข์สนะ, ศึกษาเวลา Time Study, ข้อมูลจาก <https://goterrestrial.com/2021/02/02/cycle-time/> (วันที่สืบค้น 2 ธันวาคม 2565)
- [8] Clinton, G., & Hokanson, B. (2012). Creativity in the training and practice of instructional designers: the Design/Creativity Loops model. *Educational Technology Research and Development*, 60, 111-130.
- [9] Middleton, H. (2005). Creative thinking, values and design and technology education. *International journal of technology and design education*, 15, 61-71.
- [10] Standards, C. (2017), *International Productivity Monitor*. OECD Publishing, ข้อมูลจาก <https://books.google.fr/books?id=NAotDwAAQBAJ> (วันที่สืบค้น 2 ธันวาคม 2565)
- [11] Mazumder, S., Kabir, G., Hasin, M., Ali, S., 2018, Productivity benchmarking using analytic network process (ANP) and data envelopment analysis (DEA) *Big Data and Cognitive Computing* 2 (3), 27 (วันที่สืบค้น 2 ธันวาคม 2565)
- [12] ธรรมศักดิ์ ค่ายเทศ, ชีรพล เกื้อนแพ และนิศาชล จันทรานภาสวัสดิ์ การลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานของอุตสาหกรรมบริการด้านโรงแรมโดยแผนภูมิการไหล, วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 31, ฉบับที่ 1 ม.ค.-มี.ค. 2564, หน้า 180-192.
- [13] Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International journal of operations & production management*, 17(1), 46-64.
- [14] Wonsiri, N., Pantapalangkoor, B., & Ketsing, J. (2022). Developing ninth graders' complex problem solving competency via engineering design problem-based learning. *Journal of education naresuan university*, 24(3), 147-157.
- [15] สมาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย, อลูมิเนียม (Aluminium) ชนิดและประโยชน์, ข้อมูลจาก <https://industrialclub.fti.or.th/2021/11/10/อลูมิเนียม-aluminium-ชนิด-และ-ประโยชน์/> (วันที่สืบค้น 10 พฤศจิกายน 2565)

การศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้าประเทศกัมพูชา ต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย ผ่านด่านชายแดนอรัญประเทศ

Perception Study of Business Management and Logistics Management Ability of Customers from Cambodia to Suppliers from Thailand through Aranyaprathet Border Checkpoint

ศรินยา ประทีปชนะชัย¹ อมรรัตน์ พรประเสริฐ² ยุทธณรงค์ จงจันทร์³ ปวีณนิตา บุญรัมย์⁴ กิ้ม พรประเสริฐ^{4*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

²สาขาวิชาการจัดการทั่วไป คณะบริหารธุรกิจและการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

³สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

⁴สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี

E-mail: peema2000@yahoo.com*

Sarinya Prateepchanachai¹, Amonrat Pornprasert², Yuthanarong Jongjun³, Pawinyada Boonrom⁴, Peema Pornprasert^{4*}

¹Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

²Department of General Management, Faculty of Business Administration and Management, Ubon Ratchatani Rajabhat University

³Department of Industrial Technology, Faculty of Industrial Technology, Rajabhat Rajanagarindra University

⁴Department of Logistics Management, Faculty of Industrial Technology, Ubon Ratchatani Rajabhat University

E-mail: peema2000@yahoo.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้าประเทศกัมพูชาต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทยผ่านด่านชายแดนอรัญประเทศ วิธีการศึกษาเริ่มจากสุ่มตัวอย่างเพื่อแจกแบบสอบถามในลักษณะบังเอิญพบจำนวน 400 ชุด ตามวิธีการของคอกแรน การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติ ค่าความถี่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย และ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการทดสอบสมมติฐาน ใช้การทดสอบค่าทีและหาความสัมพันธ์โดยใช้แผนผังการกระจาย ผลการวิจัยพบว่า การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจจากประเทศไทยของลูกค้าประเทศกัมพูชา ในระดับมากที่สุดได้แก่ การพยากรณ์ความต้องการ การพัฒนาเทคโนโลยี และการจัดการคำร้องเรียนจากลูกค้าตามลำดับ ส่วนการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์จากประเทศไทยของลูกค้าประเทศกัมพูชา ในอันดับมากที่สุดได้แก่ การให้ข้อมูลสถานะของสินค้า การให้บริการตามเงื่อนไขเวลาที่กำหนด และความพร้อมขององค์กร ตามลำดับ ผลการทดสอบสมมติฐานพบว่าปัจจัยด้านลักษณะของผู้ซื้อสินค้าไม่มีผลต่อการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจมีความสัมพันธ์กับการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ในระดับปานกลาง ที่ระดับความสัมพันธ์ 0.533

คำสำคัญ: การจัดการธุรกิจ การจัดการโลจิสติกส์ ประเทศกัมพูชา ด่านชายแดนอรัญประเทศ

Abstract

This research aims to study perception level of business management and logistics management ability of customers from Cambodia to suppliers from Thailand through Aranyaprathet border checkpoint. The study method was started by random sampling to distribute 400 randomized questionnaires according to Cochran's method. Data were analyzed using statistics, frequency, percentage, mean and standard deviation. in hypothesis testing Use the t-test and find the relationship using a scatter plot. The results showed that Recognition of business management capabilities from Thailand of Cambodian clients at the highest level were demand forecasting technology development and handling customer complaints, respectively. In the highest ranking are Providing status information The results of the hypothesis test revealed that the buyer's characteristics factor had no effect on the perception of business management and logistics management competency at the significant level. 0.05 The perception of business management competence was correlated with the perception of logistics management competency at a moderate level. at the correlation level 0.533

Keywords: Business Management, Logistics Management, Cambodia, Aranyaprathet Border Checkpoint

1. บทนำ

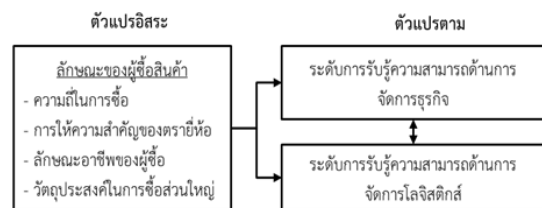
การรวมตัวทางเศรษฐกิจของอาเซียนภายใต้ “อาเซียนหลอมรวมกันเป็นตลาดเดียว” เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการขยายตัวทางการค้าระหว่างกันในภูมิภาค เนื่องจากอุปสรรคทั้งด้านภาษีที่ลดลง รวมถึงการพัฒนาเครือข่ายความเชื่อมโยงกัน (Connectivity) ในภูมิภาคทั้งทางกายภาพและกฎระเบียบ ขณะเดียวกันจากคาดการณ์การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของกลุ่มประเทศ CLMV คู่ค้าที่สำคัญของไทย พบว่ายังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ประเทศกัมพูชาเป็นหนึ่งในประเทศกลุ่ม CLMV ที่มีการซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้ากับประเทศไทยมาอย่างยาวนาน ปัจจุบันประเทศกัมพูชา มีการปฏิรูปการเมืองและเศรษฐกิจอย่างก้าวกระโดด มีการเปลี่ยนแปลงทางการเมืองและเศรษฐกิจที่มีความเสรีมากขึ้น ทำให้เกิดโอกาสและความท้าทายใหม่ ๆ ในเขตการค้าชายแดนระหว่างสองประเทศ โดยในปี 2563 การค้าระหว่างประเทศไทย - กัมพูชา มีมูลค่าถึง 139,563.38 ล้านบาท อัตราการขยายตัว ร้อยละ 12.03 [1]

สำหรับประเทศไทย ได้มีการนำแนวคิดหลักของประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนบรรจุไว้ในแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13 ได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาความสามารถด้านการจัดการธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์ ภายใต้กรอบความร่วมมือในอนุภูมิภาคต่าง ๆ โดยมุ่งพัฒนาการจัดการธุรกิจระหว่างประเทศ การบริการขนส่ง และโลจิสติกส์ที่มีประสิทธิภาพได้มาตรฐานสากล ปรับปรุงกฎระเบียบที่เกี่ยวข้อง พัฒนาบุคลากรในธุรกิจการค้าชายแดน เชื่อมโยงการพัฒนาเศรษฐกิจตามแนวพื้นที่ชายแดน รวมถึงการพัฒนาฐานลงทุนโดยเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันระดับอนุภูมิภาค อีกทั้งยังเชื่อมโยงกับประเทศเพื่อนบ้านและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ให้เป็นฐานการพัฒนาด้านอุตสาหกรรม การเกษตร และการท่องเที่ยว พัฒนาเขตเศรษฐกิจชายแดนและเมืองชายแดน รวมทั้งบูรณาการแผนพัฒนาพื้นที่เชื่อมโยงกับประเทศเพื่อนบ้านให้บรรลุประโยชน์ร่วมกันทั้งด้านความมั่นคงและเสถียรภาพของพื้นที่ ดังนั้นการสร้างภาพลักษณ์องค์กรที่ดีทั้งด้านการจัดการธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์ของผู้ประกอบการค้าระหว่างประเทศของไทยในสายตาของลูกค้าผู้ที่เกี่ยวข้องจึงมีส่วนสำคัญในการสร้างความประทับใจให้กับผู้บริโภคในตลาดได้มากขึ้น ทำให้เกิดการเติบโตทางธุรกิจที่ยั่งยืน [2]

ด้านชายแดนอรัญประเทศ ซึ่งเป็นจุดซื้อขายแลกเปลี่ยนสินค้าระหว่าง 2 ประเทศ ซึ่งจัดได้ว่าเป็นจุดผ่านแดนถาวรที่มีการค้าชายแดนมูลค่าสูงที่สุดในประเทศไทย ซึ่งหลังจากวิกฤติโรคระบาดจะทำให้เกิดการค้าและการลงทุนด้านต่าง ๆ เพิ่มขึ้น เช่น ด้านการเกษตรพันธะสัญญาอุตสาหกรรมเกษตร ด้านอุตสาหกรรมด้านการท่องเที่ยวและบริการ เป็นต้น ซึ่งการเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับการขยายตัวของการลงทุน และการเคลื่อนย้ายสินค้าแรงงานผ่านด่านชายแดนอรัญประเทศที่จะมีจำนวนเพิ่มขึ้น อีกทั้งยังมีการสนับสนุนจากภาครัฐด้านโครงสร้างพื้นฐานที่เอื้อต่อพัฒนาการลงทุน

ที่จะเกิดขึ้น อย่างเร่งด่วนโดยเฉพาะโครงสร้างพื้นฐานของระบบโลจิสติกส์ เช่น ถนน ระบบขนส่ง สุลาการ เป็นต้น [3]

จากที่กล่าวมาข้างต้น การศึกษาระดับการรับรู้ ซึ่งหมายถึงกระบวนการที่บุคคลได้รับความรู้สึกและแปลความหมายจากสิ่งที่รับเข้ามา ผ่านการวิเคราะห์ผสมผสานกับประสบการณ์เดิมที่มีอยู่ ออกมาเป็น ความรู้ความเข้าใจ [4] ในด้านการจัดการธุรกิจและการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้าประเทศกัมพูชาต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย ผ่านด่านชายแดนอรัญประเทศ จะเป็นแนวทางในการเตรียมความพร้อมเพื่อให้ประเทศไทยสามารถเป็นศูนย์กลางการขนส่งในภูมิภาค รวมถึงเป็นการเพิ่มศักยภาพของการค้าชายแดนโดยมุ่งเน้นไปที่ภาพลักษณ์ที่ดีในการจัดการธุรกิจและโลจิสติกส์ เพื่อรองรับการขยายตัวของประชาคมอาเซียนในช่วงหลังวิกฤติโรคระบาด โดยเฉพาะพื้นที่เขตการค้าชายแดนอรัญประเทศ โดยมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง คือ หลักการวัดความสามารถด้านการจัดการธุรกิจ [5] และ หลักการวัด ความสามารถของการให้บริการด้านโลจิสติกส์ (Logistics Service Capabilities) โดยดัดแปลงจากกรอบการประเมินจากแบบจำลอง LOGISTIQUAL ของ Rafele and Cagliano [6] ดังกรอบแนวคิดในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดของการวิจัย

ภายใต้สมมติฐานคือ 1) ลักษณะของผู้ซื้อสินค้าที่แตกต่างกันส่งผลให้การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจของลูกค้าประเทศกัมพูชา ต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทยแตกต่างกัน 2) ลักษณะของผู้ซื้อสินค้าที่แตกต่างกันส่งผลให้การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้าประเทศกัมพูชาต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย แตกต่างกัน 3) การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้าประเทศกัมพูชาต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจของลูกค้าประเทศกัมพูชาต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย
- 2) เพื่อการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้าประเทศกัมพูชาต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย

3) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจและความสามารถในการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้าประเทศกัมพูชาต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย

3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ลูกค้าประเทศกัมพูชาที่ซื้อสินค้าไทยจากผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทยผ่านด่านชายแดนอรัญประเทศ จังหวัดสระแก้ว กลุ่มตัวอย่างใช้วิธีการสุ่มแบบไม่คำนึงถึงความน่าจะเป็นทางสถิติ (Non-probability sampling) โดยการสุ่มแบบสะดวก (Accidental Sampling or Convenience Sampling) ซึ่งผู้วิจัยจะทำการสุ่มตัวอย่าง บริเวณเขตพื้นที่บริเวณด่านชายแดนอรัญประเทศ จ.สระแก้ว ประเทศไทย และ บ้านปอยเปต จ. บันเตียเมียนเจย ประเทศกัมพูชา ดังที่กำหนดไว้

3.2 ขนาดกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างกำหนดโดยศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างที่น้อยที่สุดที่ยอมรับได้ว่ามากพอที่จะใช้แทนตัวแทนประชากรซึ่งคำนวณโดยใช้สูตรของ Krejcie, R.V., Morgan [7] ในกรณีที่ไม่ทราบขนาดของประชากรที่แน่นอน แต่ทราบว่า มีจำนวนมากและต้องการประมาณค่าสัดส่วนของประชากรดังสูตร

$$N = Z^2/4e^2 \quad (1)$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ต้องการ

e = ระดับความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ไม่เกิน 0.05

Z = ค่า Z ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% มีค่า 1.96

แทนค่าหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 จะได้

$$n = 1.96^2 / (4 \times 0.05^2) = 384.16$$

กลุ่มตัวอย่างที่ได้ คือ 384.16 ตัวอย่าง เพื่อความแน่นอนผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างเพิ่มอีกรวมเป็น 400 ตัวอย่าง แล้วจึงทำการแจกภาคสนามและเก็บรวบรวมจนมีแบบสอบถามที่สมบูรณ์ และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ได้จำนวน 400 ตัวอย่าง จึงนำมาใช้ในการประมวลทั้งหมด

3.3 เครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) ซึ่งแปลเป็นภาษากัมพูชา โดยเครื่องมือดังกล่าวมีการหาคุณภาพของเครื่องมือ ได้ค่าความเที่ยงตรง 0.94 และค่าความเชื่อมั่น 0.88 จากนั้นทำการปรับปรุงแก้ไขก่อนจะนำไปใช้จริงซึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 3 ข้อมูลเกี่ยวกับการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ของผู้ตอบแบบสอบถาม

แบบสอบถามส่วนที่ 1 ส่วนที่ 2 และ 3 เป็นมาตราส่วนประเมินค่า 5 ตัวเลือก ด้วยวิธีการของ Likert โดยในคำถามที่มีความหมายเป็นบวก จะมีคำตอบให้เลือกดังต่อไปนี้ เห็นด้วยอย่างยิ่ง = 5 เห็นด้วย = 4 เฉยๆ = 3 ไม่เห็นด้วย = 2 ไม่เห็นด้วยอย่างยิ่ง = 1 ส่วนของข้อคำถามที่มีลักษณะในเชิงลบ จะมีเกณฑ์การให้คะแนนในแต่ละข้อกลับกันจากวิธีที่เสนอในข้างต้น

ส่วนการแปลความหมายนั้น ระดับคะแนน 1.00 – 1.80 แปลค่าว่าเห็นด้วยน้อยที่สุด ระดับคะแนน 1.81 – 2.60 แปลค่าว่าเห็นด้วยน้อย ระดับคะแนน 2.61 – 3.40 แปลค่าว่าเห็นด้วยปานกลาง ระดับคะแนน 3.41 – 4.20 แปลค่าว่าเห็นด้วยมาก และ ระดับคะแนน 4.21 – 5.00 แปลค่าว่าเห็นด้วยมากที่สุด

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

เมื่อได้ข้อมูลมาจากแบบสอบถามได้นำมาลงรหัสและบันทึกข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลและแปลผล การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติได้แก่ ค่าความถี่ ค่าร้อยละ (Percentage) และค่าเฉลี่ย (Mean) เพื่ออธิบายลักษณะพื้นฐานทั่วไปของกลุ่มตัวอย่างและตัวแปรต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ และใช้ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) แสดงค่าการกระจายของข้อมูล สถิติที่ใช้ทดสอบสมมติฐานได้แก่ การทดสอบค่า t (t-test) และแผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 ลักษณะของผู้ซื้อสินค้าของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างจากประเทศกัมพูชาจำนวน 400 คน ความถี่ในการซื้อมากกว่า 1 ครั้งต่อสัปดาห์คิดเป็นร้อยละ 70.0 ไม่เกิน 1 ครั้งต่อสัปดาห์ร้อยละ 30.0 การเลือกซื้อจำเป็นต้องมีตราหือร้อยละ 59.5 ไม่จำเป็นต้องมีตราหือร้อยละ 40.5 มีลักษณะอาชีพรับเงินเดือนประจำร้อยละ 53.5 เป็นเจ้าของกิจการ คิดเป็นร้อยละ 46.5 และมีวัตถุประสงค์ในการซื้อส่วนใหญ่คือ ซื้อเพื่อไปจำหน่าย ร้อยละ 51.5 ซื้อเพื่อไปแปรรูปร้อยละ 48.5

4.2 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจ

1) ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจด้านนวัตกรรมและระบบสารสนเทศ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจด้านนวัตกรรมและระบบสารสนเทศ

นวัตกรรมและระบบสารสนเทศ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ
1. การพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม	4.14	0.64	มาก
2. การพยากรณ์ความต้องการของลูกค้า	4.19	0.73	มาก
3. การวิจัยและพัฒนา	3.14	0.79	ปานกลาง
4. ระบบฐานข้อมูลทางธุรกิจ	3.76	0.55	มาก
5. การใช้โซเชียลในการติดต่อลูกค้า	3.39	0.87	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยรวม	3.72	0.71	มาก

ผลการศึกษาพบว่า การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจด้านนวัตกรรมและสารสนเทศโดยรวม อยู่ในระดับมาก (3.72) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านการพยากรณ์ความต้องการ (4.39) รองลงมาคือ การพัฒนาเทคโนโลยี (4.14) ระบบฐานข้อมูล (3.70) การใช้สังคมออนไลน์ (3.39) และ การวิจัยและพัฒนา (3.14) ตามลำดับ

2) ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจด้านการกำหนดแนวทางธุรกิจ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจด้านการกำหนดแนวทางธุรกิจ

การกำหนดแนวทางธุรกิจ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ
6. การวางแผนการขาย และผลกำไร	3.94	0.82	มาก
7. การวางแผนกิจกรรมการตลาด	2.93	0.89	ปานกลาง
8. การปรับปรุงช่องทางจัดจำหน่าย	3.10	0.62	ปานกลาง
9. การจัดการคำร้องเรียนจากลูกค้า	4.04	0.56	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	3.46	0.72	ปานกลาง

ผลการศึกษาพบว่า การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจด้านการกำหนดแนวทางธุรกิจโดยรวม อยู่ในระดับปานกลาง (3.46) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านการจัดการคำร้องเรียน (4.04) รองลงมาคือ การวางแผนการขาย (3.94) การปรับปรุงช่องทางจัดจำหน่าย (3.10) และ การวางแผนกิจกรรมการตลาด (2.93) ตามลำดับ

3) ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจด้านการกำหนดกลยุทธ์ขององค์กร แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจด้านการกำหนดกลยุทธ์ขององค์กร

การกำหนดกลยุทธ์ขององค์กร	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ
10. การวางกลยุทธ์ ในองค์กร	2.82	0.76	ปานกลาง
11. การจัดทำแผนกลยุทธ์การตลาด	3.07	0.65	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยรวม	2.95	0.73	ปานกลาง

ผลการศึกษาพบว่า การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจด้านการกำหนดกลยุทธ์ขององค์กรโดยรวม อยู่ในระดับปานกลาง (2.95) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านการจัดทำแผนกลยุทธ์การตลาด (3.07) รองลงมาคือ การวางกลยุทธ์ระดับต่าง ๆ ในองค์กร (2.82) ตามลำดับ

4.3 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านโลจิสติกส์

1) ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านความน่าเชื่อถือ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านความน่าเชื่อถือ

ความน่าเชื่อถือ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ
12. การให้บริการตามเงื่อนไขที่ตกลง	4.07	0.75	มาก
13. ภาพลักษณ์ในธุรกิจโลจิสติกส์	2.89	0.68	ปานกลาง
14. การให้บริการลูกค้าได้ถูกต้อง	3.48	0.62	มาก
15. การให้บริการตามเวลาที่กำหนด	4.34	0.63	มาก
16. การให้ข้อมูลสถานะของสินค้าได้	4.52	0.84	มากที่สุด
ค่าเฉลี่ยรวม	4.15	0.70	มาก

ผลการศึกษาพบว่า การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านความน่าเชื่อถือโดยรวม อยู่ในระดับมาก (4.15) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านการให้ข้อมูลกับลูกค้าถึงสถานะของสินค้าได้ (4.52) รองลงมาคือ การให้บริการตามเงื่อนไขเวลาที่กำหนดกับลูกค้า (4.34) การให้บริการตามเงื่อนไขที่ตกลงไว้ครบถ้วน (4.07) การให้บริการลูกค้าได้ถูกต้องตั้งแต่ครั้งแรก (3.48) และ ภาพลักษณ์ในธุรกิจโลจิสติกส์ (2.89) ตามลำดับ

2) ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านการตอบสนองต่อลูกค้า แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านการตอบสนองต่อลูกค้า

การตอบสนองต่อลูกค้า	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ
17. ความพร้อมขององค์กรในการบริการ	4.20	0.95	มาก
18. ความเต็มใจให้บริการช่วยเหลือลูกค้า	3.90	0.58	มาก
19. การแลกเปลี่ยนสารสนเทศกับลูกค้า	2.79	0.81	ปานกลาง
20. การวางแผนการทำงานร่วมกับลูกค้า	3.64	0.84	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	3.94	0.80	มาก

ผลการศึกษาพบว่า การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านการตอบสนองต่อลูกค้าโดยรวม อยู่ในระดับมาก (3.94) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านความพร้อมขององค์กรในการบริการลูกค้า (4.20) รองลงมาคือ ความเต็มใจที่จะให้บริการหรือช่วยเหลือลูกค้า (3.90) การวางแผนการทำงานร่วมกับลูกค้า (3.64) และ การแลกเปลี่ยนสารสนเทศกับลูกค้า (2.79) ตามลำดับ

3) ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านความปลอดภัยและการรับประกัน แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านความปลอดภัยและการรับประกัน

ความปลอดภัยและการรับประกัน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ
21. การสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้า	3.97	0.71	มาก
22. ความไว้วางใจด้านความปลอดภัยสินค้า	4.14	0.66	มาก
23. ความรู้สึกไว้วางใจในขณะทำธุรกรรม	3.95	0.78	มาก
24. การจัดการระบบชดเชยค่าเสียหาย	3.85	0.82	มาก
25. จำนวนความเสียหายของสินค้าขณะให้บริการ	3.62	0.65	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	3.83	0.72	มาก

ผลการศึกษาพบว่า การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านความปลอดภัยและการรับประกันโดยรวม อยู่ในระดับมาก (3.83) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านความไว้วางใจในความปลอดภัยสินค้า (4.14) รองลงมาคือ ความสามารถของพนักงานในการสร้างความมั่นใจให้กับลูกค้า (3.97) มีระบบการจัดการชดเชยค่าเสียหาย (3.85) และ จำนวนครั้งความเสียหายของสินค้า (3.62) ตามลำดับ

4) ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านความเข้าใจลักษณะการให้บริการ แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านโลจิสติกส์ในการให้บริการลูกค้าด้านความเข้าใจลักษณะการให้บริการ

ความเข้าใจลักษณะการให้บริการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ
26. การสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสินค้าของลูกค้า	3.61	0.76	มาก
27. การสร้างความสัมพันธ์ระหว่างลูกค้าได้	3.76	0.91	มาก
28. การให้บริการลูกค้าโดยใช้เทคโนโลยี	3.71	0.89	มาก
29. การให้บริการลูกค้าในด้านการวิเคราะห์คุณค่าและลดต้นทุน	3.77	0.94	มาก
ค่าเฉลี่ยรวม	3.70	0.88	มาก

ผลการศึกษาพบว่า การรับรู้ความสามารถด้านโลจิสติกส์ในการให้บริการลูกค้าด้านความเข้าใจลักษณะการให้บริการโดยรวม อยู่ในระดับมาก (3.30) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านการวิเคราะห์คุณค่า (3.77) รองลงมาคือ การสร้างความสัมพันธ์กับลูกค้า (3.76) การใช้เทคโนโลยี (3.71) และการสร้างมูลค่าเพิ่มสินค้า (3.61) ตามลำดับ

5) ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านการให้บริการที่จับต้องได้แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการศึกษาการรับรู้ความสามารถด้านโลจิสติกส์ในการให้บริการลูกค้าด้านการให้บริการที่จับต้องได้

การให้บริการที่จับต้องได้	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับ
30. การใช้สินทรัพย์อย่างคุ้มค่า	3.89	0.66	มาก
31. มีการบริหารพาหนะจัดส่งที่ดี	3.79	0.89	มาก
32. การทำธุรกรรมกับลูกค้าผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและการส่งข้อมูลอย่างปลอดภัย	3.25	0.76	ปานกลาง
33. การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการติดตามและตรวจสอบย้อนกลับสินค้า	3.05	0.91	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยรวม	3.55	0.81	ปานกลาง

ผลการศึกษาพบว่า การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ด้านการให้บริการที่จับต้องได้โดยรวม อยู่ในระดับปานกลาง (3.55) โดยมีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดในด้านการใช้สินทรัพย์อย่างคุ้มค่า (3.89) รองลงมาคือ การบริหารพาหนะจัดส่งที่ดี (3.79) การทำธุรกรรมกับลูกค้าผ่านระบบอินเทอร์เน็ตอย่างปลอดภัย (3.25) และ การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการติดตามสินค้า (3.05) ตามลำดับ

4.4 ผลการทดสอบสมมติฐาน

1) ผลการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 1 พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีความถี่ในการซื้อ การให้ความสำคัญของยี่ห้อ อาชีพ และวัตถุประสงค์ในการซื้อ ต่างกัน มีการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย ไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 9

2) ผลการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2 พบว่า กลุ่มตัวอย่างที่มีความถี่ในการซื้อ การให้ความสำคัญของตรายี่ห้อ ลักษณะอาชีพ และวัตถุประสงค์ในการซื้อ ต่างกัน มีการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ต่อผู้จำหน่ายสินค้าไทยไม่แตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 1

ลักษณะของผู้ซื้อสินค้า		t - test for Equality of Means		
		N (\bar{X} , S.D)	t	Result
ความถี่ในการซื้อ	< 1 ครั้งต่อสัปดาห์	120 (3.81, 0.77)	0.290	Accept
	> 1 ครั้งต่อสัปดาห์	280 (3.96, 0.85)		
การให้ความสำคัญของยี่ห้อ	จำเป็นต้องมียี่ห้อ	238 (4.06, 0.92)	0.351	Accept
	ไม่จำเป็นต้องมียี่ห้อ	162 (3.89, 0.82)		
ลักษณะอาชีพของผู้ซื้อ	รับเงินเดือน	214 (3.97, 0.95)	0.166	Accept
	เจ้าของกิจการ	186 (3.78, 0.81)		
วัตถุประสงค์ในการซื้อส่วนใหญ่	ซื้อเพื่อไปจำหน่าย	206 (3.85, 0.69)	0.433	Accept
	ซื้อเพื่อไปแปรรูป	194 (4.09, 0.84)		

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 2

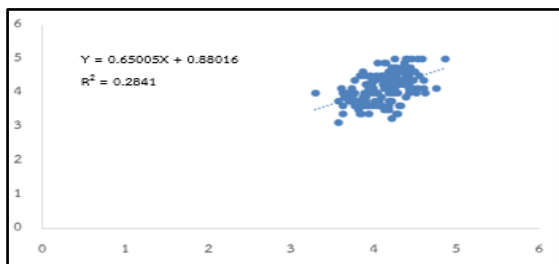
ลักษณะของผู้ซื้อสินค้า		t - test for Equality of Means		
		N (\bar{X} , S.D)	t	Result
ความถี่ในการซื้อ	< 1 ครั้งต่อสัปดาห์	120 (4.04, 0.73)	0.382	Accept
	> 1 ครั้งต่อสัปดาห์	280 (4.16, 0.70)		
การให้ความสำคัญของยี่ห้อ	จำเป็นต้องมียี่ห้อ	238 (3.83, 0.84)	0.544	Accept
	ไม่จำเป็นต้องมียี่ห้อ	162 (4.01, 0.71)		
ลักษณะอาชีพของผู้ซื้อ	รับเงินเดือน	214 (3.97, 0.91)	0.178	Accept
	เจ้าของกิจการ	186 (4.09, 0.88)		
วัตถุประสงค์ในการซื้อส่วนใหญ่	ซื้อเพื่อไปจำหน่าย	206 (4.11, 0.99)	0.894	Accept
	ซื้อเพื่อไปแปรรูป	194 (4.07, 0.89)		

3) ผลการทดสอบสมมติฐานข้อที่ 3 การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์

จากการทดสอบสมมติฐาน พบว่าการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจมีความสัมพันธ์ทางบวกกับการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ของลูกค้านำประเทศกัมพูชาต่อผู้จำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย ในระดับปานกลาง ($r = .533$) ซึ่งจากการประมวลผลโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear relationship) ดังสมการที่ (2)

$$Y = 0.65X + 0.88 \quad (2)$$

โดย X หมายถึง การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจ และ Y หมายถึง การรับรู้ความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ โดยมีระดับคะแนน 1-5 ทั้ง 2 แกนดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการรับรู้ความสามารถด้านการจัดการธุรกิจและด้านการจัดการโลจิสติกส์

5. อภิปรายผล

จากผลการวิจัยจะเห็นได้ว่าความสามารถด้านการจัดการโลจิสติกส์ในการให้บริการลูกค้าของผู้ประกอบการจำหน่ายสินค้าไทยจากการรับรู้ของผู้บริโภคประเทศกัมพูชา ที่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไข ได้แก่ ภาพลักษณ์ในธุรกิจโลจิสติกส์ การแลกเปลี่ยนสารสนเทศกับลูกค้า การทำธุรกรรมกับลูกค้าผ่านระบบอินเทอร์เน็ตและการส่งถ่ายข้อมูลอย่างปลอดภัย และการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศติดตามและตรวจสอบย้อนกลับสินค้า จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ควรปรับปรุงส่วนใหญ่เป็นปัจจัยด้านการสื่อสารทางเทคโนโลยี ดังเช่นผลจากงานวิจัยของ ลภัสวัฒน์ [8] ซึ่งได้ศึกษาการปรับตัวของผู้ประกอบการธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมต่อการเปิดเสรีทางการค้าอาเซียน : กรณีศึกษาจังหวัดสงขลา พบว่า การปรับตัวของเพื่อรองรับทางการค้า เป็นการเคลื่อนตัวของปัจจัยภายในภาคธุรกิจทั้งด้านฝีมือ ทักษะการทำงานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ และภาษา ซึ่งได้รับอิทธิพลจากการเข้าสู่ประชาคมอาเซียนและกระแสการเปลี่ยนแปลงสู่ยุคเทคโนโลยี ดังนั้น จึงควรมีการพัฒนาปัจจัยภายในทั้งด้าน การบริหารจัดการองค์กรด้านเทคโนโลยี การพัฒนาระบบสารสนเทศให้มีคุณภาพ รวมถึงความเชี่ยวชาญของทรัพยากรบุคคลด้าน ความรู้ การพัฒนาระบบคิด และทักษะความชำนาญในการทำงานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ให้มีความพร้อมทันต่อการเปลี่ยนแปลงของตลาด และยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุภาพรรณ [9] ซึ่งพบว่า แนวทางการปรับตัวเพื่อรองรับการเข้าสู่ประชาคมอาเซียน ประกอบด้วย

การพัฒนาปัจจัยภายในก่อนได้แก่ ด้าน ด้านแรงงาน เทคโนโลยี และ ด้านเงินทุน เมื่อพิจารณาเป็นรายด้าน พบว่าปัจจัยที่สำคัญมากที่สุดคือ ด้านเทคโนโลยี รองลงมาด้านบุคลากร ด้านสถานที่ และด้านราคา ตามลำดับ สอดคล้องกับผล การศึกษาของ ญัฐฐินัน และ ยุทธภูมิ[10] ซึ่งได้ศึกษาสถานการณ์การค้าของผู้ประกอบการบริเวณด่านช่องจอม จังหวัดสุรินทร์พบว่า ผู้ประกอบการภาคเอกชนที่คงต้องเร่งปรับตัวเพื่อสร้างขีดความสามารถ เช่น การเร่งพัฒนาเทคโนโลยีการสื่อสารและการพัฒนาในด้านนวัตกรรม ส่วนภาครัฐก็ควรทำความเข้าใจและเตรียมมาตรการป้องกันเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้น

6. ข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัย ประเด็นความสามารถด้านโลจิสติกส์ในการจัดการธุรกิจของผู้ประกอบการจำหน่ายสินค้าจากประเทศไทย ที่มีระดับการรับรู้ของผู้บริโภคประเทศกัมพูชาในระดับต่ำ ควรเร่งปรับปรุงแก้ไขได้แก่ ภาพลักษณ์ในธุรกิจโลจิสติกส์ การแลกเปลี่ยนสารสนเทศกับลูกค้า การทำธุรกรรมกับลูกค้าผ่านระบบอินเทอร์เน็ต และการส่งถ่ายข้อมูลอย่างปลอดภัย การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการติดตามและตรวจสอบย้อนกลับสินค้า จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่ควรปรับปรุงส่วนใหญ่เป็นปัจจัยด้านการสื่อสารทางเทคโนโลยี ดังนั้น แนวทางในการสนับสนุนให้ธุรกิจโลจิสติกส์ไทยที่สำคัญ คือ ภาครัฐควรจัดทำแผนระยะยาวทางด้านนโยบายและแผนการดำเนินงานที่ส่งเสริมความสามารถด้านเทคโนโลยีสารสนเทศแก่ผู้ประกอบการที่เป็นรูปธรรม เร่งส่งเสริมผู้ประกอบการไทยในรูปแบบต่างๆ ทบทวนรูปแบบการสื่อสารที่ล้าสมัย บูรณาการกฎระเบียบการแลกเปลี่ยนข้อมูลและเงินตราที่เกี่ยวข้องกับโลจิสติกส์เข้าด้วยกันโดยมีเจ้ารูปที่ชัดเจน และการเจรจาความตกลงการค้าเสรีข้ามแดนกับประเทศที่เกี่ยวข้องและนำมาบังคับใช้อย่างเท่าเทียมกัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมอาเซียน, ข้อมูลประเทศสมาชิกอาเซียน, กรุงเทพฯ : กรมอาเซียน กระทรวงการต่างประเทศ, 2564.
- [2] สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, กรอบแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 13, กรุงเทพฯ : สำนักนายกรัฐมนตรี, 2564.
- [3] สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุดิบอาหารทางเกษตร ปี 2554 –2559, กรุงเทพฯ : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2560.
- [4] นิตยา สุภาพรรณ, การรับรู้ของประชาชนต่อความอยู่ดีมีสุขในชุมชนบางไผ่, กรุงเทพฯ : วิทยาลัยราชพฤกษ์, 2552.
- [5] กิม พรประเสริฐ ภาสิต ทินนาม และ ศิริศักดิ์ เทพจิต, การประเมินศักยภาพและความสามารถของธุรกิจโลจิสติกส์ไทยด้วยแบบประเมินตนเองเพื่อเตรียมความพร้อมรองรับ

ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน, การประชุมวิชาการวิศวกรรมอุตสาหกรรมแห่งชาติ 2010, 16-17 ธันวาคม 2553.

- [6] Rafele, Carlo and Cagliano, Anna, A., Using System Dynamics to evaluate logistics Performance, RIRL2006-Sixth International Congress of Logistics Research, 2006.
- [7] Krejcie, R.V., Morgan, D.W., Determining Sample Size for Research Activities. Educational and Psychological Measurement, 1970.
- [8] ลภัสวัฒน์ ศุภผลกุลนันทน์, การปรับตัวของผู้ประกอบการธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมต่อการเปิดเสรีทางการค้าอาเซียนกรณีศึกษาจังหวัดสงขลา, วารสารเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม 2559. 79 -90.
- [9] สุภาพรพรณ วัฒนาอุดมชัย, SMEs ไทยยุคใหม่กับการใช้เทคโนโลยีเพื่อก้าวทัน e-Commerce, กรุงเทพฯ : ธนาคารแห่งประเทศไทย.
- [10] ณัฏฐ์ธินัน เอื้อศิลป์ และ ยุทธภูมิ ชุลาหาล้า, การศึกษาสถานการณ์การค้าของผู้ประกอบการบริเวณด่านช่องจอมจังหวัดสุรินทร์. วารสารมหาวิทยาลัยนครพนม ; ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - เมษายน 2561.

การพัฒนาโปรแกรมการจัดการข้อมูลคลังอุปกรณ์: กรณีศึกษา The Development of Inventory Data Management: Case Study

ณัฐพล เจริญโต๊ะ อธิวัฒน์ บุญมี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: atiwat.bo@ku.th*

Natthaphon Charoentoa, Atiwat Boonmee*

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University

E-mail: atiwat.bo@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมการจัดการข้อมูลคลังอุปกรณ์ของบริษัทกรณีศึกษา โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยคือการลดขั้นตอนการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ของหน่วยงานบริหารทรัพย์สิน ขั้นตอนการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในปัจจุบันได้ถูกวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิ swim lane แผนภูมิการไหลถูกใช้ในการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงานของพนักงานเพื่อหาขั้นตอนการทำงานที่ไม่สร้างคุณค่า ผู้วิจัยได้ใช้แผนผังแสดงเหตุและผลในการวิเคราะห์หาสาเหตุความล่าช้าของการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ สาเหตุสำคัญมาจากขั้นตอนการทำงานผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลที่ซ้ำซ้อนเกินความจำเป็น แนวทางที่ถูกนำเสนอในการแก้ปัญหาคือการนำหลักการอีซีอาร์เอสมาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมวิซวลเบสิกฟอร์แอปพลิเคชันสลับโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลเพื่อลดขั้นตอนในการทำงาน ผลจากการเปรียบเทียบการดำเนินงานก่อนและหลังการปรับปรุงพบว่ากิจกรรมย่อยในการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ของผู้ปฏิบัติงานลดลงจาก 3 กิจกรรมย่อย เหลือเพียง 2 กิจกรรมย่อย ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดลดลงจาก 65 ขั้นตอน เหลือเพียง 10 ขั้นตอน การเปิดไฟล์ขณะปฏิบัติงานลดลงจาก 3 ไฟล์ เหลือเพียง 1 ไฟล์ โดยหลังการปรับปรุงขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมเพิ่มคุณค่าเพิ่มขึ้นจาก 22 เปอร์เซ็นต์เป็น 60 เปอร์เซ็นต์ ขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมไม่สร้างคุณค่าแต่จำเป็นลดลงจาก 74 เปอร์เซ็นต์เหลือเพียง 40 เปอร์เซ็นต์ และขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมไม่สร้างคุณค่าลดลงจาก 5 เปอร์เซ็นต์เป็น 0 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: แผนภูมิ swim lane แผนภูมิการไหล แผนผังแสดงเหตุและผล หลักการอีซีอาร์เอส

Abstract

This research has developed a case study company's inventory data management program. The objective of the research was to reduce the process of equipment count report preparation of asset management departments. The current operational procedures of relevant department are analyzed with swim lane diagram. Flow process charts are used to analyze employee workflows to identify non-value-added activities. The researcher used a cause-and-effect diagram to analyze the cause of the delay in preparing the equipment count report. The main reason is that the process of working through the Microsoft Excel program is redundant than necessary. The proposed solution is to apply ECRS principles to Visual Basic Applications on Microsoft Excel to reduce working steps. The results from the comparison of operations before and after the improvement showed that the sub-activities in preparing the equipment count report of the operators were reduced from 3 sub-activities to 2 sub-activities. The total workflow has been reduced from 65 steps to 10 steps. The number of files opened while working was reduced from 3 files to 1 file. The improvement of value-added activities increased from 22 percent to 60 percent. The non-value-added but necessary activities decreased from 74 percent to 40 percent. The non-value activities decreased from 5 percent to 0 percent.

Keywords: Swim Lane Diagram, Flow Process Chart, Cause and Effect Diagram, ECRS

1. บทนำ

ปัจจุบัน บริษัท ซีพี ออลล์ จำกัด (มหาชน) ทำธุรกิจหลายประเภท โดยประกอบด้วยธุรกิจหลักคือธุรกิจประเภทร้านค้าสะดวกซื้อ ภายใต้เครื่องหมายการค้า "7-Eleven" ซึ่งปัจจุบันมีร้านสาขากว่า 12,432 สาขาทั่วประเทศ [1] โดยในแต่ละร้านสาขามีอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในการดำเนินธุรกิจหลายชนิด เช่น ตู้แช่เครื่องดื่ม ตู้แช่ไอศกรีม เครื่องปรับอากาศ รวมถึงอุปกรณ์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งการบริหารจัดการทรัพย์สินหรืออุปกรณ์ของร้านสาขานั้นมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะการบริหารจัดการอุปกรณ์ใช้แล้วซึ่งเก็บกลับมาจากร้านปิดถาวรเพื่อนำกลับมาเข้ากระบวนการซ่อมแซมเพื่อนำกลับไปใช้งานสำหรับร้านสาขาที่ต้องการใช้อุปกรณ์ซึ่งส่งผลให้บริษัทไม่ต้องซื้ออุปกรณ์ใหม่ทั้งหมด

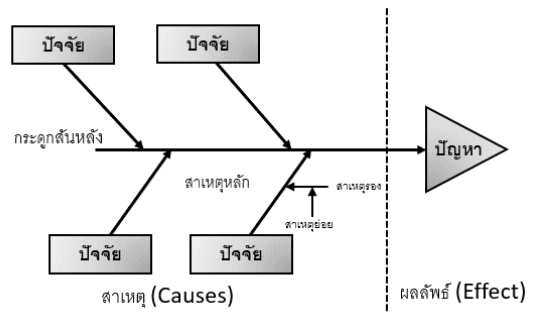
เนื่องจากปัจจุบันมีอุปกรณ์เข้า-ออกจากร้านสาขาหรือมีความต้องการใช้ของคลังเก็บอุปกรณ์จำนวนมาก โดยจะมีการรับส่งข้อมูลในส่วนของการอัปเดตสถานะอุปกรณ์ในคลัง ซึ่งมีปริมาณข้อมูลอุปกรณ์ที่จัดเก็บเฉลี่ยที่ 500 รายการต่อสัปดาห์ ระหว่างซัพพลายเออร์กับหน่วยงานบริหารทรัพย์สินของบริษัท รวมถึงการจัดทำรายงานที่มีข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับปริมาณอุปกรณ์คงเหลือซึ่งเกี่ยวข้องกับมูลค่าของอุปกรณ์ โดยเป็นการจัดการข้อมูลผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ค่อนข้างมากและมีขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน ส่งผลประสบปัญหาใช้เวลานานในการจัดการข้อมูล ทำให้จัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ล่าช้า ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจสำหรับการสั่งซื้ออุปกรณ์เพิ่มผิดพลาดได้ เนื่องจากปัจจุบันกระบวนการทำงานผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล ยังไม่ใช่อัตโนมัติเท่าที่ควรและมีขั้นตอนการทำงานซ้ำซ้อนที่อาจส่งผลให้เกิดความสับสนของผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมการจัดการข้อมูลคลังเก็บอุปกรณ์ โดยมุ่งที่จะลดขั้นตอนการทำงานให้มีความซับซ้อนน้อยลงตามหลักการอีซีอาร์เอส (ECRS) โดยประยุกต์ใช้ผ่านโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) บนไมโครซอฟท์เอ็กเซล เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนารูปแบบรายงานตรวจนับอุปกรณ์ในคลังที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. เครื่องมือที่ใช้ในวิจัย

2.1 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)

แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) [2] แผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) แผนผังสาเหตุและผลหรือที่รู้จักกันเคยในชื่อของ "มังก้างปลา หรือ Fish Bone Diagram" โดยแผนผังก้างปลาประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้ ส่วนของปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะอยู่ที่หัวปลา, ส่วนของสาเหตุ (Causes) ซึ่งจะสามารถแบ่งย่อยออกได้อีกเป็นปัจจัย (Factor) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา, สาเหตุหลัก, และสาเหตุย่อย โดยโครงสร้างของแผนผังแสดงเหตุและผลแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งสาเหตุของปัญหาจะเขียนไว้ในก้างปลาแต่ละก้าง สามารถ

ช่วยให้แยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆ ได้อย่างเป็นระบบและเป็นเหตุเป็นผล

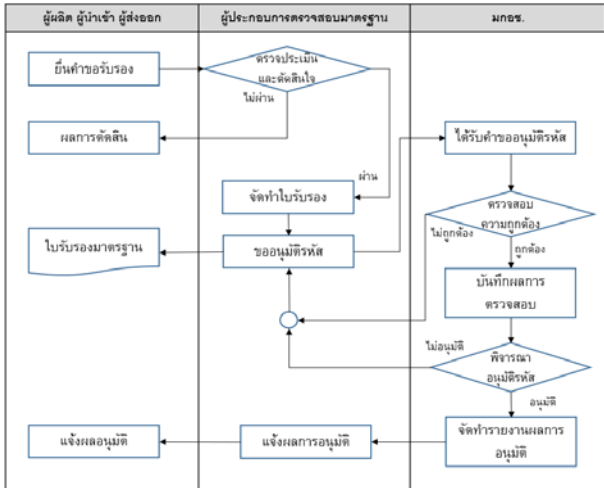


รูปที่ 1 โครงสร้างแผนผังสาเหตุและเหตุผลหรือแผนภูมิ ก้างปลา

โดยส่วนใหญ่ปัจจัยที่วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจะใช้หลักการ 4M 1E คือ 1) Man, 2) Machine, 3) Material, 4) Method และ 5) Environment นอกจากหลักการ 4M 1E การกำหนดปัจจัยนำเข้าอาจจะขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการที่เปลี่ยนไป ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา แผนภูมิ ก้างปลานั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาของกระบวนการทำงานในด้านข้อมูลได้เป็นอย่างดี เช่น การวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาของการจัดทำรายงานสินค้าคงคลัง [3] โดยการใช้ปัจจัยนำเข้าที่วิเคราะห์บนหลัก 3M 1I คือ 1) Man, 2) Machine, 3) Method และ 4) Information เพื่อใช้ในการหาสาเหตุของปัญหาการใช้เวลาในการจัดทำรายงานสินค้าคงคลังนาน ซึ่งจากการวิเคราะห์นั้นพบว่า ปัญหาที่พบมากที่สุดคือ ปัจจัยด้านวิธีการทำงาน (Method) ที่มีการทำงานที่ซ้ำซ้อน เนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นจึงส่งผลให้ใช้เวลานานในการจัดทำรายงาน

2.2 แผนภูมิ Swim Lane Diagram

แผนภูมิ Swim Lane Diagram [4] เป็นแผนภาพกระบวนการที่สำคัญ ซึ่งมีการระบุทั้งข้อมูลและบุคคลที่เกี่ยวข้อง โดยแผนภูมิ Swim Lane Diagram เริ่มพัฒนาโดย Lynn Shostack สำหรับใช้ในการออกแบบการบริการ ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงถึงการไหลของงานพื้นฐาน ที่องค์กรสามารถเพิ่มเติมการระบุข้อมูล เช่น บุคคลที่เกี่ยวข้อง วิธีการติดต่อกัน และเส้นทางการไหลของข้อมูล เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ โดยทำให้ผู้วิจัยเห็นภาพของกระบวนการในปัจจุบัน (As-is) ได้ชัดเจนขึ้น และสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการในปัจจุบันได้ นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือที่ใช้ออกแบบกระบวนการทางธุรกิจที่ควรจะเป็น (To-be) โดยการออกแบบกระบวนการใหม่หรือปรับปรุงภายในกระบวนการเดิมโดยวิเคราะห์กระบวนการผ่านทางแผนภูมิ Swim Lane Diagram เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพต่อไป โดยตัวอย่างของแผนภูมิ Swim Lane Diagram แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างแผนภูมิ Swim Lane Diagram

2.3 แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart)

แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) [5] จะใช้วิเคราะห์การไหลแต่ละขั้นตอนของวัตถุดิบ ชิ้นส่วน ผู้ปฏิบัติงานและอุปกรณ์ มีการระบุกระบวนการโดยใช้สัญลักษณ์มาตรฐาน ซึ่งได้แก่ การปฏิบัติงาน การเคลื่อนที่ การตรวจสอบ การเก็บ และการรองาน เป็นแผนภูมิที่สามารถจำแนกกิจกรรมต่างๆ ของกระบวนการ กิจกรรมที่เพิ่มมูลค่าตลอดจนกิจกรรมที่ไม่เกิดมูลค่า ซึ่งเป็นส่วนสำคัญเพราะสามารถแยกแยะและเน้นจุดในการวิเคราะห์ได้อย่างชัดเจน ทำให้สามารถทราบได้ถึงปัญหาหรือจุดที่ควรนำไปปรับปรุง และเพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาคณะจะศึกษาการไหลโดยใช้สัญลักษณ์ที่แสดงในแผนภูมิการไหลเพื่อแทนกิจกรรมต่างๆ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ในแผนภูมิการไหล

สัญลักษณ์	ชื่อสัญลักษณ์	ความหมาย
○	Operation	การปฏิบัติ
➔	Transportation	การเคลื่อนย้าย
□	Inspection	การตรวจสอบ
⏸	Delay	การล่าช้า
▽	Storage	การจัดเก็บ

2.4 หลักการอีซีอาร์เอส (ECRS)

อีซีอาร์เอส (ECRS) [5] คือแนวคิดในการลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน หรือที่เรียกว่า Waste ซึ่งเป็นเหตุที่เกิดขึ้นโดยไม่สร้างผลตอบแทน หรือประโยชน์ใดๆ เพิ่มเติมให้กับองค์กร และในบางกรณีอาจทำให้การดำเนินงานล่าช้าลงจากที่ควรจะเป็น อีซีอาร์เอส คือ ตัวย่อของ E: Eliminate หรือการกำจัด, C: Combine หรือการรวม, R: Rearrange หรือการจัดเรียงใหม่, และ S: Simplify หรือการทำให้ง่ายขึ้น ซึ่งสำหรับหลักการอีซีอาร์เอสนั้น ผู้ใช้อาจจะนำอีซีอาร์เอสมาใช้เพียงตัวเดียวหรือมากกว่าตัวเดียวขึ้นอยู่กับวิธีการ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ทุกตัวทุกวิธี หลักการอีซีอาร์เอสนั้นสามารถใช้ในการปรับปรุง

กระบวนการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งนำหลักการอีซีอาร์เอสไปใช้ในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน เช่น การพัฒนาโปรแกรมสำหรับติดตามสินค้าคงคลังระหว่างผลิต [5] เพื่อลดขั้นตอนการทำงานที่ยุงยากและซับซ้อน ซึ่งได้มีการนำหลักการอีซีอาร์เอสไปปรับปรุงวิธีการทำงานโดยประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) บนไมโครซอฟท์เอ็กเซล สามารถลดขั้นตอนการทำงานลงจากเดิม 25 ขั้นตอนเหลือเพียง 20 ขั้นตอนและกำจัดการใช้เอกสารกระดาษในการบันทึกข้อมูลจากเดิม 6 เอกสารเปลี่ยนเป็นรูปแบบในการเก็บข้อมูลผ่านไฟล์นอกจากจะสามารถช่วยลดขั้นตอนในการทำงานแล้ว โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมายังมีส่วนช่วยลดความผิดพลาดและการสูญหายของข้อมูล และทำให้ข้อมูลสินค้าคงคลังมีความถูกต้องตรงตามเวลาจริงมากยิ่งขึ้น

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาวิธีการทำงานในปัจจุบัน

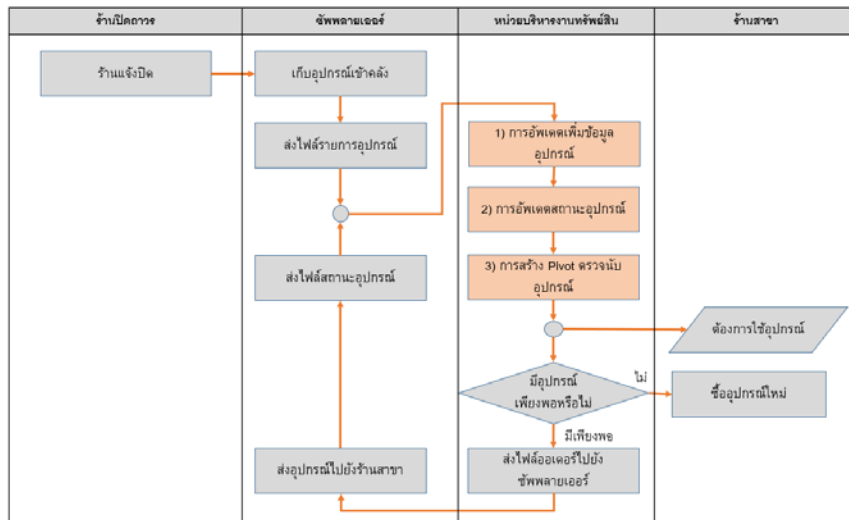
ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารูปแบบลักษณะการทำงานในปัจจุบันของหน่วยงานบริหารทรัพย์สินของบริษัทการศึกษา ในส่วนของการจัดการข้อมูลอุปกรณ์จากซอฟต์แวร์หลายเออร์ ซึ่งดูแลเกี่ยวกับอุปกรณ์ประเภทตู้แช่และอุปกรณ์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมากกว่า 60 ชนิด โดยในแต่ละสัปดาห์ทางซอฟต์แวร์จะมีการส่งข้อมูลรายการอุปกรณ์ที่มีอยู่ในคลังมาในรูปแบบของไฟล์เอ็กเซล เพื่อให้หน่วยงานบริหารทรัพย์สินนำไฟล์ข้อมูลดังกล่าวมาอัปเดตข้อมูลลงในไฟล์ฐานข้อมูลอุปกรณ์และจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์คงเหลือประจำสัปดาห์ ดังนั้นเพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการทำงานในปัจจุบัน ผู้วิจัยได้เลือกใช้แผนภูมิ Swim Lane Diagram เพื่ออธิบายภาพรวมของกระบวนการจัดการข้อมูลคลังอุปกรณ์ระหว่างหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในปัจจุบัน พบว่ามีกิจกรรมย่อยจำนวน 3 กิจกรรม ในการปฏิบัติงานของหน่วยงานบริหารทรัพย์สินที่ต้องดำเนินการผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล โดยเริ่มจาก

กิจกรรมย่อยที่ 1 เป็นการอัปเดตเพิ่มข้อมูลระหว่างไฟล์รายการอุปกรณ์ของคลังซอฟต์แวร์หลายเออร์กับไฟล์ฐานข้อมูลของหน่วยงานบริหารทรัพย์สิน

กิจกรรมย่อยที่ 2 จะเป็นการอัปเดตเปลี่ยนสถานะและตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ถูกส่งออกไปยังร้านสาขาสำเร็จ

กิจกรรมย่อยที่ 3 จะเป็นการสร้างตาราง Pivot เพื่อใช้ในการตรวจนับอุปกรณ์ที่มีสถานะคงเหลือในคลัง จากนั้นจะนำตัวเลขคงเหลือของอุปกรณ์แต่ละชนิดไปใช้สำหรับจัดทำรายงานตรวจนับจำนวนอุปกรณ์คงเหลือในคลังของซอฟต์แวร์

ซึ่งในแต่ละกิจกรรมนั้นมีขั้นตอนการทำงานที่ค่อนข้างซ้ำซ้อน ซึ่งในส่วนของการขั้นตอนการทำงานในแต่ละกิจกรรมย่อยนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์ขั้นตอนการปฏิบัติงานผ่านแผนภูมิกระบวนการไหลต่อไป เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์กิจกรรมที่จะสามารถทราบถึงขอบเขตในการแก้ปัญหาและนำไปสู่การลดขั้นตอนการทำงานในส่วนที่เกี่ยวข้องลงได้ โดยรายละเอียดของแผนภูมิ Swim Lane Diagram เป็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิ Swim Lane Diagram ปัจจุบัน (As-is)

จากรูปที่ 3 เมื่อพิจารณาขั้นตอนการทำงานของหน่วยงานบริหารทรัพย์สินในการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์โดยวิเคราะห์ผ่านแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) ซึ่งในปัจจุบัน (ก่อนปรับปรุง) มีกิจกรรมย่อย 3 กิจกรรม ได้แก่ 1) การอัปเดตเพิ่มข้อมูล 2) การอัปเดตสถานะอุปกรณ์ และ 3) การสร้าง Pivot ตารางนับอุปกรณ์ โดยผลการวิเคราะห์กิจกรรมการทำงานในปัจจุบัน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิกระบวนการไหลในการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ (ก่อนปรับปรุง)

กิจกรรมย่อย	สัญลักษณ์					ขั้นตอน
	○	⇒	□	D	▽	
1) การอัปเดตเพิ่มข้อมูลอุปกรณ์	31		3			34
2) การอัปเดตสถานะอุปกรณ์	17		2			19
3) การสร้าง Pivot ตารางนับอุปกรณ์	11		1			12
รวม	59		6			65

จากตารางที่ 2 เมื่อมีการวิเคราะห์กิจกรรมในการทำงานในปัจจุบันนั้นพบว่ากิจกรรมย่อยทั้งหมด 3 กิจกรรม ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานรวมทั้ง 65 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมสร้างคุณค่ามีเพียง 14 ขั้นตอนหรือคิดเป็น 22 เปอร์เซ็นต์ ขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมไม่สร้างคุณค่าแต่จำเป็นมีจำนวนมากถึง 48 ขั้นตอนหรือคิดเป็น 74 เปอร์เซ็นต์ และขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมที่ไม่สร้างคุณค่า จำนวน 3 ขั้นตอนหรือคิดเป็น 5 เปอร์เซ็นต์

3.2 วิเคราะห์สาเหตุปัญหา

การวิเคราะห์ปัญหาการจัดทำรายงานล่าช้า ผู้วิจัยได้เลือกใช้แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) โดยใช้หลัก 3M 1I คือ Man, Machine, Method และ Information เพื่อเป็นการวิเคราะห์ในปัจจัยด้านต่างๆ ที่เป็นสาเหตุเกิดของปัญหา ซึ่งผลการวิเคราะห์เป็นไปดังรูปที่ 4



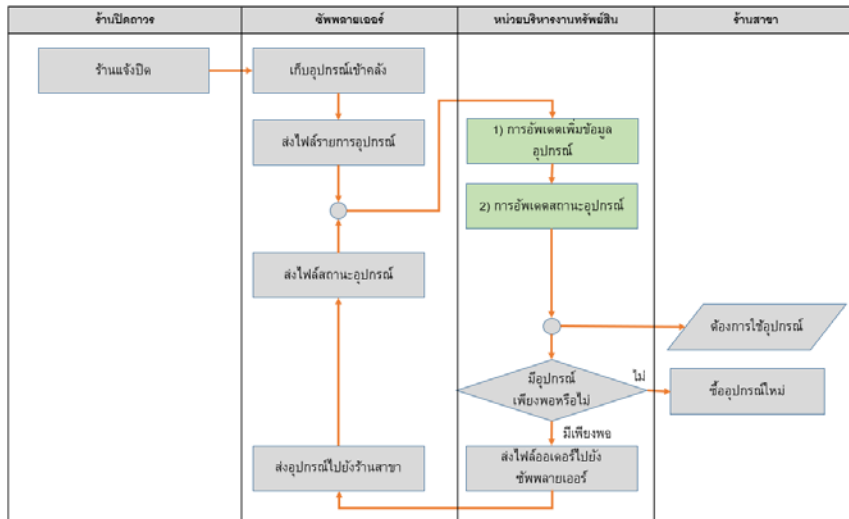
รูปที่ 4 การวิเคราะห์ปัญหาการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ล่าช้า

จากรูปที่ 4 เมื่อพิจารณาถึงสาเหตุในปัจจัยด้านวิธีการทำงาน (Method) ซึ่งในปัจจุบันนั้นพบว่าวิธีการทำงานที่ซ้ำซ้อน โดยเฉพาะการคัดลอกข้อมูลข้ามไฟล์ที่ละแถว ซึ่งส่งผลให้ใช้เวลาในการจัดทำข้อมูล เป็นการใช้งานโปรแกรมเอ็กซ์เซลที่ยุ่งยากซ้ำซ้อนไม่เต็มประสิทธิภาพ รวมถึงอาจเกิดความสับสนของผู้ปฏิบัติงานจนอาจนำไปสู่ความผิดพลาดในการปฏิบัติงานส่งผลให้รายงานตรวจนับอุปกรณ์คงเหลือผิดพลาดได้

โดยแนวทางการแก้ไขปัญหาในส่วนของปัจจัยด้านวิธีการทำงาน (Method) นั้น ผู้วิจัยจะใช้หลักทฤษฎีอีอาร์เอส (ECRS) โดยประยุกต์ใช้ผ่านโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) บนไมโครซอฟท์เอ็กซ์เซล ซึ่งถือเป็นฟังก์ชันการใช้งานที่มีประสิทธิภาพโดยช่วยลดขั้นตอนการใช้งานที่ซ้ำซ้อน ลดโอกาสเกิดความผิดพลาดในการทำงานลงได้ โดยในส่วนของกรออัปเดตข้อมูลนั้น ขั้นตอนที่เป็นการตรวจสอบและ

คัดลอกข้อมูลอุปกรณ์เพื่อวางข้ามไฟล์นั้นจะถูกนำมารวมกันเป็นปุ่มคำสั่ง เพื่อรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน และกำจัดกิจกรรมย่อยที่เป็นการสร้าง Pivot เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์เปลี่ยนเป็นการนับอุปกรณ์อัตโนมัติเมื่อมีการอัปเดตของข้อมูลทำให้สามารถทราบจำนวนอุปกรณ์

คงเหลือในคลังของซัพพลายเออร์ได้ทันที ซึ่งแนวทางการแก้ปัญหานี้จะช่วยทำให้กิจกรรมย่อยลดลงจากเดิม 3 กิจกรรมเป็น 2 กิจกรรม โดยการวิเคราะห์กระบวนการที่หลังการปรับปรุง (To-be) ได้นั้นสามารถแสดงผ่านแผนภูมิ Swim Lane Diagram ดังรูปที่ 5

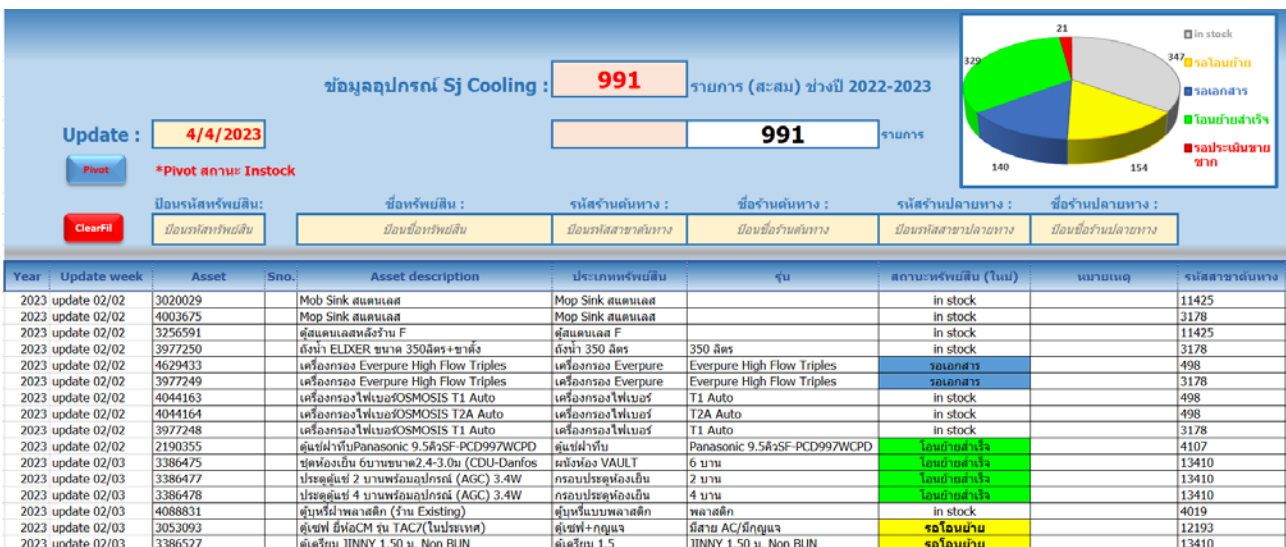


รูปที่ 5 แผนภูมิ Swim Lane Diagram หลังการปรับปรุง (To-be)

3.4 พัฒนาโปรแกรมจัดการข้อมูลคลังอุปกรณ์

เนื่องจากปัจจุบันลักษณะการทำงานของหน่วยงานบริหารทรัพย์สินของบริษัทศึกษานั้น เป็นการทำงานผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับการจัดการข้อมูลคลังอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) บนไมโครซอฟท์เอ็กเซล โดยมีฟังก์ชันการใช้งานที่สำคัญดังนี้ 1) การอัปเดตข้อมูลอุปกรณ์ เป็นการเพิ่มข้อมูลอุปกรณ์ใหม่ที่เพิ่มเข้ามาในคลังของซัพพลายเออร์ 2) การเปลี่ยนสถานะอุปกรณ์ เป็นการเปลี่ยน

สถานะและตำแหน่งของอุปกรณ์เมื่อซัพพลายเออร์ส่งอุปกรณ์ไปถึงร้านค้าเรียบร้อย และ 3) รายงานตรวจนับอุปกรณ์คงเหลือที่ทำให้ทราบถึงจำนวนอุปกรณ์คงเหลือในคลังเพื่อใช้ประกอบการตัดสินใจในการขอใช้อุปกรณ์ของร้านค้า โดยโปรแกรมสามารถที่จะอัปเดตข้อมูลจำนวนอุปกรณ์คงเหลืออัตโนมัติทันทีเมื่อผู้ใช้งานมีการเปลี่ยนสถานะของอุปกรณ์ โดยไม่จำเป็นต้องมีกิจกรรมการสร้าง Pivot ตรวจนับอุปกรณ์ก่อนให้ยุ่งยาก ถือเป็นขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก (Eliminate) โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานั้น แสดงดังรูปที่ 6













รูปที่ 6 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นผ่าน VBA บนไมโครซอฟท์เอ็กเซล

4. เปรียบเทียบผลที่ได้จากการปรับปรุง

จากการศึกษากิจกรรมการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล ของหน่วยงานบริหารทรัพย์สินองค์กร ผู้วิจัยจึงได้ใช้เทคนิคปรับปรุงวิธีการทำงานตามหลักการของอีซีอาร์เอส เข้ามาช่วย โดยการพัฒนาผ่านโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) บนไมโครซอฟท์เอ็กเซล โดยสามารถลดกิจกรรมย่อยในการปฏิบัติงานและลดขั้นตอนการทำงานลงได้ โดยลดกิจกรรมย่อยก่อนการ

ปรับปรุงจาก 3 กิจกรรมย่อยเหลือ 2 กิจกรรม โดยตัดกิจกรรมในการสร้าง Pivot เพื่อตรวจนับอุปกรณ์ออกไป เปลี่ยนเป็นการนับแบบอัตโนมัติแทน ซึ่งสามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 65 ขั้นตอน เหลือเพียง 10 ขั้นตอน และการเปิดไฟล์พร้อมกันขณะปฏิบัติงานที่ลดลงจาก 3 ไฟล์เป็น 1 ไฟล์ โดยรายละเอียดการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงการทำงานด้วยหลักการอีซีอาร์เอส (ECRS) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงการทำงานด้วยหลักการอีซีอาร์เอส (ECRS) สำหรับกิจกรรมการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์

ก่อนปรับปรุงการทำงานด้วยอีซีอาร์เอส (ECRS)		หลังปรับปรุงการทำงานด้วยอีซีอาร์เอส (ECRS)	
กิจกรรมย่อย	3 กิจกรรม	กิจกรรมย่อย	2 กิจกรรม
การปฏิบัติงาน 	59 ขั้นตอน	การปฏิบัติงาน 	9 ขั้นตอน
การเคลื่อนย้าย 		การเคลื่อนย้าย 	
การตรวจสอบ 	6 ขั้นตอน	การตรวจสอบ 	1 ขั้นตอน
การล่าช้า 		การล่าช้า 	
การเก็บรักษา 		การเก็บรักษา 	
รวม	65 ขั้นตอน	รวม	10 ขั้นตอน
เปิดไฟล์	3 ไฟล์	เปิดไฟล์	1 ไฟล์

5. สรุป

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมการจัดการข้อมูลคลังอุปกรณ์ ของบริษัทกรณีศึกษา จากการศึกษากระบวนการทำงานในปัจจุบัน โดยใช้แผนภูมิ Swim Lane Diagram ร่วมกับแผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) พบว่าการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ของหน่วยงานบริหารทรัพย์สินนั้นมีความล่าช้า ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจในการสั่งซื้ออุปกรณ์ที่ผิดพลาดได้ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้หลักการอีซีอาร์เอส (ECRS) ประยุกต์ร่วมกับการพัฒนาโปรแกรมจัดการข้อมูลผ่าน VBA บนไมโครซอฟท์เอ็กเซล

ผลการปรับปรุงโดยใช้หลักการอีซีอาร์เอส (ECRS) ร่วมกับโปรแกรมจัดการข้อมูลที่ได้พัฒนาขึ้นนั้น ทำให้กิจกรรมย่อยในการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ของผู้ปฏิบัติงานลดลงจาก 3 กิจกรรมย่อย เหลือเพียง 2 กิจกรรมย่อย ส่งผลให้ขั้นตอนการทำงานทั้งหมดลดลงจาก 65 ขั้นตอน เหลือเพียง 10 ขั้นตอน การเปิดไฟล์ขณะปฏิบัติงานลดลงจาก 3 ไฟล์ เหลือเพียง 1 ไฟล์ โดยหลังการปรับปรุงขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมเพิ่มคุณค่าเพิ่มขึ้นจาก 22 เปอร์เซ็นต์เป็น 60 เปอร์เซ็นต์ ขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมไม่สร้างคุณค่าแต่จำเป็นลดลงจาก 74 เปอร์เซ็นต์เหลือเพียง 40 เปอร์เซ็นต์ และขั้นตอนที่เป็นกิจกรรมไม่สร้างคุณค่าลดลงจาก 5 เปอร์เซ็นต์เป็น 0 เปอร์เซ็นต์

โดยโปรแกรมการจัดการข้อมูลคลังอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาจะมีส่วนช่วยลดขั้นตอนในการจัดทำรายงานตรวจนับอุปกรณ์ ทำให้สามารถอัปเดตข้อมูลอุปกรณ์และติดตามสถานะต่างๆ ของอุปกรณ์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] บริษัท ซีพี ออลล์ จำกัด (มหาชน), เกี่ยวกับซีพี ออลล์, ข้อมูลจาก <https://www.cpall.co.th/about-us/our-business/convenience-store-services> (วันที่สืบค้นข้อมูล 28 พฤศจิกายน 2565)
- [2] ประชาสรรณ แสนภักดี, ผังก้างปลากับแผนภูมิความคิด, ข้อมูลจาก <http://www.prachasan.com/mindmapknowledge/fishbone/mm.htm> (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 ธันวาคม 2565)
- [3] อัญชลี แสนยากร และวัชรพล วงศ์จันทร์. 2563. "การพัฒนาโปรแกรมจัดทำรายงานแสดงข้อมูลสินค้าคงคลัง กรณีศึกษา แผนกวัตถุดิบ บริษัท เอ็กซ์วายแซด จำกัด." วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี, ปีที่ 8 ฉบับที่ 2: 185-191.
- [4] ณัฐวิจิ์ อินทรเกษม, ยุรพร ศุภรัตน์ และพิทวัส เอื้อสังคมเศรษฐ์. 2561. "การนำ Swim Lane Diagram มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจ." วารสารสถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น : บริหารธุรกิจและภาษา, ปีที่ 6 ฉบับที่ 2: 53-54.
- [5] ยศพล ครุฑเวโซ และสิรวชณ วุฒิ. 2562. "การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการติดตามสินค้าคงคลังระหว่างผลิต ผลิตภัณฑ์เก็บเบียร์" ปรียญานันพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

การปรับปรุงกระบวนการทำงานในคลังวัตถุดิบเพื่อลดความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บ Work Process Improvement in a Raw Material Warehouse to Reduce Storage Discrepancies

อัญญาฎา สุขมัน สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณะ
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

Unyada Sukman, Suphattra Sriyanalugsana¹
¹Department of Industrial Engineering, School of Engineering, Sripatum University
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกระบวนการทำงานในแผนกคลังวัตถุดิบของบริษัทกรณีศึกษาที่มีการสูญเสียจากกระบวนการจัดเก็บวัตถุดิบและการเบิกจ่ายวัตถุดิบในการสนับสนุนฝ่ายผลิต ส่งผลให้บริษัทกรณีศึกษาต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็น บทความวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการจัดเก็บในคลังวัตถุดิบ ขั้นตอนการวิจัยประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ตามลำดับคือ 1) การศึกษากระบวนการทำงานในแผนกคลังวัตถุดิบปัจจุบัน 2) การเก็บรวบรวมข้อมูลการจัดเก็บวัตถุดิบ 3) การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บวัตถุดิบ 4) การวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุการจัดเก็บผิดพลาด และ 5) การปรับปรุงกระบวนการทำงาน ในการปรับปรุงทำโดยออกแบบใบรายการจัดเก็บวัตถุดิบ ใบตรวจสอบรายการเบิก-จ่าย และใบรายการแบ่งกลุ่มสี โดยใช้เครื่องมือใน โปรแกรม Microsoft Excel ในการออกแบบใบรายการต่างๆ เพื่อสะดวกต่อการจัดเก็บวัตถุดิบและการเบิก-จ่ายวัตถุดิบ และสามารถส่งมอบวัตถุดิบให้กับทางฝ่ายผลิตได้อย่างถูกต้องและครบถ้วน จากผลสรุปการดำเนินงานพบว่า ความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บวัตถุดิบลดลงจาก 15% เป็น 5% ซึ่งคิดเป็นจำนวนเงินลดลงจาก 918,340 บาท เป็น 320,117 บาท
คำสำคัญ: การแบ่งประเภทวัตถุดิบ การจัดการคลังวัตถุดิบ ความคลาดเคลื่อนในคลังวัตถุดิบ

Abstract

The present work process in the raw material warehouse department of the case study company has experienced losses from the raw material issue process that supports production. This has resulted in unnecessary expenses for the company. The objective of this study is to reduce storage discrepancies in the raw material warehouse process. The study includes five steps: 1) Studying the current work processes in the raw material warehouse area. 2) Collecting data for raw material storage. 3) Calculating percentage discrepancies in raw material storage. 4) Analyzing problems and the causes of delays and errors in delivery that impact the production department. 5) Improving work processes. The work process improvement includes the design of a new put-away order form to record disbursement data, and inventory classification by color, which would help to correct the information gaps. The work improvement also includes the use of MS-Excel to issue documents, which helps to improve the quality of warehouse documentation when compared to the previous handwritten process. As a result of the changes, the study shows that the working time was reduced and was better for the workers. The changes also helped to resolve delays while waiting for the correct quantity and quality of raw materials to be delivered on time to the production department. Storage discrepancies were reduced from 15% to 5%, which equates to a reduction in cost from 918,340 to 320,117 baht.

Keywords: Raw Material Classification, Raw Material Warehouse Management, Raw Material Warehouse Storage Discrepancy

1. บทนำ

ปัจจุบันบริษัทส่วนมากที่ทำการผลิตสินค้ามักจะมีคลังสินค้าและคลังวัตถุดิบเพื่อการผลิตหรือเป็นตัวกลางในการกระจายวัตถุดิบให้กับแผนกต่างๆ ทำให้การบริหารจัดการคลังวัตถุดิบจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ [1-2] ซึ่งบริษัทกรณีศึกษาเป็นหนึ่งในบริษัทที่ผลิตและจำหน่ายสินค้า

ประเภทเฟอร์นิเจอร์ในเครือของบริษัท SB เฟอร์นิเจอร์ซึ่งมีรูปแบบการผลิตสินค้าแบบครั้งละจำนวนมาก และปัจจุบันได้เข้าสู่ตลาดสินค้าโครงการ ได้แก่ บ้านจัดสรรและคอนโดมิเนียม และโครงการงานผู้ปูนซึ่งเป็นสินค้าส่งออกต่างประเทศ จึงทำให้ต้องมีการจัดเก็บวัตถุดิบเพื่อรอการผลิตเป็นจำนวนมาก

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาต้องมีการจัดเก็บวัตถุดิบประเภทกลุ่มปิดผิว ได้แก่ ฟอยล์ ขอบเอต ขอบคิ้ว เป็นต้น เพื่อรอการผลิตเป็นจำนวนมากในแต่ละครั้ง วัตถุดิบที่ใช้ในการปิดผิวของไม้มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตอย่างมาก แต่กระบวนการทำงานในขั้นตอนการรับเข้าและการจัดเก็บวัตถุดิบรวมถึงการเบิก-จ่าย ยังไม่เป็นระบบและไม่มีการตรวจสอบวัตถุดิบก่อนจัดเก็บหรือก่อนส่งมอบให้กับฝ่ายผลิต จากการเก็บรวบรวมข้อมูลการตรวจสอบวัตถุดิบประเภทกลุ่มปิดผิวพบว่า ฟอยล์ มีความคลาดเคลื่อนที่สูงที่สุดและยังเป็นวัตถุดิบที่มีมูลค่าสูง จากการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บของฟอยล์ จำนวน 349 รายการระหว่างช่วงเดือน สิงหาคม-กันยายน พ.ศ. 2565 พบว่าเกิดการคลาดเคลื่อนในกระบวนการจัดเก็บวัตถุดิบและการจ่ายวัตถุดิบ ส่งผลให้มีรายการจัดเก็บวัตถุดิบผิดที่ 35 รายการ วัตถุดิบขาดจำนวน 6 รายการ และวัตถุดิบเกินจำนวน 12 รายการ คิดเป็นมูลค่าความสูญเสียของรายการวัตถุดิบขาดเท่ากับ 245,842 บาท และรายการวัตถุดิบเกินเท่ากับ 672,498 บาท ซึ่งคิดเป็นมูลค่าความสูญเสียรวมเท่ากับ 918,340 บาท บทความวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความคลาดเคลื่อนในกระบวนการจัดเก็บและการเบิก-จ่ายวัตถุดิบในคลังวัตถุดิบ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management)

การจัดการคลังสินค้า เป็นกระบวนการใช้ทรัพยากรเพื่อให้การดำเนินการคลังสินค้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพในการบรรลุวัตถุประสงค์ของคลังสินค้าที่ต้องการลดระยะทางในการเคลื่อนย้าย การใช้พื้นที่และปริมาตรในการจัดเก็บให้เกิดประโยชน์สูงสุด และการควบคุมการรับเข้า-เบิกจ่ายได้อย่างถูกต้อง [1-3] คลังสินค้าถูกแบ่งออกเป็นคลังวัตถุดิบ คลังสินค้าระหว่างทำ และคลังสินค้าสำเร็จรูป บทความวิจัยนี้เน้นที่การจัดการคลังวัตถุดิบซึ่งมีงานวิจัยจำนวนมากเช่น [4-6] ที่ทำด้านการจัดการคลังสินค้าเพื่อให้สินค้าหรือวัตถุดิบสามารถส่งมอบให้สายการผลิตในโซ่อุปทานได้ทันเวลาและมีความต่อเนื่องโดยมุ่งเน้นกระบวนการรับสินค้า (Receiving) การควบคุมและรับผิดชอบต่อสินค้าที่จัดเก็บอยู่ในคลัง (Storage & Controlling) การคัดแยกสินค้า การควบคุมทางด้านเอกสาร และการส่งมอบและกระจายสินค้า (Delivery & Distribution)

2.2 เครื่องมือคุณภาพ (Quality Tool)

เครื่องมือคุณภาพ ถูกใช้เพื่อเน้นให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่อง [7-8] ทำให้เครื่องมือคุณภาพถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย บทความวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องมือคุณภาพประกอบด้วย

1. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เป็นเครื่องมือที่ใช้แสดงขนาดของปัญหาและจัดลำดับความสำคัญของปัญหา

2. แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ (Relation Diagram) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงโดยดูความเชื่อมโยงระหว่างสาเหตุ และผลที่เกิดขึ้น ซึ่งเกี่ยวข้องกัน (Logical Connection)

3. เครื่องมือ Why-Why Analysis เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริง โดยเริ่มจากการตั้งคำถาม “ทำไม” ไปจนกว่าจะสามารถหาสาเหตุที่แท้จริง

4. กราฟ (Graph) เป็นเครื่องมือในการนำเสนอข้อมูลเป็นรูปภาพแทนคำบรรยาย โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อต้องการให้ผู้วิเคราะห์ข้อมูลสามารถเข้าใจได้ง่ายและรวดเร็วที่สุด

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานประกอบด้วย 4 ขั้นตอนโดยมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1 ศึกษากระบวนการทำงานภายในแผนกคลังวัตถุดิบ

จากการศึกษากระบวนการทำงานพบว่า หน่วยงานคลังวัตถุดิบจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. คลังวางแผน คือ ทำหน้าที่เช็คสินค้าและวัตถุดิบในคลังสินค้าวางแผน บริหารสต็อกสินค้าและวัตถุดิบให้เป็นไปตามแผนการผลิต

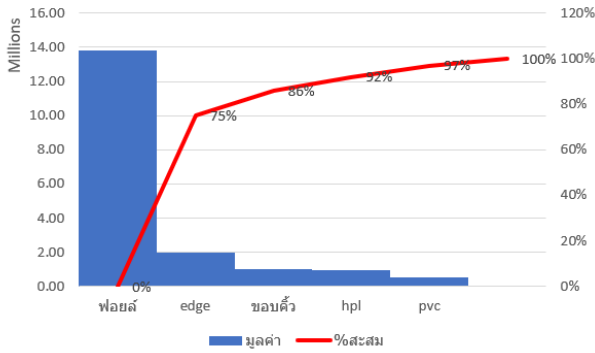
2. คลังปฏิบัติ จะประกอบด้วย 2 ฝ่าย คือ ฝ่าย GR ข้อมูล ทำหน้าที่รับสินค้าและบันทึกข้อมูลลงระบบ SAP และฝ่ายจัดเก็บวัตถุดิบภายในคลัง ทั้งสองฝ่ายจะเป็นผู้รับผิดชอบในขั้นตอนการทำงานตั้งแต่การรับสินค้าเข้า การจัดเก็บสินค้าและการเบิก-จ่ายวัตถุดิบ

3.2 เก็บรวบรวมข้อมูลการจัดเก็บวัตถุดิบ

การจัดเก็บวัตถุดิบในแผนกคลังวัตถุดิบเป็นการจัดเก็บวัตถุดิบตามกลุ่ม และมีการแบ่งช่องจัดเก็บไว้อย่างชัดเจน กลุ่มวัตถุดิบประเภทปิดผิว จะเป็นวัตถุดิบหลักและมูลค่าสูง ดังนั้นบทความวิจัยนี้ จึงเลือกวิเคราะห์ปัญหาของกลุ่มปิดผิวที่เป็นกลุ่มสินค้าหลักในคลังวัตถุดิบ ได้แก่ ฟอยล์ ขอบเอต และขอบคิ้ว วัตถุดิบทั้ง 3 รายการจะเป็นวัตถุดิบที่มีหน่วยนับเป็นตารางเมตรซึ่งแตกต่างจากวัตถุดิบอื่นที่มีหน่วยนับเป็นชิ้นหรือกิโลกรัมและยังเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการปิดผิวของไม้ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตอย่างยิ่งและเป็นสินค้าที่มีมูลค่าสูง ดังตารางที่ 1 และรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภท มูลค่าและจำนวนสต็อกของวัตถุดิบกลุ่มปิดผิวในคลังวัตถุดิบ

ประเภท	SKU	มูลค่า (บาท)	จำนวนสต็อก	หน่วยนับ	%
ฟอยล์	107	13,827,389.39	775,858.06	ตร.ม.	75%
ขอบเอต	480	2,004,302.05	325,636.00	ม.	11%
ขอบคิ้ว	420	1,027,980.48	490,801.00	ม.	6%
hpl	42	932,066.06	1,372.73	ตร.ม.	5%
pvc	9	552,981.72	10,211.45	ตร.ม.	3%
รวม	1,058	18,314,719.70	1,603,879.24		100%



รูปที่ 1 พारेโตแสดงการจัดลำดับตามมูลค่าของกลุ่มปิดผิว

จากแผนภูมิพारेโต จะเห็นได้ว่าฟอยล์เป็นวัสดุที่มีมูลค่าสูงที่สุดในกลุ่มปิดผิว ฟอยล์เป็นวัสดุหลักที่มีขนาดม้วนเป็นตารางเมตร และมีราคาแต่ละสีไม่เท่ากัน นอกจากฟอยล์จะมีหลายสีแล้วยังมีลายและพื้นผิวที่แตกต่างกันจึงทำให้มีราคาต่อตารางเมตรที่แตกต่างกันด้วย ฟอยล์แต่ละม้วนยังมีขนาดตารางเมตรที่ไม่เหมือนกัน เช่น ฟอยล์สีขาวลายไม้ จะมีขนาดม้วนตั้งแต่ 325 ตารางเมตร ถึง 3,200 ตารางเมตร จึงมีน้ำหนักที่มากเวลาเบิก-จ่ายฟอยล์จะเป็นการยกม้วนตามจำนวนตารางเมตรที่ใช้ และฟอยล์ยังเป็นวัสดุที่มีสีหลากหลาย ซึ่งอาจมีผลทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน บทความวิจัยนี้จึงเลือกการจัดเก็บฟอยล์ เพื่อมาปรับปรุงขั้นตอนในการทำงานในคลังวัสดุ



รูปที่ 2 ลักษณะของฟอยล์ในคลังวัสดุ

3.3 การตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บฟอยล์

ในขั้นตอนนี้ทำการออกแบบใบตรวจสอบเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลระหว่างช่วงเดือน สิงหาคม-กันยายน พ.ศ.2565 โดยการดึงรายการจัดเก็บฟอยล์ในระบบ SAP มาตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บ เพื่อหาเปอร์เซ็นต์การจัดเก็บว่ารายการจัดเก็บในระบบ SAP กับสต็อกจริงตรงกันหรือไม่ ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บทั้งหมดในคลังวัสดุรวมเป็น 349 รายการที่มีความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บวัสดุประเภทฟอยล์ สต็อกจริงไม่ตรงกับระบบทำให้มีรายการจัดเก็บวัสดุผิดที่ 35 รายการ วัสดุขาด 6 รายการ และมีวัสดุเกิน 12 รายการ คิดเป็นมูลค่าวัสดุขาดเท่ากับ 245,842

บาท และวัสดุเกิน 672,498 บาท เมื่อเทียบมูลค่าความสูญเสียรวมเท่ากับ 918,340 บาท และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์รวมความคลาดเคลื่อนจะเท่ากับ 15% ของรายการทั้งหมด

3.4 วิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของกระบวนการทำงาน

จำแนกปัญหาการจัดเก็บผิดพลาดและการสูญเสียที่ส่งผลให้การส่งมอบวัสดุให้กับทางฝ่ายผลิตเกิดการล่าช้าและผิดพลาด โดยทำการวิเคราะห์ความถี่ที่เกิดขึ้นในแต่ละปัญหาในช่วงเดือน กันยายน-ตุลาคม พ.ศ. 2565 (ครึ่ง/2 เดือน) ของขั้นตอนการทำงานที่ส่งผลกระทบต่อการจัดเก็บวัสดุและการส่งมอบวัสดุให้กับทางฝ่ายผลิตเกิดการล่าช้าและผิดพลาด และทำการเลือกปัญหาที่เกิดความผิดพลาดมากที่สุดมา 3 ปัญหาเรียงตามลำดับ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ลำดับปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงาน

ลำดับ	ปัญหา	ความถี่(ครึ่ง/2เดือน)	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย (%)
1	การจัดเก็บสินค้าผิดช่องจัดเก็บ	45	50%
2	การเบิก-จ่ายสินค้าผิด	36	39%
3	การติดต่อสื่อสารระหว่างฝ่ายจัดซื้อกับพนักงานส่งสินค้าเกิดความผิดพลาด	10	11%
รวม		91	100%

หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์หาสาเหตุการทำงานเพื่อวิเคราะห์ว่าขั้นตอนใดที่สร้างความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บวัสดุโดยใช้ Why Why Analysis และแผนผัง Relation Diagram มาช่วยในการขยายปัญหาที่เชื่อมโยงกัน โดยจะใช้ Why Why Analysis ในการตั้งคำถามว่าทำไมไปจนกว่าจะหาสาเหตุที่แท้จริงได้ว่าปัญหาใดบ้างที่ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บวัสดุ และเมื่อทราบสาเหตุที่แท้จริงจากขั้นตอนการตั้งคำถามในทฤษฎี Why Why Analysis ยังพบว่าปัญหาที่สามารถเชื่อมโยงกันได้จึงจะใช้แผนผัง Relation Diagram มาช่วยวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นและเชื่อมโยงกัน เพื่อหาสาเหตุปัจจัยใดที่ทำให้เกิดการดำเนินงานที่ผิดพลาด พบสาเหตุหลัก 6 สาเหตุ ประกอบด้วย 1) ไม่มีเอกสารการจัดเก็บ 2) พนักงานหยิบวัสดุไม่ตรงกับที่เบิก 3) ขาดการตรวจสอบรายการเบิก-จ่าย 4) ฟอยล์มีหลากหลายสี 5) พนักงานใหม่ขาดประสบการณ์ และ 6) พนักงานตำแหน่งนี้ออกบ่อย

3.5 การปรับปรุงกระบวนการทำงาน

จากขั้นตอนที่ 3.4 จากสาเหตุหลัก 6 สาเหตุ ทำการระดมสมองกับทีมงานทางบริษัท พบว่า 4 สาเหตุแรก สามารถแก้ไขได้ในช่วงเวลา

กลุ่ม 1	กลุ่ม 2	กลุ่ม 3
ข้อจัดเก็บ A-11-01-1 ถึง A-12-06-1	ข้อจัดเก็บ A-13-01-1 ถึง A-13-06-1	ข้อจัดเก็บ A-14-01-1 ถึง A-14-06-1
11028554	11028231	11065050
11039626	11028232	11033483
11028239	11045635	11065927
11058899	11033483	11033483
11009721	11048490	11000606
11065927	11063621	11008941
11028237	11028232	11033483
11028412	11028564	11052630
11028529	11028615	11048112
11065587	11008941	11066161
11065051	11028240	11021621
11063222	11028244	11028234
11065927	11028412	11028427
11028413	11050034	11020134
11044253	11028240	11021097
11028584	11028619	
11022479	11000190	
11038212	11028520	
11028427	11028574	
11028529	11045396	
11065928	11049331	
11028613	11067911	
11028616	11009721	
11028244	11027967	
11028603		
11045395		
11052630		
11061190		
11065051		

รูปที่ 4 ตารางรายการแบ่งสีของพอยล์



รูปที่ 5 การปรับปรุงโดยติดใบรายการสินค้าตามช่องเชลล์ต่างๆ

4.3 วิธีการแก้ปัญหาการเบิกจ่ายสินค้าผิด

ขั้นตอนที่ 1 ทำใบตรวจสอบรายการเบิกจ่ายสินค้าก่อนส่งมอบให้กับทางฝ่ายผลิตดังรูปที่ 6 เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการตัดยอดในระบบและการส่งมอบสินค้า เนื่องจากการทำงานในแบบเก่าไม่มีการตรวจสอบสินค้าก่อนส่งมอบจึงทำให้เกิดปัญหาการจ่ายสินค้าผิด

ขั้นตอนที่ 2 การนำไปใช้ การจัดทำใบตรวจเช็ครายการสินค้าพนักงานฝ่าย GR ทำใบรายการตรวจสอบสินค้าและพนักงานฝ่าย GR ข้อมูลจะต้องเป็นผู้ตรวจสอบความถูกต้องของสินค้า เพื่อลดปัญหาการตัดยอดสินค้าผิดจากในระบบและเพิ่มความแม่นยำในการนับสต็อก

พนักงานฝ่าย GR ข้อมูลจะเป็นผู้รับผิดชอบในการตรวจเช็ครายการสินค้าเนื่องจากพนักงานฝ่าย GR จะต้องตัดยอดสินค้าในระบบ SAP เพื่อไม่ให้ตัวเลขในระบบเกิดการคลาดเคลื่อนและสามารถควบคุมสต็อกได้

ใบตรวจสอบรายการจ่าย FOIL

วันที่: _____

ผู้เบิก: _____

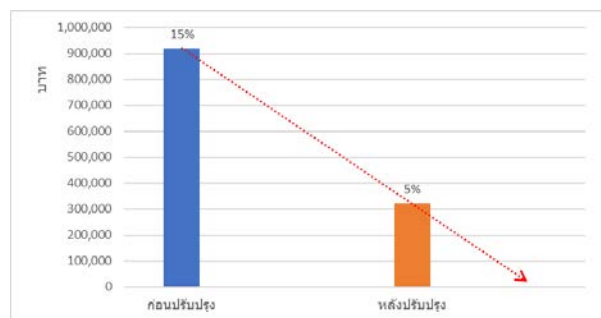
รายการ	สาย	Material	ชื่อ/ชื่อ	จำนวน	Batch	JOB
21	1	11008941	Foil/T-400mm White	1,968.55	100268899	DEM043
21	2	11008941	Foil/T-400mm White	2,232.00	100268874	DEM043
21	3	11008941	Foil/T-400mm White	2,232.00	100268874	DEM043
21	4	11008941	Foil/T-400mm White	1,905.00	100268871	DEM043
21	5	11038113	Foil/Murphy 400*762*26	1,830.00	100268787	DEM043
21	6	11038113	Foil/Murphy 400*762*27	1,830.00	100268788	DEM043
21	7	11038429	Foil/448087 White	1,447.80	1704806	SP1233
21	8	11081190	Foil/882 PU/LB	466.41	100261976	DEM051
22	9	11020134	Foil/18-1020-149 Combra	2,139.00	100267293	GT7306

รูปที่ 6 ตัวอย่างใบตรวจสอบรายการจ่ายพอยล์

4.4 สรุปผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บพอยล์หลังการปรับปรุง

ตรวจสอบรายการสินค้าหลังการปรับปรุงในช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2565 โดยการดึงข้อมูลรายการจัดเก็บวัตถุดิบในระบบ SAP มาตรวจสอบหาความคลาดเคลื่อนเพื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ก่อนและหลังปรับปรุง ผลการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บพอยล์ทั้งหมดในคลังวัตถุดิบ หลังการปรับปรุงระหว่างช่วงเดือน พฤศจิกายน พ.ศ 2565 รายการพอยล์ที่ตรวจสอบหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดทั้งหมด 349 รายการ พบว่าการจัดเก็บสินค้าผิดที่ 14 รายการ สินค้าขาด 3 รายการ และ สินค้าเกิน 1 รายการ คิดเป็นมูลค่าสินค้าขาด 271,924 บาท และสินค้าเกินเท่ากับ 48,196 บาท ซึ่งคิดเป็นจำนวนเงินลดลงเหลือ 320,117 บาท จากเดิม 918,340 บาท และเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนลดลงเหลือ 5% จากเดิม 15% ดังรูปที่ 7

จากรูปสรุปผลความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง จะเห็นได้ว่าหลังจากที่ได้ทำการปรับปรุงรูปแบบการทำงานโดยการออกแบบใบรายการจัดเก็บสินค้า ใบรายการตรวจสอบการจ่ายพอยล์และได้ทำการแยกตัวสีของพอยล์มีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในการจัดเก็บลดลงเหลือ 5% จากเดิม 15% เท่ากับว่ากระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 10% เพราะการจัดเก็บและการเบิก-จ่ายมีความแม่นยำมากขึ้นทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น



รูปที่ 7 สรุปผลความคลาดเคลื่อนก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

จากผลสรุปการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนยังเห็นได้ว่ายังคงมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนเหลืออยู่ 5% เนื่องจากขั้นตอนการทำงานที่เปลี่ยนแปลง ทำให้ยังมีข้อผิดพลาดจากพนักงานไม่ทำตามขั้นตอนการทำงานที่ปรับปรุงไว้ เนื่องจากเป็นพนักงานทดแทน ส่งผลให้ยังมีการจัดเก็บวัตถุดิบผิดที่ถึง 14 รายการ วัตถุดิบขาด 3 รายการ และ วัตถุดิบเกิน 1 รายการ

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแผนกคลังวัตถุดิบ พบว่าการจัดเก็บและการจ่ายสินค้าที่ผิดพลาดจากเดิมก่อนปรับปรุง 15% หลังปรับปรุงลดลงเหลือ 5% จากการปรับปรุงสรุปได้ว่ากระบวนการทำงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 10% จำนวนเงินค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการหาสินค้าไม่เจอสต็อกไม่ตรงก่อนปรับปรุง 918,340 บาท ลดลงเหลือ 320,117 บาท ลดลงประมาณ 34.86% ซึ่งสามารถลดปัญหาการจัดเก็บที่ผิดพลาดและการจ่ายสินค้าผิดได้ พนักงานสามารถทำงานได้ง่ายขึ้น ทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพและเพิ่มความแม่นยำในการจัดเก็บและการจ่ายสินค้ามากยิ่งขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้การสนับสนุน และขอขอบคุณ ผศ.ดร. สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำต่าง ๆ และช่วยปรับแก้ไขจนกระทั่งบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Gwynne Richards. Warehouse Management: The Definitive Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse, 4th ed., Kogan Page Ltd, 2021.
- [2] James, A.T. and Jerry, D.S. The Warehouse Management Handbook. 2nd ed., Tompkins press, 1998.
- [3] เมธินี ศรีกาญจน์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล. 2562. "การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า บริษัท ศรีไทย ซูเปอร์แวร์ จำกัด (มหาชน)." วารสารการจัดการ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์, ฉบับที่ 2: 8-20.
- [4] สกฤตทิพย์ บัณฑิตธาตาดวงศ์ และ สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์, การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการจัดการสินค้าคงคลังโดยประยุกต์ใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ กรณีศึกษาอุตสาหกรรมประเภทอาหารเพื่อสุขภาพ (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2022, 10 – 12 May 2022, Bangkok, Thailand.
- [5] K. Aravindaraj and P. Rajan Chinna. 2022. "A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable Development Goals (SDGs)". Cleaner Logistics and Supply Chain, Vol. 5: 1-12

- [6] C.G.S. Rebelo et al. 2022. "The relevance of space analysis in warehouse management". Procedia Manufacturing, Vol. 55: 471–478
- [7] D. Pavletic, M. Sokovic, G. Paliska. 2008. "Practical Application of Quality Tools". International Journal for Quality Research, Vol. 2 (3): 199-205.
- [8] B. Neyestani. "Seven Basic Tools of Quality Control: The Appropriate Techniques for Solving Quality Problems in the Organizations". Online document <https://doi.org/10.5281/zenodo.400832> on Mar 30, 2022

การลดเวลาในกระบวนการประกอบเครื่องชั่ง Reduction Time in Scale Assembly Process

ศุภวัฒน์ ปิงตา

ภาควิชาวิศวกรรมกระบวนการและอุตสาหกรรม สถาบันวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

E-mail: teh_kku@hotmail.com*

Supapat Pingta

Department of Process and Industrial Engineering, Engineering and Industrial Technology of Institute,

Mahanakorn University of Technology

E-mail: teh_kku@hotmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและปรับปรุงกระบวนการทำงานของธุรกิจขนาดกลางขนาดย่อม (SMEs) โดยบริษัทที่ศึกษาผลิตเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง (Analog Scale) ซึ่งเป็นการผลิตสินค้าเป็นแบบตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Make to Order) จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่า บริษัทดังกล่าวขาดการปรับปรุงระบบการทำงานเป็นระยะเวลานาน ไม่มีเวลามาตรฐานการทำงาน ซึ่งแต่ละกระบวนการใช้เวลาการทำงานที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะขั้นตอนการประกอบเครื่องชั่งน้ำหนักใช้เวลาในการผลิตนานที่สุดเนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ในการประกอบ ทางคณะผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์และปรับปรุงการทำงานโดยการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการประกอบชิ้นมาใหม่ โดยออกแบบให้สามารถทำงานได้ง่าย และรวดเร็ว เพื่อลดเวลาในกระบวนการประกอบลง หลังจากการนำอุปกรณ์เข้ามาช่วยในกระบวนการประกอบเครื่องชั่ง พบว่าเวลาในการผลิตลดลง ซึ่งก่อนการแก้ไขใช้เวลา 169.56 วินาที หลังการปรับปรุงใช้เวลาเพียง 121.90 วินาที โดยลดลงไป 47.66 วินาที คิดเป็น 28.11 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: ลดเวลา การประกอบเครื่องชั่ง เพิ่มประสิทธิภาพ

Abstract

The purpose of the research is to study and improve the work process of small and medium-sized enterprises (SMEs) by a case study company producing analog scales, which are made-to-order products of customers (Make to Order). Such companies have been lacking in improving their work systems for a long time. There is no standard working time. Each process takes a different time to run. In particular, the process of assembling weighing scales takes the longest to produce due to a lack of equipment for assembling. The research team, therefore, analyzed and improved the work by designing a new assembly aid. It is designed to be able to work easy and quickly to reduce time in the assembly process. After introduce of equipment to assist in the scale assembly process. It has found that the productions time was reduced. Before the correction took 169.56 seconds. After the improvement took only 121.90 seconds, decreasing by 47.66 seconds, representing 28.11 percent.

Keywords: Reduce time, Scale assembly, Productivity improvement

1. บทนำ

สภาวะเศรษฐกิจธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมในปี 2566 ปรับตัวดีขึ้นจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส COVID-19 สายพันธุ์โอมิครอนที่เริ่มคลี่คลาย แม้จำนวนผู้ติดเชื้อโควิดสายพันธุ์โอมิครอนเพิ่มสูงสุดเท่าที่เกิดวิกฤตการณ์การแพร่ระบาดของ COVID-19 แต่ความรุนแรงของโรคไม่มากนัก อีกทั้งไม่มีมาตรการควบคุมโรคที่ส่งผลกระทบต่อธุรกิจ ทำให้ประชาชนมีการออกมาจัดกิจกรรมทางเศรษฐกิจและการท่องเที่ยวมากขึ้น ส่งผลให้มีการขยายตัวทั้งเรื่องเศรษฐกิจภายในประเทศ [1]

ผู้ประกอบการ SMEs ในประเทศไทยส่วนใหญ่ยังขาดความรู้และความสามารถในการบริหารธุรกิจสมัยใหม่ ขาดทักษะในการติดต่อเจรจาธุรกิจระดับสากลและไม่รู้เท่าทัน สถานการณ์โลกที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทำให้การประกอบธุรกิจไม่มีประสิทธิภาพ ไม่สามารถขยายตลาดการค้าหรือการลงทุน นำไปสู่การไม่สามารถแข่งขันได้ในที่สุด ดังนั้นภาครัฐต้องเร่งยกระดับความสามารถให้ ธุรกิจ SMEs ในด้านต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นความรู้พื้นฐานที่สำคัญ ในการทำธุรกิจ การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการประกอบธุรกิจ การเสริมสร้างความสามารถในการค้าขายระหว่างประเทศ การส่งเสริมแนวคิดการทำธุรกิจที่มุ่งตอบสนองตลาดระดับโลก (Global context) [2]

ซึ่งในปัจจุบันทางรัฐจัดกิจกรรมกระตุ้นการใช้จ่ายให้ของประชาชน ส่งผลเชิงบวกต่อเศรษฐกิจในประเทศ รวมถึงการออกนโยบายภายใต้แนวคิดที่ต้องการปรับ เปลี่ยนโครงสร้างเศรษฐกิจ ไปสู่ Value-Based Economy [3] หรือ เศรษฐกิจที่ขับเคลื่อนด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม โดยมีฐานคิด หลักคือ เปลี่ยนจากการผลิตสินค้า โภคภัณฑ์ การค้า การบริการ ไปสู่การใช้เทคโนโลยีในการเพิ่มมูลค่าและเพิ่มรายได้ให้กับคน ทำงานในทุกระดับ ด้วยการผลิตสินค้าที่ตรงกับความต้องการใหม่ การเสนอสินค้าที่ตรงกับช่องทางใหม่ๆ ที่ผู้บริโภคนิยม โดยการนำเทคโนโลยีใหม่และนวัตกรรม มาเป็นกำลังขับเคลื่อนรายได้ของประเทศ ทั้งภาคเกษตรกรรม ภาคอุตสาหกรรม และภาคบริการ ซึ่งจะขับเคลื่อนทั้งระบบ ทุกระดับ จากการใช้แรงงานทักษะต่ำไปสู่การผลิตที่ใช้เครื่องจักรอัตโนมัติ ใช้การเชื่อมโยงข้อมูลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ใช้แรงงานที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญ และทักษะสูง รวมทั้งเปลี่ยนจากการให้บริการแบบเดิมๆ (Traditional Services) ซึ่งมีมูลค่าค่อนข้างต่ำไปสู่การให้บริการที่ตรงกับความต้องการใหม่ๆ ที่มีมูลค่าสูง (High Value Services) เชื่อมต่อกับระบบข้อมูลที่นำไปสู่การผลิตต้นทุนโลจิสติกส์ การให้บริการ และการตัดคนกลางที่ไม่จำเป็นลง

แต่จากการสำรวจปัญหาของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมพบว่า ปัญหาส่วนใหญ่จะเป็นการปรับใช้นวัตกรรมหรือเทคโนโลยีในการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิตหรือบริการ การปรับปรุงมาตรฐานสินค้าหรือบริการ การเพิ่มมูลค่าสินค้าหรือบริการ รวมถึงปัญหาด้านการขาดแคลนแรงงานทักษะสูง ต้นทุนราคาสินค้าและวัตถุดิบสูงขึ้นและจากการรายงานข้อมูลพบว่า เกิดการขาดแคลนแรงงานลูกจ้างประจำ มีการทำงานในรูปแบบชั่วคราวเพิ่มมากยิ่งขึ้น จึงทำให้การหมุนเวียนปรับเปลี่ยนแรงงาน หรือต้องเพิ่มค่าจ้างให้

สอดคล้องกับค่าครองชีพของพนักงาน จากค่าวัตถุดิบที่ปรับตัวสูงขึ้น รวมถึงค่าจ้างแรงงานที่สูงขึ้น ซึ่งสภาพความเป็นจริงไม่สอดคล้องกับแนวทางของนโยบายของภาครัฐ ดังนั้นการอาศัยโครงการหรือกิจกรรมจากทางภาครัฐไม่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมด ดังนั้นการปรับตัวของผู้ประกอบการเองเป็นสิ่งที่สำคัญกว่าการรอการสนับสนุนจากทางภาครัฐ แนวทางการเพิ่มผลผลิตและลดต้นทุนจึงเป็นสิ่งสำคัญในการประกอบธุรกิจให้อยู่รอดภายใต้สภาวะที่เกิดการแข่งขันด้านธุรกิจหลังจากคลี่คลายวิกฤตการณ์โรค COVID-19

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ประกอบการอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนโลหะ การ เช่น การผลิตอุปกรณ์เครื่องมือช่าง ซึ่งเป็นธุรกิจขนาดเล็ก (Small-sized) เป็นผู้รับจ้างผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Make to Order) ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลาย โดยคำสั่งซื้อส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง (Analog Scale) ซึ่งเป็นที่นิยมในตลาดท้องถิ่น รวมถึงความแข็งแรงและคงทนเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องชั่งแบบดิจิทัล และจากการเข้าศึกษากระบวนการผลิตเครื่องชั่งแบบสปริง พบปัญหาว่าพนักงานใช้เวลาในการผลิตได้ช้าไม่สอดคล้องกับความต้องการของลูกค้าเนื่องจากมีกระบวนการประกอบที่หลายขั้นตอน เนื่องจากเป็นสถานประกอบการขนาดย่อมจึงขาดอุปกรณ์ช่วยในการผลิต หลังจากการศึกษางานด้านเวลาเพิ่มเติมพบว่ากระบวนการประกอบเครื่องชั่งน้ำหนัก ใช้เวลาในการผลิตมากและเป็นคอขวด (Bottom Neck) ในการผลิต เนื่องจากมีการประกอบชิ้นส่วนขนาดเล็กหลายชิ้นส่วน และขาดอุปกรณ์ในการช่วยผลิต

โดยการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง โดยใช้หลักการศึกษางานและเวลา (Motion and Time Study) และหลักการ ECRS และออกแบบอุปกรณ์จับยึด (Jig & Fixture) ช่วยในการทำงานให้มีประสิทธิภาพต่อการทำงาน โดยจะส่งผลให้พนักงานสามารถทำงานได้เร็วขึ้นและลดความเมื่อยล้าของพนักงานได้

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยการเพิ่มผลผลิตขององค์กรทั้งอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ขนาดกลาง จนไปถึงขนาดใหญ่ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มผลผลิตให้แก่บริษัทกรณีศึกษา โดยช่วงที่ผ่านมา การพัฒนาด้านอุตสาหกรรมที่ผ่านมาเน้นสถานประกอบการให้ความสำคัญกับการลดความสูญเปล่าและการลดต้นทุนในการดำเนินงานรวมถึงการพัฒนาด้านของนวัตกรรมเพื่อนำมาใช้ในองค์กร โดยในงานวิจัย [4] ได้ดำเนินการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยการบูรณาการเทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรม โดยดำเนินการลดความสูญเปล่า เช่น ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวโดยไม่จำเป็น ความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวเกินความจำเป็น ความสูญเปล่าเนื่องจากงานเสียหาย โดยดำเนินการจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อลดรอบเวลาการผลิต (Cycle time) นอกจากจะสามารถลดเวลาแล้วยังสามารถลดจำนวนพนักงานลงได้อีกด้วย เช่นเดียวกับงานวิจัย [5] ได้ทำการลดเวลาในการผลิต

กระบวนการเชื่อมชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยเทคนิค ECRS สามารถลดรอบเวลาการผลิต (Cycle time) ได้เช่นเดียวกัน รวมถึงงานวิจัยที่นำทฤษฎีการศึกษาและการทำงาน รวมถึงแผนภูมิด้านคุณภาพ เช่น แผนภูมิแสดงเหตุและผล แผนภูมิพาเรโต มาใช้ประกอบการแก้ไขปัญหาการลดเวลาในกระบวนการผลิตประกอบวาล์วก๊าซ [6] นอกจากนี้เทคนิคการลดความสูญเปล่ายังสามารถใช้ได้กับวิสาหกิจชุมชนหรือกลุ่มเกษตรกร ดังงานวิจัย [7] ได้นำหลักการ ECRS ไปใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกซึ่งทำให้เวลาในการผลิตและระยะทางในการเคลื่อนย้ายลดลงได้อีกด้วย ซึ่งทุกงานวิจัยที่ได้กล่าวมานั้นสอดคล้องกันทั้งหมดซึ่งสอดคล้องกับการดำเนินการพัฒนาปรับปรุงการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัย

3. วิธีวิจัยดำเนินงาน

3.1 ศึกษาข้อมูลทั่วไปของสถานประกอบการ

ในปัจจุบันแบ่งได้เป็น 2 สายการผลิต โดยแบ่งตามกลุ่มของเครื่องซึ่งที่มีลักษณะการผลิตคล้ายคลึงกัน ซึ่งกลุ่มที่ 1 มีขนาด 3 กิโลกรัม 7 กิโลกรัม 15 กิโลกรัม และ 20 กิโลกรัม กลุ่มที่ 2 มีขนาด 35 กิโลกรัม และ 60 กิโลกรัม โดยในงานวิจัยครั้งนี้ได้เก็บข้อมูลย้อนหลัง 3 เดือนเพื่อเลือกสายการผลิตที่มีคำสั่งซื้อของลูกค้ามากที่สุด ซึ่งข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลคำสั่งซื้อเครื่องซึ่งน้ำหนักแบบสปริง

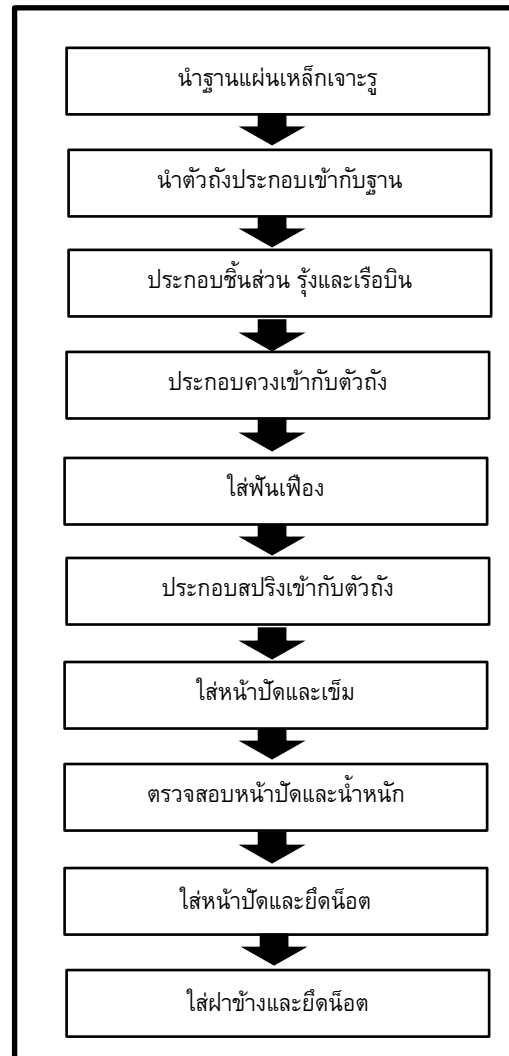
กลุ่มที่	ขนาด (kg.)	คำสั่งซื้อ เดือนที่ 1 (เครื่อง)	คำสั่งซื้อ เดือนที่ 2 (เครื่อง)	คำสั่งซื้อ เดือนที่ 3 (เครื่อง)	คำสั่งซื้อ เฉลี่ย (เครื่อง)
1	3	1,400	1,450	1,460	1,437
	7	1,350	1,400	1,480	1,410
	15	1,000	920	900	940
	20	950	940	935	942
รวมคำสั่งซื้อ กลุ่มที่ 1		4,700	4,710	4,775	4,728
2	35	300	300	300	300
	60	300	300	300	300
รวมคำสั่งซื้อ กลุ่มที่ 2		600	600	600	600

ดังนั้นการศึกษาระบบการผลิตจึงเลือกสายการผลิตเครื่องซึ่งน้ำหนักกลุ่มที่ 1 เนื่องจากการมีความต้องการของลูกค้ามากที่สุด

3.2 ศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์ปัญหาการกระบวนการผลิต

จากการศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตเครื่องซึ่งแบบสปริงพบว่าไม่สามารถผลิตสินค้าได้ตามความต้องการของลูกค้า อีกทั้งพนักงานในกลุ่มนี้ไม่มีงานที่รับมอบหมายมากกว่าการผลิตเครื่องซึ่ง และในกรณีที่ไม่สามารถส่งของให้กับลูกค้าได้ ทางบริษัทจะให้พนักงานทำงานล่วงเวลา

ในวันอาทิตย์ ซึ่งปกติเป็นวันหยุดของบริษัท ทำให้ต้นทุนค่าแรงงานสูงขึ้น ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงศึกษาขั้นตอนในการผลิตเครื่องซึ่งแบบสปริงเพื่อวิเคราะห์หาปัญหาของการผลิต รวมถึงแนวทางในการแก้ไข ซึ่งขั้นตอนการผลิตแสดงได้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการผลิตเครื่องซึ่งน้ำหนัก

หลังจากนั้นจึงศึกษาเวลาที่ใช้ในการผลิตเครื่องซึ่งน้ำหนักโดยใช้วิธีการศึกษาเวลาโดยตรง (Direct Time Study) โดยจับเวลาที่ใช้ในการผลิตเป็นจำนวน 10 ครั้ง โดยพิจารณาจากเวลาในการผลิตในบางขั้นตอนมีรอบเวลาในการผลิต (Cycle Time) ที่สั้น ควรจะจับเวลาขั้นต่ำไม่ต่ำกว่า 10 ครั้ง และต้องมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่เกิน $\pm 5\%$ ภายใน 95 % ของความเชื่อมั่น หลังจากนั้นจึงปรับอัตราความเร็วในการทำงาน (Rating Factor) 2% คิดเป็น 102% และกำหนดเวลาเผื่อในการทำงาน 8% เพื่อหาเวลาเฉลี่ย เวลาปกติ และเวลามาตรฐานซึ่งแสดงการคำนวณเวลามาตรฐานในการสมการที่ 1 และข้อมูลเวลาในการผลิตแสดงดังในตารางที่ 2

$$STD.T = NT + AF \quad (1)$$

โดยที่

$STD.T$ = เวลามาตรฐาน (Standard Time)

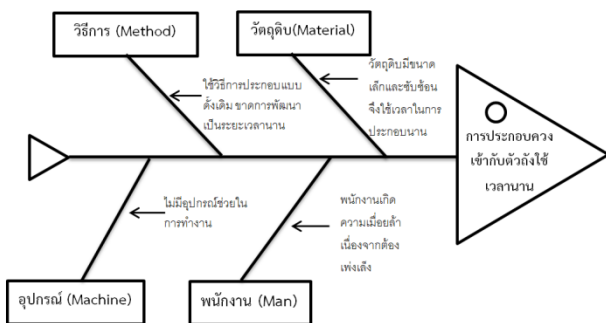
NT = เวลาปกติ (Normal Time)

AF = ค่าเผื่อต่างๆ (Allowance Factor)

ตารางที่ 2 แสดงเวลาในการผลิตเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง ก่อนปรับปรุง

ที่	ขั้นตอนการผลิต	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	เวลาปกติ (วินาที)	เวลามาตรฐาน (วินาที)
1	นำฐานแผ่นเหล็กมาเจาะรู	59.38	60.57	65.41
2	นำตัวถังประกอบเข้ากับฐาน	61.15	62.38	67.37
3	ประกอบชิ้นส่วน รูน	12.33	114.58	123.74
4	ประกอบคองเข้ากับตัวถัง	153.92	57.00	169.56
5	ใส่ฟันเฟือง	90.86	92.68	100.09
6	ประกอบสปริงเข้ากับตัวถัง	105.01	107.11	115.68
7	ใส่หน้าปัดและเข็ม	11.20	13.42	122.50
8	ตรวจสอบหน้าปัดและน้ำหนัก	80.29	81.90	88.45
9	ใส่หน้าปัดและยึดน็อต	77.58	79.13	85.47
10	ใส่ฝาข้างและยึดน็อต	115.34	117.64	127.06
	รวม	967.07	86.41	1,065.32

หลังจากนั้นจึงนำขั้นตอนที่ 4 การประกอบคองเข้ากับตัวถัง มาวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาที่ทำให้การผลิตล่าช้า โดยการระดมสมอง (Brainstorming) ด้วยแผนผังเหตุและผล แสดงดังในรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังเหตุและผลของปัญหาการใช้เวลาการประกอบคองเข้ากับตัวถังเครื่องชั่งน้ำหนัก

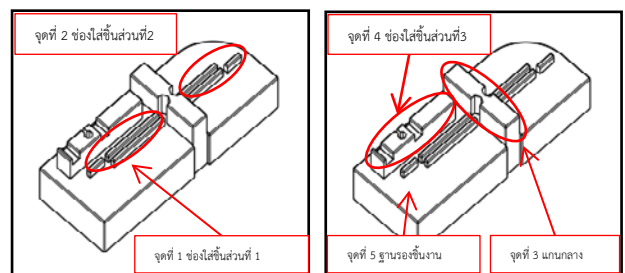
จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังเหตุและผลของปัญหาการใช้เวลาในการประกอบคองเข้ากับตัวถังเครื่องชั่งน้ำหนักมีสาเหตุสำคัญคือ ฝ่ายผลิตขาดการปรับปรุงกระบวนการทำงานเป็นระยะเวลานาน

เนื่องจากพนักงานแต่ละคนมีหน้าที่ต้องรับผิดชอบประจำดังนั้นอาจจะปรับเปลี่ยนวิธีการทำงานจึงมีเป็นส่วนน้อย อีกทั้งการประกอบคองนั้นเป็นชิ้นส่วนโลหะขนาดเล็กต้องใช้สายตาและมือทั้งสองข้างทำงานตลอดเวลาจึงทำให้เกิดความเมื่อยล้าขึ้นเมื่อมีการผลิตไประยะหนึ่งพนักงานจะทำงานช้าลงอย่างเห็นได้ชัด ในส่วนการจัดซื้อจัดหาอุปกรณ์ที่ช่วยในการประกอบไม่มีจำหน่ายในตลาดทั่วไป เนื่องจากชิ้นส่วนที่ต้องประกอบไม่ได้มีขนาดเป็นมาตรฐานเหมือนกันทุกชนิดของเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง ซึ่งในกรณีที่เกิดคองขุดในกระบวนการประกอบคองเข้ากับตัวถังนั้นในบางครั้งทางบริษัททำการโยกย้ายตำแหน่งของพนักงานแผนกอื่นชั่วคราวมาช่วยในบางครั้ง ซึ่งทำให้งานของพนักงานที่มาช่วยประกอบเกิดงานรอคอยแทนซึ่งลักษณะแบบนี้เกิดขึ้นเป็นวัฏจักรจนกระทั่งทางบริษัทให้ทำงานล่วงเวลาและจ่ายค่าแรงปัญหาเหล่านี้จะหมดไปแต่ทำให้ต้นทุนค่าแรงงานเพิ่มสูงขึ้นทางผู้วิจัยได้หารือกับสถานประกอบการเห็นว่าสามารถปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยลดระยะเวลาการทำงานขั้นตอนที่เป็นคองขุดลงโดยการออกแบบอุปกรณ์ช่วยในการทำงาน (Jig and Fixture) เพื่อลดเวลาในการประกอบคองเข้ากับตัวถังลง รวมถึงพนักงานสามารถทำงานได้สะดวกและลดความเมื่อยล้าลงได้

3.3 การออกแบบอุปกรณ์จับยึด

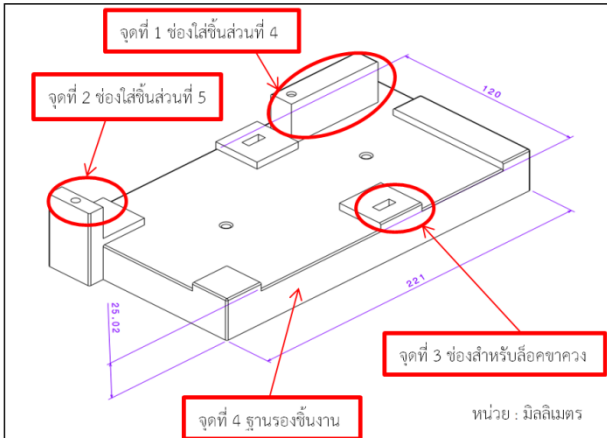
ในการออกแบบอุปกรณ์จับยึดหรือฟิกเจอร์นั้นสามารถช่วยลดเวลาในกระบวนการประกอบในขั้นตอนการประกอบคองและใส่คองเข้ากับตัวถัง ซึ่งทำให้พนักงานทำการประกอบคอง ได้รวดเร็วขึ้นและลดเวลาในขั้นตอนการประกอบคอง โดยแนวคิดเบื้องต้นคณะผู้จัดทำทำการออกแบบแบ่งเป็นชิ้นส่วนประกอบ 3 ส่วน ดังนี้

- 1) อุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นส่วนที่ 1, 2 และ 3 (ฟิกเจอร์ตัวที่ 1)



รูปที่ 3 ฟิกเจอร์ตัวที่ 1

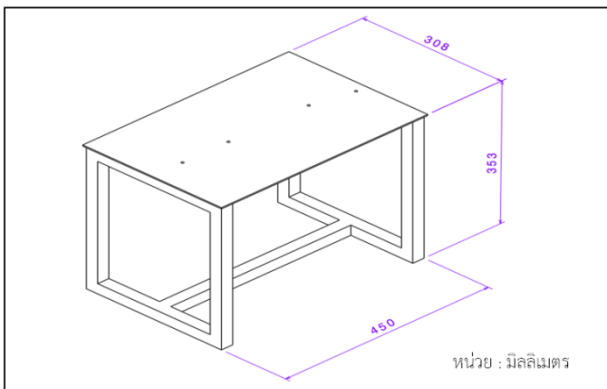
2) อุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นส่วนที่ 4 และ 5 (ฟิกเจอร์ตัวที่ 2)



รูปที่ 4 ฟิกเจอร์ตัวที่ 2

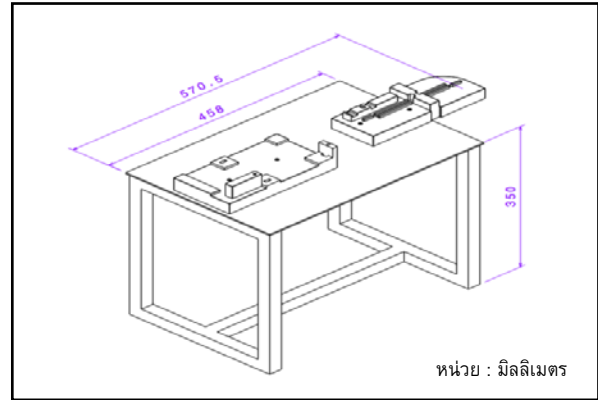
3) โต๊ะสำหรับติดตั้งอุปกรณ์

เป็นโต๊ะยึดอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน โดยมีการออกแบบให้ขาโต๊ะมีความสูง 353 มิลลิเมตร และความกว้างของขาโต๊ะ กว้าง 450 มิลลิเมตร เพราะพนักงานนั่งทำงานจึงออกแบบให้เหมาะสมกับพื้นที่ และมีความกว้างของโต๊ะ 308 มิลลิเมตร เพื่อให้มีพื้นที่ว่างในการทำงาน และได้ทำการเจาะรูที่โต๊ะ จำนวน 4 รู เพื่อใช้ในการขันสลักรูเพื่อยึดอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน และมีระยะห่างของนอตเพื่อสะดวกต่อการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นส่วน



รูปที่ 5 โต๊ะสำหรับติดตั้งอุปกรณ์

จากนั้นเมื่อนำอุปกรณ์ทั้ง 3 ส่วน คือ 1.อุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นส่วน (ฟิกเจอร์ตัวที่ 2) 2.อุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นส่วน (ฟิกเจอร์ตัวที่ 2) และ โต๊ะสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ช่วยจับยึดชิ้นงาน มาประกอบเข้าด้วยกัน โดยสามารถจำลองภาพได้ดังรูปที่ 6

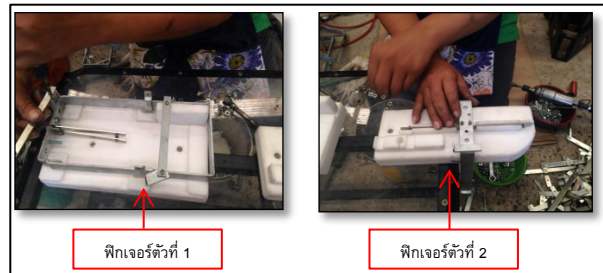


รูปที่ 6 ชุดอุปกรณ์ช่วยในการทำงานพร้อมโต๊ะ

4.ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลของการนำอุปกรณ์จับยึดไปใช้งาน

จากการสร้างอุปกรณ์จับยึดเพื่อช่วยในขั้นตอนการประกอบควงเข้ากับตัวถังของเครื่องซึ่งแบบสปริงพบว่าสามารถนำไปให้พนักงานใช้ได้ โดยพนักงานสามารถวางตำแหน่งของชิ้นส่วนย่อยได้ตรงตำแหน่งและง่ายต่อการประกอบ สะดวกต่อการใช้งานซึ่งแสดงดังในรูปที่ 7



รูปที่ 7 นำอุปกรณ์จับยึดไปใช้ทำงานจริง

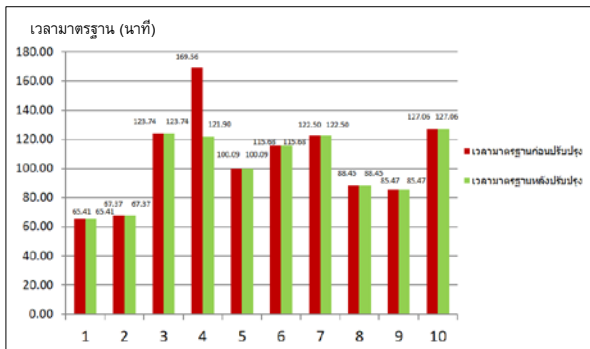
4.2 การศึกษาเวลาหลังปรับปรุงการทำงาน

ในการศึกษาเวลาในการทำงานหลังปรับปรุงยังคงใช้วิธีการศึกษาเวลาโดยตรง (Direct Time Study) เช่นเดียวกับกับการบันทึกเวลาก่อนปรับปรุงเพื่อที่จะสามารถเปรียบเทียบผลการศึกษากันได้ โดยในการศึกษาเวลาหลังปรับปรุงจะทำการจับเวลาใหม่เฉพาะขั้นตอนที่ 4 คือ การประกอบควงเข้ากับตัวถัง เนื่องจากขั้นตอนอื่นไม่ได้มีการปรับปรุงและไม่ส่งผลกระทบต่อด้านเวลาแต่อย่างใด จึงนำข้อมูลก่อนปรับปรุงมาใช้ โดยข้อมูลด้านเวลาจะมีความแตกต่างกันในขั้นตอนที่ 1 และเวลารวมของการผลิตทั้งหมด โดยจับเวลาที่ใช้ในการผลิตเฉพาะขั้นตอนที่ 1 เป็นจำนวน 10 ครั้ง เฉพาะขั้นตอนที่ 4 จะปรับอัตราความเร็วในการทำงาน (Rating Factor) ลดลงจากเดิม 5% จาก 102% เหลือ 97% เนื่องจาก skill ของพนักงานลดลงเนื่องจากยังไม่คุ้นเคยกับอุปกรณ์ใหม่ และในขั้นตอนอื่น ค่าปรับอัตราความเร็วในการทำงานยังคงที่ +2 % คิดเป็น 102 % และกำหนดเวลาเผื่อในการทำงาน 8% เพื่อหาเวลาเฉลี่ย เวลาปกติ และเวลามาตรฐาน

ตารางที่ 3 แสดงเวลาในการผลิตเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริง หลังปรับปรุง

ที่	ขั้นตอนการผลิต	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	เวลาปกติ (วินาที)	เวลามาตรฐาน (วินาที)
1	นำฐานแผ่นเหล็กมาเจาะรู	59.38	60.57	65.41
2	นำตัวถังประกอบเข้ากับฐาน	61.15	62.38	67.37
3	ประกอบชิ้นส่วน รุ่ง	112.33	114.58	123.74
4	ประกอบคองเข้ากับตัวถัง	116.36	112.87	121.90
5	ใส่ฟันเฟือง	90.86	92.68	100.09
6	ประกอบสปริงเข้ากับตัวถัง	105.01	107.11	115.68
7	ใส่หน้าปัดและเข็ม	111.20	113.42	122.50
8	ตรวจสอบหน้าปัดและน้ำหนัก	80.29	81.90	88.45
9	ใส่หน้าปัดและยึดหนี้อัด	77.58	79.13	85.47
10	ใส่ฝาข้างและยึดหนี้อัด	115.34	117.64	127.06
	รวม	929.51	942.28	1,017.66

จากตารางเวลามาตรฐานหลังปรับปรุงในส่วนของขั้นตอนที่ 4 พบว่า เวลาในการทำงานลดลงเป็นอย่างมาก โดยขั้นตอนที่ 4 ก่อนปรับปรุงใช้เวลา 169.56 วินาที หลังจากนำอุปกรณ์จับยึดไปใช้งานทำให้เวลาลดลงเหลือ 121.90 วินาที คิดเป็น 28.11% ของเวลาที่ลดลงได้ในขั้นตอนที่ 4 ในส่วนของขั้นตอนอื่นเวลาที่ใช้ในการทำงานคงเดิมซึ่งสามารถแสดงกราฟเปรียบเทียบได้ใน รูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟการเปรียบเทียบเวลามาตรฐานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

5.สรุปผลดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการประกอบเครื่องชั่งแบบสปริงพบว่าใช้เวลาในการผลิตนานซึ่งเป็นปัญหาด้านการผลิตคือขั้นตอนการประกอบคองเข้ากับตัวถัง ซึ่งเป็นการประกอบชิ้นส่วนขนาดเล็กและมีความซับซ้อนไม่เหมาะสมกับการทำงานในปัจจุบัน หลังจากทางผู้วิจัยได้วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจึงทำการออกแบบและพัฒนา

อุปกรณ์จับยึดเพื่อช่วยในการประกอบ ซึ่งสามารถลดเวลาในการประกอบเครื่องชั่งโดยรวมได้ โดยเวลาที่ใช้ในการผลิตเครื่องชั่งน้ำหนักแบบสปริงก่อนปรับปรุงใช้เวลา 169.56 วินาที เมื่อปรับปรุงวิธีการทำงานใหม่ทำให้เวลาลดลงเหลือ 121.90 วินาที ซึ่งสามารถลดเวลาลงได้ถึง 47.66 วินาที คิดเป็น 28.11 %

5.2 ข้อเสนอแนะการดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยได้ทำการศึกษาเฉพาะเครื่องชั่งแบบสปริงในกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีขนาดเล็ก แต่ในทางปฏิบัติทางสถานประกอบการยังผลิตเครื่องชั่งขนาดใหญ่ ซึ่งมีชิ้นส่วนอุปกรณ์แตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อความครอบคลุมทางด้านเพิ่มผลผลิตควรจะทำการศึกษาเพิ่มเติมตามขนาดของเครื่องชั่งที่แตกต่างกันออกไปเพื่อเพิ่มผลผลิตโดยรวมของสถานประกอบการให้สูงขึ้นทั้งหมด

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, รายงานสถานการณ์ SME ปี 2556, ข้อมูลจาก <https://www.sme.go.th/download.php?modulekey=215&cid=518> (วันที่สืบค้นข้อมูล 12 กุมภาพันธ์ 2566)
- [2] ทิบัติ ทัทภรณ์ และ ชีระวัฒน์ จันทิก. 2560. "การสร้างผู้ประกอบการรุ่นใหม่ในยุคไทยแลนด์ 4.0". วารสารวิชาการ RMUTT Global Business and Economics Review, ปีที่ 12 ฉบับที่ 2: 107-122.
- [3] กองส่งเสริมผู้ประกอบการและธุรกิจใหม่ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, ผู้ประกอบการยุคใหม่ทำอย่างไรจึงจะสำเร็จ, ข้อมูลจาก <https://nec.dip.go.th/> (วันที่สืบค้นข้อมูล 7 ธันวาคม 2565)
- [4] สาทิตย์ สีนิลพันธ์ และ ณฐา คุปต์ชะเอียง. 2554. "การลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์ โดยการบูรณาการเทคนิควิศวกรรมอุตสาหกรรม." วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชภัฏนครปฐม, ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 : 31-39.
- [5] ฤทธิชัย สังขทิพย์, วัชรุตม์ ชีววิริยะนนท์, เฉลิมศักดิ์ ถาวรวัตร, วิฑูรย์ อบรม และ ประยูร สุรินทร์, การลดเวลาในกระบวนการเชื่อมชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยเทคนิค ECRS (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2013, 16 – 18 October 2013, Chonburi, Thailand.
- [6] ยอดนภา เกษเมือง และ เถลิง พลเจริญ, การปรับปรุงสายการผลิตการประกอบวาล์วแก๊ส กรณีศึกษา : บริษัท ตัวอย่าง (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2011, 20 – 21 October 2011, Chonburi, Thailand.
- [7] สุภาภรณ์ สุวรรณรังสี และ เฉลิม พวงดาวเรือง, การลดความสูญเสียเปล่าของกระบวนการผลิตข้าวกล้องงอกกรณีศึกษา กลุ่มเกษตรกรบ้านจำปา จังหวัดสกลนคร (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2012, 17 – 19 October 2012, Phetchaburi, Thailand.

การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ Evaluation of the Efficiency of Coffee Huller Machines

ขวัญชนก สือสวน¹ พานพวงษ์ อุ่นกาย¹ ดิเรก ทองคต¹ เขมิสร่า พุกอินทร์² ผกามาต พุกอินทร์³ อุดลย์ พุกอินทร์⁴

¹หลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

²โรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย 19/1 ถ.มงฟอร์ต ต.ท่าศาลา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50000

³อาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต สาขาวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาอุดรดิตถ์ สถาบันการอาชีวศึกษาภาคเหนือ 3

⁴อาจารย์หลักสูตรเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตถ์

E-mail: Adun999@gmail.com*

บทคัดย่อ

การวิจัยการประเมินประสิทธิภาพเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ พบปัญหาการกะเทาะเมล็ดกาแฟที่ไม่ได้ประสิทธิภาพในด้านเวลา และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟเพื่อทำการกะเทาะในแต่ละครั้ง การวิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2³ การวิเคราะห์ด้วยวิธี ANOVA แบบ 2 ทาง ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ การวิจัยใช้กาแฟพันธุ์โรบัสต้าที่ปลูกในพื้นที่อำเภอลับแล และอำเภอท่าปลา จังหวัดอุดรดิตถ์ เกรด A และเกรด B เป็นวัตถุดิบในการวิจัยนี้ การทดลองใช้การปรับเปลี่ยนความเร็วรอบจากการออกแบบชุดมูเลย์แบ่งเป็นระดับต่ำ (0) และระดับสูง (1) มีการทดลอง 8 การทดลอง จำนวน 3 รอบ มี 2 สมมติฐาน ผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า สมมติฐานที่ 1 ได้ค่า F เปิดตาราง F=0.05, 1,7= 5.59 ค่าจากการคำนวณค่า F = 5.50 อยู่ในบริเวณที่ยอมรับ H₀ ซึ่งหมายถึงการกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด A และเกรด B ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 กับการใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ และสมมติฐานที่ 2 ได้ค่า F เปิดตาราง F=0.05, 7,7= 3.79 ค่าจากการคำนวณค่า F = 159.07 อยู่บริเวณปฏิเสธ H₀ และยอมรับ H₁ ซึ่งหมายถึง ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ ส่งผลต่อการทำงานของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ ซึ่งประสิทธิภาพเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟสำหรับเมล็ดกาแฟเกรด A และเกรด B ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 440 รอบ/นาที ใช้ความเร็วรอบของชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 604 รอบ/นาที และใช้ปริมาณเมล็ดกาแฟจำนวน 3 กิโลกรัม โดยประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด A เพิ่มขึ้นร้อยละ 45.66 และประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด B เพิ่มขึ้นร้อยละ 39.51 การวิจัยนี้ได้นำผลด้านประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟมาใช้ในพื้นที่อำเภอลับแล และอำเภอท่าปลา ทำให้มียอดการจำหน่ายผลผลิตของผู้ประกอบการในพื้นที่เท่ากับ 155,000 บาทต่อเดือน และมีการรับจ้างกะเทาะเมล็ดกาแฟมากกว่า 4.5 ตัน/เดือน การวิจัยนี้จึงเป็นไปตามวัตถุประสงค์การวิจัย

คำสำคัญ: เมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า, เมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้า, เมล็ดกาแฟ, ประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ, ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ

Abstract

Research Evaluation of the Efficiency of Coffee Crackers showed the inefficiency of cracking coffee both in time and in input quantity each time. This research objective was designed to use an experiment of factorial 2³ and two-way ANOVA analysis at a 95% confidence level, and to find out the efficiency of the coffee huller machine. The research used Robusta coffee is grown in Laplae district and Tha Pla district, Uttaradit province. Grade A and B of coffee were used as raw materials for this research. Experimental use of speed adjustment from the design of the pulley set which was divided into a low level (0) and a high level (1). There were 8 experiments in 3 rounds with 2 hypotheses. The results of hypothesis testing showed that hypothesis 1 gets F value, open table F = 0.05,1,7=5.59. The calculated value of F = 5.50 was within the tolerance area H₀ which meant the cracking of grade A and grade B coffee beans was not different statistically significant at the level of .05 with the use of coffee huller machines, and hypothesis 2 got F value from the table, F = 0.05,7,7=3.79 but the calculated value of F = 159.07 was in the area of rejecting H₀ and accepting H₁, which meant the speed of the coffee bean huller machines, speed of coffee sorting set and quantity of coffee beans affecting the operation of the coffee huller machines. It showed that efficiency of the coffee huller machine for grades A and B of coffee beans using the speed of the coffee sorting set at 604 rpm, the speed of the husking head at 440 rpm, and the number of seeds at 3 kg. The efficiency of the grade A coffee huller machine increased by 45.66 percent and the efficiency of the grade B coffee huller machine increased by 39.51 percent. The results of this research were used on the efficiency of coffee huller machines in Laplae District, and Tha Pla District resulting in sales of products of entrepreneurs in the areas equal to 155,000 baht per month and more than 4.5 tons of coffee bean crackers per month. This research was, therefore, in accordance with the research objectives.

Keywords: Coffee Beans in Laplae District, Coffee Beans in Tha Pla District, Weaved Beans, Efficiency of Coffee Huller Machines, Speed of Coffee Sorting Set

1. บทนำ

ในกระบวนการผลิต [1] เพื่อแปรสภาพวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป จะต้องใช้เครื่องจักรให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เช่น การลดระยะเวลาการทำงาน การลดขั้นตอนหรือวิธีการ การลดต้นทุนในการใช้พลังงาน การลดต้นทุนการขนส่ง และการเพิ่มประสิทธิภาพของพนักงานในการใช้เครื่องจักร เป็นต้น ประสิทธิภาพของเครื่องจักรส่งผลต่อต้นทุนการผลิต ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดการขั้นตอนหรือวิธีการที่เหมาะสมในการใช้เครื่องมือ หรือการนำวิธีการมาใช้ในการแก้ไขปัญหาในรูปแบบต่าง ๆ ตามกระบวนการออกแบบเชิงวิศวกรรม [2] ซึ่งมีกรด้าเนงงาน 6 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนปัญหา (Problem identification) ขั้นรวบรวมข้อมูลและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับปัญหา (Related information search) ขั้นการออกแบบวิธีการแก้ปัญหา (Solution design) ขั้นวางแผนและดำเนินการแก้ปัญหา (Planning and development) ขั้นทดสอบประเมินผลและปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Testing evaluation and design improvement) และขั้นนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาผลการแก้ปัญหาหรือชิ้นงาน (Presentation) [3]

ปัญหาของการกะเทาะเมล็ดกาแฟพบปัญหาขั้นทดสอบประเมินผลและปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหาการใช้เครื่องที่ขาดประสิทธิภาพ การวิเคราะห์ความแปรปรวนจึงเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในการหาประสิทธิภาพของการทำงานของวิธีการต่าง ๆ ซึ่งจะช่วยให้การตัดสินใจในการเลือกใช้ผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ สำหรับแบบจำลองการทดลองจะส่งผลกระทบต่อ (Fixed effects model) ซึ่งเป็นกรณีที่ระดับปัจจัยที่ต้องการศึกษาได้กำหนดไว้อย่างแน่นอนตามความต้องการของการทดลอง [4,5,6,7] การใช้หลักการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance : ANOVA) [8] จะทำให้สามารถทดสอบความสำคัญของหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐาน เพื่อหาข้อแตกต่างของข้อมูลการทดสอบ ซึ่งแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ ความผันแปร หรือความแตกต่างระหว่างประชากร และความผันแปรหรือความแตกต่างภายในประชากรเดียวกัน การวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ดี คือ เมื่อมีการพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลายๆ ปัจจัยที่มีผลตอบสนองที่ได้จากการทดลอง ซึ่งจะสามารถประเมินผลกระทบหลักหรืออิทธิพลหลัก (Main effect) ของปัจจัย [2,9] และจะพิจารณาค่าปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (Interaction) ได้เช่นกัน [2,5]

เครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟที่พัฒนาขึ้น เพื่อการแก้ปัญหาของผู้ประกอบการเมล็ดกาแฟในพื้นที่อำเภอลับแล และอำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ ซึ่งเป็นแหล่งที่มีการปลูกกาแฟพันธุ์โรบัสต้าเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีมูลค่ามากกว่า 15 ล้านบาทต่อปี มีการปลูกและการเก็บเมล็ดกาแฟมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์กาแฟเมล็ดสแตน หรือการนำเมล็ดกาแฟมาคั่ว ปัญหาของการแปรรูปเมล็ดกาแฟ คือ การกะเทาะเมล็ดกาแฟ ซึ่งเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟที่พัฒนาขึ้น พบว่า ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ ความเร็วรอบชุดตัดแยกเมล็ดกาแฟ และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟไม่สัมพันธ์กัน และทำให้เกิดความล่าช้าในการกะเทาะเมล็ด กลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟให้มีความเหมาะสมกับ

การใช้งาน โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบเชิงแพททอเรียลแบบ 2³ และเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการสูญเสียผลผลิตเมล็ดกาแฟ การใช้ระยะเวลาในการกะเทาะเมล็ดกาแฟ และการตัดแยกเมล็ดกาแฟ การวิจัยจึงแบ่งปัญหาเป็น 3 ปัจจัย การวิจัยจึงได้นำวิธีการออกแบบการทดลองเชิงแพททอเรียล และวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธี ANOVA มาใช้ เพื่อหาประสิทธิภาพการกะเทาะเมล็ดกาแฟของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ [7,10,11] โดยการวิจัยได้ออกแบบแบ่งปัจจัย (Factors) เป็น 3 แบบ คือ (A) ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ (B) ความเร็วรอบชุดตัดแยกเมล็ดกาแฟ (C) ปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ และแบ่งระดับปัจจัยเป็น 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง

2. วิธีการวิจัย

2.1 การออกแบบและปรับปรุงเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ

ชุดความเร็วรอบในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟมีผลกับประสิทธิภาพ กลุ่มผู้วิจัยจึงออกแบบระบบความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ ความเร็วรอบชุดพัฒลม 1 และ 2 และความเร็วยรอบตะแกรงคัดแยก ดังนั้น จึงได้มีการวางแผนในการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบกับชุดต่าง ๆ จากมูลล่ย์ขับและมูลล่ย์ตาม ที่ระดับปัจจัยที่แตกต่างกัน เพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง โดยกลุ่มผู้วิจัยได้คำนวณความเร็วรอบในส่วนต่าง ๆ ของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ ดังนี้

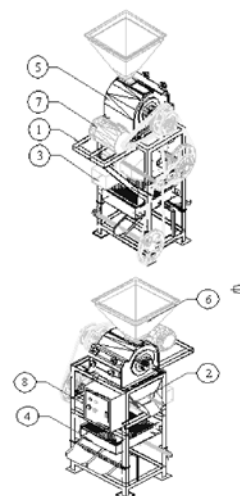
2.1.1 การหาความเร็วรอบหัวกะเทาะ

กลุ่มผู้วิจัยได้ออกแบบการเปลี่ยนมูลล่ย์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดต่าง ๆ เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของชุดหัวกะเทาะ [12,13] (แสดงรูปที่ 1) การคำนวณความเร็วรอบแสดงดังสูตรที่ 1

$$\text{สูตรการคำนวณความเร็วรอบ} \quad n_2 = \frac{d_1 \cdot n_1}{d_2} \quad (1)$$

d_1 = เส้นผ่านศูนย์กลางล้อขับ, d_2 = เส้นผ่านศูนย์กลาง

n_1 = ความเร็วรอบล้อขับ, n_2 = ความเร็วรอบล้อตาม

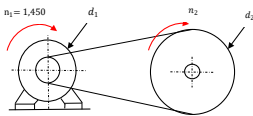


รูปที่ 1 แสดงระบบส่งกำลังของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ

ความเร็วรอบชุดหวักะเทาะเมล็ดกาแฟ มีการออกแบบการส่งกำลังจากมอเตอร์ขับเคลื่อนขนาด 2 แรงม้า (HP) ตัวอย่างการคำนวณการใช้มุมเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 76 มิลลิเมตร มอเตอร์ขับเคลื่อนมีความเร็วรอบมุมเฉลี่ย 1,450 รอบต่อนาที ได้ความเร็วรอบชุดหวักะเทาะ 585 รอบต่อนาที (แสดงรูปที่ 2) การแทนค่าสูตรดังนี้

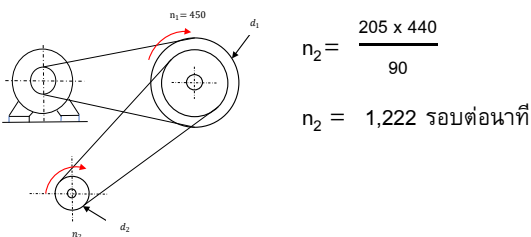
$$\text{แทนค่าสูตร} \quad n_2 = \frac{101 \times 1,450}{250}$$

$$n_2 = 585.8 = 585 \text{ รอบต่อนาที}$$



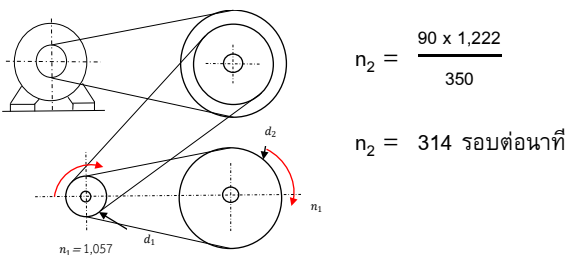
รูปที่ 2 แสดงความเร็วรอบชุดหวักะเทาะ

2.1.2 การคำนวณความเร็วรอบชุดพัดลม 1 มีหลักการในการหมุนใบพัดเพื่อเป่าเปลือกที่มีการกะเทาะเมล็ดกาแฟที่ไหลผ่านช่องลำเลียงเพื่อคัดแยกช่วงที่ 1 ของการกะเทาะเปลือกของกาแฟที่ไหลผ่านได้ความเร็วรอบชุดพัดลม 1 เท่ากับ 1,222 รอบต่อนาที (แสดงรูปที่ 3) การแทนค่าสูตรดังนี้



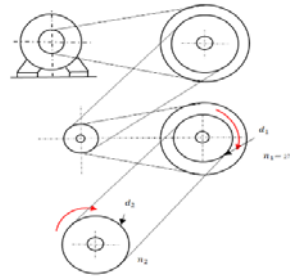
รูปที่ 3 แสดงตัวอย่างการคำนวณความเร็วรอบชุดพัดลม 1

2.1.3 การคำนวณความเร็วรอบชุดพัดลม 2 มีหลักการในการหมุนใบพัดเป่าเปลือกที่มีการกะเทาะเมล็ดกาแฟที่ไหลผ่านช่อง เพื่อคัดแยกช่วงที่ 2 ของการกะเทาะเปลือกกาแฟที่ไหลผ่านช่องจากชุดพัดลมที่ 1 ผ่านมายังชุดพัดลมที่ 2 ได้ความเร็วรอบเท่ากับ 314 รอบต่อนาที (แสดงรูปที่ 4) การแทนค่าสูตรดังนี้



รูปที่ 4 แสดงตัวอย่างการคำนวณความเร็วรอบชุดพัดลม 2

2.1.4 การออกแบบความเร็วรอบตะแกรงคัดแยก การคำนวณมีหลักการในการหมุนแกนเพลาลูกเบี้ยวขนาด 127 มิลลิเมตร ทำการร่อนเมล็ดกาแฟที่มีการกะเทาะ เพื่อคัดแยกเปลือกเมล็ดกาแฟกับเมล็ดกาแฟที่ไหลผ่านช่องมายังตะแกรงคัดแยก ซึ่งความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟเท่ากับ 411 รอบต่อนาที (แสดงรูปที่ 5) การแทนค่าสูตรดังนี้



$$n_2 = \frac{350 \times 417}{355}$$

$$n_2 = 411 \text{ รอบต่อนาที}$$

รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างความเร็วรอบตะแกรงคัดแยก

2.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2³

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล [14,15,16] ของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ เพื่อทดสอบปัจจัยความเร็วรอบชุดหวักะเทาะความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟกับระดับปัจจัยระดับต่ำ (0) และระดับสูง (1) โดยการออกแบบการทดลองออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2³ เพื่อการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการกะเทาะเมล็ดกาแฟ กลุ่มผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการทดลองโดยมีการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของมุมเฉลี่ยแต่ละชุด ซึ่งความเร็วรอบชุดหวักะเทาะเมล็ดกาแฟ ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ แสดงการออกแบบดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงตารางการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2³

Factors	ระดับต่ำ (0)	ระดับสูง (1)
ความเร็วรอบชุดหวักะเทาะ (A)	440 รอบ/นาที	585 รอบ/นาที
ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ (B)	604 รอบ/นาที	411 รอบ/นาที
ปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ (C)	1,500 กรัม	3,000 กรัม

จากตารางที่ 1 แสดงตารางการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2³ มีการออกแบบการทดลองแบ่งเป็น 3 ปัจจัยที่ 2 ระดับ ซึ่งการออกแบบปัจจัยจะมีผลกับประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟโดยตรง คือระยะเวลาหรือความเร็วในการกะเทาะเมล็ดกาแฟ และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟแต่ละครั้ง การออกแบบปัจจัยที่ 1 ความเร็วรอบชุดหวักะเทาะ (A) มีระดับต่ำ 440 รอบต่อนาที และระดับสูง 585 รอบต่อนาที ปัจจัยที่ 2 ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ (B) มีระดับต่ำ 604 รอบต่อนาที และระดับสูง 411 รอบต่อนาที ปัจจัยที่ 3 ปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ (C) มีระดับต่ำ 1.5 กิโลกรัม และระดับสูง 3 กิโลกรัม โดยจะมี

การบันทึกเวลาในการกะเทาะเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้าแบบเกรด A และแบบเกรด B เพื่อตรวจสอบและประมวลผลการทดสอบจะใช้ Replicate และนำผลมาวิเคราะห์วิธี ANOVA เพื่อหาความแปรปรวนของค่าพารามิเตอร์ ซึ่งจะทราบถึงปัจจัยหลัก (Main Effect) ของวิธีการกะเทาะเมล็ดกาแฟ จากที่ได้ทำการทดสอบทั้งหมด 8 การทดลอง จำนวน 3 รอบ เป็นการทดลองแบบเต็มรูปแบบ (Full Factorial) การวิเคราะห์ผลใช้ระดับนัยสำคัญทางสถิติ $\alpha = 0.05$ โดยใช้ ANOVA

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 ของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ 2 แบบ จากการคัดเมล็ดกาแฟตกแห้งด้วยเครื่องคัด ได้เมล็ดกาแฟเกรด A มีเส้นผ่านศูนย์กลางตะแกรง 8 มิลลิเมตร และเมล็ดกาแฟเกรด B มีเส้นผ่านศูนย์กลางตะแกรง 6 มิลลิเมตร โดยเริ่มการทดลองที่ 1 ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 440 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 604 รอบต่อนาที และปริมาณกาแฟที่ใส่ 1,500 กรัม การทดลองที่ 2 ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 440 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 604 รอบต่อนาที และปริมาณกาแฟที่ใส่ 3,000 กรัม การทดลองที่ 3 ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 440 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 411 รอบต่อนาที และปริมาณกาแฟที่ใส่ 1,500 กรัม การทดลองที่ 4 ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 440 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 411 รอบต่อนาที และปริมาณกาแฟที่ใส่ 3,000 กรัม การทดลองที่ 5 ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 585 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 604 รอบต่อนาที และปริมาณกาแฟที่ใส่ 1,500 กรัม การทดลองที่ 6 ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 585 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 604 รอบต่อนาที และปริมาณกาแฟที่ใส่ 3,000 กรัม การทดลองที่ 7 ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 585 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 411 รอบต่อนาที และปริมาณกาแฟที่ใส่ 1,500 กรัม การทดลองที่ 8 ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 585 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 411 รอบต่อนาที และปริมาณกาแฟที่ใส่ 3,000 กรัม

2.2.1 การออกแบบสมมติฐานการวิจัย การวิจัยได้ออกแบบสมมติฐานที่ 1 เพื่อการทดสอบการกะเทาะเมล็ดกาแฟพันธุ์โรบัสต้าทั้ง 2 แบบ คือ แบบเกรด A และแบบเกรด B ถึงประสิทธิภาพเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟเหมาะสมกับการกะเทาะทั้ง 2 แบบ โดยมีการตั้งสมมติฐานการวิจัยดังนี้

สมมติฐานที่ 1

$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ การกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด A และเกรด B ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ การกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด A และเกรด B แตกต่างกัน

สมมติฐานที่ 2

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ ไม่แตกต่างกัน

$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ แตกต่างกัน (อย่างน้อย 1 คู่)

โดยมีเงื่อนไขในการตัดสินใจจากค่าสถิติทดสอบที่คำนวณได้จากค่า F ถ้ามีค่ามากกว่าค่าวิกฤตเปิดตาราง F จะปฏิเสธ H_0 และการยอมรับ H_1 ของสมมติฐานที่ 1 และ 2

2.2.2 การวิเคราะห์ค่าที่เกิดขึ้นกับการทดลองด้วยวิธี ANOVA แบบ 2 ทาง แสดงผลการคำนวณตามสูตรที่ 2,3,4,5 และ 6 ดังนี้

แทนค่า
$$CM = \frac{(\sum \sum x_{ij})^2}{n} \quad (2)$$

$$CM = \frac{14,613^2}{16} \quad CM = 13,346,235.60$$

ความแปรปรวนรวม (Total Groups Sum of Square : SST)

แทนค่า
$$SST = \sum_r \sum_c x_{rj}^2 - CM \quad (3)$$

$$= [500^2 + \dots + 1,125^2] - 13,346,235.6$$

$$= 15,261,535 - 13,346,235.60$$

$$SST = 1,915,299.40$$

ความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between Groups Sum of Square : SSB)

แทนค่า
$$SSB = \sum_r \frac{T_r^2}{n_r} - CM \quad (4)$$

$$= \left[\frac{995^2}{2} + \frac{2,750^2}{2} + \frac{1,372^2}{2} + \frac{2,630^2}{2} + \frac{943^2}{2} + \frac{2,324^2}{2} + \frac{1,374^2}{2} + \frac{2,225^2}{2} \right] - 13,346,235.6$$

$$= 15,240,268 - 13,346,235.60$$

$$SSB = 1,894,032.40$$

ความแปรปรวนระหว่างบล็อกในแต่ละแถว SSA

แทนค่า
$$SSA = \sum_{j=1}^c \frac{T_j^2}{n_j} - CM \quad (5)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{7,500^2}{8} + \frac{7,113^2}{8} - 13,346,235.6 \\ &= 13,355,596 - 13,346,235.6 \end{aligned}$$

$$SSA = 9,360.60$$

ความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within Group Sum of Square : SSE)

$$SSE = SST - SSB - SSA \quad (6)$$

แทนค่า

$$= 1,915,299.4 - 1,894,032.4 - 9,360.6$$

$$SSE = 11,906.40$$

3. วิเคราะห์ผลการวิจัย

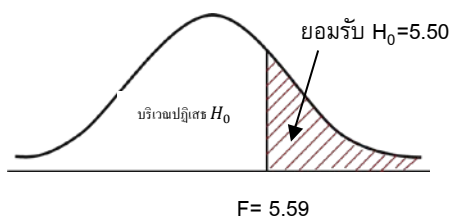
การวิจัยได้นำผลการวิเคราะห์แทนค่าสมการที่ได้ค่าคำตอบ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงตารางการแทนค่าวิเคราะห์ ANOVA

แหล่งความแปรปรวน (Source of variation)	องศาอิสระ (Df)	ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square) (SS)	ผลรวมกำลังสองเฉลี่ย (Mean of Square) (MS)	ค่าตัวสถิติ (F)
ระหว่างทรีทเมนต์	1	9,360.60	9,360.60	5.50
ระหว่างบล็อก	7	1,894,032.40	270,576.05	159.07
ความคลาดเคลื่อน	7	11,906.40	1,700.91	
รวม	15	1,915,299.40		

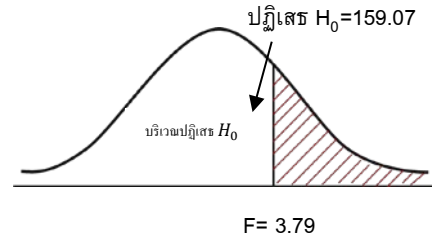
จากตารางที่ 2 แสดงการแทนค่าวิเคราะห์ ANOVA ตารางแจกแจงแบบ F ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือ $\alpha = 0.05$ ได้ค่า F เปิดตาราง $F=0.05, 1, 7=5.59$ และ $F=0.05, 7, 7=3.79$

สมมติฐานที่ 1 ยอมรับ $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ คือ การกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด A และเกรด B ไม่แตกต่างกัน แสดงรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงผลทดสอบสมมติฐานที่ 1

สมมติฐานที่ 2 ปฏิเสธ H_0 ยอมรับ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ แตกต่างกัน แสดงรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงผลทดสอบสมมติฐานที่ 2

จากรูปที่ 6 แสดงผลทดสอบสมมติฐานที่ 1 การศึกษาโดยใช้วิธีการวิเคราะห์สถิติ ANOVA แบบ 2 ทางกับการทดลอง การใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ จากการทดสอบสมมติฐานที่ 1 ได้ค่าจากการคำนวณค่า $F = 5.50$ ได้ค่าวิกฤตเปิดตาราง $F_{0.05, 1, 7} = 5.59$ จึงบอกได้ว่าค่าการคำนวณค่า $F = 5.50$ อยู่ในบริเวณที่ยอมรับ H_0 ซึ่งหมายถึงการกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด A และเกรด B ไม่แตกต่างกันกับการใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟนี้ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

จากรูปที่ 7 แสดงผลทดสอบสมมติฐานที่ 2 จากการทดสอบสมมติฐานที่ 2 ได้ค่าจากการคำนวณค่า $F = 159.07$ ได้ค่าวิกฤตเปิดตาราง $F_{0.05, 7, 7} = 3.79$ จึงบอกได้ว่าค่าการคำนวณค่า $F = 159.07$ อยู่บริเวณปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 ซึ่งหมายถึงความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะ ความเร็วรอบชุดคัดแยก และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

การนำผลการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟมาใช้ในการกะเทาะเมล็ดกาแฟในพื้นที่อำเภอลับแล และอำเภอท่าปลา จังหวัดอุตรดิตถ์ การกะเทาะเมล็ดกาแฟทำให้มียอดการจำหน่ายเมล็ดกาแฟ (เมล็ดสถาน) เท่ากับ 155,000 บาทต่อเดือน มีการรับจ้างกะเทาะเมล็ดกาแฟในและนอกพื้นที่มากกว่า 4.5 ตัน และเกิดผลิตภัณฑ์กาแฟที่ได้จากการออกแบบการทดลอง ภายใต้ตราสินค้าลับแลดรีป แสดงรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงผลผลิตกาแฟหลังจากการประเมินประสิทธิภาพ

4. สรุป

จากการวิจัยการประเมินประสิทธิภาพเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^3 และการวิเคราะห์ ANOVA ของระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha = 0.05$) พบว่า สมมติฐานที่ 1 ได้ค่า F เปิดตาราง $F = 0.05, 1, 7 = 5.59$ ค่าจากการคำนวณค่า $F = 5.50$ อยู่ในบริเวณที่ยอมรับ H_0 ซึ่งหมายถึง การใช้เครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด A และเกรด B ไม่แตกต่างกัน และสมมติฐานที่ 2 ได้ค่า F เปิดตาราง $F = 0.05, 7, 7 = 3.79$ ค่าจากการคำนวณค่า $F = 159.07$ อยู่ในบริเวณปฏิเสธ H_0 และยอมรับ H_1 ซึ่งหมายถึง ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ ความเร็วรอบชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ และปริมาณการใส่เมล็ดกาแฟ ส่งผลกับเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 ดังนั้น ประสิทธิภาพจากการออกแบบการทดลองการประเมินประสิทธิภาพเครื่องกะเทาะเมล็ดกาแฟ ใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 440 รอบ/นาที ใช้ความเร็วรอบของชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 604 รอบ/ต่อนาที และใช้เมล็ดกาแฟปริมาณ 3 กิโลกรัม การกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด A มีประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเพิ่มขึ้นร้อยละ 45.66 และใช้ความเร็วรอบชุดหัวกะเทาะเมล็ดกาแฟ 440 รอบต่อนาที ใช้ความเร็วรอบของชุดคัดแยกเมล็ดกาแฟ 604 รอบต่อนาที และใช้เมล็ดกาแฟปริมาณ 3 กิโลกรัม การกะเทาะเมล็ดกาแฟเกรด B มีประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องเพิ่มขึ้นร้อยละ 39.51 การเก็บข้อมูลจากการวิจัยนี้ ได้นำผลด้านประสิทธิภาพมาใช้ในการกะเทาะเมล็ดกาแฟในพื้นที่อำเภอลับแล และอำเภอบ้านป่า จังหวัดอุตรดิตถ์ ทำให้มียอดการจำหน่ายเมล็ดกาแฟ (เมล็ดसान) ของผู้ประกอบการเท่ากับ 155,000 บาทต่อเดือน และมีการรับจ้างกะเทาะเมล็ดกาแฟในและนอกพื้นที่มากกว่า 4.5 ตัน การวิจัยนี้จึงเป็นไปตามวัตถุประสงค์การวิจัย

5. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากการสนับสนุนทุนวิจัยจากหลักสูตรเทคโนโลยีบัณฑิต เทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ และโรงเรียนมงฟอร์ตวิทยาลัย ตำบลท่าศาลา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ โดยอำนวยความสะดวกในการจัดหาเครื่องมือโปรแกรมสำเร็จรูปในการวิเคราะห์ผลและอุปกรณ์ที่ใช้จัดทำการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. N. Mustapha, Y. Zhang, Z. Zhang, Y. Ding, Q. Yuan and Y. Li (2021). "Taguchi and ANOVA analysis for the optimization of the microencapsulation of a volatile phase change material". *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 11: 667-680.
- [2] A. Jankovic, G. Chaudhary and F. Goia. (2021). "Designing the design of experiments (DOE) – An investigation on the influence of different factorial designs on the characterization

of complex systems". *Energy and Buildings*, Vol. 250: 111298.

- [3] P. Arunkumar, N. Muthukumaran, M. M. Samy, L. Prabhu and R. Rajeshwari. (2021). "Investigation on effect of process parameters in abrasive Jet Machining process using full factorial design". *International Conference on Sustainable materials. Manufacturing and Renewable Technologies*, Vol. 47(15): 5395-5400.
- [4] ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
- [5] D. C. Montgomery. *Design and Analysis of Experiments*. John Wiley & Sons, New York, 2018.
- [6] R.H. Myers and D.C. Montgomery. *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments*, John Wiley & Sons, New York, 2018.
- [7] W. O. Gary. *A First Course in Design and Analysis of Experiments*. Publisher: W. H. Freeman & Company. USA, 2010.
- [8] P. Chakrapani and T. S. A. Suryakumari. "Modelling and analysing the water jet machining parameters of aluminium nano composite by ANOVA and Taguchi". *Materials today*. <https://www.researchgate.net/publication/>. accessed on May 20, 2021
- [9] V. Yemelyanov, S. Chernyi, N. Y. Iyanova and V. Varadarajan 2021. "Application of neural networks to forecast changes in the technical condition of critical production facilities". *Computers & Electrical Engineering*, Vol. 93: 107225.
- [10] D. Kania, R. Yunus, R. Omar, S. A. Rashi and B. M. Jan. 2021. "Rheological investigation of synthetic-based drilling fluid containing non-ionic surfactant pentaerythritol ester using full factorial design". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, Vol. 625: 126700.
- [11] อุดุลย์ พุกอินทร์. 2554. "การพัฒนาเครื่องคั่วเมล็ดกาแฟแบบแนวนอน". วารสารสักทอง มหาวิทยาลัยกำแพงเพชร, ปีที่ 17, ฉบับที่ 2: 1-11.
- [12] ชิตริตัน ลิ้มรัชชพงศ์ และณัฐวัตร ห้วยลึก. การออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการคั่วกาแฟ, ปรินูญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, กรุงเทพฯ, ข้อมูลจาก <https://cite.dpu.ac.th/upload/content/files/Project%20MLE62> (วันที่สืบค้น 13 มกราคม 2565)
- [13] S. Setu, S. Durjyodhan, M. Arabinda, B. Manish and S. R. Barnik. 2022. "Effect of tool rotational speed on microstructure and mechanical properties of AA6061/SiC

surface composites using friction stir processing". Materials

Today: Proceedings.

- [14] M. Hongcheng, Y. Longsheng, W. X. Qian and Z. Binghang
2021. "Preparation and optimization of a low-cost adsorbent
for heavy metal ions from red mud using fraction factorial
design and Box-Behnken response methodology".
Physicochemical and Engineering Aspects, Vol. 627: 127198.
- [15] N. Kumar and S. Goindi. 2021. "Development characterization
and preclinical evaluation of nanosized liposomes of
itraconazole for topical application: 32 full factorial design to
estimate the relationship between formulation components".
Journal of Drug Delivery Science and Technology, Vol. 66:
102785.
- [16] V. Yemelyanov, S. Chernyi, N. Y. Iyanova and
V. Varadarajan. 2021. Application of neural networks to
forecast changes in the technical condition of critical
production facilities". Computers & Electrical Engineering, Vol.
93: 107225.

การคำนวณหาพลังงานการยึดติดของออกไซด์สเกลบนเนื้อพื้นเหล็กกล้าไร้สนิมโดยวิธีเรขาคณิต

Calculation of Mechanical Adhesion Energy of Thermal Oxide Scales on Stainless Steel by Geometrical Method

อังคณา เมืองใจ¹, ปัญญา วิมาลย์, ชรรมภรณ์ ทับละอ, สมฤกษ์ จันทอัมพร
ศูนย์วิจัยการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูง ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและเทคโนโลยีการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: s6401062810053@email.kmutnb.ac.th*

Angkana Muengjai¹, Panya Wiman, Thammaporn Thublaor, Somrerk Chandra-ambhorn
High Temperature Corrosion Research Centre, Department of Materials and Production Technology Engineering,
Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: s6401062810053@email.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

การทดสอบการยึดติดโดยวิธีทดสอบแรงดึงได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินสภาพการยึดติดเชิงกลของออกไซด์สเกลบนเนื้อพื้นโลหะ ในการหาค่าพลังงานการยึดติดเชิงกลจำต้องรู้ค่าพลังงานที่ถูกสะสมไว้ในออกไซด์สเกลเนื่องจากการเสียรูปของออกไซด์จนถึงการหลุดลอกครั้งแรก งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการทางเรขาคณิตเพื่อหาค่าความหนาแน่นของพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวที่ออกแรงดึงในช่วงที่โลหะเสียรูปแบบพลาสติกและออกไซด์เสียรูปแบบอีลาสติก งานวิจัยนี้ได้นำวิธีทดสอบดังกล่าวไปทดลองหาพลังงานการยึดติดบนเหล็กกล้าไร้สนิม Fe-16Cr ซึ่งผ่านการออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 96 ชั่วโมงใน Ar-60%CO₂ พลังงานการยึดติดที่คำนวณได้มีค่า 52.14 J/m² (s.d. = 8.51 J/m²) ค่าดังกล่าวได้รับการเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากการทดสอบด้วยวิธีอื่นดังที่ได้กล่าวไว้ในบทความ

คำสำคัญ: พลังงานการยึดติด, ออกไซด์สเกล, เหล็กกล้าไร้สนิม

Abstract

The adhesion test using the tensile method has been developed to assess the mechanical adhesion of thermal oxide scale on metallic substrate. To quantify the mechanical adhesion energy, the energy stored in the oxide scale until the first spallation has to be determined. We proposed here a geometrical method to find out the value of the stored energy density in the loading direction when the metal is plastic and oxide is elastic. The example of the quantification was given for the case of Fe-16Cr oxidised at 800 °C for 96 h in Ar-60%CO₂. The average adhesion energy value of 52.14 J/m² (s.d. = 8.51 J/m²) was quantified and compared with the value obtained from the other method as discussed in the paper.

Keywords: Adhesion energy, Oxide scale, Stainless steel

1. บทนำ

การทดสอบการยึดติด (adhesion) ของออกไซด์สเกลบนเหล็กกล้าไร้สนิมเพอร์ริติกสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่น เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการยึดติดของออกไซด์ที่เกิดขึ้นในการใช้งานเหล็กกล้าไร้สนิมที่อุณหภูมิสูงซึ่งนำมาใช้เป็นแผ่นคั่นเซลล์ (interconnect) ในเซลล์เชื้อเพลิงแบบโซลิดออกไซด์ (Solid Oxide Fuel Cells; SOFCs) โดยออกไซด์ที่เกิดขึ้นโดยส่วนใหญ่เป็นโครเมียมออกไซด์ (chromium oxide) [1] โครเมียมออกไซด์ที่เกิดขึ้นทำให้สภาพการนำไฟฟ้าของเหล็กกล้าไร้สนิมลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพเซลล์ต่ำลง [1] ยิ่งไปกว่านั้น ออกไซด์สเกลที่ปริหรือหลุดล่อนระหว่างใช้งานที่อุณหภูมิสูงสามารถทำให้เกิดช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างเนื้อพื้นกับออกไซด์สเกล ทำให้สภาพการนำไฟฟ้าลดลงเป็นอย่างยิ่ง [2] ในการพัฒนาเหล็กกล้าไร้สนิมเพื่อใช้ในงานดังกล่าว ออกไซด์สเกลจึงควรยึดติดกับเนื้อพื้นเหล็กกล้าไร้สนิม

ในการศึกษาสภาพยึดติด เราจำเป็นต้องมีวิธีการทดสอบสภาพยึดติดซึ่งมีหลากหลายวิธี วิธีทดสอบโดยการขีดผิวออกไซด์ (scratch test) เป็นวิธีหนึ่งแต่ก็มีข้อจำกัดในการวัดผลการทดสอบออกมาในรูปแบบพลังงานการยึดติดที่แม่นยำ [2] วิธีทดสอบการบวมตัวแบบผกผัน (inverted blister test) นับเป็นอีกวิธีหนึ่งแต่ก็มีข้อจำกัดในการเตรียมชิ้นงานค่อนข้างซับซ้อน [2, 3] กลุ่มวิจัยการกัดกร่อนที่อุณหภูมิสูงภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและเทคโนโลยีการผลิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ได้พัฒนาวิธีทดสอบการยึดติดของออกไซด์สเกลบนเนื้อพื้นโลหะโดยวิธีทดสอบแรงดึง (adhesion test using a tensile method) ซึ่งสามารถจัดหาอุปกรณ์และเตรียมชิ้นงานได้ง่าย อีกทั้งได้นำโมเดลกาเลอร์-ดูเปอ (Galerie-Dupeux model) ที่ได้รวมผลจากความเค้นตกค้างที่มีในชิ้นงานก่อนการทดสอบแรงดึงและพฤติกรรมในช่วงที่โลหะเสียรูปแบบพลาสติก (plastic) มาร่วมพิจารณาในการคำนวณหาพลังงานการยึดติด (adhesion energy) [4-6] โดยที่การคำนวณในแบบฉบับ (classical method) [7] ไม่ได้นำผลดังกล่าวมาร่วมพิจารณาด้วย อย่างไรก็ตาม ในการหาพลังงานการยึดติดโดยใช้โมเดลกาเลอร์-ดูเปอ มีบางขั้นตอนที่ซับซ้อน งานวิจัยนี้จึงได้เสนอการปรับปรุงรูปแบบการคำนวณในบางขั้นตอนดังกล่าวให้ง่ายและได้นำวิธีทดสอบและการคำนวณนี้มาใช้วัดค่าพลังงานการยึดติดของเหล็กกล้าไร้สนิมในบรรยากาศ Ar-CO₂ สาเหตุที่ทำการศึกษาในบรรยากาศนี้ เป็นเพราะ CO₂ เป็นองค์ประกอบหนึ่งในแก๊สชีวภาพ (biogas) และแก๊สชีวภาพดังกล่าวมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเซลล์เชื้อเพลิงแบบโซลิดออกไซด์ [8]

2. วิธีการทดลอง

วัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบคือเหล็กกล้าไร้สนิมเพอร์ริติก Fe-16.41Cr-0.79Mn-0.20Si-0.10Al-0.10C-0.05Ni-0.03P (โดยน้ำหนัก) (เกรด AISI 430) ชิ้นงานทดสอบแรงดึงจัดเตรียมตามมาตรฐาน ASTM E8M ที่มีขนาดความยาวรวม 100 mm ชิ้นงานผ่านการขัดด้วยกระดาษ

ทรายจนถึงเบอร์ 1200 ตามด้วยการล้างด้วยเอทานอลในอ่างอัลตราโซนิกส์แล้วเป่าให้แห้งด้วยลม

สำหรับการทดสอบออกซิเดชันก่อนการทดสอบแรงดึง จะนำชิ้นงานไปอบในเตาเผาอุณหภูมิในบรรยากาศ Ar-60%CO₂ ที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 96 ชั่วโมง ความเร็วในการไหลของแก๊สผ่านชิ้นงานในเตามีค่า 1 cm/s การทดสอบแรงดึงแสดงในรูปที่ 1 เครื่องทดสอบแรงดึงที่ใช้มีขนาดโหลดสูงสุด 10 kN และได้ติดตั้งเลนส์เข้ากับกล้องวิดีโอเพื่อบันทึกการหลุดล่อนของออกไซด์สเกลขณะทดสอบแรงดึงที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วในการดึงของเครื่องทดสอบมีค่า 5 mm/min ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบคือบันทึกวิดีโอที่แสดงภาพการเสียหายของชิ้นงานที่เวลาและค่าความเครียดต่าง ๆ กัน ซึ่งสามารถนำไปหาค่าความเครียดที่เกิดการหลุดล่อนของออกไซด์สเกลครั้งแรก (strain initiating the first spallation) ได้ เราจะใช้ค่าความเครียดนี้ไปหาพลังงานการยึดติดต่อไป



รูปที่ 1 ชุดทดสอบแรงดึงเพื่อศึกษาสภาพการยึดติดของออกไซด์สเกลบนเนื้อพื้นโลหะ

ในการคำนวณหาพลังงานการยึดติด ค่าพลังงานการยึดติด (adhesion energy; G) (หน่วย J/m^2) สามารถหาได้จากการคูณค่าความหนาแน่นพลังงานที่สะสมในออกไซด์สเกล (energy density accumulated in the oxide scale) จนเกิดการหลุดลอกครั้งแรก (u) (หน่วย J/m^3) กับความหนาของชั้นออกไซด์สเกล (t) (หน่วย m) ตามสมการ [6]

$$G = u \cdot t \quad (1)$$

ค่า u หาได้จากการนำความหนาแน่นพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวตั้งหรือในแนวแกน x (u_x) รวมกับความหนาแน่นพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวตั้งฉากกับแรงตั้งหรือในแนวแกน y (u_y) ในการหาความหนาแน่นพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวแกนหนึ่ง ๆ เราจำต้องรู้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดในแนวแกนนั้น ๆ เสียก่อน [5, 6] โมเดลกาเลอรี-ดูเปอ (Galerie-Duperx model) ได้แบ่งช่วงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดเป็น 3 ช่วงดังนี้ [5, 6]

ช่วงที่ 1 คือช่วงก่อนการทดสอบแรงดึงซึ่งมีความเค้นตกค้างตั้งต้นอยู่แล้วภายในชิ้นงาน

ช่วงที่ 2 คือช่วงเริ่มทดสอบแรงดึงซึ่งทั้งโลหะและออกไซด์สเกลเกิดการเสียรูปแบบอีลาสติก (elastic)

ช่วงที่ 3 คือช่วงระหว่างทดสอบแรงดึงที่โลหะเปลี่ยนไปเสียรูปแบบพลาสติก (plastic) โดยออกไซด์สเกลยังคงเกิดการเสียรูปแบบอีลาสติกจนเกิดการหลุดลอก

จากโมเดลข้างต้น เราสามารถหา u_x ได้จากการรวม u_x ในแต่ละช่วง (regime) เข้าด้วยกัน กล่าวคือ [5, 6]

$$u_x = u_{x_1} + u_{x_2} + u_{x_3} \quad (2)$$

โดยตัวห้อย 1, 2 และ 3 แสดงว่าค่าที่สนใจอยู่ในช่วง 1, 2 และ 3 ตามโมเดลกาเลอรี-ดูเปอ ตามลำดับ ในทำนองเดียวกัน เราสามารถหา u_y จากการรวม u_y ในแต่ละช่วงเข้าด้วยกัน ดังสมการ 3 [5, 6]

$$u_y = u_{y_1} + u_{y_2} + u_{y_3} \quad (3)$$

ความหนาแน่นพลังงานหาได้จากการหาปริพันธ์ (integration) จำกัดเขตของความเค้นจากค่าความเครียดเริ่มต้นไปยังความเครียดสุดท้ายของแต่ละช่วง ในทางเรขาคณิต การหาปริพันธ์จำกัดเขตก็คือการหาพื้นที่ใต้กราฟความเค้น-ความเครียดในแต่ละช่วงที่พิจารณา นั่นเอง กราฟความเค้น-ความเครียดของออกไซด์สเกลและพื้นที่ใต้กราฟในแต่ละช่วงและในแต่ละแนวแกน แสดงดังรูปที่ 2 [5, 6] จากรูปดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ความหนาแน่นพลังงานที่สะสมในออกไซด์สเกลเนื่องจากความเค้นในแนวแกน x (u_x) สามารถหาได้จากรูปเรขาคณิตในกราฟความเค้น-ความเครียดในรูป 2 (สดมภ์ซ้าย) ดังนี้ [6]

$$u_x = \text{พื้นที่ A} + \text{พื้นที่ B} + \text{พื้นที่ C} - \text{พื้นที่ D} \quad (4)$$

ในทำนองเดียวกัน ความหนาแน่นพลังงานที่สะสมในออกไซด์สเกลเนื่องจากความเค้นในแนวแกน y (u_y) สามารถหาได้จากรูปเรขาคณิตในกราฟความเค้น-ความเครียดในแนวแกน y ดังแสดงในรูปที่ 2 (สดมภ์ขวา) ดังนี้ [6]

$$u_y = \text{พื้นที่ E} + \text{พื้นที่ F} + \text{พื้นที่ G} \quad (5)$$

3. ผลการทดลองและการอภิปราย

รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายผิวชิ้นงานหลังได้รับความเครียดที่ 3 และ 5 % ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อความเครียดเพิ่มขึ้น ออกไซด์สเกลเกิดการหลุดลอกมากขึ้น ค่าความเครียดที่ทำให้เกิดการหลุดลอกครั้งแรกมีค่า 1.38 % (s.d. = 0.14 % จากการทดสอบ 3 ครั้ง) เราสามารถนำค่าความเครียดนี้ไปหาพลังงานการยึดติดในลำดับถัดไป

ในการคำนวณหาพลังงานการยึดติด เราจำเป็นต้องทราบกราฟความเค้น-ความเครียดของชิ้นงานดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 2 ซึ่งเป็นกรณีที่ความเครียดที่ทำให้เกิดการหลุดลอกครั้งแรกมีค่า 1.46 % ค่าสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ในการผลิตกราฟความเค้น-ความเครียดได้แก่ โมดูลัสการยึดหยุ่นของเหล็กกล้าไร้สนิม AISI 430 ซึ่งมีค่า 186 GPa [9] โมดูลัสการยึดหยุ่นของออกไซด์ซึ่งในที่นี้พิจารณาให้เป็นโครเมียมออกไซด์ (E_{ox}) และมีค่า 286 GPa [110] รวมถึง สัดส่วนปัวซอง (poisson's ratio) ของออกไซด์และโลหะซึ่งมีค่า 0.28 สำหรับทั้งโครเมียมออกไซด์ [11] และเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด AISI 430 [12]

จากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวแกน x ในช่วงที่ 3 (u_{x_3}) หาได้จากการนำพื้นที่สามเหลี่ยม C มาลบด้วยพื้นที่สามเหลี่ยม D ในการหาค่าดังกล่าว เราจำต้องรู้จุดตัดแกน x ของกราฟความเค้น-ความเครียดในช่วงนี้ เพื่อลดความยุ่งยากในการหาค่าจุดตัดดังกล่าว บทความนี้ได้เสนอวิธีเชิงเรขาคณิตที่สามารถทำให้หาค่าความหนาแน่นพลังงานดังกล่าวได้โดยตรงจากรูปในกราฟความเค้น-ความเครียด ดังนี้

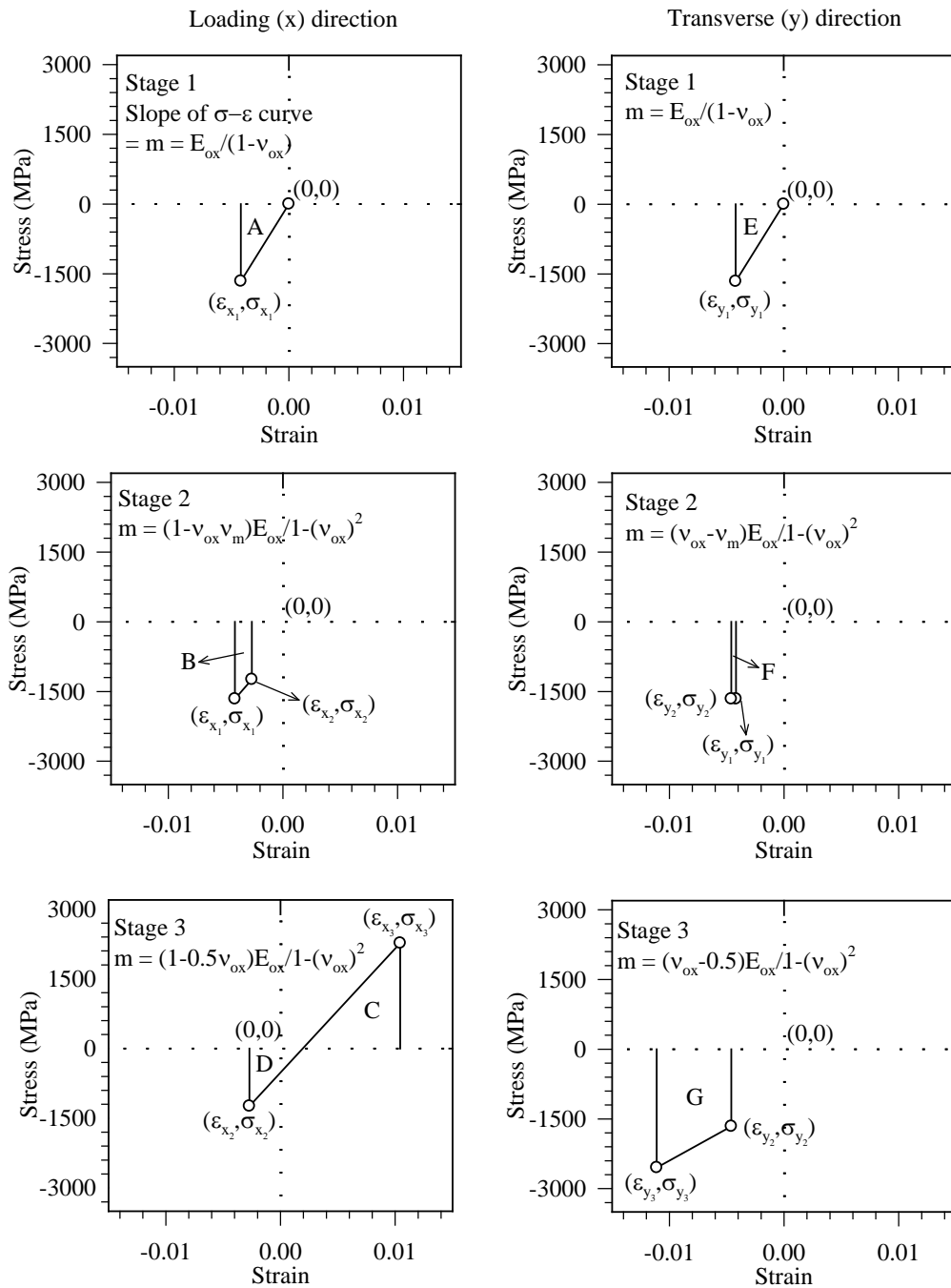
พิจารณารูปที่ 4 (ก) ซึ่งแสดงเส้นความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดเนื่องจากความเค้นในแนวแกน x ในช่วงที่ 3 โดยมีพิกัดที่สถานะเริ่มต้นของช่วงอยู่ที่ ($\epsilon_{x_2}, \sigma_{x_2}$) และมีพิกัดที่สถานะสุดท้ายของช่วงอยู่ที่ ($\epsilon_{x_3}, \sigma_{x_3}$) สมการของเส้นดังกล่าวคือ

$$\sigma = m_3 \epsilon + c \quad (6)$$

โดย

$$c = \sigma_{x_2} - m_3 \epsilon_{x_2} = \sigma_{x_3} - m_3 \epsilon_{x_3} \quad (7)$$

และ m_3 มีค่า $(1 - 0.5\nu_{ox})E_{ox} / (1 - \nu_{ox}^2)$ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 (สดมภ์ซ้าย แถวที่ 3)



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของออกไซด์สเกลในช่วงต่าง ๆ ตามโมเดลกาเลอรี-ดูเปอ ในแนวแกน x และ y [6]

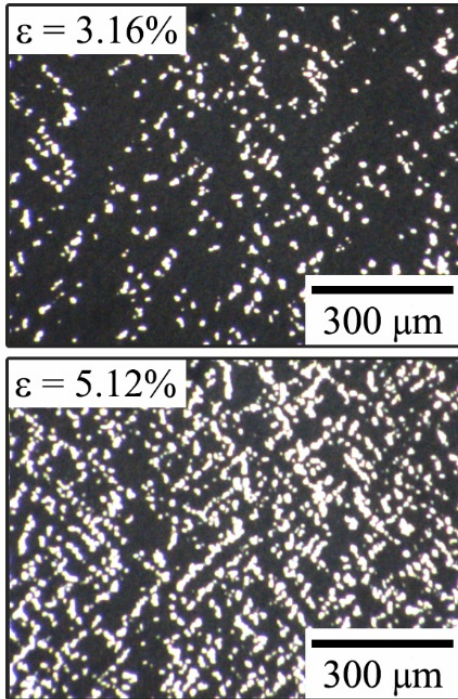
ความหนาแน่นพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวแกน x ในช่วงที่ 3 (u_{x_3}) หาได้จากการหาปริพันธ์ต่อไปนี้

$$u_{x_3} = \int_{\epsilon_{x_2}}^{\epsilon_{x_3}} \sigma d\epsilon = \int_{\epsilon_{x_2}}^{\epsilon_{x_3}} (m_3 \epsilon + c) d\epsilon \quad (8)$$

$$u_{x_3} = \frac{1}{2} m_3 (\epsilon_{x_3}^2 - \epsilon_{x_2}^2) + c (\epsilon_{x_3} - \epsilon_{x_2}) \quad (9)$$

เราอาจเขียนพจน์ $(1/2)m_3(\epsilon_{x_3}^2 - \epsilon_{x_2}^2)$ ได้ในอีกรูปหนึ่งว่า

$$\frac{1}{2} m_3 (\epsilon_{x_3}^2 - \epsilon_{x_2}^2) = \frac{1}{2} (\epsilon_{x_3} - \epsilon_{x_2}) (\sigma_{x_3} - \sigma_{x_2}) + (\epsilon_{x_3} - \epsilon_{x_2}) (\sigma_{x_2} - c) \quad (10)$$

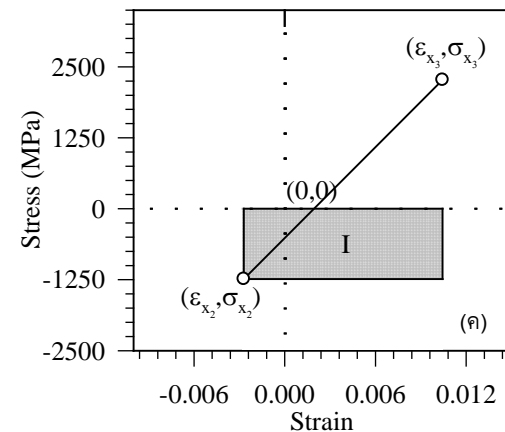
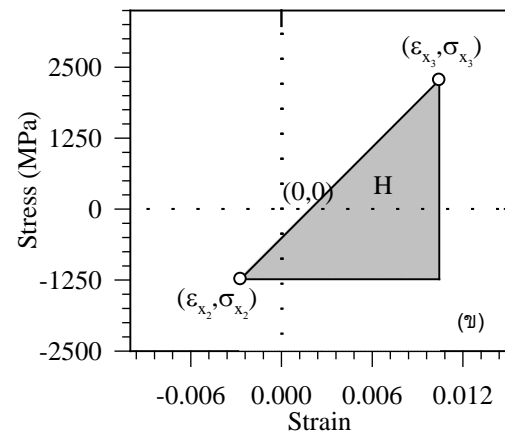
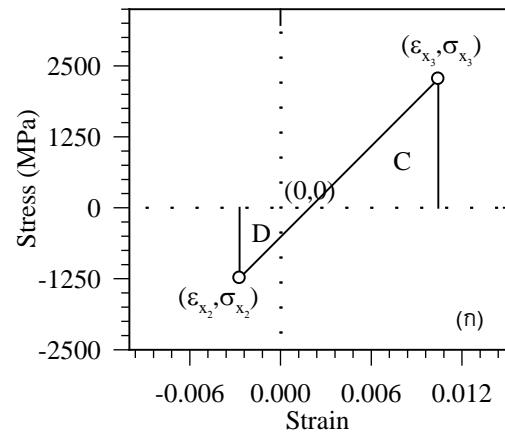


รูปที่ 3 ภาพถ่ายผิวชิ้นงานหลังได้รับความเครียด 3 และ 5 %

เมื่อแทนสมการ (10) ลงใน (9) และจัดรูป จะได้ว่า

$$u_{x_3} = \frac{1}{2}(\varepsilon_{x_3} - \varepsilon_{x_2})(\sigma_{x_3} - \sigma_{x_2}) + (\varepsilon_{x_3} - \varepsilon_{x_2})\sigma_{x_2} \quad (11)$$

จากสมการดังกล่าว จะเห็นได้ว่า $\frac{1}{2}(\varepsilon_{x_3} - \varepsilon_{x_2})(\sigma_{x_3} - \sigma_{x_2})$ คือพื้นที่สามเหลี่ยมมุมฉาก H ในรูปที่ 4 (ข) ที่มีพิกัด $(\varepsilon_{x_2}, \sigma_{x_2})$ และ $(\varepsilon_{x_3}, \sigma_{x_3})$ เป็นตำแหน่งของมุมที่ไม่ใช่มุมฉาก ส่วนพจน์ $(\varepsilon_{x_3} - \varepsilon_{x_2})\sigma_{x_2}$ คือค่าลบของพื้นที่สี่เหลี่ยม I ในรูปที่ 4 (ค) ดังนั้นค่าทางขวามือของสมการที่ 11 ก็คือพื้นที่สามเหลี่ยม H ลบด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยม I ซึ่งก็คือความหนาแน่นพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวแกน x ในช่วงที่ 3 นั่นเอง นอกจากนี้ เราอาจสังเกตเห็นว่า ถ้าเรานำพื้นที่สามเหลี่ยม H ตั้ง จากนั้นลบด้วยพื้นที่สี่เหลี่ยม I พื้นที่สุทธิที่ได้ก็คือพื้นที่สามเหลี่ยม C ลบด้วยพื้นที่สามเหลี่ยม D ดังแสดงในรูปที่ 2 (สดมภ์ซ้าย แถวที่ 3) นั่นเอง



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของออกไซด์สเกลในแนวแกน x ช่วงที่ 3

เมื่อนำวิธีดังกล่าวไปใช้หาค่าพลังงานการยึดติดของออกไซด์สเกลบนชิ้นงานที่ศึกษาจะได้ว่า ในกรณีนี้ที่ค่าความเครียดในการทำให้เกิดการหลุดลอกครั้งแรกมีค่า 1.46 % เราสามารถหาความหนาแน่นพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวแกน x ในช่วงที่ 1, 2 และ 3 ได้ 3.48, 2.15 และ 6.71 MJ/m³ ตามลำดับ ส่วนความหนาแน่นพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวแกน y ในช่วงที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 3.48, 0.69 และ 13.68 MJ/m³ ตามลำดับ ความหนาแน่นพลังงานรวมมีค่า 25.89

MJ/m³ สำหรับชิ้นงานนี้ ออกไซด์สเกลมีความหนา 2.22 μm เราสามารถใช้สมการ (1) หาได้ว่าพลังงานยึดติดมีค่า 57.48 J/m² ในการทดลองได้ออกซิไดซ์ชิ้นงานสามชิ้นเพื่อหาค่าเฉลี่ย ผลการทดลองพบว่า พลังงานการยึดติดของออกไซด์สเกลมีค่า 52.70 J/m² (s.d. = 8.51 J/m²) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองเพื่อหาค่าพลังงานการยึดติดโดยใช้วิธีอื่น พบว่า J. Mougine และคณะ [3] ได้ออกซิไดซ์เหล็กกล้าไร้สนิมในกลุ่มเฟอร์ริติกใน Ar-20%O₂ ที่อุณหภูมิ 900 °C และทดสอบสภาพการยึดติดของออกไซด์สเกลบนเนื้อพื้นดังกล่าวด้วยวิธีทดสอบการบวมตัวแบบผกผัน [3] ผลการศึกษาดังกล่าวพบว่า พลังงานการยึดติดมีค่าอยู่ในช่วง 3 – 170 J/m² [3] จึงอาจกล่าวได้ว่า ค่าพลังงานการยึดติดที่วัดได้ในงานนี้กับงานวิจัยที่อ้างอิงข้างต้น [3] มีค่าอยู่ในระดับขนาด (order of magnitude) ที่ใกล้เคียงกัน

4. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ได้แนะนำวิธีการทดลองเพื่อประเมินค่าสภาพการยึดเกาะของออกไซด์สเกลบนเนื้อพื้นเหล็กกล้าไร้สนิม และได้แนะนำโมเดลกาเลอรี-ดูเปอเพื่อใช้ในการคำนวณการหาค่าพลังงานการยึดติด โดยได้เสนอวิธีการหาค่าความหนาแน่นพลังงานเนื่องจากความเค้นในแนวแกน x ในช่วงที่โลหะเสียรูปแบบพลาสติกและออกไซด์สเกลเสียรูปแบบอีลาสติกโดยวิธีทางเรขาคณิต วิธีดังกล่าวทำให้สามารถวัดค่าความหนาแน่นพลังงานดังกล่าวได้โดยง่ายจากการคำนวณพื้นที่ใต้กราฟความเค้น-ความเครียดของออกไซด์สเกลโดยตรง กล่าวคือไม่จำเป็นต้องรู้ค่าจุดตัดแกนนอนของกราฟความเค้น-ความเครียดของออกไซด์เนื่องจากความเค้นในแนวแกน x เหมือนวิธีที่เคยรายงานในอดีต แต่ยังคงสามารถหาค่าความหนาแน่นพลังงานได้เท่ากับวิธีการคำนวณแบบเดิม เมื่อนำวิธีนี้ไปประกอบการคำนวณ พบว่า พลังงานการยึดติดบนเหล็กกล้าไร้-สนิม Fe-16Cr ที่ผ่านการออกซิไดซ์ที่อุณหภูมิ 800 °C ใน Ar-60%CO₂ เป็นเวลา 96 ชั่วโมง มีค่า 52.70 J/m² (s.d. = 8.51 J/m²) ค่าดังกล่าวอยู่ในระดับขนาดที่ใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้โดยวิธีทดสอบการบวมตัวแบบผกผันสำหรับออกไซด์สเกลบนเนื้อพื้นเหล็กกล้าไร้สนิม

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ประพันธ์ขอขอบคุณทุนวิจัยจากจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (KMUTNB-FF-66-22)

เอกสารอ้างอิง

- [1] K.H. Tan, H.A. Rahman and H. Taib. 2019. "Coating Layer and Influence of Transition Metal for Ferritic Stainless Steel Interconnector Solid Oxide Fuel Cell: A review". *Int. J. Hydrog. Energy*, Vol. 44 (58): 30591–30605.
- [2] S. Chandra-ambhorn, Y. Wouters, L. Antoni, F. Toscan and A. Galerie. 2007. "Adhesion of Oxide Scales Grown on Ferritic Stainless Steels in Solid Oxide Fuel Cells Temperature and

Atmosphere Conditions". *J. Power Sources*, Vol. 171 (2): 688–695.

- [3] J. Mougine, M. Dupeux, L. Antoni and A. Galerie. 2003. "Adhesion of Thermal Oxide Scales Grown on Ferritic Stainless Steels Measured Using the Inverted Blister Test". *Mater. Sci. Eng. A*, Vol. 359 (1–2): 44–51.
- [4] F. Toscan, L. Antoni, Y. Wouters, M. Dupeux and A. Galerie. 2004. "Oxidation Kinetics and Scale Spallation of Iron-Chromium Alloys with Different Titanium Contents". *Mater. Sci. Forum*, Vol. 461–464: 705–712.
- [5] S. Chandra-ambhorn, F. Roussel-Dherbey, F. Toscan, Y. Wouters, A. Galerie and M. Dupeux. 2007. "Determination of Mechanical Adhesion Energy of Thermal Oxide Scales on AISI 430Ti Alloy Using Tensile Test". *Mater. Sci. Technol.*, Vol. 23 (4): 497–501.
- [6] S. Chandra-ambhorn and N. Klubvihok. 2016. "Quantification of Adherence of Thermal Oxide Scale on Low Carbon Steel Using Tensile Test". *Oxid. Met.*, Vol. 85: 103–125.
- [7] H.E. Evans. 1995. "Stress Effects in High Temperature Oxidation of Metals". *Int. Mater. Rev.*, Vol. 40 (1): 1–40.
- [8] N. Kamalimeera and V. Kirubakaran. 2021. "Prospects and Restraints in Biogas Fed SOFC for Rural Energization: a Critical Review in Indian Perspective". *Renew. Sustain. Energy Rev.*, Vol. 143: 110914.
- [9] G.J. Van den Berg. 2000. "the Effect of the Non-Linear Stress–Strain Behaviour of Stainless Steels on Member Capacity". *J. Constr. Steel Res.*, Vol. 54 (1): 135–160.
- [10] I. Saeki, T. Ohno, D. Seto, O. Sakai, Y. Sugiyama, T. Sato, A. Yamauchi, K. Kurokawa, M. Takeda and T. Onishi. 2011. "Measurement of Young's Modulus of Oxides at High Temperature Related to the Oxidation Study". *Mater. High Temp.*, Vol. 28 (4): 264–268.
- [11] A.M. Huntz, S. Daghigh, A. Piant and J.L. Lebrun. 1998. "Evidence of Stress Relaxation in Thermally Grown Oxide Layers—Experiments and Modelling". *Mater. Sci. Eng. A*, Vol. 248 (1–2): 44–55.
- [12] N. Li, J. Xiao, N. Prudhomme, Z. Chen and V. Ji. 2014. "Residual Stresses in Oxide Scale Formed on Fe–17Cr Stainless Steel". *Appl. Surf. Sci.*, Vol. 316 : 108–113.

การออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งวัสดุอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักร ด้วยการประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์: กรณีศึกษา

Automated Guided Vehicle Route Design in Machinery Manufacturing Industry using Simulation Model: A Case Study

พรชิตา เชื้อซัง วลัยลดา กลั่นเครือวัลย์ อธิวัฒน์ บุญมี

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: atiwat.bo@ku.ac.th*

Pornchita Chuachang, Vallada Klankhruewan, Atiwat Boonmee

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University

E-mail: atiwat.bo@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาและออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งวัสดุอัตโนมัติในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรในแผนกประกอบเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานของบริษัทกรณีศึกษา เทคนิคการจำลองสถานการณ์ได้ถูกนำมาช่วยในการวิเคราะห์หาเส้นทางการเดินรถขนส่งวัสดุอัตโนมัติที่เหมาะสมกับช่วงเวลาการประกอบเครื่องจักรในช่วงนั้นๆ การออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งวัสดุอัตโนมัติจะแบ่งออกเป็น 2 เส้นทางหลัก คือ เส้นทางที่ 1 เป็นเส้นทางที่สั้นที่สุดที่จะสนับสนุนการประกอบเครื่องจักรทั้ง 9 สถานีงาน และเส้นทางที่ 2 จะเป็นเส้นทางที่มีจุดจอดที่ห้องคลีนรูมเพื่อสนับสนุนการผลิตช่วงที่มีปริมาณการประกอบเครื่องจักรในห้องคลีนรูมจำนวนมาก ผลการจำลองสถานการณ์พบว่า เส้นทางที่ 1 และ 2 จะช่วยลดระยะเวลาของพนักงานในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรจากห้องส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรมายังสถานีงานของตนเองเฉลี่ย 29.63 นาที และ 34.84 นาที ตามลำดับ ผลจากการลดเวลาในการขนย้ายชิ้นส่วนทำให้พนักงานมีเวลาในการประกอบเครื่องจักรเพิ่มขึ้นเฉลี่ยจากเดิม สำหรับเส้นทางที่ 1 เพิ่มขึ้นจาก 402.13 นาที เป็น 431.76 นาที (เพิ่มขึ้น 7.37%) และเส้นทางที่ 2 เพิ่มขึ้นเป็น 436.97 นาที (เพิ่มขึ้น 8.66%) ตามลำดับ นอกจากนี้การเพิ่มอัตราความเร็วของรถขนส่งวัสดุอัตโนมัติจะช่วยเพิ่มจำนวนรอบในการขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรที่จะส่งผลให้แต่ละสถานีงานมีโอกาสได้รับชิ้นส่วนเครื่องจักรเพื่อนำไปประกอบได้เร็วขึ้น

คำสำคัญ: รถขนส่งวัสดุอัตโนมัติ, การวิเคราะห์เส้นทางการเดินรถ, การจำลองสถานการณ์, อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักร

Abstract

This research aims to study and design Automated Guided Vehicle route in the machine manufacturing industry in the machine assembly department to increase the work efficiency of the company's employees. Simulation techniques were used to help analyze the route of the Automated Guided Vehicle suitable for the machine assembly time. The design of the Automated Guided Vehicle route will be divided into 2 main routes: Route 1 is the shortest route to support the assembly of all 9 workstations and Route 2 is the route that has a stop at the clean room to support high-volume production in the clean room. The results of the simulation showed that route 1 and route 2 would reduce the average time spent by workers transporting machine parts from the machine parts delivery room to their own workstation by 29.63 minutes and 34.84 minutes, respectively. As a result of reducing the time taken to transport parts, employees have more time to assemble the machine on average. For route 1, it increased from 402.13 minutes to 431.76 minutes (7.37% increase) and route 2 increased to 436.97 minutes (8.66% increase), respectively. In addition, increasing the speed of the Automated Guided Vehicle will increase the number of cycles in transporting machine parts, which will result in each workstation having the opportunity to obtain machine parts for assembly faster.

Keywords: Automated Guided Vehicles, Vehicle Routing Analysis, Simulation, Machinery manufacturing industry

1. บทนำ

บริษัท เอ.ไอ.เทคโนโลยี ดำเนินธุรกิจจำหน่ายเครื่องจักรอัตโนมัติ เริ่มตั้งแต่กระบวนการออกแบบกลไกและการพัฒนาโปรแกรม ตลอดจนถึงขั้นตอนการผลิตเครื่องจักร ซึ่งปัจจุบันอุตสาหกรรมต่างๆ ได้ให้ความสนใจกับระบบอัตโนมัติมากยิ่งขึ้น ทำให้บริษัทมียอดสั่งซื้อจากกลุ่มลูกค้าใหม่ โดยเฉพาะในกลุ่มที่ไม่เคยมีระบบอัตโนมัติมาก่อน ส่งผลให้สัดส่วนความต้องการระบบอัตโนมัติ (Automation) ในปี 2565 จึงมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นจาก 30% ขึ้นมาที่ 50% เมื่อเทียบกับปีก่อนหน้า โดยในกระบวนการประกอบเครื่องจักรของบริษัทกรณีศึกษา จะต้องมีการขนส่งเคลื่อนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรจากห้องส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรไปยังสถานีงานประกอบเครื่องจักรต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้พนักงานและรถลากจูงในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรเหล่านี้ ส่งผลให้พนักงานมีเวลาในการประกอบเครื่องจักรที่ลดลง และในบางครั้งอาจเกิดความเสียหายขณะขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร ส่งผลให้การทำงานทั้งหมดไม่เป็นไปตามเวลาที่กำหนด

ดังนั้นเพื่อช่วยให้การปฏิบัติงานในการประกอบเครื่องจักรมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น ซึ่งปัจจุบันทางบริษัทกรณีศึกษามีรถขนถ่ายอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicles, AGV) แต่ไม่ได้ถูกนำมาใช้งาน ดังนั้น เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผู้วิจัยจึงในแนวคิดในการนำรถขนถ่ายอัตโนมัติหรือรถ AGV เข้ามาช่วยในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร โดยทำการจำลองสถานการณ์เพื่อออกแบบเส้นทางในการเดินรถขนถ่ายอัตโนมัติที่เหมาะสมกับทำงานประกอบเครื่องจักรของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยในการกำหนดเส้นทางในการเดินทางเดินรถ AGV ที่ชัดเจน เพื่อช่วยในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรโดยไม่ต้องใช้พนักงาน ทำให้เวลาในการเดินทางของพนักงานเพื่อไปขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรมาประกอบลดลง และช่วยให้พนักงานมีเวลาในการประกอบเครื่องจักรที่มากขึ้น อีกทั้งยังจะช่วยให้กระบวนการประกอบเครื่องจักรดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง และยังสามารถเพิ่มอัตราประโยชน์ในการทำงานของพนักงานในการประกอบเครื่องจักรให้มากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจำลองสถานการณ์ (Simulation)

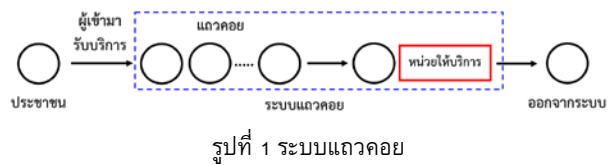
การจำลองสถานการณ์เป็นกระบวนการจำลอง (Model) ของระบบทำงานจริง (Real system) แล้วดำเนินการใช้โปรแกรมนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานจริงภายใต้ข้อกำหนดต่างๆ ที่วางไว้เพื่อประเมินผลการดำเนินงานระบบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองก่อนนำไปใช้แก้ปัญหาสถานการณ์จริงต่อไป [1]

ปัจจุบันการจำลองแบบปัญหาด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นที่นิยมอย่างมากทั้งการออกแบบและพัฒนากระบวนการ โดยในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Arena มาใช้จำลองสถานการณ์ เนื่องจากเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับสร้างแบบจำลองและดำเนินการทดลองไปกับตัวแบบจำลอง โดยตัวแบบจำลองจะถูกทดสอบความคิดในคอมพิวเตอร์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบ และนำไปสู่

แนวทางการวิเคราะห์ปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ตัวโปรแกรมสามารถวิเคราะห์กระบวนการต่างๆ ได้ เช่น ระบบแถวคอยของกระบวนการผลิต ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น นอกจากนี้โปรแกรม Arena ยังสามารถสร้างภาพเคลื่อนไหวเสมือนจริงของระบบไว้บนจอคอมพิวเตอร์ได้ ตัวอย่างเช่น ทรัพยากรต่างๆ ที่ถูกสร้างในโปรแกรม Arena สามารถแสดงอยู่ในภาพเคลื่อนไหวได้ เช่น ผู้ให้บริการ เครื่องจักร หรืออุปกรณ์ลำเลียง เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถแสดงสถานภาพของทรัพยากร เพื่อช่วยให้สามารถเข้าใจระบบจำลองสถานการณ์นั้นได้เพิ่มมากขึ้น

2.2 ทฤษฎีแถวคอย (Queuing Theory)

แถวคอยจะเกิดขึ้นเมื่อความต้องการรับบริการมีมากกว่าความสามารถในการให้บริการ ดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนั้น ทฤษฎีแถวคอยจึงเป็นทฤษฎีที่เข้ามาช่วยในการวางแผนและตัดสินใจว่าจะให้บริการ ณ ระดับใดจึงจะเหมาะสมและดีที่สุดสำหรับหน่วยรับบริการและหน่วยบริการ ซึ่งตัวแบบเชิงปริมาณที่ใช้วิเคราะห์ปัญหาแถวคอยนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบแถวคอยที่กำลังทำการศึกษ โดยระบบแถวคอยทุกระบบในเบื้องต้นจะมีโครงสร้างเหมือนกัน 3 ส่วนคือ 1) ผู้รับบริการ, 2) รูปแบบของระบบบริการ และ 3) หน่วยให้บริการ [2]



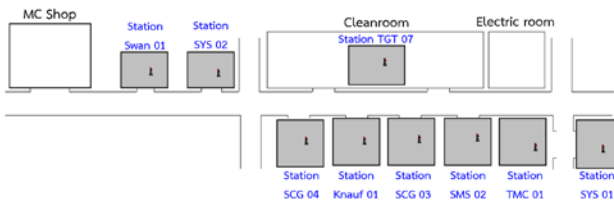
ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าในการแก้ปัญหาการขนถ่ายวัสดุหรืออุปกรณ์ในอุตสาหกรรมการผลิตต่างๆ มีงานวิจัยจำนวนมากที่ได้ศึกษาแนวทางในการวิเคราะห์หาเส้นทางที่เหมาะสมในการใช้รถขนถ่ายอัตโนมัติ หรือ AGV เพื่อเข้ามาแทนการใช้แรงงานในการเดินรถขนถ่ายวัสดุหรืออุปกรณ์ต่างๆ เช่น งานวิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าการขนถ่ายสิ่งส่งตรวจของอุตสาหกรรมสุขภาพ [3] ที่ยังไม่มียาระบบขนถ่ายที่มีประสิทธิภาพ โดยมีการศึกษาระบบการขนส่งตัวอย่างทดสอบทางการแพทย์และระบุปัญหาพร้อมทั้งออกแบบระบบการลำเลียงขนส่งด้วยยานพาหนะอัตโนมัติ เพื่อให้การทำงานตรงต่อเวลา และลดความผิดพลาดจากคน หรือในงานวิจัยที่มีการใช้เทคนิคจำลองสถานการณ์ในการออกแบบจำลองเส้นทางในการเดินรถขนส่งสาธารณะ [4] ซึ่งจะมีการใช้โปรแกรม Arena ในการจำลองเส้นทางในการเดินรถสาธารณะ โดยการวิเคราะห์เส้นทางในการเดินรถแบ่งออกเป็น 2 โมเดล ได้แก่ โมเดลที่ 1 วิธีการปล่อยรถขนส่งสาธารณะเพียงจุดเดียว และโมเดลที่ 2 วิธีการปล่อยรถขนส่งสาธารณะ 2 จุดพร้อมกัน ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบหาเส้นทางที่เหมาะสม พบว่า รูปแบบที่ 1 มีความเหมาะสมมากกว่ารูปแบบที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบจากระยะทาง เวลา และจำนวนเฉลี่ยในการคอย นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆ ที่พบว่ามีการใช้รถขนถ่ายอัตโนมัติ เพื่อให้การทำงานในอุตสาหกรรมเป็นไปได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ เช่น การพัฒนาระบบขนย้ายนำทางอัตโนมัติ [5] การศึกษาการจัดเส้นทางรถ AGV ในอุตสาหกรรมการผลิต [6] หรือการพัฒนาแบบจำลองสถานการณ์โลจิสติกส์ภายในของระบบ AGV ในแผนประกอบโรงงานผลิตรถยนต์ [7] เป็นต้น

3. การออกแบบและพัฒนาเส้นทางรถขนถ่ายอัตโนมัติ

3.1 การศึกษาสภาพปัจจุบัน

จากการศึกษากระบวนการประกอบเครื่องจักร โดยสอบถามกับผู้จัดการและพนักงานประกอบเครื่องจักรในโรงงาน เกี่ยวกับขั้นตอนการประกอบเครื่องจักร โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการออกแบบเครื่องจักรเพื่อกำหนดชิ้นส่วนต่างๆ ที่ต้องใช้ในการประกอบเครื่องจักร จากนั้นจะมีการสั่งผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรทั้งหมด เมื่อได้ชิ้นส่วนเครื่องจักรที่สมบูรณ์และครบถ้วนแล้ว ชิ้นส่วนเครื่องจักรทั้งหมดจะถูกส่งมายังห้องส่งชิ้นส่วนเครื่องจักร หรือ MC Shop เพื่อรอการขนย้ายและนำไปประกอบเป็นเครื่องจักร ซึ่งในส่วนการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรในปัจจุบัน จะต้องใช้พนักงานในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ห้องส่งชิ้นส่วนเครื่องจักร เพื่อนำกลับไปประกอบเครื่องจักรต่างๆ ที่มีการประกอบเครื่องจักรทั้งหมด 9 สถานีงาน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แบบจำลองเส้นทางรถขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักร

จากการรวบรวมข้อมูลการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา พบว่าปัจจุบันในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรต่อ 1 สถานีงาน จะมีจำนวนรอบในการขนย้ายโดยเฉลี่ยที่ 3-4 รอบต่อวัน และจากการสอบถามปัญหาที่เกิดขึ้นในปัจจุบันของการทำงานของพนักงาน เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์การทำงาน พบว่าในขั้นตอนการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรนั้นมีการเดินขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรที่บ่อยเกินไป ก่อให้เกิดการใช้แรงงานของพนักงานโดยไม่จำเป็น ซึ่งจะส่งผลให้พนักงานไม่สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ และเกิดความไม่สมดุลกันของจำนวนแรงงานในแต่ละช่วงเวลา

3.2 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

3.2.1 การวิเคราะห์ข้อมูลและการกำหนดค่าในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์

คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในด้านเวลาที่พนักงานใช้ในการดำเนินการกับชิ้นส่วนเครื่องจักรจากสถานการณ์การจริงของทั้ง 9

สถานีงาน เช่น ข้อมูลระยะห่างของเวลาในการเข้ามาของชิ้นส่วนเครื่องจักร หรือเวลาในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร เป็นต้น โดยทำการเก็บข้อมูลจำนวน 50 ตัวอย่างต่อชุดข้อมูล และดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะการแจกแจงของข้อมูลด้วยโปรแกรม Input Analyzer เพื่อนำไปกำหนดค่าในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ โดยข้อมูลการแจกแจงของระยะห่างของเวลาในการเข้ามาของชิ้นส่วนเครื่องจักรของทั้ง 9 สถานีงาน ที่เข้ามายังห้อง MC Shop แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแจกแจงข้อมูลระยะห่างของเวลาในการเข้ามาของชิ้นส่วนเครื่องจักรทั้ง 9 สถานีงาน

สถานีงาน	ระยะห่างของเวลาในการเข้ามา (นาที)
1	$120 + 119 * \text{BETA}(0.812, 0.698)$
2	$120 + 120 * \text{BETA}(0.787, 0.91)$
3	UNIF(123, 236)
4	$120 + 117 * \text{BETA}(0.996, 1.08)$
5	$120 + 119 * \text{BETA}(1.18, 1.16)$
6	TRIA(121, 198, 240)
7	$122 + 117 * \text{BETA}(0.883, 0.749)$
8	$120 + 120 * \text{BETA}(0.918, 0.875)$
9	$121 + 119 * \text{BETA}(0.908, 0.726)$

โดยการทำงานของพนักงานในแต่ละวันจะเริ่มตั้งแต่เวลา 8.00 น. และสิ้นสุดการทำงานที่เวลา 18.00 น. โดยในการทำงานแต่ละวันจะมีการประชุมหน้างานก่อนเริ่มงานในทุกๆ เช้า (Morning Meeting) ตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 8.30 น. จากนั้นพนักงานทุกคนจะเริ่มทำงานตามสถานีงานที่ตนเองรับผิดชอบจนถึงเวลา 12.00 น. จึงจะหยุดพักรับประทานอาหารกลางวัน และกลับมาเริ่มทำงานอีกครั้งในเวลา 13.00 น. จนถึงเวลาประมาณ 17.30 น. ในแต่ละสถานีงานจะมีการทำกิจกรรม 5ส เพื่อเป็นการจัดสถานที่ทำงานให้เรียบร้อยก่อนเลิกงานในเวลา 18.00 น.

ในการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอาร์เอน่า (Arena) คณะผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองสถานการณ์ โดยมีกระบวนการทำงานในสถานีงานต่างๆ ตามกระบวนการทำงานจริง ซึ่งแบ่งการทำงานประกอบเครื่องจักรออกเป็น 9 สถานีงาน และพนักงานในทุกสถานีงานจะต้องเดินไปรับและขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรจากห้อง MC Shop โดยคณะผู้วิจัยได้กำหนดระยะเวลาในการประมวลผลแต่ละรอบ (Replication length) เท่ากับ 10 ชั่วโมง และทำการกำหนดจำนวนรอบในการประมวลผล (Number of replication) ครั้งแรก เท่ากับ 50 รอบ

3.2.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

เมื่อสร้างแบบจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์ของระบบงานจริงก่อนการปรับปรุงแล้ว คณะผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Verification) โดยทดสอบขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักรและพนักงานในกระบวนการต่างๆ ว่ามีลักษณะการทำงานเหมือนระบบงานจริงหรือไม่ เช่น การเคลื่อนที่ของวัตถุที่สนใจ พฤติกรรมการทำงานของพนักงาน เป็นต้น ซึ่งในแบบจำลองจะกำหนด

วัตถุที่สนใจ (Entity) เป็นชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ต้องขนย้ายไปยังแต่ละสถานีงาน

3.2.3 การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง

การตรวจสอบความเหมาะสมของตัวแบบจำลอง (Validation) เป็นการตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถทำงานแทนระบบจริงได้ โดยวัดความใกล้เคียงของข้อมูลจากแบบจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจากระบบงานจริง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกข้อมูลผลลัพธ์ที่จะนำมาทดสอบ คือ เวลาเฉลี่ยในการรอคอยของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ MC Shop

ในการทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลและทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลอง คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SPSS เพื่อทำการทดสอบข้อมูล พบว่า ได้ค่า Sig. ของสถิติ Kolmogorov-Smirnov ของเวลาเฉลี่ยในการรอคอยของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ MC Shop (WT_MCShop) เท่ากับ 0.200 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 (รูปที่ 3) ดังนั้นข้อมูลของเวลาเฉลี่ยในการรอคอยของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ MC Shop เป็นการแจกแจงปกติ (Normal Distribution) และผลการทดสอบ One sample T-test มีค่า Sig. (2-tailed) เท่ากับ 0.798 ซึ่งมีค่ามากกว่า 0.05 (รูปที่ 4) ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานี้มีความเหมาะสมและสามารถทดแทนระบบงานจริงได้

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
WT_MCShop	.100	50	.200 [*]	.933	50	.007

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

รูปที่ 3 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

One-Sample Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
WT_MCShop	50	5.5935	2.56373	.36257

One-Sample Test

	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
WT_MCShop	.258	49	.798	.09347	-.6351	.8221

รูปที่ 4 ผลการทดสอบ One sample T-test

และคณะผู้วิจัยได้คำนวณจำนวนรอบประมวลผลจากค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ (Half width) ของเวลาเฉลี่ยในการรอคอยของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ MC Shop โดยมีจำนวนรอบในการประมวลผลครั้งแรกเท่ากับ 50 รอบ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$n \cong n_0 \frac{h_0^2}{h^2} \quad (1)$$

โดยที่ n_0 คือ จำนวนรอบการประมวลผลครั้งแรก เท่ากับ 50 รอบ

h คือ ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ คำนวณจากค่าความคลาดเคลื่อน ± 5 เปอร์เซ็นต์ของเวลาเฉลี่ยในการรอคอยของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ MC Shop ของระบบจริง เท่ากับ $5.500 \times 0.05 = 0.275$ นาที

h_0 คือ ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการประมวลผลครั้งแรก ได้จากรายงานการประมวลผลจากโปรแกรม Arena มีค่าเท่ากับ 0.73 ชั้น

จากการคำนวณจำนวนรอบที่เหมาะสมใหม่ เพื่อให้มีค่า Half width ไม่เกินค่าที่กำหนด ดังสมการที่ 1 จะได้เท่ากับ 352.33 รอบ คิดเป็น 353 รอบการประมวลผลซ้ำ แต่เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่แม่นยำ คณะผู้วิจัยจึงกำหนดรอบประมวลผลซ้ำให้เท่ากับ 360 รอบ

3.2.4 การวิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ก่อนการปรับปรุง

เมื่อตรวจสอบแล้วว่าแบบจำลองสถานการณ์ที่สร้างขึ้นสามารถใช้แทนระบบจริงได้ คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากแบบจำลองสถานการณ์ก่อนการปรับปรุง โดยสรุปรายงานการประมวลผลได้ดังนี้

- 1) จำนวนชิ้นส่วนของเครื่องจักรในแต่ละวันที่ออกจาก MC Shop ไปยังสถานีงานต่างๆ (Number out) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 33.00 ชิ้นต่อวัน
- 2) เวลาเฉลี่ยในการรอคอยของชิ้นส่วนเครื่องจักรที่ MC Shop (Waiting time) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.62 นาทีต่อชิ้น
- 3) จำนวนชิ้นส่วนเครื่องจักรที่อยู่ในระบบ หรือ Work in process (WIP) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.4472 ชิ้น

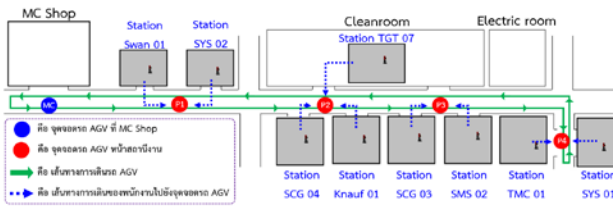
4) พนักงานแต่ละสถานีงานมีค่าอัตราประโยชน์ (Utilization) ของกิจกรรมที่ไม่ใช่การประกอบเครื่องจักรมีค่าเฉลี่ย 25.53% (รูปที่ 5) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ 1) เวลาในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร คิดเป็น 14.43%, 2) เวลาในการประชุมพนักงาน คิดเป็น 5.55% และ 3) เวลาในการทำกิจกรรม 5ส คิดเป็น 5.55% โดยจะเห็นได้ว่าพนักงานแต่ละสถานีงานจะใช้เวลาในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรเฉลี่ย 14.50% หรือคิดเป็น 77.92 นาทีต่อวัน ดังนั้น พนักงานจะมีเวลาเหลือในการประกอบเครื่องจักรเหลือเพียง 74.47% จากเวลาในการทำงานทั้งหมด หรือคิดเป็น 402.13 นาที จะเห็นว่าในกระบวนการการทำงานมีการใช้แรงงานคนที่มากเกินความจำเป็น โดยเฉพาะในส่วนของการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร ซึ่งสามารถพิจารณาเพื่อปรับลดจำนวนแรงงานลงได้ ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะปรับปรุงในปัญหาดังกล่าวเป็นหลัก

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
MC Shop	0.4209	0.00	0.3071	0.5441
Resource PP SYS 01	0.2664	0.00	0.1908	0.4976
Resource PP Knauf01	0.2565	0.00	0.1877	0.4982
Resource PP SCG 03	0.2509	0.00	0.1990	0.5123
Resource PP SCG04	0.2486	0.00	0.1812	0.4882
Resource PP SMS 02	0.2591	0.00	0.2047	0.4784
Resource PP Swan 01	0.2488	0.00	0.1898	0.4444
Resource PP SYS02	0.2463	0.00	0.1944	0.3801
Resource PP TGT07	0.2556	0.00	0.1976	0.4278
Resource PP TMC 01	0.2657	0.00	0.2086	0.5156

รูปที่ 5 ค่าอัตราประโยชน์ของพนักงานในการทำกิจกรรมที่ไม่ใช่การประกอบเครื่องจักร

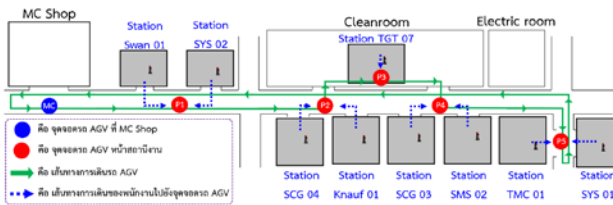
3.3 แนวทางการปรับปรุงแก้ไข

ในการวางแผนแนวทางการปรับปรุงแก้ไข คณะผู้วิจัยได้มีแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร โดยมีแนวคิดในการนำรถ AGV มาช่วยในกระบวนการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรจาก MC Shop ไปยังแต่ละสถานีงาน เพื่อช่วยลดเวลาของพนักงานที่สูญเสียไปกับการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร ส่งผลให้มีเวลาในการประกอบเครื่องจักรเพิ่มขึ้น ซึ่งคณะผู้วิจัยได้ทำการออกแบบเส้นทางการเดินรถ AGV แบ่งออกเป็น 2 เส้นทาง โดยในแต่ละเส้นทางจะถูกใช้งานตามความเหมาะสมของช่วงเวลาที่มีการประกอบเครื่องจักร แสดงดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 เส้นทางการเดินรถ AGV เส้นทางที่ 1

เส้นทางที่ 1 มีลักษณะการวิ่งเป็นรูปตัวแอล รถ AGV ซึ่งจะมีจุดจอดทั้งหมด 4 จุด รถ AGV จะวิ่งส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรตามจุดจอดต่างๆ ซึ่งการจัดเส้นทางในลักษณะนี้จะตอบสนองกับช่วงเวลาที่มีการประกอบเครื่องจักรภายนอกห้องคลีนรูม (Cleanroom) เป็นส่วนใหญ่ จะทำให้สามารถส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรได้ครบทุกสถานีที่มีการประกอบ



รูปที่ 7 เส้นทางการเดินรถ AGV เส้นทางที่ 2

เส้นทางที่ 2 จะมีลักษณะเส้นทางการวิ่งของรถ AGV ที่แตกต่างกับเส้นทางที่ 1 คือจะมีจุดจอดทั้งหมด 5 จุด โดยจะมีการจัดเส้นทางให้รถ AGV วิ่งเข้าไปส่งชิ้นส่วนในห้องคลีนรูม (Cleanroom) ได้ การจัดเส้นทางลักษณะนี้จะทำให้ตอบสนองต่อช่วงเวลาที่มีการประกอบชิ้นส่วนเครื่องจักรภายในห้องคลีนรูมเป็นส่วนใหญ่

เมื่อทำการพิจารณาเส้นทางการเดินรถ AGV ที่สามารถทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดแล้ว คณะผู้วิจัยจึงได้นำเส้นทางการเดินรถ AGV ทั้ง 2 เส้นทาง และใช้รถ AGV ที่ความเร็ว 0.11 เมตร/วินาที มาสร้างเป็นแบบจำลองเพื่อปรับปรุงการทำงานใหม่ในด้านประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน โดยแบ่งเป็นแบบจำลองหลัก 2 แบบจำลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) แบบจำลองหลัก M1 เป็นแบบจำลองเส้นทางการเดินรถ โดยเส้นทางที่ 1 จะมีลักษณะการวิ่งเป็นรูปตัวแอล

2) แบบจำลองหลัก M2 เป็นแบบจำลองเส้นทางการเดินรถ โดยเส้นทางที่ 2 โดยจะมีการจัดเส้นทางให้รถ AGV วิ่งเข้าไปส่งชิ้นส่วนในห้องคลีนรูม (Cleanroom) ด้วย

นอกจากนั้นในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ คณะผู้วิจัยทำการวิเคราะห์การปรับอัตราความเร็วของรถ AGV เพิ่มขึ้น เพื่อช่วยให้รถ AGV สามารถวิ่งได้จำนวนรอบการส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เพิ่มขึ้นและช่วยลดภาระในการขนชิ้นส่วนเครื่องจักรในแต่ละรอบได้ อีกทั้งยังทำให้พนักงานสามารถรับชิ้นส่วนเครื่องจักรไปประกอบเครื่องจักรได้เร็วยิ่งขึ้น โดยแบ่งการปรับอัตราความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 3 รูปแบบ ได้แก่ 10%, 20% และ 30% ซึ่งจะได้แบบจำลองย่อยของ Model M1 คือ M1-1, M1-2, M1-3 เป็นแบบจำลองที่ใช้เส้นทางวิ่ง เส้นทางที่ 1 ที่มีการเพิ่มอัตราความเร็วของรถ 10%, 20% และ 30% ตามลำดับ และแบบจำลองย่อยของ Model M2 คือ M2-1, M2-2, M2-3 เป็นแบบจำลองที่ใช้เส้นทางวิ่ง เส้นทางที่ 2 ที่มีการเพิ่มอัตราความเร็วของรถ 10%, 20% และ 30% ตามลำดับ

4. ผลการวิจัย

ในการวัดประสิทธิภาพจากแนวทางการแก้ไขปรับปรุงแนวทางการดังกล่าว คณะผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าอัตราประโยชน์ในการทำงานของพนักงานในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรและเวลาที่เหลือเพื่อใช้ในการประกอบเครื่องจักร โดยทั้ง 2 แบบจำลองหลัก (M1 และ M2) ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ทำการออกแบบเส้นทางการเดินรถ AGV คณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลจากรายงานการประมวลผลจำนวน 360 รอบการประมวลผลซ้ำ แสดงดังตารางที่ 2

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อดำเนินการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรด้วยรถ AGV ตามเส้นทางที่ 1 และ 2 จะช่วยให้ค่าอัตราประโยชน์ของกิจกรรมที่ไม่ใช่การประกอบเครื่องจักรลดลง 0.0549 และ 0.0645 ตามลำดับ หรือคิดเป็นเวลาที่พนักงานใช้ในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรลดลง 29.63 นาที และ 34.84 นาที สำหรับการทำงานส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรด้วยเส้นทางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่งผลให้พนักงานแต่ละคนมีเวลาเฉลี่ยในการประกอบเครื่องจักรเพิ่มขึ้นจากเดิม 402.13 นาที เป็น 431.76 นาที (เพิ่มขึ้น 7.37%) และ 436.97 นาที (เพิ่มขึ้น 8.66%) สำหรับการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรด้วยเส้นทางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เนื่องจากพนักงานไม่ต้องเสียเวลาในการเดินขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร แต่ทั้งนี้ในการเลือกใช้เส้นทางการเดินรถ AGV ต้องพิจารณาตามช่วงเวลาที่มีการประกอบเครื่องจักรให้เหมาะสม จึงจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานดีมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองการขนส่งด้วยรถ AGV เปรียบเทียบกับวิธีปัจจุบัน

ค่าอรรถประโยชน์	Model ปัจจุบัน	Model M1	Model M2
Resource Swan 01	0.2565	0.2027	0.193
Resource SYS 02	0.2509	0.1989	0.1893
Resource SCG 04	0.2486	0.2006	0.1912
Resource Knauf 01	0.2591	0.1997	0.1899
Resource TGT 07	0.2488	0.1996	0.1901
Resource SCG 03	0.2664	0.1992	0.1895
Resource SMS 02	0.2463	0.2004	0.1909
Resource TMC 01	0.2556	0.2018	0.1921
Resource SYS 01	0.2657	0.2011	0.1912
ค่าเฉลี่ย	0.2553	0.2004	0.1908

ในการเลือกเส้นทางในการเดินรถ AGV นั้นจะต้องพิจารณาตามช่วงเวลาที่มีการประกอบเครื่องจักร เนื่องจากเส้นทางที่เลือกใช้ในการเดินรถ AGV ในแต่ละเส้นทางที่ทำการศึกษานั้น จะตอบสนองการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรของช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ในช่วงเวลาที่มีการประกอบเครื่องจักรภายในห้องคลีนรูมเป็นส่วนใหญ่ จะเลือกใช้เส้นทางที่ 2 ซึ่งอาจจะมียะยะทางการเดินรถ AGV ที่ยาวกว่าเส้นทางที่ 1 แต่สามารถขนย้ายชิ้นส่วนได้ทั่วถึงทุกสถานที่ที่มีการประกอบเครื่องจักร ณ ช่วงเวลานั้น จึงเลือกใช้เส้นทางที่ 2 ในการเดินรถ AGV เป็นต้น ดังนั้นในการเลือกเส้นทางในการเดินรถ AGV จะต้องทำการพิจารณาถึงความเหมาะสมข้างต้นที่กล่าวมา จึงจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การผลิตเป็นไปตามเวลาที่กำหนด และสามารถรองรับกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นในอนาคตได้

ตารางที่ 3 ผลการทดลองเปรียบเทียบเส้นทาง AGV ที่ความเร็วต่างๆ

Model	จำนวนรอบการวิ่งต่อวัน	จำนวนงานต่อรอบ	เวลาในการเดินทางจาก MC Shop ไปถึงจุดจอดต่างๆ (วินาที)				
			P1	P2	P3	P4	P5
M1	9.50	4.76	154	317	451	666	-
M1-1	10.01	4.51	138	285	406	600	-
M1-2	10.69	4.23	123	254	361	533	-
M1-3	11.41	3.96	108	222	316	466	-
M2	8.83	5.10	154	317	415	513	728
M2-1	9.36	4.83	138	285	373	461	655
M2-2	9.95	4.54	123	254	332	410	583
M2-3	10.63	4.25	108	222	290	359	510

และจากการศึกษาเพิ่มเติมของแบบจำลองย่อย 6 แบบจำลอง เพื่อเป็นข้อเสนอแนะให้กับบริษัทการศึกษาในการใช้งานในอนาคต ในเรื่องของการเพิ่มอัตราความเร็วของรถ AGV จะแสดงผลดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราความเร็วในการเดินรถ AGV ทั้ง 2 เส้นทาง จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรเพิ่มขึ้นอีกทั้งยังช่วยลดภาระของรถ AGV ในการขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรต่อรอบได้อีกด้วย

สำหรับเส้นทางที่ 1 นั้น การเพิ่มอัตราความเร็วของรถ AGV จะช่วยให้รถ AGV สามารถวิ่งได้จำนวนรอบการขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เพิ่มขึ้นจาก 9.50 รอบ เป็น 11.41 รอบ เมื่อเพิ่มความเร็วของรถ AGV ที่ 30% หรือคิดเป็นจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น 20.11% และยังคงช่วยลดภาระจำนวนงานที่รถ AGV ขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรต่อรอบลงสูงสุด 16.81% นอกจากนี้ ยังช่วยลดเวลาในการเดินทางของรถ AGV จาก MC Shop ไปยังจุดจอดสุดท้ายสูงสุด 200 วินาที

และสำหรับเส้นทางที่ 2 การเพิ่มอัตราความเร็วของรถ AGV จะช่วยให้รถ AGV สามารถวิ่งได้จำนวนรอบการขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรที่เพิ่มขึ้นจาก 8.83 รอบ เป็น 10.63 รอบ เมื่อเพิ่มความเร็วของรถ AGV ที่ 30% หรือคิดเป็นจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้น 20.39% และยังคงช่วยลดภาระจำนวนงานที่รถ AGV ขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรต่อรอบลงสูงสุด 16.67% นอกจากนี้ ยังช่วยลดเวลาในการเดินทางของรถ AGV จาก MC Shop ไปยังจุดจอดสุดท้ายสูงสุด 218 วินาที

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองสถานการณ์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์หาเส้นทางในการเดินรถ AGV ที่เหมาะสมกับช่วงเวลาการประกอบเครื่องจักรในช่วงนั้นๆ ในแผนกประกอบเครื่องจักร ซึ่งปัจจุบันพบว่าทางบริษัทกรณีศึกษาประสบปัญหากับความไม่แน่นอนในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักรเข้าสู่กระบวนการประกอบเครื่องจักร มีการใช้แรงงานคนมากเกินไปจนเกิดความจำเป็นในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร อาจทำให้เกิดการสูญเสียทรัพยากรต่างๆ ในระบบการผลิต ทั้งในด้านเวลาและค่าใช้จ่าย เป็นต้น

คณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลเวลาที่พนักงานใช้ในการดำเนินการกับชิ้นส่วนเครื่องจักรจากสถานการณ์จริงของทั้ง 9 สถานี และมีแนวทางการปรับปรุงกระบวนการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร โดยมีการพัฒนาเส้นทางในการเดินรถ AGV เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์เส้นทางในการเดินรถ AGV ที่เป็นไปได้ มาทั้งหมด 2 เส้นทาง ที่คณะผู้วิจัยได้นำมาพิจารณา พบว่าในการประยุกต์ใช้รถ AGV เข้ามาช่วยในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร จะช่วยลดเวลาที่พนักงานสามารถใช้ในการขนย้ายชิ้นส่วนเครื่องจักร 29.63 นาที และ 34.84 นาที สำหรับเส้นทางเดินรถ AGV ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่งผลให้พนักงานแต่ละคนมีเวลาในการประกอบเครื่องจักรเพิ่มขึ้นเป็น 431.76 นาที หรือเพิ่มขึ้น 7.37% และ 436.97 นาที หรือเพิ่มขึ้น 8.66% สำหรับเส้นทางเดินรถ AGV ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แต่ทั้งนี้ในการเลือกใช้เส้นทางในการเดินรถ AGV ต้องพิจารณาตามช่วงเวลาที่มีการประกอบเครื่องจักรให้เหมาะสม จึงจะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของพนักงานดีมากยิ่งขึ้น

ทั้งนี้คณะผู้วิจัยยังมีการวิเคราะห์ถึงการเพิ่มอัตราความเร็วของรถ AGV ทั้ง 2 เส้นทาง ซึ่งจะช่วยเพิ่มความเร็วในการส่งชิ้นส่วนเครื่องจักร โดยในการเพิ่มความเร็วของรถ AGV ที่ 30% จะช่วยลดระยะเวลาในการเดินทางจาก MC Shop ไปยังจุดจอดสุดท้ายสูงสุด 200 วินาที และ 218 วินาที สำหรับเส้นทางเดินรถ AGV ที่ 1 และ 2 ตามลำดับ นอกจากนี้ ในการเพิ่มความเร็วของรถ AGV ยังช่วยเพิ่มจำนวนรอบในการขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักร ซึ่งจะส่งผลให้แต่ละสถานีงานมีโอกาสที่จะได้รับชิ้นส่วนเครื่องจักรเพื่อนำไปประกอบเร็วมากยิ่งขึ้น และเมื่อพิจารณาจำนวนงานที่ขนส่งต่อรอบที่ลดลงนั้น จะช่วยลดภาระในการขนส่งชิ้นส่วนเครื่องจักรในแต่ละรอบ ซึ่งจะช่วยยืดอายุการใช้งานของรถ AGV ให้สามารถใช้งานได้ยาวนานมากยิ่งขึ้น จากการบรรทุกน้ำหนักของชิ้นส่วนเครื่องจักรต่อรอบที่ลดลงอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] สุภาวดี ผลพันธ์, เกரியงไกร แก้วตระกูลพงษ์, สมพงษ์ เจษฎาธรรม สกิต, เสาวลักษณ์ ยองรัมย์, ไฉไล กองทอง. "การจำลองสถานการณ์ด้านโลจิสติกส์ของกระบวนการเก็บเกี่ยวและคัดบรรจุเสาวรสหวาน (กรณีศึกษา พื้นที่ขยายผลโครงการหลวงบริเวณลุ่มแม่น้ำปิงตอนบน)." การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 14 และระดับนานาชาติ ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: หน้า 206-210, 2556.
- [2] สุทธิมา ชำนาญเวช. 2555. การวิเคราะห์เชิงปริมาณ. กรุงเทพมหานคร: วิทยพัฒน์, หน้า 295-316.
- [3] นันทพันธ์ กนกศิริจุฑา. 2562. "การออกแบบและพัฒนาระบบขนถ่ายสิ่งส่งตรวจด้วยรถขนส่งอัตโนมัติในอุตสาหกรรมสุภาพ." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- [4] ปรัชกรณ์ เศรษฐเสถียร, กฤติยา เกิดผล. 2553. "แบบจำลองเส้นทางการเดินรถขนส่งสาธารณะในมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.
- [5] จุลศิริ เจริญภัณฑารักษ์, ประพันธ์ ประภาวิชา, ปรีดาภรณ์ คำเจริญคุณ และนพวรรณ ลีลาจริยาธรรม. 2550. "การพัฒนาระบบรถขนย้ายนำทางอัตโนมัติ." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [6] รุจิรา เรืองธนากร, ธิตาวรรณ แสงนวล และจีราดา อนุชิตนานนท์. 2564. "การศึกษาวิธีการจัดเส้นทางการเดินรถ AGV ในอุตสาหกรรมการผลิต." วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [7] ภูษา พกษาพันธุ์รัตน์, อินทชา วิภูเสรี และพนิตพร เบญจผ่องวัฒนา. 2563. "แบบจำลองสถานการณ์โลจิสติกส์ภายในระบบ AGV ในแผนกประกอบโรงงานผลิตรถยนต์." วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 32 ฉบับที่ 2: 358-364

การวางแผนการผลิตแบบเฮจูกะเพื่อการผลิตแบบลีน Heijuka Production Planning for Lean Production

นุกูล อุบลบาน

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง

E-mail: nukool.ubonban@gmail.com

Nukool Ubonban

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Ramkhamhaeng University

E-mail: nukool.ubonban@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับปรุงรูปแบบของการวางแผนการผลิตเพื่อนำไปสู่รูปแบบของการผลิตแบบลีน (Lean Production) เพื่อตอบสนองต่อการลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต การทำวิจัยครั้งนี้จะดำเนินการประยุกต์แก้ปัญหาในกระบวนการวางแผนการผลิตกับบริษัทอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง ขั้นตอนการดำเนินการจะใช้หลักการแบบเฮจูกะ(Heijuka)หรือการปรับเรียบการผลิต (Leveled Production) เป็นแนวทางของการปรับปรุงรูปแบบการวางแผนการผลิต เริ่มต้นจากการปรับการวางแผนการผลิตแบบเดิมที่ผลิตแบบขนาดใหญ่(Large lot Size) ปรับเป็นการวางแผนผลิตขนาดเล็ก(Small lot Size) และทำการปรับปรุงด้วยเครื่องมือของระบบการผลิตแบบลีนเพื่อให้เกิดการผลิตให้ลื่นไหลมากขึ้น(Smooth flow) และหลังจากนั้นปรับลดให้เป็นกระบวนการผลิตได้ทีละชิ้น(One piece flow) นอกจากนี้ยังประยุกต์เครื่องมือระบบการผลิตแบบลีนช่วยให้กระบวนการผลิตไหลได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การลดเวลาของการปรับตั้งเครื่องจักร (Setup time reduction) การสร้างมาตรฐานงาน(Standardize Work) และการจัดการพื้นที่ทำงาน(Work site control) เป็นต้น ผลของการประยุกต์กับบริษัทที่ศึกษาพบว่า สามารถปรับการวางแผนการผลิตจากการผลิตขนาดใหญ่เป็นการผลิตขนาดเล็ก ปรับกระบวนการผลิตให้ไหลมากขึ้นและนำไปสู่การผลิตแบบทีละชิ้นได้ ผลที่องค์กรได้รับคือ เพิ่มความเชื่อมั่นด้านคุณภาพ ลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าระหว่างทำ ลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป สามารถวางแผนรับงานผลิตได้มากขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้หลากหลายมากขึ้น นำไปสู่ระบบการผลิตแบบดึงต่อไปได้

คำสำคัญ: การผลิตแบบเฮจูกะ การปรับเรียบการผลิต การวางแผนแบบลีน

Abstract

This research aims to improvement a pattern of production planning in order for the Lean Production responding to a reduction of waste in the production process. This research applied a problem solving in the production planning of Auto Part Manufacturer. The implementation process followed Heijuka or Leveled Production which was a way to improvement the production planning. The process started with the improvement of the old production planning of Large Lot Size to be Small Lot Size and used the tool of Lean Production for a Smooth Flow. Then, it was introduce to One Piece Flow. Moreover, the application of lean production tools helped smooth flow in the production process e.g. setup time reduction, standardize work, work site control, etc. The result showed an ability to improvement from the Large Lot size to Small Lot Size, a Smooth Flow of production process leading to One Piece Flow. The organization gained quality reliability, a reduction in Work In Process inventory, a reduction in finish goods inventory, and an ability to handle more news model production. In addition, the organization could respond to a more variety of customers' demands which introduce to Pull System.

Keywords: Heijuka, Leveled Production, Lean Planning

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบของการบริหารการผลิตมีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่องซึ่งเรามีหลักฐานว่าเริ่มตั้งแต่ยุคของการปฏิวัติอุตสาหกรรมซึ่งการปฏิวัติอุตสาหกรรมในยุคต่างๆ นั้นก็จะเป็นไปตามรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงของความต้องการ(Demand)ของลูกค้า ปัจจุบันความต้องการของลูกค้าเปลี่ยนแปลงไป ถือเอาความต้องการของลูกค้า(Customer Needs) เป็นหลัก และระบบของการบริหารการผลิตก็ต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงเพื่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้า

ระบบการผลิตแบบโตโยต้า(Toyota Production System)และระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing System) ก็เป็นระบบของการบริหารการผลิตที่พัฒนาโดยประเทศญี่ปุ่นและเป็นจุดเริ่มต้นของการผลิตตามความต้องการของลูกค้า ผลิตตามจำนวน ปริมาณที่ลูกค้าต้องการไม่ทำการผลิตเผื่อมาก ระดับคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ ปัจจุบันระบบของการผลิตแบบลีนและโตโยต้าอันเนื่องมาจากอุตสาหกรรมการผลิตยานยนต์แล้วยังมีการประยุกต์ไปยังอุตสาหกรรมอื่นที่ต้องการลดความสูญเปล่าต่างๆ ของในองค์กร

บริษัทที่ศึกษาในการทำวิจัยซึ่งเป็นผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ซึ่งจะต้องทำการผลิตและตอบสนองต่อความต้องการที่หลากหลายของลูกค้าและจะต้องพัฒนาปรับปรุงเพื่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้าด้วยเครื่องมือและวิธีการต่างๆ อย่างต่อเนื่อง บริษัทได้มีการพัฒนาเพื่อการนำระบบของการผลิตแบบลีนมาประยุกต์ใช้ในการผลิตและการตอบสนองความต้องการของลูกค้าแต่ก็ยังมีปัญหาของการวางแผนการผลิตที่ยังไม่สามารถทำให้ระบบการผลิตแบบลีนเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นบริษัทจึงต้องปรับปรุงระบบของการวางแผนการผลิตแบบลีนเพื่อให้รองรับกับกระบวนการผลิตและการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าและการแก้ปัญหาในกระบวนการผลิตด้วย

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing System) เกิดขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ.1990 จากหนังสือชื่อ "The Machine That Changed The World" ซึ่งเขียนโดย ศาสตราจารย์ ดร. เจมส์ วอแม็ก แห่ง MIT(Massachusetts Institute of Technology) [1,2] หนังสือเล่มนี้ได้กล่าวถึงการศึกษาวิเคราะห์เปรียบเทียบโรงงานประกอบรถยนต์ของญี่ปุ่น สหรัฐ อเมริกา และยุโรปว่า ทำไมญี่ปุ่นจึงประสบความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจการผลิตรถยนต์มากกว่าสหรัฐอเมริกาและยุโรป ผลการศึกษาพบว่าญี่ปุ่นมีระบบการผลิตที่เรียกว่า "ลีน" นั่นเอง โดยการศึกษาได้ทำขึ้นที่โรงงานผลิตรถยนต์โตโยต้าที่ประเทศสหรัฐอเมริกา

ระบบการผลิตแบบลีนเป็นระบบการผลิตที่สามารถลดต้นทุน ลดความสูญเปล่า และลดความสูญเสียดังกล่าวมาตรฐานการทำงาน และการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง ระบบการผลิตได้ถูกพัฒนาจากระบบการผลิตแบบโตโยต้า (Toyota Production System: TPS) เป็นการพัฒนาด้านการบริหารเวลาและการทำงานโดยลดความสูญเปล่า

(Waste) 7 ประการ ได้แก่ การผลิตเกินความจำเป็น (Over production), ของคงคลัง (Inventory), การเคลื่อนย้าย (Transportation), กระบวนการผลิตที่ไม่จำเป็นหรือไม่เหมาะสม (Inappropriate Processing), ของเสีย (Defect หรือ Rework), การรอคอย (Waiting) และการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น (Motion) เครื่องมือภายใต้ระบบลีน มีหลากหลายอย่างและการประยุกต์นั้นก็จะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสม ผู้วิจัยจะขอยก ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยซึ่งจะเป็นเครื่องมือที่ผสมผสานกันระหว่างเครื่องมือของระบบการผลิตแบบลีนและเครื่องมือของระบบการผลิตแบบโตโยต้า [1,2] ดังต่อไปนี้

- แบบเบงกุกะ(Heijuka)หรือการปรับเรียบการผลิต (Leveled Production) คือระบบของการจัดระบบการผลิตหรือการวางแผนการผลิตที่ทำให้การผลิตแบบสม่ำเสมอของผลิตภัณฑ์และสายการผลิต
- การผลิตขนาดเล็ก(Small lot Size) คือการวางแผนการผลิตกำหนดขนาดหรือปริมาณของการผลิตให้เล็กลงเพื่อให้การผลิตไหลได้มากขึ้น
- การผลิตให้ลื่นไหลมากขึ้น(Smooth flow) คือวิธีการของการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เกิดการไหลลื่นหรือการไหลให้มากที่สุดด้วยเครื่องมือและวิธีการต่างๆ ของระบบลีนเพื่อไม่ให้เกิดการหยุดชะงักของกระบวนการผลิต
- การผลิตได้ทีละชิ้น(One piece flow) คือวิธีการของการผลิตและการส่งต่อในแต่ละกระบวนการทีละหนึ่งชิ้นเป็นหน่วยของการวางแผนการผลิตที่เล็กที่สุดและไม่มีการจัดเก็บสินค้าหรืองานระหว่างกระบวนการ
- การลดเวลาของการปรับตั้งเครื่องจักร(Setup time reduction) คือวิธีการของการลดเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรในการเปลี่ยนรุ่นการผลิตให้รวดเร็วขึ้นและจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต
- การสร้างมาตรฐานงาน(Standardize Work) เป็นวิธีการของการสร้างมาตรฐานของงานที่เป็นมาตรฐานแล้วเพื่อเป็นการรักษามาตรฐานของการทำงานของพนักงานอย่างต่อเนื่อง
- การจัดการพื้นที่ทำงาน(Work Site Control) เป็นวิธีการของการจัดระบบของความเป็นระเบียบของพื้นที่ในการทำงานเพื่อการสะอาด ความปลอดภัย รักษาคุณภาพ และการบังคับต่างๆ ในพื้นที่ในการทำงาน

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านประยุกต์ระบบลีนที่ชัดเจนทั้งเครื่องมือและวิธีการในกระบวนการผลิตดังต่อไปนี้

[3] ได้ทำการวิจัยโดยการนำแนวคิดแบบลีนไปประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีน (Process Reference Model for Lean Manufacturing) ขึ้นในส่วนของการผลิตแบบตามสั่ง (Make-to-Order : MTO) โดยมุ่งเน้นการแปลงแนวคิดแบบลีนให้เป็นแบบจำลองอ้างอิงเชิงลำดับขั้น แบบจำลองอ้างอิงนี้ประกอบด้วยความสัมพันธ์ของ 3 กระบวนการ การจัดการการผลิต, การผลิต และการตรวจสอบ และกิจกรรมย่อยตาม ลำดับการประยุกต์ใช้ [4] ได้ทำการวิจัยประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในอุตสาหกรรมผสม แบบต่อเนื่องและแบบช่วงในกรณีศึกษาโรงงานผลิต

เหล็กรูปพรรณใช้เครื่องมือ การผลิตแบบลีน คือ แผนภูมิสายธารคุณค่าและแบบจำลองสถานการณ์ วิเคราะห์ทางเลือก 3 ปัจจัย ได้แก่ ระบบการผลิต, การบำรุงรักษาแบบทุกคนมีส่วนร่วม และการลดเวลาปรับเปลี่ยนเครื่องจักร จากผลของการจำลองขจัดความสูญเปล่าสามารถลดระยะเวลาการผลิตรวมจาก 16.24 วัน มาเป็น 8.56 วัน หรือคิดเป็นร้อยละ 47.30 และลดสินค้าคงคลังระหว่างกระบวนการจาก 96.35 ตันต่อวัน เหลือ 10.62 ตันต่อวัน หรือคิดเป็นร้อยละ 88.98 จากนั้นนำมาสร้างแผนภูมิสายธารคุณค่าสถานะอนาคต [8] พบว่าการผลิตแบบลีนที่นำมาประยุกต์ใช้กับโรงงานผู้ผลิตที่มีขนาดกลางและเล็ก (Small and Medium Enterprises: SMEs) เครื่องมือที่นำมาประยุกต์ใช้กับการผลิตแบบลีนว่าประกอบด้วยกิจกรรม 5ส. การควบคุมด้วยสายตา (Visual Factory) การใช้เครื่องมือทางด้านคุณภาพ (Quality Tools) การบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยรวม (Total Preventive Maintenance : TPM) การลดเวลาในการติดตั้งเครื่องจักร (Single Minute Exchange of Die : SMED) การจัดสมดุลการผลิต (Work Balancing), การไหลแบบชิ้นเดียว (One-piece-flow), และการใช้ระบบคัมบัง (Kanban System) [5] ได้ทำการวิจัยศึกษาถึงการนำหลักการของลีนไปใช้กับกระบวนการผลิตที่มีลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous Process) ในอุตสาหกรรมเหล็ก โดยเริ่มต้นด้วยการสร้างแผนคุณค่า (Value Stream Mapping) การระบุแหล่งที่มาของของเสีย (Waste) และนำเทคนิคลีนเข้าไปช่วยแก้ไขเพื่อเพิ่มมูลค่าในกระบวนการ แผนที่คุณค่าในอนาคต (Future state map) เพื่อให้การใช้เทคนิคลีนเกิดประโยชน์อย่างมากในการสร้างแผนที่คุณค่า จึงได้นำแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) แบบจำลองสถานการณ์ การใช้ลีนหลาย ๆ ลักษณะ [6] ได้ระบุถึงปัจจัยที่พิจารณาในการใช้หลักการของการผลิตแบบลีนไว้คือ การจัดผังโรงงานที่สนับสนุนการผลิตแบบไหลต่อเนื่อง การใช้ขนาดของเครื่องจักรอย่างเหมาะสมการใช้เทคโนโลยีในการปรับเปลี่ยนการผลิตได้อย่างรวดเร็วการมีอุปกรณ์ป้องกันความผิดพลาด การควบคุมด้วยสายตา (Visual Controls) การบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintainability) และการออกแบบเครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ [7] ได้เสนอแนะการประยุกต์ใช้หลักการแบบลีนโดยการจัดตั้งกลุ่มเพื่อทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง และการฝึกอบรมระบบการควบคุมด้วยสายตาการควบคุมกระบวนการทางสถิติ (Statistic Process Control : SPC) การจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Operation Work) การบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยรวมและการฝึกฝนพนักงานให้มีความสามารถที่หลากหลาย

จากงานวิจัยในการประยุกต์เครื่องมือลีนจะพบว่าเป็นการเน้นการการวิจัยการนำเครื่องมือมาพัฒนาเพื่อในกระบวนการเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตหรือให้เกิดการไหลในการทำงานมากที่สุดและจุดที่สำคัญคือ การวิจัยลีนต่าง ๆ ที่ผ่านมามีพบว่าการวิจัยนี้ยังไม่ได้ครอบคลุมในส่วนของการวางแผนการผลิตแต่ส่วนใหญ่จะดำเนินการเฉพาะในกระบวนการผลิต แต่ในส่วนของการวางแผนการผลิตถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญอย่างมากถ้าหากการวางแผนการผลิตยังวางแผนการ

ผลิตในขนาดการผลิตครั้งละมาก ๆ หรือไม่เหมาะสมก็จะทำให้กระบวนการผลิตต้องใช้เวลานาน (Lead time) ในกระบวนการผลิตยาวนานและการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าล่าช้าได้ หรืออาจเกิดการผลิตและจัดเก็บในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความสูญเสียได้ ดังนั้นการวางแผนการผลิตจึงต้องมีรูปแบบของการวางแผนการผลิตที่จะทำให้กระบวนการผลิตแบบลีนเกิดประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาวินิจฉัยรูปแบบการวางแผนการผลิตเพื่อรองรับกระบวนการผลิตแบบลีนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 วิเคราะห์และศึกษาสภาพปัญหา

การวิเคราะห์และศึกษาข้อมูลขององค์กรโดยวิเคราะห์ข้อมูล การวางแผนการผลิต ปริมาณการขาย จำนวนลูกค้า การปรับแผนแทรกงาน ข้อมูลโดยสรุปดังนี้

- การวางแผนการผลิต ในการวางแผนการผลิตระบบเดิมขององค์กรเริ่มต้นที่ลูกค้าจะมีการให้ข้อมูลของการขายหรือการพยากรณ์ล่วงหน้าอย่างน้อย 3-6 เดือน แล้วทางองค์กรก็นำมาวางแผนการผลิตทำการผลิต จัดเก็บในคลังสำเร็จรูปลูกค้าเรียกในการจัดส่ง ในบางสินค้าลูกค้าอาจมีการเพิ่มปริมาณการผลิต (Ad-Order) ก็จะมีการผลิตเพิ่มเพื่อการจัดส่งลักษณะของการวางแผนดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนการผลิตหลักระบบเดิม

แผนการผลิตหลัก												
ลำดับ	Order Name	ปริมาณ	LT	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR	MR
1	CAPRI	20000										
2	BOSS SCREW	35700										
3	ARMCHAIR	20000										
4	NEW BASKET	45000										
5	PAK CANON II	45000										
6	NEW CAMP	50000										
7	CONCRETE	45000										
8	SPACER	25000										
9	SPACER A II	55000										
10	GE-10-LR	180000										
11	GE-10-FR	180000										
12	GE-10-LR	180000										
13	GE-10-FR	180000										
14	GE-10-LR	180000										
15	GE-10-FR	180000										
16	GE-10-LR	180000										
17	GE-10-FR	180000										

ลักษณะของการวางแผนการผลิตจะวางแผนและทำการผลิตแบบขนาดล็อตใหญ่ (Large lot Size) เพื่อเป็นการผลิตเต็มเข้าไปในคลังสำเร็จรูป จากระบบการวางแผนการผลิตแบบเดิมทำให้กระบวนการวางแผนผลิตและการผลิตเกิดปัญหาในกรณีมีงานแทรกจากลูกค้าหรือมีการเพิ่มปริมาณการผลิตมากขึ้น จะไม่สามารถปรับแผนการผลิตได้หรือทำการรับงานผลิตเพิ่มได้

- ลักษณะคำสั่งการผลิตจะเป็นแบบคงที่ไม่สามารถแทรกคำสั่งเพิ่มเติมได้เพราะจะส่งผลกระทบต่อคลังสำเร็จรูปและการเรียกการจัดส่งจากลูกค้า

- วิเคราะห์ลักษณะปัญหาจะพบว่าการวางแผนการผลิตแบบล็อตใหญ่แล้วจะทำให้เวลาของการผลิตและส่งสินค้า (Lead time) ให้กับลูกค้ายาวนานและถ้าหากเกิดปัญหาในกระบวนการผลิตเช่นเครื่องจักรเสียกะทันหัน เกิดปัญหาคุณภาพ ฯ ก็ส่งผลกระทบต่อ

กระบวนการผลิตทำให้กระบวนการทำงานเกิดการหยุดชะงักงานไม่ไหลอย่างต่อเนื่อง และจะส่งผลกระทบต่อระบบของการบริการ (Service Level) และระดับของการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป

3.2 การประยุกต์วิจัยแก้ปัญหา

การดำเนินการวิจัยเพื่อการแก้ปัญหาจะต้องใช้เครื่องมือในการดำเนินการหลายขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 ศึกษากระบวนการของการผลิตหลักขององค์กร ซึ่งจะพบว่าผลิตภัณฑ์หลักดังตารางที่ 2 จะพบว่ากระบวนการผลิตหลักของทุกผลิตภัณฑ์อยู่ระหว่าง 10 – 12 ขั้นตอน และสามารถแบ่งกระบวนการหลักออกเป็น 5 กลุ่มกระบวนการคือ กลุ่ม 1 กระบวนการเตรียม(ตัดขนาด ยิงทราย ฟอสเฟต รูดผิวด อบ) กลุ่มที่ 2 กระบวนการขึ้นรูป (โดยเครื่องปั๊มขึ้นรูปร้อนหรือหรือขึ้นรูปเย็นขึ้นอยู่กับลักษณะงาน) กลุ่มที่ 3 เจาะ เชื่อม กลุ่มที่ 4 การกลึง CNC และกลุ่มที่ 5 การล้างน้ำมันและการ QC จัดเก็บ

ตารางที่ 2 กระบวนการผลิตของทุกผลิตภัณฑ์

ลำดับ	Order Name	Process												
		ตัดขนาด	ยิงทราย	ฟอสเฟต	อบ	ขึ้นรูป 1	ขึ้นรูป 2	เจาะ	เชื่อม	CNC	ล้างน้ำมัน	QC	บรรจุ	
1	CAP RL	1	2	3	4	5	6	-	7	-	8	9	10	11
2	BOSS SCREW	1	2	3	4	5	6	-	7	-	8	9	10	11
3	แกนเหล็ก VIO	1	2	3	4	5	6	-	7	-	8	9	10	11
4	EVE BOLT	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
5	EVE CON 11	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
6	END GRIP	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
7	CONNECTOR 11	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
8	แกนเหล็ก BIG-M	1	2	3	4	5	6	-	7	-	8	9	10	11
9	SPACER A 11	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
10	GZ-16-LR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
11	GZ-22-FR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
12	GZ-28-LR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
13	GZ-36-FR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
14	GZ-42-FR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
15	GZ-54-LR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
16	GZ-70-FR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
17	GZ-92-LR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11

3.2.2 แบ่งกลุ่มกระบวนการผลิตตามลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการเหมือนกันดังตารางที่ 3 เพื่อง่ายต่อการวางแผนการผลิต และนำไปสู่การจัดวางผังกระบวนการผลิตใหม่ โดยสามารถจัดแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มผลิตภัณฑ์ที่กระบวนการผลิตคล้ายกันใช้เครื่องจักรเหมือนกันและจะง่ายในการกำหนดขั้นตอนการผลิต

ตารางที่ 3 การแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิต

ลำดับ	Order Name	Process												
		ตัดขนาด	ยิงทราย	ฟอสเฟต	อบ	ขึ้นรูป 1	ขึ้นรูป 2	เจาะ	เชื่อม	CNC	ล้างน้ำมัน	QC	บรรจุ	
1	CAP RL	1	2	3	4	5	6	-	7	-	8	9	10	11
2	BOSS SCREW	1	2	3	4	5	6	-	7	-	8	9	10	11
3	แกนเหล็ก VIO	1	2	3	4	5	6	-	7	-	8	9	10	11
4	EVE BOLT	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
5	EVE CON 11	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
6	END GRIP	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
7	CONNECTOR 11	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
8	แกนเหล็ก BIG-M	1	2	3	4	5	6	-	7	-	8	9	10	11
9	SPACER A 11	1	2	3	4	5	6	7	-	8	9	10	11	12
10	GZ-16-LR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
11	GZ-22-FR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
12	GZ-28-LR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
13	GZ-36-FR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
14	GZ-42-FR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
15	GZ-54-LR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
16	GZ-70-FR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11
17	GZ-92-LR	1	2	3	4	5	6	-	7	8	-	9	10	11

3.2.3 คำนวณ Takt time ของทุกผลิตภัณฑ์เพื่อช่วยในการวางแผนการผลิต ตามสูตร

$$\text{Takt time} = \frac{\text{Total Available Production Time Per Day}}{\text{Total Production Requirements Per Day}}$$

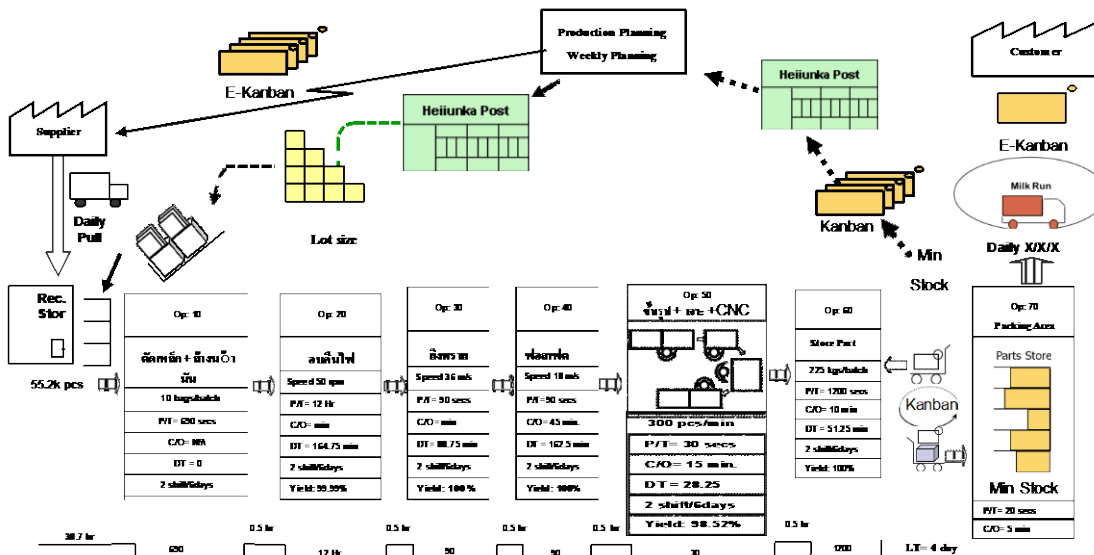
กระบวนการผลิตมีเวลาในการผลิตสุทธิใน 1 วันและ 1 กะ 5 ชั่วโมง 1 สัปดาห์ทำงาน 5-6 วัน 1 เดือนทำงาน 25-26 วัน ดังนั้นการหาค่า Takt time จึงหาได้ ยกตัวอย่างงาน CAP RL เวลาทำงานสุทธิต่อวัน $5 \times 60 \times 60 = 18,000$ วินาที และจำนวนที่ต้องการผลิตต่อวัน $250,000 / 25 = 10,000$ ชิ้นต่อวัน

$$\text{Takt Time} = 18,000 / 10,000 = 1.80 \text{ วินาที/ชิ้น}$$

Takt time ของแต่ละผลิตภัณฑ์ตั้งข้อมูลในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 Takt Time ของผลิตภัณฑ์

ลำดับ	Order Name	ปริมาณ	Takt Time	ลำดับ	Order Name	ปริมาณ	Takt Time
1	CAP RL	250000	1.80	10	GZ-16-LR	100000	4.50
2	BOSS SVREW	357000	1.26	11	GZ-22-FR	100000	4.50
3	แกนเหล็ก VIO	320000	1.41	12	GZ-28-LR	100000	4.50
4	EVE BOLT	450000	1.00	13	GZ-36-FR	100000	4.50
5	EVE CONN 11	450000	1.00	14	GZ-42-FR	100000	4.50
6	END GRIP	500000	1.00	15	GZ-54-LR	100000	4.50
7	CONNE 311	450000	1.00	16	GZ-70-FR	100000	4.50
8	แกนเหล็ก BIG-M	250000	1.80	17	GZ-92-LR	100000	4.50
9	SPACER A 11	550000	0.82				



3.2.4 ใช้การวางแผนแบบเฮจุงกะ(Heijunka) เพื่อการปรับเรียบการผลิต (Leveled Production) ทั้งระบบดังแสดงในผังวิเคราะห์สายธารคุณค่า (Value Stream Mapping; VSM Future State) ด้วยเครื่องมือปรับเรียบแบบเฮจุงกะทั้งระบบ ในขั้นตอนการวางแผนการผลิตหลัก (Production Planning) เพื่อช่วยกำหนดขนาดสั่งผลิตและปรับเรียบในการผลิตการวางแผนการผลิตหลัก โดยจะปรับแผนการผลิตในรอบ สัปดาห์

หลักการการทำงานของระบบการวางแผนแบบเฮจุงกะ เริ่มต้นที่ลูกค้าเรียกการส่งสินค้าด้วยระบบมิลค์รัน (Milk Run)ตามรอบการ จัดส่งแล้วทำการบรรจุจัดส่งให้กับรถของลูกค้า โดยทำการเปิดของจาก คลังแล้วจัดส่งให้ลูกค้าโดยใช้บัตรคัมบัง(Kanban Card) เก็บสะสมที่ตู้ เฮจุงกะ (Heijunka Post) ที่คลังสำเร็จรูป รอกการรวบรวมให้ได้ตาม จำนวน เมื่อจำนวนของสินค้าลดลงถึงจุดที่กำหนดไว้(Minimum Stock) เบื้องต้นได้มีการคำนวณและกำหนดอัตราค่าเผื่อของMinimum stock ที่ 20% และอัตราการบริการลูกค้าได้ 5 วันโดยอัตราการเรียก สินค้าเฉลี่ย 1,000 ชิ้นต่อการส่ง ข้อมูลดังตารางที่ 5 เมื่อระดับสินค้า ลดลงถึงจุดแล้วก็จะทำการส่งบัตร คัมบัง ส่งมารวบรวมที่ฝ่ายวางแผนการผลิตที่ตู้เฮจุงกะ ของฝ่ายวางแผน รอกการวางแผนการผลิตของ ฝ่ายวางแผนการผลิตรอให้จำนวนถึงขนาดมาตรฐานของ Lot Size มาตรฐานซึ่งสามารถกำหนดขนาดของการผลิตแบบขนาดล็อตเล็กใน ขั้นตอนการเตรียมการผลิต(ตัดเหล็ก จนถึงการอบ)หรือเข้าเมื่อเข้าสู่ กระบวนการผลิต(กระบวนการขึ้นรูป 1 ถึงกระบวนการ QC) สามารถ ใช้ขนาดการผลิตแบบไหลที่ละชิ้นได้และใช้แล้วจึงทำการวางแผนและ ทำการสั่งผลิตไปยังกระบวนการและปลายสายการผลิตนั้นแล้วทำการ ผลิตตามจำนวนที่สั่งผลิต เมื่อผลิตเสร็จแล้วก็ทำการส่งไปเติมที่คลัง สำเร็จรูปรอกการเรียกจากจัดส่งต่อไป

ตารางที่ 5 กำหนดจำนวนMinimum Stock ระดับของการจัดเก็บและ กำหนดของการเรียกส่งของลูกค้า

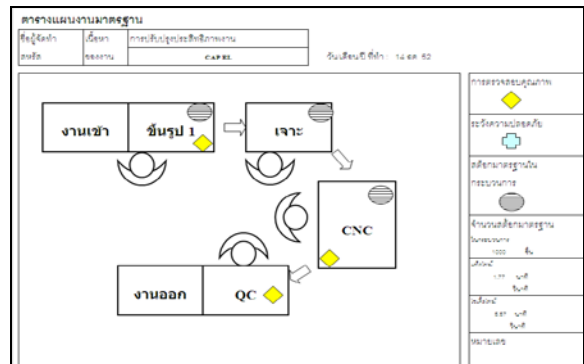
ลำดับ	Order Name	ปริมาณ	Minumum Stock	การเรียกส่ง/วัน	% การจัดเก็บ
1	CAP RL	250000	5000	1000	20
2	BOSS SVREW	357000	5000	1000	14
3	แกนเหล็ก VIO	320000	2000	1000	6
4	EVE BOLT	450000	5000	1000	11
5	EVE CONN 11	450000	5000	1000	11
6	END GRIP	500000	5000	1000	8
7	CONNE 311	450000	5000	1000	9
8	แกนปีกนก BIG-M	250000	2000	1000	10
9	SPACER A 11	550000	5000	1000	10
10	GZ-16-LR	100000	10000	2000	10
11	GZ-22-FR	100000	10000	2000	10
12	GZ-28-LR	100000	10000	2000	10
13	GZ-36-FR	100000	10000	2000	10
14	GZ-42-FR	100000	10000	2000	10
15	GZ-54-LR	100000	10000	2000	10
16	GZ-70-FR	100000	10000	2000	10
17	GZ-92-LR	100000	10000	2000	10

3.2.5 เปลี่ยนการผลิตแบบขนาดล็อตใหญ่(Large lot Size)เป็นการ วางแผนผลิตขนาดล็อตเล็กลง(Small lot Size)

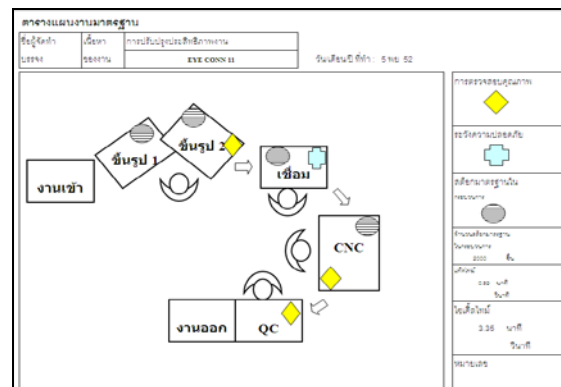
- อัตราการเรียกการส่งงานจากลูกค้า(Milk Run)

- กำหนดระดับของระดับการจัดเก็บที่คลังสำเร็จรูป (Minimum Stock) เพื่อกำหนดจุดในการสั่งผลิตหรือนำไปสู่การรวมการสั่ง การผลิตที่ตู้เฮจุงกะ
- กำหนดขนาดล็อตการผลิตมาตรฐาน โดยพิจารณาเวลานำของ การผลิต(Process time)ของแต่ละผลิตภัณฑ์เพื่อการควบคุมและ การลดเวลาของการผลิตในกระบวนการผลิต

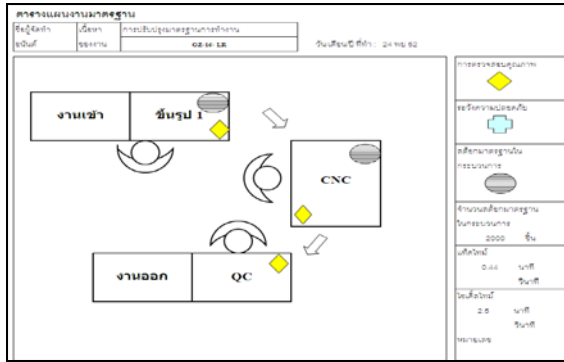
3.2.6 จัดการผลิตให้ลื่นไหลมากขึ้น(Smooth flow) โดยการปรับปรุงผัง กระบวนการผลิตที่เป็นคอขวดของกระบวนการเป็นแบบเซลล์ลูล่า (Cellular) มีการลดเวลาของการปรับตั้งเครื่องจักร(Setup time reduction) การสร้างมาตรฐานงาน(Standardize Work) และจัดทำ ระบบมาตรฐานและการจัดการพื้นที่ทำงาน (Work site control) เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมการทำงานได้อย่างเป็นมาตรฐาน มีความปลอดภัย รักษาระดับคุณภาพและรวมถึงการจัดการพนักงานได้ ด้วย โดยทำดำเนินการในแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนตั้งแต่ขั้นรูป1 ขึ้นรูป2 เจาะ เชื่อม CNC ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่มประกอบด้วย 1)CAP RL, BOSS SCREW, แกนเหล็ก VIGO,แกนปีกนกBIG-M 2)EYE BOLT, EYE CONN11, END GRIP, CONNECTOR311, SPACER A11 3)GZ-16- LR,GZ-22- FR,GZ-28- LR,GZ-36- FR,GZ-42- FR,GZ-54- LR,GZ-70- FR,GZ-92 – LR



รูปที่ 2 ผังกระบวนการผลิตแบบ Cellular ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ 1



รูปที่ 3 ผังกระบวนการผลิตแบบ Cellular ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ 2



รูปที่ 4 ผังกระบวนการผลิตแบบ Cellular ของกลุ่มผลิตภัณฑ์ 3

3.2.7 เพื่อให้สามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตให้สามารถผลิตชิ้นไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถปรับการผลิตจากล็อตผลิตใหญ่ปรับลดเป็นการผลิตล็อตเล็กและยังสามารถทำการวางแผนการผลิตให้ชิ้นไหลด้วยการผลิตแบบไหลที่ละชิ้นได้

4. ผลของการวิจัย

จากผลของการดำเนินการวิจัยในการปรับปรุงการวางแผนการผลิตเพื่อให้กระบวนการสามารถผลิตและลดความสูญเปล่าตามหลักการของการผลิตแบบลีนนั้น โดยการดำเนินการจะเน้นการปรับปรุงและปรับเปลี่ยนรูปแบบของการวางแผน การผลิตโดยลดจากการผลิตแบบล็อตใหญ่แล้วเก็บที่คลังเป็นการผลิตเพื่อเติมในคลัง (Part Control) อย่างต่อเนื่องและสามารถทำให้เวลาของกระบวนการผลิต (Process Time) สั้นลงทำให้ลดระยะเวลาของการผลิตและเติมเข้าสู่คลังสำเร็จรูปเร็วขึ้น จากข้อมูลการผลิต 7 เดือน ผลของการดำเนินการพบว่า

- 1) ลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าระหว่างทำ (WIP) โดยเฉลี่ยจากเดิมประมาณ 55,000 ชิ้น ลดลงเป็น 25,000 ชิ้น หรือเฉลี่ยแล้วลดลงประมาณ 45 % ของทุกผลิตภัณฑ์
- 2) ลดอัตราส่วนปริมาณการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป (Finished Goods) ที่คลังสำเร็จรูปสามารถลดลงจากเดิม 30-35% และสามารถลดลงเป็น 15-20%
- 3) สามารถลดเวลานำของการผลิตจากกระบวนการผลิตไปยังคลังสำเร็จรูปต่อการจัดส่ง ของกลุ่มผลิตภัณฑ์หลัก จากเดิมต้องใช้เวลาผลิต 7 วัน ลดเหลือ 4 วัน
- 4) เพิ่มความเชื่อมั่นด้านคุณภาพ ก่อนการดำเนินการวิจัยบริษัทได้รับผลการประเมินความพึงพอใจอยู่ที่ระดับ 65-70 % หรือระดับ B หลักจากการดำเนินการวิจัยพบว่าผลการประเมินความพึงพอใจจากลูกค้าอยู่ที่ระดับ 80-85% หรือระดับ A

5. สรุปและวิจารณ์ผล

จากผลของการดำเนินการวิจัยนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีนเพื่อลดความสูญเปล่าในกระบวนการผลิต โดยการดำเนินการจะเน้นการเปลี่ยนรูปแบบของ

การวางแผนการผลิตเป็นแบบการวางแผนการผลิตแบบลีนใช้หลักการแบบ เฮจุงกะ (Heijunka) หรือ การปรับเรียบ การผลิต (Leveled Production) การปรับการวางแผนการผลิตแบบเดิมที่ผลิตแบบขนาดใหญ่ (Large lot Size) ปรับเป็นการวางแผนผลิตขนาดเล็ก (Small lot Size) และทำการปรับปรุงด้วยเครื่องมือของระบบการผลิตแบบลีนเพื่อให้เกิดการผลิตให้ลื่นไหลมากขึ้น (Smooth flow) และหลังจากนั้นทำการปรับลดให้เป็นกระบวนการผลิตได้ทีละชิ้น (One piece flow) นอกจากนี้ยังประยุกต์เครื่องมือระบบการผลิตแบบลีนช่วยให้กระบวนการผลิตไหลได้อย่างต่อเนื่องเช่นการลดเวลาของการปรับตั้งเครื่องจักร (Setup time reduction) การสร้างมาตรฐานงาน (Standardize Work) และการจัดการพื้นที่ทำงาน (Work site control) เป็นต้น ผลการดำเนินการทำให้องค์กรสามารถลดความสูญเปล่าขององค์กรเช่นลดปริมาณการจัดเก็บสินค้าระหว่างกระบวนการ (WIP) ลดอัตราส่วนปริมาณการจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป (Finish Goods) ที่คลังสำเร็จรูป เพิ่มจำนวนของลูกค้าและยังสามารถเพิ่มความพึงพอใจจากลูกค้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] โกลด ดีศีลธรรม. เพิ่มศักยภาพการแข่งขันด้วยแนวคิดแบบลีน. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ ฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2547.
- [2] นิพนธ์ บัวแก้ว. รู้จักระบบการผลิตแบบลีน. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ:สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.
- [3] อรรถพรธนะ วนะชกิจ. การพัฒนาแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการสำหรับการผลิตแบบลีน.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.
- [4] พงษ์พิพัทธ์ โพธิ์ราพรธนะ. การประยุกต์ใช้การผลิตแบบลีนในอุตสาหกรรมแบบผสม (แบบต่อเนื่อง- แบบช่วง) : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตเหล็กรูปพรรณ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548.
- [5] Fawaz Abdullah. Lean Manufacturing Tools and Techniques in The Process Industry with a Focus on Steel. (Ph.D. Dissertation, University of Pittsburgh, 2003) Available online at <http://etd.library.pitt.edu/ETD/available/etd-05282003-114851/unrestricted/Abdullah.pdf>
- [6] Linker Jerry. Harbour. The basics of Performance measurement. USA : Productivity Press Inc.,1997.
- [7] Mathew, Z. J. Broughman, D. J. and Hancock, W. M. Lean Manufacturing Yields World-Class improvements for Small Manufacturer. IIE Solution, April 977:36-40
- [8] Spann, M. Adams, M. and Rahman, M. Transferring Lean Manufacturing to Small Manufacturers: The Role of NIST-MEP. University of Alabama in Huntsville, 1997 : 1-4.

การวิเคราะห์สมรรถนะระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติในอาคารคลังสินค้า
โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ด้วยการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย

Performance Analysis of Automatic Sprinkler System in Logistic Center of Automotive part
Manufacturing using Fire Dynamics Simulation

ศราวดี บำรุงรส¹ อนุวัฒน์ อรรถไชยวุฒิ² สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: sarawadee.b@ku.th*

Sarawadee Bumrungs¹, Anuwat Attachaiyawuth², Supat Patvichaichod³

¹Safety Engineering and Environmental Management Program, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

³Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

E-mail: sarawadee.b@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมรรถนะของระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติของอาคารคลังสินค้าของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่งในจังหวัดระยอง ซึ่งเป็นอาคารเก็บสินค้าและวัตถุดิบ พื้นที่ 10,078 m² สูง 2 m. ผู้วิจัยใช้ซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ในการจำลองเสมือนจริงด้านพลศาสตร์อัคคีภัยด้วยโปรแกรม Pyrosim ในการทดสอบสมรรถนะของระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติว่ามีสมรรถนะเพียงพอหรือไม่ โดยการจำลอง 4 สถานการณ์และพิจารณาตามมาตรฐาน NFPA 101 Life Safety Code เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการพังถล่มของโครงสร้างหลังคา สถานการณ์ A เกิดเหตุเพลิงไหม้ที่โต๊ะ Final inspect สถานการณ์ B เกิดเหตุไฟไหม้จากอุบัติเหตุรถยกชนกับรถขนส่งสินค้าและน้ำมันดีเซลรั่วไหลออกมาซึ่งมีประกายไฟทำให้ไฟไหม้ สถานการณ์ C เพลิงไหม้เนื่องจากมีการทิ้งก้นบุหรี่ใกล้ๆ กับเชื้อเพลิงที่อยู่ใต้ชั้นวางซึ่งหัวจ่ายน้ำดับเพลิงบนเพดานทำงานไม่ทั่วถึง และสถานการณ์ D เกิดไฟฟ้าลัดวงจรในสำนักงานคลังสินค้าซึ่งระบบอุปกรณ์ตรวจจับไม่ทำงาน จากผลการวิจัยพบว่าระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติที่ออกแบบติดตั้งในอาคารคลังสินค้ามีสมรรถนะเพียงพอและสามารถดับเพลิงไหม้ได้อีกทั้งยังควบคุมอุณหภูมิไม่ให้เกินอุณหภูมิทนไฟของเหล็กคานรับน้ำหนักของหลังคาตามมาตรฐาน ASTM E119 ซึ่งเป็นสาเหตุของการพังทลายของโครงสร้างหลังคา

คำสำคัญ: สมรรถนะของระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ, การป้องกันความเสียหายของโครงสร้าง

Abstract

This researched to study the performance of automatic sprinkler system at Logistic center of automotive part manufacturing In Rayong. The building storage area as 10,078 m², height 12 m. In order to study the performance of the automatic sprinkler system the research applied software computer program which Fire Dynamics Simulation by the Pyrosim program for simulating fires efficiency test of the sprinkler system. In this light simulation 4 scenarios following to NFPA 101 Life Safety Code and study the temperature affecting the collapse of the roof. A situation: The fire occurred at the Final inspection area, B situation: fire accident from accident between forklift and truck led to diesel fuel leakage and fire sparks. C situation; The fire caused by the a cigarette butt nearby with fuel being an under the shelf which the fire sprinkler heads on the ceiling do not work thoroughly. D situation; The fire occurred due to a short circuit at office and the detector didn't work. By the way according to the research, it was found that the automatic sprinkler system installed designed at the Logistic center applicable to control or suppress the fire and suitable control the fire resistance rating of steel beam in accordance with ASTM E119 standard, which is the main cause of the collapse of roof structure.

Keywords: Performance of automatic sprinkler system, Prevent the damage of structure

1. บทนำ

ปัญหาไฟไหม้เป็นภัยร้ายเพราะเมื่อเกิดเหตุไฟไหม้ขึ้นแล้วสิ่งที่สูญเสียไปไม่สามารถนำกลับมาได้ทั้งชีวิตของพนักงาน ทรัพย์สิน โดยเฉพาะการเกิดไฟไหม้ในโรงงาน และคลังสินค้าขนาดใหญ่ซึ่งเป็นอาคารประกอบกิจการที่มีเครื่องจักร สินค้ามูลค่าสูงกว่า 100 ล้านบาท นอกจากนี้อาจรวมไปถึงมูลค่าทางธุรกิจที่ไม่สามารถประเมินค่าได้ [1] จากข้อมูลสรุปสถิติการเกิดอุบัติเหตุปี พ.ศ.2563 ข้อมูลกองส่งเสริมเทคโนโลยีความปลอดภัยโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ.2563(ม.ค.-ธ.ค. 2563) มีจำนวนอุบัติเหตุทั้งหมด 54 ครั้งตามประเภทอุบัติเหตุเกี่ยวกับอัคคีภัย จำนวน 42 ครั้ง คิดเป็นร้อยละ 77.78 จากปัญหาดังกล่าวจึงเกิดความสนใจที่จะทำการศึกษามรรณะของหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติของอาคารคลังสินค้า(Logistic Center) ที่มีการจัดเก็บสินค้าก่อนขนส่งทางถนน ซึ่งทางโรงงานมีความตระหนักเรื่องความปลอดภัยต่ออัคคีภัยจึงวางแผนติดตั้งระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติในอาคารคลังสินค้าภายในปี 2566

อย่างไรก็ตามทางโรงงานไม่ได้มีการทบทวนสมรรถนะของระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติที่ออกแบบติดตั้งทำให้ผู้วิจัยได้ตั้งข้อสังเกตว่าหากโรงงานไม่มีการประเมินสมรรถนะของระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงที่ติดตั้งภายในอาคารคลังสินค้าจะทำให้โรงงานไม่ทราบวาระระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงมีความเหมาะสม เพียงพอหรือไม่กับลักษณะการใช้งานของพื้นที่ในปัจจุบัน

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิเคราะห์สมรรถนะของระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติด้วยแบบจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยที่เหมาะสมสำหรับอาคารคลังสินค้าของโรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์แห่งหนึ่ง และการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการพังทลายของหลังคาเป็นการป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นต่อทรัพย์สิน

2. เพื่อทดสอบขีดความสามารถของหัวจ่ายน้ำดับเพลิงในอาคารคลังสินค้าในกรณีที่มีการจัดเก็บสินค้าเต็มพื้นที่ภายในอาคาร

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้ผู้วิจัยมุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบสมรรถนะของหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติโดยการใช้โปรแกรมทางพลศาสตร์อัคคีภัย(Fire Dynamic Simulator : FDS) โปรแกรม Pyrosim ในการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้และศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อการทนไฟของเหล็กคานรับน้ำหนักของหลังคาตามมาตรฐาน ASTM E119 [2] ซึ่งเป็นสาเหตุของการพังทลายของโครงสร้างหลังคาเพื่อป้องกันความเสียหายกับโครงสร้างและทรัพย์สิน

3.1 ระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ (Automatic Sprinkler System) เป็นระบบที่สำคัญที่ได้รับความนิยมในการป้องกันและระงับอัคคีภัยที่ใช้งานอย่างแพร่หลาย การติดตั้งระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิง

อัตโนมัติที่สำคัญและพื้นที่นั้นมีความเสี่ยงต่อการเกิดอัคคีภัยตามกฎหมายได้กำหนดให้มีการติดตั้งระบบดับเพลิงอัตโนมัติต้องเป็นไปตามมาตรฐานกำหนดและมาตรฐานความปลอดภัยที่เกี่ยวข้อง เช่น มาตรฐานการป้องกันอัคคีภัยของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (EIT Standard) และ NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems โดยการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิงจะต้องติดตั้งให้เหมาะสมกับระดับความเป็นอันตรายของพื้นที่นั้นๆ ซึ่งตาม NFPA13 [3] ได้แบ่งพื้นที่ครอบครองออกเป็น 3 ประเภทคือ 1. พื้นที่ครอบครองอันตรายน้อย (Light Hazard) การจัดเก็บวัตถุที่มีอยู่ในพื้นที่ไม่ใช่สารไวไฟไม่สามารถลุกติดไฟได้เอง เช่น ที่พักอาศัย สำนักงานทั่วไป ฯลฯ 2. พื้นที่ครอบครองอันตรายปานกลาง (Ordinary Hazard) เป็นวัตถุที่มีหรือมีการใช้งานที่มีความสามารถในการติดไฟในระดับปานกลาง และไม่เป็นวัตถุระเบิด เช่น ห้องแสดงรถยนต์ ที่จอดรถ โรงงานผลิตทั่วไป โรงงานผลิตเครื่องบริโภค, สำนักงานที่เป็นอาคารสูงและอาคารขนาดใหญ่, ซูเปอร์สโตร์ที่เก็บสินค้าสูงไม่เกิน 3.6 เมตร ฯลฯ เป็นต้น, และ 3. พื้นที่ครอบครองอันตรายมาก (Extra Hazard) เป็นพื้นที่ที่มีหรือมีการใช้งานวัตถุไวไฟ วัตถุที่สามารถระเบิดได้และวัตถุที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน เช่น โรงหล่อด้วยแบบโลหะ ขึ้นรูปโลหะ, โรงเก็บและซ่อมเครื่องบิน, พื้นที่ที่ใช้งานโดยมีของเหลวไฮดรอลิกติดไฟได้, โรงงานสิ่งทอ, อุตสาหกรรมพลาสติก ฯลฯ เป็นต้น

3.2 การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยโดยใช้โปรแกรมจำลองทางพลศาสตร์อัคคีภัย (Fire Dynamic Simulator, FDS)

ศึกษาการเคลื่อนที่ของไฟเมื่อเกิดอัคคีภัยในลักษณะต่างๆ โดยใช้หลักการ Computational Fluid Dynamics Model (CFD) มาสร้างภาพจำลองเสมือนจริงด้านพลศาสตร์อัคคีภัยในคอมพิวเตอร์ ต่อมาทางสถาบัน National Institute of Standards and Technology (NIST) ได้พัฒนาโปรแกรมและเรียกโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นว่าโปรแกรม Fire Dynamics Simulator (FDS) ซึ่งโปรแกรม FDS นี้มีการนำไปประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง เช่น การศึกษาพัฒนาตัวการเคลื่อนที่ของไฟและควัน การศึกษาการออกแบบระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้และระบบดับเพลิงอัตโนมัติ การศึกษาผลกระทบของอัคคีภัยต่อโครงสร้างของอาคาร การศึกษาการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีของไฟ เป็นต้น

ในประเทศไทยนักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้โดยใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์อัคคีภัยในการจำลองเวลาตอบสนองของหัวจ่ายน้ำดับเพลิงด้วยโปรแกรม FDS ด้วยการควบคุมให้อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิทำงานของหัวจ่ายน้ำดับเพลิงเปลี่ยนแปลงไปตามเหตุการณ์[4], และการกำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้เพื่อศึกษามรรณะของระบบดับเพลิงที่มีอยู่ และการหาแนวทางในการปรับปรุงสมรรถนะของระบบดับเพลิงให้ดีขึ้น เพื่อลดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินลงได้,การจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยสำหรับอาคารคลังสินค้า [5] และยังมีงานวิจัยอีกมากมายด้านการจำลองทางพลศาสตร์อัคคีภัย

3.3 โปรแกรม Pyrosim

โปรแกรม Pyrosim เป็นโปรแกรมจำลองพลศาสตร์อรรถกษิยอุณหพลศาสตร์ในการศึกษาการเผาไหม้และการถ่ายเทความร้อนเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถจำลองเหตุการณ์การเกิดเพลิงไหม้ เป็นแนวทางการในการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างแบบจำลองจริง ช่วยให้เกิดความปลอดภัย อีกทั้งสามารถวิเคราะห์และตัดสินใจได้ว่าสถานการณ์เพลิงไหม้ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้นมีความรุนแรงอยู่ในระดับใด และจะทำการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการด้านความปลอดภัยจากอรรถกษิยของพื้นที่นั้นๆ การใช้โปรแกรม Pyrosim [6] ดำเนินการตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) การกำหนดขนาดโครงข่าย (Mesh) ในการจำลองทางพลศาสตร์อรรถกษิยจะดำเนินการภายในโครงข่ายที่กำหนด วัตถุและจุดเกิดเพลิงไหม้ จะถูกประมวลผลโดยอัตโนมัติซึ่งการกำหนดขนาดโครงข่ายมีผลต่อการจำลองการเกิดเพลิงไหม้ซึ่งการใช้สูตรการคำนวณจะทำให้ได้ขนาดแบบหยาบ แบบปานกลางและแบบละเอียดแตกต่างกันไปซึ่งงานวิจัยนี้ ได้กำหนดขนาด Mesh แบบหยาบเท่ากับ 0.5

2) การกำหนดวัตถุ (Materials) พื้นผิวของวัตถุ (Surfaces) และคุณสมบัติทางพลศาสตร์อรรถกษิยที่ใช้ในการจำลอง โดยเฉพาะคุณสมบัติของเชื้อเพลิงที่ถูกเผาไหม้

3) สร้างแบบจำลองอาคารหรือพื้นที่ที่ต้องการทำการศึกษาโดยใช้เครื่องมือต่างๆ ที่อยู่ในโปรแกรมซึ่งสามารถแสดงผลแบบ 2 มิติหรือ 3 มิติ เพื่อให้เหมือนกับโครงสร้างจริงของอาคาร

4) การกำหนดการเกิดปฏิกิริยา (Reactions) โดยโปรแกรมจะมีข้อมูลให้เลือกใช้เพื่อกำหนดคุณสมบัติที่สำคัญของการเกิดการเผาไหม้ ดังนั้น ข้อมูลสูตรทางเคมีของเชื้อเพลิงอุณหภูมิมิลูกติดไฟ อัตราการปลดปล่อยความร้อน เป็นต้น

5) การติดตั้งอุปกรณ์ (Devices) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งในการสร้างแบบจำลองเพื่อบันทึกและสามารถแสดงผลการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ได้เสมือนจริง เช่น หัวกระจายน้ำดับเพลิง (Sprinklers), อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermocouples), แผ่นวัดความดัน, อุณหภูมิและทิศทางการไหล (Slice planes) เป็นต้น

6) การระบายความร้อน (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) หรือ HVAC เป็นระบบการติดตั้งอุปกรณ์ช่วยระบายความร้อน ได้แก่ ท่อ, จุดติดตั้งพัดลมดูดและระบายควัน, พัดลมระบายอากาศและตัวกรองต่างๆ เป็นต้น เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงพื้นที่เกิดอรรถกษิยได้

7) การแสดงผลข้อมูล (Output Controls) ผู้ใช้งานสามารถกำหนดให้มีลักษณะการแสดงผลข้อมูลได้ตามความต้องการโดยใช้คำสั่งในเมนูแสดงผล (Output) ได้แก่

7.1) แผ่นวัดความดัน, อุณหภูมิและทิศทางการไหล (Slice planes) แสดงผลโดยใช้เมนู Smoke view

7.2) ขอบเขตการแสดงผล (Boundary quantities) เช่น แสดงอุณหภูมิที่ผนัง แสดงผลโดยใช้เมนู Smoke view

7.3) การแสดงผลแบบ Iso surfaces ใช้เพื่อแสดงผลการเกิดเพลิงไหม้แบบสามมิติแสดงปริมาณก๊าซจากการเผาไหม้ ข้อมูลนี้สามารถแสดงผลภาพเคลื่อนไหวโดยใช้เมนู Smoke view

4. การดำเนินงานวิจัย

จากปัญหาที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น รวมถึงวัตถุประสงค์การดำเนินการวิจัยสามารถกำหนดวิธีการดำเนินงานวิจัยดังนี้

4.1 การสร้างแบบจำลองพลศาสตร์อรรถกษิย

โดยการศึกษาโครงสร้างอาคารจากอาคารจริงและแบบแปลนที่วิศวกรลงนามใช้ในการก่อสร้างระบบดับเพลิงอัตโนมัติของอาคารคลังสินค้า

1) ลักษณะอาคาร เป็นอาคารชั้นเดียวแบ่งพื้นที่สำหรับจัดเก็บวัตถุดิบเพื่อการผลิตคือชั้นส่วนยานยนต์ที่เป็นชั้นงานพลาสติกประเภท ABS, PCV เป็นต้น มีพื้นที่ 10,078 ตารางเมตร ความสูง 12 เมตร โครงสร้างหลังคาโล่งไม่มีฝ้าเพดาน มีการจัดเก็บสินค้าหนาแน่นเต็มพื้นที่มีการจัดวางมีทั้งแบบชั้นวาง 3 ชั้น, การวางแบบวางชั้นวางแบบชั้นเดียว และการวางบนพาเลท อาคารที่วิจัยนี้จัดเป็นประเภทพื้นที่ครอบครองแบบพื้นที่อันตรายมากกลุ่มที่ 1 (Extra Group 1) เนื่องจากเป็นพื้นที่เก็บสินค้าก่อนข้างหนาแน่น

2) อาคารคลังสินค้าก่อสร้างในปี 2555 แต่ยังไม่ได้ติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงตามมาตรฐานการป้องกันอรรถกษิยและกฎหมาย ซึ่งโรงงานมีความตระหนักถึงความเสี่ยงต่ออรรถกษิยจึงพิจารณาจัดสรรงบประมาณและทำการออกแบบติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติให้เป็นไปตามมาตรฐาน วสท.1004-16 สุขภาพและการป้องกันอรรถกษิย [7]

3) มีผู้ปฏิบัติงานในอาคาร 120 คน เป็นพนักงานคลังจัดสินค้านำมีการใช้รถฟอร์คลิฟท์ยกขึ้นรถบรรทุกและจัดส่งให้กับลูกค้าเวลาปฏิบัติงานกะกลางวัน 08.00-17.30น.กะกลางคืน 20.00-05.30 น.

4.2 การกำหนดขนาดโครงข่าย (Mesh)

ขนาดของ Mesh มีผลต่อความละเอียดในการจำลองพลศาสตร์อรรถกษิย การคำนวณขนาดของ Mesh (dx) จะอ้างอิงตามค่า D* คือ characteristic fire diameter ซึ่งหาได้จากสมการ

$$D^* = \left(\frac{Q}{\rho C_p T_0 \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad (1)$$

กำหนดให้ Q คือ อัตราการปลดปล่อยความร้อนของเพลิง (heat release rate, HRR) ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (air density) Cp คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ (air specific heat) T₀ คือ อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ (ambient temperature) และ g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (gravity acceleration)

ขนาดและจำนวนของ Mesh ที่มีความละเอียด จะสามารถแสดงผลได้เหมือนจริง โดยขนาดของ Mesh แบ่งเป็น 3 ชนิด ได้แก่ แบบหยาบ (Course), แบบปานกลาง (Moderate) และแบบละเอียด (Fine) สำหรับงานวิจัยนี้ ได้เลือกขนาด Mesh แบบหยาบเท่ากับ 0.5 เนื่องจากพื้นที่ศึกษามีขนาดใหญ่ และใช้เวลาในการประมวลผลของโปรแกรมในแต่ละสถานการณ์เฉลี่ยประมาณ 120 ชั่วโมง

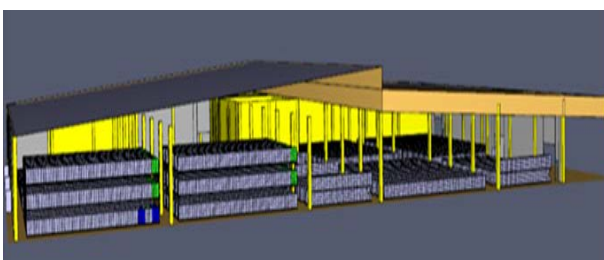
4.3 การกำหนดลักษณะวัตถุและพื้นผิวของวัตถุ

การกำหนดคุณสมบัติของวัตถุและพื้นผิวของวัตถุที่นำมาเป็นส่วนประกอบของแบบจำลองแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน โดยโปรแกรมได้มีการสร้างรายการวัตถุในเลือกใช้ในเมนู Material และ Surface โดยแบบจำลองอาคารในงานวิจัยนี้ ได้กำหนดวัตถุและพื้นผิวของวัตถุ ดังตารางที่ 1 ตารางกำหนดลักษณะวัตถุและพื้นผิวของวัตถุ

ตารางที่ 1 ตารางกำหนดลักษณะวัตถุและพื้นผิวของวัตถุ

ส่วนประกอบของอาคารและวัตถุ	ประเภทวัสดุพื้นผิวของวัตถุ
พื้นอาคาร	CONCRETE
ผนังอาคาร	CONCRETE
หลังคา/โครงสร้าง	STEEL
ชั้นวาง	STEEL
พาลาท	WOOD / PLASTIC PVC
กล่อง	WOOD
สินค้าชั้นงาน	ABS, PVC, PP

สำหรับแบบจำลองอาคารคลังสินค้าดังรูปที่ 1 โดยกำหนดขนาด Mesh ครอบคลุมเฉพาะจุดที่ต้องการศึกษา



รูปที่ 1 แบบจำลองอาคารคลังสินค้า (Logistic center)

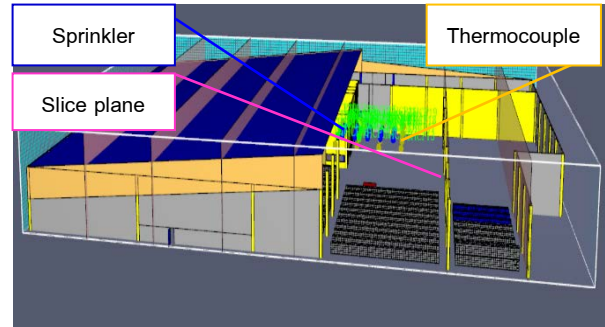
4.4 การกำหนดตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) อุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลม (Slice plan) และหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Fire Sprinkler)

1) อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)

ติดตั้งบริเวณใต้คานเหล็ก ห่างกัน 5 เมตร ดังรูปที่ 2 ตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermocouples) และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลม (Slice plans)

2) ตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลม (Slice plans)

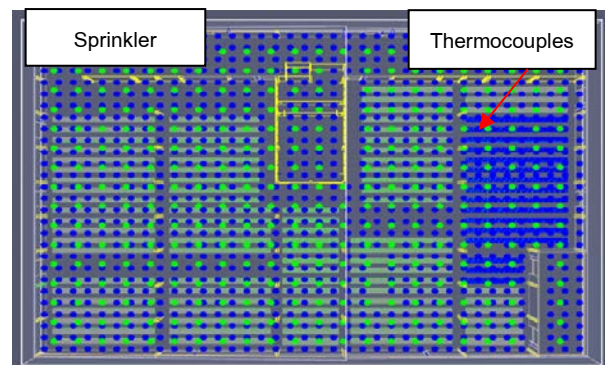
ติดตั้งบริเวณคานเหล็ก, แนวประตูทางออกและจุดเกิดเพลิงไหม้ ดังรูปที่ 2 ภาพตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermocouples) และอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลม (Slice plans) สำหรับป้องกันการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลม (Slice plans) ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermocouples) และตำแหน่งของอุปกรณ์ตรวจวัดความเร็วลม (Slice plans)

3) หัวกระจายน้ำดับเพลิง (Fire Sprinkler) ติดตั้งตามแบบของ

อาคารคลังสินค้า โดยมีระยะห่างของแต่ละหัว เท่ากับ 3 เมตรและระยะห่างระหว่างแนวท่อ เท่ากับ 3 เมตร ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งของการติดตั้งหัวกระจายน้ำดับเพลิง (Sprinkler)

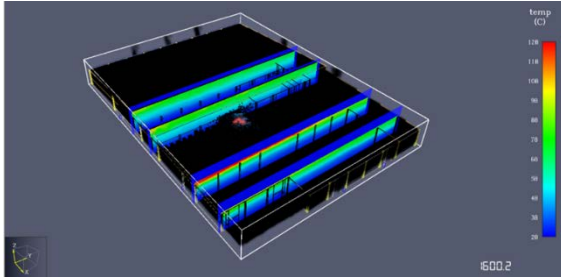
4) การกำหนดสถานการณ์และตำแหน่งของเพลิงไหม้ ผู้วิจัย

ได้กำหนดสถานการณ์เกิดเหตุเพลิงไหม้ในกรณีต่างๆ โดยพิจารณาตามมาตรฐาน NFPA 101 Life Safety Code และเลือกสถานการณ์ A,B,C และ D ที่อาจเกิดขึ้นได้ในอาคารคลังสินค้าเพื่อทำการศึกษสมรรถนะของหัวกระจายน้ำดับเพลิงตามขนาดของไฟ เชื้อเพลิงและแหล่งต้นเพลิง ซึ่งได้ผลดังนี้

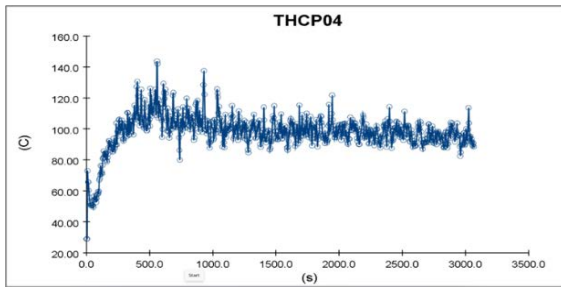
5.ผลการวิจัย

สถานการณ์ A เกิดไฟฟ้าลัดวงจรทำให้เกิดไฟไหม้ที่โต๊ะตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานไฟไหม้สินค้าสำเร็จรูปประเภทชิ้นงานพลาสติก ขนาดของเพลิงไหม้ 6 m² อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่แหล่งกำเนิดเพลิงไหม้ 3,405 kW/m² ซึ่งหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานอย่างรวดเร็ว

จนกระทั่งระยะเวลาผ่านไป คิวไฟได้ปกคลุมไปทั่วทั้งพื้นที่อาคารแต่ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงยังคงทำงานอยู่ แต่อุณหภูมิภายในอาคารลดต่ำลงเรื่อยๆ ซึ่งอ่านค่าได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งไว้ที่บริเวณคานเหล็กที่เป็นส่วนของโครงสร้างหลังคาซึ่งแสดงให้เห็นถึงหัวกระจายน้ำดับเพลิงสามารถควบคุมเพลิงไหม้ไว้ได้แล้ว ดังรูปที่ 4 กราฟอุณหภูมิของคานเหล็ก รูปที่ 5

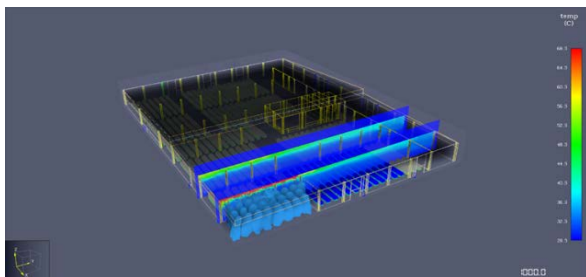


รูปที่ 4 การทดสอบแบบจำลองในโปรแกรม Pyrosim สถานการณ์ A

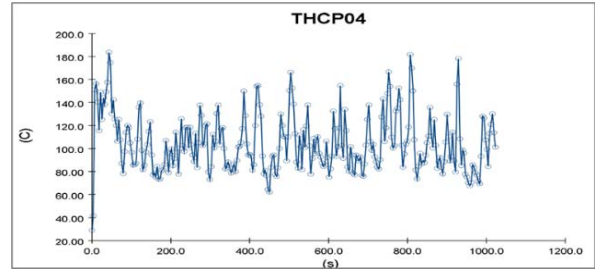


รูปที่ 5 กราฟอุณหภูมิบริเวณคานเหล็ก (THCP04) กับระยะเวลาในการเกิดเพลิงไหม้ตามสถานการณ์ A ที่เวลา 3,000 วินาที

สถานการณ์ B เกิดอุบัติเหตุรถยกชนกับรถส่งสินค้าทำให้น้ำมันดีเซลรั่วไหลออกมา และมีประกายไฟจากกันบูหรือที่ทิ้งไว้ในพื้นที่ทำให้เกิดไฟไหม้และลุกลามไปยังสินค้าที่อยู่ใกล้เคียง อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่แหล่งกำเนิดเพลิงไหม้ 2,403 kW/m² จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปพบว่าอุณหภูมิภายในอาคารลดต่ำลงสามารถอ่านค่าได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งไว้บริเวณคานเหล็ก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงระบบหัวจ่ายน้ำดับเพลิงสามารถควบคุม หรือระงับเหตุเพลิงไหม้ได้แล้วโดยพิจารณาดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7

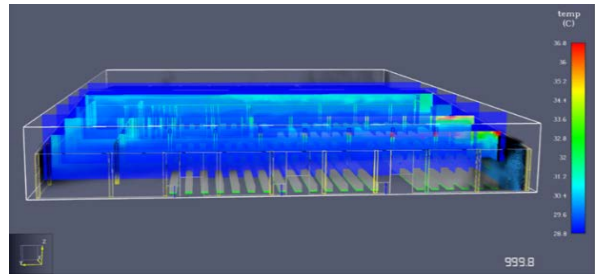


รูปที่ 6 การทดสอบแบบจำลองในโปรแกรม Pyrosim สถานการณ์ B

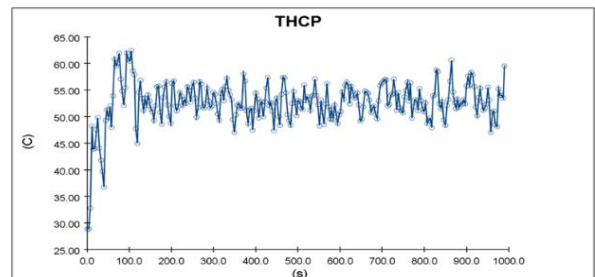


รูปที่ 7 กราฟอุณหภูมิบริเวณคานเหล็ก (THCP04) กับระยะเวลาในการเกิดเพลิงไหม้ตามสถานการณ์ B ที่เวลา 1,000 วินาที

สถานการณ์ C เกิดเพลิงไหม้เนื่องกันบูหรือที่ทิ้งไว้ใกล้ๆ กับเชื้อเพลิงที่เป็นสินค้าที่อยู่ใต้ชั้นวาง ซึ่งหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ด้านบนเพดานดับเพลิงได้ไม่ทั่วถึง อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่แหล่งกำเนิดเพลิงไหม้ 365 kW/m² จำลองเหตุเพลิงไหม้และอุณหภูมิของอุปกรณ์ดังรูปที่ 8 และรูปที่ 9

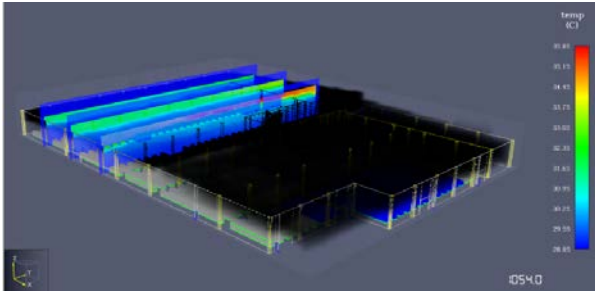


รูปที่ 8 การทดสอบแบบจำลองในโปรแกรม Pyrosim สถานการณ์ C

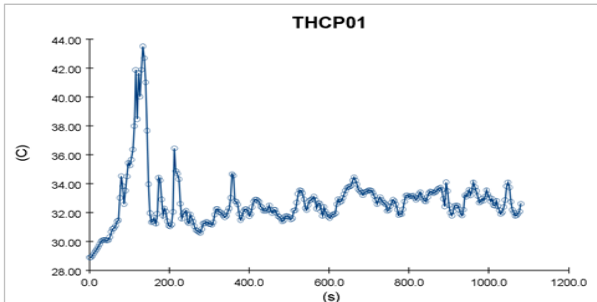


รูปที่ 9 กราฟอุณหภูมิเหล็ก (THCP) สถานการณ์ C

สถานการณ์ D เกิดเหตุไฟไหม้เนื่องจากไฟฟ้าลัดวงจรโต๊ะทำงานในห้องสำนักงานคลังสินค้าซึ่งระบบตรวจจับควันและความร้อน (Smoke detector) ไม่ทำงานทำให้ไฟไหม้ลุกลามไปยังเชื้อเพลิงที่เป็นชิ้นงานพลาสติกที่นำมาเตรียมทำ Packing Standard ส่งลูกค้าที่วางอยู่ใกล้เคียง อัตราการปลดปล่อยความร้อนที่ 365 kW/m² โดยพบว่าระยะเวลาผ่านไป 1,000 วินาทีที่ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ติดตั้งบริเวณฝ้าเพดานทำงาน จากนั้นอุณหภูมิภายในอาคารลดต่ำลงสามารถอ่านค่าได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิที่ติดตั้งไว้บริเวณฝ้าเพดานดังแสดงในรูปที่ 10 และรูปที่ 11



รูปที่ 10 การทดสอบแบบจำลองในโปรแกรม Pyrosim สถานการณ์ D



รูปที่ 11 กราฟอุณหภูมิเหล็ก(THCP1) สถานการณ์ D

6. สรุป

จากผลการวิจัยศึกษาสมรรถนะของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงที่ออกแบบติดตั้งในอาคารสินค้าโดยใช้โปรแกรมพลศาสตร์อัคคีภัย FDS ครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดค่าอัตราการปลดปล่อยความร้อนของเชื้อเพลิงในโปรแกรมแบบสูงสุดตั้งแต่เกิดเหตุการณ์ไฟไหม้โดยไม่ได้ตั้งค่า Ramp-up time ทำให้เกิดปฏิกิริยาเพลิงไหม้อย่างรวดเร็วในทุกสถานการณ์ A,B,C และ D อีกทั้งพบว่าระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงทำงานอย่างรวดเร็วในเวลาไม่กี่วินาที และพบว่าสมรรถนะเพียงพอสามารถดับเพลิงไหม้ได้อย่างรวดเร็ว

ในด้านการควบคุมและลดอุณหภูมิขณะเกิดเพลิงไหม้พบว่าทุกสถานการณ์ระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงสามารถทำได้ดีสามารถควบคุมอุณหภูมิบริเวณคานเหล็กให้มีอุณหภูมิไม่เกินอุณหภูมิสูงสุดของเหล็กที่ใช้เป็นคานรับน้ำหนักส่วนบนของโครงสร้างอาคารตามมาตรฐาน ASTM E119 ซึ่งกำหนดไว้ที่ 538 องศาเซลเซียส

7. ข้อเสนอแนะ

การศึกษาสมรรถนะหัวกระจายน้ำดับเพลิงภายในอาคารคลังสินค้าด้วยการใช้โปรแกรมจำลองพลศาสตร์อัคคีภัยเพื่อทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์ระบบเหตุฉุกเฉินที่มีอยู่แล้วหรือที่กำลังก่อสร้างติดตั้งเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระงับเหตุเพลิงไหม้ทำให้เห็นประสิทธิภาพของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงซึ่งสามารถช่วยลดความเสียหายต่อทรัพย์สินรวมถึงลดโอกาสการเสียชีวิตลงได้

การใช้โปรแกรมจำลองทางพลศาสตร์อัคคีภัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับทุกประเภทอาคาร เช่น อาคารสูง อาคารขนาดใหญ่

ที่มีการติดตั้งและยังไม่มีติดตั้งระบบป้องกันและระงับอัคคีภัย ทำให้สามารถทวนสอบระดับความรุนแรงหากเกิดเพลิงไหม้ และปรับปรุงด้านความปลอดภัยให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. สรุปรายงานการตรวจสอบและการสอบสวนอุบัติเหตุและอุบัติภัยในโรงงานอุตสาหกรรม. 2563. แหล่งที่มา <http://reg3.diw.go.th/safety/wp-content/uploads/2021/05/accident-2563.pdf>
- [2] White, R. H., & Nordheim, E. V. (1992). Charring rate of wood for ASTM E 119 exposure. *Fire technology*, 28(1), 5-30.
- [3] Mayer, N., Parisian, K., & Gleason, A. (2010). NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems. National Fire Protection Association.
- [4] กฤตกร วัฒนดำรงสุข, ประทีป ชัยเสริมเทวัญ, & ผศ.ดร.สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ. (2560). การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิงในอาคารจัดเก็บยางรถยนต์
- [5] เพ็ญนุราช โนนสวาท, ผศ.ดร.สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ. (2561). การวิเคราะห์สมรรถนะหัวกระจายน้ำดับเพลิงอัตโนมัติ ด้วยการจำลองพลศาสตร์อัคคีภัย
- [6] Thunderhead Engineering. (2019). PyroSim User Manual. <https://www.thunderheadeng.com/>, March3, 2020.
- [7] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมโยธา 2527-2528. มาตรฐาน ว.ส.ท. 1004-16 มาตรฐานการเดินท่อภายในอาคาร พิมพ์ครั้งที่ 4. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. 2527-2528

การจัดแนวเส้นทางเฮลิคอปเตอร์สำหรับตรวจสอบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงด้วยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดย วิธีกลุ่มอนุภาค

Helicopter Arc Routing for High Voltage Transmission Line Inspection with Optimization by Particle Swarm Optimization

สิปณัติ จานทอง¹, คมกฤต เล็กสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail: onlynooy150@gmail.com*

Sippanat Chanthong¹, Komgrit Leksakul

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chiang Mai University

E-mail: onlynooy150@gmail.com*

บทคัดย่อ

สายส่งไฟฟ้าเป็นตัวกลางหนึ่งที่ใช้ในการรับและส่งกระแสไฟฟ้าจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่งหนึ่ง และช่วยป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าสายส่งไฟฟ้าที่ใช้จำเป็นที่จะต้องมีความปลอดภัยที่ดีและมีประสิทธิภาพเพื่อให้ไฟฟ้ามีความสมดุลต่อการผลิตและการใช้งาน ดังนั้นต้องมีการตรวจสอบและบำรุงรักษาสายส่งให้มีความพร้อมใช้งานอยู่เสมอ การตรวจสอบสภาพสายส่งไฟฟ้าแรงสูงด้วยเฮลิคอปเตอร์จึงจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดแผนการดำเนินงานที่เหมาะสมเพื่อลดภาระด้านต้นทุนค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ประกอบการตัดสินใจในการจัดแนวเส้นทางเฮลิคอปเตอร์สำหรับตรวจสอบสภาพสายส่งไฟฟ้าแรงสูงของผู้ให้บริการบำรุงรักษาสายส่งในเขตพื้นที่ภาคเหนือ และเพื่อประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคในการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งผลการทดสอบจากวิธีตรงสามารถหาค่าตอบได้ในกรณีตัวอย่างขนาดเล็กไม่ซับซ้อนมากจนเกินไป แต่ต้องใช้เวลาคำนวณประมวลผลสำหรับกรณีตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องใช้วิธีกลุ่มอนุภาคในการหาค่าตอบต่อไป

คำสำคัญ: สายส่งไฟฟ้าแรงสูง เฮลิคอปเตอร์ ปัญหาการจัดแนวเส้นทางแบบมีความจุ วิธีกลุ่มอนุภาค

Abstract

Transmission lines serve as a medium for transmitting and receiving electricity from one source to another, while also helping to prevent electrical hazards. To maintain a balance between electricity generation and use, high-quality and efficient transmission lines are essential. Regular inspection and maintenance of the transmission lines are necessary to ensure their availability. However, inspecting high-voltage transmission lines by helicopter can be costly, and therefore, it is necessary to establish a suitable action plan to reduce the operating costs. The purpose of this research is to develop a mathematical model to aid decision-making in helicopter route alignment for inspecting the conditions of high-voltage transmission lines, particularly for transmission line maintenance service providers in the northern areas. To solve such problems, the particle group method will be applied. While the direct method can find answers for small and uncomplicated samples, it is time-consuming for larger samples. Hence, the particle group method is preferred for more complex scenarios.

Keywords: High voltage transmission line, Helicopter, Capacitated arc routing problem, Particle swarm optimization

การเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0 Preparation for Warehouse 4.0 Readiness

กษิภา สุทธิวิริยะกุล^{1*} จิรพรรณ เลี้ยงโรคาพาธ²

¹กลุ่มสาขาวิชาโลจิสติกส์และระบบขนส่งทางราง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

²สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: Kasi989auto@gmail.com*

Kasika Soottiviriyakul^{1*}, Jirapan Liangrokapart²

¹Cluster of Logistics and Rail Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University

E-mail: Kasi989auto@gmail.com*

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเตรียมความพร้อมสู่การเป็นคลังสินค้า 4.0 เกี่ยวกับความสำคัญและความพร้อมหรือการนำไปใช้งานได้จริงของกรณีศึกษา โรงงานผลิตรสารให้ความหวานในประเทศไทยแห่งหนึ่ง ที่มีการลงทุนคลังสินค้าอัตโนมัติ (ASRS : Auto Storage Retrieve System) โดยการเก็บข้อมูลจากแบบสอบถาม 100 คน โดยเก็บข้อมูลจากผู้บริหารและพนักงาน ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับโรงงานอุตสาหกรรม และมีแผนจะลงทุนในระบบอัตโนมัติในอนาคต งานวิจัยนี้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติ ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสำคัญและความพร้อมหรือการนำไปใช้งานได้จริง โดยใช้ Importance Performance Analysis (IPA) ผลการวิจัยพบว่า การวิเคราะห์และได้ข้อมูลแบบเรียลไทม์และตัดสินใจแบบทันทีทันใด การวางแผนการเก็บและจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้สูงสุด การเชื่อมต่อ หรือทำงานร่วมกัน ทั้งระบบด้วย IoT เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความสำคัญและความพร้อม ในภาพรวมเป็นส่วนที่มีความสำคัญสูงแต่สถานะองค์กรปัจจุบันมีความพร้อมหรือมีการนำไปใช้งานได้จริงต่ำ (High Importance Low Performance) กล่าวคือเป็นปัจจัยที่ควรให้ความสำคัญเป็นอย่างมาก ต้องมีการเตรียมความพร้อมค่อนข้างมากนั่นเอง

คำสำคัญ: คลังสินค้า 4.0 การเตรียมความพร้อม Importance-Performance Analysis กรณีศึกษา

Abstract

The objective of this study is to prepare a company for Warehouse 4.0 Readiness focusing on the importance and performance of the case study. A Maltodextrin factory in Thailand which has an investment in automated warehouses (ASRS: Auto Storage Retrieve System) was used as a case study 100 Participants. The factory's executives and employees who work in the industry in which plan to invest in automation in the future were the responds in the research questionnaire, including means, standard deviations, and the comparisons, were designed for data collection and statistics the scores for importance and performance or actual implementation for Importance Performance Analysis (IPA). The research found that Real Time Data analytics and decisions making. Planning to design Engineering Data and Correct. Connectivity everything with IoT to collaboratives.

Keywords: Warehouse 4.0, Preparation, Readiness, Importance-Performance Analysis, Case Study

1. บทนำ

จากแผนนโยบาย ยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ที่ต้องการขับเคลื่อนธุรกิจให้สามารถแข่งขันกับต่างประเทศได้ กรณีศึกษามีการผลิตแบบอัตโนมัติอยู่แล้ว แต่คลังสินค้าเป็นแบบแมนนวล (Manual) คือใช้การจัดการโดยคนหรือพนักงาน ทำให้สินค้าเกิดการสูญหาย ส่งถึงมือลูกค้าปลายทางขาด หรือ เกินจำนวนที่ลูกค้าสั่ง ทำให้ระดับความพึงพอใจของลูกค้าลดลง นอกจากนี้การเก็บข้อมูลยังต้องใช้พนักงานพิมพ์ใส่เข้าไปในระบบ ทำให้ข้อมูลไม่เป็นแบบเรียลไทม์ (Real Time) เกิดเป็นปัญหาขอขวดที่คลังสินค้า ดังนั้นผู้บริหารเล็งเห็นว่าควรจะมีการนำคลังสินค้าอัตโนมัติมาใช้ เพื่อแก้ปัญหาขอขวดที่คลังสินค้าดังกล่าว อีกทั้งแก้ปัญหาสินค้าสูญหาย และสร้างระดับความพึงพอใจให้แก่ลูกค้าได้อีกด้วย ระบบการเก็บและเบิกจ่ายสินค้าอัตโนมัติ Auto Storage Retrieve System (ASRS) ถือเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย แต่เงินลงทุนค่อนข้างสูง จึงควรเตรียมความพร้อมก่อนการติดตั้ง จึงเกิดคำถามงานวิจัยนี้ขึ้น ได้แก่ 1. มีปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลต่อการเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0 และ 2. การเตรียมความพร้อมให้สำเร็จสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0 ควรทำอย่างไร

ผลจากนโยบายไทยแลนด์ 4.0 หลายองค์กรต้องปรับตัว ยอมรับนวัตกรรมและนำเทคโนโลยีมาปรับใช้ แต่การนำระบบมาใช้ มักไม่ค่อยประสบผลสำเร็จ อุตสาหกรรม 4.0 สร้างปัญหาและเป็นอุปสรรคให้กับองค์กรมากกว่าจะเป็นประโยชน์ หากการวางแผนและการจัดการไม่ดีพอ เนื่องจากความไม่รู้ ความไม่เข้าใจ ความไม่พร้อมขององค์กร รวมไปถึงการเชื่อมโยงของระบบใหม่ที่นำมาใช้ [1] หลักการของการนำเทคโนโลยี ASRS เพื่อให้เกิดคลังสินค้า 4.0 มาปรับใช้ในอุตสาหกรรมเป็นเรื่องที่ยากและซับซ้อน เป็นผลจากการขาดการวางแผน ขาดกลยุทธ์หรือทิศทางการดำเนินการ ขาดความเข้าใจในระบบการทำงานแบบระบบอัตโนมัติ Real time เมื่อเทียบผลที่ได้รับกับเงินลงทุน และ

ผลกำไร ทำให้เห็นความล้มเหลวบ่อยครั้ง ดังนั้นจึงควรมีการเตรียมความพร้อมที่จะนำเทคโนโลยีให้ดีขึ้นก่อนการใช้จ่ายจริง เพื่อให้เกิดเป็นอุตสาหกรรม 4.0 [2] การนำเทคโนโลยี อุตสาหกรรม 4.0 มาใช้เพื่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงในองค์กร การประเมินความพร้อม โดยปกติแล้วจะดูจากสถานการณ์ปัจจุบันขององค์กร โมเดลการประเมินความพร้อมของ อุตสาหกรรม 4.0 จึงช่วยให้องค์กรต่างๆ ตัดสินใจในสถานะของความพร้อมในการปรับตัวขององค์กรนั้นๆ ได้ การเตรียมขั้นต้นที่จะทำได้ และแผนการดำเนินโครงการ เป็นส่วนที่จะสร้างให้เกิดผลกำไรได้ถ้ามีการเตรียมความพร้อมไว้ล่วงหน้า [3]

แต่งงานวิจัยที่มีอยู่แสดงให้เห็นจุดอ่อนและข้อเสียหลายประการ ดังนั้นจึงมีความต้องการแบบจำลองประเมินความพร้อมเพื่อปรับใช้ในอุตสาหกรรม 4.0 [4] ในด้านแนวทางการเตรียมความพร้อม มีหลากหลายกลยุทธ์ เช่นกลยุทธ์ด้านการแข่งขันในภาพรวมขององค์กร การเปลี่ยนแปลงด้านโครงสร้าง ด้านเทคโนโลยีในทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ มีการทำงานให้ทันสมัย ประกอบกับบุคลากรต้องมีทักษะและความสามารถ ด้านทัศนคติ เป็นต้น [5] แนวทางการวัดความพร้อมของอุตสาหกรรม เกิดจากการเปรียบเทียบระหว่างสภาวะในอุดมคติ และสถานการณ์ปัจจุบันของบริษัท เพื่อความเป็นไปได้ที่จะระบุการดำเนินการด้านการจัดการเพื่อให้เกิดความพร้อม [6]

วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาปัจจัยการเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0
2. เพื่อเป็นแนวทางสำหรับองค์กรหรือบริษัท ที่สนใจเตรียมความพร้อมสู่การเป็นคลังสินค้า 4.0 ต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรมในช่วงปี ค.ศ. 2016-2021 จำนวน 20 ฉบับ แสดงในตารางที่ 1 สำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0 ประกอบด้วย 15 ปัจจัยตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปัจจัยที่มีผลต่อการเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0 [1-20]

No.	ปัจจัย การเตรียมความพร้อมอุตสาหกรรม 4.0	เทคโนโลยี	บุคลากร	โครงสร้างองค์กร	ข้อมูล	การเชื่อมต่อ	กระบวนการ	ดิจิทัล	ซอฟต์แวร์	ระบบอัตโนมัติ	โรงงานอัจฉริยะ	ไอโอที IoT	ข้อมูลขนาดใหญ่	ระบบไซเบอร์- กายภาพ	ผลิตภัณฑ์ อัจฉริยะ	ปัญญาประดิษฐ์
1	Athos, P. (2019)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
2	Basl, J. (2018)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
3	Bastos, A. (2017)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
4	Chaopanicharoen , S. (2018)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
5	Chiarello, F. (2018)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
6	Chinachoti, P. (2019)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
7	Indrawan, H. (2019)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
8	Lakmali, E. (2020)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
9	Lucato, W. (2019)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
10	Machado, C. (2019)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
11	Mittal, S. (2018)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
12	Nick, G. (2019)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
13	Nick, G. (2021)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
14	Phungphol, W. (2018)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
15	Rajnai, Z. (2018)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
16	Samaranayake, P. (2017)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
17	Schuh, G. (2020)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
18	Schumacher, A. (2016)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
19	Trstenjak, M. (2019)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
20	Vik, J. (2021)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
	รวม	20	20	19	19	18	18	17	17	15	14	13	13	12	10	10

1. เทคโนโลยี (Technology) คือ วิทยาการที่นำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ มาทำให้เกิดการพัฒนาในโลกของความเป็นจริง ทางอุตสาหกรรม หรือสังคม อื่นๆ
2. บุคลากร (Human / People) คือ ผู้บริหาร พนักงานหรือ ผู้ปฏิบัติงาน ผู้วางแผน ผู้ใช้ รวมถึงผู้ที่นำความคิดหรือเทคโนโลยี มาทำให้เกิดรูปธรรมต่างๆ ปรับใช้ในองค์กรนั้นๆ
3. โครงสร้างองค์กร (Organization) คือ ตัวกำหนดพฤติกรรมของคนในองค์กร
4. ข้อมูล (Data) คือ ข้อเท็จจริง ที่นำมาให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการสื่อสาร การแปลความหมาย และการประมวลผล ซึ่งข้อมูลอาจจะได้มาจากการสังเกต การรวบรวม การวัดข้อมูล เป็นได้ทั้งข้อมูลตัวเลข ภาพ เสียง หรือสัญลักษณ์ใด ๆ ซึ่งตัวอย่างของข้อมูล เช่น จำนวน การเก็บสต็อกสินค้า ยอดขาย จำนวนส่งออก เป็นต้น
5. การเชื่อมต่อ (Connectivity) คือ การทำให้การไหลสมบูรณ์ ไม่ว่าจะ เป็นสิ่งของที่จับต้องได้ หรือ ข้อมูล มีการเชื่อมต่อกันอย่างสมบูรณ์ และไหลลื่นเป็นอย่างดี อาจจะเป็นการสื่อสารทางกายภาพ หรือการเชื่อมต่อผ่านเทคโนโลยี เช่น คลาวด์ หรือ ไอโอที เป็นต้น

6. กระบวนการ (Process) คือ กิจกรรมที่เชื่อมโยงกัน เพื่อจุดมุ่งหมายในการส่งมอบ ผลผลิตหรือบริการให้แก่ผู้รับบริการและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ทั้งภายในและภายนอก ทำงานร่วมกันตามขั้นตอนหรือการปฏิบัติการที่กำหนดไว้
7. ดิจิทัล (Digital) คือเชิงเลข มีความหมายโดยนัยว่าเป็นระบบอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ใช้สัญญาณ หรือทำงานด้วยสัญญาณที่มีลักษณะเป็นเลขโดด (digit) เป็นวิธีแทนความหมายของข้อมูลหรือชิ้นงานต่างๆในรูปแบบของตัวเลข โดยเฉพาะเลขฐานสอง ที่ไม่ต่อเนื่องกัน ซึ่งต่างจากระบบแอนะล็อก
8. ซอฟต์แวร์ (Software) คือ ลำดับขั้นตอนการทำงานที่เขียนขึ้นด้วยคำสั่งของคอมพิวเตอร์ หรือชุดคำสั่งหรือโปรแกรมใช้สั่งงานให้คอมพิวเตอร์ทำงาน
9. ระบบอัตโนมัติ (Automation) คือ การใช้เทคโนโลยีให้ทำงาน หรือหน้าที่ต่างๆได้โดยไม่ต้องมีคนช่วยเหลืออยู่เบื้องหลัง หรือมีคนช่วยเหลือเป็นจำนวนน้อยที่สุด ทำซ้ำแบบเดิมๆ ได้ แต่ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
10. โรงงานอัจฉริยะ (Smart Factory) คือ การนำเอาเทคโนโลยี IoT และปัญญาประดิษฐ์ (AI) เข้ามาช่วยในการทำงาน เพื่อเพิ่มความ

สะดวก เป็นระบบอัตโนมัติมากขึ้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้การ
ผลิตมีคุณภาพ ทั้งด้านการตรวจวัด การจัดเก็บและประมวลผล
ตลอดจนการวิเคราะห์ อนาคตหรือกระบวนการที่เหมาะสม

11. ไอโอที IoT (Internet of Thing) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถ
เชื่อมโยงรับส่งข้อมูล ควบคุมหรือสั่งการด้วยระบบอินเทอร์เน็ต

12. ข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลขนาดใหญ่
ทั้งข้อมูลที่มีโครงสร้างและไม่มีโครงสร้าง

13. ระบบไซเบอร์-กายภาพ (Cyber-physical system) คือ การผนวก
เชื่อมต่อ หรือบูรณาการร่วมกันระหว่างโลกกายภาพกับโลกไซเบอร์

14. ผลิตภัณฑ์อัจฉริยะ (Smart Product) คือ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการ
ใช้นวัตกรรมในการ วิจัยและพัฒนา กระบวนการผลิต จัดจำหน่ายและ
บริการหลังการขาย เพื่อมอบประสบการณ์ที่ดีที่สุดให้ลูกค้า

15. ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial intelligence : AI) คือ ความฉลาดเทียม
ที่สร้างขึ้นให้กับสิ่งไม่มีชีวิต หรือเครื่องจักรให้มีความสามารถ เรียนรู้ ทำ
ความเข้าใจ ให้เหตุผล แนะนำ และสามารถแก้ปัญหาได้

ปัจจัยอื่นๆ ที่ไม่ได้รวมในงานวิจัยนี้ ได้แก่ การบูรณาการทั้ง
แนวนอนและแนวตั้ง (Vertical-Horizontal Integration), คลาวด์คอมพิ
วติง (Cloud Computing), แมชชีนทูแมชชีน (Machine to Machine ,
M2M) เป็นต้น

จากการทบทวนวรรณกรรมที่สำคัญของการเป็นคลังสินค้า 4.0 ที่
นำมาปรับใช้ในบริบทของผู้วิจัย สามารถจัดกลุ่มเป็น 5 ด้าน และมี
ปัจจัยย่อยแสดงตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จัดกลุ่มปัจจัยตามบริบทของผู้วิจัย

กลุ่ม	ปัจจัย
1. ด้านเทคโนโลยี	เทคโนโลยี, ดิจิทัล, ไอโอที, ระบบไซ เบอร์-กายภาพ
2. ด้านทรัพยากรบุคคล หรือบุคลากร องค์กร	บุคลากร, โครงสร้างองค์กร
3. ด้านกระบวนการ	กระบวนการ, ระบบอัตโนมัติ, โรงงาน อัจฉริยะ, ผลิตภัณฑ์อัจฉริยะ
4. ด้านเนื้อหาหรือข้อมูล	ข้อมูล, การเชื่อมต่อ, ซอฟต์แวร์, ข้อมูล ขนาดใหญ่, ปัญญาประดิษฐ์
5. ด้านปัจจัยเฉพาะของ คลังสินค้า	คลังสินค้าอัตโนมัติ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

โดยขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

1. ทบทวนวรรณกรรม
2. คัดเลือกปัจจัยจากงานวิจัยการเตรียมความพร้อม Industrial 4.0 นำ
ปัจจัยดังกล่าวปรับให้เป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เป็นคลังสินค้า 4.0
3. สอบถามผู้เชี่ยวชาญ ทำการยืนยันและเพิ่มเติมปัจจัยการเตรียม
ความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0

4. ทำแบบสอบถามใช้เครื่องมือ IPA Analysis (Importance-Perform-
-ance Analysis)

5. วิเคราะห์ผล

6. สรุปผล

เมื่อดำเนินการทำวิจัยตามขั้นตอนที่ 1 และ 2 ขั้นตอนที่ 3 คือการนำ
ปัจจัยที่ได้ไปยืนยันความถูกต้องกับผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่านที่มี
ประสบการณ์ในการลงทุนระบบ ASRS เมื่อได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
ครบถ้วน ก็ทำตามขั้นตอนที่ 4 โดยทำแบบสอบถาม และนำ
แบบสอบถามไปถามกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่มจำนวน 100 คน เป็นการ
เลือกกลุ่มตัวอย่างแบบสุ่มตามวัตถุประสงค์ (Purposive Sampling)
[21] โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ทำงานเกี่ยวข้องกับโรงงานอุตสาหกรรม
กรณีศึกษา และมีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 5 ปีขึ้นไป โดย
แบบสอบถามใช้เครื่องมือ IPA Importance-Performance Analysis ซึ่ง
เป็นหลักการของ Martilla และ James 1977 [22] และหลักการการ
พัฒนาระบบขนส่งของประเทศของ Javad Esmailpour ปี 2020 [23]
โดยตัวอย่างแบบสอบถามใส่ไว้ในภาคผนวก โดยพิจารณาคะแนน 2
ส่วน คือ ค่าความสำคัญ Importance ให้เกณฑ์คะแนน 5 เมื่อเห็นว่า
ปัจจัยนั้นๆ มีความสำคัญมากที่สุด 4 มีความสำคัญมาก 3 มีความสำคัญ
ปานกลาง 2 มีความสำคัญน้อย 1 มีความสำคัญน้อยที่สุด และส่วนของ
Performance คือมีความพร้อม หรือสถานะปัจจุบันขององค์กรมีการ
นำไปใช้ได้จริงอยู่ในระดับใด ให้เกณฑ์คะแนน 5 คือมีความพร้อมหรือมี
การนำไปใช้ได้จริงมากที่สุด 4 มีความพร้อมหรือมีการนำไปใช้ได้จริง
มาก 3 มีความพร้อมหรือมีการนำไปใช้ได้จริงปานกลาง 2 มีความพร้อม
หรือมีการนำไปใช้ได้จริงน้อย 1 มีความพร้อมหรือมีการนำไปใช้ได้จริง
น้อยที่สุด นำค่าที่ได้ เปรียบเทียบในตาราง IPA Analysis

หลักการ IPA Analysis เป็นพื้นฐานของการวิจัยที่มีส่วนประกอบ
ของคุณลักษณะที่หลากหลาย โดยทำการเปรียบเทียบ ความสำคัญกับ
ความพร้อม ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสมมติฐานการให้ความสำคัญ เทียบกับ
ความพร้อมในธุรกิจของผู้ตอบแบบสอบถาม เทคนิค IPA เป็นที่นิยม
และถูกนำมาใช้ในการบริหารจัดการในหลากหลายอุตสาหกรรม รวมถึง
การวิเคราะห์จุดแข็ง จุดอ่อนของสินค้า บริการ ผลที่ได้สามารถนำไป
วางแผนกราฟสองมิติ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 Importance Performance Analysis (IPA)

การแปลความหมายของแต่ละช่อง ดังนี้

ช่องที่1 A - Concentrate here หมายถึง คุณลักษณะของปัจจัยนั้นมีความสำคัญมาก แต่ในองค์กร หรือธุรกิจของผู้ตอบแบบสอบถาม ยังมีความพร้อมน้อย หรือยังไม่ได้มีการนำไปใช้งานได้จริง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเตรียมความพร้อมในส่วนนี้มาก หรือ ต้องให้ความสนใจ หรือควรเตรียมความพร้อมเป็นลำดับแรก

ช่องที่2 B- Keep up to good work หมายถึง คุณลักษณะของปัจจัยนั้นมีความสำคัญมาก และในองค์กร หรือธุรกิจของผู้ตอบแบบสอบถามมีความพร้อมหรือมีการนำไปใช้งานได้ดี ดังนั้นจึงควรรักษาระดับของปัจจัยดังกล่าวไว้

ช่องที่3 C – Low Priority หมายถึง คุณลักษณะของปัจจัยนั้นมีความสำคัญน้อย และในองค์กร หรือธุรกิจของผู้ตอบแบบสอบถาม ยังมีความพร้อมน้อย หรือยังไม่ได้มีการนำไปใช้งานได้จริง ดังนั้นไม่มีความจำเป็นต้องมีการเตรียมความพร้อมในส่วนนี้ หรือหมายความว่าไม่ต้องให้ความสำคัญในปัจจัยในส่วนนี้เลยในช่วงแรก

ช่องที่4 D- Possible Overkill หมายถึง คุณลักษณะของปัจจัยนั้นมีความสำคัญน้อย แต่ในองค์กร หรือธุรกิจของผู้ตอบแบบสอบถาม มีความพร้อมมากหรือมีการนำไปใช้งานโดยเป็นปัจจัยที่ไม่สำคัญ ถือว่ามี ความพร้อมมากเกินไปจนจำเป็น หรือมีความพร้อมมากแต่เป็นสิ่งที่ไม่สำคัญนั่นเอง

ตามแสดงในตารางที่2 โดยมีกลุ่ม 5 กลุ่มคือ

1. เทคโนโลยี (Technology)

T1 การเชื่อมต่อ หรือทำงานร่วมกัน ทั้งระบบด้วย IoT, T2 ระบบข้อมูลและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์, T3 การทำงานผสมผสานข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตกับอุปกรณ์ทางกายภาพได้อย่างลงตัวและสัมพันธ์กัน, T4 การตรวจสอบและควบคุมระยะไกล, T5 เครื่องจักรอัจฉริยะ, T6 การซ่อมบำรุงอัจฉริยะ, T7 ระบบขนส่งอัจฉริยะ, T8 ความโปร่งใส ของระบบดิจิทัล, T9 สินค้ามีนวัตกรรม หรือ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์

2. บุคลากร / องค์กร (Human / Organization)

H1 ความเป็นผู้นำ และกลยุทธ์ขององค์กร, H2 ความสามารถและวิธีการ และความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการ, H3 การปรับโมเดลธุรกิจ H4 การเปิดใจยอมรับสิ่งใหม่ๆ และมีการบูรณาการร่วมกัน ทั้งกับลูกค้าและซัพพลายเออร์, H5 การบูรณาการร่วมกันกับซัพพลายเออร์, H6 การบูรณาการร่วมกันกับลูกค้า, H7 ความมุ่งมั่นของผู้บริหารระดับสูง, H8 กระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพตนเองของบุคลากรในองค์กร, H9 องค์กรประกอบของกลยุทธ์องค์กร

3. กระบวนการ (Process)

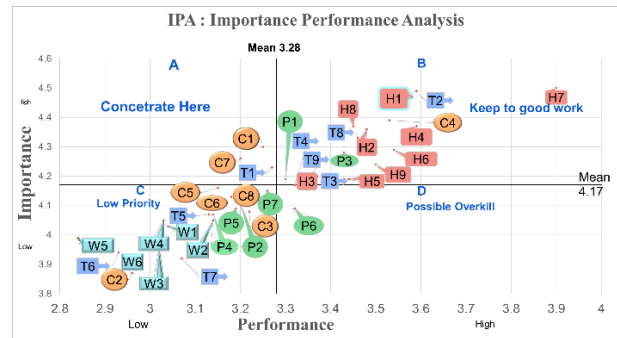
P1 กระบวนการ หรือ ระบบอัตโนมัติ, P2 การผลิตอัจฉริยะ, P3 การเก็บ และการแชร์ ข้อมูล, P4 มีระบบอัตโนมัติ หรือหุ่นยนต์อัตโนมัติ, P5 อุปกรณ์ที่มีอยู่จะต้องสอดคล้องกับแผนการ เพื่อสนับสนุนการผลิตในอนาคต, P6 ความสม่ำเสมอของระบบไอทีในกระบวนการผลิต, P7 การรวบรวมข้อมูลเพื่อคาดการณ์ความต้องการในอนาคตและข้อกำหนดสำหรับกระบวนการตัดสินใจที่ได้มาตรฐาน

4. คอนเทนต์ (Content)

C1 การวิเคราะห์ที่ได้ข้อมูลแบบเรียลไทม์และตัดสินใจแบบทันที, C2 มีอัลกอริทึมที่กำหนดนามมาก, C3 ใช้การจัดเก็บและการจัดการผ่านระบบคลาวด์, C4 ความปลอดภัยของระบบไอที, C5 รายงาน KPI อัตโนมัติ C6 สามารถกำหนดซอฟต์แวร์ที่ใช้ และวางแผนจะใช้ในอนาคต, C7 วางแผนการเก็บและจัดการข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้สูงสุด, C8 ความสม่ำเสมอของระบบไอทีกับกระบวนการผลิต

5. คลังสินค้า (Warehouse)

W1 การวางแผนนำระบบคลังสินค้าอัตโนมัติไปใช้งาน, W2 มีทรัพยากรสิ่งแวดลอมที่เหมาะสม เพื่อรองรับการรับรู้ ใช้งานได้จริง, W3 การทำงานผสมผสานกันอย่างเป็นระบบระหว่างโครงสร้าง Rack, ASRS ทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์เป็นอย่างดี, W4 การประสานงานส่วนกลาง เพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกันในระบบคลังสินค้า 4.0, W5 การใช้ AI ในการจัดการ วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลในคลังสินค้า 4.0 หรือคลังสินค้าอัตโนมัติ, W6 การลงทุนในระบบอัตโนมัติ หรือคลังสินค้า 4.0



รูปที่ 2 ผลการวิจัย ตาม IPA Analysis

4. ผลการวิจัย

ผลการวิจัย ตามรูปที่2 ค่าเฉลี่ยของแบบสอบถามส่วนความสำคัญหรือค่า Mean- Importance เท่ากับ 4.17 และค่าเฉลี่ยของแบบสอบถามส่วนความพร้อมขององค์กร หรือค่า Mean- Performance เท่ากับ 3.28 สามารถจัดกลุ่มปัจจัยการเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0 เป็น 4 กลุ่มดังนี้

4.1 กลุ่ม Concentrate Here ได้แก่ C1-การวิเคราะห์และได้ข้อมูลแบบเรียลไทม์และตัดสินใจแบบทันทีทันใด C7-วางแผนการเก็บและจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้สูงสุด T1-การเชื่อมต่อ หรือทำงานร่วมกัน ทั้งระบบด้วย IoT ซึ่งเป็นกลุ่มที่องค์กรต้องให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก

4.2 กลุ่ม Keep up to good work เป็นปัจจัยที่ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่ามีความสำคัญมากและองค์กรมีความพร้อมแล้ว เป็นเรื่องของบุคลากรในองค์กร ได้แก่ H1-ความเป็นผู้นำ และกลยุทธ์ขององค์กร H2-ความสามารถและวิธีการ และความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการ H3-การปรับโมเดลธุรกิจ H4 -การเปิดใจยอมรับสิ่งใหม่ๆ และมีการบูรณาการร่วมกัน ทั้งกับลูกค้าและซัพพลายเออร์ H5-การบูรณาการร่วมกันกับซัพพลายเออร์ H6 -การบูรณาการร่วมกันกับลูกค้า H7-ความ

มุ่งมั่นของผู้บริหารระดับสูง H8-กระบวนการเพิ่มประสิทธิภาพตนเอง ของบุคลากรในองค์กร H9-องค์ประกอบของกลยุทธ์องค์กร และเรื่อง เทคโนโลยี ได้แก่ T2-ระบบข้อมูลและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ T3-การทำงานผสมผสานข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตกับอุปกรณ์ทางกายภาพได้อย่างลงตัวและสัมพันธ์กัน T4-การตรวจสอบและควบคุมระยะไกล T8-ความโปร่งใสของระบบดิจิทัล T9-สินค้ามีนวัตกรรม หรือ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ C4-ความปลอดภัยของระบบไอที P1-กระบวนการ หรือระบบอัตโนมัติ ในกระบวนการทำงาน P3-การเก็บ และการแชร์ ข้อมูล

4.3 กลุ่ม Low Priority ได้แก่ C2-มีอัลกอริทึมที่ก้าวหน้ามาก C3-ใช้การจับเก็บและการจัดการผ่านระบบ คลาวด์ C5-รายงาน KPI อัตโนมัติ C6 -สามารถกำหนด ซอฟแวร์ที่ใช้ และวางแผนจะใช้ในอนาคตได้ C8-ความสม่ำเสมอของระบบไอทีกับกระบวนการผลิต P2-การผลิตอัจฉริยะ P3-การเก็บและการแชร์ข้อมูล P5-อุปกรณ์ที่มีอยู่จะต้องสอดคล้องกับแผนการ เพื่อสนับสนุนการผลิตในอนาคต P7-การรวบรวมข้อมูลเพื่อคาดการณ์ความต้องการในอนาคตและข้อกำหนดสำหรับกระบวนการตัดสินใจที่ได้มาตรฐาน T6-การซ่อมบำรุงอัจฉริยะ T7-ระบบขนส่งอัจฉริยะ W1-การวางแผนนำระบบคลังสินค้าอัตโนมัติไปใช้งาน W2-มีทรัพยากรสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม เพื่อรองรับการรับรู้ และใช้งานได้จริง W3 การทำงานผสมผสานกันอย่างเป็นระบบ ระหว่างโครงสร้าง Rack, ASRS ทำงานร่วมกับซอฟต์แวร์ได้เป็นอย่างดี W4-การประสาน งานส่วนกลาง เพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกัน ในระบบคลังสินค้า 4.0 W5-การใช้ AI ในการจัดการ วิเคราะห์และรวบรวมข้อมูล ในคลังสินค้า 4.0 หรือ ระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ W6-การลงทุนในระบบอัตโนมัติ หรือคลังสินค้า 4.0 เป็นปัจจัยที่ผู้ตอบแบบสอบถามเห็นว่าไม่มีความสำคัญ ที่องค์กรจะต้องเตรียมความพร้อม

4.4 กลุ่มสุดท้าย กลุ่ม Possible Overkill ได้แก่ P6-ความสม่ำเสมอของระบบไอทีในกระบวนการผลิต เป็นปัจจัยที่ผู้ตอบแบบสอบถามมองว่าไม่มีความสำคัญในการเตรียมความพร้อมของการเป็นคลังสินค้า 4.0 เพราะเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญน้อย อีกทั้งยังมีความพร้อมมากเกินความจำเป็น

5. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อหาปัจจัยการเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0 โดยใช้เครื่องมือ IPA เพื่อเป็นแนวทางให้องค์กรที่ต้องการเตรียมความพร้อมก่อนการลงทุน เพื่อไม่ให้สูญเสียเงินเป็นจำนวนมาก โดยปัจจัยที่องค์กรควรให้ความสนใจในการเพิ่มประสิทธิภาพในช่วงแรก คือ C1-การวิเคราะห์และได้ข้อมูลแบบเรียลไทม์และตัดสินใจแบบทันทีทันใด C7-วางแผนการเก็บและจัดการกับข้อมูลขนาดใหญ่ เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์ได้สูงสุด T1-การเชื่อมต่อ หรือทำงานร่วมกัน ทั้งระบบด้วย IoT

และตามด้วยปัจจัยที่สำคัญรองลงมาได้แก่ ปัจจัยด้านบุคลากรในองค์กร ปัจจัยด้านเทคโนโลยีและความปลอดภัย และการปรับกระบวนการให้มีประสิทธิภาพ โดยผลการวิจัยนี้จะใช้เป็นแนวทางสำหรับอุตสาหกรรมอื่นที่จะเตรียมความพร้อมต่อไปในอนาคต

6. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยการเตรียมความพร้อมสำหรับการเป็นคลังสินค้า 4.0 ไม่ได้มีการศึกษาถึงการเตรียมความพร้อมส่วนอื่น เช่น การผลิต การจัดซื้อ ทรัพยากรมนุษย์ ตลอดจนการวิเคราะห์ในส่วนบัญชีและการเงิน นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าวยังเป็นเพียงจุดเริ่มต้นของการพัฒนาคลังสินค้า 4.0 ซึ่งหากองค์กร หรือบุคลากรสนใจในการนำเทคโนโลยีอื่นๆ มาปรับใช้ในองค์กร สามารถนำปัจจัยการเตรียมความพร้อมดังกล่าวปรับใช้ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Andrea Schumacher, A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises Andreas Schumacher, Selim Erol b, Wilfried Sinha, ScienceDirect, 161-166.
- [2] Erika Lakmali, Kasuni Vidanagamachchi, Julian Nanayakkara, 2020, Industry 4.0 readiness assessment for apparel industry: A Study in the Sri Lankan context, IEEE Xplore,174-181.
- [3] Zoltán Rajnai, István Kocsis., Assessing Industry 4.0 Readiness of Enterprises., 2018, IEEE Xplore, 225-230.
- [4] Ebru Gökalp, Umüt Şener, P. Erhan Eren, Development of an Assessment Model for Industry 4.0:Industry 4.0-MM, 2017, ResearchGate, 1-14.
- [5] ภาวิน ชินะโชติ, ภูริพัฒน์ ชายุกิจ, สุรเดช หวังทอง, กัลยณัฐ กิตติพงศ์พิทยา,วารสารณัฐ สุธาสนชนานันท์, การประเมินความพร้อมของภาคธุรกิจอุตสาหกรรม สู่อุตสาหกรรม 4.0 ในประเทศไทย, วารสารบริหารธุรกิจเทคโนโลยีมหานคร ปีที่16ฉบับที่1, 2562, 73-89.
- [6] Athos Paulo Tadeu Pacchini, Wagner Cezar Lucatoa, Francesco Facchini, Giovanni Mummolo, 2019,The degree of readiness for the implementation of Industry 4.0, Science Direct, 1-8.
- [7] Josef Basl., Petr Doucek, A Metamodel for Evaluating Enterprise Readiness in the Context of Industry 4.0, 2019.
- [8] Alan Bastos, Mauren Sguario, Rui Tadashi Tadashi Yoshino and Max Mauro Diassantos, Industry 4.0 Readiness Assessment Method Based on RAMI 4.0 Standards, 2017, IEEE, 1-27.
- [9] สุภาวัลย์ เชาว์พาณิชย์เจริญ, สถาพร โอภาสานนท์, การพัฒนาตัวชี้วัดประสิทธิภาพเพื่อเตรียมความพร้อมเข้าสู่อุตสาหกรรม 4.0 ของสถานประกอบการชิ้นส่วนยานยนต์ไทยในระดับ First Tier, 2561, จุฬาลงกรณ์ธุรกิจปริทัศน์, 1-40.
- [10] Filippo Chiarello., Leonello Trivelli., Andrea Bonaccorsi., Gualtiero Fantoni., Extracting and mapping industry 4.0

technologies using Wikipedia.,2018, Science Direct., 244-257.

- [11] Harry Indrawan, Readiness Index for Indonesian Power Plant toward Industry 4.0, 2019, IEEE Xplore.
- [12] Wagner Cezar Lucato, Athos Paulo Tadeu Pacchini, Francesco Facchini, Giovanni Mummolo, Model to evaluate the Industry 4.0 readiness degree in Industrial Companies, 2019, Science Direct, 1808-1813.
- [13] Sameer Mittal, Muztoba Ahmad Khan, David Romeroand Thorsten Wuest, Smart manufacturing: Characteristics, techno- logies and enabling factors, 2017, Sage Journals, 1342-1361
- [14] Gábor Nick,Adam Szaller,Julia Bergmenn, Tamas Vargedo, In- dustry4.0 readiness in Hangary : model and the first result in connection to data application, 2019, Science Direct, 289-294.
- [15] Gábor Nick., Tibor Kovács., Andrea KŐ., Botond Kádár., Industry 4.0 readiness in manufacturing: Company Compass 2.0, a renewed framework and solution for Industry 4.0 maturity assessment.,2021, Science Direct, 39-44.
- [16] วิไล พึ่งผล,ดวงใจ จันทร์ตาแสง,ประสพชัย พสุนนท์, การพัฒนาประสิทธิภาพการบริหารระบบคลังสินค้าเพื่อสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอะไหล่รถจักรยานยนต์ยุคประเทศไทย 4.0 จังหวัดชลบุรี, 2562,Thai- Jo, 467-485.
- [17] P.Samaranayake, K. Ramanathan T. Laosirihongthong, Imple- menting Industry 4.0 - A Technological Readiness Perspec- tive, 2017, IEEE IEEM, 529-533.
- [18] Günther Schuh, Reiner Anderl, Roman Dumitrescu, Antonio Krüger, Michael ten Hompel, Industrie 4.0 Maturity Index, 2020, acatech, 1-64.
- [19] Maja Trstenjak, Application of multi-criteria decision-making methods for readiness factor calculation, 2019, IEEE. 1-6.
- [20] Jostein Vik, Anders Mahlum Melås, Egil Petter Stræte, Roger Andre Søråa, Balanced readiness level assessment (BRLa): A tool for exploring new and emerging technologies, 2021, Science Direct, 1-9.
- [21]]ประไพพิมพ์ สุธีวสินนท์, ประสพชัย พสุนนท์, กลยุทธ์การเลือกตัวอย่างสำหรับการวิจัยเชิงคุณภาพ, 2559 ,Thai Jo, 31-48.
- [22] John A. Martilla, John C. James, Importance-Performance Analysis, Journal of Marketing, 1977, 77-79.
- [23] Javad Esmailpour, Kayvan Aghabayk , Mohammad Abrari Vajari, Chris De Gruyter, Importance – Performance Analysis

(IPA) of bus service attributes: A case study in a developing country, 2020, Science Direct, 129-150.

ภาคผนวก

ตัวอย่างแบบสอบถาม

		ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดการเตรียมความพร้อมสู่การเป็นคลังสินค้า 4.0 (Factors of Preparation for Warehouse 4.0 readiness)									
T	Importance / ีความสำคัญต่อองค์กรของท่านในระดับใด					1. เทคโนโลยี (Technology)	Performance / สถานะที่เป็นอยู่ในองค์กรของท่านในระดับใด				
	5	4	3	2	1		5	4	3	2	1
T1	5	4	3	2	1	1. การเชื่อมต่อ หรือทำงานร่วมกัน ทั้งระบบด้วย IoT (Connectivity everything with IoT to collaboratives)	5	4	3	2	1
T2	5	4	3	2	1	2. ระบบข้อมูลและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ (Technology and Information to ICT - Information and Comm. Technology)	5	4	3	2	1
T3	5	4	3	2	1	3. การทำงานอย่างผสมผสานกันระหว่าง ข้อมูลทางอินเทอร์เน็ตกับอุปกรณ์ทางกายภาพได้อย่างลงตัวและสัมพันธ์กัน (CPS : Cyber-Physical Systems)	5	4	3	2	1
T4	5	4	3	2	1	4. การตรวจสอบและควบคุมระยะไกล (Remote Monitoring and Control)	5	4	3	2	1
T5	5	4	3	2	1	5. เครื่องจักรอัจฉริยะ (Smart Machine)	5	4	3	2	1
T6	5	4	3	2	1	6. การซ่อมบำรุงอัจฉริยะ (Smart Maintenance)	5	4	3	2	1
T7	5	4	3	2	1	7. ระบบขนส่งอัจฉริยะ (Smart Logistics)	5	4	3	2	1
T8	5	4	3	2	1	8. ความโปร่งใส ของระบบดิจิทัล (Digital Transparency)	5	4	3	2	1
T9	5	4	3	2	1	9. สินค้านวัตกรรม หรือ นวัตกรรมผลิตภัณฑ์ (Product Innovation)	5	4	3	2	1

การจำลองการอพยพหนีไฟในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์ด้วยโปรแกรม Pathfinder

A Numerical Simulation of Fire Evacuation of Electronic Industry via Pathfinder

มณฑนา สุทธิประภา¹ ประทีป ชัยเสริมเทวัญ² สุภัทร พัฒน์วิชัยโชติ²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: mantana.po@ku.th, pomnikon@gmail.com*

Montana Sutthiprapha¹, Prateep Chaisermawan², Supat Patvahaichod²

¹Department of Safety Engineering and Environmental Management, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University

²Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University

E-mail: mantana.po@ku.th, pomnikon@gmail.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการจำลองการอพยพหนีไฟออกจากอาคารซึ่งเป็นโรงงานที่ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งตามกฎหมายโรงงานจะต้องจัดให้มีเส้นทางหนีไฟซึ่งสามารถอพยพลูกจ้างทั้งหมดสู่จุดที่ปลอดภัยภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงจำลองการอพยพหนีไฟสถานการณ์ต่างๆ โดยโปรแกรม Pathfinder จากผลการวิจัยพบว่าทั้ง 7 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์ที่ 1 เกิดเพลิงไหม้ปลั๊กพ่วงและลิ่งกระดาดที่ห้อง DL Shipping สถานการณ์ที่ 2 เกิดเพลิงไหม้ถังสารเคมีที่ห้อง Jig cleaning room สถานการณ์ที่ 3 เกิดเพลิงไหม้ที่ห้องควบคุมระบบไฟฟ้า สถานการณ์ที่ 4 เกิดเพลิงไหม้เครื่องปรับอากาศที่ shop MT phase 4 สถานการณ์ที่ 5 เกิดเพลิงไหม้อุปกรณ์สำรองไฟที่ห้องออฟฟิศ สถานการณ์ที่ 6 เกิดเพลิงไหม้ตู้ควบคุมเครื่องจักรที่ห้องSKT สถานการณ์ที่ 7 เกิดเพลิงไหม้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ห้องน้ำชั้น2 ซึ่งใช้เวลาในการอพยพ 290.3, 464.3, 377.5, 302.5, 364.3, 386.5, 498.5 วินาที ตามลำดับ จากผลดังกล่าวต้องมีการปรับปรุงสถานการณ์ที่ 2 จนถึง 7 ทางผู้วิจัยจึงได้หาแนวทางในการปรับปรุงทั้งหมด 3 วิธี คือ 1.เพิ่มเส้นทางอพยพภายนอกอาคารเพื่อนำไปสู่จุดรวมพลที่2 2.แบ่งโซนอพยพโดยระหว่างPhase2และPhase4 3.เพิ่มขนาดประตูฉุกเฉิน DL Shipping จำนวน 1 จุด จาก 90 เซนติเมตรเป็น150 เซนติเมตร พบว่าสามารถลดระยะเวลาอพยพหนีไฟของผู้ใช้อาคารได้ดังนี้ สถานการณ์ที่ 2,3,4,5,6,7 ใช้เวลาอพยพ 299, 262, 243.8, 298.8, 289.5 และ 291.3 วินาที ตามลำดับ ซึ่งทุกสถานการณ์ใช้เวลาการอพยพหนีไฟสอดคล้องตามที่กฎหมายกำหนด

คำสำคัญ: เวลาในการอพยพหนีไฟ โปรแกรม Pathfinder การจำลองการอพยพหนีไฟ

Abstract

This paper studied the evacuation simulation from Electronic Industry. The evacuation time must not exceed 5 minutes as specified in the ministerial regulations. The fire evacuation simulation has 7 scenarios by the Pathfinder program which are scenario 1: There was a fire in a power strip and a cardboard box at the DL Shipping room. Scenario 2: There was a fire in a chemical tank in the Jig cleaning room. Scenario 3: A fire was caused in the electrical system control room. Scenario 4: A fire caused the air conditioner at the shop MT phase 4. Scenario 5: A fire caused the UPS at the production office. Scenario 6: There was a fire in the machine control cabinet in the SKT room. Scenario 7: There was a fire in the electrical equipment in the bathroom. It was found that in scenario 1,2,3,4,5,6,7 total evacuation times were 290.3, 464.3, 377.5, 302.5, 364.3, 386.5, and 498.5 seconds respectively. Evacuation time are not follow the legal requirements. The researcher to improvements by adding an evacuation route outside the building leading to the 2nd rally points, dividing the evacuation zone between Phase 2 and Phase 4, and increasing the emergency door DL Shipping size from 90 cm. to 150 cm. The result of the fire evacuation simulation in scenario 2,3,4,5,6,7 used an evacuation time of 299, 262, 243.8, 298.8, 289.5, and 291.3 seconds respectively. Evacuation time follows the legal requirements.

Keywords: Fire evacuation time, Pathfinder program, Fire evacuation simulation

1. บทนำ

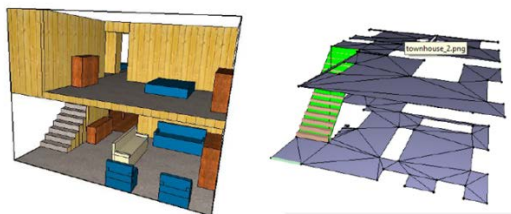
นับตั้งแต่ประเทศไทยได้มีการพัฒนาอุตสาหกรรม โดยการนำแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติมาประกาศใช้จนถึงปัจจุบันประเทศไทยได้มีการปรับปรุงโครงสร้างทางเศรษฐกิจจากการผลิตภาคเกษตรกรรมไปสู่ภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น ทำให้มีสถานประกอบการมีการพัฒนาในด้านของอุตสาหกรรมยานยนต์เป็นอย่างมาก อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ในรถยนต์นับเป็นอีกหนึ่งธุรกิจที่เติบโตขึ้นเช่นกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่อาคารจะเป็นลักษณะของพื้นที่เฉพาะซึ่งมีทางเข้าออกจำกัด และมีการแบ่งห้องย่อย อีกมากมาย เพื่อให้เหมาะสมกับการผลิต อีกทั้งมีการนำสารเคมีไวไฟมาใช้ในกระบวนการหลายชนิด ซึ่งเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุไฟไหม้ขึ้น จากกฎกระทรวงเรื่องกำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงาน เกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ.2555 กำหนดเรื่องของโรงงานจะต้องจัดให้มีเส้นทางหนีไฟทุกชั้นอาคารอย่างน้อยชั้นละสองเส้นทางซึ่งสามารถอพยพลูกจ้างที่ทำงานในเวลาเดียวกันทั้งหมดสู่จุดที่ปลอดภัยภายในเวลาไม่เกิน 5 นาที และกำหนดให้นายจ้างจัดให้มีการฝึกซ้อมอพยพลูกจ้างในอาคารไปตามเส้นทางหนีไฟที่กำหนดและนายจ้างต้องจัดให้มีการฝึกซ้อมดับเพลิง การฝึกซ้อมหนีไฟอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง

ดังนั้นเส้นทางหนีไฟภายในสถานประกอบการจึงต้องมีการจัดวางผังที่ดีมีความเหมาะสมและปลอดภัย จึงศึกษาการจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder เพื่อให้ทราบเวลาในการอพยพแต่ละสถานการณ์และนำผลการวิเคราะห์มาหาแนวทางในการปรับปรุงเส้นทางอพยพให้สอดคล้องตามที่กฎหมายกำหนด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โปรแกรม Pathfinder

โปรแกรม Pathfinder เป็นโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ โดยสามารถจำลองสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระในอาคาร สามารถแสดงผลได้ทั้งแบบสองมิติและสามมิติ ซึ่งถูกพัฒนามาจากแนวคิดการสร้างพื้นที่ทางเดิน รวมถึงสิ่งกีดขวางและบันได โดยรูปทรงจากการจำลองจะเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่เกิดจากการสร้างกริดรูปสามเหลี่ยมติดกันเรียกว่า navigation mesh สามารถจำแนกการเคลื่อนที่ได้สองลักษณะ ดังนี้



รูปที่ 1 ภาพซ้าย: แสดงแบบจำลอง 3 มิติ, ภาพขวา: แสดง navigation mesh

1. The Society of Fire Protection Engineers (SFPE) ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่จะพิจารณาจากความหนาแน่นของคนที่อยู่ภายในแต่ละห้องและความเร็วของการเคลื่อนที่ผ่านประตูจะควบคุมโดยความกว้างของประตู การเคลื่อนที่ที่เป็นลักษณะเส้นตรงนั้นคือจากจุดหรือตำแหน่งที่ยืนอยู่ในปัจจุบันไปอีกตำแหน่งหนึ่งโดยใช้เส้นตรงเป็นหลักจนกระทั่งถึงทางออก

2. Steering แกนบังคับเบี่ยงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ที่ซับซ้อนได้มากขึ้น คือการเคลื่อนที่ที่มีความโค้ง โดยได้มาจากผลที่เกิดขึ้นของสมการของการเว้นระยะระหว่าง มนุษย์กับมนุษย์และมนุษย์กับสิ่งกีดขวาง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Huang et al. (2011) ได้ศึกษาการอพยพของศูนย์ดูแลระบบทางเดินหายใจ (RCU) กรณีเกิดเพลิงไหม้ในช่วงที่มีโครงการก่อสร้างเพื่อปรับปรุงอาคารโรงพยาบาล โดยใช้โปรแกรมจำลอง FDS+Evac มีการกำหนดปัจจัยที่มีผลต่อการอพยพ เช่น ต้นกำเนิดของเพลิง ขนาดของกองเพลิง การทำงานของระบบสปริงเกอร์ และความกว้างของประตูทางออก จากการศึกษาพบว่า ภายใต้สภาวะปกติโดยไม่เกิดเพลิงไหม้และควัน เวลาที่ใช้ในการอพยพสำหรับความกว้างของประตูที่ 1.8 เมตร จะอยู่ระหว่าง 19.3 ถึง 21 นาที แต่หากเพิ่มความกว้างของประตูไปถึง 2 เมตรหรือมากกว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพสามารถลดลงได้ถึง 10% (17.3 – 19.3 นาที) [1]

Jiang et al. (2014) ได้ทำการวิเคราะห์และการจำลองพฤติกรรม การอพยพของมนุษย์ในอาคารโรงพยาบาลขนาดใหญ่ ในเมืองเสิ่นหยาง โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ทำการสังเกตและวิเคราะห์ความเร็วในการเดินในอาคารโรงพยาบาลด้วยกล้องวิดีโอ และศึกษาปฏิกริยาการอพยพและพฤติกรรมการตัดสินใจในกรณีเกิดเพลิงไหม้โดยใช้แบบสอบถาม พบว่าผู้ใช้อาคารโรงพยาบาลมีอัตราความเร็วในการเดินคิดเป็น 70% ~ 90% เมื่อเทียบกับคนที่มีสุขภาพดีในอาคารสาธารณะทั่วไป เนื่องจากสถานะทางกายภาพของผู้ป่วย และผู้ที่อยู่ในอาคารมีแนวโน้มที่จะขอความช่วยเหลือจากพนักงานในโรงพยาบาลในกรณีที่เกิดสถานการณ์ฉุกเฉินขึ้น ส่วนที่ 2 จำลองพฤติกรรมกรอพยพในอาคารโรงพยาบาลด้วยโปรแกรม FDS+Evac แสดงให้เห็นว่าความกว้างของทางหนีและคำแนะนำในการอพยพที่มีประสิทธิภาพเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญที่สุดในการอพยพที่มีประสิทธิภาพในอาคารโรงพยาบาล [2]

Zhong-an et al. (2011) ได้ทดลองและจำลองการอพยพหนีไฟของหอพักนักเรียนในมหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นอาคารสูง โดยใช้โปรแกรมจำลอง Building Exodus Evacuation Model Software และคำนวณการเปลี่ยนแปลงทางพลศาสตร์ของเวลาการอพยพและจำนวนผู้อพยพในแต่ละทางออกของอาคาร โดยโปรแกรมสามารถจำลองเวลาในการหนีไฟของแต่ละชั้นได้ดีและสามารถใช้เป็นตัวแทนการอพยพหนีไฟจริง ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า เวลาที่ใช้ในการอพยพจะลดลงถ้ามีการเพิ่มบันไดและขยายให้กว้างขึ้น แต่ในความเป็นจริงการเพิ่มบันไดสำหรับอาคารที่สร้างเสร็จแล้วทำได้ยาก จึงเสนอให้มีการขนย้ายสิ่ง

กีดขวางเส้นทางการอพยพออกไปแทนการปรับปรุงโครงสร้างอาคาร [3]

Hu* (2014) ทำการวิเคราะห์การจำลองการอพยพและการเพิ่มประสิทธิภาพความปลอดภัยของห้องสมุดมหาวิทยาลัย โดยใช้ Pathfinder (รุ่นทดลอง) การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่ามีปัญหาคือ ความไม่สมดุลในการใช้บันไดอพยพ เนื่องจากขาดการประสานงานระหว่างจำนวนผู้อพยพทางด้านเหนือและด้านใต้ จึงแนะนำให้เจ้าหน้าที่ที่ผ่านการฝึกอบรมจะช่วยประสานงานเรื่องเส้นทางหนีไฟ เพื่อให้เกิดความสมดุลในการใช้บันไดอพยพ [4]

Tseng et al. (2011) ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์การจัดการความปลอดภัยและการตอบสนองเหตุฉุกเฉินในโรงพยาบาลขนาดเล็ก โดยการทำความเข้าใจลักษณะพื้นที่และความเสี่ยงที่อาจก่อให้เกิดไฟไหม้จากการสำรวจในสถานที่ต่างๆ สามารถเข้าใจถึงความเสี่ยงจากไฟไหม้ ลักษณะพื้นที่คุณลักษณะของผู้ป่วย สิ่งอำนวยความสะดวกและอุปกรณ์ และได้นำเสนอแนวทางด้านความปลอดภัยด้านอัคคีภัยเพื่อให้สอดคล้องกับระเบียบข้อบังคับเกี่ยวกับการจัดการและการตอบสนองต่อเหตุฉุกเฉินของโรงพยาบาล [5]

3. วิธีการ

3.1 ข้อมูลอาคาร

อาคารที่เลือกทำการศึกษาคครั้งนี้เป็นอาคารสูง 2 ชั้น ความสูงวัดจากระดับพื้นดินถึงพื้นตาดฟ้าเท่ากับ 12.038 เมตร ชั้น 1 กว้าง 105.50 เมตร ยาว 108 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยรวม 11,394 ตารางเมตร ชั้น 2 กว้าง 104 เมตร ยาว 105.50 เมตร มีพื้นที่ใช้สอยรวม 10,972 ตารางเมตร รวมพื้นที่ทั้งหมด 22,366 ตารางเมตร มีประตูหนีไฟจำนวน 9 ประตู บันได 4 เส้นทาง โดยอาคารขนาดใหญ่พิเศษ เข้าข่ายต้องปฏิบัติตาม กฎกระทรวงฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) และกฎกระทรวง ฉบับที่ 50 (พ.ศ.2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 เข้าข่ายเป็นอาคารขนาดใหญ่พิเศษ เนื่องจากมีพื้นที่ใช้สอยรวมเกิน 10,000 ตารางเมตร

3.2 จำนวนผู้ใช้อาคาร

ตารางที่ 1 แสดงการนับจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละห้องชั้น 1 และชั้น 2

ห้อง/พื้นที่	ลักษณะการใช้งาน	ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)	จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)
Shop FM	Industrial Use	57.06	7
Office EL	Assembly Use	127.27	13
Phase 2	Industrial Use	1297.2	152
Phase 3	Industrial Use	184.34	10
Phase 4	Industrial Use	1197.27	153
DL zone1	Storage Use	3221.09	38
DL zone2	Storage Use	1601.7	38

ตารางที่ 1 แสดงการนับจำนวนผู้ใช้อาคารในแต่ละห้องชั้น 1 และชั้น 2 (ต่อ)

ห้อง/พื้นที่	ลักษณะการใช้งาน	ขนาดพื้นที่ (ตารางเมตร)	จำนวนผู้ใช้อาคาร (คน)
DL Shipping	Industrial Use	590.27	26
Office PD	Assembly Use	97.07	13
phase 3.1	Storage Use	316.04	11
rest room driver	Business Use	20.91	6
Office common	Assembly Use	236.47	16

3.3 การกำหนดสถานการณ์และสร้างแบบจำลองการอพยพหนีไฟ

การกำหนดสถานการณ์จำลองการอพยพหนีไฟที่ทำการศึกษานั้น ดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะกิจกรรมของผู้ใช้งานอาคารสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะอ้างอิงจากมาตรฐาน NFPA 101 , Life safety code ในการศึกษาที่มีการกำหนดสถานการณ์จำลอง 7 สถานการณ์ และสร้างแบบจำลองสถานการณ์อพยพหนีไฟในโปรแกรม Pathfinder ดังนี้

สถานการณ์ที่ 1 เกิดเพลิงไหม้ที่ปลั๊กไฟและลามไปที่กล่องกระดาษสำหรับใส่ชิ้นงานที่ห้องเตรียมงานสำหรับส่งมอบให้ลูกค้า (DL Shipping) ชั้น 1 ทำให้ไม่สามารถใช้บันไดที่ 2 ได้ และจากควันไฟที่ลามทั่วห้องทำให้ไม่สามารถใช้ประตูทางออกฉุกเฉินที่เชื่อมระหว่าง Phase 2

สถานการณ์ที่ 2 เกิดเพลิงไหม้จากการเชื่อมต่อแล้วสะเกิดไฟกระเด็นไปโดนถังสารเคมี Isopropanol (IPA) ที่ห้องล้างทำความสะอาด จิ๊กที่ใช้กับการผลิต (Jig cleaning room) ชั้น 1 ทำให้ไม่สามารถใช้ประตูทางออกฉุกเฉินส่วนของ Phase 1 และประตูหนีไฟที่ 1 และบันไดที่ 1 ได้

สถานการณ์ที่ 3 เกิดไฟฟ้าลัดวงจรที่ภายในห้องควบคุมระบบไฟฟ้าในกระบวนการผลิตไปลุกลามไปยังห้องประกอบชิ้นงาน Assy ที่มีคนทำงานเป็นจำนวนมากปิดกั้นประตูภายในอาคารซึ่งเป็นโซนหน้าห้องที่เกิดเพลิงไหม้ที่จะออกไปสู่ทางออกประตู หนีไฟที่ 1

สถานการณ์ที่ 4 เกิดไฟฟ้าลัดวงจรที่เครื่องปรับอากาศที่มีท่ออยู่ด้านบนเพดานในห้อง shop MT phase 4 ซึ่งไม่มีระบบตรวจจับควันไฟ (Smoke detector) บนเพดาน ไฟไหม้ลุกลามมาภายในห้องประกอบชิ้นงาน SMT ปิดกั้นประตูภายในอาคารระหว่าง Phase 2 และ Phase 4 บริเวณใกล้ห้องที่เกิดเพลิงไหม้

สถานการณ์ที่ 5 เกิดความร้อนสะสมที่อุปกรณ์สำรองไฟ คอมพิวเตอร์แล้วมีไฟลุกไหม้ที่โต๊ะทำงานลุกลามอยู่ในห้องออฟฟิศของส่วนงานผลิต ภายในห้องมีระบบป้องกันอัคคีภัยแต่ตรวจจับได้ช้าเนื่องจากต้นเพลิงอยู่ใต้โต๊ะ ประตูห้องต้นเพลิงเปิดค้างไว้ ทำให้ควันไฟลามไปที่บันไดหนีไฟที่ 4 ทำให้ไม่สามารถใช้บันไดที่ 4 ได้ และจากควันไฟที่ลามทั่วห้องทำให้ไม่สามารถใช้ออกทางประตูหนีไฟที่ 7

สถานการณ์ที่ 6 เกิดความร้อนสะสมและมีไฟลุกไหม้ขึ้นที่ตู้ควบคุมเครื่องจักรที่มีการใช้งานร่วมกับสารเคมี Isopropanol (IPA) ทำให้มีไฟลุกไหม้รุนแรง ทำให้กระจกด้านข้างห้องแตก ควันจึงลอยเข้ามาปิดกั้น

ทางออกที่จะไปประตูหน้าไฟ 3 ประตูหน้าไฟ4 และบันไดที่2 รวมถึง ปิดกั้นทางหนีไฟภายในจำนวน 2 จุด

สถานการณ์ที่7 เนื่องจากการเสียบปลั๊กเครื่องเป่าลมในท้องถิ่นชั้น 2 แล้วไม่ได้มีการตรวจสอบเป็นเวลานานทำให้มีฝุ่นสะสมที่ปลั๊กจนเกิดเปลวไฟลุกไหม้ที่ปลั๊ก และลามไปที่ฝ้าเพดาน เนื่องจากในห้องน้ำ ไม่มีอุปกรณ์ตรวจจับควันทำให้ไม่มีเสียงสัญญาณแจ้งเตือนจนเปลวไฟลุกลามออกมาจากห้องน้ำ ลามไปที่กล่องกระดาษด้านหน้าหน้า ซึ่งใกล้กับบริเวณประตูที่จะลงไปบันไดที่1และประตูหน้าไฟที่1 ทำให้ไม่สามารถใช้บันไดที่1 และประตูหน้าไฟที่1 ได้



รูปที่ 2 ตัวอย่างการแบบจำลองสถานการณ์อพยพหนีไฟในโปรแกรม Pathfinder

4. ผลการศึกษา

4.1 ระยะเวลาในการอพยพก่อนปรับปรุง

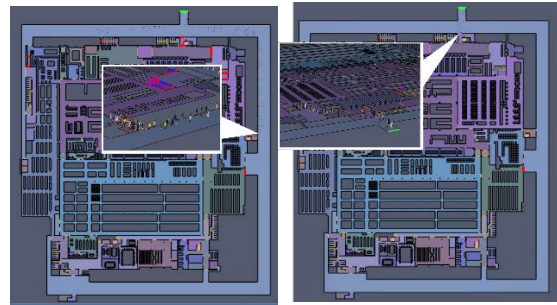
การจำลองการอพยพหนีไฟด้วยโปรแกรม Pathfinder โดยมีจำนวนผู้ใช้อาคารที่คำนวณที่นับจำนวนได้ทั้งหมด 483 คน แบ่งเป็นชายร้อยละ 27.33 และเพศหญิงร้อยละ 72.67 โดยมีการกำหนดสถานการณ์เพลิงไหม้ให้ครอบคลุมทั้งหมด 7 สถานการณ์ สามารถสรุปผลการจำลองเวลาอพยพดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการจำลองเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารก่อนปรับปรุง

สถานการณ์	เวลาการอพยพ (วินาที)
1	290.3
2	464.3
3	377.5
4	302.5
5	364.3
6	386.5
7	498.5

โดยผลการของการจำลองการอพยพหนีไฟ 7 สถานการณ์ พบว่าสถานการณ์ที่ 1 ใช้เวลาอพยพ 290.3 วินาที ซึ่งสอดคล้องกับกฎหมายในส่วนสถานการณ์ที่ 2 จนถึงสถานการณ์ที่ 7 ใช้เวลาการอพยพเกิน

300 วินาที ไม่สอดคล้องตามกฎหมาย ผู้ใช้อาคารแออัดบริเวณประตูทางออกที่ 1 ชั้น 1 และ ประตูทางออกที่ 7 ชั้น 1 แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การอพยพของผู้ใช้อาคาร ในช่วงเวลา 300 วินาที ก่อนปรับปรุง

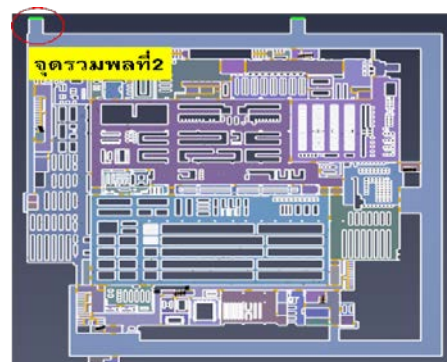
4.2 การปรับปรุง

จากการจำลองสถานการณ์เพลิงไหม้ที่ 2 จนถึงสถานการณ์ที่ 7 พบว่า ใช้เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที ซึ่งไม่สอดคล้องตามที่กฎหมายกำหนด คือ เวลาการอพยพต้องไม่เกิน 5 นาที หรือ 300 วินาที จึงต้องหาวิธีในการปรับปรุง เพื่อให้ผู้ใช้อาคารอพยพได้ทันเวลา โดยการปรับปรุงมี 3 อย่าง ดังนี้

1. เพิ่มเส้นทางอพยพภายนอกอาคารเพื่อนำไปสู่จุดรวมพลที่2
2. แบ่งโซนอพยพโดยระหว่างPhase2และPhase4
3. เพิ่มขนาดประตูฉุกเฉิน DL Shipping จำนวน 1 จุด จาก 90 เซนติเมตรเป็น150 เซนติเมตร

4.2.1 การปรับปรุงครั้งที่ 1

มีผู้ใช้ชานอาคารแออัดที่บริเวณประตูทางออกที่ 1 ชั้น 1 และ ประตูทางออกที่ 7 ชั้น 1 เนื่องจากเป็นจุดที่สามารถตรงออกไปสู่จุดปลอดภัยได้เร็วที่สุด ทำให้ผู้ใช้อาคารแออัดที่บริเวณนี้ จึงทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 คือ เพิ่มเส้นทางอพยพภายนอกอาคารเพื่อนำไปสู่จุดรวมพลที่2 แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตำแหน่งที่เพิ่มเส้นทางอพยพภายนอกอาคารเพื่อนำไปสู่จุดรวมพลที่2

จากการจำลองการอพยพหนีไฟสถานการณ์ที่ 2 จนถึงสถานการณ์ที่ 7 โดยใช้โปรแกรม Pathfinder ในกรณีปรับปรุงครั้งที่ 1 สามารถสรุปผลการจำลองเวลาอพยพดังตารางที่ 3

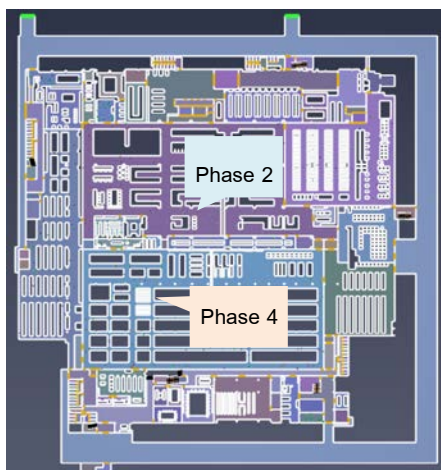
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการจำลองเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงครั้งที่ 1

สถานการณ์	เวลาการอพยพก่อนปรับปรุง (วินาที)	เวลาการอพยพหลังปรับปรุงครั้งที่ 1 (วินาที)	ระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง (วินาที)
2	464.3	480	+15.7
3	377.5	262	-115.5
4	302.5	243.8	-58.7
5	364.3	298.8	-65.5
6	386.5	317.3	-69.2
7	498.5	456.8	-41.7

จากการตาราง พบว่า เมื่อเพิ่มเส้นทางอพยพภายนอกอาคารเพื่อนำไปสู่จุดรวมพลที่ 2 เวลาที่ใช้อพยพของสถานการณ์ที่ 3,4,5 ใช้เวลาการอพยพไม่เกิน 300 วินาที ซึ่งสอดคล้องตามที่กฎหมายกำหนด ส่วนสถานการณ์ที่ 2,6,7 ใช้เวลาอพยพเกิน 300 วินาที ยังไม่สอดคล้องตามกฎหมาย

4.2.2 การปรับปรุงครั้งที่ 2

จากการปรับปรุงครั้งที่ 1 ยังพบว่าผู้ใช้งานอาคารแออัดที่บริเวณประตูฉุกเฉิน dl shipping เนื่องจากเป็นจุดที่สามารถตรงออกไปสู่จุดปลอดภัยที่เพิ่มขึ้นใหม่ได้ ทำให้ผู้ใช้อาคารแออัดที่บริเวณนี้ จึงทำการปรับปรุงครั้งที่ 2 คือ แบ่งโซนอพยพโดยระหว่าง Phase 2 และ Phase 4 แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งที่แบ่งโซนอพยพโดยระหว่าง Phase 2 และ Phase 4

จากการจำลองการอพยพหนีไฟสถานการณ์ที่ 2,6 และสถานการณ์ที่ 7 โดยใช้โปรแกรม Pathfinder ในกรณีปรับปรุงครั้งที่ 2 สามารถสรุปผลการจำลองเวลาอพยพดังตารางที่ 4

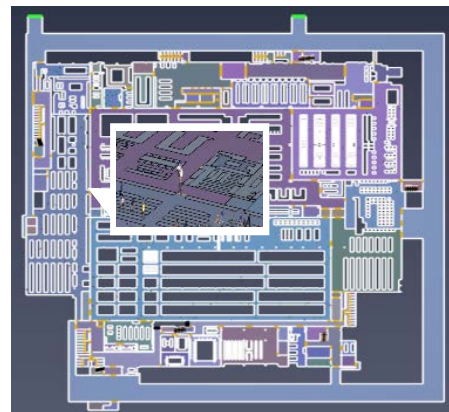
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการจำลองเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคารปรับปรุงครั้งที่ 1 และหลังปรับปรุงครั้งที่ 2

สถานการณ์	เวลาการอพยพปรับปรุงครั้งที่ 1 (วินาที)	เวลาการอพยพหลังปรับปรุงครั้งที่ 2 (วินาที)	ระยะเวลาที่เปลี่ยนแปลง (วินาที)
2	480	323.5	-156.5
6	262	306.8	+44.8
7	243.8	313.5	+69.7

จากการตาราง พบว่า เมื่อแบ่งโซนอพยพโดยระหว่าง Phase 2 และ Phase 4 เวลาที่ใช้อพยพของสถานการณ์ที่ 2,6,7 ใช้เวลาการอพยพเกิน 300 วินาที ยังไม่สอดคล้องตามกฎหมาย

4.2.3 การปรับปรุงครั้งที่ 3

จากการปรับปรุงครั้งที่ 2 ยังพบว่าผู้ใช้งานอาคารแออัดที่บริเวณประตูฉุกเฉิน dl shipping และประตูทางออกที่ 7 ชั้น 1 จึงทำการปรับปรุงครั้งที่ 3 คือ เพิ่มขนาดประตูฉุกเฉิน dl shipping จำนวน 1 จุด จาก 90 เซนติเมตรเป็น 150 เซนติเมตรแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ตำแหน่งที่เพิ่มขนาดประตูฉุกเฉินจาก 90 เซนติเมตรเป็น 150 เซนติเมตร

จากการจำลองการอพยพหนีไฟสถานการณ์ที่ 2,6 และสถานการณ์ที่ 7 โดยใช้โปรแกรม Pathfinder ในกรณีปรับปรุงครั้งที่ 3 สามารถสรุปผลการจำลองเวลาอพยพดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการจำลองเวลาการอพยพของผู้ใช้อาคาร
ปรับปรุงครั้งที่ 2 และหลังปรับปรุงครั้งที่ 3

สถานการณ์	เวลาการอพยพ ปรับปรุงครั้งที่ 2 (วินาที)	เวลาการอพยพ หลังปรับปรุง ครั้งที่ 3 (วินาที)	ระยะเวลาที่ เปลี่ยนแปลง (วินาที)
2	323.5	299	-24.5
6	306.8	289.5	-17.3
7	313.5	291.3	-22.2

จากการตาราง พบว่า เมื่อเพิ่มขนาดประตูฉุกเฉินจาก 90
เซนติเมตรเป็น 150 เซนติเมตร เวลาที่ใช้อพยพของสถานการณ์ที่
2,6,7 ใช้เวลาการอพยพไม่เกิน 300 วินาที สอดคล้องตามกฎหมาย

5. สรุป

การจำลองการอพยพหนีไฟของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
จากการกำหนดสถานการณ์ 7 สถานการณ์ พบว่ามีบางสถานการณ์ที่
ใช้เวลาในการอพยพเกินกฎหมายกำหนด โดยการจำลองการอพยพหนี
ไฟในสถานการณ์ที่ 1 มีการใช้เวลาอพยพสอดคล้องกับกำหนด
กำหนดคือภายใน 5 นาที จากการจำลองสถานการณ์ที่ 2 ถึงสถานการณ์
ที่ 7 มีการใช้เวลาอพยพไม่สอดคล้องตามกฎหมายคือเกิน 5 นาที ทาง
ผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุง 3 วิธี โดยปรับปรุงครั้งที่ 1 ด้วยการเพิ่มเส้นทาง
อพยพภายนอกอาคารเพื่อนำไปสู่จุดรวมพลที่ 2 พบว่าสถานการณ์ที่ 3 ,
4 และ 5 ผู้ใช้อาคารมีการใช้เวลาอพยพสอดคล้องตามกฎหมาย จากนั้น
ได้ปรับปรุงครั้งที่ 2 ด้วยการแบ่งโซนอพยพโดยระหว่าง Phase 2 และ
Phase 4 พบว่าสถานการณ์ที่ 2 ,6 และ 7 ผู้ใช้อาคารใช้เวลาอพยพยังคง
ไม่สอดคล้องตามกฎหมาย จึงมีการปรับปรุงครั้งที่ 3 โดยการเพิ่มขนาด
ประตูฉุกเฉิน dl shipping จำนวน 1 จุด จาก 90 เซนติเมตรเป็น 150
เซนติเมตร พบว่าสถานการณ์ที่ 2 ,6 และ 7 ผู้ใช้อาคารใช้เวลาอพยพ
สอดคล้องตามกฎหมาย

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท Thunderhead Engineering ที่กรุณาให้นำ
โปรแกรม Pathfinder มาใช้ในการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Huang De-Chinga, Chien Shen-Wenb, Lin Chien-Hungc,
Huang Po-Tab, Song Yi-Tingb, Sie Huei-Rub. 2011. A Study
for the Evacuation of Hospital on Fire during Construction.
Procedia Engineering 11 (2011): 139-146
- [2] Ze-min Jiang, Pei-hong Zhang*, Rong-xue Shang, Xiang-liang
Tian. 2014. Investigation and Simulation on Human Evacuation
Behaviour in Large Hospital Building in Shenyang. Procedia
Engineering 71 (2014): 101-106

- [3] JIANG Zhong-an*, CHEN Mei-ling, WEN Xiao-hua. 2011.
Experiment and Simulation Study on High-rise Student
Apartment Fire Personal Evacuation in the Campus. Procedia
Engineering 11 (2011): 156-161
- [4] Jiang-wen Hu*, Si-si Chen. 2014. Analysis of Security
Evacuation Simulation and Optimization of a University Library.
Procedia Engineering 71 (2014): 558-566
- [5] Tseng Wei-Wen*, Pan Kuo-Hsiungb, Hsu Che-Mingb. 2011.
Performance-based Fire Safety Design for Existing Small-scale
Hospitals. Procedia Engineering 11 (2011): 514-521

การกำหนดระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมภายใต้ผลกระทบของการแจกแจงของระยะเวลาการ หยุดชะงักของอุปทานที่ไม่ได้กำหนด

Determining an Optimal Inventory Level under the Effects of Undefined Supply Disruption Length's Distributions

สรัญญา ปากอง¹ ศิริประภา โชครวย¹ จิรเกียรติ ทรายทอง^{1,2*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

²หน่วยวิจัยการจัดการผลิตและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

E-mail: chirakiat@eng.src.ku.ac.th*

Sarunya Pakong¹, Siraprapa Chokruai¹, Chirakiat Saithong^{1,2*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

²Industrial and Production Management Research Unit, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

E-mail: chirakiat@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

เหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนในห่วงโซ่อุปทานอาจก่อให้เกิดปัญหาการหยุดชะงักของอุปทาน การหยุดชะงักของอุปทานส่งผลให้เกิดการขาดแคลนสินค้าหรือวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งทำให้องค์กรไม่สามารถตอบสนองความต้องการสินค้าของลูกค้าได้ งานวิจัยชิ้นนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุดภายใต้ปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานที่ไม่แน่นอนและระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานเป็นตัวแปรสุ่มที่ไม่มีรูปแบบการแจกแจง งานวิจัยชิ้นนี้พิจารณาความต้องการสินค้าที่มีการแจกแจงแบบปกติตลอดจนระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่เป็นตัวแปรสุ่มที่ไม่มีรูปแบบการแจกแจงและระยะเวลานำซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้มีความแตกต่างจากวรรณกรรมที่ปรากฏอยู่ จากการทดลองเชิงตัวเลขพบว่างานวิจัยชิ้นนี้สามารถกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุดได้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เชิงวิเคราะห์ที่สร้างขึ้น ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่มีต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานและต้นทุนรวมที่คาดหวังได้ถูกวิเคราะห์โดยการวิเคราะห์ความไว ผลการทดลองเชิงตัวเลขและวิเคราะห์ความไวแสดงให้เห็นถึงความสามารถที่จะนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้ได้เมื่อทราบฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานและความต้องการสินค้าที่มีการแจกแจงแบบปกติ

คำสำคัญ: ปัญหาการหยุดชะงักของอุปทาน ห่วงโซ่อุปทาน การควบคุมสินค้าคงคลัง

Abstract

Uncertain events in supply chains can cause supply disruption problems. The supply disruptions result in a shortage of goods or raw materials required in a manufacturing process, which makes the organization unable to meet customer demand. This research aims at determining the optimal level of base-stock that minimizes the total costs under the problem of uncertain supply disruption, and supply disruption length is a random variable with an undefined distribution. This research considers a normally distributed demand as well as an undefined distribution of a supply disruption length and a lead time, which is the different point from the existing literature. From the numerical experiments, using the formulated analytical mathematical models, it is found that this research is able to determine the optimal level of base-stock that minimizes the expected total costs. The effect of parameter changes on the base-stock level and the expected total costs is analyzed using sensitivity analysis. Numerical experiments and sensitivity analysis illustrate the applicability of the formulated mathematical expression in case the probability mass function of the supply disruption length is known, and the demand follows a normal distribution.

Keywords: Supply disruption problem, Supply chain, Inventory control

1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันมักเกิดเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนหรือเหตุการณ์ที่คาดไม่ถึง ซึ่งอาจจะเกิดจากการที่ผู้ส่งมอบมีปัญหาการขนส่ง การจัดส่งล่าช้า เกิดอุบัติเหตุในโรงงาน ปัญหาด้านแรงงาน ผู้ส่งมอบล้มละลาย หรืออาจเกิดจากภัยธรรมชาติ เช่น อัคคีภัย อุทกภัย สาเหตุต่างๆเหล่านี้ทำให้เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน (supply disruption) การหยุดชะงักของอุปทานส่งผลให้เกิดการขาดแคลนสินค้าหรือวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิต และยังมีผลทำให้เกิดการสูญเสียกำไร นอกจากนี้ยังมีค่าใช้จ่ายต่างๆที่เพิ่มขึ้นอีกด้วย ตัวอย่างของผลกระทบจากการหยุดชะงักของอุปทาน เช่น กรณีเมื่อคืนวันที่ 5 มิถุนายน 2564 เกิดเหตุระเบิดขึ้นที่โรงงานผลิตเม็ดโฟมพลาสติกของบริษัท หมิงตี้เคมีคอล จำกัด ในจังหวัดสมุทรปราการ บริษัท หมิงตี้เคมีคอล นี้เป็นผู้ผลิตเม็ดโฟมพลาสติกและพลาสติกขึ้นต้นส่งออกไปในประเทศแถบยุโรป และสหรัฐอเมริกา และหลังเกิดเหตุบริษัท หมิงตี้เคมีคอล ต้องย้ายไปตั้งโรงงานแห่งใหม่ เมื่อเกิดเหตุการณ์นี้ขึ้นทำให้ต้องหยุดการจัดส่งสินค้าและทำให้บริษัทที่จัดซื้อเม็ดโฟมพลาสติกจากบริษัทหมิงตี้เคมีคอลนี้ประสบปัญหาการหยุดชะงักของอุปทาน [1], [11] ดังนั้นองค์กรที่มีความเป็นไปได้ที่จะประสบกับปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานนี้จึงควรกำหนดวิธีการในการจัดการกับปัญหาดังกล่าว วิธีการจัดการปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานนี้มีอยู่หลากหลายวิธี เช่น การถือครองสินค้าคงคลัง (inventory holding) การจัดหาผู้จัดส่งหลายราย (multiple sourcing) การจัดหาผู้จัดส่งสำรอง (backup supplier) และการจัดทำประกันภัย (financial insurance) [2] วิธีการข้างต้นสามารถนำมาใช้ในการจัดการกับปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานได้ตามความเหมาะสมของสถานการณ์

งานวิจัยชิ้นนี้ใช้วิธีการถือครองสินค้าคงคลังเพื่อจัดการกับปัญหาการหยุดชะงักของอุปทาน เมื่อวิธีการดังกล่าวนี้ถูกนำมาใช้องค์กรต้องกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุด ในการกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมนี้องค์กรควรพิจารณาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ระยะเวลา (lead time) เนื่องจากการสั่งซื้อสินค้าจากผู้จัดส่งต้องใช้ระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า ความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้า นอกจากนี้ระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานซึ่งอาจจะไม่สามารถกำหนดรูปแบบการแจกแจงได้ ปัจจัยดังกล่าวข้างต้นควรถูกนำมาพิจารณาเพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสม

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุดภายใต้ปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานที่ไม่แน่นอน โดยพิจารณาระยะเวลา ความไม่แน่นอนของความต้องการสินค้า และระยะเวลาของการหยุดชะงักของอุปทานที่ไม่แน่นอนที่ไม่สามารถกำหนดรูปแบบการแจกแจงได้

2. ทบทวนวรรณกรรม

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน กล่าวคือวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการรับมือกับปัญหาการ

หยุดชะงักของอุปทานและวรรณกรรมที่ใช้ตัวแบบที่คล้ายกับแบบจำลองผู้ขายหนังสือพิมพ์ (newsvendor model) ในการกำหนดระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมเมื่อมีความเป็นไปได้ของการหยุดชะงักของอุปทาน

2.1 วิธีการรับมือกับปัญหาการหยุดชะงักของอุปทาน

หลากหลายวิธีที่สามารถใช้เพื่อรับมือกับปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานได้ ได้แก่ การถือครองสินค้าคงคลัง การจัดซื้อจากผู้ส่งมอบหลายราย การจัดหาผู้จัดส่งสำรอง และการจัดทำประกันภัย [2] ในการรับมือกับปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานโดยใช้วิธีการถือครองสินค้าคงคลัง [8] พิจารณาระบบการทบทวนระดับสินค้าคงคลังแบบต่อเนื่องแบบ r และ S ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้มีการพิจารณาคำถามความต้องการสินค้าแบบสุ่มและพิจารณาการส่งสินค้าย้อนหลัง ในขณะที่ [5] พิจารณาการส่งสินค้าย้อนหลังบางส่วน เพิ่มเติมจากนี้รูปผลเฉลยแบบปิดของระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ด้วย [7] พิจารณาการกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมในระบบการทบทวนสินค้าคงคลังเป็นระยะ (periodic review inventory system) โดยพิจารณาระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่เป็นตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง (continuous random variable) ซึ่งเป็นอิสระต่อช่วงระยะเวลาการทบทวนสินค้าคงคลังโดยพิจารณาระยะเวลานำเป็นศูนย์ [6] ผ่อนคลายประเด็นการพิจารณาระยะเวลานำที่เป็นศูนย์โดยพิจารณาระยะเวลานำของการเติมเต็มสินค้าที่มีค่าคงที่ (fixed replenishment lead time) งานวิจัยข้างต้น กล่าวคือ [8], [5], [7], [6] พิจารณาระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่มีการแจกแจงแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (exponential) [3] ได้ผ่อนคลายสมมติฐานของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานนี้โดยพิจารณาระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่ไม่พอดีกับรูปแบบการแจกแจงแบบใดแบบหนึ่งเพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมต่อหน่วยเวลาต่ำที่สุด

สำหรับวรรณกรรมที่ใช้วิธีการจัดซื้อจากผู้ส่งมอบหลายราย [12] พิจารณาการหาปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมจากผู้ส่งมอบ 2 รายโดยที่ผู้ส่งมอบอาจไม่สามารถตอบสนองคำสั่งซื้อที่เต็มจำนวนได้และผู้ส่งมอบสามารถตอบสนองคำสั่งซื้อเป็นค่าสัดส่วนคงที่ [4] ผ่อนคลายสมมติฐานของความสามารถในการตอบสนองคำสั่งซื้อที่มีค่าคงที่เป็นแบบเฟ้นสุ่มเพื่อกำหนดปริมาณการสั่งซื้อที่เหมาะสมที่ทำให้กำไรรวมที่คาดหวังสูงที่สุด

สำหรับวรรณกรรมที่ใช้การจัดหาผู้จัดส่งสำรอง [13] พิจารณาระบบที่ผู้ค้าปลีกจัดหาผู้จัดส่งสินค้าสำรองเมื่อผู้จัดส่งสินค้าหลักอาจจะประสบปัญหาที่ทำให้ไม่สามารถจัดส่งสินค้าให้กับผู้ค้าปลีกได้ กลไกค่าปรับได้ถูกนำมาใช้ระหว่างผู้ค้าปลีกและผู้จัดส่งสินค้าสำรอง จากนั้น [14] ได้ศึกษาผลกำไรระหว่างผู้ค้าปลีกและผู้จัดส่งสินค้าสำรองที่ทำให้เกิดการดำเนินงานร่วมกันได้ในห่วงโซ่อุปทาน

2.2 การกำหนดนโยบายคงคลังที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแบบที่คล้ายกับแบบจำลองผู้ขายหนังสือพิมพ์

ตัวแบบที่คล้ายกับแบบจำลองผู้ขายหนังสือพิมพ์ได้ปรากฏอยู่ในวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการหาระดับสินค้าคงคลังที่เหมาะสมเมื่อมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการหยุดชะงักของอุปทาน [9] พิจารณาการถือครองระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนน้อยที่สุดโดยพิจารณาปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานควบคู่กับความไม่แน่นอนของผลผลิต [15] พิจารณาการหารูปแบบผลเฉลยแบบปิดแบบประมาณการในการกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐาน [16] ใช้ตัวแบบที่คล้ายกับแบบจำลองผู้ขายหนังสือพิมพ์ในการศึกษาจำนวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อทำให้เกิดกำไรสูงที่สุด

จากตารางที่ 1 ที่แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวรรณกรรมที่ปรากฏอยู่และงานวิจัยชิ้นนี้พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่พิจารณาการแจกแจงของความต้องการสินค้าที่หลากหลายและเป็นแบบสุ่ม (stochastic) นอกจากนี้วรรณกรรมที่ปรากฏอยู่ส่วนใหญ่ไม่พิจารณาระยะเวลา นำ มีเพียง [6] และ [8] เท่านั้นที่พิจารณาระยะเวลา นำ ถึงอย่างไรก็ตาม [8] พิจารณาระบบการทบทวนสินค้าคงคลังที่แตกต่างจากงานวิจัยชิ้นนี้ มีเพียง [6] เท่านั้นที่พิจารณาระยะเวลา นำ และพิจารณาระบบการทบทวนสินค้าคงคลังแบบเดียวกับงานวิจัยชิ้นนี้ การพิจารณาระยะเวลา นำ มีความสำคัญเนื่องจากในทางปฏิบัติส่งมอบควรใช้ระยะเวลาหนึ่งในการเตรียมสินค้าหรือวัตถุดิบตามที่องค์กรได้สั่งซื้อ รวมถึงยังต้องพิจารณาระยะเวลาในการขนส่งอีกด้วย นอกจากนี้มีเพียง [3] เท่านั้นที่พิจารณาระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานแบบสุ่มที่ไม่ได้กำหนดรูปแบบการแจกแจง การพิจารณาระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานแบบดังกล่าวมีความสำคัญดังที่อภิปรายไว้ใน [3]

ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้มีความแตกต่างจากวรรณกรรมที่ปรากฏอยู่โดยการพิจารณาระยะเวลา นำ ความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอน และระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่ไม่กำหนดรูปแบบการแจกแจงในการกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุด

3. การสร้างฟังก์ชันของค่าความคาดหวังต้นทุนรวม

ในการสร้างฟังก์ชันของค่าความคาดหวังต้นทุนรวมจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กรณี กล่าวคือ กรณีที่ไม่เกิดการหยุดชะงักของอุปทานและกรณีที่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน สัญลักษณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

- D_a = ตัวแปรสุ่มของความต้องการสินค้าในช่วงระยะเวลา a วัน
- Y = ตัวแปรสุ่มของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทาน
- $f_{D_a}(\xi_a)$ = ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม D_a
- $P\{Y = y\}$ = ฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม Y
- T = ช่วงระยะเวลาการทบทวนสินค้าคงคลัง
- L = ระยะเวลา นำ
- h = ต้นทุนสินค้าคงเหลือ

ตารางที่ 1 การระบุความแตกต่างระหว่างงานวิจัย

งานวิจัย	ความต้องการสินค้า	ระยะเวลา นำ	ระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทาน
[3]	Stochastic	Zero	Undefined distribution
[4]	Stochastic	Zero	
[5]	Deterministic	Zero	Exponential distribution
[6]	Stochastic	Non-zero	Exponential distribution
[7]	Stochastic	Zero	Exponential distribution
[8]	Stochastic	Non-zero	Exponential distribution
[9]	Stochastic	Zero	
งานวิจัยชิ้นนี้	Stochastic	Non-zero	Undefined distribution

c = ต้นทุนสินค้าขาดแคลน

p = ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

μ = ค่าเฉลี่ยของความต้องการสินค้าในช่วง 1 วัน

σ^2 = ค่าความแปรปรวนของความต้องการสินค้าในช่วง 1 วัน

$E[TC^{ND}]$ = ค่าความคาดหวังของต้นทุนรวมเมื่อไม่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

$E[TC^D]$ = ค่าความคาดหวังของต้นทุนรวมเมื่อเกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

$E[TC]$ = ค่าความคาดหวังของต้นทุนรวม

S = ระดับสินค้าคงคลังมูลฐาน

ทั้งนี้ $E[TC]$ สามารถหาได้จากผลรวมของผลคูณระหว่างความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์หนึ่งขึ้นและค่าความคาดหวังของต้นทุนเมื่อเกิดเหตุการณ์นั้นขึ้นดังแสดงใน (1)

$$E[TC] = (1-p)E[TC^{ND}] + pE[TC^D] \quad (1)$$

3.1 กรณีที่ไม่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

ในกรณีที่ ไม่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน ฟังก์ชันของค่าความคาดหวังของต้นทุนรวมสามารถหาได้โดยการอ้างอิงจาก [10]

$$E[TC^{ND}] = h \int_0^S (S - \xi_{T+L}) f_{D_{T+L}}(\xi_{T+L}) d\xi_{T+L} + c \int_S^\infty (\xi_{T+L} - S) f_{D_{T+L}}(\xi_{T+L}) d\xi_{T+L} \quad (2)$$

$$\text{โดยที่ } f_{D_{T+L}}(\xi_{T+L}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(T+L)}\sigma} e^{-\frac{(\xi_{T+L}-(T+L)\mu)^2}{2(T+L)\sigma^2}}$$

3.2 กรณีที่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน

ในกรณีที่เกิดการหยุดชะงักของอุปทาน องค์กรอาจจะเผชิญกับสถานการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งการมีสินค้าคงคลังคงเหลือและการเกิดการขาดแคลนสินค้าคงคลัง โดยที่ค่าความคาดหวังของต้นทุนรวมเมื่อระยะเวลาการหยุดชะงักเป็นตัวแปรสุ่ม Y สามารถหาได้จาก (3)

$$E[TC^D] = \sum_y \left(\begin{aligned} & h \int_0^S (S - \xi_{T+L+y}) f_{D_{T+L+y}}(\xi_{T+L+y}) d\xi_{T+L+y} \\ & + c \int_S^\infty (\xi_{T+L+y} - S) f_{D_{T+L+y}}(\xi_{T+L+y}) d\xi_{T+L+y} \end{aligned} \right) P\{Y = y\} \quad (3)$$

$$\text{โดยที่ } f_{D_{T+L+y}}(\xi_{T+L+y}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(T+L+y)}\sigma} e^{-\frac{(\xi_{T+L+y}-(T+L+y)\mu)^2}{2(T+L+y)\sigma^2}}$$

จาก (3) $h \int_0^S (S - \xi_{T+L+y}) f_{D_{T+L+y}}(\xi_{T+L+y}) d\xi_{T+L+y}$ แสดงถึงต้นทุนสินค้าคงเหลือที่คาดหวังเมื่อเกิดระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทาน y หน่วยของเวลา ส่วน $c \int_S^\infty (\xi_{T+L+y} - S) f_{D_{T+L+y}}(\xi_{T+L+y}) d\xi_{T+L+y}$ แสดงถึงต้นทุนสินค้าคงคลังขาดแคลนเมื่อเกิดระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทาน y หน่วยของเวลา เมื่อนำ (2) และ (3) แทนลงใน (1) ค่าความคาดหวังของต้นทุนรวมสามารถทำการกำหนดได้

4. การทดลองเชิงตัวเลขและวิเคราะห์ความไว

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของฟังก์ชันต้นทุนรวมที่คาดหวังถูกพัฒนาขึ้นเพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุดภายใต้การหยุดชะงักของอุปทานที่ไม่แน่นอนซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้ ถึงอย่างไรก็ตามฟังก์ชันต้นทุนรวมที่คาดหวังที่ได้พัฒนาขึ้นข้างต้นยังไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นไปใช้ในการกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานได้ ดังนั้นจึงควรทำการทดลองเชิงตัวเลขเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้ นอกจากนี้ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ควรมีการวิเคราะห์ด้วยเช่นเดียวกันซึ่งจะถูกแสดงไว้ในการวิเคราะห์ความไว

4.1 การทดลองเชิงตัวเลข

กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีดังต่อไปนี้: $T = 7$ วัน, $L = 3$ วัน, $h = 10$ บาทต่อหน่วย, $c = 12$ บาทต่อหน่วย, $\mu = 25$ หน่วยต่อวัน,

$\sigma = 4$ หน่วยต่อวัน, $p = 0.1$ และมีฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทาน (วัน)

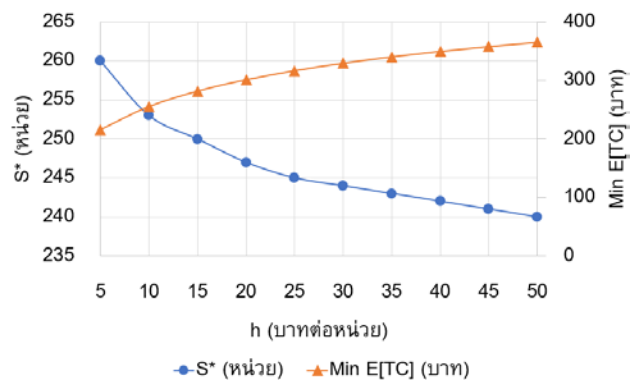
$Y = y$	1	3	5	9
$P\{Y = y\}$	0.25	0.15	0.20	0.40
$E[Y] = 5.30$ วัน				

จากค่าพารามิเตอร์ข้างต้นพบว่า $S^* = 253$ หน่วย ซึ่งให้ค่าความคาดหวังของต้นทุนรวมที่น้อยที่สุด $E[TC] = 255.56$ บาท

จากการทดลองเชิงตัวเลขข้างต้นพบว่าสามารถกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุดได้ ดังนั้นผลการทดลองเชิงตัวเลขดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงสามารถในการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นไปใช้ได้เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์และฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักอุปทาน

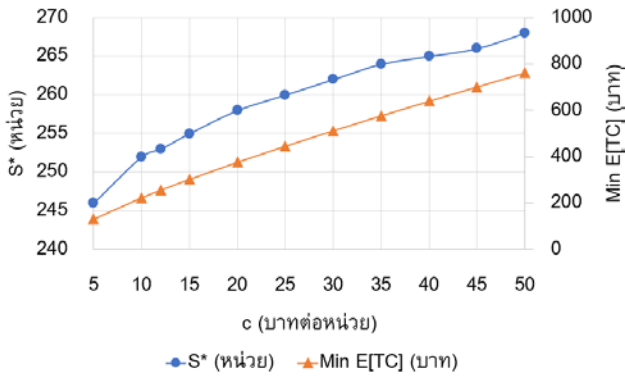
4.2 การวิเคราะห์ความไว

ในการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ตั้งต้นคือ $T = 7$ วัน, $L = 3$ วัน, $h = 10$ บาทต่อหน่วย, $c = 12$ บาทต่อหน่วย, $\mu = 25$ หน่วยต่อวัน, $\sigma = 4$ หน่วยต่อวัน, $p = 0.1$ และมีฟังก์ชันมวลความน่าจะเป็นของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานดังตารางที่ 2 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ h แสดงในรูปที่ 1



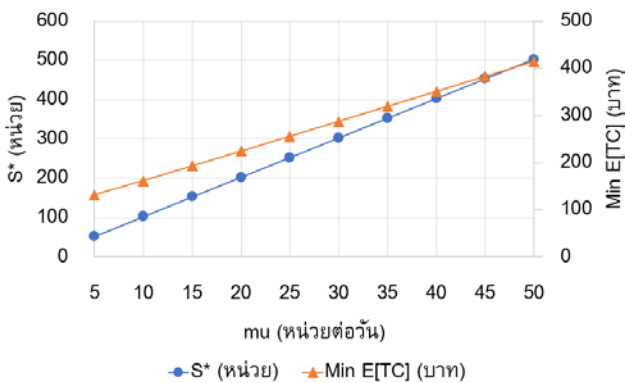
รูปที่ 1 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ h

จากรูปที่ 1 พบว่าค่าของพารามิเตอร์ h มีผลกระทบต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังน้อยที่สุดเมื่อต้นทุน h เพิ่มขึ้นส่งผลให้ระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมลดลงแต่ทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังเพิ่มขึ้น ดังนั้นหากองค์กรมีต้นทุนสินค้าคงเหลือมากจะทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



รูปที่ 2 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ c

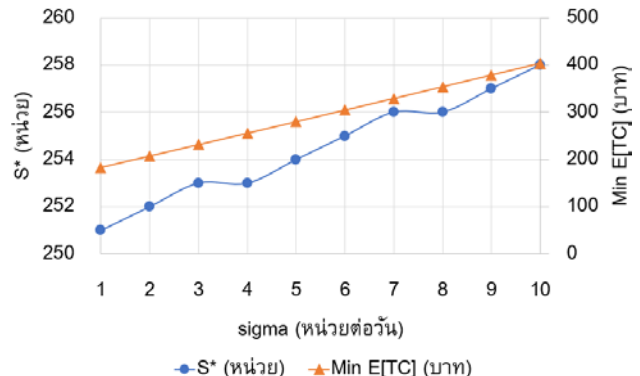
จากรูปที่ 2 พบว่าค่าของพารามิเตอร์ c มีผลกระทบต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังน้อยที่สุด เมื่อต้นทุนสินค้าขาดแคลนเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นและทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังที่น้อยที่สุดเพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้นหากองค์กรมีต้นทุนสินค้าขาดแคลนมากขึ้นจะทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากองค์กรต้องจัดเก็บสินค้าเพิ่มมากขึ้น



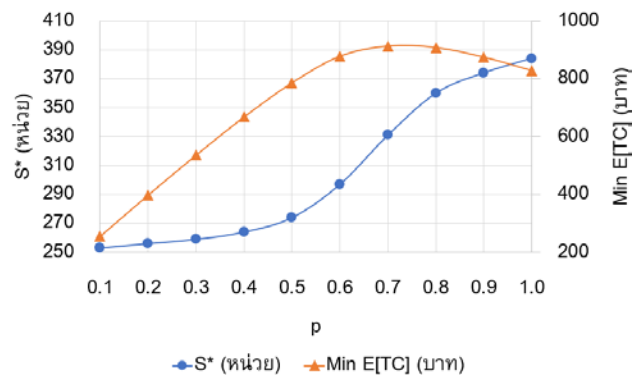
รูปที่ 3 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ μ

จากรูปที่ 3 พบว่าค่าของพารามิเตอร์ μ มีผลกระทบต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังน้อยที่สุด เมื่อค่าเฉลี่ยความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมเพิ่มขึ้นและทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังที่น้อยที่สุดเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากองค์กรพบว่าลูกค้ามีความต้องการสินค้ามากขึ้นจะทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังสูงขึ้นตามไปด้วย

จากรูปที่ 4 พบว่าค่าของพารามิเตอร์ σ มีผลกระทบต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังน้อยที่สุด เมื่อส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการสินค้าเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความต้องการสินค้าเพิ่มขึ้น จะทำให้องค์กรเกิดต้นทุนรวมที่คาดหวังเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 4 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ σ



รูปที่ 5 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าของพารามิเตอร์ p

จากรูปที่ 5 พบว่าค่าของพารามิเตอร์ p มีผลกระทบต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมที่คาดหวังน้อยที่สุด เมื่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดการหยุดชะงักของอุปทานเพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและต้นทุนรวมที่คาดหวังก็เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งก่อนที่จะเริ่มลดลง ดังนั้นเมื่อความน่าจะเป็นที่จะเกิดการหยุดชะงักของอุปทานสูงขึ้นองค์กรควรเพิ่มระดับสินค้าคงคลังมูลฐานให้สูงขึ้นตามไปด้วย

5. สรุปผล

เนื่องจากในปัจจุบันมักเกิดเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนซึ่งอาจเกิดจากการที่ผู้ส่งมอบมีปัญหาการขนส่ง การจัดส่งล่าช้า หรืออาจเกิดจากภัยธรรมชาติซึ่งทำให้เกิดปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานขึ้น วิธีการในการจัดการกับปัญหาการหยุดชะงักของอุปทานมีอยู่หลากหลายวิธีและงานวิจัยชิ้นนี้ใช้วิธีการถือครองสินค้าคงคลังซึ่งเหมาะสมสำหรับกรณีที่ระยะเวลาการเกิดการหยุดชะงักของอุปทานไม่นานเกินไป วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุดโดยพิจารณาความต้องการสินค้าเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการแจกแจงแบบปกติ พิจารณาระยะเวลานาน และพิจารณาระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานที่เป็นตัวแปรสุ่มที่ไม่ได้กำหนดรูปแบบการแจกแจง การพิจารณาปัจจัยข้างต้นนี้ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้มีความแตกต่างจากรรณกรรมที่ปรากฏอยู่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงถึงค่าความคาดหวังต้นทุนรวมได้ถูกสร้างขึ้นและทำการทดลอง

เชิงตัวเลขเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของระดับสินค้าคงคลังมูลฐาน ผลการทดลองเชิงตัวเลขดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงการนำไปใช้ได้ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นเพื่อกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนรวมน้อยที่สุดได้ จากการวิเคราะห์ความไวแสดงให้เห็นถึงผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์ต่อระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมและต้นทุนรวมที่คาดหวังที่น้อยที่สุด

สำหรับการนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้ประโยชน์เพื่อให้เกิดต้นทุนที่น้อยที่สุดสำหรับองค์กร องค์กรสามารถเก็บข้อมูลของระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานและนำมาสร้างฟังก์ชันมวลของความน่าจะเป็นได้ ด้วยสมมติฐานที่ว่าความต้องการสินค้ามีการแจกแจงแบบปกติและองค์กรทราบต้นทุนที่เกี่ยวข้องนี้ องค์กรสามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยชิ้นนี้ไปกำหนดระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่ทำให้เกิดต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุดได้

ถึงอย่างไรก็ตามการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในงานวิจัยชิ้นนี้พิจารณาเฉพาะกรณีที่ระยะเวลานำทำให้เกิดจำนวนคำสั่งซื้อค้างส่งไม่เกิน 1 จำนวนคำสั่งซื้อเท่านั้น ในกรณีที่ระยะเวลานำมีค่ามากซึ่งสามารถทำให้เกิดกรณีที่จำนวนคำสั่งซื้อค้างส่งมากกว่า 1 คำสั่งซื้อได้ ดังนั้นการพิจารณาหาระดับสินค้าคงคลังมูลฐานที่เหมาะสมโดยพิจารณาจำนวนคำสั่งซื้อค้างส่งมากกว่า 1 คำสั่งซื้อสามารถเป็นประเด็นที่สามารถทำการวิจัยต่อไปได้ในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้แต่งขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา สำหรับการสนับสนุนงบประมาณในการนำเสนอผลงานวิจัยในการประชุมวิชาการแบบปากเปล่า

เอกสารอ้างอิง

[1] Techsauce Team. "ข้อมูลเบื้องต้น หมิงตี้เคมีคอล บริษัทเม็ดโพลีเอทิลีนได้หวั่น จุดเกิดเหตุโรงงานกิ่งแก้วไฟไหม้". เอกสารออนไลน์ <https://techsauce.co/news/who-is-ming-dih-chemical> สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2565.

[2] Tomlin, B. 2006. On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks. *Management science*, 52(5), 639-657.

[3] ณัฐวุฒิ วิเชียรพงษ์ และ จิรเกียรติ ทรายทอง 2564. การหาระดับสต็อกมูลฐานที่เหมาะสมเมื่ออุปสงค์และระยะเวลาการหยุดชะงักของอุปทานแจกแจงอย่างไม่ต่อเนื่อง, วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, ปีที่ 9, ฉบับที่ 1, หน้า 10-21.

[4] Saithong, C., & Rukanna, W. 2022. On the optimal ordering policy of a dual-sourcing system considering stochastic supply disruption together with stochastic ordering yield. *Cogent Engineering*, 9(1), 2014023.

[5] Saithong, C., & Lekhavat, S. 2020. Derivation of closed-form expression for optimal base stock level considering partial backorder, deterministic demand, and stochastic supply disruption. *Cogent Engineering*, 7(1), 1767833.

[6] Saithong, C., & Luong, H. T. 2022. A periodic review order-up-to inventory policy in the presence of stochastic supply disruption. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 40(2), 181-199.

[7] Saithong, C., & Luong, H. T. 2019. Effect of supply disruption on inventory policy. *European Journal of Industrial Engineering*, 13(2), 178-212.

[8] Saithong, C., & Luong, H. T. 2020. Effects of supply disruption on optimal inventory policy: The case of (r, S) continuous review inventory policy. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 35(4), 482-508.

[9] Schmitt, A. J., & Snyder, L. V. 2012. Infinite-horizon models for inventory control under yield uncertainty and disruptions. *Computers & Operations Research*, 39(4), 850-862.

[10] Axsäter, S. 2015. *Inventory control*. Springer.

[11] สิทธิชัย ชวรางกูร. "หมิงตี้". เอกสารออนไลน์ <http://snp.co.th/2021/07/logistics-corner-679/> สืบค้นเมื่อวันที่ 3 เมษายน 2566.

[12] Gupta, V., & Ivanov, D. 2020. Dual sourcing under supply disruption with risk-averse suppliers in the sharing economy. *International Journal of Production Research*, 58(1), 291-307.

[13] Hou, J., & Zhao, L. 2012. Backup agreements with penalty scheme under supply disruptions. *International Journal of Systems Science*, 43(5), 987-996.

[14] Giri, B. C., & Bardhan, S. 2015. Coordinating a supply chain under uncertain demand and random yield in presence of supply disruption. *International Journal of Production Research*, 53(16), 5070-5084.

[15] Schmitt, A. J., Snyder, L. V., & Shen, Z. J. M. 2010. Inventory systems with stochastic demand and supply: Properties and approximations. *European Journal of Operational Research*, 206(2), 313-328.

[16] Giri, B. C., & Sharma, S. 2016. Optimal production policy for a closed-loop hybrid system with uncertain demand and return under supply disruption. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2015-2028.

การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานในกระบวนการกัดชิ้นส่วนเครื่องบิน Ergonomic Risk Assessment of Workers in Milling Machine Process for Aerospace Parts

เนาดี โคตวิทย์¹ นัฐวิภา จันทศรี^{2*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมความปลอดภัยและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

E-mail: natthavika@eng.src.ku.ac.th*

Naowadee Kotwit¹, Natthavika Chansri^{2*}

¹Safety Engineering and Environmental Management Program, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

E-mail: natthavika@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

ในกระบวนการกัดชิ้นส่วนเครื่องบิน พนักงานมีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บเรื้อรัง อันนำไปสู่ความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก โครงสร้างจากการทำงาน ดังนั้นงานวิจัยนี้นำเสนอประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานในกระบวนการกัดชิ้นส่วนเครื่องบิน และใช้แบบสอบถามการปวดเมื่อยร่างกายนอร์ดิก เพื่อประเมินการปวดเมื่อยส่วนต่าง ๆ ร่างกายของพนักงาน จำนวน 18 คน ที่มีอายุงานอย่างน้อย 1 ปีขึ้นไป ตั้งแต่คอ ไหล่ หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขนส่วนบน ข้อศอก แขนส่วนล่าง มือ/ข้อมือ สะโพก ต้นขา หัวเข่า น่อง และเท้า จากการประเมินความเสี่ยงการยศาสตร์ พบว่าพนักงานมีความเสี่ยงต่อการปวดกล้ามเนื้อบริเวณคอ หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขน มือ/ข้อมือ หัวเข่า น่อง และเท้า เพื่อลดการเจ็บปวดในสถานที่ทำงาน งานวิจัยนี้ควรปรับปรุงสถานที่ทำงานและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสม

คำสำคัญ: ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ การยศาสตร์ ชิ้นส่วนเครื่องบิน

Abstract

In milling machine process for aerospace parts, workers are vulnerable to cumulative trauma that leads to work-related musculoskeletal disorders. Therefore, this research presents the ergonomic risk assessment of workers in milling machine process for aerospace parts. It was applied Nordic body discomfort questionnaire to assess eighteen workers' the entire body who are working life at least one year. The entire body consists of neck, shoulder, upper back, lower back, upper arm, forearm, lower arm, wrist, hip/buttock, thigh, knee, lower leg and foot. From the ergonomic risk assessment, it shown that workers are vulnerable to pain muscle at neck, upper back, lower back, arm, wrist, knee, lower leg and foot. To reduce pain in the workplace, this research should improve the suitable working area or equipment.

Keywords: Muscle pain, Ergonomics, Aerospace parts

1. บทนำ

กระบวนการกีดชิ้นส่วนเครื่องปั้นเป็นกระบวนการที่พนักงานกีดชิ้นส่วน (ชิ้นส่วนที่นิ่ง และชิ้นส่วนปีก) ของเครื่องปั้นต้องยกชิ้นส่วนที่มีน้ำหนัก 9 – 30 กิโลกรัม ทั้งที่มีและไม่มีอุปกรณ์ช่วยยก ยกชิ้นส่วนเข้าและออกจากเครื่องกีด ยืนอยู่กับที่เพื่อควบคุมเครื่องกีด และก้มเงยเพื่อขัด/ลบคมขอบชิ้นส่วน และตรวจสอบชิ้นส่วนซ้ำๆ เป็นเวลานาน ซึ่งทำให้พนักงานมีความเสี่ยงต่อการปวดกล้ามเนื้อบริเวณคอ หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง สะโพกต้นขา เท้า หัวไหล่ มือ/ข้อมือ และข้อศอก ดังตารางที่ 1 หากเกิดอาการปวดเรื้อรัง อาจทำให้เกิดโรคจากการทำงานขึ้นได้

ตารางที่ 1 จำนวนครั้งที่เข้ารับบริการจากห้องพยาบาล ในการรักษาอาการปวดกล้ามเนื้อ และข้อ

ลำดับ	บริเวณที่มีอาการปวด	จำนวนครั้ง		
		ปี 2020	ปี 2021	รวม
1	กล้ามเนื้อ	13	2	15
2	คอ	3	4	7
3	หลัง	5	1	6
4	แขน	3	2	5
5	สะโพก/ต้นขา	5	0	5
6	เท้า	3	2	5
7	ไหล่	0	3	3
8	หัวเข่า	1	1	2
9	มือ/ข้อมือ	1	0	1
10	ข้อศอก	0	1	1

ที่มา: ห้องพยาบาลของบริษัทผลิตชิ้นส่วนเครื่องปั้น

กลุ่มอาชีพอนามัย สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม [1] กล่าวว่าปัจจัยเสี่ยงทางกายศาสตร์ที่มีผลต่อการเกิดโรคทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อของผู้ปฏิบัติงาน เนื่องจากท่าทางการทำงานไม่เหมาะสม เช่น การบิดเอี้ยวลำตัว การหมุนข้อมือ และการยกไหล่ การไม่ปรับเปลี่ยนอิริยาบถในการทำงานเป็นระยะเวลานานๆ และการออกแรงมากเกินไปในขณะที่ทำงาน เช่น การยกของหนักเกินไป เป็นต้น นอกจากลักษณะท่าทางการทำงาน ยังมีปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัจจัยด้านการทำงาน ปัจจัยด้านผู้ปฏิบัติงาน ปัจจัยด้านองค์กรการทำงาน และปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม [2]

จากผลกระทบที่อาจจะเกิดจากการทำงานที่ไม่เหมาะสม การประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ มีบทบาทสำคัญในการจัดการความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน ซึ่งจะบ่งชี้ให้เห็นถึงสภาพปัญหา ความรุนแรงของปัญหา และสาเหตุของปัญหาที่อาจส่งผลให้เกิดความเสี่ยงทางกายศาสตร์ต่อสุขภาพของผู้ปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันหรือแก้ไขท่าทางการทำงานให้มีความเหมาะสมและปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน

วิธีที่ใช้ในการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์มีหลายวิธี เช่น วิธีการประเมินทั่วทั้งร่างกายแบบรวดเร็ว (Rapid Entire Body Assessment, REBA) เพื่อใช้ประเมินส่วนต่างๆ ของร่างกาย ซึ่งเหมาะกับงานที่มีลักษณะเปลี่ยนท่าทางอย่างรวดเร็วหรืองานที่ไม่อยู่กับที่ งานที่ยืนปฏิบัติงานในท่าทางเดิมซ้ำๆ ตลอดเวลา [3] วิธีการประเมินร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว (Rapid Upper Limb Assessment: RULA) เพื่อใช้ประเมินร่างกายส่วนบนแบบรวดเร็ว [4, 5, 6] วิธีการประเมิน NIOSH (The National Institute for Occupational Safety and Health) เพื่อใช้ประเมินสภาพการยกและเคลื่อนย้ายสิ่งของด้วยแรงกายของผู้ปฏิบัติงาน [6] วิธีการประเมินทางชีวกลศาสตร์ (Biomechanics) เพื่อใช้ประเมินการเคลื่อนไหวและแรงที่กระทำที่เกิดขึ้นที่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย [7] และวิธีการประเมินการปวดเมื่อยร่างกายนอร์ดิก (Nordic Body Discomfort) เพื่อใช้ประเมินอาการปวดเมื่อยจากกล้ามเนื้อส่วนต่างๆ ของร่างกาย [3]

ดังนั้นงานวิจัยศึกษาปัจจัยเสี่ยงทางการยศาสตร์ที่มีผลต่อการปวดกล้ามเนื้อของพนักงานในกระบวนการกีดชิ้นส่วนเครื่องปั้น โดยใช้วิธีการประเมินการปวดเมื่อยร่างกายนอร์ดิก

2. วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การรวบรวมข้อมูล การทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม และการประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้เก็บรวบรวมข้อมูล 2 ส่วน คือข้อมูลทั่วไป และข้อมูลอาการปวดเมื่อยของร่างกาย ดังนี้

2.1.1 ข้อมูลทั่วไป

งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลทั่วไป (น้ำหนัก ส่วนสูง ค่าดัชนีมวลกาย และอายุการทำงาน) ข้อมูลสุขภาพ และข้อมูลการทำงาน

2.1.2 ข้อมูลอาการปวดเมื่อยของร่างกาย

งานวิจัยนี้ใช้แบบสอบถามการปวดเมื่อยร่างกายนอร์ดิก (Nordic Body Discomfort) เพื่อประเมินอาการปวดบริเวณต่าง ๆ ของร่างกายของพนักงานทั้งทางด้านขวาและซ้าย ที่เกิดขึ้นจากการยืน ตั้งแต่คอ (Neck) ไหล่ (Shoulder) หลังส่วนบน (Upper back) หลังส่วนล่าง (Lower back) แขนส่วนบน (Upper arm) ข้อศอก (Forearm) แขนส่วนล่าง (Lower arm) มือ/ข้อมือ (Wrist) สะโพก (Hip/Buttock) ต้นขา (Thigh) หัวเข่า (Knee) น่อง (Lower leg) และเท้า (Foot) ซึ่งประกอบด้วย 4 ชุดคำถาม ดังนี้

- คำถามที่ 1 ความถี่ของการปวดเมื่อย เมื่อสัปดาห์ที่แล้ว
- คำถามที่ 2 ระดับของการปวดเมื่อย
- คำถามที่ 3 ระดับของการปวดเมื่อยที่มีผลต่อการทำงาน
- คำถามที่ 4 การปวดเมื่อย เมื่อปีที่แล้ว

2.2 การทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม

งานวิจัยนี้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค (Cronbach's alpha coefficient) เพื่อทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม ซึ่งสามารถคำนวณ [8] ดังสมการที่ 1

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right] \quad (1)$$

โดยที่ α คือ ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม
 n คือ จำนวนข้อของแบบสอบถาม
 S_i^2 คือ ค่าความแปรปรวนของคะแนนแต่ละข้อ
 S_T^2 คือ ค่าความแปรปรวนของคะแนนรวม

และมีการวัดระดับสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค ดังนี้

0.00 – 0.20	หมายถึง มีความเชื่อมั่นต่ำมาก หรือไม่มีเลย
0.21 – 0.40	หมายถึง มีความเชื่อมั่นต่ำ
0.41 – 0.70	หมายถึง มีความเชื่อมั่นปานกลาง
0.71 – 1.00	หมายถึง มีความเชื่อมั่นสูง

2.3 การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์

งานวิจัยนี้ประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ ที่ได้จากข้อมูลทั่วไป และข้อมูลการปวดเมื่อยของร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง (พนักงานที่มีอายุงานอย่างน้อย 1 ปีขึ้นไป) จำนวน 18 คน จากพนักงานที่ทำงานในกระบวนการกักชิ้นส่วนเครื่องบิน (ที่นั่งและปีก) จำนวน 29 คน

3. ผลการดำเนินงาน

3.1 ผลการทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม

จากตารางที่ 2 ทุกชุดข้อคำถาม มีค่าสัมประสิทธิ์แอลฟาของครอนบัค อยู่ในช่วง 0.71 – 1.00 หมายความว่าทุกชุดข้อคำถามมีความเชื่อมั่นสูง (มีความน่าเชื่อถือ)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความเชื่อมั่นของแบบสอบถาม

ลำดับ	ข้อคำถาม	Cronbach's alpha	จำนวนข้อ
1	ข้อมูลทั่วไป	0.979	8
2	ความถี่ของการปวดเมื่อยเมื่อสัปดาห์ที่แล้ว	0.977	24
3	ระดับของการปวดเมื่อย	0.977	24
4	ระดับของการปวดเมื่อยที่มีผลต่อการทำงาน	0.977	24
5	การปวดเมื่อย เมื่อปีที่แล้ว	0.978	24

3.2 ผลการรวบรวมข้อมูล

งานวิจัยนี้รวบรวมข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม (ชาย) 18 คน จากตารางที่ 3 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 61 – 80 กก. จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 56 มีส่วนสูงอยู่ในช่วง 161 – 170 ซม. จำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 67 มีค่าดัชนีมวลกายอยู่ในช่วง 18.50 – 22.90 จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 44 และมีอายุการทำงานอยู่ในช่วง 1 – 5 ปี จำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 39

จากตารางที่ 4 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีการออกกำลังกายเป็นบางครั้ง จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 89 ด้วยการเดินเป็นส่วนใหญ่ จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 42 รองลงมาเป็นวิ่ง จำนวน 8 คน คิดเป็นร้อยละ 19 ซึ่งใช้เวลาในการออกกำลังกายน้อยกว่า 30 นาที เป็นส่วนใหญ่ จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 89 และออกกำลังกายน้อยกว่า 2 – 3 วัน/สัปดาห์ เป็นส่วนใหญ่ จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 89 นอกจากนี้ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความเครียด จำนวน 16 คน คิดเป็นร้อยละ 89 จากสภาพแวดล้อมการทำงาน จำนวน 11 คน คิดเป็นร้อยละ 46 และได้เข้ารับบริการทางการแพทย์ เพื่อรักษาอาการปวดเมื่อย จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 56

จากตารางที่ 5 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ใช้เวลาในการยกชิ้นงานมากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 ชั่วโมง/วัน จำนวน 10 คน คิดเป็นร้อยละ 56 และใช้เวลาในการยืนทำงานมากกว่าหรือเท่ากับ 7 ชั่วโมง/วัน จำนวน 14 คน คิดเป็นร้อยละ 78

จากลักษณะของข้อมูลดังกล่าวข้างต้น พบว่าผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ใช้เวลาในการยืนทำงานและยกชิ้นงานเป็นเวลานาน ใช้เวลาออกกำลังกายน้อย และใช้วิธีการออกกำลังกายไม่เหมาะกับการยืนและยกชิ้นงานนาน ซึ่งอาจส่งผลให้ผู้ตอบแบบสอบถามมีอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทำงาน

ตารางที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำถาม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
น้ำหนัก (kg.)		
40 - 60	4	22
61 - 80	10	56
81 - 100	3	17
101 - 120	1	6
ส่วนสูง (cm.)		
150 - 160	1	6
161 - 170	12	67
171 - 180	5	28
BMI (kg./ cm³)		
< 18.50 อยู่ในเกณฑ์	1	6
18.50 - 22.90 ปกติ (สุขภาพดี)	8	44
23 - 24.90 ท้วม /โรคอ้วนระดับ 1	3	17
25 - 29.90 อ้วน /โรคอ้วนระดับ 2	4	22
> 30 อ้วนมาก /โรคอ้วนระดับ 3	2	11
อายุการทำงาน (ปี)		
1 - 5	7	39
6 - 10	6	33
> 10	5	28

ตารางที่ 4 ข้อมูลสุขภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำถาม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ทำนอกกำลังกาย หรือเล่นกีฬาบ้างหรือไม่		
ใช่	1	6
เป็นบางครั้ง	16	89
ไม่ใช่	1	6
ทำนอกกำลังกายเพื่อสุขภาพด้วยวิธีใด		
เดิน	11	42
วิ่ง	8	19
เล่นฟุตบอล	5	31
ว่ายน้ำ	1	4
ไม่ออกกำลังกาย	1	4
ทำนใช้เวลาในการออกกำลังกายเท่าไร		
น้อยกว่า 30 นาที	16	89
มากกว่า 30 นาที	1	6
ไม่ออกกำลังกาย	1	6
ความถี่ในการออกกำลังกายเท่าไร		
< 2 - 3 วันสัปดาห์	16	89
2 - 3 วันสัปดาห์	1	6
ไม่ออกกำลังกาย	1	6
ทำรู้สึกเครียดหรือไม่		
ใช่	16	89
ไม่ใช่	2	11
ทำคิดว่าปัจจัยในข้อใดที่มีผลต่อความเครียด		
การทำงาน	7	29
สภาพแวดล้อม	11	46
ส่วนตัว	6	25
ในปีที่ผ่านมา ทำเข้ารับบริการทางการแพทย์หรือไม่		
ใช่	10	56
ไม่ใช่	8	44

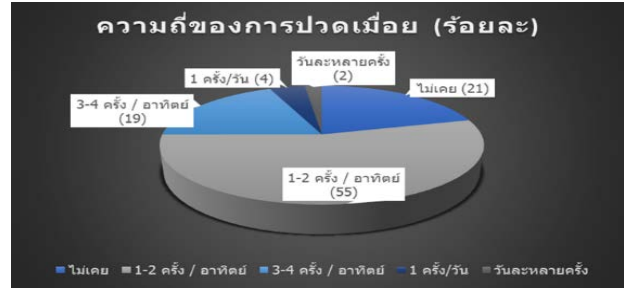
ตารางที่ 5 ข้อมูลการทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำถาม	จำนวน (คน)	ร้อยละ
ในแต่ละวัน ทำนใช้เวลาในการยกชิ้นงานเท่าไร		
น้อยกว่า 2.5 ชั่วโมง/วัน	8	44
มากกว่าหรือเท่ากับ 2.5 ชั่วโมง/วัน	10	56
ทำนใช้เวลาในการยืนทำงานเท่าไร		
1 - 3 ชั่วโมง/วัน	2	11
4 - 6 ชั่วโมง/วัน	2	11
มากกว่าหรือเท่ากับ 7 ชั่วโมง/วัน	14	78

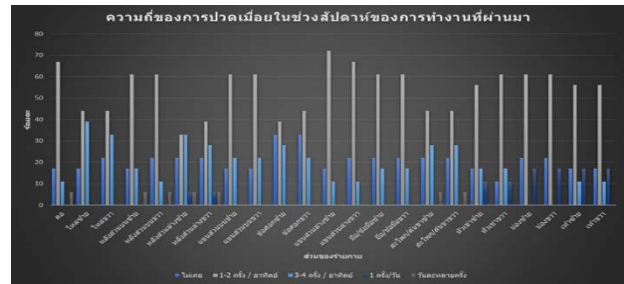
3.3 ผลการประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์

ผลการประเมินการปวดเมื่อยของร่างกายที่เกิดจากการยืนทำงาน ทั้งทางด้านขวาและด้านซ้ายของผู้ตอบแบบสอบถาม(ชาย) 18 คน

จากรูปที่ 1 และ 2 เมื่อสัปดาห์ที่แล้ว ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เมื่อย 1 – 2 ครั้ง/สัปดาห์ คิดเป็นร้อยละ 55 ซึ่งเมื่อยบริเวณคอ หลัง ส่วนบน แขน มือ/ข้อมือ หัวเข่า น่อง และเท้า หลังส่วนบนมากที่สุด รองลงมาไม่เมื่อย คิดเป็นร้อยละ 21 และเมื่อย 3 – 4 ครั้ง/สัปดาห์ คิดเป็นร้อยละ 19 ซึ่งเมื่อยบริเวณไหล่ซ้ายมากที่สุด



รูปที่ 1 ร้อยละของความถี่ของการปวดเมื่อย เมื่อสัปดาห์ที่แล้ว

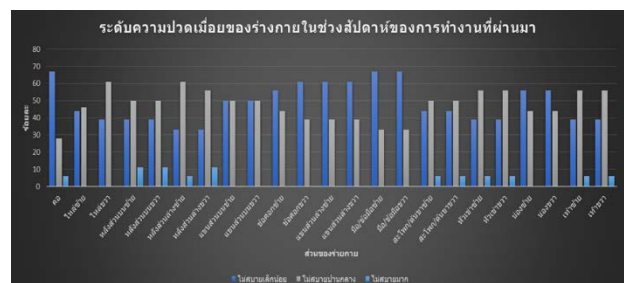


รูปที่ 2 ร้อยละของความถี่การปวดเมื่อยของร่างกาย เมื่อสัปดาห์ที่แล้ว

จากรูปที่ 3 และ 4 เมื่อสัปดาห์ที่แล้ว ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้สึกไม่สบายตัวเล็กน้อย คิดเป็นร้อยละ 49 ซึ่งรู้สึกไม่สบายบริเวณคอ และมือ/ข้อมือมากที่สุด รองลงมารู้สึกไม่สบายตัวปานกลาง คิดเป็นร้อยละ 47 ซึ่งรู้สึกไม่สบายตัวบริเวณหลังส่วนล่างมากที่สุด และรู้สึกไม่สบายตัวมาก คิดเป็นร้อยละ 4 ซึ่งรู้สึกไม่สบายตัวบริเวณหลังมากที่สุด



รูปที่ 3 ร้อยละของระดับการปวดเมื่อย เมื่อสัปดาห์ที่แล้ว



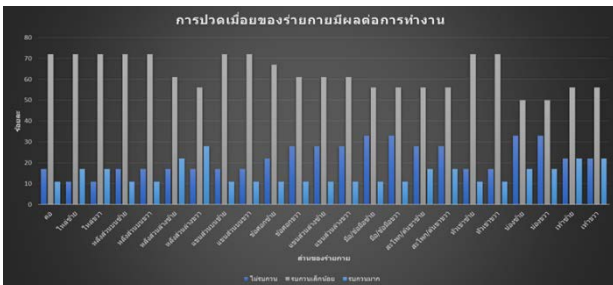
รูปที่ 4 ร้อยละของระดับการปวดเมื่อยของร่างกาย เมื่อสัปดาห์ที่แล้ว

จากรูปที่ 5 และ 6 เมื่อสัปดาห์ที่แล้ว ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่รู้สึกว่าปวดเมื่อยมีผลต่อการทำงานเล็กน้อย คิดเป็นร้อยละ 63 ซึ่ง

รู้สึกบริเวณคอ ไหล่ หลังส่วนบน แขน และหัวเข่ามากที่สุด รองลงมาไม่รู้สึกว่าการปวดเมื่อยมีผลต่อการทำงาน คิดเป็นร้อยละ 22 ซึ่งไม่รู้สึกบริเวณมือ/ข้อมือ และน่องมากที่สุด และรู้สึกว่าการปวดเมื่อยมีผลต่อการทำงานมาก คิดเป็นร้อยละ 15 ซึ่งรู้สึกบริเวณหลังส่วนล่างด้านขวา มากที่สุด



รูปที่ 5 ร้อยละของระดับความปวดเมื่อยมีผลต่อการทำงาน

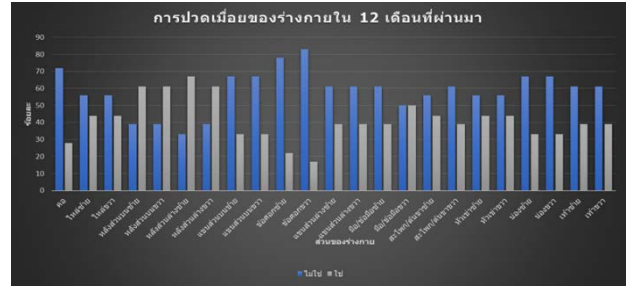


รูปที่ 6 ร้อยละของระดับความปวดเมื่อยของร่างกายมีผลต่อการทำงาน

จากรูปที่ 7 และ 8 เมื่อปีที่แล้ว ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ไม่ปวดเมื่อย คิดเป็นร้อยละ 59 ซึ่งไม่เมื่อยบริเวณข้อศอกมากที่สุด รองลงมา รู้สึกปวดเมื่อย คิดเป็นร้อยละ 41 ซึ่งเมื่อยบริเวณหลังส่วนล่างด้านซ้าย มากที่สุด



รูปที่ 7 ร้อยละของระดับการปวดเมื่อย เมื่อปีที่แล้ว



รูปที่ 8 ร้อยละของระดับการปวดเมื่อยของร่างกาย เมื่อปีที่แล้ว

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ของพนักงานในกระบวนการกีดชิ้นส่วนเครื่องปั้น (ที่นึ่งและปิ้ง) ที่มีน้ำหนัก 9 – 30 กิโลกรัม ทั้งที่มีและไม่มีอุปกรณ์ช่วยยก ยกชิ้นส่วนเข้าและออกจากเครื่องกีด ยืนอยู่กับที่เพื่อควบคุมเครื่องกีด และก้มเงยเพื่อขัด/ลบคม ขอบชิ้นส่วน และตรวจสอบชิ้นส่วนซ้ำๆ เป็นเวลานาน จากการประเมินความเสี่ยงด้วยแบบสอบถามการปวดเมื่อยร่างกายนอร์ดิก พบว่าพนักงานมีความเสี่ยงต่อการปวดกล้ามเนื้อบริเวณคอ หลังส่วนบน หลังส่วนล่าง แขน มือ/ข้อมือ หัวเข่า น่อง และเท้า เพื่อลดการเจ็บปวดในสถานที่ทำงาน งานวิจัยนี้ควรปรับปรุงสถานที่ทำงานและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- [1] กลุ่มอาชีพอนามัย, สำนักโรคจากการประกอบอาชีพและสิ่งแวดล้อม. แนวทางการจัดการการอาชีพอนามัยให้กับแรงงานในชุมชนด้านการเกษตร สำหรับเจ้าหน้าที่หน่วยบริการสุขภาพปฐมภูมิ ปีงบประมาณ 2560. กระทรวงสาธารณสุข. นนทบุรี
- [2] นิภาพร คำหลอม. 2563. การป้องกันและควบคุมความล้าจากการทำงานตามหลักกายศาสตร์. ข้อมูลจาก <https://www.ohswa.or.th/17707161/ergonomics-make-it-simple-series-ep8> (วันที่สืบค้นข้อมูล 9 ธันวาคม 2565)
- [3] จันจิราภรณ์ วิชัย และสุนิสา ชายเกลี้ยง. 2557. "การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในพนักงานที่มีการยกเคลื่อนย้ายวัสดุ". *KKU Res. J.*, Vol.19(5): 708 – 719.
- [4] อรุณีย์ พรหมศรี. 2560. "การประเมินท่าทางการทำงานและความผิดปกติของกระดูกและกล้ามเนื้อในช่วงทำไม้กวาดดอกแก้ว". *Journal of Associated Medical Sciences*, Vol.50(1): 138 – 147.
- [5] นิภาพร คำหลอม, ชัญญากานต์ โกกะพันธ์, มัทนีย์ บุญบรรลุ, รัตติยา ขอยุทธกลาง และจิราพร ทิพย์พิลา. 2565. "การประเมินความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ของช่างซ่อมรถจักรยานยนต์ โดยใช้เทคนิคการประเมินร่างกายบนแบบรวดเร็ว". การประชุมวิชาการระดับชาติ มอ. วิจัย ครั้งที่ 16, 11 – 12 กรกฎาคม 2565, อุบลราชธานี, ประเทศไทย.

- [6] แววดา วงศ์คม และศรีศักดิ์ สุนทรไชย. 2558. “การจัดการความเสี่ยงด้านการยศาสตร์สำหรับงานประกอบชิ้นส่วนจักรเย็บผ้า”. วารสารสุขภาพกับการจัดการสุขภาพ. Vol.2(3): 7 – 17.
- [7] หฤษฎ์ อภิเดช. 2563. “การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ของการเตะด้วยหลังเท้าและหัวเข่าในนักกีฬาฟุตบอล” วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [8] Cronbach, L. J. 1951. “Coefficient alpha and the internal structure of tests”. Psychometrika, Vol.16(3): 297–334.

การปรับปรุงกระบวนการคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์อะไหล่ยางรถจักรยานยนต์ด้วย Google Sheet Costing Process Improvement for Rubber Spare Parts for Motorcycles with Google Sheet

สุวนันท์ สุวรรณแสง สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ จักรพันธ์ กัณฑ์
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

Suwanan Suwanasaeng, Suphattra Sriyanalugsana, Jagapan Kunha
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum University
E-mail: Suphattra.sr@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์อะไหล่ยางสำหรับรถจักรยานยนต์ ขั้นตอนในการวิจัยประกอบด้วย 4 ขั้นตอน 1) การศึกษาข้อมูลกระบวนการผลิตและขั้นตอนคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน 2) การแจกแจงต้นทุนด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม 3) การวิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการคำนวณต้นทุนปัจจุบันด้วยเทคนิค ECRS และ 4) การปรับปรุงกระบวนการคำนวณต้นทุน การปรับปรุงทำโดยเปลี่ยนวิธีการในการเก็บข้อมูลจากระบบออฟไลน์เป็นระบบออนไลน์ โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Google Sheet ในการเก็บรวบรวมข้อมูล และคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการพบว่า สามารถปรับปรุงขั้นตอนในกระบวนการคำนวณต้นทุน โดยลดการปฏิบัติงานลง 18 ขั้นตอน จากเดิมมี 28 ขั้นตอนเหลือ 10 ขั้นตอน คิดเป็น 64.3% และเวลาในการดำเนินงานลดลง 33 นาที จากเดิมใช้ 104 นาที เหลือ 68 นาที คิดเป็น 34.6% ซึ่งประโยชน์ในการปรับปรุงนอกจากเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการคำนวณต้นทุนแล้ว ผลจากการใช้โปรแกรมคำนวณต้นทุนด้วย Google Sheet ผู้วิเคราะห์ต้นทุนจะได้รับข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้ต้นทุนสูง และปัจจัยที่เป็นตัวผลักดันให้เกิดต้นทุนที่สูง ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางในการลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นลง เพื่อสร้างโอกาสในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ

คำสำคัญ: ระบบต้นทุนฐานกิจกรรม การปรับปรุงกระบวนการ Google Sheet

Abstract

The purpose of this article is to improve the efficiency of calculating the cost of rubber spare parts for motorcycles. The research process consists of four steps: 1) studying and collecting data on the production process and studying the current product cost calculation process 2) cost allocating by using Activity-based Costing 3) analyzing the problems of the current cost calculation process using the ECRS technique, and 4) improving the cost calculation process. An improvement was made by changing the data collection method from an offline system to an online system using a tool called Google Sheets for data collection and cost calculation. The result of the improvement shows that the process can be improved by reducing the number of steps in the cost calculation process from 28 steps to 10 steps, which is a 64.3% improvement. The processing time is also reduced by 36 minutes, from 104 minutes to 68 minutes, which is a 34.6% improvement. In addition to improving the efficiency of the cost calculation process, the use of the cost calculation program with Google Sheets provides analysts with data on activities that contribute to high costs and the factors that push up costs. This is important information that can be used to reduce unnecessary costs and to create opportunities to increase competitiveness in the business.

Keywords: Activity-based Costing, Process Improvement, Google Sheet

1. บทนำ

การผลิตยานยนต์ของไทยในระยะ 3 ปีข้างหน้ามีแนวโน้มขยายตัวเฉลี่ย 5% ต่อปี ยอดขายในประเทศมีแนวโน้มขยายตัว 4% ในปี 2565 และเติบโตเฉลี่ย 5% ต่อปี ในปี 2566 และปี 2567 ตามภาวะเศรษฐกิจที่ทยอยฟื้นตัว ส่งผลให้ความต้องการอะไหล่สำหรับยานยนต์มีความต้องการสูงขึ้นด้วยเช่นกัน [1]

โรงงานกรณีศึกษาผลิตอะไหล่สำหรับรถจักรยานยนต์ หลายประเภท เช่น ยางรองมอเตอร์ ยางรองเบาะ ยางโอรัง และยางพักเท้า เป็นต้น ซึ่งเป็นการผลิตตามแบบและปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้า ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์แต่ละแบบมีส่วนผสมของวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และต้นทุนแตกต่างกัน พบปัญหาของกระบวนการคำนวณต้นทุน คือ กระบวนการปัจจุบันในการวิเคราะห์มีหลายขั้นตอน ใช้เวลานาน และไม่ได้รับการปรับปรุงให้สอดคล้องกับการดำเนินงานในปัจจุบัน ส่งผลกระทบให้สิ้นเปลืองต้นทุนและเสียเวลา และมีผลต่อการตั้งราคาขาย คือ เมื่อตั้งราคาขายต่ำกว่าต้นทุนจริง ทำให้ไม่มีกำไร ในทางกลับกันเมื่อตั้งราคาขายสูงกว่าต้นทุนจริงมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถแข่งขันในธุรกิจได้ โรงงานจึงต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการคำนวณต้นทุน บทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการคำนวณต้นทุน โดยลดขั้นตอนการทำงาน และลดเวลาในการดำเนินงานของกระบวนการ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณต้นทุนฐานกิจกรรม (Activity-based Costing; ABC)

การคิดต้นทุนฐานกิจกรรม คือ การคิดต้นทุนแบ่งแยกตามกิจกรรม กิจกรรมใดเป็นผู้ใช้ทรัพยากรกิจกรรมนั้นจะต้องเป็นผู้รับภาระต้นทุน โดยมีขั้นตอน คือ 1) การวิเคราะห์และระบุกิจกรรม 2) การคำนวณต้นทุนกิจกรรม 3) การวิเคราะห์และระบุตัวผลักดันต้นทุนกิจกรรม (Cost Driver) และ 4) การคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์โดยใช้ผังกิจกรรม (Bill of Activities) [2] ต้นทุนฐานกิจกรรมจะสะท้อนต้นทุนการผลิตที่แท้จริงของกิจกรรม งานวิจัยจำนวนมากเช่น [3-4] จึงได้มีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม บทความวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ต้นทุนฐานกิจกรรม

2.2 การปรับปรุงกระบวนการ (Work Improvement)

การปรับปรุงการทำงาน คือ การวิเคราะห์การทำงานในปัจจุบันโดยใช้เครื่องมือ หรือเทคนิคต่าง ๆ เพื่อจัดหรือลดงานที่ไม่จำเป็นออกเพื่อได้ผลลัพธ์ตามเกณฑ์หรือเป้าหมายที่ตั้งไว้ [5] บทความนี้ได้ประยุกต์ใช้แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) เพื่อวิเคราะห์กิจกรรม โดยใช้สัญลักษณ์ 5 ตัว คือ วงกลม (Operation) สี่เหลี่ยม (Inspection) ลูกศร (Transportation) ครึ่งวงกลม (Delay) และสามเหลี่ยม (Storage) และหลักการ ECRS คือ การกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดเรียงใหม่ (Rearrange) และ การทำให้

ง่าย (Simplify) มาใช้เป็นกรอบในการตั้งคำถาม เพื่อหาวิธีการลดขั้นตอนการทำงานของกระบวนการคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์

2.3 การประยุกต์ใช้งานโปรแกรม Google Sheet

โปรแกรม Google Sheet ถูกนำมาใช้งานแพร่หลาย [6] ด้วยเหตุผลที่ว่า 1) ข้อมูลเป็นข้อมูลล่าสุดเสมอ 2) ใช้ระบบอัจฉริยะ AI เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลรวดเร็วมากขึ้น 3) ปกป้องการแชร์ข้อมูลให้ปลอดภัย 4) ทำงานในแบบที่คุ้นเคยหน้าตาคล้ายกับ Microsoft Excel และ 5) ให้การทำงานร่วมกันเป็นเรื่องง่าย (Collaboration) [7]

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิต และขั้นตอนคำนวณต้นทุนปัจจุบัน

3.1.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลของกระบวนการผลิต

ขั้นตอนนี้ทำการศึกษารายละเอียดของกระบวนการผลิต เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำมาใช้ในการพิจารณากิจกรรมที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนผลิตภัณฑ์ ข้อมูลขั้นตอนการผลิตดังตารางที่ 1 และรูปผลิตภัณฑ์ตัวอย่างดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการผลิตอะไหล่สำหรับรถจักรยานยนต์

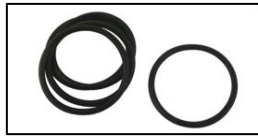
ลำดับ	ขั้นตอน	รายละเอียด
1	เตรียมวัตถุดิบ	การชั่งยางและสารเคมีตามสูตรยาง
2	บดผสม	การบดยางผสมกับสารเคมีตามปริมาณที่แผนการออกยางกำหนด
3	บดรีดยาง	การรีดยางให้แบนพร้อมตัดเป็นเส้นให้ได้ขนาดตามแผนการออกยาง
4	ตัดยาง	การตัดยางจากเป็นเส้นให้เป็นชิ้นให้ได้ขนาดตามกำหนด
5	ตรวจสอบคุณภาพ	ทดสอบคุณสมบัติของยางดิบก่อนขึ้นรูป
6	ขึ้นรูปยาง	การนำยางที่ได้ขนาดใส่เข้าไปอบในแม่พิมพ์ ให้ได้รูปร่างที่ต้องการ
7	ตรวจสอบ	การตรวจสอบคุณภาพและคัดชิ้นงานที่ขึ้นรูปเสร็จแล้ว
8	กระจายและตัดแต่งชิ้นงาน	การรับเข้าและกระจายชิ้นงานไปสู่ขั้นตอนของการตัดแต่ง และทำการตัดแต่งให้เรียบร้อย
9	ตรวจสอบชิ้นงานขั้นสุดท้าย	ตรวจสอบชิ้นงานอย่างละเอียดก่อนบรรจุภัณฑ์
10	บรรจุสินค้า	บรรจุชิ้นงานใส่หีบห่อ ตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการ



รูปที่ 1.1 ยางรองมอเตอร์



รูปที่ 1.2 ยางพักเท้า



รูปที่ 1.3 ยางโอริง



รูปที่ 1.4 ยางรองเบาะ

รูปที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ของโรงงานกรณีศึกษา

3.1.2 การศึกษาขั้นตอนการคำนวณต้นทุนปัจจุบัน

ขั้นตอนนี้ทำการศึกษาขั้นตอนการคำนวณต้นทุนปัจจุบันซึ่งคิดต้นทุนแบบตอนโดยใช้แผนภูมิกระบวนการไหลตั้งรูปที่ 2 จากแผนภูมิการไหลสามารถสรุปขั้นตอนในกระบวนการคำนวณต้นทุนดังตารางที่ 2

แผนภูมิการไหลของกระบวนการคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์									
เลขที่ขั้นตอน / วัสดุ / พลังงาน	ชื่อกิจกรรม	Activity	ปีงบประมาณ	ต้นทุน	ผลิตขั้นสูง	คงคลัง			
1	วิศวกร	ปฏิบัติงาน	15						
2	กิจกรรม : กระบวนการคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์	เงินเดือน	10						
3	วัสดุ : ไม้จุ่ม / ไม้จุ่ม	ค่าเช่า	3						
4	สถานที่ : บริษัท ปิโตรเคมี จำกัด สาขา กักตุน	ตรวจสอบ	1						
5	บันทึกใบ : สุรินทร์ สุวรรณแสง วันที่ 02/09/2565	เก็บ	1						
6	อุปกรณ์ : ชุดเครื่องมือวัดแรงดัน วันที่ 05/09/2565	รวมจำนวน	28						
ขั้นตอน		ระยะเวลา (นาที)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์			หมายเหตุ		
แบบฟอร์มของข้อมูลขั้นสูง (จำนวน 1 ใบ)		0	0	●	→	□	□	□	▽
ข้อมูลเบื้องต้นของ (เอกสารออก)		3	0	○	→	□	□	□	▽
การออกข้อมูลและอนุมัติโดยหัวหน้างาน		5	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่ายบุคคล		2	0.2	○	→	□	□	□	▽
แบบฟอร์มของข้อมูลขั้นสูง (จำนวน 2 ใบ)		0	0	●	→	□	□	□	▽
ข้อมูลเบื้องต้นของ (เอกสารออก)		2	0	○	→	□	□	□	▽
การออกข้อมูลและอนุมัติโดยหัวหน้างาน		5	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่าย Compound		15	1	○	→	□	□	□	▽
แบบฟอร์มของข้อมูลกลางการทำงาน (จำนวน 3 ใบ)		0	0	●	→	□	□	□	▽
การออกข้อมูลแบบฟอร์มตัวเดียว		5	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่าย Cutting		2	0.2	○	→	□	□	□	▽
การออกข้อมูลแบบฟอร์มตัวเดียว		5	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่าย Lab		1	0.1	○	→	□	□	□	▽
การออกข้อมูลแบบฟอร์มตัวเดียว		5	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่าย Pressing		2	0.2	○	→	□	□	□	▽
การออกข้อมูลแบบฟอร์มตัวเดียว		5	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่าย Trimming		10	1	○	→	□	□	□	▽
การออกข้อมูลแบบฟอร์มตัวเดียว		5	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่าย QC Final (เอกสารชี้แจง)		270	3	○	→	□	□	□	▽
การออกข้อมูลแบบฟอร์มตัวเดียว		5	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่าย Packing		1	0.1	○	→	□	□	□	▽
การออกข้อมูลแบบฟอร์มตัวเดียว		5	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่ายสินค้าสำเร็จรูป		270	3	○	→	□	□	□	▽
ข้อมูลเบื้องต้น (เอกสารตรวจสอบและอนุมัติ)		3	0	○	→	□	□	□	▽
ตรวจสอบและอนุมัติโดยผู้จัดการ		10	0	○	→	□	□	□	▽
กึ่งสำเร็จรูป		3	0.2	○	→	□	□	□	▽
คำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์		30	0	●	→	□	□	□	▽
ใบสั่งจ่ายข้อมูลขั้นสูง		2	0	○	→	□	□	□	▽
รวม		376	104	1.3	10	3	1	1	

รูปที่ 2 แผนภูมิการไหลของกระบวนการคำนวณต้นทุนก่อนการปรับปรุงการทำงาน

ตารางที่ 2 ตารางแสดงขั้นตอนในกระบวนการคำนวณต้นทุน

ลำดับ	กิจกรรม	จำนวนขั้นตอน
1	แบบฟอร์มขอข้อมูลต้นทุนวัตถุดิบ	3
2	การคอยเพื่อดำเนินการ	3
3	การกรอกข้อมูลและอนุมัติ	9
4	การเดินทางไปยังฝ่ายต่างๆ	10
5	การตรวจสอบและอนุมัติ	1
6	การคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์	1
7	การนำข้อมูลต้นทุนของผลิตภัณฑ์ไปใช้และจัดเก็บ	1
	รวมจำนวนขั้นตอน	28

3.2 การแจกแจงต้นทุนด้วยระบบต้นทุนฐานกิจกรรม

นำข้อมูลขั้นตอนกระบวนการผลิตในขั้นตอนที่ 3.1.1 มาใช้ในการระดมสมองร่วมกับฝ่ายตลาดและฝ่ายบัญชีของโรงงานกรณีศึกษาในการปรับปรุงระบบวิธีการคิดต้นทุน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารต้นทุนให้เกิดประสิทธิภาพโดยใช้ระบบต้นทุนฐานกิจกรรมซึ่งจากการวิเคราะห์สามารถแบ่งกิจกรรมของต้นทุนดังตารางที่ 3

จากตารางที่ 3 พบว่ามีกิจกรรมทั้งหมด 10 กิจกรรมแต่ละกิจกรรมหลักจะมีบางกิจกรรมที่มีต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายมากกว่าหนึ่งอย่างเนื่องจากมีหลายปัจจัยที่ก่อให้เกิดกิจกรรมขึ้น ซึ่งต้นทุนของผลิตภัณฑ์จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับจำนวนกิจกรรม เมื่อแจกแจงข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนพบว่า ในกิจกรรมหลักแต่ละกิจกรรมจะมีตัวผลักดันต้นทุน (Cost Driver) ตามหัวข้อค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่อยู่ในกิจกรรม ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้ในกิจกรรม คือ ตัวผลักดันกิจกรรมในระดับหน่วย (Unit), ระดับชุด (Batch) หรือ ผลิตภัณฑ์ (Product)

3.3 การวิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการคำนวณต้นทุนด้วย

เทคนิค ECRS

ขั้นตอนนี้ได้ทำการวิเคราะห์ปัญหาของขั้นตอนการคำนวณต้นทุนด้วยเทคนิค ECRS เมื่อพิจารณาขั้นตอนต่าง ๆ ในข้อที่ 3.1.2 พบว่ามีขั้นตอนที่สามารถนำมาปรับปรุงได้ 4 ขั้นตอน คือ

- การจัดทำแบบฟอร์มสำหรับการกรอกข้อมูล
- การเดินทางไปยังแผนกต่างๆเพื่อเก็บข้อมูล
- การกรอกข้อมูลของผลิตภัณฑ์
- การคำนวณต้นทุนด้วยโปรแกรม Microsoft Excel

ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงขั้นตอนดังกล่าว โดยใช้เทคนิคการตั้งคำถามเพื่อลดความสูญเปล่าในการดำเนินงาน ด้วยคำถามที่เกี่ยวข้องกับ Eliminate Combine Rearrange Simplify โดยมีการพิจารณาประเด็นปัญหาที่สังเกตเห็นในการดำเนินงานในกระบวนการคำนวณหาต้นทุนของผลิตภัณฑ์แบบเดิม ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ตารางต้นทุนกิจกรรม และตัวผลิตภัณฑ์ต้นทุน

กิจกรรมหลัก	ต้นทุนกิจกรรม	กิจกรรมย่อย	ตัวผลิตภัณฑ์ต้นทุน	
1. เตรียมัตถุดิบ (Raw Mat)	ค่าวัตถุดิบ	compound A	ปริมาณที่ใช้	
		compound B		
	ค่าแรง Store Mat	พนักงานช่างสารและดูแลคลัง	จำนวนชั่วโมงทำงาน	
2. บดผสมและบดรีดยาง (Compound) (กิจกรรมที่ 2 และ 3)	ค่าแรง Compound	พนักงานเครื่องบดผสม	จำนวนชั่วโมงทำงาน	
		ค่าไฟเครื่องจักร	พนักงานเครื่องลูกกลิ้ง	จำนวนชั่วโมงทำงาน
			เครื่องบดผสม	
		เครื่องลูกกลิ้ง		
3. ตัดยาง (Cutting)	ค่าแรง Cutting	พนักงานเครื่อง Extruder	จำนวนชั่วโมงทำงาน	
		ค่าไฟเครื่องจักร	พนักงานเครื่องตัดยาง	จำนวนชั่วโมงทำงาน
			เครื่อง Extruder	
		เครื่องตัดยาง		
4. ตรวจสอบคุณภาพและตรวจสอบชิ้นงาน (QC Lab/QC Line) (กิจกรรมที่ 5 และ 7)	ค่าแรง Lab/QC	พนักงานตรวจสอบคุณภาพ	จำนวนชั่วโมงทำงาน	
		ค่าวัตถุดิบทดสอบ	ปริมาณที่ใช้	
5. ขึ้นรูปยาง (Pressing)	ค่าแรง Pressing	พนักงานขึ้นรูป	จำนวนชั่วโมงทำงาน	
		ค่าไฟเครื่องจักร	เครื่องอัด	จำนวนชั่วโมงทำงาน
			เครื่องฉีด	
เครื่องสไลด์				
6. ตัดแต่งชิ้นงาน (Trimming)	ค่าแรงปล่อยยาง	พนักงานศูนย์กระจายชิ้นงาน	จำนวนชั่วโมงทำงาน	
		ค่าตัดแต่ง	แผนกตัดแต่งภายใน	ระดับความยากง่ายในการตัดแต่ง
			ผู้รับเหมาตัดแต่งภายนอก	
7. ตรวจสอบชิ้นงานขั้นสุดท้าย(QC final)	ค่าเช่าที่โรง 2	สถานที่ในการตรวจสอบ	พื้นที่ที่ใช้	
		ค่าไฟโรง 2	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	จำนวนชั่วโมงใช้งาน
			ค่าแรง QC Final	พนักงานตรวจสอบคุณภาพ
8. บรรจุสินค้า (Packing)	ค่าเช่าที่โรง 2	สถานที่ในการตรวจสอบ	พื้นที่ที่ใช้	
		ค่าไฟโรง 2	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	จำนวนชั่วโมงใช้งาน
			ค่าแรง Pack	พนักงานบรรจุ
9. ค่าโซหุ่ย (Overhead)	ค่าโซหุ่ย	ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการผลิต	ร้อยละปริมาณต้นทุน	
10. ค่าบริหาร (Management)	ค่าบริหาร	ค่าใช้จ่ายการบริหารจัดการ	ร้อยละปริมาณต้นทุน	

ตารางที่ 4 การใช้เทคนิค ECRS หาแนวทางปรับปรุงกระบวนการทำงาน

หัวข้อ	จุดประสงค์	คำถาม	ตอบ	แนวทางการปรับปรุง
1.แบบฟอร์มเก็บข้อมูล	Eliminate	ไม่มีแบบฟอร์มเก็บข้อมูลได้หรือไม่	ไม่ได้	
	Rearrange	สามารถเปลี่ยนรูปแบบของเอกสารได้หรือไม่	ได้	เปลี่ยนการใช้กระดาษเป็นเอกสารอิเล็กทรอนิกส์
2.การเดินทางไปแผนกต่างๆ	Eliminate	สามารถลดระยะทางการเดินทางได้หรือไม่	ได้	ยกเลิกการเดินทางไปเก็บข้อมูล
	Combine	สามารถรวมข้อมูลในทีเดียวกันได้หรือไม่	ได้	กรอกข้อมูลลงใน Google Sheet
3.การกรอกข้อมูล	Simplify	สามารถลดเวลาในการคำนวณได้หรือไม่	ได้	ออกแบบโปรแกรมการคำนวณให้ใช้งานง่ายขึ้น
	Simplify	สามารถลดเวลาในการคำนวณได้หรือไม่	ได้	ออกแบบโปรแกรมการคำนวณให้ใช้งานง่ายขึ้น

3.4 การปรับปรุงกระบวนการโดยการออกแบบโปรแกรม

คำนวณต้นทุนด้วย Google Sheet

3.4.1 วิธีการสร้างสเปรดชีตบนโปรแกรม Google Sheet

การออกแบบโปรแกรม Google Sheet เพื่อบันทึกข้อมูลและคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์นั้น มีการแบ่งสร้างสเปรดชีตออกเป็นหลายหน้าต่าง สำหรับคำนวณต้นทุนรวมทั้งหมดทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต และหน้าต่างข้อมูลของแผนกต่าง ๆ ซึ่งเป็นข้อมูลเฉพาะของผลิตภัณฑ์ เช่น เวลาการทำงาน ค่าแรง ค่าไฟฟ้า เครื่องจักร และค่าวัตถุดิบ เป็นต้น จะถูกเก็บและบันทึกข้อมูลโดยพนักงานหรือผู้ที่เกี่ยวข้องในแผนกต่าง ๆ จากเดิมที่มีการเก็บข้อมูลในระบบออฟไลน์ เปลี่ยนเป็นการเก็บข้อมูลในรูปแบบออนไลน์ และคำนึงถึงความปลอดภัยในการเก็บข้อมูล งานวิจัยนี้ได้เสนอให้จำกัดสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลไว้เพียง 1 อีเมลต่อแผนกเท่านั้น เพื่อทราบได้ทันทีว่าในขณะนั้นมีแผนกไหนกำลังใช้งานโปรแกรมอยู่ และใครเป็นผู้นำข้อมูลไปใช้บ้าง ซึ่งวิธีการสร้างสเปรดชีตบนโปรแกรม Google Sheet ทำได้ดังนี้

ขั้นที่ 1 เปิดหน้าจอหลักของชีตที่ sheets.google.com สร้างสเปรดชีต คลิกใหม่(เครื่องหมายบวก) ซึ่งจะสร้างและเปิดสเปรดชีตใหม่ได้

ขั้นที่ 2 แก้ไขและจัดรูปแบบสเปรดชีต จะสามารถเพิ่ม แก้ไขหรือจัดรูปแบบข้อความ ตัวเลข หรือสูตรในสเปรดชีตได้

ขั้นที่ 3 แชร์และทำงานร่วมกับคนอื่น สามารถแชร์ไฟล์และโพลเดอร์กับคนอื่น ๆ รวมทั้งเลือกว่าจะให้บุคคลเหล่านั้นมีสิทธิ์ดู แก้ไข หรือแสดงความคิดเห็นได้

3.4.2 วิธีการใช้งานโปรแกรม Google Sheet คำนวณต้นทุน

ขั้นตอนในการใช้โปรแกรม Google Sheet ในการคำนวณต้นทุนดังรูปที่ 3 และมีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

- 1) ใส่หน้าหนักชิ้นงานในช่องที่ 1
- 2) ใส่จำนวนหลุมแม่พิมพ์ของผลิตภัณฑ์ในช่องที่ 2
- 3) ใส่จำนวนชิ้นในช่องที่ 3
- 4) ใส่ Cycle time ตัดยางของผลิตภัณฑ์ในช่องที่ 4
- 5) ใส่ค่าตัดแต่งให้ครบทุกกระบวนการในช่องที่ 5
- 6) ใส่ Cycle time การตรวจสอบชิ้นงานในช่องที่ 6
- 7) ใส่ Cycle time ของการบรรจุ ในช่อง 7

AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK
จน.ชิ้น/ชิ้น	จำนวนแม่พิมพ์ (หลุม)	จำนวนชิ้น	Cost(B/Pc)	Material	Process	ราคาชิ้นรูป	รับ mat	Compound
2.9	144	1	0.82	0.312	0.510	0.060	37.95%	1.07%
1	2	3						
ตัดยาง	Kg/hr	ส่ง	ตัดแต่ง(B/Pc)	QC Final	Packing			
74	กรมสหพรณ		สร้าง	เก็บ	และรอง	ตัดข้าง	๕	
4	กรมพรณ			0.06		5		
	บรชอย							
	ยื่นโต๊ะ							
	ป็น							
	เจาะ							

รูปที่ 3 หน้าต่างสำหรับกรอกข้อมูลเพื่อคำนวณต้นทุน

3.4.3 การแสดงผลของโปรแกรม Google Sheet

ผลการคำนวณต้นทุนของโปรแกรมจะแสดงต้นทุนของแต่ละกระบวนการต่อผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดในหน่วยบาทต่อชิ้น ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าผลิตภัณฑ์ AA01 และ BB01 ผ่านกระบวนการหลักเหมือนกันแต่ต้นทุนในกระบวนการไม่เท่ากัน เนื่องจากมีชนิดต่างกัน เมื่อพิจารณาผลิตภัณฑ์ EE01 และ EE01 ที่ผลิตจากยางชนิดเดียวกัน ผ่านกระบวนการหลักทุกกระบวนการเหมือนกันแต่ต้นทุนไม่เท่ากัน เพราะมีกระบวนการย่อยไม่เหมือนกัน

ตารางที่ 5 ตัวอย่างผลการคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์	ชนิดยาง	วัตถุดิบ	บดผสม	ตัดยาง	ตรวจสอบ	ขึ้นรูป	ตัดแต่ง	ตรวจสอบ	บรรจุ	ใส่หุ้ม	บริหาร	รวม
AA01	AA60	0.312	0.008	0.006	0.015	0.058	0.226	0.061	0.032	0.025	0.075	0.82
BB01	BB50	0.497	0.026	0.010	0.016	0.181	0.103	0.034	0.032	0.021	0.063	0.98
BB02	BB70	1.726	0.081	0.000	0.020	0.328	0.133	0.042	0.032	0.031	0.092	2.48
BB03	BB70	0.512	0.024	0.006	0.016	0.151	0.103	0.027	0.032	0.019	0.058	0.95
EE01	EE50	0.330	0.009	0.007	0.015	0.119	0.136	0.019	0.032	0.015	0.045	0.73
BB04	BB60	0.101	0.005	0.003	0.015	0.074	0.083	0.023	0.032	0.010	0.031	0.38
EE02	EE50	0.194	0.005	0.008	0.015	0.125	0.156	0.157	0.032	0.023	0.070	0.78
EE03	EE40	9.450	0.259	0.000	0.034	0.649	0.363	0.324	0.032	0.042	0.127	11.28
BB05	BB70	1.726	0.081	0.076	0.020	0.215	0.363	0.042	0.032	0.037	0.110	2.70
EE04	EE55	1.344	0.038	0.018	0.018	0.301	0.613	0.158	0.032	0.046	0.138	2.70

นอกจากนี้โปรแกรมสามารถแปลผลสรุปจากบาทต่อชิ้นเป็นร้อยละ ดังตารางที่ 6 ทำให้สามารถเห็นภาพรวมของต้นทุนในส่วนต่าง ๆ ได้ง่ายขึ้น ข้อมูลร้อยละสะท้อนให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้น ๆ มีปัจจัยใดเป็นตัวผลักดันต้นทุน กระบวนการใดที่ทำให้ต้นทุนสูง และควรที่จะแก้ไข ปรับปรุงต้นทุนในกิจกรรมใดลง เช่น ผลิตภัณฑ์ AA01 มีต้นทุนในขั้นตอนตัดแต่งสูงถึง 27% แต่ต้นทุนด้านวัตถุดิบเท่ากับ 38.2% และเมื่อสังเกตผลิตภัณฑ์ BB04 และ EE02 พบว่ามีค่าวัตถุดิบอยู่ที่ 26.8% และ 24.7% ตามลำดับ ซึ่งมีร้อยละของค่าตัดแต่งสูงเช่นกัน เป็นไปได้ว่าการใช้วัตถุดิบทุนต่ำหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก ทำให้การตัดแต่งยากและใช้เวลานานกว่าผลิตภัณฑ์ที่ใช้วัตถุดิบอย่างดีหรือผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เป็นต้น

ตารางที่ 6 การแสดงผลการคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์เป็นร้อยละ

ผลิตภัณฑ์	ชนิดยาง	วัตถุดิบ	บดผสม	ตัดยาง	ตรวจสอบ	ขึ้นรูป	ตัดแต่ง	ตรวจสอบ	บรรจุ	ใส่หุ้ม	บริหาร	รวม
AA01	AA60	38.2%	0.9%	0.8%	1.9%	7.0%	27.6%	7.4%	3.9%	3.1%	9.2%	100%
BB01	BB50	50.5%	2.7%	1.1%	1.6%	18.4%	10.4%	3.5%	3.2%	2.1%	6.4%	100%
BB02	BB70	69.5%	3.3%	0.0%	0.8%	13.2%	5.3%	1.7%	1.3%	1.2%	3.7%	100%
BB03	BB70	54.0%	2.5%	0.7%	1.7%	15.9%	10.8%	2.9%	3.3%	2.0%	6.1%	100%
EE01	EE50	45.5%	1.2%	0.9%	2.1%	16.4%	18.7%	2.6%	4.3%	2.1%	6.2%	100%
BB04	BB60	26.8%	1.3%	0.7%	3.9%	19.8%	22.0%	6.1%	8.4%	8.3%	100%	
EE02	EE50	24.7%	0.7%	1.1%	2.1%	17.3%	21.5%	21.7%	4.3%	3.2%	9.6%	100%
EE03	EE40	83.8%	2.3%	0.0%	0.3%	5.8%	3.2%	2.9%	0.3%	0.4%	1.1%	100%
BB05	BB70	63.9%	3.0%	2.8%	0.7%	8.0%	13.4%	1.6%	1.2%	1.4%	4.1%	100%
EE04	EE55	49.7%	1.4%	0.7%	0.7%	11.1%	22.7%	5.9%	1.2%	1.7%	5.1%	100%

4. ผลการปรับปรุงกระบวนการคำนวณต้นทุน

จากรูปที่ 2 และ 4 แสดงผลก่อนและหลังการปรับปรุงการทำงาน ของกระบวนการคำนวณต้นทุน พบว่าก่อนการปรับปรุงกระบวนการ มีขั้นตอนการทำงานทั้งหมด 28 ขั้นตอน เป็นขั้นตอนของการเดินทางไปแผนกต่าง ๆ เพื่อเก็บข้อมูลถึง 13 ครั้ง และยังเสียเวลา

กรอกข้อมูลซ้ำซ้อนอีกถึง 9 ครั้ง ดังนั้นหลังการปรับปรุงกระบวนการทำให้ลดขั้นตอนที่ซ้ำซ้อน และไม่จำเป็นเหล่านั้นลง ส่งผลให้จากทั้งหมด 28 ขั้นตอน ลดขั้นตอนปฏิบัติงาน 7 ขั้นตอน ลดการเคลื่อนย้ายหรือเดินทาง 10 ขั้นตอนเหลือ 0 ขั้นตอน แสดงให้เห็นว่าสามารถลดระยะทางได้ 100% อีกทั้งลดความล่าช้าลง 1 ขั้นตอนลดรวม 18 ขั้นตอนลดลง ส่วนขั้นตอนการตรวจสอบ และการจัดเก็บข้อมูลของต้นทุนที่ได้จากค่านวมยังจำเป็นต้องเกิดขึ้น ส่งผลให้ขั้นตอนทั้งหมดเหลือเพียง 10 ขั้นตอนดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5

แผนภูมิรายละเอียด	001	วันที่	2	วันที่	2	สรุปผล		
ชนิดของ / ชื่อ / รหัสงาน	Activity	ปีรวม	หลักปรับปรุง	ลด				
กิจกรรม : กระบวนการคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์	ปฏิบัติงาน	13	6	7				
ปริมาณ : ปีรวม / ปีปรับปรุง	เคลื่อนย้าย	10	0	10				
สถานที่ : บริษัท เอ็ม เอส ซี ซีเอส จำกัด	ล่าช้า	3	2	1				
ชนิดของ	ตรวจสอบ	1	1	0				
วันที่แก้ไข	วันที่	25/10/2565	ปี	1	0			
สรุปผล	รวมจำนวน	28	10	18				
คำอธิบาย	ระยะเวลา (นาที)	เวลา (นาที)	สัญญาณ					หมายเหตุ
			●	⇨	○	□	▽	
แบบฟอร์มของข้อมูลต้นทุนวัตถุดิบ (สำหรับงวด)	2	●	⇨	○	□	▽		
แบบฟอร์มของข้อมูลต้นทุนวัสดุ (สำหรับงวด)	2	●	⇨	○	□	▽		
แบบฟอร์มของข้อมูลเวลาการทำงาน (สำหรับงวด)	10	●	⇨	○	□	▽		
คอมพิวเตอร์ที่รองรับข้อมูลต้นทุน	5	○	⇨	○	□	▽		
คอมพิวเตอร์ที่รองรับข้อมูลต้นทุน	20	●	⇨	○	□	▽		
คอมพิวเตอร์ที่รองรับข้อมูลต้นทุน	5	○	⇨	○	□	▽		
ตรวจสอบข้อมูลและอนุมัติข้อมูล	10	○	⇨	○	□	▽		
ปริมาณการตรวจสอบข้อมูลต้นทุน (สำหรับงวด)	2	●	⇨	○	□	▽		
คำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์	10	●	⇨	○	□	▽		
ปรับรูปแบบของข้อมูลต้นทุนให้เหมาะสม	2	○	⇨	○	□	▽		
รวม	0	68	6	0	2	1	1	

รูปที่ 4 แผนภูมิการไหลของกระบวนการคำนวณต้นทุนหลังการปรับปรุงการทำงาน



รูปที่ 5 เปรียบเทียบผลก่อนและหลังการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน

5. สรุปผล

ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่าขั้นตอนการทำงานลดลง 18 ขั้นตอน คิดเป็น 64.3% เวลาในการทำงานลดลง 36 นาที คิดเป็น 34.6% การคำนวณต้นทุนเกิดขึ้น 45 ครั้งต่อเดือน ส่งผลให้ลดเวลาการทำงานลง 27 ชั่วโมงต่อเดือน ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการคำนวณต้นทุนของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งการรวบรวมข้อมูลโดยโปรแกรม Google Sheet ง่ายต่อการตรวจสอบ ช่วยลดความผิดพลาดของข้อมูลที่ต้องการเก็บรวบรวมหรือนำไปใช้ ส่วนผลการคำนวณที่ได้สามารถประยุกต์ใช้เป็นแนวทางกำหนดราคา

ขาย และพิจารณาผลตอบแทนของผลิตภัณฑ์ได้เนื่องจากการเปลี่ยนจากคิดต้นทุนแบบตอมมาใช้การคิดต้นทุนแบบฐานกิจกรรม ทำให้ผู้วิเคราะห์ต้นทุนได้รับรู้ข้อมูลกิจกรรมที่ทำให้ต้นทุนสูง และปัจจัยที่เป็นตัวผลักดันให้เกิดต้นทุนที่สูง ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยในการวิเคราะห์หาแนวทางในการลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นลง เพื่อสร้างโอกาสในการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงงานกรณีศึกษาที่ให้การสนับสนุน และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ ทำให้งานนี้บรรลุตามเป้าหมาย

เอกสารอ้างอิง

- ธนาคารกรุงศรีอยุธยา จำกัด (มหาชน), วิจัยกรุงศรีแนวโน้มธุรกิจอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์, ข้อมูลจาก <https://www.krungsri.com/th/research/industry/industry-outlook/Hi-tech-Industries/Auto-Parts/IO/Industry-Outlook-Auto-Parts>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 13 กันยายน 2565).
- จิรพัฒน์ เภสัชเสริฐวงศ์, การวิเคราะห์ต้นทุนอุตสาหกรรมและการจัดทำงบประมาณ, พิมพ์ครั้งที่ 4, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.
- กนกวรรณ กิ่งผดุง และสุจินต์ วุฒิชัยวัฒน์. 2560. "การประยุกต์ต้นทุนฐานกิจกรรมใช้กับกระบวนการผลิตนมพาสเจอร์ไรซ์กรณีศึกษาในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก." Veridian E-Journal, Silpakorn University ฉบับภาษาไทย สาขามนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ และศิลปะ, ปีที่ 10 ฉบับที่ 1: 1661-1679.
- พิเชษฐ์ ปานูราช. 2564. "การบัญชีต้นทุนฐานกิจกรรม: กรณีศึกษา บริษัท ผลิตภัณฑ์พิมพ์ จำกัด," การค้นคว้าอิสระ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ชนินาhta แสงสิน และ สุพัฒตรา ศรีญาณลักษณ์, การลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ประเภทเส้นด้ายไนลอนฟีลาเมนต์ (in Thai), Proceedings of Industrial Engineering Network Conference 2022, 10-12 May 2022, Bangkok, Thailand.
- อาพร สุนทรวัฒน์ และ ทัดทอง พรหมณี. 2560. "การประยุกต์ใช้ Google Sheet ในการบริหารงบประมาณ." วารสารวิชาการ สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี.
- บริษัท ดีมีเตอร์ ไอซีที จำกัด, Transform your business with technology solution, 5 เหตุผลที่ธุรกิจคุณควรใช้ Google Sheets, <https://www.dmit.co.th/th/gsuite-updates-th/5-reasons-for-google-sheets/>. (วันที่สืบค้นข้อมูล 24 กันยายน 2565).

การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งระหว่างประเทศ The Feasibility Study of Investment in International Freight Forwarder Business

รุจภา นันทโพธิ์เดช¹ เชษฐา ชำนาญหล่อ² พัทฉารา ศรีพระบุ³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ภาควิชาวิทยาการเดินเรือและโลจิสติกส์ทางทะเล คณะพาณิชยศาสตร์บริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: phatchara.sr@ku.th*

Rujapa Nanthapodej¹, Chettha Chamnanlor², Phatchara Sriprabu³

¹Division of Industrial and management, Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University

³Department of Nautical Science and Maritime Logistics, Faculty of International Maritime Studies, Kasetsart University

E-mail: phatchara.sr@ku.th*

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี โดยมีการรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัย บทความ วารสารและการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ ผลการศึกษาความเป็นไปได้ พบว่า ด้านการตลาด แม้ธุรกิจนี้มีการแข่งขันที่สูงแต่ยังให้บริการได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ด้านเทคนิค พบว่า ทำเลที่ตั้งของธุรกิจนี้ควรอยู่ใกล้กับลูกค้าและท่าเรือ เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการให้บริการแก่ลูกค้า ด้านบริหาร พบว่า ควรจัดโครงสร้างองค์กรแบบการจัดการตามหน้าที่ และเมื่อพิจารณาตามความสามารถในการให้บริการของธุรกิจนี้ ควรมีพนักงานรวมทั้งหมด 10 คน ด้านการเงิน กำหนดอายุโครงการ 5 ปี พบว่า ประมาณการเงินลงทุนของธุรกิจเท่ากับ 7,314,840 บาท โดยธุรกิจนี้สามารถให้ผลกำไรได้ตั้งแต่ปีแรกของการดำเนินการ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 14,044,801 บาท อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (IRR) เท่ากับร้อยละ 68.52 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) เท่ากับ 1.58 เท่า ระยะเวลาคืนทุน (PB) เท่ากับ 2 ปี 2 เดือน จึงสรุปว่า ธุรกิจนี้มีความเป็นไปได้ในการลงทุน นอกจากนี้ ผลจากการวิเคราะห์ความไว พบว่ารายได้ที่ลดลงร้อยละ 6.5 หรือต้นทุนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 7 จะส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมีค่าเป็นลบซึ่งจะส่งผลให้ธุรกิจนี้ไม่คุ้มค่าลงทุน

คำสำคัญ: การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ผู้รับจัดการขนส่งสินค้า ความเป็นไปได้ในการลงทุน

Abstract

This study investigated the feasibility of investment in international freight forwarder business in Sriracha district, Chonburi province. Relevant data and information were collected from research papers, articles, journals, and interviews with entrepreneurs. The results of the feasibility study demonstrated that, although this business is highly competitive in terms of marketing, the service is not yet sufficient to meet the needs of customers. In terms of technical aspects, the location of this business should be close to customers and ports to ensure convenient and fast service. In terms of management, the organizational structure should be based on functions. Along with considering business service capability, there should be a total of 10 employees. In terms of financial aspects, the duration of the project is 5 years, the estimated investment for the business is 7,314,840 THB. This business can be profitable in the first year of operation. The net present value (NPV) is 14,044,801 THB, the internal rate of return (IRR) of the project is 68.52%, the benefit-cost ratio (B/C ratio) is 1.58, and the payback period (PB) is 2 years and 2 months. Therefore, it can be concluded that this business is feasible for investment. Additionally, the results of the sensitivity analysis showed that a 6.5% reduction in revenues or a 7% increase in costs would result in a negative net present value and a negative internal rate of return for the project, which would make this business uninvestable.

Keywords: International Freight, Freight Forwarder, Investment Feasibility

1. คำนำ

การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศในปัจจุบันมีความสำคัญอย่างมากในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศให้เติบโตขึ้น การขนส่งสินค้าระหว่างประเทศประกอบด้วย สินค้า เจ้าของสินค้า ผู้รับสินค้า และผู้รับขนส่งสินค้า ซึ่งการดำเนินการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศมีหลายขั้นตอนจึงทำให้เกิดความยุ่งยากและซับซ้อน เช่น การจัดการขนส่งสินค้า การหาพื้นที่สำหรับพักสินค้า การทำพิธีการศุลกากรทั้งขาเข้าและขาออก การทำประกันภัยสินค้า และการจัดการเอกสารต่างๆ ประกอบกับบริษัทขนส่งบางแห่งอาจไม่มีความสามารถให้บริการครบทุกขั้นตอนในการดำเนินการขนส่งสินค้า จึงทำให้เกิดธุรกิจที่ช่วยอำนวยความสะดวกหรือลดขั้นตอนการขนส่งของผู้ขนส่งสินค้า เรียกว่า "ผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ" ซึ่งจะทำหน้าที่แทนผู้ส่งออกและผู้นำเข้าสินค้าตั้งแต่กระบวนการต้นทางไปจนถึงปลายทางด้วยผู้ประกอบการรายเดียว (One Stop Service) ซึ่งบริการที่ผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศสามารถทำได้มีหลากหลาย ได้แก่ ตัวแทนออกของ (Custom Broker) ผู้รับจัดการขนส่งสินค้าหลายรูปแบบ (Multimodal Transport Operator) บริการรับจัดการบรรจุสินค้า (Packing) บริการโรงพักสินค้าและพื้นที่หลังท่าเรือ (Warehouse and Hinterland) จัดหาแรงงาน (Labour and Stevedore) การบริการโลจิสติกส์ (Logistics Service) และการปรึกษาเกี่ยวกับการนำเข้าและส่งออก (Business Consultant) โดยผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศอาจเป็นได้ทั้งนายหน้าจัดหาธุรกิจที่เกี่ยวข้องหรือดำเนินการด้วยตนเอง ขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า อย่างไรก็ตาม ผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศจำเป็นต้องมีเงินทุนหมุนเวียนที่เพียงพอที่จะสำรองจ่ายแทนผู้ขนส่งสินค้าในการดำเนินการ เช่น ค่าระวางเรือ ค่าภาระท่าเรือ ค่าแรงงาน ค่าพิธีการศุลกากร และค่าดำเนินการเอกสาร เมื่อดำเนินการเรียบร้อยแล้วจึงทำการเรียกคืนจากลูกค้า แต่ทั้งนี้ก็ยังขึ้นอยู่กับหนังสือสัญญาที่ตกลงกันของผู้รับจัดการขนส่งสินค้ากับผู้ขนส่งสินค้า

ดังนั้นจากที่กล่าวมาแล้วว่าขั้นตอนของการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศมีหลายขั้นตอนและแต่ละขั้นตอนมีความสำคัญ รวมทั้งมีบุคคลที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องหลายส่วน อาจทำให้ผู้ประกอบการธุรกิจนำเข้า-ส่งออกหรือผู้ทำการค้าระหว่างประเทศนั้นไม่มีความสามารถที่จะทำหน้าที่ทุกอย่างได้ ซึ่งการที่มีธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ จะช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถทำธุรกิจได้อย่างราบรื่น สะดวก และรวดเร็ว บทความนี้ จึงสนใจศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศในอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี เนื่องจากจังหวัดชลบุรีเป็นแหล่งอุตสาหกรรม มีนิคมอุตสาหกรรมหลายแห่ง และเป็นที่ตั้งของท่าเรือน้ำลึกแหลมฉบังซึ่งเป็นท่าเรือขนส่งสินค้าระหว่างประเทศที่สำคัญของไทย ซึ่งอยู่ไม่ห่างจากกรุงเทพมหานคร มีเส้นทางการคมนาคมที่สะดวกสบายสามารถเชื่อมต่อได้หลายเส้นทาง รวมทั้งยังอยู่ในพื้นที่ อีอีซี (EEC: Eastern Economic Corridor) หรือโครงการพัฒนาระเบียงเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก โดยการศึกษานี้ได้พิจารณาความเป็นไปได้ทั้งจากอุปสงค์และอุปทาน การบริหารจัดการและทำเลที่ตั้งของธุรกิจ เพื่อให้สามารถ

ตอบสนองการบริการได้ตรงความต้องการของผู้ใช้บริการมากที่สุด รวมทั้งใช้หลักการด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

บทความนี้ได้มีการทบทวนงานวิจัยและวารสารที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาความเป็นไปได้ในการตัดสินใจลงทุนในธุรกิจต่างๆ ดังนี้ การศึกษาความเป็นไปได้ของธุรกิจเรือลำเลียงและลากจูง ผลการศึกษาพบว่า ความเป็นไปได้ทางการตลาดเนื่องจากปริมาณการขนส่งสินค้าในแม่น้ำเจ้าพระยาและแม่น้ำป่าสักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่าง ด้านเทคนิคและบริหารไม่มีความซับซ้อน สามารถใช้ประสบการณ์จากผู้ปฏิบัติงานได้ ใช้เงินลงทุนประมาณ 19,553,549 บาท ให้ผลตอบแทนคิดเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ เท่ากับ 3,825,339 บาท อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ เท่ากับ ร้อยละ 24.33 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน เท่ากับ 1.53 เท่า และระยะเวลาคืนทุน เท่ากับ 7 ปี 7 เดือน การวิเคราะห์ไวพบว่า รายได้ลดลงหรือต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 มูลค่าปัจจุบันสุทธิก็ยังมีค่าเป็นบวก แต่ถ้าต้นทุนที่เพิ่มขึ้นและรายได้ลดลงร้อยละ 5 จะส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นลบ [1] การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินในการลงทุนสร้างอาคารสำนักงานให้เช่าในรูปแบบการทำงานที่ยืดหยุ่นย่านธุรกิจกลางกรุงเทพมหานคร ผลการศึกษาพบว่า อุปสงค์ในพื้นที่ให้เช่ายังคงเติบโตไม่ทันกับอุปทานที่เข้ามาใหม่ ส่งผลให้อัตราการให้เช่า โดยรวม มีแนวโน้มลดลงจนอาจต่ำกว่าระดับร้อยละ 85 ตัวอย่างโครงการ O-NES Tower ซึ่งมีรูปแบบโครงการ และการออกแบบพื้นที่สอดคล้องกับแนวคิดเกี่ยวกับรูปแบบการทำงานที่ยืดหยุ่นมากที่สุด ขณะที่ผลการวิเคราะห์ทางเทคนิคของโครงการ Triple A พบว่า มีความเป็นไปได้ทางการกฎหมายในการลงทุนในพื้นที่ และผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินพบว่า โครงการ Triple A ไม่มีความคุ้มค่าแก่การลงทุน เนื่องจากมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นลบ และมีอัตราผลตอบแทนภายในที่ต่ำ [2] เช่นเดียวกับ การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการกรณีศึกษาการลงทุนสร้างโรงงานให้เช่า ในตำบลลาดหลุมแก้ว อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี ผลการศึกษาพบว่า ผลตอบแทนจากการลงทุน ณ กระแสเงินสดรับ 35,000 บาทต่อเดือนของโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ -223,468.07 บาท อัตราผลตอบแทนภายในโครงการมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.53 ต่อปี ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 13.32 ปี ซึ่งผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิติดลบ แต่เมื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการโดยปรับอัตราค่าเช่าเพิ่มเป็น 48,000 บาทต่อเดือน พบว่าผลตอบแทนจากการลงทุนโครงการมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเท่ากับ 1,530,084.34 บาท อัตราผลตอบแทนภายในโครงการมีค่าเท่ากับร้อยละ 11.02 ต่อปี ระยะเวลาในการคืนทุนเท่ากับ 9.71 ปี แสดงว่าเมื่อปรับราคาเช่าเพิ่มขึ้น ทำให้โครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน [3] การศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินการของโรงงานผลิตแผ่นเหล็ก (Steel sheet) แห่งใหม่ เพื่อทบทวนด้านการตลาด ด้านเทคนิค กฎหมาย และสิ่งแวดล้อม รวมทั้งด้านการเงิน ของการสร้างโรงงานใหม่

ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ภายในระยะเวลา 5 ปี มีความเป็นไปได้ในการดำเนินการตามการวิเคราะห์ โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คือ 487,404,605,133 ซึ่งมีค่าเป็นบวก และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) คือร้อยละ 48.703 มีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนต่ำสุดที่ยอมรับได้ (MARR) ในขณะที่ระยะเวลาคืนทุน (PBP) เท่ากับ 2.34 [4] หรือแม้แต่การวิจัยเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนพัฒนาธุรกิจอาหารหลักในพื้นที่ชนบทของเขตการปกครองโบโยเนโกร (Bojonegoro) ประเทศอินโดนีเซีย ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าการลงทุนมีความเป็นไปได้โดยพิจารณาจากมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ที่เป็นบวก และค่าอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ที่ร้อยละ 37.2 และระยะเวลาคืนทุนน้อยกว่า 5 ปี โดยการวิเคราะห์ความไวยังแสดงให้เห็นว่าการลงทุนมีความแข็งแกร่งต่อการเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการดำเนินงานและรายได้ นอกจากนี้ ผลการวิจัยยังมีส่วนสำคัญต่อการพัฒนาห่วงโซ่อุปทานในระดับภูมิภาคและการลงทุนในพื้นที่อีกด้วย [5]

ทั้งนี้ จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น มีการใช้หลักการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนในการดำเนินการหลากหลายกิจกรรมทางธุรกิจ ในทำนองเดียวกันกับการศึกษาความเป็นไปได้ของอุตสาหกรรมรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ [6] การศึกษาความเป็นไปได้ธุรกิจรับทำความสะอาดและซ่อมบำรุงตู้คอนเทนเนอร์ [7] การศึกษาความเป็นไปได้ทางธุรกิจของพื้นที่การทำงานร่วมในบริเวณแหลมฉบัง [8] การศึกษาความเป็นไปได้ในการดำเนินการกิจการลานจัดเก็บตู้สินค้า [9] การศึกษาความเป็นไปได้สำหรับธุรกิจฟาร์มปลานิลในเขตพื้นที่ จังหวัดฉะเชิงเทรา [10] การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนประกอบธุรกิจนำปลาร้าต้มสุกในจังหวัดขอนแก่น [11] และการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนา ICD ที่ให้บริการแบบครบวงจร (One-Stop-Service) กรณีศึกษา บริษัท เคอร์รี่สยามซีพอร์ต จำกัด [12] ซึ่งงานเหล่านี้มีการใช้เกณฑ์ทางการเงินและเศรษฐศาสตร์เพื่อพิจารณาความคุ้มค่าก่อนการตัดสินใจลงทุน รวมทั้งมีการวิเคราะห์ความไวเพื่อช่วยลดความเสี่ยงในการดำเนินการเช่นเดียวกันกับการศึกษานี้

3. วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาคือความเป็นไปได้ในการลงทุนธุรกิจเป็นการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจเพื่อนำมาวิเคราะห์ก่อนตัดสินใจลงทุนธุรกิจใหม่หรือปรับปรุงขยายธุรกิจเดิม บทความนี้ แบ่งวิธีการดำเนินงานเป็น 3 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังนี้ **ขั้นตอนที่ 1** คือ การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลสถานการณ์ปัจจุบันของธุรกิจรับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษา โดยการศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งใช้การสังเกตการณ์และการสัมภาษณ์ผู้ให้บริการด้วยแบบสอบถาม **ขั้นตอนที่ 2** คือ การศึกษาคือความเป็นไปได้ด้านการตลาด ด้านเทคนิค ด้านบริหาร และด้านการเงิน โดยการศึกษาความเป็นไปได้ด้านการตลาด เป็นการวิเคราะห์ความต้องการหรือขนาดของอุปสงค์ (Demand) ที่มีต่ออุปทาน (Supply) ของโครงการ เพื่อพิจารณาหาขนาดของตลาดและส่วนแบ่ง

ด้านการตลาด ซึ่งจะทำให้สามารถประมาณการรายรับของธุรกิจได้ การศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคนิค เป็นการหาทำเลที่ตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินธุรกิจ การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการบริหาร เป็นการกำหนดแนวทางในการดำเนินงานของธุรกิจและคุณสมบัติของพนักงาน โดยการศึกษาความเป็นไปได้ทั้งด้านเทคนิคและด้านบริหารจะทำให้สามารถประมาณการรายจ่ายหรือต้นทุนของธุรกิจได้ และการศึกษาความเป็นไปได้ด้านการเงิน เป็นการนำข้อมูลของการศึกษาความเป็นไปได้ก่อนหน้าทั้งหมด มาพิจารณาหาผลตอบแทนทางการเงินจากการลงทุนของธุรกิจ **ขั้นตอนที่ 3** คือ การวิเคราะห์ความไว เป็นการพิจารณาหาปัจจัย (รายรับ ต้นทุน) ที่มีผลกระทบต่อธุรกิจเพื่อที่จะได้ระมัดระวังหรือเตรียมการรับมือล่วงหน้าหากเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะช่วยลดจากความเสี่ยงจากการดำเนินการ

4. ผลการศึกษา

4.1 การศึกษาด้านการตลาด

จากการสำรวจพบว่าธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศในเขตอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี มีจำนวนประมาณ 130 บริษัท โดยแต่ละบริษัทให้บริการเฉลี่ยประมาณเดือนละ 310 ทีอียู (TEUs) เมื่อนำค่าเฉลี่ยการให้บริการมารวมกันจะได้เดือนละ 40,300 TEUs หรือปีละ 483,600 TEUs คิดเป็นร้อยละ 5.54 ของปริมาณตู้สินค้าที่ผ่านท่าเรือแหลมฉบังปี 2565 ธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศเป็นธุรกิจบริการที่สามารถให้บริการลูกค้าได้ครบทุกขั้นตอนของกระบวนการนำเข้าและส่งออกสินค้า ทำให้ผู้ใช้บริการได้รับความสะดวกและรวดเร็วจากการใช้บริการที่ผู้ประกอบการรายเดียว อย่างไรก็ตาม แม้จะมีบริษัทผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศในอำเภอศรีราชาจำนวนมาก แต่เมื่อเทียบกับปริมาณตู้สินค้าที่เข้ามาใช้บริการที่ท่าเรือแหลมฉบังจะพบว่ามีจำนวนบริษัทไม่มากนัก ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการ ประกอบกับเมื่อพิจารณาปริมาณตู้สินค้าของท่าเรือแหลมฉบังด้วยเทคนิคอนุกรมเวลาด้วยวิธีปรับให้เรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล โดยใช้ข้อมูลปริมาณตู้สินค้าของท่าเรือแหลมฉบัง [13] ตั้งแต่ปีงบประมาณ 2556-2565 แสดงดังตารางที่ 1 ผลการพยากรณ์พบว่า มีแนวโน้มปริมาณเพิ่มขึ้น แสดงดังตารางที่ 2 โดยให้ค่าความคลาดเคลื่อน MAE เท่ากับ 218,605.36 ทีอียู (TEUs)

ตารางที่ 1 สถิติปริมาณตู้สินค้าของท่าเรือแหลมฉบัง

ปีงบประมาณ	จำนวนตู้สินค้า (TEUs)	ปีงบประมาณ	จำนวนตู้สินค้า (TEUs)
พ.ศ.		พ.ศ.	
2565	8,729,928	2560	7,677,279
2564	8,335,384	2559	7,060,695
2563	7,598,521	2558	6,779,705
2562	8,063,982	2557	6,458,613
2561	8,015,880	2556	5,974,715

ที่มา: การท่าเรือแหลมฉบัง, 2565

ตารางที่ 2 ผลการพยากรณ์ปริมาณตู้สินค้าของท่าเรือแหลมฉบัง

ปี	2566	2567	2568	2569	2570
TEUs	8,929,286	9,204,696	9,480,107	9,755,518	10,030,929

ที่มา: จากการคำนวณ

การวิเคราะห์สภาพการณ์แข่งขันของธุรกิจผู้รับจัดการขนส่ง พบว่าด้านความรุนแรงในการแข่งขันสูง เนื่องจากในเขตพื้นที่เป้าหมายมีผู้ประกอบการจำนวนมากจึงเกิดการแข่งขันกันทั้งในด้านคุณภาพและการให้บริการและด้านราคา ด้านภัยคุกคามจากคู่แข่งรายใหม่สูงแม้ว่าการเข้ามาในธุรกิจนี้จะต้องใช้เงินลงทุนค่อนข้างสูง แต่เนื่องจากการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศมีแนวโน้มที่สูงขึ้น อีกทั้งจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของไวรัส (โควิด 19) ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2562 แสดงให้เห็นว่าการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศทางทะเลได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยเท่านั้นในช่วงแรก ส่งผลให้มีผู้ประกอบการสนใจที่จะลงทุนในธุรกิจนี้ ด้านอำนาจการต่อรองของผู้ซื้อหรือลูกค้าสูงเนื่องมาจากมีผู้ประกอบการจำนวนมาก ทำให้ลูกค้าสามารถเลือกใช้บริการจากบริษัทใดก็ได้ ด้านอำนาจการต่อรองของผู้ขายปัจจัยการให้บริการ เนื่องจากปัจจัยที่ใช้ในการให้บริการนั้นมีผู้ขายจำนวนมากจึงทำให้สามารถเลือกใช้ปัจจัยจากรายใดก็ได้ ด้านภัยคุกคามจากสินค้าทดแทนต่ำ เนื่องจากปัจจุบันบริษัทไปรษณีย์ไทย มีการให้บริการขนส่งระหว่างประเทศ แต่มีข้อจำกัดเรื่องน้ำหนักที่ทางไปรษณีย์ไม่สามารถให้บริการสินค้าที่มีน้ำหนักมากได้ จึงทำให้ภัยคุกคามจากสินค้าทดแทนมีน้อย

4.2 การศึกษาด้านเทคนิค

การเลือกสถานที่ตั้งของการประกอบกิจการผู้รับจัดการขนส่งสินค้าให้มีคุณภาพนั้น ต้องเลือกทำเลที่ตั้งที่เหมาะสมเพื่อให้การดำเนินงานของธุรกิจมีต้นทุนที่น้อยที่สุด จึงให้คะแนนความสำคัญกับทำเลที่ตั้งโดยพิจารณาปัจจัย ได้แก่ ค่าเช่า การคมนาคม สาธารณูปโภค ไกล่ลูกค้า และใกล้ท่าเรือ เพื่อความสะดวกในการดำเนินกิจการ ทั้งนี้ การให้น้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัยได้จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องในพื้นที่ โดยการศึกษาได้พิจารณาทำเลที่ตั้ง 3 แห่ง ดังนี้
ทำเลที่ตั้ง ก: เป็นพื้นที่ให้เช่าในการทำสำนักงานของอาคาร ก ขนาดพื้นที่ 120 ตารางเมตร มีคนสัญจรผ่านจำนวนมาก ใกล้โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า มีสิ่งอำนวยความสะดวกที่ครบครัน **ทำเลที่ตั้ง ข:** เป็นอาคารพาณิชย์ 3 ชั้นใกล้ท่าเรือแหลมฉบัง ขนาดพื้นที่ 68 ตารางเมตร ใกล้โรงพยาบาล ห้างสรรพสินค้า ห่างจากถนนสุขุมวิท 200 เมตร และ **ทำเลที่ตั้ง ค:** เป็นอาคารพาณิชย์ 3 ชั้น ขนาดพื้นที่ 108 ตารางเมตร อยู่ในหมู่บ้าน ค มีพนักงานรักษาความปลอดภัยหมู่บ้าน ตลอด 24 ชม. หน้าตึกกว้าง 4 เมตร ประตูโมทไฟฟ้า แสดงรายละเอียดการให้คะแนนดังตารางที่ 3

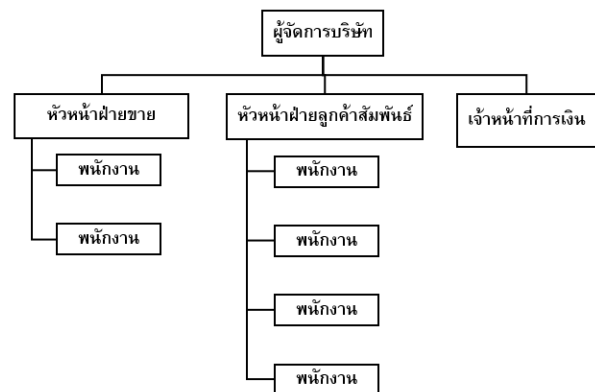
ตารางที่ 3 ปัจจัย น้ำหนัก และคะแนนในการเลือกทำเลที่ตั้งธุรกิจ

ปัจจัย	น้ำหนัก	การให้คะแนน		
		ทำเล ก	ทำเล ข	ทำเล ค
ค่าเช่า	0.2	9	8	10
การคมนาคม	0.2	8	9	7
สาธารณูปโภค	0.3	9	8	8
ใกล้ท่าเรือ	0.15	8	9	7
ใกล้ลูกค้า	0.15	10	8	8
รวม	1.0	8.8	8.35	8.05

จากตารางที่ 3 ผลการเลือกทำเลที่ตั้งคือ ทำเล ก เนื่องจากมีคะแนนน้ำหนักรวมสูงสุดเท่ากับ 8.8 โดยมีคะแนนปัจจัยด้านค่าเช่า 9 คะแนน ปัจจัยด้านการคมนาคม 8 คะแนน ปัจจัยด้านสาธารณูปโภค 9 คะแนน ปัจจัยด้านทำเลที่ตั้งใกล้กับท่าเรือ 8 คะแนน และปัจจัยด้านทำเลที่ตั้งใกล้กับแหล่งลูกค้า 10 คะแนน

4.3 การศึกษาด้านการบริหาร

จากการสัมภาษณ์ผู้ประกอบการผู้รับจัดการขนส่งสินค้าพบว่าธุรกิจนี้ส่วนใหญ่บริหารจัดการองค์กรภายในโดยมีโครงสร้างองค์กรแบบการจัดการตามหน้าที่ (Functional Organization) แบ่งออกเป็น 4 ฝ่าย ได้แก่ ผู้จัดการ จำนวน 1 คน ฝ่ายขาย จำนวน 3 คน ฝ่ายลูกค้าสัมพันธ์ จำนวน 5 คน และฝ่ายการเงิน จำนวน 1 คน รวมมีจำนวนพนักงานทั้งหมด 10 คน แสดงแผนผังโครงสร้างองค์กรดังรูปที่ 1 สำหรับการควบคุมดูแลการดำเนินงานและพนักงานเป็นหน้าที่ของผู้จัดการ การติดต่อประสานงานกับลูกค้าเพื่อเสนองานและบริการที่สนับสนุนธุรกิจเป็นหน้าที่ของฝ่ายขาย การรายงานปัญหา ติดตามการขนส่งสินค้าและจัดทำเอกสารต่าง ๆ เป็นหน้าที่ของฝ่ายลูกค้าสัมพันธ์ และการควบคุมรายรับ รายจ่าย แผนงบประมาณประจำปี เป็นหน้าที่ของฝ่ายการเงิน โดยแต่ละฝ่ายจะต้องมีการทำงานที่สอดคล้อง และมีการประสานงานกันอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด



รูปที่ 1 แผนผังโครงสร้างองค์กร

4.4 การศึกษาด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์

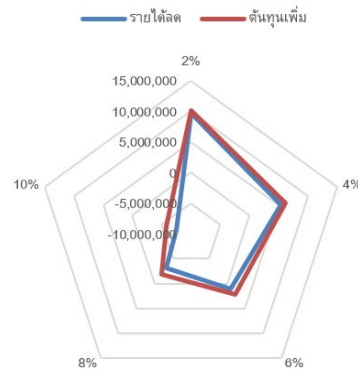
ธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ใช้เงินลงทุนประมาณ 7,314,840 บาท โดยการศึกษา กำหนดให้แหล่งที่มาของเงินทุนมาจากส่วนของผู้ถือหุ้น 70 คิดเป็นเงิน 5,120,388 บาท และมาจากสถาบันการเงินร้อยละ 30 คิดเป็นเงิน 2,194,452 บาท และอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ (MARR) เท่ากับร้อยละ 20 ผลการวิเคราะห์การลงทุน พบว่า มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 14,044,801 บาท ซึ่งมีค่าเป็นบวก อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเท่ากับร้อยละ 68.52 ซึ่งมากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.58 เท่า ซึ่งมีค่ามากกว่า 1 และระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 2 ปี 2 เดือน นอกจากนี้ การคำนวณต้นทุนเงินลงทุนเฉลี่ยของกิจการ (WACC: Weighted Average Cost of Capital) มีค่าเท่ากับร้อยละ 15.50 แสดงให้เห็นว่าควรลงทุนในโครงการนี้ เนื่องจากอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการมีค่ามากกว่าต้นทุนเงินลงทุนเฉลี่ยของกิจการ (IRR > WACC) และเมื่อวิเคราะห์ความไวด้วยการเปลี่ยนแปลงรายได้และต้นทุน แสดงผลการเปลี่ยนแปลงของมูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยด้านต้นทุนและรายรับ

รายรับ		ต้นทุน		การเปลี่ยนแปลง	
ลด	เพิ่ม	ลด	เพิ่ม	NPV	IRR
2%				9,724,040	54.76
			2%	10,087,466	55.45
4%			4%	6,130,131	41.98
6%			6%	1,082,517	24.21
8%			8%	2,172,795	27.99
			8%	-3,238,245	6.68
10%	-	-	-	-1,784,540	13.24
-	-	-	10%	-7,559,006	-13.36
			10%	-5,741,875	-2.60
2%	-	2%	-	13,681,375	68.06
-	2%	2%	-	22,322,898	93.91
	2%		2%	14,408,227	68.96
2%			2%	5,766,704	41.05
4%		4%		13,317,947	67.58
	4%	4%		30,600,994	117.86
	4%		4%	14,771,653	69.40
4%			4%	-2,511,392	10.09
6%		6%		12,954,522	67.09
	6%	6%		38,879,091	140.69
	6%		6%	15,135,080	69.81
6%			6%	-10,789,489	-28.00

จากตารางที่ 4 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของรายได้หรือต้นทุนเพียงปัจจัยเดียว โดยรายได้ลดลงหรือต้นทุนที่เพิ่มร้อยละ 10 ส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมีค่าเป็นลบทำให้ธุรกิจนี้ไม่น่าลงทุน และเมื่อพิจารณาหาจุดต่ำสุดที่รายได้สามารถลดได้จะอยู่ที่ร้อยละ 6.5 ส่วนด้านต้นทุนสามารถเพิ่มได้สูงสุดร้อยละ 7.0 จึงจะส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ

มีค่าเป็นลบ และสามารถแสดงเป็นแผนภูมิเรดาร์หลังการเปลี่ยนแปลงปัจจัยเดียวคือรายได้ที่ลดลงหรือต้นทุนที่เพิ่มขึ้นได้ดังรูปที่ 2 โดยเป็นการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ร้อยละ 2-10 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ารายได้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากกว่าต้นทุน สอดคล้องกับการพิจารณาหาจุดต่ำสุดที่รายได้มีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าต้นทุนก็ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการมีค่าเป็นลบ นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของรายได้และต้นทุนพร้อมกัน พบว่ารายรับที่ลดลงร้อยละ 4 และต้นทุนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 4 ส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ -2,511,392 บาท และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเท่ากับร้อยละ 10.09 ทั้งนี้ เมื่อรายรับที่ลดลงร้อยละ 6 และต้นทุนที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 6 ส่งผลให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (-10,789,489) และอัตราผลตอบแทนภายในของโครงการ (-28.00) มีค่าติดลบทั้งสองค่า ดังนั้นโครงการนี้มีความเสี่ยงควรใช้ความระมัดระวังในการดำเนินธุรกิจอย่างมาก



รูปที่ 2 แผนภูมิเรดาร์หลังการเปลี่ยนแปลงรายได้และต้นทุน

5. สรุปผล

ผลการศึกษาพบว่ามีความเป็นไปได้ในการลงทุนธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ เนื่องจากด้านการตลาดยังมีปริมาณความต้องการที่สูง ด้านเทคนิคและด้านการบริหารสามารถดำเนินการได้เนื่องจากสามารถหาเครื่องมือและอุปกรณ์ได้ทั่วไป และการสรรหาทรัพยากรด้านบุคคลสามารถทำได้ง่าย ด้านการเงินและเศรษฐศาสตร์เป็นโครงการที่ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่ากับการลงทุน โดยมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ 14,044,801 บาท อัตราผลตอบแทนภายในของโครงการเท่ากับร้อยละ 68.52 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.58 เท่า และระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) เท่ากับ 2 ปี 2 เดือน ดังนั้นธุรกิจนี้จึงเป็นธุรกิจที่น่าลงทุน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบริษัทผู้ให้บริการและผู้รับบริการของธุรกิจผู้รับจัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ในเขตอำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี ที่สละเวลาให้ข้อมูลที่เป็ประโยชน์ในการศึกษาครั้งนี้ และขอขอบคุณ

คุณคุณป้ารัชชี่ รูปธรรม คุณพรสุตา แก้วโต และคุณยุชฟูรี่ ยี่ดอรรอม
ที่ช่วยสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลในการศึกษานี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] พัชรา ศรีพระบุญ ชไมพร สุขภาพาน ปวันรัตน์ คันธไพโรจน์ คณิน เวียงคำมา. 2563. "การศึกษาความเป็นไปได้ในการให้บริการเรือลำเลียงและลากจูงในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา." วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 หน้า 101-113.
- [2] ชัยทัศน์ พุทธเดช และภททกิตติเนตินิยม. 2564. "การศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงินในการลงทุนสร้างอาคารสำนักงานให้เขาในรูปแบบการทำงานที่ยืดหยุ่นย่านธุรกิจกลางกรุงเทพมหานคร." วารสารวิชาการเทคโนโลยีการจัดการ, ปีที่ 2 ฉบับที่ 2: (70-85)
- [3] ศิริพันธ์ ยะพันธ์ และปริญญา นันไชย. 2564. "การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ กรณีศึกษาการลงทุนสร้างโรงงานให้เช่า." วิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์, วิทยาลัยนวัตกรรมการเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต.
- [4] Rahardja AZ, Chumaidiyah E, Tripiawan W. 2019. "Feasibility Analysis on the Development of Steel Sheet Zinc Plated and Galvalum Production Factory PT.S Steel." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 528.
- [5] Sutrisno. 2019. "The Feasibility of Staple Food Business and Its Implication on Regional Food Supply Chain Development." Journal of Socioeconomics and Development. 2(1): 54-60.
- [6] วรท มงคลปัญญา และสัณหนัฐ ธรรมทอง. 2562. "การศึกษาความเป็นไปได้ของอุตสาหกรรมรีไซเคิลทองคำจากเศษซากชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์." หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- [7] พัชรา ศรีพระบุญ และเชษฐา ชำนาญหล่อ. 2562. "การศึกษาความเป็นไปได้ธุรกิจรับทำความสะอาดและซ่อมบำรุงตู้คอนเทนเนอร์." การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2561 (IE NETWORK Conference 2018), 21-24 กรกฎาคม 2562, กรุงเทพมหานคร; หน้า 304-308.
- [8] พัชรา ศรีพระบุญ และเชษฐา ชำนาญหล่อ. 2561. "การศึกษาความเป็นไปได้ทางธุรกิจของพื้นที่การทำงานร่วมในบริเวณแหลมฉบัง." การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2560 (IE NETWORK Conference 2017), 23-26 กรกฎาคม 2561, อุบลราชธานี; หน้า 601-606.
- [9] พัชรา ศรีพระบุญ เชษฐา ชำนาญหล่อ และธนิตรุจ กนกยุราพันธ์. 2559. "การศึกษาความเป็นไปได้ ในการดำเนินกิจการลานจัดเก็บตู้สินค้า." RMUTT Global Business and Economics Review. ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 หน้า 17 - 30.
- [10] พัชรา ศรีพระบุญ และเชษฐา ชำนาญหล่อ. 2560. "การศึกษาความเป็นไปได้สำหรับธุรกิจฟาร์มปลาในเขตพื้นที่ จังหวัด ฉะเชิงเทรา." การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2559 (IE NETWORK Conference 2017), 12-15 กรกฎาคม 2560, เชียงใหม่; หน้า 1431-1435.
- [11] พัชรา ศรีพระบุญ. 2559. "การศึกษาความเป็นไปได้ของการลงทุนประกอบธุรกิจน้ำปลาสำเร็จรูปในจังหวัดขอนแก่น." การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2558 (IE NETWORK Conference 2016), 7-8 กรกฎาคม 2559, ขอนแก่น; หน้า 1822 - 1827.
- [12] Laptaned U. 2010. "A Feasibility Study of Developing One-Stop-Service Inland Container Depot: A Case Study of Kerry Siam Seaport, Co., Ltd.." Proceedings of the Eurasia Business Economics Society. May 26-28; Istanbul, Turkey. p.291-301.
- [13] การท่าเรือแห่งประเทศไทย, สถิติย้อนหลัง, ข้อมูลจาก <https://www.port.co.th/cs/internet/internet/สถิติรายปีย้อนหลัง.html> (วันที่สืบค้นข้อมูล 20 ธันวาคม 2565)

การประยุกต์ใช้โครงสร้าง SqueezeNet ในการจำแนกข้อบกพร่องของอะลูมิเนียมแผ่นรีด Application of SqueezeNet Architecture in Classifying Defect in Aluminum Sheets

วรพล ประชานิยม¹ นัทธวิกา จันทร์ศรี^{2*}

¹สาขาวิชาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: natthavika@eng.src.ku.ac.th*

Worapon Prachaniyom¹, Natthavika Chansri^{2*}

¹Program of Engineering and Technology Management, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

E-mail: natthavika @eng.src.ku.ac.th *

บทคัดย่อ

พนักงานใช้สายตาเป็นเวลานาน เพื่อจำแนกข้อบกพร่องของอะลูมิเนียมแผ่นรีด ทำให้เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อตา อันจะนำไปสู่ความผิดพลาดในการจำแนกข้อบกพร่องได้ งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแบบโครงสร้าง SqueezeNet ในการจำแนกข้อบกพร่อง แทนการใช้สายตาของพนักงาน งานวิจัยนี้ใช้ภาพข้อบกพร่อง จำนวน 1,570 ภาพ ซึ่งแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ภาพข้อบกพร่องที่ใช้ในการเรียนรู้ 1,120 ภาพ คิดเป็น 70% ของภาพข้อบกพร่องทั้งหมด และภาพข้อบกพร่องที่ใช้ในการทดสอบ 450 ภาพ คิดเป็น 30% ของภาพข้อบกพร่องทั้งหมด หลังจากนั้นศึกษาอัตราการเรียนรู้ จำนวนรอบของการเรียนรู้ และขนาดกลุ่มที่เหมาะสมในการจำแนกข้อบกพร่อง ผลการทดลองพบว่าอัตราการเรียนรู้ 0.001 จำนวนรอบของการเรียนรู้ 6 รอบ และขนาดกลุ่ม 10 กลุ่ม เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการจำแนกข้อบกพร่อง ที่ทำให้ความแม่นยำ 100% และเวลาในการเรียนรู้ 1.10 นาที

คำสำคัญ: อะลูมิเนียมแผ่นรีด, การจำแนกข้อบกพร่อง, โครงสร้าง SqueezeNet, โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

Abstract

In defect classification of aluminum sheet, operators prolong use of sight to classify defects of aluminum, causing fatigue their eye muscles that leads to human errors in the classification of defect images. This research is applied convolutional neural network with SqueezeNet architecture for classifying defects of aluminum sheet, instead of human vision. It used the 1,570 defect images that can be classify into 2 groups: 1,120 defect images for learning (70% of the total defect images) and 450 defect images for test (30% of the total defect images). After that, it conducted experiments for determining the suitable parameters (learning rate, epoch and batch size) before classifying the defect images. The result shown that learning rate (0.001) epoch (6) and batch size (10) are the suitable parameters for classification of the defect images. The suitable parameters provide the high accuracy 100% and the learning time 1.10 mins.

Keywords: Aluminum sheet, Defect classification, SqueezeNet architecture, Convolutional neural network

1. บทนำ

อะลูมิเนียมแผ่นรีด เป็นผลิตภัณฑ์ที่สำเร็จรูปที่ได้จากการรีดอะลูมิเนียม ที่มีความคงทนต่อการหัก ความร้อน และการกัดกร่อน น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการสะท้อนแสงและความร้อนได้ดี นอกจากนี้ยังสามารถนำมาขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายประเภท เช่นบรรจุภัณฑ์ งานตกแต่ง ชิ้นส่วนรถยนต์ ป้ายโฆษณา และก่อสร้าง เป็นต้น

อะลูมิเนียมแผ่นรีด มีลักษณะการผลิตแบบต่อเนื่อง (Continuous process) ที่ได้ อะลูมิเนียมแผ่นรีดเป็นม้วนที่มีขนาดใหญ่ ในกระบวนการผลิต ต้องตรวจสอบคุณภาพพื้นผิวของอะลูมิเนียมแผ่นรีด โดยการบันทึกภาพ จำนวน และขนาดข้อบกพร่องตลอดความยาวของคอยล์ หลังจากนั้นพนักงานใช้สายตาและประสบการณ์ เพื่อจำแนกข้อมูลเหล่านี้ ว่าเป็นคอยล์ที่ไม่มีข้อบกพร่อง หรือคอยล์ที่มีข้อบกพร่อง หากตรวจพบคอยล์ที่ไม่มีข้อบกพร่อง จะส่งให้ลูกค้า ในทางกลับกัน หากตรวจพบคอยล์ที่มีข้อบกพร่อง จะนำกลับมาตัดข้อบกพร่อง ก่อนที่จะส่งให้ลูกค้า

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากพนักงานใช้สายตาและประสบการณ์ในการจำแนก ทำให้เกิดความเมื่อยล้าของกล้ามเนื้อตา เมื่อใช้เวลานานในการจำแนกเป็นเวลานาน อันจะนำไปสู่ความผิดพลาดในการจำแนกข้อบกพร่องได้ ทำให้มีนักวิจัยหลายท่านที่ใช้คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer vision) [1 - 11] แทนการใช้สายตาตามมนุษย์ (Human vision) ในการตรวจสอบข้อบกพร่องที่มีลักษณะเป็นแผ่น (Flat) เช่นการเชื่อมเหล็กแผ่น [1, 2] และโครงสร้างเหล็ก [3] การกัดกร่อนของเหล็กแผ่นของโครงสร้างเรือ [4] พื้นผิวเหล็กของใบพัดกังหันลม [5] เหล็กแผ่น [6] เหล็กแผ่นรีดร้อน [7 - 10] เหล็กแผ่นรีดเย็น [10] และอะลูมิเนียมแผ่นรีด [11] นอกจากนี้ยังใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (CNN) ด้วยโครงสร้างต่าง ๆ เช่น VGG16 [1 - 3, 5, 8, 10 - 11] VGG19 [5] AlexNet [4] DenseNet121 [5] DenseNet169 [5] DenseNet201 [5] Xception [5] ResNet50 [5] InceptionV3 [5] InceptionV4 [9] InceptionResNetV2 [5] SqueezeNet [6] WRN-28-10 [7] และ WRN-28-20 [7] ในการจำแนกข้อบกพร่องดังกล่าวข้างต้น

สำหรับกระบวนการผลิตอะลูมิเนียมแผ่นรีด พูริตา และ นัญฐวิภา [11] จำแนกข้อบกพร่องประเภทรูทะลุ โดยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแบบโครงสร้าง VGG16 ซึ่งได้ค่าความแม่นยำของการจำแนกข้อบกพร่อง 100% แต่ใช้เวลานานในการเรียนรู้มากกว่าเวลาที่ใช้ในการจำแนกของพนักงาน เนื่องจากพารามิเตอร์ของโครงสร้าง VGG16 มีจำนวนมาก ทำให้ใช้เวลานานในการเรียนรู้ ในปัจจุบัน มีนักวิจัยพัฒนาโครงสร้างให้มีขนาดของโครงข่าย (พารามิเตอร์) ลดลง และโครงสร้างที่มีพารามิเตอร์ที่น้อยที่สุด คือพารามิเตอร์ของโครงสร้าง SqueezeNet

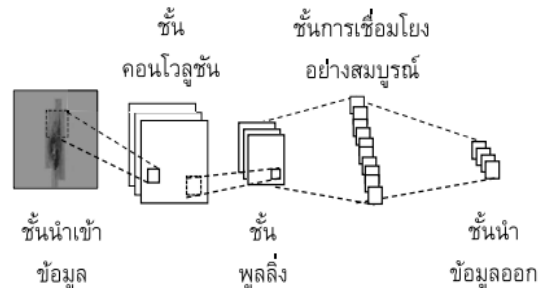
ดังนั้นงานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน ด้วยโครงสร้าง SqueezeNet เพื่อจำแนกภาพข้อบกพร่องประเภทรอยบุบ ฝุ่น รูทะลุ รอยขีด และรอยแนวยาว ที่ทำให้ค่าความแม่นยำสูง และเวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ลดลง

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน

โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) เป็นโครงข่ายที่จำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทที่อยู่ในสมองของมนุษย์ โดยมีการแบ่งโครงสร้างการทำงานออกเป็นชั้น (Layer) ซึ่งประกอบด้วยชั้นนำเข้า (Input layer) ชั้นซ่อน (Hidden layer) และชั้นแสดงผลลัพธ์ (Output layer) จำนวนโหนด (Node) ของชั้นแสดงผลลัพธ์ขึ้นอยู่กับจำนวนประเภทที่จำแนกประเภท คำตอบในการจำแนกได้มาจากการพยากรณ์ที่มีค่าความน่าจะเป็นของประเภทที่สูงที่สุด

หากจำนวนชั้นซ่อนเพิ่มขึ้น ทำให้มีความแม่นยำมากขึ้น แต่ทำให้เวลาในการเรียนรู้มากขึ้น เรียกวิธีนี้ว่า การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) หรือโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน (Convolutional Neural Network: CNN) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างทั่วไปของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน [1]

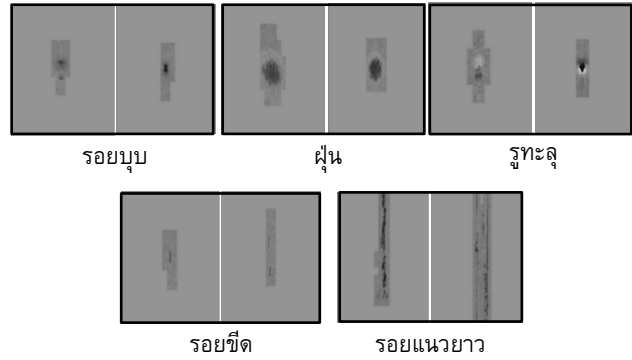
โครงสร้างทั่วไปของโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน ประกอบด้วย 5 ชั้น ดังนี้

1. ชั้นนำข้อมูล (Input layer) เป็นการนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ
2. ชั้นคอนโวลูชัน (Convolution layer) เป็นการคัดแยกองค์ประกอบของข้อมูล ผ่านตัวกรอง (Filter) หรือ เคอร์เนล (Kernel) ทำให้ข้อมูลมีขนาดเล็กลง เรียกว่า Feature map
3. ชั้นพูลลิ่ง (Pooling layer) เป็นการปรับลดขนาดข้อมูลลงแต่ยังสามารถคงคุณลักษณะเด่นของข้อมูลไว้ โดยการเลือกใช้ข้อมูลบางส่วนแทนการใช้ข้อมูลทั้งหมด เพื่อลดการทำงานของตัวกรอง
4. ชั้นการเชื่อมโยงอย่างสมบูรณ์ (Fully-connected layer) เป็นการเรียนรู้และจำแนกข้อมูลที่ได้จากชั้นคอนโวลูชันและชั้นพูลลิ่งมาเชื่อมต่อกัน
5. ชั้นนำข้อมูลออก (Output layer) เป็นการนำผลลัพธ์การจำแนกมาแสดงผล

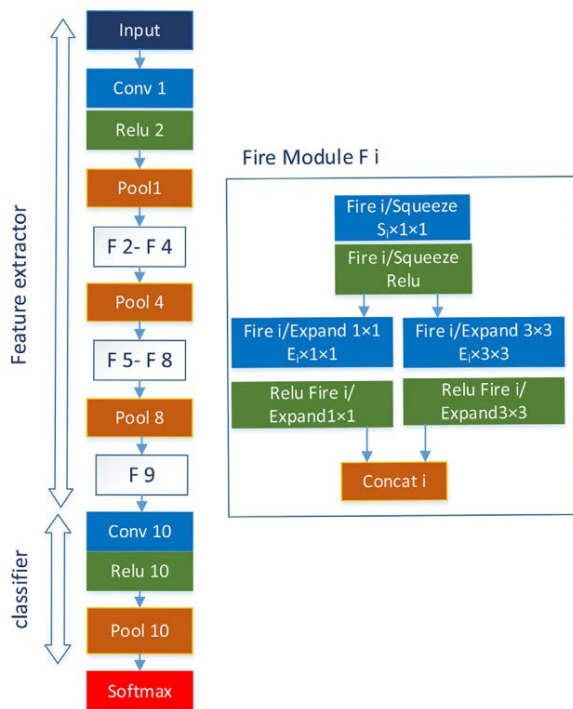
2.2 โครงสร้าง SqueezeNet

SqueezeNet เป็นโครงสร้างที่ถูกพัฒนาขึ้นจากโครงสร้าง AlexNet เพื่อลดขนาดของโครงข่ายประสาท โดยนักวิจัยที่ DeepScale มหาวิทยาลัยแคลิฟอร์เนีย และมหาวิทยาลัยสแตนฟอร์ด โครงสร้าง SqueezeNet ประกอบด้วย 10 กลุ่มชั้นคอนโวลูชัน (Conv) (ดังรูปที่ 2) ดังนี้

- Conv1: มีขนาดเอาต์พุต 113×113×64
- Conv2: มีขนาดเอาต์พุต 56×56×16
- Conv3: มีขนาดเอาต์พุต 56×56×64
- Conv4: มีเอาต์พุต 28×28×32
- Conv5: มีขนาดเอาต์พุต 28×28×128
- Conv6: มีข้อมูลขนาดเอาต์พุต 14×14×48
- Conv7: มีขนาดเอาต์พุต 14×14×192
- Conv8: มีขนาดเอาต์พุต 14×14×256
- Conv9: มีขนาดเอาต์พุต 14×14×512
- Conv10: มีขนาดเอาต์พุต 1×1×1000



รูปที่ 3 ภาพข้อบกพร่อง



รูปที่ 2 โครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชัน แบบโครงสร้าง SqueezeNet [6]

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือการเตรียมภาพข้อบกพร่อง และการจำแนกข้อบกพร่อง เพื่อจำแนกข้อบกพร่องด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทคอนโวลูชันแบบ SqueezeNet ซึ่งแสดงรายละเอียดดังนี้

3.1 การเตรียมภาพข้อบกพร่อง

งานวิจัยนี้ใช้ภาพข้อบกพร่อง 5 ประเภท คือรอยบุบ (Dent) ฝุ่น (Dirt) รูทะลุ (Hole) รอยขีด (Scratch) และรอยแนวยาว (Streak) (รูปที่ 3) เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้โครงข่าย SqueezeNet ทำให้ต้องปรับขนาดภาพ 227 × 227 พิกเซล เพื่อนำภาพเข้าในชั้นนำข้อมูล (Input Layer)

3.2 การจำแนกข้อบกพร่อง

งานวิจัยนี้พิจารณาโครงข่ายประสาทเทียมแบบคอนโวลูชันแบบโครงสร้าง SqueezeNet ในการจำแนกประเภทของข้อบกพร่อง และใช้ภาพข้อบกพร่องทั้งหมด 1,600 ภาพ ซึ่งต้องแบ่งเป็นภาพข้อบกพร่องที่ใช้ในการเรียนรู้ (Train) เพื่อฝึกการเรียนรู้จำนวน 1,120 ภาพ คิดเป็น 70% ของภาพข้อบกพร่องทั้งหมด และภาพข้อบกพร่องที่ใช้ในการทดสอบ (Test) เพื่อทดสอบความแม่นยำของการเรียนรู้ จำนวน 480 ภาพ คิดเป็น 30% ของภาพข้อบกพร่องทั้งหมด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนภาพข้อบกพร่อง

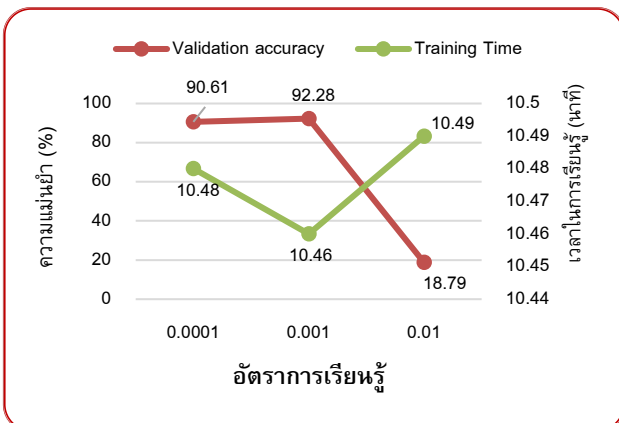
ประเภทข้อบกพร่อง	จำนวนภาพข้อบกพร่อง (ภาพ)	
	การเรียนรู้	การทดสอบ
รอยบุบ	210	90
ฝุ่น	210	85
รูทะลุ	280	125
รอยขีด	210	90
รอยแนวยาว	210	90
รวม	1,120	480

การจำแนกข้อบกพร่องขึ้นอยู่กับ 3 พารามิเตอร์ คือ อัตราการเรียนรู้ (Learning rate) จำนวนรอบของการเรียนรู้ (Epochs) และขนาดกลุ่ม (Batch size) ที่ทำให้ความแม่นยำ (Accuracy) สูงที่สุดและเวลาในการเรียนรู้สั้นที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการจำแนกข้อบกพร่อง โดยกำหนดอัตราการเรียนรู้ 3 ระดับ คือ 0.0001 0.001 และ 0.01 ซึ่งมีปัจจัยควบคุม คือจำนวนรอบของการเรียนรู้ 7 รอบ และขนาดกลุ่ม 11 จำนวนรอบของการเรียนรู้ 3 ระดับ คือ 6 7 และ 8 รอบ ซึ่งมีปัจจัยควบคุม คือ อัตราการเรียนรู้ 0.001 และขนาดกลุ่ม 11 รอบ และขนาดกลุ่ม 3 ระดับ คือ 10 11 และ 12 กลุ่ม ซึ่งมีปัจจัยควบคุม คือ อัตราการเรียนรู้ 0.001 และจำนวนรอบของการเรียนรู้ 7 รอบ แต่ละพารามิเตอร์ทำซ้ำกัน 3 ครั้ง

นอกจากนี้ยังทดสอบความแม่นยำของทั้ง 3 พารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากภาพข้อบกพร่องที่ไม่ได้อยู่ในชุดการเรียนรู้ และทดสอบ 91 ภาพ

4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาอัตราการเรียนรู้ที่มีผลต่อความแม่นยำและเวลาในการเรียนรู้ (รูปที่ 4) พบว่าอัตราการเรียนรู้มีผลต่อความแม่นยำและเวลาในการเรียนรู้ อัตราการเรียนรู้เพิ่มขึ้นจาก 0.0001 ถึง 0.001 ทำให้ความแม่นยำเพิ่มเล็กน้อย ในขณะที่เวลาในการเรียนรู้ลดลงเล็กน้อย และอัตราการเรียนรู้เพิ่มขึ้นจาก 0.001 ถึง 0.01 ทำให้ความแม่นยำลดลงมาก ในขณะที่เวลาในการเรียนรู้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นอัตราการเรียนรู้ 0.001 เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่าความแม่นยำสูงสุด (92.28%) และเวลาในการเรียนรู้ต่ำสุด (10.46 นาที)



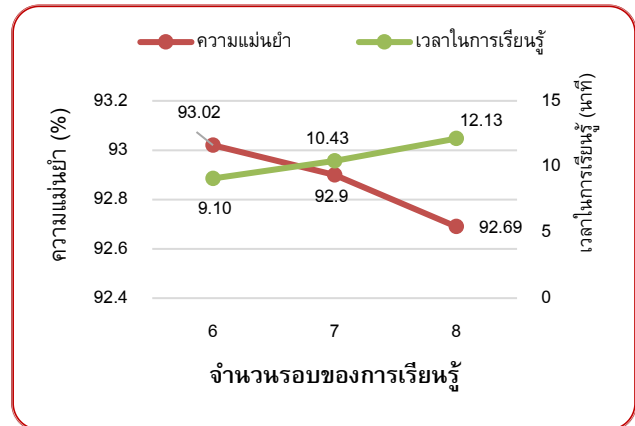
รูปที่ 4 ความแม่นยำและเวลาในการเรียนรู้ของอัตราการเรียนรู้

จากการศึกษาจำนวนรอบของการเรียนรู้ที่มีผลต่อความแม่นยำและเวลาในการเรียนรู้ (รูปที่ 5) พบว่าจำนวนรอบของการเรียนรู้มีผลต่อความแม่นยำและเวลาในการเรียนรู้ จำนวนรอบของการเรียนรู้เพิ่มขึ้นจาก 6 ถึง 8 รอบ ทำให้ความแม่นยำลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เวลาในการเรียนรู้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นจำนวนรอบของการเรียนรู้ 6 รอบ เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่าความแม่นยำสูงสุด (93.02%) และเวลาในการเรียนรู้ต่ำสุด (9.10 นาที)

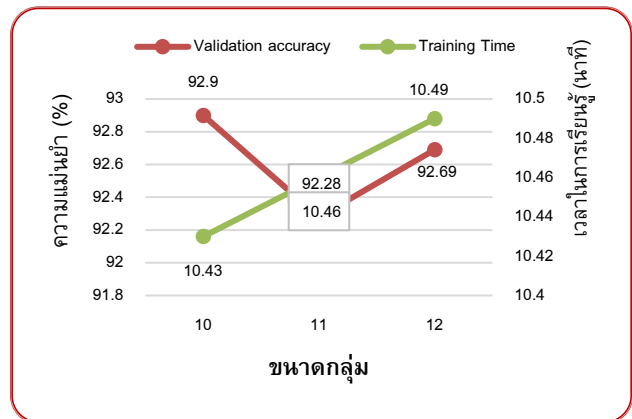
จากการศึกษาขนาดกลุ่มที่มีผลต่อความแม่นยำและเวลาในการเรียนรู้ (รูปที่ 6) พบว่าขนาดกลุ่มไม่มีผลต่อความแม่นยำและเวลาในการเรียนรู้ ขนาดกลุ่มเพิ่มขึ้นจาก 10 ถึง 11 ทำให้ความแม่นยำลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เวลาในการเรียนรู้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และขนาดกลุ่มเพิ่มขึ้นจาก 11 ถึง 12 ทำให้ความแม่นยำลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เวลาในการเรียนรู้เพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังนั้นขนาดกลุ่ม 10 กลุ่มเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้ค่าความแม่นยำสูงสุด (92.90%) และเวลาในการเรียนรู้ต่ำสุด (10.43 นาที)

จากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังกล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้พิจารณาภาพข้อบกพร่องที่ไม่ได้อยู่ในชุดการเรียนรู้และทดสอบ 91 ภาพ พบว่า

โครงสร้าง SqueezeNet สามารถจำแนกภาพข้อบกพร่องได้อย่างแม่นยำ 100% และใช้เวลาในการเรียนรู้ 1.10 นาที (ตารางที่ 1)



รูปที่ 5 ความแม่นยำและเวลาในการเรียนรู้ของจำนวนรอบของการเรียนรู้



รูปที่ 6 ความแม่นยำและเวลาในการเรียนรู้ของขนาดกลุ่ม



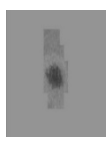




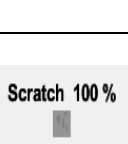

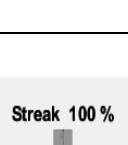
จากรูปที่ 7 Confusion Matrix แสดงผลลัพธ์ของภาพข้อบกพร่อง รอยบุบ (Dent) ฝุ่น (Dirt) รูทะลุ (Hole) รอยขีด (Scratch) และรอยแนวยาว (Streak) พบว่าโครงสร้าง SqueezeNet สามารถจำแนกภาพข้อบกพร่องทั้ง 5 ประเภทได้อย่างแม่นยำ (ค่าความแม่นยำที่ได้จาก Target class เท่ากับ 96.1% ของจำนวนภาพทั้งหมด) นั่นคือ จากภาพข้อบกพร่องที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด 480 ภาพ โครงสร้าง SqueezeNet สามารถจำแนกภาพข้อบกพร่องได้อย่างแม่นยำ จำนวน 462 ภาพ โดยมีความแม่นยำของภาพข้อบกพร่องรอยขีดและรอยแนวยาวสูงสุด 100% ของจำนวนภาพข้อบกพร่องรอยขีด/รอยแนวยาวทั้งหมด จำนวน 90 และ 90 ภาพ ตามลำดับ รองลงมา คือความแม่นยำของภาพข้อบกพร่องรูทะลุ 96.4% ของจำนวนภาพข้อบกพร่องรูทะลุทั้งหมด (125 ภาพ) จำนวน 121 ภาพ ลำดับที่ 3 คือความแม่นยำของภาพข้อบกพร่องรอยบุบ 93.7% ของจำนวนภาพข้อบกพร่องรอยบุบทั้งหมด (90 ภาพ) จำนวน 85 ภาพ และลำดับสุดท้าย คือความแม่นยำ

ของภาพข้อบกพร่องฝุ่น 90.5% ของจำนวนภาพข้อบกพร่องฝุ่นทั้งหมด (85 ภาพ) จำนวน 77 ภาพ

Output Class	Dent	Dirt	Hole	Scratch	Streak	Accuracy	Loss
Dent	59 17.6%	0 0.0%	2 0.6%	0 0.0%	0 0.0%	96.7%	3.3%
Dirt	0 0.0%	57 17.0%	1 0.3%	0 0.0%	0 0.0%	98.3%	1.7%
Hole	3 0.9%	1 0.3%	81 24.1%	0 0.0%	0 0.0%	95.3%	4.7%
Scratch	1 0.3%	4 1.2%	0 0.0%	63 18.8%	0 0.0%	92.6%	7.4%
Streak	0 0.0%	1 0.3%	0 0.0%	0 0.0%	63 18.8%	98.4%	1.6%
	93.7% 6.3%	90.5% 9.5%	96.4% 3.6%	100% 0.0%	100% 0.0%	96.1%	3.9%
	Dent	Dirt	Hole	Scratch	Streak		

รูปที่ 7 Confusion Matrix ที่ได้จากการเรียนรู้และจำแนกข้อบกพร่อง

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแม่นยำของภาพข้อบกพร่องทั้งหมด

ประเภทข้อบกพร่อง	ภาพทวนสอบข้อบกพร่อง	เวลาที่ใช้ทดสอบ	ภาพที่ได้จากการทวนสอบ
รอยบุบ		1.10 นาที	Dent 99.7694 % 
ฝุ่น			Dirt 99.9911 % 
รูทะลุ			Hole2 100 % 
รอยขีด			Scratch 100 % 
รอยแนวยาว			Streak 100 % 

จากนั้นทั้ง 3 พารามิเตอร์ดังกล่าวได้ถูกทวนสอบความแม่นยำด้วยภาพข้อบกพร่องทั้งหมดจำนวน 91 ภาพ ที่ไม่ได้อยู่ในชุดการเรียนรู้และการทดสอบ จากตารางที่ 2 พบว่า โครงสร้าง SqueezeNet สามารถจำแนกภาพข้อบกพร่องทั้งหมดได้อย่างแม่นยำ

5. สรุป

งานวิจัยนี้ใช้เทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมคอนโวลูชันแบบโครงสร้าง SqueezeNet ในการจำแนกข้อบกพร่อง จำนวน 1,570 ภาพ ซึ่งแบ่งเป็นภาพข้อบกพร่องที่ใช้ในการเรียนรู้ 1,120 ภาพ คิดเป็น 70% ของภาพข้อบกพร่องทั้งหมด และภาพข้อบกพร่องที่ใช้ในการทดสอบ 450 ภาพ คิดเป็น 30% ของภาพข้อบกพร่องทั้งหมด โดยกำหนดให้อัตราการเรียนรู้ 0.001 จำนวนรอบของการเรียนรู้ 6 รอบ และขนาดกลุ่ม 10 กลุ่ม เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการจำแนกข้อบกพร่อง ที่ทำให้ความแม่นยำ 95.9% และเวลาในการเรียนรู้ 1.10 นาที

เอกสารอ้างอิง

- [1] Miao, R., Gao, Y., Ge, L., Jiang, Z., and Zhang, J. 2019. "Online Defect Recognition of Narrow Overlap Weld Based on Two-Stage Recognition Model Combining Continuous Wavelet Transform and Convolutional Neural Network." Computers in Industry, Vol.112. doi.org/10.1016/j.compind.2019.07.005.
- [2] Liu, H., and Zhang, Y. 2019. "Image-Driven Structural Steel Damage Condition Assessment Method using Deep Learning Algorithm." Measurement, Vol.33: 168 – 181.
- [3] Yao, Y., Yang, Y., Wang, Y., and Zhao, X. 2019. "Artificial Intelligence-Based Hull Structural Plate Corrosion Damage Detection and Recognition using Convolution Neural Network." Applied Ocean Research, Vol.90. doi.org/10.1016/j.apor.2019.05.008.
- [4] Dung, C. V., Sekiya, H., Hirano, S., Okatani, T. and Miki, C. 2019. "A Vision-Based Method for Crack Detection in Gusset Plate Welded Joints of Steel Bridges using Deep Convolutional Neural Networks." Automatic in Construction, Vol.102: 217 – 229.
- [5] Denhof, D., Staar, B., Lutien, M., and Freitag, M. 2019. "Automatic Optical Surface Inspection of Wind Turbine Rotor Blades using Convolutional Neural Network." In Proceeding of The CIRP, Vol.81: 1166 – 1170.
- [6] Fu, G., Sun, P., Zhu, W., Yang, J., Cao, Y., Yang, M. Y., & Cao, Y. 2019. "A Deep-Learning-Based Approach for Fast and Robust Steel Surface Defects Classification". Optics and Lasers in Engineering, Vol.121: 397-405.
- [7] Chen, W., Gao, Y., Gao, L., and Li, X. 2018. "A New Ensemble Approach Based on Deep Convolutional Neural Networks for

- Steel Surface Defect Classification.” In Proceeding of The 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems, Vol.72: 1069 – 1072.
- [8] He, D., Xu, K., and Zhou, P. 2019. “Defect Detection of Hot Rolled Steels with a New Object Detection Framework Called Classification Priority Network.” Computers and Industrial Engineering, Vol.128: 290 – 297.
- [9] He, D., Xu, K., and Wang, D. 2019. “Design of Multi-Scale Receptive Field Convolutional Neural Network for Surface Inspection of Hot Rolled Steels.” Image and Vision Computing, Vol.89: 12 – 20.
- [10] Di, H., Ke, X., Peng, Z., and Dongdong, Z. 2019. “Surface Defect Classification of Steels with a New Semi-Supervised Learning Method.” Optics and Lasers in Engineering, Vol. 117: 40 – 48.
- [11] พุทธิตา ตระกูลมีนั๊ก และนัฏฐวิภา จันทร์ศรี. 2564. “การจำแนกข้อบกพร่องของอะลูมิเนียมแผ่นรีดด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทแบบคอนโวลูชัน”. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2564. 5 – 7 พฤษภาคม 2564, สงขลา, ประเทศไทย.

การจำลองสถานการณ์เพื่อลดเวลารอคอยของผู้ป่วย: กรณีศึกษาโรงพยาบาลแหลมฉบัง

Using Simulations to Reduce Patient Waiting Time: A Case Study of Laem Chabang Hospital

ธนพันธ์ คงทอง^{1,2*} อภินัฐ คำปาน² อัศววิษณุ ชีวะธรรมนนท์²

¹หน่วยวิจัย Applied Optimization คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษรศาสตร์

E-mail: thanapan@eng.src.ku.ac.th*

Thanapan Kongtong^{1,2*}, Apinut Kumparn², Akarawit Cheewatummanon²

¹Applied Optimization Research Unit, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

E-mail: thanapan@eng.src.ku.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาลดเวลารอคอยของผู้เข้ารับบริการในโรงพยาบาลแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี ที่แผนกตรวจโรคทั่วไปโดยใช้การจำลองสถานการณ์ ที่มีเป้าหมายคือการลดเวลารอคอยของผู้เข้ารับบริการ แล้วทำการปรับปรุงโดยการปรับปรุงทั้งหมด 11 แนวทาง โดยสามารถลดเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้เข้ารับบริการบัตรคิวสีฟ้าจาก 127.94±0.91 นาที ลดลงเหลือ 11.89±0.59 นาที ลดเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้เข้ารับบริการบัตรคิวสีชมพูจาก 13.41±0.78 นาที ลดลงเหลือ 12.97±0.81 นาที ลดเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้เข้ารับบริการบัตรคิวสีขาวจาก 75.69±2.98 นาที ลดลงเหลือ 70.00±2.14 นาที และลดเวลารอคอยเฉลี่ยของผู้เข้ารับบริการบัตรคิวสีเหลืองจาก 165.16±1.57 นาที ลดลงเหลือ 74.00±0.91 นาที และสามารถลดจำนวนคนรอคอยเฉลี่ยของผู้เข้ารับบริการบัตรคิวสีฟ้าจาก 11.71±0.23 คน ลดลงเหลือ 2.9057±0.06 คน ลดจำนวนคนรอคอยเฉลี่ยของผู้เข้ารับบริการบัตรคิวสีชมพูจาก 0.47±0.03 คน ลดลงเหลือ 0.45±0.02 คน ลดจำนวนคนรอคอยเฉลี่ยของผู้เข้ารับบริการบัตรคิวสีขาวจาก 75.69±2.98 คน ลดลงเหลือ 3.77±0.17 คน และลดจำนวนคนรอคอยเฉลี่ยของผู้เข้ารับบริการบัตรคิวสีเหลืองจาก 18.21±0.42 คน ลดลงเหลือ 9.12±0.17 คน

คำสำคัญ: การจำลองสถานการณ์, ระบบแถวคอย, โรงพยาบาล

Abstract

This article presents a study of the waiting time of patients at Laem Chabang Hospital in Chonburi Province, specifically at the general examination department. The goal of the study was to reduce the waiting time for customers. The researchers used simulation techniques to identify areas for improvement and implemented a total of 11 scenarios. As a result of these improvements, the average waiting time for people receiving the blue queue card service was reduced from 127.94±0.91 minutes to 11.89±0.59 minutes. The average waiting time for those receiving the pink queue card service was reduced from 13.41±0.78 minutes to 12.97±0.81 minutes. The average waiting time for white queue card users was reduced from 75.69±2.98 minutes to 70.00±2.14 minutes, and the average waiting time for yellow queue card users was reduced from 165.16±1.57 minutes to 74.00±0.91 minutes. The researchers were also able to reduce the average number of people waiting for the blue queue card service from 11.71±0.23 persons to 2.91±0.06 persons, the average number of people waiting for the pink queue card service from 0.47±0.03 persons to 0.45±0.02 persons, the average number of people waiting for the white queue card service from 75.69±2.98 persons to 3.77±0.17 persons, and the average number of people waiting for the yellow queue card service from 18.21±0.42 persons to 9.12±0.17 persons.

Keywords: Simulation, Queueing theory, Hospital

ท่าหนั่งในการใช้งานคอมพิวเตอร์เพื่องานออฟฟิศทั่วไป และการเล่นเกม

Sitting Posture during Computer Usage for Office Work and Game Playing

ชยากร สุภสาธิต ธีรภัทร ศักดิ์ชูวงศ์ พีรวิชญ์ วิเศษชาติ ฤทัย โลหะศิริวัฒน์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: haruetai.i@chula.ac.th*

Chayakorn Supasathit, Theerapat Sakchuwong, Peerawich Wisetchart, Haruetai Lohasiriwat

Industrial Engineering Department, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: haruetai.i@chula.ac.th*

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน การแข่งขันด้านอีสปอร์ต หรือกีฬาอิเล็กทรอนิกส์ ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในหมู่นักรุ่นใหม่ การเติบโตอย่างรวดเร็วของกีฬาชนิดนี้ ส่งผลให้เกิดกลุ่มอาชีพอื่นๆ เพิ่มตามมา เช่น การทำสตรีมเมอร์ การเป็นโปรเพลเยอร์ อาชีพใหม่ที่เกิดขึ้นเหล่านี้ นับว่ามีรายได้ที่ดีและกำลังเป็นที่ยอมรับในสังคม แต่ทว่า บุคคลในกลุ่มอาชีพเหล่านี้ กลับมีช่วงอายุการทำงานที่สั้น โดยมักประสบปัญหาสุขภาพ ได้แก่ อาการปวดคอ-บ่า-ไหล่แบบสะสม ซึ่งถึงแม้จะคาดการณ์ได้ว่าเป็นปัญหาจากการใช้งานคอมพิวเตอร์ในท่าหนั่งเป็นเวลานานหลายชั่วโมงต่อวัน แต่หากเปรียบเทียบกับลักษณะงานสำนักงานที่มีการใช้คอมพิวเตอร์หลายชั่วโมงต่อวันเช่นกัน กลับพบว่า ความรุนแรงของอาการในกลุ่มอาชีพใหม่นี้ กลับมีมากกว่า การศึกษาครั้งนี้ จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการเปรียบเทียบปัจจัยเสี่ยงจากลักษณะพฤติกรรมการนั่งขณะทำกิจกรรมต่างๆ ได้แก่ การพิมพ์งาน/ค้นหาข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต การเล่นเกม และการเล่นเกมพร้อมทำสตรีมเมอร์ โดยอาศัยวิธีการตรวจจับท่าทางการเคลื่อนไหวของข้อต่อผ่านระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (Motion Capture System) ของอาสาสมัคร 16 คน ซึ่งถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มคนทั่วไป และกลุ่มนักกีฬาหรือนักสตรีมเมอร์ จากผลการศึกษา สรุปได้ว่า ปัจจัยเสี่ยงหลักของการเล่นเกมและการสตรีม คือ การนั่งในท่าทางสถิต และมีมุมคอที่แตกต่างกับการพิมพ์งานทั่วไป ร่วมกับการนั่งพิงพนักมากกว่าบุคคลทั่วไปอย่างมีนัยสำคัญ โดยท่าทางการนั่งยังอยู่ในช่วงความเสี่ยงของท่าทางผิดปกติระดับต่ำ ตามเกณฑ์การประเมิน LUBA

คำสำคัญ: ท่าหนั่ง สตรีมเมอร์ เกม งานสถิต ออฟฟิศซินโดรม

Abstract

Nowadays, e-sports or electronic sports has gained a lot of popularity among the new generation. The rapid growth of this sport resulting in new professional groups, such as streamers and pro players These trendy jobs are not only high earnings but also highly accepted. However, people in these professional groups usually have a short working lifespan. They often face health problems, including accumulated neck and shoulder pain. This problem is expected to be the result of using computer in one sitting position for many hours continually on daily basis. Nonetheless, if compared to the normal office work with similar extensive use of computer, it was found that the symptoms severity in this new occupation group was still higher. The purpose of this study was hence aimed to compare the risk factors from the behavioral characteristics of sitting posture while doing various activities with desktop computer, such as typing, internet searching, game playing, and game playing while also doing streamer task. The motion capture system is used in the study to evaluate posture of sixteen volunteers categorized in two groups; the general group and the game player/streamer group. Based on the results of the study, it was concluded that the main risk factor for gaming and streaming is sitting in a more static position incorporate with a different neck angle as compared to the general computer users. Players/streamers also found to lay on the backrest significantly more than the general group. Nonetheless, all sitting postures were still in the low-risk range of abnormal posture according to the LUBA evaluation criteria.

Keywords: Sitting posture, Streamer, Game, Static work, Office syndrome

1. บทนำ

การเล่นเกมออนไลน์และมีการถ่ายทอดสด (live streaming) แบบเรียลไทม์ (real-time) กำลังเป็นที่นิยมอย่างต่อเนื่อง โดยแพลตฟอร์มสตรีมเกมยอดนิยมมากที่สุดในปัจจุบันคือ Twitch ซึ่งในขณะที่นักสตรีมเมอร์ทำการเล่นเกมออนไลน์และถ่ายทอดสดไปด้วยนั้น ก็จะพูดคุยเรื่องราวต่าง ๆ ที่อาจจะเกี่ยวข้องหรือไม่เกี่ยวกับเกมที่กำลังเล่นอยู่ก็ได้ เพื่อให้ผู้รับชมติดตามเกิดความสนุกสนาน ผ่อนคลาย เห็นความบันเทิงโดยมาก เนื้อหาที่น่าเสนอมักจะเป็นรูปแบบของการสอนวิธีการเล่นเกม เทคนิคการเล่น เกมเคล็ดลับการเล่นให้ชนะ เป็นต้น ในประเทศไทยอุตสาหกรรมสตรีมมิ่งโดยเฉพาะเกม มีการเติบโตอย่างมาก โดยพบว่าในช่วงการแพร่ระบาดของโควิด-19 กลับมีอัตราการเติบโตสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดความต้องการบุคลากรด้านนี้มากขึ้น ซึ่งหากนักสตรีมเมอร์ที่มีผู้รับชมได้ถึง 1,000 คนพร้อมกันใน 1 ชั่วโมง จะสามารถสร้างรายได้ได้ประมาณ 30,000-50,000 บาท/ชั่วโมง นับเป็นรายได้ที่สูงมาก [1] รวมถึงมีการคาดการณ์ว่า ประชากรไทยมีจำนวนผู้เล่นเกมสูงถึง 27,800,000 คน คิดเป็น 41% ของประชากรทั้งหมด (ฐานเศรษฐกิจ, 2563 อ้างถึงใน [2]) อีกทั้งตลาดเกมยังมีปัจจัยบวกจากภาครัฐ เช่น การจัดตั้งสมาคมกีฬาอีสปอร์ตแห่งประเทศไทย การประกาศให้อีสปอร์ตเป็นกีฬาอาชีพ จึงทำให้การเติบโตของอาชีพนี้อยู่ในความสนใจของคนยุคใหม่ อย่างไรก็ตาม นักกีฬาอีสปอร์ตและนักสตรีมเมอร์หลายคนกลับพบกับอาการบาดเจ็บ เมื่อยล้า บริเวณคอ บ่า ไหล่ ทั้งที่ยังมีอายุไม่มากนัก ซึ่งอาจนำไปสู่การยุติอาชีพในที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ออฟฟิศซินโดรม

ออฟฟิศซินโดรมเป็นอาการปวดเมื่อยจากการทำงานนั่งโต๊ะหรือหนึ่งทำงานที่ต้องใช้คอมพิวเตอร์ต่อเนื่องเป็นเวลานาน โดยร่างกายท่อนบนจะมีอาการปวดตึงบริเวณกล้ามเนื้อบ่า หากท่อนหนึ่งทำงานต่อโดยไม่เปลี่ยนอิริยาบถ จะส่งผลต่อไปยังท้ายทอย ไปจนถึงปวดขมับและศีรษะตาพร่า และอาจเกิดอาการชาบริเวณแขน/มือได้ หากมีการกดทับเส้นประสาทส่วนปลายบริเวณแขนอย่างต่อเนื่อง ส่วนการปวดร่างกายท่อนล่างนั้นเกิดจากการที่น้ำหนักกดลงในท่อนั้น โดยเริ่มปวดที่กล้ามเนื้อแก้มก้น ลามไปถึงต้นขา และอาจส่งผลต่อระบบประสาทอัตโนมัติ ซึ่งจะทำให้ท้องอืดและข้อเข่าเสื่อมได้

2.2 กีฬาอีสปอร์ต

ประเทศไทยได้บรรจุ กีฬาอีสปอร์ต หรือ กีฬาอีสปอร์ตเป็นกีฬาอาชีพชนิดหนึ่ง ตามประกาศในราชกิจจานุเบกษา พ.ศ.2561 [3] โดยกีฬาชนิดนี้จะได้รับการสนับสนุนอย่างชัดเจนจากการกีฬาแห่งประเทศไทย หรือ กกท. จะมีการตั้งกฎ กติกาเป็นแบบสากล ผู้เข้าแข่งขันจึงต้องปฏิบัติตามกฎกติกาเหมือนกับกีฬาอื่น ๆ ทั่วไป มีการจัดการแข่งขันทั้งในรูปแบบประเภทบุคคล และประเภททีม และมักแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ ระดับมือสมัครเล่น ระดับกึ่งอาชีพ และระดับมืออาชีพ

การเล่นกีฬาชนิดนี้ ถือว่าเป็นกิจกรรมที่ต้องใช้ทั้งการวางแผน การวางกลยุทธ์ และอาศัยการทำงานเป็นทีม (สำหรับประเภททีม) แต่หากเปรียบเทียบกับกีฬาอื่น ๆ แล้ว จะเห็นได้ว่า กีฬาอีสปอร์ตมีความจำกัดในเรื่องของ อายุ และเพศ น้อยกว่ากีฬาส่วนใหญ่ เพราะไม่ได้เน้นการใช้สมรรถภาพทางร่างกาย ด้วยลักษณะของกิจกรรมชนิดนี้ที่ต้องอาศัยการฝึกฝนผ่านการเล่นเกมบนคอมพิวเตอร์เป็นเวลานาน ส่งผลให้อาจเกิดปัญหาสุขภาพเสื่อมโทรมจากการนั่งเป็นเวลานาน และการขยับอิริยาบถน้อย รวมถึงเสียสายตา ทำให้ถือเป็นข้อจำกัดด้านสุขภาพสำหรับอาชีพนี้เป็นอย่างมาก

ด้วยความนิยมของกีฬาอีสปอร์ตและโอกาสในการประกอบอาชีพที่เพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีการเปิดหลักสูตรการเรียนการสอนในระดับมหาวิทยาลัยหลายแห่งในประเทศไทยและต่างประเทศ ซึ่งผู้เรียนสามารถจบการศึกษาและทำงานในสายอาชีพนี้ได้จริง ดังนั้น การตระหนักรู้ถึงความเสี่ยงต่อการเกิดปัญหาสุขภาพจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ที่ต้องการจะประกอบอาชีพนี้ต่อไปในอนาคต

2.3 การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์

อาการบาดเจ็บทางระบบกล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal injury) จากการทำงานนั้น มีปัจจัยเสี่ยงหลักที่พบบ่อย 4 ประการ ได้แก่ การออกแรงแบบซ้ำ (Repetitive Motion) ออกแรงที่มากเกินไป (Forceful Exertion) การทำงานในท่าทางผิดปกติ (Awkward Posture) และการทำงานในท่าทางสถิต (Static Posture) โดยปัญหาสุขภาพที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันไปตามแต่ละระบบร่างกาย หรือส่วนของอวัยวะที่มีการใช้งานอย่างผิดปกติ ทั้งนี้ อาการบาดเจ็บมักจะเกิดเมื่อมีการปฏิบัติงานภายใต้ความเสี่ยงเป็นระยะเวลานาน และต่อเนื่องสะสม ซึ่งเมื่อเกิดอาการบาดเจ็บที่เพิ่มมากขึ้นจะยิ่งส่งผลให้การรักษาแก้ไขเป็นไปได้ยากมากขึ้น ดังนั้น การประเมินลักษณะกิจกรรมการทำงานเพื่อป้องกันภาวะความเสี่ยงต่อปัญหาด้านการยศาสตร์ควรกระทำให้เร็วที่สุด เพื่อประโยชน์ในการวางแผนปรับปรุงสภาพการทำงานให้เหมาะสม และได้ประสิทธิภาพอย่างแท้จริง ในทางปฏิบัติ มีแนวทางการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ แบ่งได้เป็น 3 วิธี คือ

2.3.1 การใช้แบบสอบถาม

เป็นการประเมินในเบื้องต้นโดยใช้แบบสอบถามเกี่ยวกับลักษณะงาน สภาพแวดล้อมในการทำงาน และความชุกในการเกิดอาการผิดปกติต่อแต่ละส่วนของร่างกายประกอบการสัมภาษณ์สอบถามกับผู้ปฏิบัติงาน และ/หรือหัวหน้างานโดยตรง เป้าหมายในการใช้การประเมินด้วยแบบสอบถามนั้น ไม่ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้วินิจฉัยอาการบาดเจ็บ แต่เพื่อใช้ในการระบุสิ่งที่การพิจารณาปัจจัยเสี่ยงในเชิงลึกต้องคำนึงถึง เช่น Standardized Nordic questionnaires [4] ซึ่งประกอบไปด้วยคำถามมีการแบ่งกลุ่มออกเป็น การสอบถามอาการเจ็บปวดใน 9 ส่วนของร่างกาย ตามระยะเวลาที่เกิดอาการ คือ (1) ระยะสั้น หรือเพิ่งเกิดอาการไม่นาน (ภายในช่วงเวลา 7 วัน ก่อนการสัมภาษณ์) และ (2) ระยะยาว หรือเกิดอาการภายใน 12 เดือนที่ผ่านมา สำหรับการศึกษา

ครั้งนี้ได้ใช้รูปแบบของแบบสอบถามดังกล่าวนี้ในการสำรวจเบื้องต้น และมีการเพิ่มแบบสอบถามที่เกี่ยวกับลักษณะทั่วไปในการทำงานเป็นการเพิ่มเติม ได้แก่ ระยะเวลาที่ทำงาน จำนวนวันที่ทำงานต่อสัปดาห์

2.3.2 การวัดโดยตรง

วิธีนี้เป็นการเก็บข้อมูลโดยอาศัยเครื่องมือวัดผลตอบสนองจากร่างกายโดยตรง ข้อดีของการประเมินรูปแบบนี้ คือ จะทำให้ได้รับข้อมูลจากการวัดอย่างชัดเจน มีความคลาดเคลื่อนต่ำ ความแม่นยำสูง แต่มีข้อจำกัด คือ จำเป็นต้องอาศัยผู้มีความรู้ความเข้าใจในวิธีการจัดเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล ตัวอย่างการวัดภาระงานโดยตรง ได้แก่ การตรวจวัดอัตราการเต้นหัวใจ อัตราการบริโภคออกซิเจน การวัดมุมของข้อต่อขณะทำงาน การประเมินท่าทางการเคลื่อนไหว ฯลฯ ซึ่งสำหรับการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ได้ใช้ระบบวิเคราะห์การเคลื่อนไหว (motion analysis system) ยี่ห้อ Optitrack Flex 3 และโปรแกรม Motive (version 2.2) ในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลท่าทางขณะนั่งทำงานของอาสาสมัคร

สำหรับท่าหนึ่งงาน จะทำการติดบอลลวแสงเพื่อระบุตำแหน่งข้อต่อไว้ 5 จุด ได้แก่ กลางศีรษะ 1 จุด ตามแนวเดียวกับกระดูกสันหลัง ปลายสุดของกระดูกไหปลาร้าฝั่งซ้ายและขวาข้างละ 1 จุด วัดโดยให้ผู้ทดลองกางแขนเป็นสองข้างออก (ทำรูปตัว T) จากนั้นจับจุดกระดูกที่โหนกอกมาเด่นชัดบริเวณหัวไหล่ และกระดูกต้นขาด้านนอกฝั่งซ้ายและขวาข้างละ 1 จุด วัดโดยการจับจุดต่ำสุดของสะโพกเพื่อหาข้อต่อที่เมื่อยยับต้นขาแล้วจุดนั้นจะยังอยู่ที่เดิม ตำแหน่งบอลลวแสงทั้ง 5 นี้สามารถใช้พิจารณามุมข้อต่อที่สำคัญ 2 ตำแหน่งสำหรับท่าหนึ่ง ได้แก่ มุมคอ และ มุมหลังส่วนล่าง

2.3.3 การสังเกตการทำงาน

เป็นวิธีการที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ได้โดยสะดวก ไม่ต้องการอุปกรณ์เครื่องมือเฉพาะทาง ผู้ประเมินไม่จำเป็นต้องมีความรู้ซับซ้อนเพื่อการประเมิน เนื่องจาก ใช้การสังเกตท่าทางการทำงาน (observation method) ร่วมกับเกณฑ์การพิจารณาคะแนนรูปแบบ Checklist หรือแบบฟอร์มประเมินท่าทาง ซึ่งหากพบปัญหาในท่าทางส่วนใดของร่างกาย ก็สามารถนำไปใช้ปรับแก้ไขท่าทาง ออกแบบสถานีงาน หรือปรับปรุงสภาพแวดล้อมให้ท่าทางการทำงานอยู่ในช่วงที่ถูกต้องเหมาะสมมากขึ้น แบบประเมินในกลุ่มนี้ เช่น Loading on the Upper Body Assessment (LUBA) [5]

ตารางที่ 1 ระดับความไม่สบายของท่าทางการก้มและเงยคอ [5]

ท่าทาง	องศา	ระดับความไม่สบาย
Neck flexion	0 – 20°	1 – ต่ำ
	20 – 45°	3 – กลาง
	>45°	5 – มาก
Neck extension	0 – 30°	1 – ต่ำ
	30 – 60°	6 – กลาง
	>60°	12 – มาก

ตารางที่ 2 ระดับความไม่สบายของท่าทางการก้มหลัง [5]

ท่าทาง	องศา	ระดับความไม่สบาย
Back flexion	0 – 20°	1 – ต่ำ
	20 – 60°	3 – กลาง
	>60°	10 – มาก

จากเกณฑ์ของ LUBA กำหนดให้ระดับความไม่สบายของท่าทางมุมคอบนระนาบซ้ายขวา (sagittal plane) มี 6 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 และมุมหลัง มี 3 ระดับ ดังตารางที่ 2

3. การดำเนินงาน

3.1 อาสาสมัคร

อาสาสมัคร 16 คน เป็นชาย 11 คน และหญิง 5 คน แบ่งเป็น กลุ่มบุคคลทั่วไปที่มีการใช้งานคอมพิวเตอร์เป็นประจำ 11 คน และกลุ่มคนที่ทำอาชีพหลักหรืออาชีพเสริมกลุ่มอีสปอร์ตหรือการทำสตรีมเมอร์จำนวน 5 คน อายุของอาสาสมัครมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 22.1 ± 1.1 ปี ส่วนสูง 169.7 ± 8.1 ซม น้ำหนัก 65.1 ± 12.9 กก และ ค่าดัชนีมวลกาย 22.5 ± 3.4 กก/ม² ทุกคนมีสุขภาพร่างกายแข็งแรงดี ไม่มีประวัติการบาดเจ็บจนต้องได้รับการรักษาที่บริเวณหลังหรือคอมาก่อน

3.2 การออกแบบการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ ออกแบบเพื่อทดสอบสมมติฐานหลัก คือ ประเภทกิจกรรมการใช้คอมพิวเตอร์ส่งผลต่อความเสี่ยงต่อสุขภาพจากท่าหนึ่งทำงาน และ ประเภทอาสาสมัคร (บุคคลทั่วไปหรือนักกีฬาอีสปอร์ต/นักสตรีมเมอร์) มีพฤติกรรมท่าหนึ่งทำงานคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกัน

เพื่อทดสอบกิจกรรมที่แตกต่างกัน การศึกษาค้นคว้านี้ได้กำหนดให้อาสาสมัครแต่ละคนปฏิบัติกิจกรรม 3 งานเหมือนกัน (within subject design) โดยปฏิบัติแต่ละงานเป็นระยะเวลา 30 นาที ได้แก่

1. งานพิมพ์เอกสารและค้นคว้าข้อมูล เป็นกิจกรรมหนึ่งค้นหาคำตอบจากอินเทอร์เน็ตเพื่อนำมาตอบคำถามตามชุดคำถามความรู้รอบตัวที่ได้จัดเตรียมไว้ให้ทั้งหมด 38 ข้อ
2. งานเล่นเกม เป็นกิจกรรมที่จะให้ผู้ทดสอบนั่งเล่นเกมที่เน้นการใช้เมาส์ โดยให้เล่นในแบบออฟไลน์ที่มีระดับความยากไล่ตั้งแต่ง่ายไปถึงยากอย่างอัตโนมัติตามทักษะของผู้เล่น
3. งานเล่นเกมพร้อมทั้งทำการสตรีมผ่านกล้อง เป็นกิจกรรมที่เป็นลักษณะเดียวกันกับกิจกรรมที่ 2 แต่เพิ่มการเปิดกล้อง และให้ผู้เข้าร่วมการทดสอบได้พูดคุยบรรยายสิ่งที่กำลังคิด กำลังทำ หรือพูดคุยโต้ตอบกับผู้ทำการทดลอง เพื่อเป็นการจำลองการพูดคุยกับคนดูเสมือนการสตรีมในสภาพความเป็นจริง

สำหรับเกมที่ใช้ในการทดลองในกิจกรรมแบบที่ 2 และ 3 คือ Getting Over It with Bennett Foddy เกมนี้เพิ่มความยากในการปีนเขาด้วยการไม่มีจุด Checkpoint ดังนั้น ผู้เล่นมีความเสี่ยงที่จะตกกลับ

ลงไปสู่จุดก่อนหน้าได้ตลอดเวลา จึงจำเป็นต้องคงสมาธิ และควบคุม การเคลื่อนที่ของตัวละครในเกมอย่างต่อเนื่อง เกมจะจบลงเมื่อผู้เล่น สามารถพาตัวละครขึ้นระดับสูงไปได้ถึงอวกาศ ซึ่งเป็นจุดสูงสุดของเกม

สถานีงานสำหรับการทดลองประกอบไปด้วย โต๊ะและเก้าอี้แบบ ปรับระดับได้ โดยเริ่มให้ผู้ทดลองนั่งและปรับระดับความสูงให้อยู่ในท่า นิ่งที่ถูกต้อง คือ เท้าวางราบได้บนพื้น สามารถนั่งเข้าใกล้ขอบโต๊ะได้ แขนท่อนบนทั้งข้าง แขนท่อนล่างขนานไปกับที่พักแขนและโต๊ะ พื้นที่ ว่างระหว่างได้ข้อพับเข่ากับขอบเก้าอี้ต้องมีความกว้างพอที่จะสามารถ นำกำปั้นสอดเข้าไปได้ ขอบบนของจอแสดงภาพอยู่ในระดับสายตา ระยะห่างจอแสดงภาพถึงตำแหน่งตาของผู้เข้าร่วมการทดลองอยู่ที่ ประมาณ 45-80 เซนติเมตร ขึ้นกับความต้องการของผู้ทดลอง ระดับ ความสูงโต๊ะมีความเหมาะสม โดยผู้ทดลองต้องสามารถจับเมาส์และ คีย์บอร์ดที่วางอยู่บนโต๊ะด้วยความผ่อนคลายไม่ตึงไหล่และหลัง ไม่มี การยกไหล่ขณะทำงาน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 ผู้ทดสอบขณะเข้าร่วมการทดลองและมีการตรวจจับการ เคลื่อนไหวด้วยการติดบอลวางแสงตามข้อต่อหลัก

การวิเคราะห์พฤติกรรมทำนั่งเพื่อระบุความเสี่ยง อาศัยการ ตรวจจับด้วยระบบ motion capture ที่ความเร็วการตรวจจับ (sampling rate) 30 Hz [6] ตลอดระยะเวลาที่ทำการทดสอบ นำข้อมูลที่ได้มาแปลง ผลเป็นตัวแปรตามของการทดลอง ได้แก่ มุมข้อต่อคอและหลัง และ ความเร็วการเคลื่อนที่ของข้อต่อคอและหลัง

4. ผลการศึกษา

4.1 แบบสอบถามความรู้สึกไม่สบายตัว

จากการสอบถามอาสาสมัครเกี่ยวกับประวัติการเกิดความรู้สึกไม่ สบายตัวในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายก่อนวันเข้าร่วมการทดสอบ เพื่อ สืบรวจอาการเมื่อยล้าจากชีวิตประจำวันตามปกติของอาสาสมัคร มี ผลสรุปดังตารางที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่า กลุ่มสตรีมีครรภ์จะมีปัญหาจาก อาการปวดเมื่อยในบริเวณ คอ และไหล่ ตามด้วย หลัง และข้อมือ/มือ ที่ เด่นชัดกว่าส่วนอื่นของร่างกาย ใกล้เคียงกับที่มีการวิจัยไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งพบบริเวณที่มีอาการเมื่อยล้ามากที่สุด คือ ตา คอและหลัง ตามลำดับ [7] และอาการปวดเมื่อยน่าจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นประจำมากกว่า กลุ่มบุคคลทั่วไป โดยถึงแม้กลุ่มบุคคลทั่วไปจะมีร้อยละของความไม่

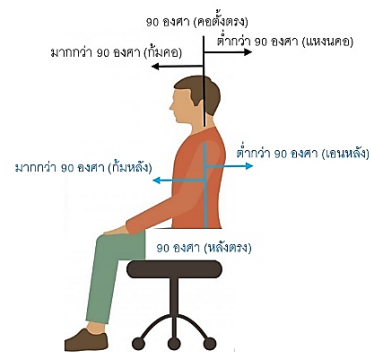
สบายตัวในส่วนของคอและไหล่สูงกว่ากลุ่มสตรีมีครรภ์ แต่เป็นอาการที่ ไม่ได้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเห็นได้จากการลดลงเมื่อสอบถามถึง ระยะภายใน 7 วันที่ผ่านมา

ตารางที่ 3 ร้อยละของกลุ่มบุคคลทั่วไปและนักสตรีมีครรภ์ที่มีอาการไม่ สบายตัวหรือเมื่อยล้าที่ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

ส่วนของร่างกาย	บุคคลทั่วไป		นักสตรีมีครรภ์	
	7 วัน	12 เดือน	7 วัน	12 เดือน
คอ	18%	72%	60%	60%
ไหล่	18%	72%	60%	60%
ข้อศอก	0%	0%	0%	0%
ข้อมือ/มือ	9%	45%	40%	40%
หลังบน	27%	54%	40%	40%
หลังล่าง	9%	45%	40%	40%
ขาท่อนบน	9%	18%	0%	0%
เข่า	18%	18%	0%	0%
เท้า/ข้อเท้า	9%	18%	0%	0%

4.2 ท่าทางการนั่งทำงาน

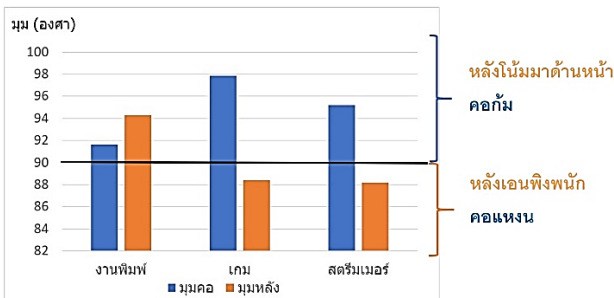
ระบบการวัดมุมในการศึกษานี้กำหนดให้การทำมุมตรงใน แนวตั้งของคอและหลังมีค่าเป็น 90 องศา และหากมีการเอนไปทางด้าน หลัง (extension) เช่น มีการพิงพนักเก้าอี้ จะมีค่ามุมหลังที่วัดได้น้อย กว่า 90 องศา ในทางตรงกันข้ามหากมีการเอนหรือโน้มตัวมาทาง ด้านหน้า (flexion) เช่น การโน้มตัวเข้าหาจอแสดงภาพมากขึ้น จะมีค่า มุมหลังมากกว่า 90 องศา ระบบการวัดมุมของการศึกษานี้ เป็นไป ดังแสดงในรูปที่ 2



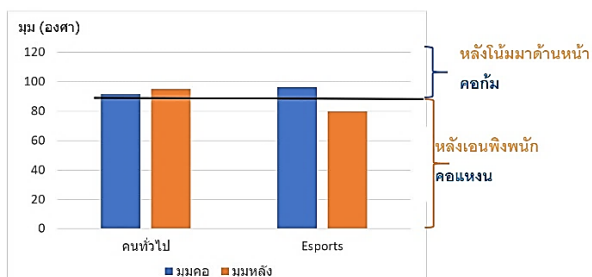
รูปที่ 2 การกำหนดระบบการวัดค่ามุมคอและหลัง

ค่าเฉลี่ยของมุมคอและหลังในการปฏิบัติงานกิจกรรมต่าง ๆ เป็นดัง แสดงในรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า งานพิมพ์หรืองานใช้คอมพิวเตอร์แบบ สำนักร่างทั่วไป ผู้ทดสอบจะนั่งอยู่ในแนวหลังและคอค่อนข้างตรง ตามปกติ (มุมหลังเฉลี่ยที่ 94.29 ± 8.14 องศา และมุมคอเฉลี่ยที่ 91.62 ± 9.13 องศา) ในขณะที่ การเล่นเกมและการทำสตรีมีครรภ์ ผู้ทดสอบจะ นั่งพิงพนักมากขึ้น (มุมหลังเฉลี่ยที่ 88.42 ± 5.71 องศา และ $88.22 \pm$

5.27 ตามลำดับ) ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุให้เกิดการก้มคอตามมา (มุมคอเฉลี่ยที่ 97.86 ± 6.00 องศา และ 95.23 ± 5.90 ตามลำดับ)



รูปที่ 3 ค่าเฉลี่ยมุมคอและหลังในแต่ละกิจกรรม



รูปที่ 4 ค่าเฉลี่ยมุมคอและหลังของ บุคคลทั่วไปและนักสตรีมเมอร์

หากพิจารณาท่าทางการนั่งระหว่างบุคคลทั่วไปกับนักสตรีมเมอร์ตามรูปที่ 4 จะเห็นได้ว่า นักสตรีมเมอร์มีแนวโน้มจะนั่งแบบเอนหลังพิงพนัก (79.60 ± 28.62 องศา) มากกว่าบุคคลทั่วไป (95.27 ± 12.27 องศา) ซึ่งน่าจะเป็นสาเหตุให้นักสตรีมเมอร์ต้องมีการก้มคอ (96.13 ± 18.12 องศา) มากกว่าบุคคลทั่วไป (91.36 ± 15.71 องศา) ทั้งนี้ หากวิเคราะห์สถิติด้วยวิธี 2-way ANOVA จะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4 กล่าวคือ พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเกิดขึ้นจากตัวแปรด้านกลุ่มอาสาสมัคร (บุคคลทั่วไป หรือนักสตรีมเมอร์) และเฉพาะความแตกต่างที่มุมหลังเท่านั้น ($p\text{-value} = 0.046$) ดังนั้น ความมีเคยชินในการนั่งพิงพนักของนักสตรีมเมอร์น่าจะเป็นสาเหตุหลักของผลการศึกษานี้

ตารางที่ 4 การทดสอบ 2-way ANOVA กับมุมคอและมุมหลัง

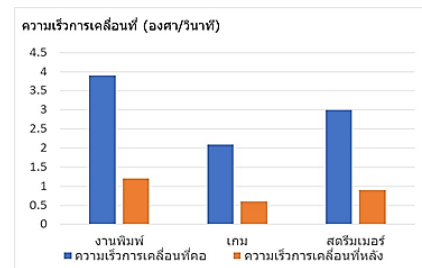
ปัจจัย	p-value from ANOVA test	
	มุมคอ	มุมหลัง
กิจกรรม (A)	0.597	0.530
กลุ่มอาสาสมัคร (B)	0.536	0.046**
A x B	0.748	0.929

4.3 การงานสถิต

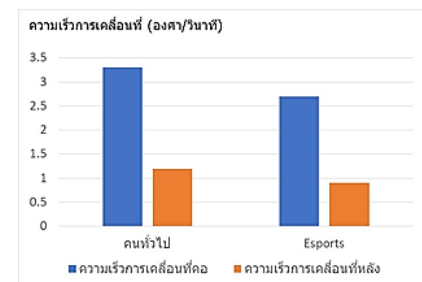
เมื่อนำค่ามุมที่วัดได้มาคำนวณอัตราการเปลี่ยนค่ามุมมองคอหลังและคอต่อหน่วยเวลา จะพบว่า ผู้ทดสอบมีการเคลื่อนไหวของคอมากกว่าหลังอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 5 โดยพบว่า การเล่นเกมมีการเคลื่อนไหวน้อยที่สุด (คอเฉลี่ยที่ 2.1 ± 3.3 องศา/วินาที และหลังเฉลี่ย

ที่ 0.6 ± 1.8) ตามมาด้วยการทำสตรีมเมอร์ (คอเฉลี่ยที่ 3 ± 4.5 และหลังเฉลี่ยที่ 0.9 ± 2.4 องศา/วินาที) และการพิมพ์งานทั่วไปมีการเคลื่อนไหวมากที่สุด (คอเฉลี่ยที่ 3.9 ± 7.2 และหลังเฉลี่ยที่ 1.2 ± 2.7 องศา/วินาที)

หากพิจารณาการเคลื่อนไหวระหว่างบุคคลทั่วไปกับนักสตรีมเมอร์ตามรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่า นักสตรีมเมอร์มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนไหวน้อยกว่าทั้งในส่วนของหลัง (คนทั่วไป 1.2 ± 0.6 และนักสตรีมเมอร์ 0.9 ± 0.3 องศา/วินาที) และคอ (คนทั่วไป 3.3 ± 1.2 และนักสตรีมเมอร์ 2.7 ± 1.2 องศา/วินาที)



รูปที่ 5 ความเร็วเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของคอและหลังในแต่ละกิจกรรม

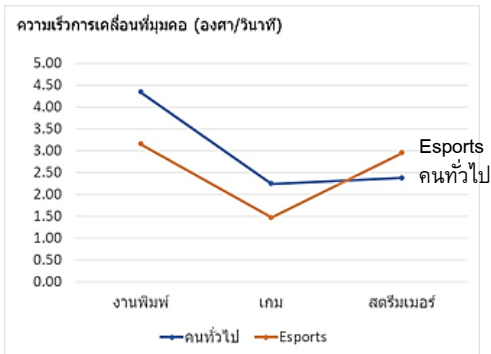


รูปที่ 6 ความเร็วเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของคอและหลังใน บุคคลทั่วไปและนักสตรีมเมอร์

ผลการวิเคราะห์สถิติด้วยวิธี 2-way ANOVA กับตัวแปรความเร็วการเคลื่อนที่เป็นดังแสดงในตารางที่ 5 กล่าวคือ กิจกรรมที่ใช้ในการทดสอบเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของทั้งมุมคอ ($p\text{-value} < 0.005$) และมุมหลัง ($p\text{-value} = 0.054$) ในขณะที่ปัจจัยร่วมระหว่างกลุ่มอาสาสมัครกับกิจกรรมที่ทดสอบ มีนัยสำคัญต่อการเคลื่อนที่ของคอ ที่ระดับ $p\text{-value} = 0.098$ และมีผลดังรูปที่ 7

ตารางที่ 5 การทดสอบ 2-way ANOVA กับความเร็วการเคลื่อนที่ของมุมคอและมุมหลัง

ปัจจัย	p-value from ANOVA test	
	ความเร็วมุมคอ	ความเร็วมุมหลัง
กิจกรรม (A)	0.000**	0.054*
กลุ่มอาสาสมัคร (B)	0.179	0.105
A x B	0.098*	0.156



รูปที่ 7 บัญชีร่วมระหว่างกลุ่มอาสาสมัครกับกิจกรรมที่ทดสอบต่อความเร็วการเคลื่อนที่ของมุมคอ

จากรูป จะเห็นได้ว่า นักสตรีมเมอร์มักจะทำงานในภาวะสถิติมากกว่าคนทั่วไปยกเว้นกรณีทำกิจกรรมสตรีมมิ่ง

4.4 ทำทางการทำงานผิดปกติ

เมื่อนำค่ามุมคอและหลังที่ตรวจวัดได้มาพิจารณาตามเกณฑ์ประเมินความผิดปกติของท่าทางด้วยเทคนิค LUBA โดยพิจารณาเป็นร้อยละของเวลาที่มีท่าทางอยู่ในเกณฑ์คะแนนระดับต่าง ๆ ที่ได้กล่าวถึงในตารางที่ 1 – 2 ก่อนหน้านี้ จะได้ผลดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ร้อยละของท่าทางในช่วงความไม่สบายระดับต่าง ๆ ตามเกณฑ์ประเมิน LUBA สำหรับแต่ละกิจกรรม

	ความไม่สบาย	งานพิมพ์	เล่นเกม	สตรีมมิ่ง
มุมคอ	ต่ำ	80.8%	70.2%	79.0%
	กลาง	18.7%	28.1%	21.0%
	มาก	0.5%	1.7%	0%
มุมหลัง*	ความไม่สบาย	งานพิมพ์	เล่นเกม	สตรีมมิ่ง
	ต่ำ	85.9%	93.1%	98.7%
	กลาง	14.1%	6.9%	1.3%
มาก	0%	0%	0%	

* เนื่องจากเกณฑ์ LUBA ไม่มีกำหนดไว้สำหรับการเอนหลัง จึงนำทำนั้งแบบเอนหลังเพียงพนักออกจากเกณฑ์ประเมิน

จะเห็นได้ว่า ในภาพรวม การก้มหรือเงยคอและหลังที่เกิดขึ้นในทุกกิจกรรมที่ทดสอบเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น กล่าวคือ เวลาเกือบทั้งหมดอยู่ในท่าทางที่มีความไม่สบายตัวต่ำ หรือไม่มีความผิดปกติของท่าทางการนั่งอย่างชัดเจน

5. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาครั้งนี้ สรุปได้ว่า ปัจจัยเสี่ยงหลักของการใช้งานคอมพิวเตอร์ คือ ภาระงานสถิติที่เกิดขึ้นกับทั้งบริเวณคอและหลัง โดยการเล่นเกมที่ต้องการจดจ่ออย่างต่อเนื่องมีแนวโน้มจะทำให้ความเสี่ยงนี้เกิดขึ้นได้มากที่สุด และมากกว่าการทำงานทั่วไปกับ

คอมพิวเตอร์ เช่น งานพิมพ์หรืองานค้นคว้าข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต ในขณะที่การเล่นเกมและสตรีมมิ่งไปพร้อมกันนั้น จะมีการเคลื่อนไหวมากขึ้น (ความเสี่ยงลดลง) โดยเฉพาะในกลุ่มนักสตรีมเมอร์อาชีพซึ่งคาดว่าเกิดจากการหันเข้ามามองกล้องวิดีโอโดยอัตโนมัติของอาสาสมัครกลุ่มนี้ระหว่างการอธิบายประกอบการเล่นเกม ซึ่งบุคคลทั่วไปจะไม่แสดงการเคลื่อนไหวในลักษณะดังกล่าว ในขณะที่ปัจจัยเสี่ยงจากท่าทางที่ผิดปกติของคอและหลังอยู่ในระดับต่ำ เนื่องจาก ท่าทางการทำงานยังอยู่ในช่วงปกติตามเกณฑ์ประเมินของ LUBA อย่างไรก็ตาม สำหรับนักสตรีมเมอร์ สิ่งที่ยังระวังคือ แนวนอนที่จะเคยชินกับการนั่งพิงพนักเป็นส่วนมาก ซึ่งอาจส่งผลต่อมุมคอที่จะก้มมากขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรุงเทพมหานคร, “สตรีมเมอร์” อาชีพคนรุ่นใหม่รายได้ดีหลักแสน 2546. ข้อมูลจาก <https://www.bangkokbiznews.com/social/886031> (วันที่สืบค้นข้อมูล 1 มีนาคม 2566)
- [2] รัตนพร พักเล็ก และ สราวุธ อนันตชาติ, “อิทธิพลของคุณลักษณะของแหล่งสาร แรงจูงใจในการรับชม ปฏิสัมพันธ์ทางสังคมกับความจริงกับสตรีมเมอร์ ต่อพฤติกรรมกรรมการบริโภคของผู้ชมไลฟ์สตรีมมิ่งเกม”, วารสารการประชาสัมพันธ์และการโฆษณา, ปีที่ 15 ฉบับที่ 2, 2561.
- [3] “ส่องภาพรวมอีสปอร์ตไทย หลังถูกเพิ่มให้เป็นกีฬาอาชีพตามกฎหมาย”, ข้อมูลจาก <https://brandinside.asia/esports-pro-sport/> (วันที่สืบค้น 10 มีนาคม 2566)
- [4] I., Kuorinka, B., Jonsson, A., Kilbom, H., Vinterberg, F., Biering-Sørensen, G., Andersson, and K., Jørgensen. 1987. “Standardised Nordic questionnaires for the analysis of musculoskeletal symptoms”. Applied Ergonomics, 18(3), 233-237. doi:10.1016/0003-6870(87)90010-X
- [5] D., Kee and W., Karwowski. 2001. “LUBA: an Assessment Technique for Postural Loading on the Upper Body Based on Joint Motion Discomfort and Maximum Holding Time”. Applied Ergonomics, 32(4), 357-366. doi:10.1016/S0003-6870(01)00006-0
- [6] Wang, H., Weiss, K. J., Haggerty, M. C., & Heath, J. E. 2014. “The Effect of Active Sitting on Trunk Motion”. Journal of Sport and Health Science, 3(4), 333-337. doi:10.1016/j.jshs.2013.09.006
- [7] J. DiFrancisco-Donoghue, J. Balentine, G. Schmidt, and H. Zwibel. 2019. “Managing the Health of the ESport Athlete: an Integrated Health Management Model,” BMJ Open Sport & Exercise Medicine. Doi: 10.1136/bmjsem-2018-000467.

โครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล เมื่อผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น

Microstructure and Mechanical Properties of Al-Ni Alloys by Cold Rolling

ขวัญกมล ปิยะนิจดำรงค์ ณิชูชนน สำเร็จกิจ วติน เลิศถาวรกิจ ชีวพร สุขผล พร้อมพงษ์ ปานดี*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: phromphong.pan@kmutt.ac.th*

Khwankamol Piyanijdamrong, Natchanon Samretkit, Vasin Lertthawonkit, Cheewaporn Sukphol, Phromphong Pandee*
Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mail: phromphong.pan@mail.kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

อะลูมิเนียมที่มีนิกเกิลเป็นธาตุผสมหลัก ประกอบด้วยโครงสร้างนิกเกิลอะลูมิเนียมไนต์ (Al_3Ni) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยขนาดเล็กที่สามารถคงสภาพทางเคมีและทนต่อความร้อน ในการใช้งานตั้งแต่อุณหภูมิห้องจนถึง 400 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการหล่อที่ดี แต่อย่างไรก็ตามการผลิตด้วยกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น ถือเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ได้จากกระบวนการหล่อ ซึ่งสามารถเพิ่มสมบัติทางกลของโลหะได้อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษารูปร่างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลที่ส่วนผสมไฮโปยูเทคติก เมื่อผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น โดยวิธีการดำเนินงานเริ่มต้นจากการหล่อชิ้นงานอะลูมิเนียมที่มีนิกเกิลผสมอยู่ร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก (Al-4Ni alloy) จากนั้นนำชิ้นงานไปผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นที่อุณหภูมิห้อง โดยทำการรีดขึ้นรูปลดความหนาจาก 10 มิลลิเมตร เป็น 1.5 มิลลิเมตร ตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ทำการทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ ความแข็ง และความต้านทานแรงดึง จากผลการทดลองพบว่าโลหะไฮโปยูเทคติกอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล มีโครงสร้างทางจุลภาคประกอบไปด้วย อัลฟาอะลูมิเนียมเดนไดรต์ และโครงสร้างยูเทคติกของอะลูมิเนียมและนิกเกิลอะลูมิเนียมไนต์ ที่มีลักษณะเป็นเส้นใยระดับนาโนยึดเกาะแน่นกับเมทริกซ์ จากการศึกษาพบว่ากระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลทำให้โครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยอะลูมิเนียมเมทริกซ์และเฟสยูเทคติกเกิดเป็นเกรนยาวตามทิศทางการรีดขึ้นรูป ซึ่งทำให้สมบัติทางกลทั้งด้านความแข็ง และความต้านทานแรงดึงในอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลสูงขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวในอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลลดลงตามความสัมพันธ์

คำสำคัญ: กระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น การทดสอบแรงดึง โครงสร้างทางจุลภาค สมบัติทางกล โลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล

Abstract

Al-Ni alloy has a very fine rod-like Al_3Ni eutectic structure that is chemically stable and has good thermal properties up to 400 °C. Moreover, this alloy has good castability. However, the cold rolling process is another method next to the casting process that can also increase the mechanical properties of the alloy. Therefore, this research studies the microstructure and mechanical properties of hypoeutectic aluminum-nickel alloys (Al-4Ni alloy) produced by the cold rolling process. The experiment starts with the casting of aluminum containing 4% nickel, which is then cold rolled to reduce the thickness from 10 mm to 1.5 mm at room temperature. The optical microscope was used to analyze the microstructure of the alloy. Subsequently, the mechanical properties, i.e., hardness and tensile strength, were tested. From the as-cast microstructure, hypoeutectic Al-4Ni alloys have a microstructure consisting of primary aluminum dendrite structure (α -Al) and the Al- Al_3Ni eutectic structure. The results revealed that after the cold rolling process, both the primary α -Al and eutectic colony elongated in the rolling direction. The mechanical properties in terms of hardness and tensile strength of the Al-4Ni alloy were increased, while the elongation of the Al-4Ni alloy decreased accordingly.

Keywords: Aluminum-nickel alloys, Cold rolling process, Mechanical properties, Microstructure, Tensile test

1. บทนำ

อะลูมิเนียมจัดเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็กซึ่งมีน้ำหนักเบา ทั้งนี้ อะลูมิเนียมถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายในงานด้านวิศวกรรม อุตสาหกรรมไปจนถึงของใช้ทั่วไปในครัวเรือน เช่น ฟอยล์บรรจุอาหาร อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อน อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือแม้กระทั่งชิ้นส่วน ยานยนต์ ยานพาหนะต่าง ๆ เป็นต้น เนื่องด้วยน้ำหนักที่เบาแต่ยังคง ความแข็งแรง และสมบัติด้านการนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี ส่งผลให้ ปริมาณความต้องการใช้งานของอะลูมิเนียมทั้งชนิดรีดและหล่อเพิ่มสูง อย่างต่อเนื่อง อาทิในอุตสาหกรรมยานยนต์ บางชิ้นส่วนถูกแทนที่ด้วย อะลูมิเนียมเพื่อลดน้ำหนัก และการใช้พลังงานลง ดังนั้น ณ ปัจจุบัน จึง กล่าวได้ว่าอะลูมิเนียมเป็นหนึ่งในวัสดุวิศวกรรมที่มีความสำคัญในงาน ภาควิศวกรรม

ในปัจจุบันอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน (Al-Si alloy) เป็นอะลูมิเนียม ผสมที่นิยมนำมาใช้มากที่สุดในงานหล่อ แต่อย่างไรก็ตาม การนำเอา อะลูมิเนียมผสมซิลิคอนไปใช้งานที่อุณหภูมิสูง จะทำให้อะลูมิเนียมผสม ซิลิคอนสูญเสียความแข็งแรงไปอย่างมาก โดยอะลูมิเนียมผสมซิลิคอน จะสามารถใช้งานที่อุณหภูมิไม่เกิน 150 องศาเซลเซียส ค่าความ แข็งแรงของอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว เมื่อ อุณหภูมิการใช้งานสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อจำกัดในการใช้งาน อะลูมิเนียมผสมซิลิคอน [1]

การปรับปรุงสมบัติของอะลูมิเนียมผสมให้สามารถใช้งานได้ดีที่ อุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นเป็นสิ่งจำเป็น และเป็นประโยชน์ต่ออุตสาหกรรม เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรม อากาศยานที่ต้องใช้งานวัสดุในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง โดยปัจจุบันการ ศึกษาวิจัยพบว่า อะลูมิเนียมที่มีนิกเกิลเป็นธาตุผสมหลัก (Al-Ni alloy) พบว่าเกิดโครงสร้างนิกเกิลอะลูมิเนียม (Al₃Ni) [2-3] ซึ่งมีลักษณะเป็น เส้นใยขนาดเล็กโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100 นาโนเมตร ซึ่ง ขนาดของเส้นใยก็จะขึ้นกับอัตราการเย็นตัวของโลหะ โดยเส้นใย ดังกล่าวมีความเหนียวและยึดติดกับเมทริกซ์อะลูมิเนียม ซึ่งนิกเกิล อะลูมิเนียมที่อยู่เขตตึกนี้ช่วยป้องกันการเติบโตของเกรนที่อุณหภูมิสูง สามารถคงสภาพหรือมีความแข็งแรงที่เสถียร ในการใช้งานตั้งแต่ อุณหภูมิห้องจนถึง 400 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังมีความสามารถ ในการหล่อ (Castability) ที่ดี [4] แต่อย่างไรก็ตามอะลูมิเนียมผสม นิกเกิลยังมีความแข็งแรงหลังการหล่อที่ต่ำ จึงมีความจำเป็นต้อง ปรับปรุงให้มีความแข็งแรงที่สูงขึ้น [2-5]

ทั้งนี้ในขั้นตอนถัดไปจากกระบวนการหล่อแล้ว ยังสามารถเพิ่ม สมบัติทางกลให้กับวัสดุได้จากกระบวนการขึ้นรูปต่าง ๆ เช่น การอัดรีด ขึ้นรูป (Extrusion) การทุบขึ้นรูป (Forging) รวมไปถึงการรีดขึ้นรูป (Rolling) ซึ่งจากการศึกษาทางวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการนำเอา อะลูมิเนียมผสมซีเรียมไปรีดขึ้นรูป [6] สามารถทำให้สมบัติทางกลของ โลหะเพิ่มขึ้น โดยโครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานรีดขึ้นรูป จะ ประกอบด้วยสองเฟส หรือเรียกว่า ไบโมเดล (Bimodal) คือ เอลฟา อะลูมิเนียมเฟส และยูเทคติกเฟส โดยการรีดขึ้นรูปนี้เป็นกรเพิ่ม ความแข็งแรงให้กับอะลูมิเนียมผสม เมื่อเทียบกับชิ้นงานที่หล่อขึ้นรูป

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาค และสมบัติทางกล ของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลที่ผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเป็น โดยทำการ เปรียบเทียบกับโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของอะลูมิเนียม ผสมนิกเกิลหลังการหล่อ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาอะลูมิเนียม ผสมให้มีสมบัติทางกลที่ดีขึ้น สามารถใช้งานได้ดีที่อุณหภูมิที่สูงขึ้น

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ใช้วัสดุหลักในการทำทดลองดังนี้ โลหะอะลูมิเนียม บริสุทธิ์ร้อยละ 99.7 โดยน้ำหนัก โลหะแม่อะลูมิเนียมผสมนิกเกิล โดยมี นิกเกิลผสมอยู่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก หลังจากทำการหล่อโลหะ อะลูมิเนียมผสมนิกเกิลให้มีส่วนผสมไฮโปยูเทคติก (4 wt.%: Hypoeutectic) ทำการหลอมอะลูมิเนียมผสมที่อุณหภูมิ 780 องศา เซลเซียส ในเบ้าหลอมชนิดซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) โดยใช้เตาหล่อโลหะ แบบเหนี่ยวนำไฟฟ้า (Induction furnace) ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spark optical emission spectroscopy) ได้ส่วนผสมทางเคมีค่าดังตารางที่ 1

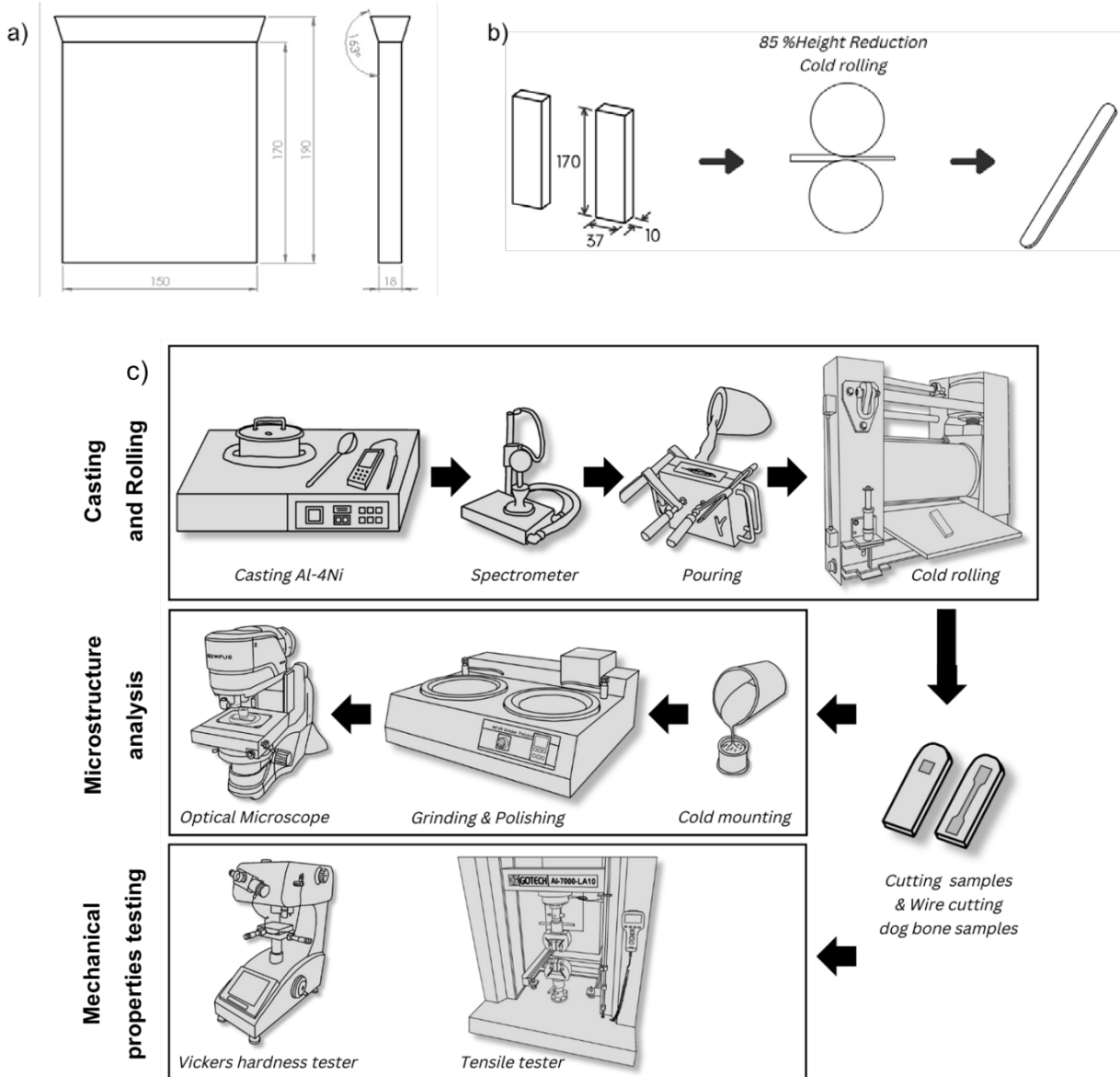
ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลที่ใช้ในการ ทดลอง (ร้อยละโดยน้ำหนัก)

Ni	Cu	Si	Fe	Cr	Al
3.95	0.04	0.11	0.14	0.02	Bal.

เทโลหะหลอมเหลวที่อุณหภูมิ 780 องศาเซลเซียส ลงในแบบหล่อที่ทำ จากเหล็ก เพื่อเตรียมชิ้นงานหล่อ ดังรูปที่ 1a ทั้งไว้ให้เย็นตัวในสภาวะ ปกติ จากนั้นตัดส่วนบนของชิ้นงานหล่อออกให้เหลือชิ้นงานขนาด 150 x 170 x 18 มิลลิเมตร หลังจากนั้นเตรียมชิ้นงานก่อนนำไปเข้าสู่ กระบวนการรีดขึ้นรูปเป็น (ณ อุณหภูมิห้อง) โดยตัดให้ได้ขนาด 37 x 170 x 10 มิลลิเมตร เพื่อนำเข้าสู่กระบวนการรีดขึ้นรูปเป็น โดยจะทำการรีดลดความหนาของร้อยละ 85 เหลือความหนา 1.5 มิลลิเมตร ด้วย ลูกกลิ้ง 2 ลูก (Two-high mills) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 435 มิลลิเมตร ความเร็ว 342 มิลลิเมตรต่อวินาที และไม่ใช้สารหล่อลื่น ด้วยความเร็ว รอบ 15 รอบต่อนาที และใช้มอเตอร์ที่มีขนาด 75 แรงม้า ซึ่งจะได้ ชิ้นงาน ดังรูปที่ 1b จากนั้นนำชิ้นงานไปตัดให้มีขนาด 10 x 10 x 1.5 มิลลิเมตร และทำการขึ้นเรือนแบบเย็น (Cold mounting) ทั้งชิ้นงานที่ ผ่านกระบวนการหล่อและชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเป็น โดย เตรียมผิวชิ้นงานด้วยการขัดกระดาษทราย (Grinding) และขัดเงา (Polishing) จากนั้นกัดผิวด้วยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (0.5% HF) เป็นเวลา 5 วินาที ตรวจสอบภาพโครงสร้างทางโลหะวิทยาด้วย กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope) เพื่อนำไปศึกษา โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง โดยจะ ทำการศึกษาทั้งภาพที่มีกำลังขยายต่ำและกำลังขยายสูง เมื่อได้ภาพ โครงสร้างทางจุลภาคแล้วจึงคำนวณหาปริมาณร้อยละของโครงสร้าง ยูเทคติกผ่านโปรแกรม ImageJ และวัดค่าความแข็งแรงแบบวิกเกอร์ ด้วย เครื่องทดสอบความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์ ใช้การกระกรรมในการกดที่ 1

กิโลกรัม ด้วยเวลาในการกด 5 วินาที โดยจะทำการทดสอบซ้ำจำนวน 10 ครั้งในแต่ละชิ้นงาน เตรียมชิ้นงานสำหรับทดสอบความแข็งแรงทางแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8 ซึ่งทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ด้วย

อัตราความเครียด $5 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ และทำการบันทึกผลความแข็งแรงทางแรงดึงสูงสุด ความแข็งแรง ณ แรงดึงที่จุดครากและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว โดยกระบวนการวิจัยทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 1c

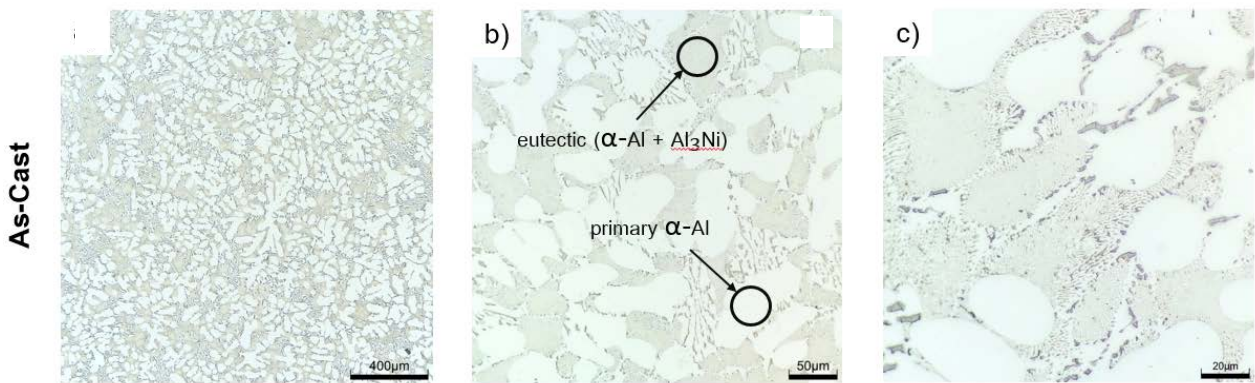


รูปที่ 1 a) ชิ้นงานหล่อโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล (มิลลิเมตร) b) ลักษณะชิ้นงานกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น (มิลลิเมตร) และ c) กระบวนการดำเนินงานวิจัย

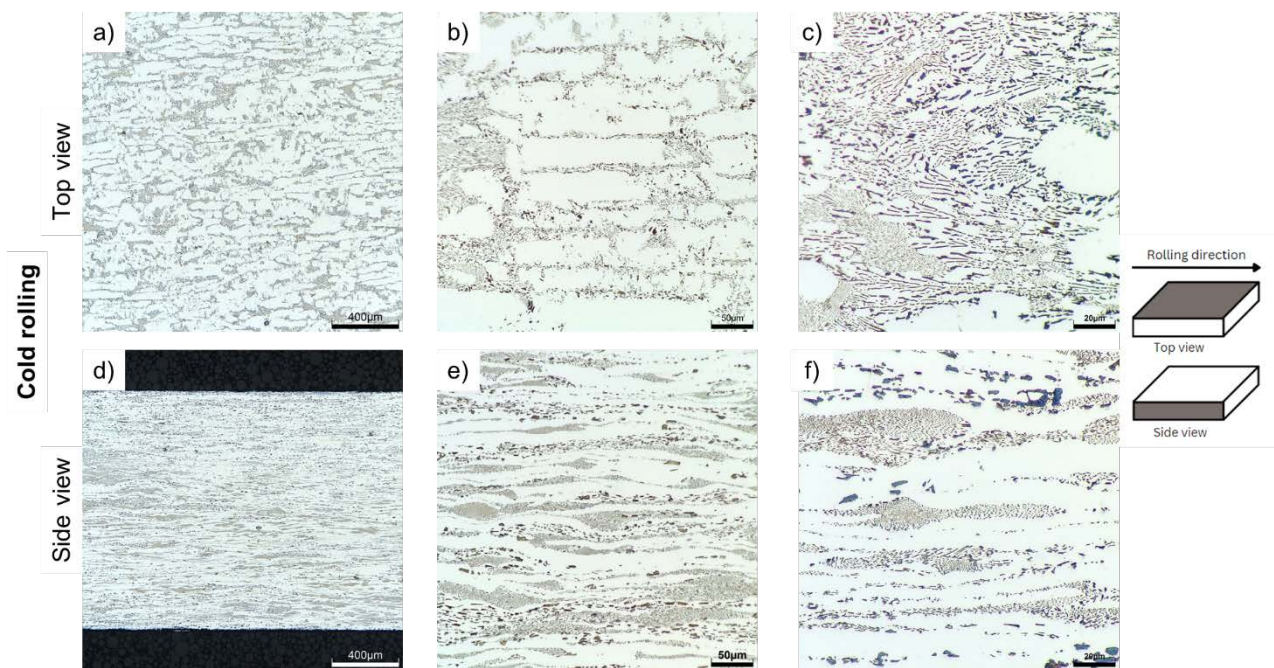
3. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

โครงสร้างพื้นฐานของโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลหล่อที่ส่วนผสมไฮโปยูเทคติกเมื่อผ่านกระบวนการหล่อ ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ อะลูมิเนียมปฐมภูมิ (Primary α -Al) และโครงสร้างยูเทคติก (Eutectic Al-Al₃Ni) เป็นส่วนผสมระหว่างโครงสร้างของอัลฟาอะลูมิเนียมยูเทคติกและนิกเกิลอะลูมิเนียมไนด์ยูเทคติก [7] ภาพโครงสร้างทางจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง แสดงโครงสร้างของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลเมื่อผ่านกระบวนการหล่อดังรูปที่ 2 และ

โครงสร้างของอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลเมื่อผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น แสดงดังรูปที่ 3 พบว่าโครงสร้างเกิดการเปลี่ยนแปลงจากเกรนแบบอิกวิแอกซ์สม่าเสมอ (Equiaxed grain) เป็นเกรนที่ยาวขึ้น (Elongated grain) รวมถึงภาพด้านข้างของโครงสร้างดังรูปที่ 3d, 3e และ 3f ที่กำลังขยายสูงขึ้นพบว่าโครงสร้างเมทริกซ์และยูเทคติกที่มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนเรียงกันเป็นชั้น อันเป็นผลมาจากแรงกดทับของลูกรีดและการรีดขึ้นรูปเย็นที่ลดความหนาสูงถึง 85 เปอร์เซ็นต์หรือจากความหนาเดิมที่ 10 มิลลิเมตร ลดลงเหลือ 1.5 มิลลิเมตร



รูปที่ 2 โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานหล่อโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล a) ภาพกำลังขยาย 140 เท่า b) 700 เท่า และ c) 1750 เท่า



รูปที่ 3 โครงสร้างทางจุลภาคของชิ้นงานรีดขึ้นรูปเย็นโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล (a-c) ภาพด้านบน และ (d-f) ภาพด้านข้างที่กำลังขยาย 140 เท่า, 700 เท่า และ 1750 เท่า ตามลำดับ

และเมื่อทำการถ่ายภาพที่กำลังขยายสูงขึ้นของพื้นผิวด้านบน ดังรูปที่ 3c พบว่าโครงสร้างของยูเทคติกเกิดการบิดเบี้ยวและแตกเป็นส่วน ๆ ตามทิศทางการรีด ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นของโลหะอะลูมิเนียมผสมซีเรียม (Al-9Ce alloy) [6] และโลหะอะลูมิเนียมผสมอิตเทรียม (Al-7.5Y alloy) [8]

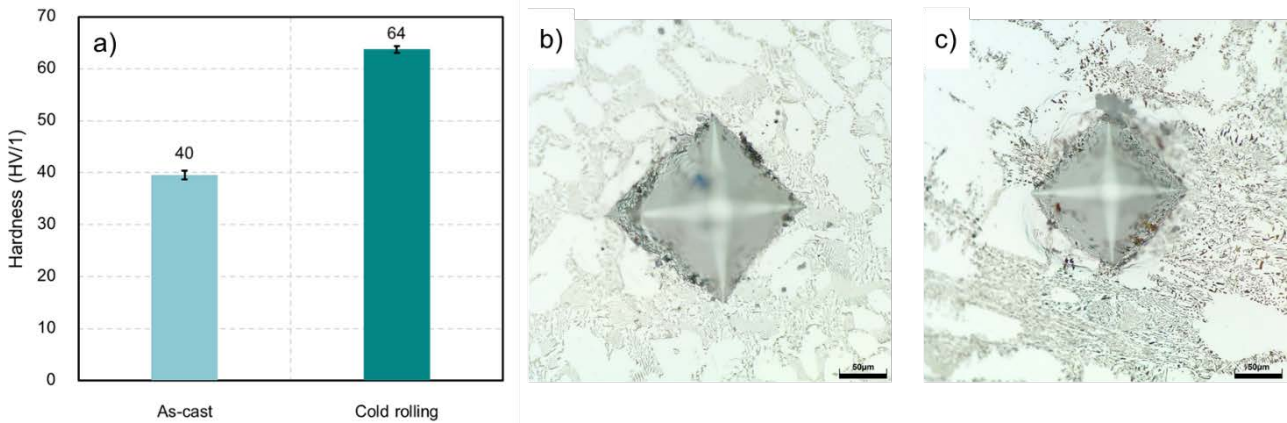
เมื่อนำชิ้นงานโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลที่ผ่านกระบวนการหล่อและกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นไปทดสอบความแข็ง แสดงดังรูปที่ 4a และรอยกดความแข็งของชิ้นงานหลังการหล่อและชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นแสดงดังรูปที่ 4b และ 4c ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าความแข็งของชิ้นงานหลังการรีดขึ้นรูปเย็นสูงขึ้น จากเดิม 39 HV เป็น 63 HV ซึ่งเป็นผลมาจากความเค้นที่เกิดขึ้นในวัสดุในกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร และ

การเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของเกรนจากที่มีลักษณะเป็นอิควิแอกซ์กลายเป็นเกรนที่มีลักษณะยาวตามแนวของการรีด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาค และความเค้นที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น ส่งผลทำให้ค่าความแข็งของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น

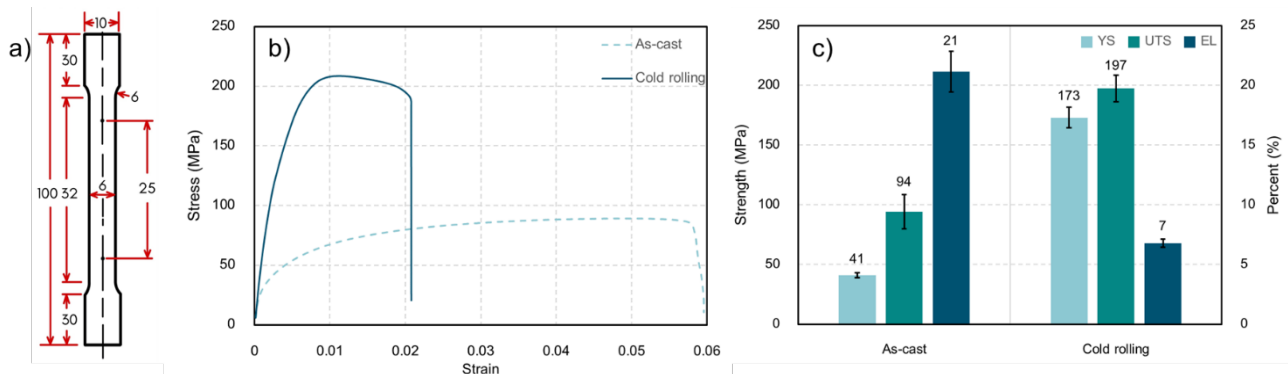
เมื่อนำชิ้นงานโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลหลังการหล่อและที่ผ่านการรีดขึ้นรูปเย็น ดังรูปที่ 5a ไปทดสอบแรงดึง กราฟความเค้นและความเครียด (Stress-strain curve) เปรียบของชิ้นงานหลังการหล่อและชิ้นงานที่ผ่านการรีดขึ้นรูปเย็นพบว่ามีความแตกต่างกันอย่าง โดยค่าความต้านทานแรงดึงที่จุดคราก (Yield strength, YS) ของชิ้นงานหลังการหล่อและชิ้นงานที่ผ่านการรีดขึ้นรูปเย็นเท่ากับ 41 เมกะปาสคาล และ 173 เมกะปาสคาล ตามลำดับ และค่ามีความต้านทานแรงดึงสูงสุด

(Ultimate tensile strength, UTS) ของชิ้นงานหลังการหล่อและชิ้นงานที่ผ่านการรีดขึ้นรูปเย็นเท่ากับ 94 เมกะปาสคาล และ 197 เมกะปาสคาล ตามลำดับ และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงานหลังการหล่อและชิ้นงานที่ผ่านการรีดขึ้นรูปเย็นเท่ากับ 21% และ 6% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5c จากการทดสอบความต้านทานแรงดึงมีผลเป็นไปใน

ทิศทางเดียวกันกับค่าความแข็งของวัสดุ โดยเมื่ออะลูมิเนียมผสมนิกเกิลผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นส่งผลทำให้ค่าความแข็งแรงทางแรงดึงตามแนวการรีดมีค่าสูงขึ้น และมีค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่ลดลงอย่างเด่นชัด ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเกรนและความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานหลังผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น



รูปที่ 4 a) ค่าเฉลี่ยความแข็งของชิ้นงาน b) รอยกดความแข็งของชิ้นงานหลังการหล่อ และ c) รอยกดความแข็งของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น



รูปที่ 5 a) ขนาดชิ้นงานทดสอบความต้านทานแรงดึงตามมาตรฐาน (มิลลิเมตร) b) ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด และ c) ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงดึงที่จุดครากและค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิล

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลเมื่อผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นสามารถสรุปผลได้ดังนี้

- โครงสร้างทางจุลภาคของโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลที่ผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็นประกอบด้วย โครงสร้างอัลฟา อะลูมิเนียม และโครงสร้างยูเทคติก ที่มีลักษณะเป็นเกรนยาวตามทิศทางกรีด เรียงตัวเป็นชั้นสลับกันไป
- การรีดขึ้นรูปเย็นในโลหะอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลสามารถทำให้สมบัติทางกลทั้งด้านความแข็ง และความแข็งแรงทางแรงดึงสูงขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การยืดตัวในวัสดุลดต่ำลง ซึ่ง

เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างทางจุลภาค และความเค้นที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ในอนาคตหากต้องการพัฒนาอะลูมิเนียมผสมนิกเกิลให้ดีขึ้นสามารถเติมธาตุผสมอื่น ๆ ลงไปเพื่อให้มีสมบัติทางกลและสมบัติด้านอื่น ๆ นอกเหนือจากการใช้งานที่อุณหภูมิสูง รวมถึงการปรับปรุงสมบัติด้านการยึดตัวในวัสดุหรือการเพิ่มความเหนียวในวัสดุนั้นยังสามารถทำได้โดยการนำไปอบอ่อนเพื่อคลายความเค้นในวัสดุ ซึ่งในการศึกษาวิจัยในขั้นตอนถัดไปจำเป็นต้องศึกษาอิทธิพลของการเติมธาตุผสมแต่ละชนิด ระยะเวลาและอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การอบอ่อน ซึ่งล้วนส่งผลต่อ

โครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของโลหะอะลูมิเนียมผสม
นิกเกิลทั้งสิ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณงบประมาณสนับสนุนจาก “กองทุน
อาจารย์เชาว์ – อาจารย์เสาวณี เนียมสอน” ประจำปี 2564 และ
ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความสนับสนุนงบประมาณ
เครื่องมือ อุปกรณ์ รวมไปถึงสถานที่ที่ใช้ตลอดการดำเนินงานวิจัยใน
ครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J.E. Gruzleski and B.M. Closset. 1990. “The treatment of liquid aluminum-silicon alloys”. American Foundry Society.
- [2] C. Suwanpreecha, P. Pandee, U. Patakham and C. Limmaneevichitr. 2018. “New generation of eutectic Al-Ni casting alloys for elevated temperature services”. Materials Science and Engineering, Vol. 709: 46-54.
- [3] Y. Fan, K. Huang and M.M. Makhlof. 2015. “Precipitation strengthening in Al-Ni-Mn alloys”. Metallurgical and Materials Transactions, Vol. 46 (12): 5830-5841.
- [4] T. Koutsoukis and M.M. Makhlof. 2016. “Alternatives to the Al-Si eutectic system in aluminum casting alloys”. International Journal of Metalcasting, Vol. 10: 342-347.
- [5] P. Sankanit, V. Uthaisangsuk and P. Pandee. 2022. “Thermal stability of Al-4Ni-1Mn alloy with Sc and Zr addition”. Materials Characterization, Vol. 192, 112227.
- [6] C. Zhang, Y. Wang, H. Lv, H. Gao, J. Wang and B. Sun. 2021. “Enhanced load transfer and ductility in Al-9Ce alloy through heterogeneous lamellar microstructure design by cold rolling and annealing”. Materials Science and Engineering, Vol. 821, 141591.
- [7] P. Sankanit, V. Uthaisangsuk and P. Pandee. 2021. “Tensile properties of hypoeutectic Al-Ni alloys: Experiments and FE simulations”. Journal of Alloys and Compounds, Vol. 889, 161664
- [8] M. Wang, Y. Zhou, H. Lv, M. Li, H. Gao, J. Wang and B. Sun. 2021. “Mechanical properties and electrical conductivity of cold rolled Al-7.5 wt% Y alloy with heterogeneous lamella structure and stacking faults”. Journal of Alloys and Compounds, Vol. 882, 160692.

การพยากรณ์ยอดขายรายเดือนสำหรับผลิตภัณฑ์ความงามในร้านค้าปลีกที่มีการลดราคาเพื่อการ
ส่งเสริมยอดขาย

Monthly Sales Forecasting for Beauty Products Sold in a Retail Offering Price Promotion

Nichakan Phupaichitkun*, Naragain Phumchusri

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: 6470340421@student.chula.ac.th*

Abstract

Sales forecasting plays an important role in retail business execution. An effective model prediction can drive the profitability. Currently, machine learning has been used popularly. However, actual demand is still highly volatile, so it is difficult and challenging to forecast product sales, particularly during the Coronavirus (Covid-19) pandemic and being under the programs of subsidized funds by the government. In this paper, three forecasting methods, i.e., Linear regression, Huber regression and Random Forest regression, are explore to find an appropriate technique for forecasting the unusual markets. The data are provided by a case-study retails chain from July 2020 to December 2022 during the COVID-19 pandemic in Thailand. Root mean square error (RMSE) is used to find appropriate technique for forecasting and the evaluation of the retail sales. The result shows that Random Forest regression outperform others with its minimum RMSE value.

Keywords: Sales forecasting, Regression, Machine learning

1. Introduction

Due to very strong competition in the retail industries, many companies have tried to reduce costs to gain more demand and profits [1]. An accurate sales forecasting model benefits supply chain management, eventually boosting profitability. On the other hand, poor sales forecasting may lead to an understocking or overstocking problem, consumer dissatisfaction, and financial impact. Hence, in order to produce and supply with reliable and accurate forecasting results, it is important to build effective sales forecasting models [2].

From the previous researches, machine learning was the one method widely used in several fields, as well as in retail business [3]. They showed that the machine learning could deal with big and complex datasets and had a big impact on sales forecasting [4]. This work has considered on Linear regression, Huber regression, and Random Forest regression in order to support the machine learning. Linear regression is a simple, easy, and fast-to-fit method that is used to analyze the relationship between variables and the predictions. Commonly, the method is based on a multiple linear regression model, which uses the factors that affect sales as inputs to forecast sales of a product [5]. While Huber regression is one of robust methods used to forecasting in many fields but rarely use in the retail field [6]. It should be more efficient to use on small data with outliers or heavy-tail distribution [7]. This method reduces the effect of outliers by giving them less weight [8]. The other one, Random Forest regression, has been studied for retail forecasting [9]. This method is robust to outliers and has high prediction accuracy. It also does not have an overfitting problem [10].

However, retail product sales have high fluctuation and skewness due to many factors [11]. For example, when there are promotions, like reducing the price, the demand will increase [12,13]. And because of Thai government fund-subsidized or welfare programs and during the COVID-19 pandemic, the retail market is experiencing unusual demands. Therefore, they could be a big challenge to forecast retail demand.

The objective of this work studied three forecasting methods of Linear regression, Huber regression and Random Forest regression and compared those techniques in order to find the proper and effective model for forecasting sales of beauty's products during COVID-19 (30 months) pandemic.

2. Method

Three steps of this study are data collection and preparation, method modeling, and the model evaluation.

2.1 Data collection and preparation

This study used the historical sales data in retail stores from July 2020 to December 2022 (30 months) for the demand forecasting. The data consists of monthly sales of 55 products in the beauty department break down into four categories, there are 5, 4, 23, and 23 products of beauty accessories, body scrubs, hair colors, and sunscreens categories, respectively. The total sample sizes approximately are 1,700 data points of the demands.

As shown in Table 1, the data is demonstrated on those products and found to be the outlier data points which is due to varied price by promotion effects. The interquartile range (IQR) method was used to identify the outliers. Any observations that are more than 1.5 IQR below the first quartile or more than 1.5 IQR above the third quartile are considered outliers. There are potential ways to deal with the outliers, such as removing them from the observation, replacing them with the mean, median, or mode, etc. This study uses robust models to handle outliers without removing the data points.

Table 1 Numbers of outliers calculated each category

Category (Products)	A*	B**	Ratio of A and B
Beauty accessories (5)	5	11	2.2
Body scrubs (4)	3	9	3.0
Hair colors (23)	12	34	2.8
Sunscreens (23)	13	33	2.5

Note: * A: Number of products having outliers

** B: Number of total outliers of products

In this study, the important factors, or independent variables (X), that may affect sales are price and promotion, time period, stores, and influential external factors. The price ratio is calculated by a ratio of the selling price and normal price of each product. It is used to study the effect of the price and promotion. Monthly period and the total number of active stores per month were used as time period, and store factor, respectively. And the external factors considered in the Thailand environment were the Thai government's welfare programs, such as the 50:50 co-payment scheme or the We Win scheme. Moreover, another external factor, the impact of COVID-19, is defined based on the total number of new cases of COVID-19 patients per month. The price ratio, the number of stores, and the COVID-19 cases were scaled by standardization because feature scaling may help the machine learning algorithm work better [14]. The factors of the monthly

period and the programs of subsidized funds provided by the government were converted into binary variables.

For example, as shown promotion effect in Figure 1, every time the unit price was reduced from the regular price due to the promotion, the quantity increased significantly compared to when there was no promotion. So, the price and promotion affect sales.



Figure 1 Trends of unit price and quantity with and without sales promotions

The target variable, or dependent variable (Y), was the number of units sold per month. In addition, data transformation by the natural logarithm of the target variable (Ln(Y)) was also studied.

2.2 Method modeling

To perform the modeling and calculations, the Python environment and Jupyter Notebook were used. The main libraries were Pandas version 1.5.2, Scikit-Learn version 1.2.0, Numpy version 1.21.5, Matplotlib version 3.7.0, and Seaborn version 0.12.2. By importing the libraries and dataset, the actual data of 30 months were divided into two periods, 80% data from July 2020 to June 2022 (24 months) was used to study the models and the rest of sequential data (6 months of July - December 2022) to evaluate the model's performance. Then, three forecasting techniques of Linear regression, Huber regression, and Random Forest regression were performed on those datasets for the sales forecast modeling.

In the first model, Linear regression, the training data was used to fit a straight line, and the coefficients of the model were chosen using the ordinary least squares (OLS) method to minimize the sum of squares of error between the predicted and actual value. Since there are multivariate independent variables, multiple linear regression was used, and the general equation can be expressed in Eq. (1) [15].

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + \varepsilon \quad (1)$$

Where Y is the dependent variable, X's are the independent variables, β 's are the coefficients, ε is the error, and m is the number of independent variables.

This method assumes the relationship between predictors and the target variable to be linear. The predictors are not highly correlated, and the residuals are independent and identically distributed. After fitting the model, the predictions were calculated.

The second model was Huber regression, which is the regression model associated with the Huber loss function as defined in Eq. (2) [16].

$$L_\varepsilon(z) = \begin{cases} z^2 & ; \text{ if } |z| \leq \varepsilon \\ 2\varepsilon|z| - \varepsilon^2 & ; \text{ otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

Where z is residual and ε is a fixed parameter.

As shown in Eq. (2), the least squares loss or the square of error only applies when the absolute value of the residual is less than the parameter ε . Otherwise, the absolute value of the residual and the Huber parameter are used. It means to use squared loss for small errors and absolute loss for large errors. It can help to reduce the impact of outliers and make the model more robust [16]. In this study, the HuberRegressor class in Scikit-Learn package with ε of 1.35 was used to train data because of its robustness while retaining 95% statistical efficiency [17]. Once the model was built, the predictions were computed.

For the last model, Random Forest regression is a supervised learning algorithm and an ensemble learning method based on bagging and a decision tree algorithm to enhance model performance. The algorithm randomly selects data points and features from the training dataset with replacement to create several different training subsets, then each of them is individually used to construct a decision tree and generate the outcome. The average of the multiple decision trees outputs is the final output [3, 18]. In this study, the RandomForestRegressor class in Scikit-Learn package was used to generate the model and then forecast the output value.

2.3 Model evaluation

Regarding to comparisons of the models in training and testing dataset for the prediction could use root mean square error (RMSE) as performance metrics [19]. RMSE is the metric that

explains the average magnitude of the error of model prediction as shown in Eq. (4) [20]. It is commonly used in regression problems and it has the same unit as the dependent variable. The lower RMSE indicates that the prediction value from the model has a smaller difference from the actual value, meaning high accuracy.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (4)$$

In this study, RMSE is used on the training dataset and compared among the three regression models to select the lowest RMSE for sales forecasting model, then sales were forecasted. After that, RMSE is used on the testing dataset and the forecasted sales.

3 Result and Discussion

The results of the average RMSE on the training dataset of 5 products in the beauty accessories category, 4 products in the body scrubs category, 23 products in the hair colors category, and 23 products in the sunscreens category are shown in Tables 2, 3, 4, and 5, respectively. According to the results, the average RMSE of all products in four categories from training the model without data transformation on the dependent variable (sales (Y) data) was less than the average RMSE of the model with data transformation on the dependent variable (sales Ln(Y) data). Therefore, it seems that a model with sales Ln(Y) data might not be appropriate to use for this data due to its greater complexity and lower accuracy prediction.

Table 2 Beauty accessories category result (outlier ratio = 2.2)

Method	RMSE	
	Y	Ln(Y)
Linear regression	248.95	285.34
Huber regression	280.93	264.62
Random Forest regression	172.62	322.08

Table 3 Body scrubs category result (outlier ratio = 3.0)

Method	RMSE	
	Y	Ln(Y)
Linear regression	1,461.22	1,852.59
Huber regression	2,054.49	4,486.12
Random Forest regression	981.36	1,310.20

Table 4 Hair colors category result (outlier ratio = 2.8)

Method	RMSE	
	Y	Ln(Y)
Linear regression	1,968.35	2,695.96
Huber regression	2,758.76	3,336.31
Random Forest regression	1,336.53	1,793.44

Table 5 Sunscreens category result (outlier ratio = 2.5)

Method	RMSE	
	Y	Ln(Y)
Linear regression	474.61	957.68
Huber regression	584.28	871.33
Random Forest regression	341.35	512.00

Based on all 3 models testing, RMSE comparison results with sales (Y) data in Figure 2 showed that the Random Forest regression algorithm outperformed the others due to the lowest RMSE in the range of 2.2 to 3.0 outlier ratio. Therefore, it is the most suitable technique for the sales forecasting. Moreover, observed RMSE of all models was increasing as the outlier ratio increased.

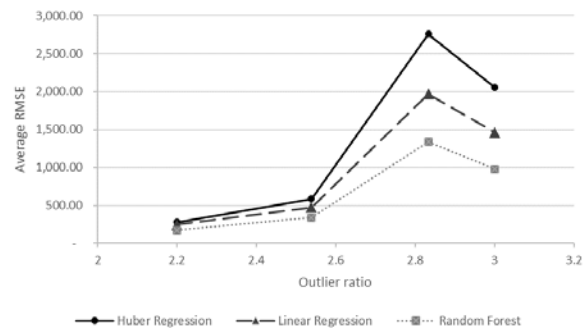
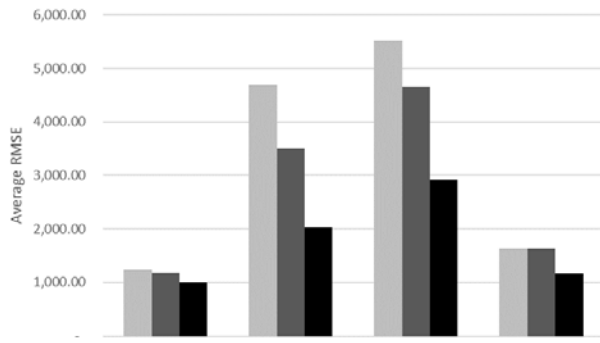


Figure 2 Average RMSE comparison of 3 models on sales (Y) data of 24 months and the outlier ratio

Using the dataset of the sequential 6 months (July-December 2022) which the almost outlier ratio of four categories was a narrow range of 1-1.3 to be good for the comparison of models. The results of average RMSE in Figure 3, the Random Forest regression was still showed the best model.



	Category (Outlier ratio)			
	Beauty accessories (1.0)	Body scrubs (1.0)	Hair colors (1.3)	Sunscreens (1.0)
■ Linear Regression	1,232.49	4,689.79	5,516.53	1,640.46
■ Huber Regression	1,179.47	3,515.88	4,659.41	1,639.46
■ Random Forest	1,002.00	2,030.33	2,920.21	1,166.98

Figure 3 Average RMSE comparison of the sequential 6 months data with a narrow range of 1-1.3 outlier ratio of four categories

4 Conclusion

This research explores performance of three forecasting methods, i.e., Linear regression, Huber regression, and Random Forest regression. Using the testing data of 55 beauty products in four categories from the unusual markets of COVID-19 pandemic (24 months dataset) for training three models and comparison, Random Forest regression was able to provide the lowest RMSE in the range of 2.2-3.0 outlier ratio of four product categories. Also, it was evaluated and confirmed the same result on the sequential dataset of 6 months. Therefore, Random Forest regression is an appropriate technique for retail sales prediction for this case-study company.

Reference

- [1] Fox, E. and R. Sethuraman, Retail Competition. 2006. p. 193-208.
- [2] Nunnari, G. and V. Nunnari. Forecasting Monthly Sales Retail Time Series: A Case Study. in 2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI). 2017.
- [3] Mitra, A., et al., A Comparative Study of Demand Forecasting Models for a Multi-Channel Retail Company: A Novel Hybrid Machine Learning Approach. Operations Research Forum, 2022. 3(4): p. 58.
- [4] Kiran, J.S., et al. Analysis on the Prediction of Sales using Various Machine Learning Testing Algorithms. in 2022 International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI). 2022.
- [5] Fildes, R., S. Ma, and S. Kolassa, Retail forecasting: Research and practice. International Journal of Forecasting, 2022. 38(4): p. 1283-1318.
- [6] Yang, Y., et al., Robustified extreme learning machine regression with applications in outlier-blended wind-speed forecasting. Applied Soft Computing, 2022.
- [7] Sun, Q., W.-X. Zhou, and J. Fan, Adaptive huber regression. Journal of the American Statistical Association, 2020. 115(529): p. 254-265.
- [8] Andersen, R., Modern methods for robust regression. 2008: Sage.
- [9] Priyadarshi, R., et al., Demand forecasting at retail stage for selected vegetables: a performance analysis. Journal of Modelling in Management, 2019. 14: p. 1042-1063.
- [10] Breiman, L., Random Forests. Machine Learning, 2001. 45(1): p. 5-32.
- [11] Ma, S. and R. Fildes, Retail sales forecasting with meta-learning. European Journal of Operational Research, 2021. 288(1): p. 111-128.
- [12] Hewage, H.C., H.N. Perera, and S. De Baets, Forecast adjustments during post-promotional periods. European Journal of Operational Research, 2022. 300(2): p. 461-472.
- [13] Ali, Ö.G., et al., SKU demand forecasting in the presence of promotions. Expert Systems with Applications, 2009. 36(10): p. 12340-12348.
- [14] Wan, X., Influence of feature scaling on convergence of gradient iterative algorithm. Journal of Physics: Conference Series, 2019. 1213: p. 032021.
- [15] Khan, S.M., Forecasting of sales data using support vector regression. 2020.
- [16] Wang, D., D. Hong, and Q. Wu, Prediction of Loan Rate for Mortgage Data: Deep Learning Versus Robust Regression. Computational Economics, 2022: p. 1-14.
- [17] Owen, A., A robust hybrid of lasso and ridge regression. Contemp. Math., 2007. 443.
- [18] Han, S. and H. Kim, Optimal Feature Set Size in Random Forest Regression. Applied Sciences, 2021. 11: p. 3428.
- [19] Prabhakar, V., et al., Demand Forecasting for a large grocery chain in Ecuador. Data. Published, 2018.
- [20] Wang, C.-H. and Y.-W. Gu, Sales Forecasting, Market Analysis, and Performance Assessment for US Retail Firms: A Business Analytics Perspective. Applied Sciences, 2022. 12(17): p. 8480.

Promotion Optimization model for retails' multiple-period planning

Chanikran Thangthong^{*}, Naragain Phumchusri

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: 6470334721@student.chula.ac.th*

Abstract

In the retail business, competition is important for boosting sales. One of the key motivations driving a company is profit. This paper presents a binary programming model for a promotion optimization for multiple-period planning where the objective is to maximize total profit. Demand is estimated using a case-study retail store sales data from year 2020-2022. The log-log demand model is used to estimate monthly demand and classify the price elasticity of different products, together with price, store, and welfare. The output of the Log-Log demand model is then used in a promotion optimization model to maximize profit by scheduling promotions at suitable periods for future multiple-period planning. The results show that the classification of the price elasticity influences the type and depth of the promotion decision. Subgroups of products are also considered to limit the number of promotions to reduce cannibalization effects. From the experiments, the proposed model can increase total profit for the case-study company by 128,166,080 Baht.

Keywords: Promotion optimization, binary integer programming, Retailing, Price promotion

1. Introduction

Given the price promotion, the promotion period, and the fact that there is currently strong competition among retailers for the product being promoted, it is important for retailers to well plan promotions. Retailers use sales promotions for a variety of purposes, including to attract new customers, boost sales and profit, convince current customers to switch brands [1], build customer loyalty, promote new products, competitive relation [2], and attract customers who will also buy regular-priced products [3]. Thus, a retailer's profitability may be significantly impacted by promotions [2]. To maximize profits, the promotion schedule should consider the promotion type, promotion period, and product being promoted in each period and we analyze price elasticity for promotion planning.

For retailers, the strategic planning for promotions is challenging and complex. First, promotion may be profitable for the focused product in the focused period, but a post-promotion dip effect has an impact on demand and can lead to product cannibalization. Second, the frequency of the promotion is also important to the solution because manufacturers frequently provide a variety of short deals on a specific product. Finally, a set of business rules set by the business frequently put limits on promotions [2, 4].

The current method of the case-study company for promotion planning is not yet effective. The planner manually selects products for each promotion type. It takes a long time to plan and can lead to post-promotion dip effects. To reduce decision planning time, this research proposes an binary integer programming to improve promotion decision method for higher profit.

For promotion optimization in multiple-period planning, this research examines the presence of the demand model and business rule constraints. We propose a three-step promotion planning, using the log-log demand model for estimating demand model and classified price elasticity of products, considering the pattern and seasonality of demand. To determine the regression coefficient for the price elasticity, linear regression was used [2,5-6]. The estimated demand model is an input to our promotion optimization for multiple-period planning. Then, we use binary integer programming to solve problem to maximize profit.

Business rule is useful of promotion planning. To help assign each product does not exceed one promotion type in each period, product limitations follow retail specifications, separation period between promotions, the quantity of promoted products does not exceed the limits set by the retailer for each month and each year

[1,2,7-9], and prevents cannibalization in the same subgroup of gross profit.

Several researched have attempted to plan promotions, but this research developed a binary programming model to prevent on cannibalization in the same subcategory and sub gross profit, order the priorities in accordance with the gross profit group, we will conduct a total of three rounds and we analysis price elasticity impact on the selection of promotion depth.

2. Literature review

2.1 Demand model and ordinary least squares regression.

The retailer uses historical performance data from these databases for planning sales during promotional events and to create variable and regression models. Sales are estimated using a dependent variable that has been log-transformed to assist retailers use of their data to increase profit from promotions [10] and using ordinary least squares (OLS) to train the model. OLS is calculated by determining the equation that minimizes the sum of the squared deviations between the expected values and the sample's data points [11].

2.2 Promotion optimization planning

Binary integer programming is usually applied for system analysis and optimization because it is an effective and flexible method for solving complex problems as well as a global optimum with defined solution methods [12].

Selecting retail promotions is a key decision for most retailers during the selling season when they must select price promotions for multiple products [7]. There are many studies that use binary integer programming as an alternative to deciding how to assign prices to products to maximize revenue and/or profit. It will be limited by various business rules of constraints. Most of them have limitations on limit number of promotions, limit number of products, ensure that each product has only one price for each period [2, 7-9] and reduce cannibalization in the group [8].

2.3 Price Elasticity

Price elasticity refers to how responsive a product's purchase volume is to changes in its price. There are different values for each product and set the promotion depth is set under conditions of fluctuating demand [5]. Price elasticity was computed as the log-log demand model by examining the coefficient in front of the log price [5-6]. Promotional depth performs best when price elasticity

is high. More customers will purchase more products because of the price change.

3. Methodology

3.1 Data.

This research uses the case-study retail store sales data from July 2020 –June 2022 to estimate demand and for each product and plan promotions for the lotion for body category, consisting of 9 products with high gross profits, 25 products with medium gross profits, and 2 products with low gross profits. Table 1 classify different subcategory in lotion for body category.

Table1 Number of products in subcategory of lotion for body category

Sub gross Profit	Subcategory	Products
High gross profit (9 products)	Care lotion	3 products
	Sunscreen	2 products
	Whitening	4 products
Medium gross profit (25 products)	Care lotion	5 products
	Sunscreen	6 products
	Whitening	14 products
Low gross profit (2 products)	Care lotion	2 products

3.2 Demand model.

The methodology involves a demand prediction and promotion optimization model because the promotion optimization requires the output of the demand prediction model as an input [9]. The demand prediction model is represented by the log-log demand model presented in Eq. (1). The shows that sales of product i , using promotion j , sold in period t can be estimated by relationships of external factors such as promotion type, number of stores, and welfare period.

$$\ln q_{ijt} = \beta_i^0 - \beta_i^1 \ln p_{ijt} + \beta_i^2 s_t + \beta_i^3 w_t + \beta_i^4 month_t \quad (1)$$

Where:

$\ln q_{ijt}$ is log sales of product i , promotion j , in period t .

$\ln p_{ijt}$ is log price of product i , promotion j , in period t .

s_t is number of stores in period t .

w_t is dummy variable for Welfare in period t . When equal 1, this dummy variable represents the period t has welfare, 50-50 co-payment and scheme/cash handing and equal 0, otherwise.

$month_t$ represents seasonal sales dummy variable for period t .

β_i^0 is the product's intercept, β_i^1 is price elasticity of product i , β_i^2 is a vector of store coefficient, β_i^3 is a vector of welfare coefficient and β_i^4 is a vector of seasonality coefficient for each period of the year. Table 2 defines the meaning of price elasticity coefficient (β_i^2).

Table2 Value of price Elasticity

Price elasticity	value	Definition
High price elasticity	$\beta_i^2 \geq 5$	sales will greatly increase when the price decreases.
Medium price elasticity	$2 \leq \beta_i^2 < 5$	sales will increase when the price decreases.
Low price elasticity	$0 \leq \beta_i^2 < 2$	sales are unaffected when the price decreases.

3.3 Promotion optimization

This research proposes a binary integer programming for promotion optimization to maximize total profit, which is adapted from the research presented by Maxime C. Cohen (2020). The model is run for a total of three rounds to rank the priorities in accordance with the gross profit group, which is comprised of high gross profit, medium gross profit, and low gross profit. We'll analyze the relationship between price elasticity and the way each product decides to selection a promotion optimization plan.

3.3.1 Notations

Indices and sets:

I is set of products $\{1, 2, \dots, i\}$

J is set of promotion type $\{1, 2, \dots, j\}$

T is set of periods $\{1, 2, \dots, t\}$

K is set of subcategories $\{1, 2, \dots, k\}$ in the same subgroup of gross profit

Parameters:

C_{ijt} is cost of products i promotion j in month t .

P_{ijt} is price of products i promotion j in month t .

$D_{ijt}(P_{ijt})$ is demand of products i promotion j in month t , which is the results of using price promotion j for product i in month t .

L_i is limitation of the number of promotions for product i

L is limitation of the total number of promotions.

N_t is limitation of the number of promotions for period t .

S is number of times between in successive promotion type.

B is maximum limitation of products have promotion j of gross profit group and subcategory in category in each period.

Decision Variable:

$$X_{ijt} = \begin{cases} 1, & \text{if product } i \text{ has promotion } j \text{ in month } t \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases}$$

3.3.2 Problem Formulation

$$\text{Max} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T (P_{ijt} - C_{ijt}) D_{ijt} (P_{ijt}) X_{ijt} \quad (2)$$

$$\text{s. t.} \sum_{j=1}^J X_{ijt} \leq 1 \quad \forall i, t \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T X_{ijt} \leq L_i \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{t=t+S}^{t+S} X_{ijt} \leq 1 \quad \forall i, t \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T X_{ijt} \leq L \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ijt} \leq N_t \quad \forall t \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^I X_{ijt} \leq B \quad \forall j, t \quad (8)$$

$$X_{ijt} \in \{0,1\} \quad \forall i, j, t \quad (9)$$

Let X_{ijt} be a binary variable such that $X_{ijt} = 1$ if product i has promotion j in month t , and 0 otherwise.

Equation (3) ensures that the number of promotion for each product does not exceed one promotion for each period.

Equation (4) represents limitation of promotion for each product in one year, which is limited to the number of promotions allowed by the retailer or business requirements. For example, product cannot be promoted more than 5 times [2,7-8] in one year.

Equation (5) represents separation period between promotions. This constraint shows that there should be sufficient separation time between promotion of the same product. For example, the product has successive promotions that are spaced out by a few times of separation periods, denoted by S [2,7-8].

Equation (6) represents limitations of the maximum number of promotions in each product category. For example, the total number of promotions cannot be promoted more than 200 times per year [7-8].

Equation (7) represents limitation of number of promotions for each period. The maximum number of products that can be

promoted at a time is represented by this constraint. For example, the retailer would like to limit the number promotions to at most maximum number or percentage of products [7-8].

Equation (8) represents limitation of number of products that can be promoted in each subcategory and each subgroup for the same promotion. This constraint prevents cannibalization by defining that the number of products in the same subgroup gross profit or subcategory which are promoted at the same time period cannot be more than B .

4. Result

4.1. Estimation and predict demand model.

We estimate demand for the year 2022, we use case-study retail store sales data from July 2020 to June 2022. From the results of the log-log demand model estimation presented in equation (1), price elasticity of products can be found differently according to each product behavior.

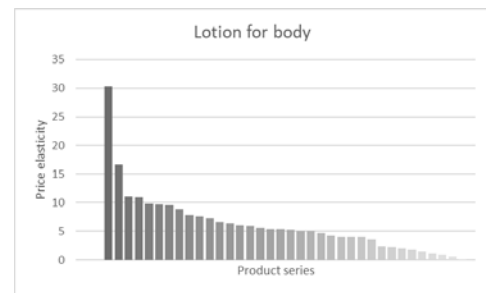


Fig. 1 Result of price elasticity of all products.

After estimating the data for the lotion for body category, consisting of 36 products, into the log-log demand model, it had a high-price elasticity of 56%, a medium-price elasticity of 28%, and a low-price elasticity of 17%, as shown in Fig. 1.

4.2. Promotion optimization

After estimating the demand model for the year 2022, we next apply promotion optimization model presented in the previous section. Different product group has different priorities: high priority for high gross profits, medium priority for medium gross profits, and low priority for low gross profits, respectively. We will conduct three rounds in total. The first round will focus on the products with the high gross profit, which includes 9 products. Following this, we will move on to the second round, where we will evaluate the answers for products with medium gross profit, consisting of 25 products. In the final round, we will use the insights from the previous two

rounds to select 2 products with the low gross profit and run the evaluation process for them.

Product	Sub gross profit	SubCategory	Promotion Type	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	
1	High GP	Care Lotion	Discount 35 %	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
2	High GP	Care Lotion	Discount 45 %	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
3	High GP	Care Lotion	Discount 45 %	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
4	High GP	Sunscreen	Discount 45 %	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
5	High GP	Sunscreen	Discount 5 %	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
6	High GP	Whitening	Discount 45 %	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
7	High GP	Whitening	Discount 25 %	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
10	Medium GP	Care Lotion	Discount 15 %	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
11	Medium GP	Care Lotion	Discount 5 %	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
12	Medium GP	Care Lotion	Discount 45 %	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
13	Medium GP	Care Lotion	Discount 45 %	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
18	Medium GP	Sunscreen	Discount 5 %	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
19	Medium GP	Sunscreen	Discount 45 %	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
20	Medium GP	Sunscreen	Discount 45 %	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
21	Medium GP	Whitening	Discount 25 %	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	Medium GP	Whitening	Discount 35 %	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
22	Medium GP	Whitening	Discount 45 %	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1
23	Medium GP	Whitening	Discount 35 %	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
23	Medium GP	Whitening	Discount 45 %	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
24	Medium GP	Whitening	Discount 5 %	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0
35	Low GP	Care Lotion	Discount 35 %	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
36	Low GP	Care Lotion	Discount 35 %	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
36	Low GP	Care Lotion	Discount 45 %	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Fig. 2 Example of results of product assigned promotion type in each period.

From the promotion optimization, we found that the total profit of lotion for body category is 167,135,371 baht, consisting of a high gross profit of 11,562,116 baht, a medium gross profit of 155,493,974.6 baht, and a low gross profit of 79,280 baht. Fig. 2 shows an example of the results of products assigned promotion types in each month. If the value is equal to 1, then product i has promotion j in month t, and the value is equal to 0 otherwise.

Table 3 presents total profit comparison between the previous case-study company's decision and the profit from the method presented in this research. It can be found that the total profit can be increased by 128,166,080 Baht, as compared to the previous method.

Table3 Comparison of traditional method and proposed method

	Traditional method	Proposed method
Total profit	38,969,291 Baht	167,135,371 Baht

4.3. Price elasticity impacts.

Price elastic has an impact on the selection of promotion depth, according to an analysis of the results of the promotion optimization. From the experiment results, the following points can be observed.

High price elastic products will choose a high depth of promotion type. Most will choose a discount at a depth of 45 % choose a discount of 35% and 25% to be a minority because sales will greatly increase when the price decreases.

Medium price elastic products will choose medium depth of promotion type. Most will choose a discount at a depth of 35 %

choose a discount of 45%, 25%, and 15% to be a minority because sales will increase when the price decreases.

Low price elastic products will choose a low depth of promotion type. It only chooses a discount with a 5% depth. because sales are unaffected when the price decreases.

5. Conclusions

Retailers are in a highly competitive industry that is important to the economy. The current method of the case-study company for promotion planning is not yet effective. The planner manually selects products for each promotion type. It takes a long time to plan and can lead to post-promotion dip effects. Thus, retailers must develop strategies to boost profits and sales.

Price promotions are a key factor driver to boost sales of products and profits. So, this study identified the variables influencing demand, estimated demand using the log-log demand model and used IBM ILOG CPLEX Optimization Studio version 12.10 to solve the proposed a binary integer programming model to maximize profit. The proposed program was able to find solutions in a reasonable time and provide result with higher profit than the previous traditional method of the company.

The proposed method also needed shorter time than the manual method used by the company, reduced the impact of post-promotion dip effect, prevented cannibalization in the same subcategory and sub gross profit. However, the limitation of the proposed method is that it was currently tested on a small set of products. It is interesting to extend this research for product categories having more products to see if it is able to solve in a reasonable time. Another interesting extension is developing of an heuristic approach for larger problems and compare with other existing methods in the literature.

Reference

- [1] L. Baardman, M.C. Cohen, K. Panchangam, G. Perakis, and D. Segev. 2019. "Scheduling promotion vehicles to boost profits". Management Science, Vol. 65(1): 50-70.
- [2] M.C. Cohen, N.H.Z Leung, K. Panchangam, G. Perakis and A. Smith. 2017. "The impact of linear optimization on promotion planning". Operations Research, Vol. 65(2): 446-468.
- [3] F.J. Mulhern and D.T. Padgett. 1995. "The relationship between retail price promotions and regular price purchases". Journal of Marketing, Vol. 59(4): 83-90.
- [4] S. Ma, and R. Fildes. 2017. "A retail store SKU promotions optimization model for category multi-period profit

- maximization". *European Journal of Operational Research*, Vol. 260(2): 680-692.
- [5] A. Greenstein-Messica and L. Rokach. 2020. "Machine learning and operation research based method for promotion optimization of products with no price elasticity history". *Electronic Commerce Research and Applications*, Vol. 40,100914.
- [6] D. Mulugeta, J. Greenfield, T. Bolen and L. Conley. Price-and Cross-Price Elasticity Estimation using SAS, SAS Global Forum 2013, Statistics and Data Analysis, 28 April – 1 May 2013, San Francisco.
- [7] M.C. Cohen and G. Perakis, Promotion optimization in retail, *Social Science Research Network*, SSRN 3194640, 2018.
- [8] M. Cohen, J. Kalas, K. Panchamgam and G. Perakis, Computerized promotion price scheduling utilizing multiple product demand model, Patent Application Publication, U.S. Patent No. 10,740,782, 11 Aug. 2020.
- [9] T. Qu, J.H. Zhang, F.T. Chan, R.S. Srivastava, M.K. Tiwari and W.Y. Park. 2017. "Demand prediction and price optimization for semi-luxury supermarket segment". *Computers & industrial engineering*, Vol. 113: 91-102.
- [10] L.G. Cooper, P. Baron, W. Levy, M. Swisher and P. Gogos. 1999. "PromoCast™: A new forecasting method for promotion planning". *Marketing Science*, Vol. 18(3): 301-316.
- [11] H.A. Farahani, A. Rahiminezhad and L. Same. 2010. "A comparison of partial least squares (PLS) and ordinary least squares (OLS) regressions in predicting of couples mental health based on their communicational patterns". *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol. 5: 1459-1463.
- [12] I. Kantor, J.L. Robineau, H. Bütün and F. Marechal. 2020. "A mixed-integer linear programming formulation for optimizing multi-scale material and energy integration". *Frontiers in Energy Research*, Vol. 8: 49.

การจัดการโครงการก่อสร้างของโรงกลั่นน้ำมันโดยใช้
วิธีเส้นทางวิกฤติและวิธีการประเมินผลและทบทวนโครงการ

**Construction Project Management of Refinery Plant by using the Critical Path Method and
Program Evaluation and Review Technique**

วรพงษ์ เกียรติเมธา¹ สिरังค์ กลั่นคำสอน²

¹สาขาการจัดการวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²หน่วยวิจัยการจัดการผลิตและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: woraphong.k@ku.th*

Woraphong Kiatmetha¹, Sirang Klankamsorn²

¹Program of Engineering and Technology Management, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

²Industrial and Production Management Research Unit, Faculty of Engineering Sriracha, Kasetsart University

E-mail: woraphong.k@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการบริหารโครงการก่อสร้างสำหรับโรงกลั่นน้ำมัน ปัญหาหลักที่พบในโครงการ คือ ความไม่แน่นอนของเวลากิจกรรม ส่งผลให้เกิดความล่าช้าของเวลาเสร็จโครงการ ความล่าช้าของการดำเนินงานที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 1) ความล่าช้าของงานฐานรองรับท่อ และ 2) ความล่าช้าของงานติดตั้งท่อสำหรับระบบระบายน้ำและงานปูพื้นผิว ความล่าช้านี้ส่งผลให้เวลาเสร็จโครงการล่าช้ากว่ากำหนด ด้วยเหตุนี้วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการเส้นทางวิกฤติและวิธีการประเมินผลและทบทวนโครงการเพื่อหาเวลาเสร็จโครงการที่สั้นที่สุดและลดต้นทุนของโครงการ ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดเวลากิจกรรมของงานฐานรองรับท่อจาก 214 วัน เหลือ 195 วัน คิดเป็นร้อยละ 8.88 และลดเวลาของการติดตั้งท่อสำหรับระบบระบายน้ำและงานปูพื้นผิวจาก 213 วัน เหลือ 195 วัน คิดเป็นร้อยละ 8.45

คำสำคัญ: การจัดการโครงการก่อสร้าง โรงกลั่นน้ำมัน วิธีการวางแผนงานแบบเส้นทางวิกฤติ วิธีการประเมินผลและทบทวนโครงการ

Abstract

This research proposes a construction project management for an oil refinery. The main problem encountered in the project is the uncertainty of the activity time resulting in the delay of the project completion time. The delays of operations presented in this research consist of 1) the delay of pipe support work and 2) the delay of the installation of pipes for drainage and paving systems. These delays are the causes that lead the project completion time to be beyond the due date. For this reason, the objective of this research is to propose the Critical Path Method and Program Evaluation and Review Technique to determine the shortest project completion time and reduce the project cost. The result shows that the activity time of pipe support work is reduced from 214 days to 195 days or 8.88%, and the time of pipe installation for drainage systems and surfacing work is reduced from 213 days to 195 days or 8.45%.

Keywords: Construction Project Management; Refinery Plant; Critical Path Method; Program Evaluation and Review Technique.

1. บทนำ

การจัดการโครงการ (Project management) เป็นกระบวนการวางแผน การดำเนินงาน การติดตามและการควบคุมโครงการใดๆ ที่กำลังศึกษาเพื่อให้บรรลุเป้าหมายทางการเงินและทางด้านเวลา ต้นทุน และคุณภาพ ขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการประกอบด้วย 1) การวิเคราะห์ขอบเขตของโครงการ 2) การกำหนดกิจกรรมหรืองานย่อยของโครงการ เป็นการระบุกิจกรรมที่จำเป็น ขอบเขต และผู้รับผิดชอบ รวมถึงกลุ่มกิจกรรม 3) กำหนดทรัพยากรของแต่ละกิจกรรม อาทิเช่น เครื่องจักร อุปกรณ์และแรงงานประเภทต่าง ๆ เป็นต้น 4) ประมาณการระยะเวลาของกิจกรรม 5) พิจารณาความสัมพันธ์ของกิจกรรม เป็นการพิจารณาลำดับก่อนและหลังของกิจกรรม และ 6) การประเมินตารางเวลาของโครงการ เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของกำหนดการโครงการ 7) ติดตามและควบคุมตารางเวลาของโครงการให้เป็นไปตามแผนที่กำหนดไว้ [1] งานวิจัยนี้เสนอโครงการก่อสร้างโรงกลั่นน้ำมันของบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดชลบุรีโดยเริ่มดำเนินการก่อสร้างไปแล้วในเดือน พฤษภาคม 2562 และคาดว่าจะแล้วเสร็จในปี 2566 ซึ่งมีวัตถุประสงค์สำคัญเพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของโรงกลั่นให้คงอยู่ในกลุ่มผู้นำของอุตสาหกรรมปิโตรเคมีด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิต รวมทั้งเพิ่มกำลังการกลั่นน้ำมันดิบจากเดิมที่ 275,000 บาร์เรลต่อวัน เป็น 400,000 บาร์เรลต่อวัน จากการวิเคราะห์ผลของการดำเนินงานของโครงการพบว่า สาเหตุที่ทำให้โครงการก่อสร้างล่าช้าไม่เสร็จตามแผนงานนั้นเกิดจากข้อมูลของการสำรวจพื้นที่ก่อสร้างไม่สมบูรณ์ การวางแผนงานและการจัดตารางงาน การติดตามผลของงานที่ทำไปแล้ว ขั้นตอนการขออนุญาตการทำงานในด้านต่าง ๆ ที่มีหลายขั้นตอน แบบก่อสร้างที่มีความไม่ชัดเจนต้องทำการแก้ไข รวมถึงขณะก่อสร้างพบปัญหาการขาดแคลนแรงงาน

วัตถุประสงค์การศึกษานี้เพื่อจัดตารางกิจกรรมของโครงการก่อสร้างของโรงกลั่นน้ำมันกรณีศึกษาโดยใช้วิธีการวางแผนงานแบบเส้นทางวิกฤติร่วมกับวิธีการประเมินผลและทบทวนโครงการเพื่อให้เวลาเสร็จโครงการตามแผนที่กำหนด

2. การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การคำนวณหาเส้นทางวิกฤติ และการคำนวณเวลางาน

การคำนวณหาเส้นทางวิกฤติ (critical path) การหาเวลาเร็วที่สุดช้าที่สุดและเวลาล่าช้าของกิจกรรมนั้น ๆ หาได้ดังสมการที่ 1 [1, 2-4]

เมื่อ $ES =$ เวลาเร็วที่สุดที่จะเริ่มต้นของกิจกรรม
 $EF =$ เวลาเสร็จสิ้นอย่างรวดเร็วที่สุดของแต่ละกิจกรรม
 $duration =$ ช่วงระยะเวลาของกิจกรรม

$$EF = ES + duration \quad (1)$$

$LS =$ เวลาช้าที่สุดที่จะเริ่มต้นกิจกรรมนั้น ๆ โดยไม่ทำให้เวลาของโครงการเปลี่ยนไป $LF =$ เวลาเสร็จสิ้นอย่างช้าที่สุดของแต่ละกิจกรรม

โดยไม่ทำให้เวลาของโครงการเปลี่ยนไป หรือ $EF = LF$ และสามารถคำนวณกำหนดเวลาเริ่มต้นอย่างช้าที่สุดได้จากสมการที่ 2 [1, 2-4]

$$LS = LF - duration \quad (2)$$

การคำนวณหาเวลาที่เหลือหรือเวลาที่ยืดหยุ่นได้ (slack time) มีสูตรในการหา ดังสมการที่ 3 [1, 2-4]

$$SL = LS - ES \text{ หรือ } SL = LF - EF \quad (3)$$

2.2 การคำนวณหาระยะเวลาของเส้นทางวิกฤติ

การวิเคราะห์เส้นทางวิกฤติ (Critical Path) ถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการจัดการโครงการจากการเก็บข้อมูลและเลือกข้อมูลในอดีตมากำหนด ระยะเวลาคาดหวัง (Optimistic time) ระยะเวลาที่คาดว่าจะทำได้จริง (Most likely time) และระยะเวลาที่ช้าที่สุดที่ทำให้โครงการยังประสบความสำเร็จ (Pessimistic time) ในการออกแบบระยะเวลาของโครงการและการจัดการความเสี่ยง หาได้ดังสมการที่ 4 และ 5 [5, 6-7]

$$TE = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \frac{(b - a)^2}{6} \quad (5)$$

โดยที่

- TE คือ ระยะเวลาคาดหวัง
- σ^2 ความแปรปรวนของระยะเวลาคาดหวัง
- a คือ ระยะเวลาที่ต่ำที่สุดที่ทำให้กิจกรรมแล้วเสร็จ
- b คือ ระยะเวลาที่สูงที่สุดที่ทำให้กิจกรรมแล้วเสร็จ
- m ระยะเวลาปกติที่กิจกรรมแล้วเสร็จ

หลังจากทราบเส้นทางวิกฤติของโครงการแล้วสามารถคำนวณหาความน่าจะเป็นที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จได้ดังสมการที่ (6)

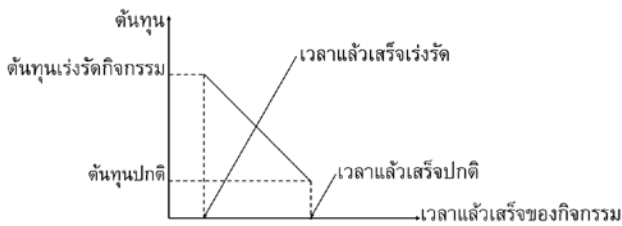
$$z = \frac{D - \mu}{\sqrt{\sigma^2}} \quad (6)$$

โดยที่

- z คือ ความน่าจะเป็นที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จ
- D คือ จำนวนวันที่โครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จ
- μ คือ ค่าเฉลี่ยจำนวนวันที่คาดว่าจะโครงการจะแล้วเสร็จ
- σ^2 คือ ความแปรปรวนของวันที่คาดว่าจะโครงการจะแล้วเสร็จ

2.3 การเร่งรัดกิจกรรม

การเร่งรัดกิจกรรม เป็นการดำเนินการเพิ่มทรัพยากรของโครงการให้สูงขึ้น ทำให้โครงการดำเนินการแล้วเสร็จเร็วขึ้น เพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากการล่าช้าของโครงการ หรือเพื่อประโยชน์ในการลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการหากโครงการแล้วเสร็จก่อนระยะเวลาที่กำหนด โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาแล้วเสร็จของโครงการและต้นทุน โดยเลือกดำเนินการเร่งรัดกิจกรรมวิกฤติที่มีต้นทุนต่ำที่สุดก่อน ผลตอบแทนอาจอยู่ในลักษณะของเงินชดเชยการไม่เสียค่าปรับ ดังรูปที่ 1 [8, 9-10]



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนและเวลาของกิจกรรม

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูล

วิเคราะห์และแยกประเภทของแต่ละกิจกรรมที่ทำเสร็จไปแล้วในอดีต เพื่อหาความสัมพันธ์แต่ละกิจกรรมและวิเคราะห์โครงสร้างการแบ่งงาน (Work Breakdown Structure: WBS) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กิจกรรมงานของโครงการก่อสร้าง

ชื่อ งาน	รายละเอียดงาน	ทำก่อน	เวลา (วัน)
A1	การเตรียมงาน 2	A11	24
A2	ฐานรองรับท่อ Type1, 6 ฐาน	A1	15
A3	ฐานรองรับท่อ Type1, 10 ฐาน	A2	30
A4	ฐานรองรับท่อ Type1, 5 ฐาน	A3	15
A5	ฐานรองรับท่อ Type1, 5 ฐาน	A4	15
A6	ฐานรองรับท่อ Type1, 10 ฐาน	A5	30
A7	ฐานรองรับท่อ Type1, 5 ฐาน	A6, A10	15
A8	ฐานรองรับท่อ Type1, 10 ฐาน	A7	30
A9	บ่อพักและระบบระบายน้ำ	A3	30
A10	บ่อดักขยะและระบบระบายน้ำ	A9	29
A11	การเตรียมงาน 1	-	5
A12	การเตรียมงาน 3	A11	3
A13	ฐานรองรับท่อ Type2, 6 ฐาน	A12	15
A14	ฐานรองรับท่อ Type2, 66 ฐาน	A13	90
A15	ฐานรองรับท่อ Type2, 12 ฐาน	A14	45
A16	เตรียมงาน 4	A4	23
A17	ท่อระบายน้ำ BCL-10-1	A18	38

ตารางที่ 1 กิจกรรมงานของโครงการก่อสร้าง (ต่อ)

ชื่อ งาน	รายละเอียดงาน	ทำก่อน	เวลา (วัน)
A18	ท่อระบายน้ำ BCL-10-3-1	A16	13
A19	ท่อระบายน้ำ BCL-10-3-2	A18	24
A20	ท่อระบายน้ำ BCL-10-2	A18	38
A21	งานติดตั้งท่อระบายน้ำ	A3	59
A22	งานปูพื้นผิว Area-18, 19	A21	34
A23	งานปูพื้นผิว Area-15	A22	11
A24	งานสังคิมพื้นที่	A23, A22, A8, A19, A17, A20, A15	35

3.2 การระบุกิจกรรมวิกฤติและการหาเส้นทางวิกฤติ แบบ CPM

การคำนวณค่า ES ของกิจกรรม A1 ยังเริ่มทำไม่ได้ทันทีที่ต้องรอ A11 เสร็จก่อน ดังนั้นค่า ES ของกิจกรรม A1 = 5 คำนวณกำหนดเวลาเสร็จอย่างรวดเร็วที่สุดของกิจกรรม A1 ได้ $EF = 5 + 24 = 29$ วัน การคำนวณกิจกรรม A24 เป็นกิจกรรมสุดท้ายของโครงการ ดังนั้นค่า LF ของกิจกรรม A24 มีค่าเท่ากับ $EF_{24} = 214$ วัน กิจกรรม A24 ใช้เวลาดำเนินงาน 35 วัน คำนวณค่า LS ของกิจกรรม A24 = $214 - 35 = 179$ วัน และการคำนวณค่า slack เช่นกิจกรรม A1 = $LF - EF = 29 - 29 = 0$ วัน การคำนวณกิจกรรมของ A7 ต่อกิจกรรม 2 กิจกรรม คือ A10, A6 เลือกค่ามากที่สุด คือ $A6 = 134$ (EF) เพราะฉะนั้น ค่า $EF = ES + D = 134 + 15 = 149$ วัน จากนั้นทำการหาค่า LS ของ A3 หาได้จาก $LS = LF - \text{duration}$ เท่ากับ $74 - 30 = 44$ วัน กิจกรรม A3 หลังจาก A21, A9 และ A4 เลือกค่าน้อยสุด $A4 = 74$ วัน ส่วนค่าที่เหลือในการหาค่า ES, EF, LS, LF และ slack แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 กำหนดเวลาเริ่มต้นเร็วสุด-เวลาช้าสุด ของแต่ละกิจกรรม

ชื่องาน	เวลา	ES	EF	LS	LF	SL	Critical
A1	24	5	29	5	29	24	Yes
A2	15	29	44	29	44	15	Yes
A3	30	44	74	44	74	30	Yes
A4	15	74	89	74	89	15	Yes
A5	15	89	104	89	104	15	Yes
A6	30	104	134	104	134	30	Yes
A7	15	134	149	134	149	15	Yes
A8	30	149	179	149	179	30	Yes
A9	30	74	104	75	105	30	
A10	29	104	133	105	134	29	
A11	5	0	5	0	5	5	Yes
A12	3	5	8	26	29	3	
A13	15	8	23	29	44	15	

ตารางที่ 2 กำหนดเวลาเริ่มต้นเร็วสุด-เวลาช้าสุด ของแต่ละกิจกรรม (ต่อ)

ชื่องาน	เวลา	ES	EF	LS	LF	SL	Critical
A14	90	23	113	44	134	90	
A15	45	113	158	134	179	45	
A16	23	89	112	105	128	23	
A17	38	125	163	141	179	38	
A18	13	112	125	128	141	13	
A19	24	125	149	155	179	24	
A20	38	125	163	141	179	38	
A21	59	74	133	75	134	59	
A22	34	133	167	134	168	34	
A23	11	167	178	168	179	11	
A24	35	179	214	179	214	35	Yes

3.3 การระบุกิจกรรมวิกฤติและการหาเส้นทางวิกฤติ แบบ PERT

ทำการคำนวณหาค่าระยะเวลาคาดหวัง ตามสมการที่ (4) โดยการแทนค่าข้อมูลเวลาเร็วสุด เวลาช้าสุด และเวลาที่มีโอกาสมากที่สุด ที่ได้ดำเนินการเก็บข้อมูลจากโครงการที่ผ่านมาในอดีตตามตารางที่ 1 และ 2 นำค่าระยะเวลาคาดหวังมาทำการคำนวณหาค่าความแปรปรวนของระยะเวลาคาดหวังเพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นไปได้ที่โครงการจะประสบผลสำเร็จต่อไป

ตารางที่ 3 การหาค่าความแปรปรวนในแต่ละกิจกรรมแบบ PERT

ชื่องาน	a	m	b	TE	σ^2
A1	22	24	26	24.00	0.44
A2	12	15	18	15.00	1.00
A3	26	30	34	30.00	1.78
A4	15	15	15	15.00	-
A5	14	15	16	15.00	0.11
A6	30	30	30	30.00	-
A7	14	15	16	15.00	0.11
A8	27	30	33	30.00	1.00
A9	30	30	30	30.00	-
A10	29	29	29	29.00	-
A11	3	5	7	5.00	0.44
A12	3	3	3	3.00	-
A13	15	15	15	15.00	-
A14	90	90	90	90.00	-
A15	45	45	45	45.00	-
A16	23	23	23	23.00	-
A17	38	38	38	38.00	-
A18	13	13	13	13.00	-

ตารางที่ 3 การหาค่าความแปรปรวนในแต่ละกิจกรรมแบบ PERT (ต่อ)

ชื่องาน	a	m	b	TE	σ^2
A19	24	24	24	24.00	-
A20	38	38	38	38.00	-
A21	57	59	61	59.00	0.44
A22	34	34	34	34.00	-
A23	9	11	13	11.00	0.44
A24	32	35	38	35.00	1.00

$$\sigma = \sqrt{0.44+1+1.78+0+0.11+0+0.11+1+0.44+1} = 2.60 \text{ วัน}$$

โอกาสที่โครงการแล้วเสร็จก่อนกำหนด 217 วัน หาได้จากสมการที่ 6 [9, 6-7]

$$z = \frac{D - \mu}{\sqrt{\sigma^2}} = \frac{217 - 214}{2.60} = 1.15$$

จากนั้นนำค่า z ไปเปิดตารางหาค่าความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จก่อนกำหนด 217 วัน จะได้เท่ากับร้อยละ 87.49

3.4 การเร่งโครงการ

การเร่งโครงการเป็นการวิเคราะห์ที่เน้นความสัมพันธ์ระหว่างเวลา กับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น (time-cost tradeoffs) ประกอบด้วย เวลาดำเนินงานตามปกติ (Normal Time, TN) เวลาดำเนินการเร่งงาน (Crash Time, TC) ค่าใช้จ่ายปกติ (normal cost, Cn) ค่าใช้จ่ายเร่งรัดงาน (crash cost, Cc) เช่น กิจกรรม A1 ใช้ค่าใช้จ่ายปกติ 4,648,126 บาท เวลาเสร็จปกติ 24 วัน สามารถเร่งงานให้เสร็จใน 22 วัน ในการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเร่งงานจะทำการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเร่งงานต่อหนึ่งหน่วยเวลา (crash cost per time period) หาได้จากสมการที่ 7 [8, 9-10]

$$\frac{C_c - C_n}{T_n - T_c} \quad (7)$$

ค่าใช้จ่ายในการเร่งงาน 1 วัน เช่น กิจกรรม E

$$A1 = \frac{5,066,271 - 4,648,126}{24 - 22} = 209,073 \text{ บาทต่อวัน}$$

ผลการคำนวณเวลาและค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน รวมค่าใช้จ่ายปกติ 89,000,000 บาท และค่าใช้จ่ายทั้งหมดหลังการเร่งงาน 91,055,939 บาท ยอดค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเร่งงาน 2,055,939 บาท การคำนวณจะเริ่มพิจารณากิจกรรมที่มีต้นทุนการเร่งรัดงานต่ำที่สุดก่อน กิจกรรม A24 จะเป็นลำดับแรก ซึ่งมีค่าใช้จ่ายปกติ 929,625 บาท สามารถเร่งงานได้ 3 วัน มีค่าใช้จ่ายในการเร่งงาน

83,629 บาท จากการวิเคราะห์เส้นทางวิกฤติของงานจริง 214 วัน นำผลที่ได้มาคำนวณโดยใช้เทคนิค PERT ทำให้สามารถเร่งงานได้ตามกำหนดระยะเวลาของโครงการเป็น 195 วัน ลดระยะเวลาในการทำงานได้ 23 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รายละเอียดการคำนวณเวลาและค่าใช้จ่ายในการเร่งงาน

ชื่อ งาน	Time		Cost		เร่งงาน ต่อวัน	ลำดับ บเร่ง งาน
	TN	TC	CN	CC		
A1	24	22	4,648,126	5,066,272	209,073	7
A2	15	12	1,648,226	1,809,686	53,820	3
A3	30	26	2,747,043	3,016,143	67,275	5
A4	15	15	1,373,521	1,373,521	-	-
A5	15	14	1,373,521	1,508,071	134,550	2
A6	30	30	2,747,043	2,747,043	-	-
A7	15	14	1,373,521	1,508,071	134,550	2
A8	30	27	2,747,043	3,016,143	89,700	5
A9	30	30	1,626,844	1,626,844	-	-
A10	29	29	1,626,844	1,626,844	-	-
A11	5	3	929,625	1,013,254	41,815	1
A12	3	3	3,718,501	3,718,501	-	-
A13	15	15	1,592,448	1,592,448	-	-
A14	90	90	9,554,689	9,554,689	-	-
A15	45	45	3,184,896	3,184,896	-	-
A16	23	23	6,972,190	6,972,190	-	-
A17	38	38	10,225,878	10,225,878	-	-
A18	13	13	3,346,651	3,346,651	-	-
A19	24	24	6,600,339	6,600,339	-	-
A20	38	38	10,225,878	10,225,878	-	-
A21	59	57	3,486,095	3,799,704	156,805	6
A22	34	34	4,229,795	4,229,795	-	-
A23	11	9	2,091,657	2,279,822	94,083	4
A24	35	32	929,625	1,013,254	27,876	1

4. อภิปรายผล

4.1 เส้นทางวิกฤติ แบบ CPM

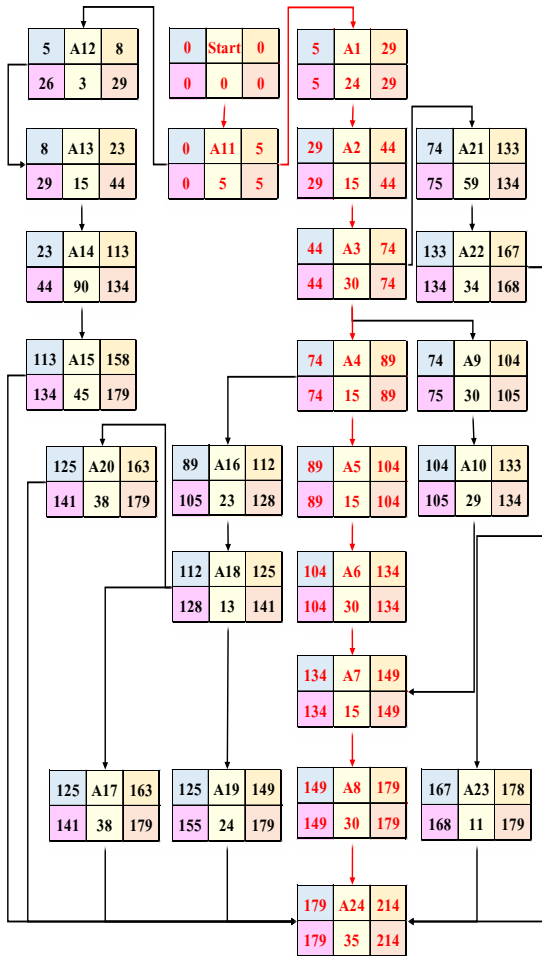
นำผลที่ได้จากการคำนวณในตารางที่ 2 มาเขียนข่ายงานกิจกรรมของโครงการดังแสดงใน รูปที่ 2

4.2 เส้นทางวิกฤติ แบบ PERT

หลังการปรับปรุงความน่าจะเป็นทำให้โครงการแล้วเสร็จภายใน 195 วัน เปิดตารางค่า $Z = 0.7794$ ความน่าจะเป็นที่โครงการจะแล้วเสร็จก่อนกำหนด 197 วัน เท่ากับ 77.94%

4.3 การเร่งรัดโครงการ

โครงการมีระยะเวลาเสร็จจริง 217 วัน และเวลาวิกฤติของโครงการ 214 วัน ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการใช้เทคนิค CPM จากนั้นนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค PERT เพื่อปรับปรุงระยะเวลาการทำงาน ผลที่ได้ 23 วัน จากนั้นนำผลที่ได้จาก PERT มาใช้ในการคิดค่าใช้จ่ายในเร่งรัดโครงการ โดยเริ่มที่กิจกรรมที่มีต้นทุนการเร่งรัดงานต่ำที่สุดก่อน การเร่งรัดโครงการจะทำการเร่งงานในสายงานวิกฤติ A11, A24, A5, A7, A2, A23, A3, A8, A21 และ A1 ตามลำดับ ทำการเร่งรัดจนได้เวลาแล้วเสร็จของโครงการ 195 วัน แสดงในตารางที่ 4 ขั้นตอนในการเร่งงานจะเริ่มจากกิจกรรมที่มีต้นทุนการเร่งรัดงานต่ำสุดไปยังต้นทุนสูง โดยเริ่มต้นที่กิจกรรม A24 งานส่งคืนพื้นที่ เร่งรัดงานเร็วขึ้น 3 วัน จากเดิม 35 วัน ลดลงเหลือ 32 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 83,629 บาท A11 การเตรียมงาน เร่งรัดงานเร็วขึ้น 2 วัน จากเดิม 5 วัน ลดลงเหลือ 3 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 83,629 บาท A5 ฐานรองรับท่อประเภทที่ 1 เร่งรัดงานเร็วขึ้น 1 วัน จากเดิม 15 วัน ลดลงเหลือ 14 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 134,550 บาท A7 ฐานรองรับท่อประเภทที่ 1 เร่งรัดงานเร็วขึ้น 1 วัน จากเดิม 15 วัน ลดลงเหลือ 14 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 134,550 บาท A2 ฐานรองรับท่อประเภทที่ 1 เร่งรัดงานเร็วขึ้น 3 วัน จากเดิม 15 วัน ลดลงเหลือ 12 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 161,460 บาท A23 งานปูพื้นผิว Area-15 เร่งรัดงานเร็วขึ้น 2 วัน



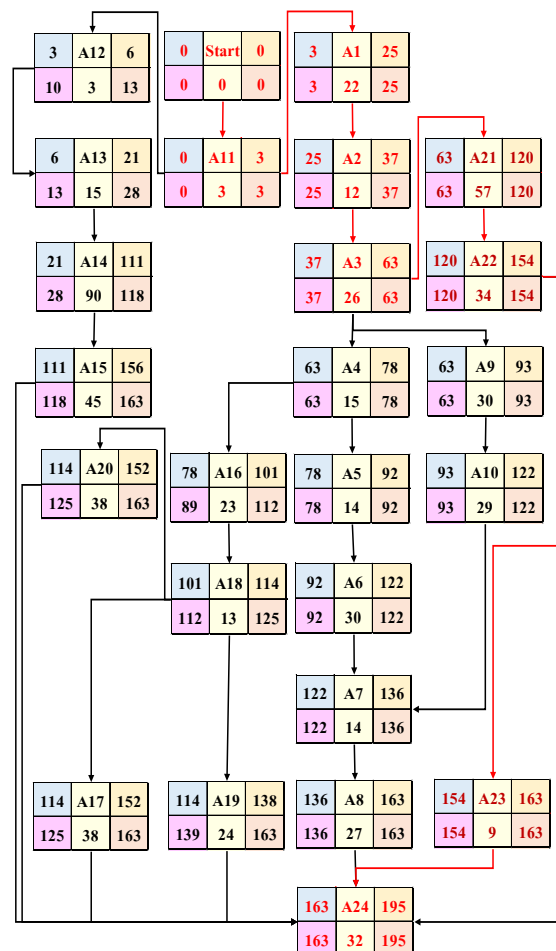
รูปที่ 2 ข่ายงานกิจกรรมของโครงการก่อนทำการปรับปรุง

จากเดิม 11 วัน ลดลงเหลือ 9 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 188,165 บาท A3 ฐานรองรับท่อประเภทที่ 1 เร่งรัดงานเร็วขึ้น 4 วัน จากเดิม 30 วัน ลดลงเหลือ 26 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 269,100 บาท A8 ฐานรองรับท่อประเภทที่ 1 เร่งรัดงานเร็วขึ้น 3 วัน จากเดิม 30 วัน ลดลงเหลือ 27 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 269,100 บาท A21 งานติดตั้งท่อระบายน้ำ เร่งรัดงานเร็วขึ้น 2 วัน จากเดิม 59 วัน ลดลงเหลือ 57 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 313,609 บาท และ A1 การเตรียมงาน เร่งรัดงานเร็วขึ้น 2 วัน จากเดิม 24 วัน ลดลงเหลือ 22 วัน ค่าใช้จ่ายในการเร่งรัดงาน 418,145 บาท จากการเร่งงานจำนวนวันทั้งหมดที่มีการเร่งรัดโครงการในสายงานวิกฤติ 23 วัน ผลที่ได้จากการเร่งรัดงาน ในเส้นทางวิกฤติ จากเดิม 217 วัน จะลดลงเหลือ 195 วัน ผลจากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลของโครงการโดยวิธี CPM และ PERT เพื่อเร่งรัดโครงการนำมาเขียนข่ายงาน แสดงในรูปที่ 3

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการจัดการโครงการก่อสร้างของโรงกลั่นน้ำมันโดยใช้ CPM ร่วมกับ PERT มาทำการวิเคราะห์ ควบคุม และจัดการกับกระบวนการของงานก่อสร้าง ทำให้ทราบถึงผลการ

ดำเนินงานกับแผนงานที่วางไว้ มีการวางแผนขั้นตอนการทำงานแต่ละกิจกรรมซึ่งแต่ละกิจกรรมมีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กันทั้งหมด โดยการพิจารณาเร่งรัดกิจกรรมในเส้นทางวิกฤติที่เหมาะสมจะช่วยให้แผนการดำเนินโครงการประสบผลสำเร็จซึ่งสามารถช่วยให้ผู้บริหารโครงการสามารถติดตามและควบคุมงานในเส้นทางวิกฤติได้อย่างถูกต้อง จากการวิจัยนี้คาดว่าโครงการจะดำเนินการแล้วเสร็จตามกำหนด 195 วัน ความน่าจะเป็นที่มีโอกาสจะสิ้นสุดโครงการก่อนกำหนด 197 วัน เท่ากับ 77.94% ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของโครงการอยู่ที่ 2.60 และสามารถดำเนินโครงการให้แล้วเสร็จก่อนระยะเวลา 23 วัน ซึ่งทำให้บริษัทผู้รับเหมาที่ทำงานอยู่โครงการกรณีศึกษาสามารถลดระยะเวลาในการดำเนินโครงการได้ 8.88%



รูปที่ 3 ข่ายงานกิจกรรมของโครงการหลังการปรับปรุง

6. ข้อเสนอแนะ

เทคนิค CPM ใช้กับข้อมูลที่เคยทำมาก่อน ใช้กับโครงการที่ใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานแน่นอน ส่วน เทคนิค PERT ใช้กับโครงการที่ไม่เคยทำมาก่อน เป็นการใช้เวลาโดยประมาณ ซึ่งคำนวณโดยใช้ความน่าจะเป็น ในงานวิจัยนี้เป็นโครงการที่เคยทำมาก่อน การศึกษาเลือกใช้เทคนิค CPM ร่วมกับ PERT ขั้นตอนแรกใช้ CPM

ในการหาเส้นทางวิกฤติของกิจกรรม จากนั้นนำผลเส้นทางวิกฤติที่หาได้จาก CPM มาใช้กับ PERT เพื่อหาความน่าจะเป็นของระยะเวลาที่โครงการจะแล้วเสร็จ จากนั้นนำผลที่ได้ไปใช้เร่งรัดงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] ลุ่มพินี มีทรัพย์. 2560. "การบริหารโครงการก่อสร้างโมดูล: กรณีศึกษา การบริหารโครงการก่อสร้างโมดูลสำหรับแท่นขุดเจาะน้ำมันและก๊าซธรรมชาติ." การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [2] รัชฎญลักษณ์ สุทชนะ. 2564. "การบริหารโครงการวิศวกรรมเพื่อลดต้นทุนและเวลา กรณีศึกษาโรงงานยา." การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [3] สุกฤตา แก้วกลม และ รศ.สุทัศน์ รัตน์เกื้อกังวาน. 2563. "การจัดการความเสี่ยงในโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าก๊าซธรรมชาติ กรณีศึกษา กังหันก๊าซ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม จังหวัดระยอง." งานประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 38: 693-699
- [4] ภูบดี พัวพันธ์รักษกุล. 2562. "การเปรียบเทียบระยะเวลาในการทำงานและการจัดการทรัพยากรโดยการวางแผนงานแบบท้าซ้ากับแผนงานแบบวิกฤติ." การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] Suntoyo, et al. (2018). "Cost and time analysis of graving dock project." MATEC Web of Conferences 177.
- [6] Andrie Pasca Hendradewa. 2019. "Schedule Risk Analysis by Different Phases of Construction Project Using CPM-PERT and Monte-Carlo Simulation. IOP Conf." Series: Materials Science and EngineerIOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 528: 1-10.
- [7] Kholil, Bonitasari et al. (2018). "Scheduling of House Development Projects with CPM and PERT Method for Time Efficiency (Case Study: House Type 36)." IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 140: 1-9.
- [8] Sears S., et al (2015). "Construction Project Management." A Practical Guide to Field Construction Management Sixth Edition.
- [9] James J, et al (2006). "CPM in Construction Management." Sixth Edition.
- [10] Moder J., et al (2015). "Project Management with CPM, PERT and Precedence Diagramming." Third Edition.

ความแข็งแรงดึงของวัสดุประกอบเรซินและเส้นใยกล้วย Tensile Strength of Resin Composites and Banana Fibers

กิตติพิชญ์ อภินันท์กิตติ^{1*} วิภู ศรีสืบสาย²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันประเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์

²อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: kittipichaya.ap@gmail.com*

Kittipichaya Aphinanthakit^{1*}, Wipoo Sriseubsai²

¹Department of Defence Engineering, School of Engineering

²Industrial Engineering Department, School of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

E-mail: kittipichaya.ap@gmail.com*

บทคัดย่อ

เปลือกของต้นกล้วย(กาบกล้วย)เป็นส่วนที่แข็งแรงที่สุดของต้นกล้วยและเมื่อเส้นใยของกาบกล้วยมีความชื้นจะทำให้ความแข็งแรงและความเหนียวเพิ่มขึ้น นำมาซึ่งการศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัสดุประกอบเรซินด้วยเส้นใยกล้วย โดยในการศึกษานี้ได้นำใยกล้วยมาทดลองความแข็งแรงและความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เพื่อเป็นเครื่องป้องกัน โดยขั้นตอนที่นำใยกล้วยมาเพิ่มประสิทธิภาพคือการทำใยกล้วยที่ผ่านกระบวนการแปรรูปมาในรูปแบบผ้าทอผสมกับเรซินด้วยวิธีการแวกคัมอินฟิวชัน คือการปล่อยให้เรซินที่ผสมกันระหว่าง Part A กับ Part B ในอัตราส่วน 100 ต่อ 35 ที่มีคุณสมบัติ การแห้งตัวเร็วโดยใช้เวลาประมาณ45นาที มีความใสกว่าเรซินทั่วไป มีความแข็งแรงกว่าเรซินที่อยู่ในกลุ่ม ออร์โธพทาติก(Orthophthalic) , ไอโซพทาติก(Isophthalic) ค่อยๆไหลผ่านเส้นใย จนเต็มแผ่นแล้วรอให้แห้ง ซึ่งวิธีการนี้เป็นวิธีที่ดีที่สุดในการที่จะทำให้เรซินกระจายตัวเท่ากันและแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยอย่างทั่วถึง หลังจากนั้นจึงนำมาทดสอบด้วยวิธีการทดสอบแรงดึงเมื่อนำค่าที่ได้มาวิเคราะห์ก็จะเห็นได้ว่าขนาดของเส้นใยมีค่าแปรผันตรงกับความแข็งแรง และเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นของชิ้นงาน จะทำให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้หากใช้การจัดเรียงเส้นใยให้เป็นแนวเดียวกับแรงดึงของเครื่อง tensile testing machine ชิ้นงานก็จะมีมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นไปอีก

คำสำคัญ: แวกคัมอินฟิวชัน ออร์โธพทาติก ไอโซพทาติก การทดสอบแรงดึง

Abstract

The banana bark (the banana sheath) is the strongest part of the banana plant and when the sheath fibers are moistened, their strength and toughness increase. led to a feasibility study on the development of resin composites using banana fibres. In this study, banana fiber was used to experiment. strength and the possibility of being used as a defensive by the process that brings banana fiber to increase efficiency is to bring processed banana fiber into a woven fabric and mix it with resin by vacuum infusion method, which is to let the resin mix between Part A and Part. B in a ratio of 100 to 35 qualifying Fast drying in about 45 minutes. It is clearer than general resin. It is stronger than the resin in the group. orthophthalic, isophthalic fibers gradually flowing through Until the sheet is full, then wait for it to dry. This method is the best way to make the resin evenly distributed and penetrate the fibers evenly. After that, it was tested by tensile pulling method. When analyzing the values, it can be seen that the fiber size is directly proportional to the strength.

And when increasing the number of layers of the work piece In addition, if the fiber alignment is applied to the tension of the tensile testing machine, the strength of the workpiece will be further enhanced.

Keywords: Vacuum infusion, Orthophthalic, Isophthalic, Tensile

1. บทนำ

กล้วยเป็นพืชที่อยู่ในวงศ์ Musaceae [1] มีถิ่นกำเนิดในเป็นพืชท้องถิ่นของทวีปเอเชียและ ทวีปแอฟริกา มีลำต้นขนาดใหญ่ กล้วยมีการผลิตกันอย่างแพร่หลายและถือว่าเป็นทรัพยากรธรรมชาติ ที่อุดมสมบูรณ์ในประเทศเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนในโลก ปัจจุบันวัสดุหลาย ๆ อย่างที่นำมาใช้มีการศึกษาและพัฒนาขึ้นมามากมาย และส่วนใหญ่เกิดจากการสังเคราะห์จากสารเคมี ทำให้ผลเสียอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นคือมลภาวะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนที่เพิ่มขึ้น การปรับเปลี่ยนหรือลดวัสดุบางอย่างที่เป็นส่วนประกอบในการผลิตที่เกิดจากสังเคราะห์จากสารเคมีเป็นวัสดุจากธรรมชาติ สามารถลดต้นทุนและลดมลพิษที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อมได้ การศึกษาเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากต้นกล้วยนั้น จะเริ่มจากการศึกษาคุณสมบัติและประโยชน์ต่างๆที่สามารถนำมาใช้ได้จากกล้วย ซึ่งกล้วยเป็นพืชพันธุ์ธรรมชาติชนิดหนึ่งที่พบเห็นได้ทั่วไปแทบทุกภูมิภาคทั่วโลก กล้วยเป็นพืชที่เจริญเติบโตได้ง่ายและสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งต้นไม่ว่าจะเป็นในส่วนของใบกล้วย(ใบตอง) ลำต้น ผลกล้วย ดอกของต้น กาบกล้วย หรือ แม้กระทั่งรากของต้นกล้วยก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเลือกศึกษาเกี่ยวกับเส้นใยของต้นกล้วย ที่สามารถหาได้จากกาบของลำต้นของต้นกล้วย เพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติและเพิ่มประสิทธิภาพที่ได้จากเส้นใยของกล้วยให้ดียิ่งขึ้น ในทางกายภาพและทางกล

2. วัตถุประสงค์

ทำวัสดุประกอบเรซินด้วยเส้นใยกล้วย และ ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของเส้นใยกล้วยให้มีความแข็งแรงมากขึ้น

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 ลักษณะและคุณสมบัติทั่วไปของเส้นใยกล้วย

เส้นใยลำต้นเทียมของกล้วยสามารถหาได้จากกาบกล้วย มีลักษณะเป็นเส้นยาว หนาประมาณ 0.1-0.2 ซม. เป็นเส้นแห้ง มีความเหนียวปานกลาง สีน้ำตาลอ่อน เมื่อโดนความชื้นจะอ่อนตัว และ มีความเหนียวเพิ่มขึ้น ในด้านของคุณสมบัติทางกายภาพเส้นใยต้นกล้วยมีค่าของความยืดหยุ่น ความต้านทานแรงดึง และความผิ ดลักษณะของเส้นใยต้นกล้วยจะมีลักษณะเหมือนรามิและใยไผ่แต่ความสามารถในการบิดงอดีกว่ารามิและไผ่มาก มีความทนต่อน้ำทะเล

3.2 คอมโพสิต

คอมโพสิต คือการนำเอาวัสดุที่มีสมบัติแตกต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่า มาประกอบกัน สร้างเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างใหม่ โดยทั่วไปคอมโพสิตจะมีวัสดุที่เป็นเนื้อหลัก (matrix) และวัสดุเสริมแรง (reinforcement materials) ที่กระจายตัวอยู่ในเนื้อหลักนั้น วัสดุที่เป็นเนื้อหลักจะรองรับวัสดุเสริมแรงให้อยู่ในรูปร่างที่กำหนด ขณะที่วัสดุเสริมแรงจะช่วยเพิ่มหรือปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุเนื้อหลักให้สูงขึ้น ซึ่งวัสดุเสริมแรงอาจมีลักษณะเป็นเส้น ก้อน อนุภาค หรือเกล็ดก็ได้

ได้ แทรกอยู่ในวัสดุเนื้อหลัก เพื่อใช้งานเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินชีวิตประจำวัน ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของอุตสาหกรรม ซึ่งรวมถึงอากาศยาน การขนส่งทางภาคพื้นดิน ทางน้ำ บรรจุก๊าซ อุตสาหกรรมผลิตอุปกรณ์ที่มีคุณภาพมากกว่าในอดีตเช่น ไม้อัลไฟ วัสดุก่อสร้าง เรือแข่ง และงานทางด้านวิศวกรรมก่อสร้างต่างๆ วัสดุคอมโพสิต มีส่วนเหนือกว่าวัสดุดั้งเดิม อยู่หลายประการ เช่น มีค่าความแข็งแรงและความแข็งแรงสูง แต่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ ซึ่งหมายถึงเป็นวัสดุที่เบาแต่แข็งแรงกว่า ถ้าเปรียบเทียบกับความแข็งแรงต่อน้ำหนัก การขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ทำได้ง่ายและสามารถออกแบบให้เกิดประโยชน์ด้านความสวยงามควบคู่ไปกับการใช้ความรู้ด้านวิศวกรรมโครงสร้างนอกจากนั้นยังมีความได้เปรียบเรื่องความทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและสภาพอากาศ ได้ดีอีกด้วย สิ่งต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้ คอมโพสิต เป็นวัสดุที่นำมาใช้ประโยชน์ได้สูง โดยมีราคาที่เหมาะสม ถ้าเลือกใช้วัสดุพื้นฐานที่ไม่แพง เช่น ใยแก้วและใยธรรมชาติ รวมทั้งสามารถผลิตและออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบซับซ้อนใช้งานได้ดี สวยงาม และ มีอายุการใช้งานที่นาน การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ใช้คอมโพสิต จะมีความยุ่งยาก และใช้ความรู้ในหลายๆด้านมาประกอบกัน และต้องออกแบบโดยใช้วัสดุให้เหมาะสมกับการใช้งาน พร้อมทั้งกระบวนการในการใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ถูกต้อง

3.3 หลักการวิเคราะห์และคำนวณแรงดึงของชิ้นงาน

การทดสอบแรงดึงเป็นการดึงชิ้นทดสอบซึ่งทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการยืดและเป็นการกระบวนที่ทำให้ชิ้นทดสอบเกิดการเสียรูป โดยการเสียรูปเป็นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของชิ้นทดสอบจากแรงที่กระทำ การตรวจวัดการเสียรูปจะวัดจากการเปลี่ยนแปลงขนาดชิ้นทดสอบเทียบกับขนาดเริ่มต้นนั้นคือการเสียรูปจะวัดจากความยาวของระยะทดสอบ (gauge length) ที่ เปลี่ยนแปลง ไปในการทดสอบเทียบกับระยะทดสอบเริ่มต้น ระยะทดสอบ เป็นช่วงความยาวมาตรฐานที่ใช้ในการวัดระดับการยืดหรือการเสียรูปที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ

3.4 การเสียรูปแบบยืดหยุ่นและแบบถาวร

เมื่อชิ้นทดสอบได้รับแรงดึงในแกนเดียวจะเกิดการเสียรูปขึ้น และถ้าชิ้นทดสอบสามารถคืนตัวกลับไปสู่ขนาดเริ่มต้นเมื่อนำแรงที่กระทำออกไปนั้นคือชิ้นทดสอบมีการเสียรูปแบบคืนตัว(elastic deformation) [2] ขนาดของการเสียรูปแบบคืนตัวของชิ้นงานจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยเนื่องจากในระหว่างที่เกิดการเสียรูปแบบคืนตัวอะตอมของชิ้นงานจะเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมในปริมาณที่ไม่มากดังนั้นเมื่อเอาแรงที่กระทำออกไปโลหะที่เกิดการเสียรูปแบบคืนตัวอะตอมของชิ้นงานจะเคลื่อนกลับไปสู่ตำแหน่งเดิมทำให้ชิ้นงานกลับไปสู่รูปร่างเดิมถ้าชิ้นงานเกิดการเสียรูปเป็นจำนวนมากจนมันไม่สามารถกลับไปสู่รูปร่างเดิมได้อย่างสมบูรณ์แสดงว่าชิ้นงานเกิดการเสียรูปแบบถาวร(plastic deformation)

3.5 แรงเค้น(stress)

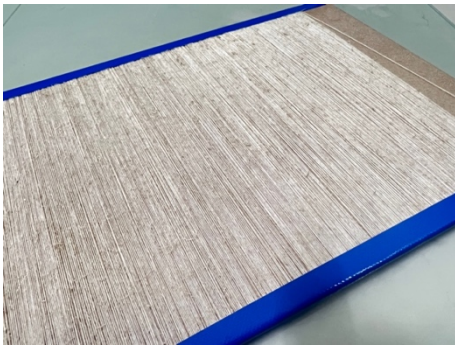
ในการทดสอบแรงดึงน้ำหนักตั้งจะแทนด้วยสัญลักษณ์ F ในหน่วยของ นิวตัน ความแข็งแรงดึงคิดเป็นน้ำหนักที่ชิ้นทดสอบสามารถทนได้ต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัดน้ำหนักเทียบกับพื้นที่หน้าตัดหนึ่งตารางเมตร [3] เรียกว่า แรงเค้น(stress, σ)

$$\text{แรงเค้น } \sigma = \frac{F (\text{แรงดึงในทางเดียวเฉลี่ย})}{A_0 (\text{พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น})}$$

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

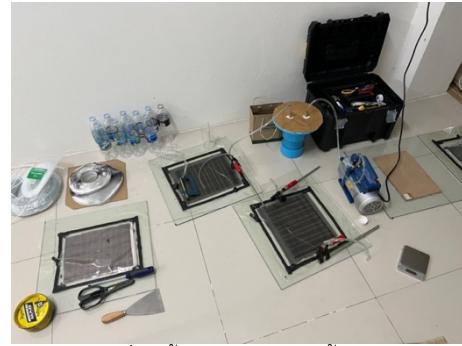
4.1 เตรียมชิ้นงาน

ในงานวิจัยนี้ขั้นตอนแรกของการเตรียมชิ้นงานในประเภทที่เป็นเส้นใยดิบ เริ่มจากการเรียงเส้นใยดิบที่ละเส้นจนออกมาเป็นผืนและใช้เทปกาวปิดหัวท้ายเพื่อให้คงลักษณะเป็นผืน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเตรียมเส้นใยดิบ

และเนื่องจากชิ้นงานที่นำมาทดสอบเป็นแผ่นเรียบตรงจึงเลือกใช้กระดาษมาเป็นโมล โดยตัดกระดาษขนาด 60x60 เซนติเมตรแล้วนำขี้ผึ้งมาทา ด้านที่จะวางเส้นใยเพื่อเวลาเลือกชิ้นงานออกจากโมลจะได้สะดวกและตัวชิ้นงานไม่ติดกับโมล จากนั้นนำชิ้นงานวางตรงกลางโมลและล้อมรอบด้วย sealant tape จากนั้นวางท่อใส่ไถ่ไว้ด้านหัวและท้ายของชิ้นงาน วาง peel ply ตาข่าย และปิดด้วย bagging film พอได้แล้วเจาะรูด้านหัวท้ายเพิ่มใส่ท่อดูดน้ำยากับท่อที่ไว้ใช้ดูดอากาศออกจากชิ้นงานและ seal ให้เรียบร้อยไม่ให้มีลมรั่วเข้าไปในชิ้นงาน หลังจากนั้นก็จะทำการผสม epoxy resin ระหว่าง Part A กับ Part B ในอัตราส่วน 100 ต่อ 35 ตามคำแนะนำของบริษัท Neotech เนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเพิ่มความแข็งแรงที่สุด ดังรูปที่ 2

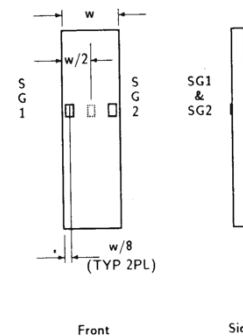


รูปที่ 2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน

หลังจากนั้นทำการเปิดเครื่อง vacuum เพื่อดูดอากาศออกจากตัวชิ้นงานให้หมดและนำท่อด้านที่ต้องการปล่อยให้ใยไหลเข้าเส้นใยมาใส่ epoxy resin ที่เราเตรียมไว้แล้วจะค่อยๆ ใยไหลเข้าผ่านเส้นใยและเมื่อ epoxy resin ใยไหลเข้าเต็มชิ้นงานแล้วก็ทำการปิดท่อหัวท้ายเพื่อให้ชิ้นงานด้านในยังเป็นสุญญากาศอยู่ รอจนกว่าชิ้นงานจะแห้งแล้วจึงค่อยแกะชิ้นงานออกจากโมล

4.2 การทดสอบชิ้นงาน

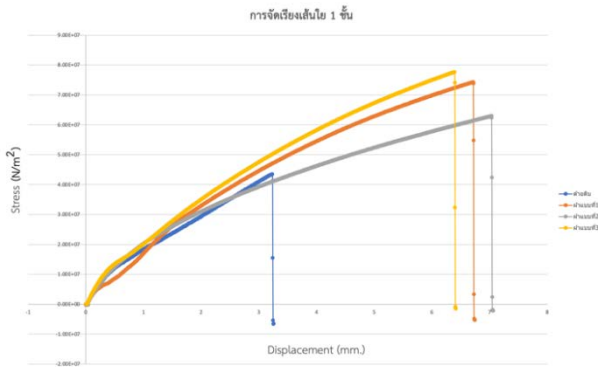
เมื่อแกะชิ้นงานออกจากโมลแล้วจะนำชิ้นงานที่ได้มาตัดตามขนาดมาตรฐาน ASTM D3039/3039M [4] โดยขนาดมาตรฐานที่ใช้คือตัวชิ้นงานที่จะนำไปทดสอบต้องมีขนาดกว้าง 25 มิลลิเมตร และมีความยาว 175 มิลลิเมตร ดังที่รูป 3



รูปที่ 3 รูปแบบชิ้นงานที่ตัดทำการทดสอบ

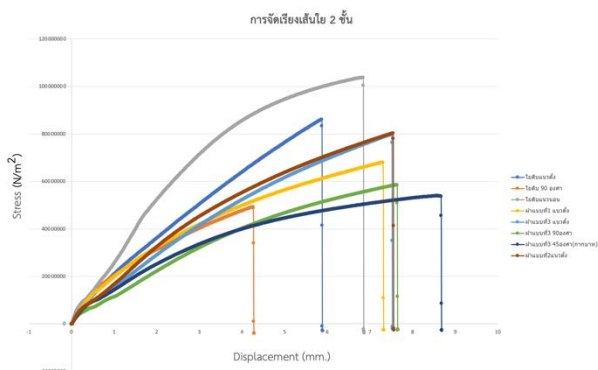
5. ผลการทดลอง

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าเส้นใยดิบที่ไม่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นผืนค่า stress ค่อนข้างต่ำกว่าเส้นใยที่ผ่านกระบวนการมาก ดังรูปที่ 4



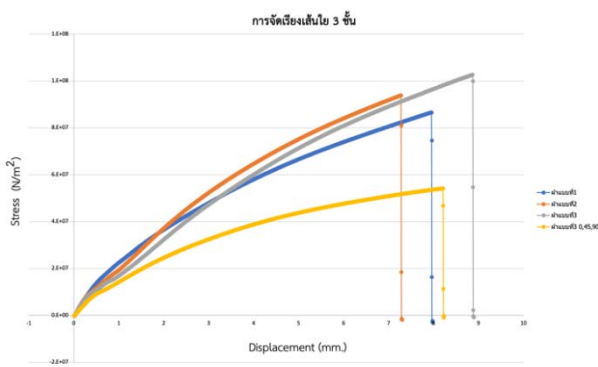
รูปที่ 4 ผลการทดลองการจัดเรียงเส้นใย 1 ชั้น

และเมื่อนำเส้นด้ายที่ไม่ผ่านกระบวนการทอมาเพิ่มจำนวนชั้น ค่า stress ก็ยังมีความแตกต่างกันอย่างมาก ไม่แตกต่างจากรูปที่ 4 ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผลการทดลองการจัดเรียงเส้นใย 2 ชั้น

จากกราฟที่ได้จากการทดสอบ Tensile จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มจำนวนชั้นของเส้นใยให้มากขึ้นค่า stress ที่ได้ก็จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นไปด้วย และรูปแบบการจัดเรียงเส้นใยที่ไปในทิศทางเดียวกับการดึงชิ้นงานของเครื่อง Tensile testing machine ทำให้ค่า stress ที่ได้มีค่ามากที่สุด ดังรูปที่ 3



รูปที่ 6 ผลการทดลองการจัดเรียงเส้นใย 3 ชั้น

6. สรุป

จากผลการทดลอง นำชิ้นงานทั้งหมด 16 แบบมาทดสอบด้วยวิธีการทดสอบ Tensile และวิเคราะห์ค่า Engineering Stress ของเส้นใย 4 ประเภท คือ เส้นใยดิบ และเส้นใยที่ผ่านกรรมวิธีการปั่นให้เป็นด้ายแล้วนำมาทอให้เป็นผืนซึ่งมีทั้งหมด 3 ขนาด ซึ่งแต่ละประเภทจะมีการนำมาซ้อนกันเป็น layers และการจัดวางรูปแบบที่ต่างกัน โดยมีแบบเส้นใยที่วางแนวเดียวกัน ตั้งฉากกัน 90 องศา และวางแบบทแยงกันให้แนวเส้นใยทำมุม 45 องศา กับเครื่อง Tensile testing machine จะเห็นได้ว่าเส้นใยดิบที่ได้ธรรมชาติมีความแข็งแรงน้อยที่สุด แต่เมื่อนำเส้นใยมาผ่านการบวนการปั่นให้เป็นด้ายความแข็งแรงจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นถึง 158.25% เมื่อเปรียบเทียบเส้นใยที่มีขนาดเท่ากันระหว่างแบบ 1 ชั้น (0.86 มิลลิเมตร) กับ 2 ชั้น (1.6 มิลลิเมตร) 2 ชั้นกับ 3 ชั้น (2.18 มิลลิเมตร) และ 1 ชั้นกับ 3 ชั้น ความแข็งแรงของเส้นใยจะมีค่าเพิ่มขึ้น 84.64% , 81.46% และ 235.06% ตามลำดับ

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความเสนอในวิชาสัมมนาฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.วิภู ศรีสืบสาย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดี กราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Biotechnology in Agriculture and Forestry – Transgenic Crops V(pp.3-34) Publisher: Springer Editors: E. C. Pua and M. R. Davey
https://www.researchgate.net/publication/291026558_Tropical_tree_legumes
- [2] Tensile Testing
old-book.ru.ac.th/e-book/m/MY318(51)/MY318-6.pdf
- [3] Assessment of the Tensile Properties for Single Fibers , Julia Cline and Vincent Wu
Oak Ridge Institute for Science and Education, Oak Ridge, TN , ARL-TR-8299_FEB 2018
- [4] Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials

การจัดการตารางการทำงานของพนักงานเซอร์วิส เพื่อลดการทำงานล่วงเวลา กรณีศึกษา: บริษัท ตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์สำหรับงานระบบเครื่องกลประกอบอาคาร

Management of Service Personnel Work Schedule to Reduce Overtime Job: A Case Study of Exclusive Distributor Company for Mechanical System Products in Building Services Market

นรินทร์ วณิชชการ^{1*} วรุฒิ หวังวัชรกุล² จุฑา พิชิตลำเค็ญ²

¹โครงการปริญญาโท สาขาการจัดการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: nirandorn.w@ku.th*

Nirandorn Wanitchakarn^{1*}, Worawut Wangwatcharakul², Juta Pichitlamken²

¹Master Program in Engineering Management, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University

E-mail: nirandorn.w@ku.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการจัดตารางงานและจำนวนพนักงานเซอร์วิสให้เหมาะสมในแต่ละประเภทงานที่มีความต้องการจำนวนและระดับความสามารถของพนักงานที่ต่างกัน เนื่องจากการจัดตารางดังกล่าวต้องคำนึงถึงปัจจัยด้านงบประมาณ มาตรฐานการปฏิบัติงาน รวมถึงปัจจัยด้านปริมาณงานและความต้องการของลูกค้าที่ไม่แน่นอน เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ โดยใช้พนักงานได้เหมาะสมทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดตารางงาน โดยบริษัทกรณีศึกษามีงานทั้งหมด 9 ประเภท และพนักงานเซอร์วิส 8 คน จากนั้นเริ่มทำการศึกษาโดยการจัดทำตารางมาตรฐานชั่วโมงการทำงาน จำนวนพนักงาน และระดับคะแนนความสามารถของพนักงานที่ต้องการในแต่ละประเภทงาน ทำการกำหนดระดับคะแนนความสามารถในแต่ละประเภทงานของพนักงานแต่ละคน นำมาจัดตารางการทำงานโดยใช้วิธีฮิวริสติก และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบผล หาวิธีที่ดีที่สุดในการจัดตารางงาน โดยผลที่ได้จากการศึกษาพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น สามารถช่วยในการจัดตารางการทำงานของพนักงานเซอร์วิสให้ใช้พนักงานได้อย่างเหมาะสมกับความต้องการของงานแต่ละประเภท และมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีฮิวริสติก

คำสำคัญ: การจัดตารางงาน พนักงานเซอร์วิส แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Abstract

The purpose of this study was to study ways to develop appropriately the schedule and number of service personnel in each job category with different needs in numbers and levels of employee competencies. To do such scheduling, many factors such as budget, operational standards, and uncertain volume of work and customer needs should be taken into account. To meet customer needs, using staff appropriately in both quantitative and qualitative aspects should be applied. The researcher, therefore, developed a mathematical model for scheduling work. The company which was the subject of this case study had nine categories of work and eight service employees. The study was started by preparing a standard working schedule, working hours, number of employees, and the level of employee competence score required in each type of work. Determining the level of competency score of each employee in each type of work was treated as the second step. The researcher then rescheduled the working schedule by using heuristics and mathematical models to compare the results and to find the best way for scheduling. The results from the study showed that the developed mathematical models were more effective than heuristic methods in scheduling the working time for service personnel and choosing the right personnel for each job category.

Keywords: Work Force Scheduling, Service Personnel, Mathematical Model

1. บทนำ

ธุรกิจรับเหมาก่อสร้างอาคารสูง นับเป็นธุรกิจหลักหนึ่งในหลายธุรกิจที่ส่งผลต่อการเติบโตของเศรษฐกิจภาพรวมของประเทศ เนื่องจากธุรกิจก่อสร้างก่อให้เกิดการหมุนเวียนเม็ดเงินไปได้ในหลายภาคส่วน ไม่ว่าจะเป็นด้านการจ้างแรงงาน พลังงาน ขนส่ง ไปจนถึงธุรกิจนำเข้าและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ที่ใช้สำหรับการก่อสร้างและงานระบบประกอบอาคาร แต่เนื่องด้วยสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันที่มีการแข่งขันทางด้านราคาเป็นอย่างมาก เป็นผลให้ผู้พัฒนาอสังหาริมทรัพย์เน้นปรับตัวในด้านการลดต้นทุนมากยิ่งขึ้น อันจะส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังหลายธุรกิจที่เกี่ยวข้อง โดยบริษัทกรณีศึกษา เป็นผู้นำเข้าและจัดจำหน่ายสินค้าสำหรับงานระบบเครื่องกลประกอบอาคาร ก็ต้องทำการปรับตัวเช่นกัน กล่าวคือต้องทำการศึกษาและทำข้อมูลเพื่อช่วยในการประเมินแผนการเพิ่มกำไร โดยการลดต้นทุนสินค้า และต้นทุนการดำเนินงาน ซึ่งถือเป็นจุดแรกที่สามารถทำได้ทันทีโดยองค์กรเอง

บริษัทกรณีศึกษา เป็นตัวแทนจัดจำหน่ายเครื่องสูบน้ำนำเข้าจากต่างประเทศมาจำหน่ายให้กับลูกค้าซึ่งเป็นกลุ่มผู้รับเหมาก่อสร้างอาคารและโรงงาน โดยภายหลังผู้รับเหมาทำการติดตั้งอุปกรณ์แล้วเสร็จ บริษัทจะจัดทีมเซอร์วิสเข้าตรวจสอบการติดตั้ง ทดสอบเดินเครื่องพร้อมตั้งค่า และสอนการใช้งานให้กับลูกค้าต่อไป โดยงานดังกล่าวถือเป็นงานหลักที่ต้องทำให้กับลูกค้าทุกโครงการ หากจัดพนักงานเข้าทำงานไม่เหมาะสมกับประเภทงาน อาจทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มจากการเข้างานซ้ำ ทั้งทางด้านค่าเดินทาง ค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงาน อันจะส่งผลให้ต้นทุนในการดำเนินงานสูงขึ้น กระทั่งไปถึงความสามารถในการแข่งขันในตลาด

ผู้วิจัยจึงได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดตารางในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ พบว่าแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดตารางส่วนใหญ่เป็นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับวิธีการอื่นๆ โดยมีข้อจำกัดที่แตกต่างกันตามลักษณะของปัญหา โดยจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่ามีงานวิจัยจำนวนน้อยมากที่พิจารณาปัญหาการจัดตารางการทำงานของพนักงานเซอร์วิส ในธุรกิจของบริษัทกรณีศึกษาที่มีข้อจำกัดของเวลาทั้งในส่วนของการต้องการระดับพนักงานในแต่ละประเภทงาน ระดับความสามารถของพนักงานในแต่ละประเภทงาน ไปจนถึงการลดงานล่วงเวลา

ดังนั้นการศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) สำหรับการจัดตารางการทำงานของพนักงานเซอร์วิส ภายใต้สมมติฐานและข้อจำกัด วัตถุประสงค์เพื่อลดการเกิดงานล่วงเวลาให้น้อยที่สุด อีกทั้งยังนำมาเปรียบเทียบกับการจัดตารางงานด้วยวิธีฮิวริสติกเพื่อหาวิธีการที่ดีที่สุดในการจัดตารางงานของพนักงานเซอร์วิสอีกด้วย

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดตารางงานของแม่บ้านในธุรกิจโรงแรม โดยณัฐนิชาและคณะ [1] ที่มีสมการวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการจ้างแม่บ้านให้ต่ำที่สุด ภายใต้สมการข้อจำกัดในการทำความเข้าใจ

สะอาดห้องพัก โดยได้นำตัวแบบทางคณิตศาสตร์มาทดสอบความถูกต้องผ่านโปรแกรม LINGO ก่อนนำไปใช้ในการจัดตารางงาน ซึ่งภายหลังการจัดตารางงานโดยตัวแบบดังกล่าว พบว่าตัวแบบช่วยลดต้นทุนการจ้างแม่บ้านได้ในทุกกรณี, การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดย Mohan [2] สำหรับการจัดตารางงานของพนักงาน Part-time มีสมการวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความพึงพอใจสูงสุดให้กับพนักงาน ภายใต้ชั่วโมงการทำงานของพนักงานแต่ละคนที่สามารถรับทำงานได้ และระดับความอาวุโสของพนักงานแต่ละคนที่แตกต่างกันไป โดยกำหนดตัวแปรขึ้นมาจากใต้สมมติฐาน 8 ประการ พบว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์ให้ผลลัพธ์ในการจัดงานที่นำพึงพอใจในปริมาณงานที่ไม่มากและลักษณะงานที่ไม่ซับซ้อน โดยเมื่อมีปริมาณงานมากขึ้น ผู้วิจัยได้ใช้อัลกอริทึมแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound Algorithm) เพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดแทนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์, การลดจำนวนแรงงานในการเกี่ยวข้าวและขนส่งข้าวโดย Busato และคณะ [3] ทดลองจัดตารางกลุ่มงานของแรงงานเกี่ยวข้าวและขนส่งข้าวผ่านโปรแกรม ExtendSim® ที่สามารถป้อนค่าพารามิเตอร์สำหรับการสร้างแบบจำลองขนาดต่างๆได้ เช่น จำนวนอุปกรณ์ ทิศทางการเกี่ยวเกี่ยว ความเร็วในการทำงาน ขนาดของพื้นที่ จากนั้นจะทำการสร้างแบบจำลองเพื่อหาจำนวนคนที่เหมาะสม ในการทดลองดังกล่าว จะทำการเปรียบเทียบแบบจำลองของนาข้าวที่มีปัจจัยต่างกันไป เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมในการทำงาน โดยผลที่ได้จากโปรแกรมพบว่าช่วยให้การเกี่ยวเกี่ยวเป็นไปตามเวลา อีกทั้งยังช่วยลดการใช้กำลังพลลงได้ถึง 12 ถึง 30% แตกต่างกันไปในแต่ละประเภทงาน, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Suer และคณะ [4] ทำการทดลองในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์สำหรับโทรศัพท์มือถือที่มีความต้องการกำลังพลและความสามารถของแรงงานในแต่ละขั้นตอนที่ต่างกันไปตามความซับซ้อนของงาน โดยงานที่ซับซ้อนไม่มากจะมีการใช้เครื่องจักรขนาดเล็กแต่ใช้คนเยอะ ในทางตรงกันข้ามงานที่ซับซ้อน จะมีการใช้เครื่องจักรเยอะแต่ใช้คนน้อย โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดการเกิดงานล่าช้า ผู้วิจัยได้ทำการจัดงานตามรูปแบบการหมุนเวียนกำลังพลทั้งหมด 3 รูปแบบ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าในการจัดการกำลังพล, ฮิวริสติกสองขั้นตอนที่ใช้ในการจัดตารางพยาบาล โดย Wong และคณะ [5] ที่มีวัตถุประสงค์ในการลดความเครียดจากการทำงานหนักของพยาบาล เริ่มจากการจัดโดยวิธีฮิวริสติก จัดพนักงานตามระดับอาวุโสและความสามารถในการดูแลงาน และนำมาเปรียบเทียบกับการจัดงานด้วยวิธี 0-1 Programming พบว่า วิธี 0-1 Programming ให้ผลลัพธ์ดีกว่าการจัดด้วยวิธีฮิวริสติก, การใช้โปรแกรมแบบจำลองในการจัดขั้นตอนการทำงานของโครงการก่อสร้างโดย Wan และคณะ [6] ได้ใช้วิธีการ Generic system dynamics model structure เปรียบเทียบผลคะแนนกับการใช้ซอฟต์แวร์จำลองระบบไดนามิก iThink™ ในงานโครงการก่อสร้างที่มีกระบวนการทำงานหลายขั้นตอนที่ต่อเนื่องกัน วัตถุประสงค์เพื่อหาเครื่องมือที่ช่วยลดการทำงานซ้ำในแต่ละขั้นตอน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความล่าช้าสำหรับงานในขั้นตอน

ต่อไป โดยผลที่ได้จากการใช้ซอฟต์แวร์นั้น ให้คะแนนเป็นที่น่าพึงพอใจมากกว่าวิธีการ Generic system dynamics model

ทั้งนี้จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถแก้ปัญหาการจัดตารางพนักงานของบริษัทกรณีศึกษาได้โดยตรง ผู้วิจัยจึงนำมาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อให้บริษัทนำไปใช้งานได้

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 รวบรวมข้อมูลการจัดตารางงานของพนักงานเชอร์วิส

รวบรวมประวัติการจัดงาน ของพนักงานเชอร์วิสย้อนหลัง 1 ปี (พ.ศ. 2565) เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์การจัดตารางงาน ด้วยวิธีฮิวริสติกและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.2 กำหนดรายละเอียดในการวิเคราะห์ผล

3.2.1 การจัดทำตารางมาตรฐานการทำงานของงานแต่ละรูปแบบ

การจัดทำตารางมาตรฐานชั่วโมงการทำงาน จำนวนคน และระดับคะแนนความสามารถของพนักงานที่ต้องใช้ในการทำงานแต่ละประเภท โดยงานที่มีอยู่ทั้งหมด 9 ประเภท มีความต้องการแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางมาตรฐานชั่วโมงการทำงาน จำนวนคน และระดับคะแนนความสามารถของพนักงานที่ต้องใช้ในการทำงานแต่ละประเภท

ประเภทงาน	สินค้า	จำนวน และระดับคะแนนของพนักงานที่ต้องการ	ชั่วโมงการทำงานที่ต้องการ
Test Run	Fire Pump	(3) Low, Med, High	2
	Sanitary Pump	(2) Low, High	2
	HVAC Pump	(2) Low, High	2
Commissioning	Fire Pump	(3) Low, Med, High	4
	Sanitary Pump	(2) Low, High	2
	HVAC Pump	(3) Low, Med, Med	4
Training	Fire Pump	(2) Low, Med	4
	Sanitary Pump	(2) Low, Med	2
	HVAC Pump	(2) Low, High	4

3.2.2 การกำหนดระดับคะแนนความสามารถของพนักงานเชอร์วิสทั้ง 8 คน ในงานแต่ละประเภท

หลังจากกำหนดความต้องการกำลังพลและระดับคะแนนความสามารถของพนักงานในแต่ละงานได้แล้ว จะทำการกำหนดระดับคะแนนความสามารถของพนักงานทั้ง 8 คน ตั้งแต่พนักงานระดับอาวุโสคนแรกไปจนถึงพนักงานระดับปฏิบัติการคนสุดท้ายในแต่ละรูปแบบงาน โดยคะแนนระดับความสามารถจะแบ่งเป็นระดับสูง กลาง และต่ำ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ระดับคะแนนความสามารถของพนักงานในแต่ละประเภทงานและประเภทสินค้า

ประเภทงาน	สินค้า	พนักงานอาวุโส 1	พนักงานอาวุโส 2	พนักงานอาวุโส 3	พนักงานอาวุโส 4	พนักงานปฏิบัติการ
Test Run	Fire Pump	High	Med	High	Med	Low
	Sanitary Pump	High	High	High	High	Med
	HVAC Pump	Med	High	Med	High	Low
Commissioning	Fire Pump	High	Med	High	Med	Med
	Sanitary Pump	High	High	High	High	Low
	HVAC Pump	Med	Med	Med	High	Med
Training	Fire Pump	High	Med	Med	Med	Low
	Sanitary Pump	Med	High	High	High	Med
	HVAC Pump	High	High	Med	Med	Low

3.2.3 กำหนดตัวเลขแทนชื่องานทั้ง 9 ประเภท และค่าระดับคะแนนความสามารถของพนักงาน

แทนค่าตัวเลขลงในตารางที่ 1 โดยชื่องานแต่ละประเภทของแต่ละสินค้า จะถูกแทนด้วยเลข 1 ถึง 9 ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 3 ชื่อของพนักงานอาวุโสจะถูกแทนด้วยตัวย่อ SE และชื่อของพนักงานปฏิบัติการ จะถูกแทนด้วยตัวย่อ ST ส่วนค่าระดับคะแนนความสามารถของพนักงานในแต่ละงาน จะถูกแทนด้วยตัวเลขเพื่อนำไปใช้ทำวิธีฮิวริสติกและแก้ปัญหาด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์ แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ตารางมาตรฐานชั่วโมงการทำงาน จำนวนคน และระดับคะแนนความสามารถของพนักงาน ที่ต้องใช้ในการทำงานแต่ละประเภทที่ถูกแทนด้วยตัวเลข

ประเภทงาน	ระดับคะแนนของพนักงานที่ต้องการ	ระดับคะแนนรวมของพนักงานที่ต้องการ	จำนวนพนักงานที่ต้องการ	ชั่วโมงการทำงานที่ต้องการ
1	3,2,1	6	3	2
2	3,1	4	2	2
3	3,1	4	2	2
4	3,2,1	6	3	4
5	3,1	4	2	2
6	2,2,1	5	3	4
7	2,1	3	2	4
8	2,1	3	2	2
9	3,1	4	2	4

ตารางที่ 4 ระดับคะแนนความสามารถของพนักงานในแต่ละประเภทงานและประเภทสินค้าที่แทนด้วยตัวย่อและตัวเลข

ประเภทงาน	สินค้า	SE 1	SE 2	SE 3	SE 4	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4
Test Run	1	3	2	3	2	1	1	2	1
	2	3	3	3	3	2	2	1	2
	3	2	3	2	3	1	2	1	1
	4	3	2	3	2	2	1	1	1
Commissioning	5	3	3	3	3	1	2	2	1
	6	2	2	2	3	2	1	1	2
	7	3	2	2	2	1	1	1	1
Training	8	2	3	3	3	2	1	2	1
	9	3	3	2	2	1	2	1	1

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยวิธีวิริสติก

นำข้อมูลระดับคะแนนความสามารถของพนักงาน และการกำหนดตัวเลขตำแหน่งแต่ละประเภท มาทดลองจัดงานด้วยวิธีวิริสติก ภายใต้สมมติฐาน (Assumption) ที่ใช้ในการจัดงานดังนี้

1. พนักงานเซอร์วิสแต่ละคนแยกกันเดินทางไปยังแต่ละโครงการ
2. กำหนดให้มีพนักงานระดับอาวุโสอย่างน้อย 1 คนในแต่ละงาน
3. เวลาและจำนวนคนที่ใช้ในแต่ละงานเป็นไปตามตารางมาตรฐานที่บริษัทกรณีศึกษากำหนดขึ้นมา
4. วิเคราะห์ข้อมูลเฉพาะงานในเขตกรุงเทพและปริมณฑลเท่านั้น
5. พนักงานแต่ละคนทำงานไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน
6. คะแนนรวมของพนักงานที่จัดไปในแต่ละงานต้องไม่น้อยกว่าคะแนนรวมที่ต้องการในแต่ละงาน ตามตารางมาตรฐาน
7. จัดงานเรียงตามลำดับความสำคัญของงานจากงานที่ 1 ถึง 9

3.4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดตารางการทำงานของพนักงานเซอร์วิส ภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลา ผู้วิจัยได้มีการกำหนดสัญลักษณ์และความหมายของตัวแปรเพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำเสนอ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ดัชนี (Indices)

- n : ดัชนีแทนจำนวนงานที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน
- i : ดัชนีแทนลำดับของงาน i
- j : ดัชนีแทนลำดับของพนักงาน j

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameters)

- m_i : จำนวนคนที่ต้องใช้ในงาน i
- t_{ij} : เวลาที่พนักงาน j ใช้ในการทำงาน i
- A_{ij} : ระดับคะแนนของพนักงาน j ในการทำงาน i
- S_i : ผลรวมคะแนนพนักงานที่ต้องการในงาน i

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

- K_i : $K_i = 1$ ถ้านงาน i จัดให้ทำในช่วงเช้า และถ้า $K_i = 0$ งาน i ไม่ได้จัดให้ทำในช่วงเช้า
- X_{ij} : $X_{ij} = 1$ พนักงาน j จะทำงาน i และถ้า $X_{ij} = 0$ พนักงาน j จะไม่ได้ทำงาน i
- Y_j : $Y_j = 1$ จะเลือกพนักงาน j เข้าทำงาน และถ้า $Y_j = 0$ จะไม่เลือกพนักงาน j เข้าทำงาน

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j=1}^8 y_j \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{j=1}^8 X_{ij} = m_i ; \forall_i \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n t_{ij} X_{ij} \leq 8 ; \forall_j \quad (3)$$

$$\sum_{j=5}^8 X_{ij} \leq m_i - 1 ; \forall_i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} \leq M Y_j ; \forall_j \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^8 A_{ij} X_{ij} \geq S_i ; \forall_i \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n t_{ij} K_i X_{ij} \leq 4 ; \forall_j \quad (7)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} ; \forall_{i,j} \quad (8)$$

$$Y_j \in \{0,1\} ; \forall_j \quad (9)$$

$$K_i \in \{0,1\} ; \forall_i \quad (10)$$

สมการวัตถุประสงค์ (1) แสดงวัตถุประสงค์เพื่อจัดจำนวนพนักงานเซอร์วิสเข้างานให้น้อยที่สุด โดยมีสมการข้อจำกัด ได้แก่ สมการที่ (2) ความต้องการจำนวนพนักงานเข้าทำงานในงานแต่ละแบบ สมการที่ (3) เวลาในการทำงานของพนักงานเซอร์วิสทุกคนในแต่ละวัน จะต้องไม่เกิน 8 ชั่วโมง สมการที่ (4) ในการจัดคนเข้าทำงานแต่ละงาน จะต้องไม่พนักงานเซอร์วิสระดับอาวุโสอยู่ด้วยอย่างน้อย 1 คน สมการที่ (5) เป็นสมการเชื่อมความสัมพันธ์ระหว่าง X_{ij} และ Y_j หาก X_{ij} มีค่ามากกว่าศูนย์ Y_j จะมีค่าเป็น 1 สมการที่ (6) ระดับคะแนนรวมของพนักงานเซอร์วิสทุกคนที่ถูกจัดไปในแต่ละงาน จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับระดับคะแนนรวมที่ต้องการในแต่ละงาน สมการที่ (7) พนักงานเซอร์วิสแต่ละคนจะทำงานไม่เกินคนละ 4 ชั่วโมงในช่วงเช้า สมการที่ (8) (9) และ (10) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจไม่มีค่าเป็นศูนย์หรือหนึ่งเท่านั้น โดยในสมการที่ (7) มีตัวแปรตัดสินใจ K_i และ X_{ij} อยู่ในรูปผลคูณ ทำให้สมการเงื่อนไขนี้อยู่ในรูปที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Equation)

3.5 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model Method)

นำข้อมูลความต้องการปริมาณและระดับความสามารถของพนักงาน มาทำการจัดตารางโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ภายใต้สมมติฐานเดียวกันกับการจัดด้วยวิธีอิวิริสติก และมีสมการที่ (2) ถึงสมการที่ (10) เป็นสมการข้อจำกัด โดยใช้เครื่องมือ Evolutionary ใน Excel Solver เพื่อแก้ตัวแบบที่ไม่ได้อยู่ในรูปแบบสมการเชิงเส้น จะไดตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 1

Job (j)	พนักงาน (i)				จำนวน	ระยะเวลา	เวลาที่ใช้โดยคนงาน แลคนงาน (ij)										
	SE1	SE2	SE3	SE4			ST1	ST2	ST3	ST4	SE1	SE2	SE3	SE4	ST1	ST2	ST3
1	1	3	2	2	1	1	7	1	3	6	7	7	7	2	2	2	2
2	3	2	3	1	2	1	1	2	4	7	2	2	2	2	2	2	2
3	4	3	2	3	1	2	1	1	2	4	7	2	2	2	2	2	2
4	4	3	2	3	2	2	1	1	1	3	6	4	4	4	4	4	4
5	5	3	3	3	1	2	2	1	2	4	4	2	2	2	2	2	2
6	8	2	3	3	2	1	2	1	2	3	7	2	2	2	2	2	2
7	9	3	2	2	1	2	1	1	2	4	4	4	4	4	4	4	4
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Objective :		SE1	SE2	SE3	SE4	ST1	ST2	ST3	ST4	Min
		1	1	1	1	1	1	1	1	7

Binary	SE1	SE2	SE3	SE4	ST1	ST2	ST3	ST4	จำนวนที่จัด	จำนวนที่ต้องการ	Linking Constraint
0	1	0	0	1	0	0	0	0	3	=	3
1	2	0	0	1	0	1	0	0	2	=	2
1	3	0	1	0	0	0	0	0	2	=	2
1	4	0	0	1	0	1	0	0	2	=	3
0	5	0	0	1	0	0	0	0	2	=	2
1	6	0	1	0	0	0	0	0	2	=	2
0	7	0	1	0	0	0	0	1	2	=	2
1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0
1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0

รูปที่ 1 ตัวอย่างผลการจำลองการจัดตารางงานโดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผ่านเครื่องมือ Evolutionary ใน Excel Solver

โดยจากการใช้เครื่องมือ Excel Solver ในการจัดตารางงานนั้น ช่วยทำให้การจัดพนักงานในแต่ละงานเป็นไปตามตารางเวลามาตรฐานการทำงานขององค์กร อีกทั้งยังเกิดงานล่วงเวลาน้อยลงกว่าการจัดงานแบบปัจจุบันและวิธีอิวิริสติก

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลที่ได้จากการจัดตารางงานโดยวิธีอิวิริสติก

จากการจัดงานด้วยวิธีอิวิริสติก ภายใต้เงื่อนไขและสมมติฐานที่ถูกต้อง กำหนดไว้ลงในปริมาณงานตามวันตัวอย่าง โดยวิธีอิวิริสติก ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการจัดคนเข้าทำงานงานในปัจจุบันที่ไม่มีแบบแผน เช่น ผลรวมของคะแนนพนักงานไม่ได้ตามมาตรฐาน ไม่มีพนักงานระดับอาวุโสในแต่ละงาน ทำให้งานเสร็จล่าช้า เกิดงานล่วงเวลา ซึ่งวิธีอิวิริสติกมีแนวทางและหลักเกณฑ์ที่ช่วยให้ผู้จัดตารางงาน สามารถจัดพนักงาน

เข้าทำงานได้เหมาะสมกับความต้องการของงานแต่ละประเภท ช่วยลดการเกิดงานล่วงเวลาได้ดีกว่าแบบปัจจุบัน แสดงดังตารางที่ 5 ตารางที่ 5 เปรียบเทียบระดับคะแนนรวมในแต่ละงาน ระหว่างการใช้วิธีอิวิริสติกกับการจัดตารางในปัจจุบัน

วันที่	ประเภทงาน	ระดับคะแนนของพนักงานที่ต้องการ	ระดับคะแนนของพนักงานที่มีอยู่	จัดตามแบบปัจจุบัน	คะแนนรวมของพนักงานการจัดแบบปัจจุบัน	จัดตามโดยอิวิริสติก	คะแนนรวมของพนักงานการจัดโดยอิวิริสติก
3/6/2022	1	3,2,1	6	SE2 ST4 ST1	5	SE1 SE2 ST1	6
3/6/2022	3	3,1	4	SE3 ST3	3	SE4 ST3	4
3/6/2022	3	3,1	4	SE1 ST2	4	SE2 ST4	4
3/6/2022	4	3,2,1	6	SE1 ST2	4	SE3 SE4 ST2	6
3/6/2022	5	3,1	4	ST1 ST3	5	SE1 ST1	4
3/6/2022	8	2,1	3	SE4 ST4	4	ST3 ST4	3
3/6/2022	9	3,1	4	ST2 ST3	2	SE3 ST2	4

4.2 ผลที่ได้จากการจัดตารางงานโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ภายหลังจากทำการจัดตารางงานด้วยวิธีอิวิริสติกแล้ว ผู้วิจัยจึงทำดำเนินการจัดตารางงานด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผ่านเครื่องมือ Evolutionary ใน Excel Solver โดยได้ผลลัพธ์ของตัวแปรตัดสินใจแสดงดังรูปที่ 2

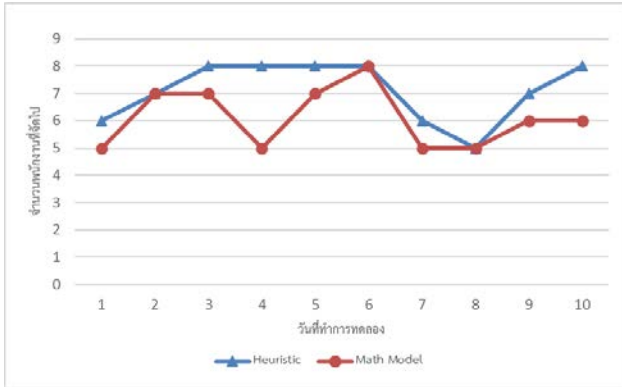
Objective :		SE1	SE2	SE3	SE4	ST1	ST2	ST3	ST4	Min
		1	1	1	1	1	1	1	1	7

Binary	SE1	SE2	SE3	SE4	ST1	ST2	ST3	ST4	จำนวนที่จัด	จำนวนที่ต้องการ	Linking Constraint
0	1	0	0	1	0	0	0	0	3	=	3
1	2	0	0	1	0	1	0	0	2	=	2
1	3	0	1	0	0	0	0	0	2	=	2
1	4	0	0	1	0	1	0	0	2	=	3
0	5	0	0	1	0	0	0	0	2	=	2
1	6	0	1	0	0	0	0	0	2	=	2
0	7	0	1	0	0	0	0	1	2	=	2
1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0
1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	=	0

รูปที่ 2 ผลลัพธ์ตัวแปรตัดสินใจที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการจัดตารางแบบปัจจุบัน อิวิริสติก และการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในการทดลองนี้จะนำผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดตารางงานด้วยวิธีอิวิริสติก มาเปรียบเทียบกับการจัดตารางงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ภายใต้สมมติฐานและข้อจำกัดเดียวกัน เพื่อหาวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการจัดตารางงาน โดยผู้วิจัยพบว่าการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ให้ผลลัพธ์ในการจัดตารางงานที่ดีกว่าการจัดงานด้วยวิธีอิวิริสติก กล่าวคือ สามารถช่วยในการจัดพนักงานให้เป็นไปตามตารางการทำงานมาตรฐานของบริษัทกรณีศึกษา ทั้งคะแนนรวมจำนวนคน และจำนวนพนักงานอาวุโสอย่างน้อย 1 คนในแต่ละงานสามารถช่วยลดการใช้จำนวนพนักงานได้ดีกว่าการจัดงานด้วยวิธีอิวิริสติก เฉลี่ยถึง 14 เปอร์เซ็นต์ และตัวอย่างทดลอง ไม่มีวันใดที่การจัดโดยวิธีอิวิริสติกจะสามารถจัดได้ดีกว่า แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิเปรียบเทียบการจัดจำนวนพนักงานในแต่ละงานระหว่างการใช้อัลกอริทึมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

5. สรุปผลการวิจัย

เนื่องด้วยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางพัฒนาการจัดตารางงานและจำนวนพนักงานเซอร์วิสให้เหมาะสมในแต่ละประเภทงานที่มีความต้องการจำนวนและระดับความสามารถของพนักงานที่ต่างกัน จากการพัฒนาการจัดตารางงานโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ภายใต้สมมติฐานและข้อจำกัดในเชิงนโยบาย และกำลังพลของบริษัทกรณีศึกษา อีกทั้งยังมีปัจจัยความไม่แน่นอนของปริมาณงานที่จะเข้ามาในแต่ละสัปดาห์ เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการที่ไม่แน่นอนของลูกค้าได้นั้น พบว่าการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ช่วยในการจัดตารางงานให้ใช้พนักงานเข้าทำงานในแต่ละวันน้อยกว่าการจัดโดยวิธีฮิวริสติกและการจัดงานแบบปัจจุบันที่ไม่มีความชัดเจนด้านตารางมาตรฐานการทำงาน ทำให้พนักงานที่ไม่ได้ถูกจัดไปงานตามตาราง สามารถเตรียมตัวรองรับงานด่วนที่อาจจะมีเข้ามาในแต่ละวันได้ ถือเป็นการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าในด้านการบริการหลังการขาย อันจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของบริษัทกรณีศึกษาได้เป็นอย่างดีในระยะยาว

6. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ปัจจุบันการแข่งขันด้านต้นทุนในทุกอุตสาหกรรมมีแนวโน้มจะสูงมากขึ้นเรื่อยๆ ต้นทุนด้านกำลังพลถือเป็นต้นทุนที่สำคัญไม่แพ้ต้นทุนด้านอื่น หากบริหารจัดการต้นทุนกำลังพลได้ดี จะส่งผลกำไรให้องค์กรเพิ่มขึ้น โดยตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาสามารถช่วยในการจัดการปริมาณกำลังพลของบริษัทกรณีศึกษาได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังนำไปเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้กับการจัดตารางกำลังพลในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้อีกด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วรภูมิ หวังวัชรกุล อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก และรองศาสตราจารย์ จุฑา พิษิตลำเค็ญ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะการค้นคว้าวิจัยครั้งนี้

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สาขาการจัดการวิศวกรรมทุกท่าน ที่มอบความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการใช้งาน

ขอขอบคุณบริษัท แมสเทค ลิ่งค์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์และสนับสนุนข้อมูลสำหรับงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด และขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ที่คอยสนับสนุน จนทำให้งานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ณัฐนิชา อิ่มน้ำขาว. 2566. การจัดตารางการทำงานทำความสะอาดห้องพักของแม่บ้านในโรงแรมภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลา, วารสารวิจัย มช. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) ปีที่ 23 ฉบับที่ 1: มกราคม-มีนาคม 2566
- [2] Mohan, S. 2008. Scheduling Part-time Personnel with Availability Restrictions and Preferences to Maximize Employee Satisfaction. Mathematical and Computer Modelling 48: 1806–1813.
- [3] Busato, P. and R. Berruto. 2016. Minimising Manpower in Rice Harvesting and Transportation Operations. Biosystems Engineering 151: 435-445.
- [4] Suer, G.A., K. Kamat, E. Mese. and J. Huang. 2013. Minimizing Total Tardiness Subject to Manpower Restriction in Labor-intensive Manufacturing Cells. Mathematical and Computer Modelling 57: 741–753.
- [5] Wong, T.C.^{a*}, M. Xu^b, K.S. Chin^b. 2014. A Two-stage Heuristic Approach for Nurse Scheduling Problem: A Case Study in an Emergency Department. Computers & Operations Research 51: 99–110.
- [6] Wan,^{a*} S.K.M., M. Kumaraswamy^b, D.T.C. Liu^c. 2011. Dynamic Modelling of Building Services Projects: A Simulation Model for Real-life Projects in the Hong Kong Construction Industry. Mathematical and Computer Modelling 57: 2054-2066.

**การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมท่อต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน
ASTM A106 Gr.B และเหล็กกล้าไร้สนิม ASTM A312 TP316/316L ด้วยลวดเชื่อม
AWS A5.22 R309LT1-5 และ AWS A5.9 ER309L โดยกระบวนการ GTAW
Study on Mechanical Properties and Microstructure of Dissimilar Pipe Joining Between ASTM
A106 Gr.B Carbon Steel and ASTM A312 TP316/316L Stainless Steel with
AWS A5.22 R309LT1-5 and AWS A5.9 ER309L Filler Metal by GTAW**

ทศพล ประทาน ภิศักดิ์ เลิศวิจิตรพันธ์ุ ธนาภรณ์ ทนโนนแดง*
ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเชื่อม คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: thanaporn.t@cit.kmutnb.ac.th*

Tossapon Pratan, Pisak Lertvijitpun, Thanaporn Thonondaeng*
Department of Welding Engineering Technology, Faculty of College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: thanaporn.t@cit.kmutnb.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมท่อต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A106 Gr. B และเหล็กกล้าไร้สนิม ASTM A312 TP316/316L โดยกระบวนการ GTAW ด้วยลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT1-5 ซึ่งเป็นลวดเชื่อมไส้ฟลักซ์ที่ปราศจากการใช้แก๊สรองหลังจำนวน 2 รอยต่อ และ AWS A5.9 ER309L ที่ใช้แก๊สรองหลัง 2 รอยต่อ จากนั้นทั้ง 4 รอยต่อจะใช้แนวเติมและแนวทับหน้าด้วยลวด AWS A5.9 ER 309L ผลการทดลองพบว่า เมื่อดำเนินการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ วิธีสารแทรกซึม และวิธีการถ่ายภาพรังสี ชิ้นงานทั้ง 4 รอยต่อ ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021 จากนั้นทดสอบสมบัติทางกล และตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อม ผลการทดสอบแรงดึงพบว่า การเชื่อมแนวรากด้วยโลหะเติมแต่ละประเภทมีค่าความต้านทานแรงดึงเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยทุกชิ้นงานทดสอบเกิดรอยขาดบริเวณนอกรอยเชื่อม การทดสอบการดัดโค้งไม่ปรากฏความไม่ต่อเนื่องของเนื้อวัสดุ ผลการทดสอบความแข็ง พบว่าบริเวณรอยเชื่อมแนวรากและแนวทับหน้าของชิ้นงานทั้ง 4 รอยต่อมีค่าใกล้เคียงกัน นอกจากนี้พบว่าโครงสร้างจุลภาคของรอยเชื่อมมีเนื้อพื้นเป็นออสเทนไนต์ และตรวจพบโครงสร้างเฟอไรต์ในช่วง 4.5-5.76% ซึ่งไม่เสี่ยงต่อการแตกร้าวร้อน

คำสำคัญ: ท่อเหล็กกล้าคาร์บอน ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนแก๊สปกคลุม การเชื่อมวัสดุต่างชนิดกัน

Abstract

This research studies on mechanical properties and microstructure of dissimilar pipe joining between ASTM A106 Gr. B carbon steel and ASTM A312 TP316/316L stainless steel by GTAW process with AWS A5.22 R309LT1-5 flux core filler rod (without backing gas) 2 joints and AWS A5.9 ER309L filler rod (with backing gas) 2 joints, then all 4 joints have been welded by AWS A5.9 ER309L filler rod for fill and cover pass. The result found that all 4 joints pass the ASME BPVC IX-2021 acceptance criteria for visual inspection, penetrant test, and radiographic test. The tensile test result shows that the tensile strength of weld joints that were joined with a different kind of filler rod is similar, the fracture area occurred out of the weld metal. The bent test specimen was free from discontinuity of material and the hardness of all 4 joints was similar. Moreover, the microstructure of weld metal was predominantly austenite, 4.5-5.76% of delta ferrite appeared on the weld metal which is not susceptible to hot cracks.

Keywords: Carbon steel pipe, Stainless steel pipe, GTAW, Dissimilar joining

1. บทนำ

วัสดุที่มีรอยต่อโลหะต่างชนิดกัน มีการใช้งานในอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมระบบท่อน้ำมัน ท่อแก๊ส ถึงแรงดัน หม้อต้มไอน้ำ อุปกรณ์เปลี่ยนถ่ายความร้อน เป็นต้น [1] ซึ่งมีข้อดี คือ สามารถประหยัดต้นทุนในการผลิต การเชื่อมรอยต่อโลหะต่างชนิดที่มีสมบัติแตกต่างกัน ควรมีการเลือกใช้กระบวนการเชื่อม ลวดเชื่อม การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ถึงแม้การเชื่อมรอยต่อโลหะต่างชนิดสามารถทำให้เกิดรอยต่อที่สมบูรณ์ได้ แต่สมบัติบางประการของโลหะเชื่อมอาจเปลี่ยนแปลง [2] เช่น การลดความสามารถในการยึดตัว การลดความแข็งแรง โครงสร้างจุลภาคในการเชื่อมวัสดุมีการเปลี่ยนแปลง เป็นต้น อุตสาหกรรมมีการทดแทนเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกด้วยเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ในตำแหน่งที่ไม่ต้องการสมบัติพิเศษของเหล็กกล้าไร้สนิม เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิต ด้วยเหตุนี้ในปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่ทำการศึกษารายละเอียดของรอยต่อโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าไร้สนิมและเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ด้วยการเลือกกระบวนการเชื่อมและพารามิเตอร์การเชื่อมที่เหมาะสม [3] การเชื่อมวัสดุประเภทเหล็กกล้าไร้สนิม จะต้องใช้แก๊สรองหลัง (Backing gas) บริเวณแนวรากเพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์ และไม่ให้อากาศเข้าไปในช่องว่างของรอยต่อ ปริมาณโครเมียม การก่อให้เกิดออกไซด์ มีผลทำให้ขาดความสมบูรณ์และลดความต้านทานการกัดกร่อนในแนวเชื่อม [4] ซึ่งปัจจุบันมีการเริ่มพัฒนาคุณสมบัติลวดเชื่อมมาตรฐาน AWS A5.22 R309LT1-5 ให้มีผงฟลักซ์ภายในลวดเชื่อมทิก โดยไม่ต้องใช้แก๊สรองหลัง ซึ่งเมื่อลวดเชื่อมถูกหลอมละลาย ผงฟลักซ์ในลวดเชื่อมจะถูกหลอมกลายเป็นสแลคทำหน้าที่ปกคลุมแนวเชื่อมราก ทดแทนการใช้แก๊สรองหลัง ทำให้ลดกระบวนการขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์แก๊สรองหลัง และประหยัดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต

จากเหตุผลดังกล่าว ผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษา การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุม เชื่อมชิ้นงานแนวราก ด้วยลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT1-5 ปราศจากแก๊สรองหลัง และการเชื่อมชิ้นงานแนวราก ด้วยลวดเชื่อม AWS A5.9 ER309L ใช้แก๊สอาร์กอนรองหลัง เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างจุลภาคของการเชื่อมท่อต่างชนิดกันระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A106 Gr.B และเหล็กกล้าไร้สนิม ASTM A312 TP316/316L

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้

วัสดุที่ใช้ในการทดลอง คือ ท่อเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A106 Gr.B และท่อเหล็กกล้าไร้สนิม ASTM A312 TP316/316L ขนาดของชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 168.3 mm ความหนา 7.11 mm ความยาว 150 mm ใช้ลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT1-5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.2 mm และลวดเชื่อม AWS A5.9 ER 309L ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.4 mm ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุซึ่งได้จากการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุด้วยวิธี Emission Spectroscopy และ

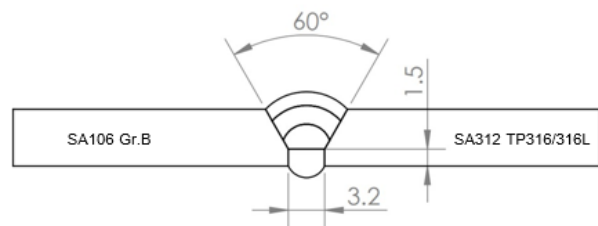
ส่วนประกอบทางเคมีของลวดเชื่อม (จากบริษัทผู้ผลิตลวดเชื่อม) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของวัสดุและลวดเชื่อม [5]

Material	Composition %								
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	P	S
ASTM A106 Gr.B	0.19	0.24	1.05	0.02	0.04	0.02	0.01	0.012	0.004
ASTM A312 TP316/316L	0.015	0.38	1.41	11.11	16.76	0.25	2.06	0.031	0.009
AWS A5.22 R309LT1-5	0.02	0.8	1.4	12.1	23.7	0.04	0.02	0.02	0.01
AWS A5.9 ER309L	0.01	0.42	1.7	13.5	23.3	0.05	0.04	0.02	0.01

2.2 ขั้นตอนการเชื่อม

เตรียมรอยต่อชนบากร่องวี (V-Groove Butt Joint) ขนาดมุมรวม 60 องศา Root Face 1.5 mm และ Root Opening 3.2 mm ดังรูปที่ 1 กระบวนการเชื่อมที่ใช้ในการทดลองคือการเชื่อมทิก เชื่อมด้วยตำแหน่งท่าเชื่อม 6G ตามมาตรฐาน AWS เป็นตำแหน่งการวางชิ้นงานเอียงประมาณ 45°กับระดับพื้น เชื่อมตามพารามิเตอร์ที่กำหนด ดังตารางที่ 2



รูปที่ 1 การเตรียมรอยต่อ

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์กระบวนการเชื่อม GTAW

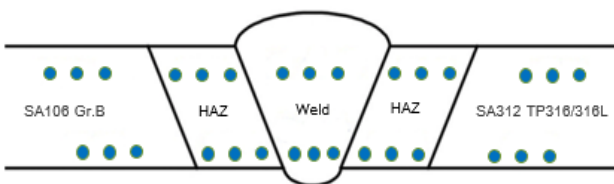
Specimens	Pass	Electrode or Filler		Ampere (A)	Volt (V)	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
		Type	Size (mm)				
P1	Root	ER 309L	2.4	95/DCEN	9.5	4.12	13.14
	Hot	ER 309L	2.4	105/DCEN	8.9	4.64	12.08
	Filler	ER 309L	2.4	110/DCEN	9.2	5.71	11.00
	Cover	ER 309L	2.4	115/DCEN	9.7	5.53	12.10
P2	Root	R309LT1-5	2.2	95/DCEN	10.4	3.39	17.49
	Hot	ER 309L	2.4	105/DCEN	9.3	4.36	13.55
	Filler	ER 309L	2.4	110/DCEN	9.0	4.13	14.44
	Cover	ER 309L	2.4	115/DCEN	10.0	4.69	14.71
P3	Root	ER 309L	2.4	105/DCEN	10.8	4.25	16.09
	Hot	ER 309L	2.4	115/DCEN	10.0	5.34	12.98
	Filler	ER 309L	2.4	125/DCEN	9.6	4.17	17.19
	Cover	ER 309L	2.4	130/DCEN	10.5	5.03	16.35
P4	Root	R309LT1-5	2.2	105/DCEN	10.4	2.63	24.88
	Hot	ER 309L	2.4	115/DCEN	8.8	4.8	12.64
	Filler	ER 309L	2.4	125/DCEN	9.2	4.57	15.14
	Cover	ER 309L	2.4	130/DCEN	9.7	5.55	13.63

2.3 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพ

หลังจากทำการเชื่อมชิ้นงาน นำชิ้นงานไปทำการตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพ ได้แก่ วิธีการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจ (Visual Testing) พิจารณาความไม่สมบูรณ์และวัดความนูนของตำแหน่งแนวเชื่อมที่ 3, 6, 9 และ 12 นาฬิกา ด้วยเกจวัดแนวเชื่อม วิธีการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (Liquid Penetrant Testing) ใช้สารเคมีในการทำความสะอาดผิวบริเวณรอยเชื่อม จากนั้นใช้สารแทรกซึมพ่นลงพื้นผิวทิ้งไว้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นทำความสะอาดนำสารแทรกซึมออก และพ่นน้ำยา developer ทิ้งไว้อีก 10 นาที และทำการตรวจสอบความไม่ต่อเนื่องที่ผิววัสดุ จากนั้นทำการตรวจสอบความสมบูรณ์ภายในรอยเชื่อมด้วยการถ่ายภาพรังสี (Radiographic Testing) โดยใช้รังสีแกมมา และใช้เทคนิคการถ่ายภาพผ่านผนังคู่ทดสอบผนังเดียว (Double wall single image) จากนั้นทำการประเมินผลโดยใช้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021

2.4 การทดสอบสมบัติทางกล

ในการทดลองนี้ทำการทดสอบทางกล โดยเตรียมชิ้นงานตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021 [6] ได้แก่ การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เตรียมชิ้นงานตาม QW-462.1(b) ความยาว 250 mm ความกว้าง 31 mm ส่วนแนวบริเวณแนวเชื่อมมี 25 mm และความกว้างบริเวณแนวเชื่อม 19 mm จำนวน 8 ชิ้น การทดสอบการดัดโค้ง (Bending Test) เตรียมชิ้นงานตาม QW-462.3(a) ความยาว 150 mm ความกว้าง 38 mm จำนวน 16 ชิ้น นอกจากนี้เตรียมชิ้นงานการทดสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vickers hardness test) โดยใช้แรงกดทดสอบขนาด 1 kgf ใช้เวลา 10 วินาที ทดสอบความแข็ง 3 บริเวณคือ โลหะงาน (Base Metal) บริเวณผลกระทบทางความร้อน (Heat Affected Zone : HAZ) และบริเวณเนื้อเชื่อม (Weld Metal) ทั้งนี้ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง แสดงดังรูปที่ 2

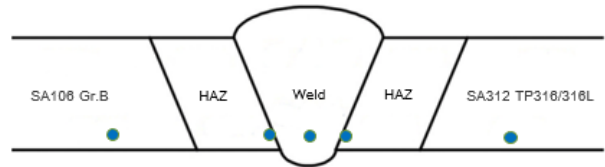


รูปที่ 2 ตำแหน่งการทดสอบความแข็ง

2.5 การตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

นำชิ้นงานมาตัดขวางเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของรอยเชื่อมโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ชิ้นงานทำการขึ้นเรือนด้วยเรซิน เริ่มจากขัดผิวหน้าชิ้นงานด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180-1200 หลังจากนั้นทำการขัดมันด้วยผงอะลูมินาขนาด 0.3 ไมครอน ทำการกัดกรดชิ้นงานโดยใช้สารละลาย Villera's reagent (picric acid(1g)+HCl(5mL)+ethanol(100mL)) โดยทำการจุ่มชิ้นงาน

เป็นเวลา 3-5 นาที จากนั้นทำการล้างทำความสะอาดและทำให้แห้ง โดยตำแหน่งที่ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคแสดงดังรูปที่ 3

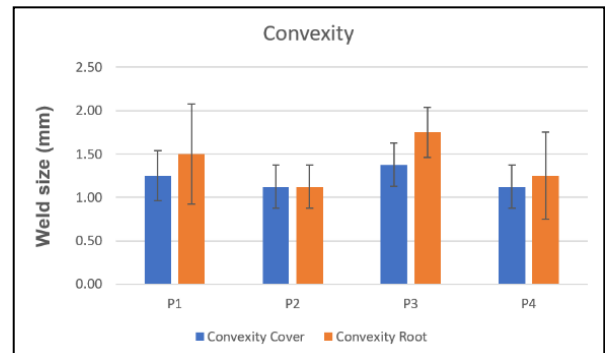


รูปที่ 3 ตำแหน่งจุดตรวจสอบบริเวณแนวรอก

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

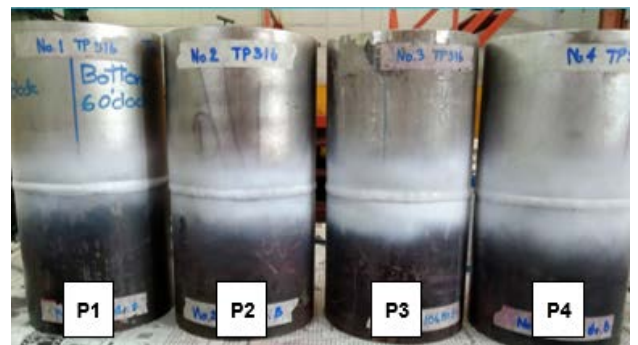
3.1 การตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพ

จากการทดสอบด้วยวิธีการตรวจสอบโดยพินิจ โดยชิ้นงานลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT1-5 มีความนูนของแนวเชื่อมเฉลี่ย ต่ำกว่า ชิ้นงานลวดเชื่อม AWS A5.9 ER 309L เล็กน้อย ดังรูปที่ 4



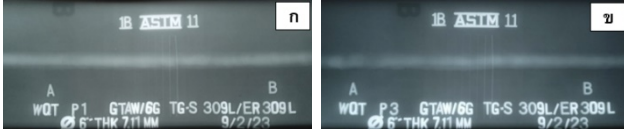
รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบความนูนของแนวเชื่อมทับหน้าและแนวเชื่อมรากของแต่ละชิ้นงาน

ผลการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม ชิ้นงาน P1, P2, P3 และ P4 ไม่ปรากฏความไม่ต่อเนื่อง ดังรูปที่ 5 ชิ้นงานทุกชิ้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานการยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021

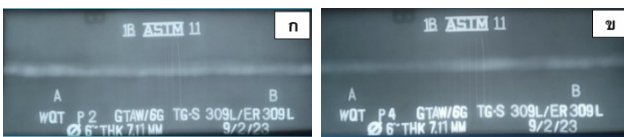


รูปที่ 5 การตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม

การถ่ายภาพรังสี ผลการทดสอบทุกชิ้นงาน ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021 ชิ้นงานลวดเชื่อม AWS A5.9 ER 309L แสดงดังรูปที่ 6 และชิ้นงานลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT-1-5 ดังรูปที่ 7



รูปที่ 6 ภาพถ่ายด้วยรังสี ก) ชิ้นงาน P1 และ ข) ชิ้นงาน P3 ลวดเชื่อม AWS A5.9 ER 309L



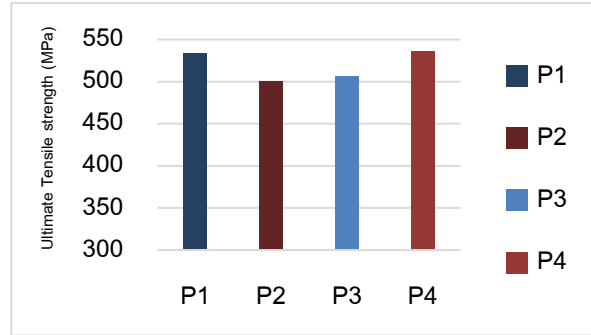
รูปที่ 7 ภาพถ่ายด้วยรังสี ก) ชิ้นงาน P2 และ ข) ชิ้นงาน P4 ลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT-1-5

3.2 ผลการทดสอบแรงดึง

การทดสอบแรงดึงของแนวเชื่อม พบว่า ชิ้นงานเชื่อมทุกชิ้นงาน มีตำแหน่งรอยขาดนอกแนวเชื่อมบริเวณเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A106 Gr.B แสดงดังรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า เนื้อเชื่อมมีความแข็งแรงมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างชิ้นงานเชื่อมด้วยลวดเชื่อมและพารามิเตอร์ของงานเชื่อม พบว่าค่าต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของชิ้นงาน P1 = 534.03 MPa, P2 = 500.31 MPa, P3 = 505.47 MPa และ P4 = 535.38 MPa ซึ่งชิ้นงานเชื่อมทุกชิ้น ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021 และมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แสดงดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบแรงดึง



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบค่าต้านทานแรงดึงสูงสุด

3.3 ผลการทดสอบการดัดโค้ง

จากผลการทดสอบการดัดโค้งของชิ้นงานเชื่อมด้วยลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT-1-5 ปรากฏจากแก๊สกรองหลัง และชิ้นงานเชื่อมด้วยลวดเชื่อม AWS A5.9 ER309L ใช้แก๊สกรองหลัง พบว่าการดัดโค้งของชิ้นทดสอบแนวราก (Root Bend) และแนวทับหน้า (Face Bend) สามารถถูกดัดโค้งได้ 180 องศา โดยไม่ปรากฏรอยแตกร้าว และไม่พบจุดบกพร่องบริเวณส่วนโค้งของชิ้นงานและบริเวณรอยเชื่อม ชิ้นงานทุกชิ้นผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021 แสดงดังรูปที่ 10 ดังนั้นพารามิเตอร์ในการเชื่อมที่กำหนดมีความเหมาะสม สอดคล้องกับวัสดุและลวดเชื่อม



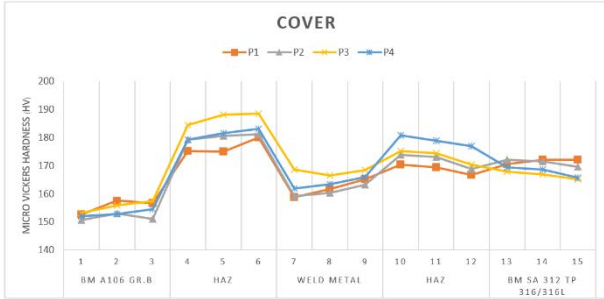
รูปที่ 10 ชิ้นงานที่ผ่านการทดสอบการดัดโค้ง

3.4 ผลการทดสอบความแข็ง

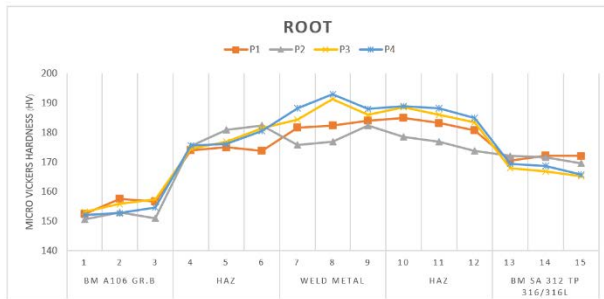
จากผลการทดสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ของชิ้นงานเชื่อม แบ่งออกเป็น 3 บริเวณ คือ โลหะงาน บริเวณผลกระทบทางความร้อน และบริเวณเนื้อเชื่อม ค่าความแข็งแนวทับหน้า พบว่า มีค่าความแข็งสูงสุด อยู่บริเวณผลกระทบทางความร้อนของวัสดุ ASTM A106 Gr.B แสดงดังรูปที่ 11 เนื่องจากการเกิดพฤติกรรมเกิดผลึกใหม่ (recrystallization) มีการเรียงตัวของเกรนที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น และค่าความแข็งแนวราก พบว่ามีค่าความแข็งสูงสุดอยู่บริเวณเนื้อเชื่อม และบริเวณผลกระทบทางความร้อน แสดงดังรูปที่ 12 เนื่องจากบริเวณเนื้อเชื่อมแนวรากมีสัดส่วนเกิดการเจือจาง (Dilution) สูงที่สุดค่าความแข็งจึง

ใกล้เคียงกับบริเวณกระทบร้อนของ ASTM A312 TP316/316L ส่วนบริเวณกระทบร้อนของวัสดุ ASTM A106 Gr.B มีความแข็งลดลงเนื่องจากได้รับความร้อนซ้ำจากการเชื่อมแนวเดิมและแนวทับหน้า [7,8]

บริเวณขอบเขตการหลอมละลายเป็นแบบ Non-epitaxial Growth เนื่องจากโลหะงาน และโลหะเติมมีโครงสร้างพื้นฐานเป็น BCC และ FCC ที่แตกต่างกันตามลำดับ



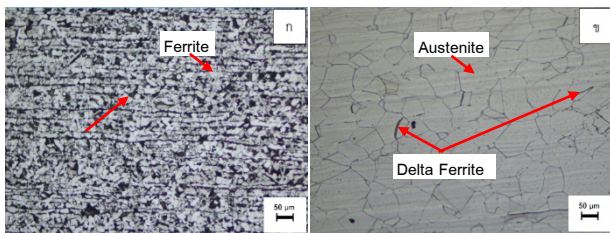
รูปที่ 11 ค่าความแข็งแนวทับหน้า



รูปที่ 12 ค่าความแข็งแนวราก

3.5 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

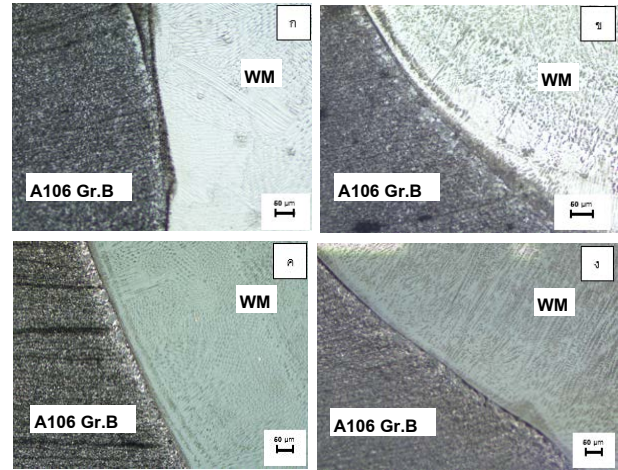
โครงสร้างจุลภาคของตำแหน่งจุดตรวจสอบ บริเวณโลหะงาน แสดงดังรูปที่ 13 โดยพบว่าโครงสร้างจุลภาคของโลหะงานเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A106 Gr.B ประกอบไปด้วย เฟอร์ไรต์ (Ferrite) และเพิร์ลไลต์ (Pearlite) ดังรูปที่ 13 ก) และโลหะงานเหล็กกล้าไร้สนิม ASTM A312 TP316/316L มีโครงสร้างเป็น ออสเทนไนต์ (Austenite) และเดลต้าเฟอร์ไรต์ (Delta ferrite) อยู่ในช่วง 0.11-0.22 % ดังรูปที่ 13 ข)



รูปที่ 13 โครงสร้างจุลภาคของโลหะงาน

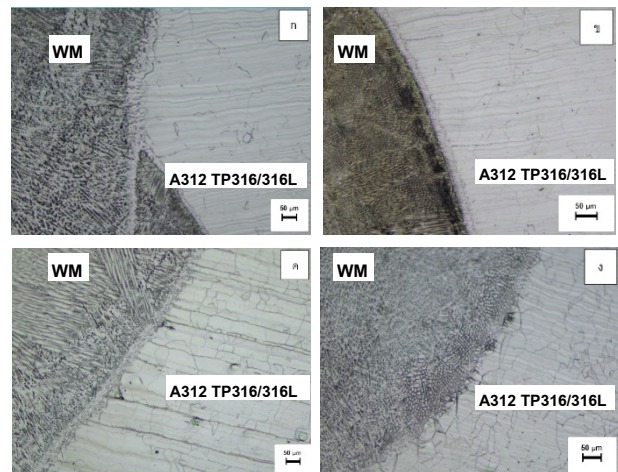
ก) ASTM A106 Gr.B และ ข) ASTM 312 TP316/316L

โครงสร้างจุลภาคของบริเวณผลกระทบทางความร้อน (Heat-Affected Zone) ของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A106 Gr.B สำหรับรอยต่อ P1-P4 แสดงดังรูปที่ 14 โดยโครงสร้างจุลภาคประกอบด้วย เฟอร์ไรต์ และเพิร์ลไลต์โดยลักษณะการเกิดโครงสร้างของรอยเชื่อม



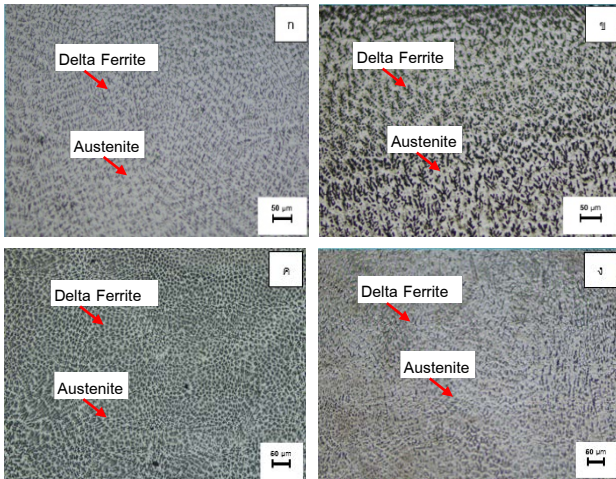
รูปที่ 14 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณ HAZ ของ ASTM A106 Gr.B ก) ชั้นงาน P1 ข) ชั้นงาน P2 ค) ชั้นงาน P3 และ ง) ชั้นงาน P4

โครงสร้างจุลภาคของบริเวณผลกระทบทางความร้อน (Heat-Affected Zone) ของเหล็กกล้าไร้สนิม ASTM A312 TP316/316L มีโครงสร้างพื้นฐานเป็นออสเทนไนต์ และมีเฟอร์ไรต์ในบริเวณนี้อยู่ในช่วง 1.36-1.92% ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 โครงสร้างจุลภาคบริเวณ HAZ ของ A312 TP316/316L ก) ชั้นงาน P1 ข) ชั้นงาน P2 ค) ชั้นงาน P3 และ ง) ชั้นงาน P4

โครงสร้างจุลภาคของบริเวณรอยเชื่อม มีปริมาณเฟอร์ไรต์ของชั้นงาน เท่ากับ 4.50-5.76% ประกอบไปด้วย เดนดริติก (Dendritic) ของเดลต้าเฟอร์ไรต์บนพื้นออสเทนไนต์ แสดงดังรูปที่ 16 ซึ่งการมีเดลต้าเฟอร์ไรต์อยู่ในปริมาณดังกล่าวจะช่วยทำให้ขณะทำการเชื่อมสามารถป้องกันการแตกร้าร้อน (Hot Crack) ได้อย่างเหมาะสม [8]



รูปที่ 16 โครงสร้างจุลภาคของบริเวณรอยเชื่อม
ก) ชั้นงาน P1 ข) ชั้นงาน P2 ค) ชั้นงาน P3 และ ง) ชั้นงาน P4

4. สรุปผล

- พารามิเตอร์ที่กำหนดในการเชื่อม เมื่อตรวจสอบแบบไม่ทำลายสภาพ ผ่านตามเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC.IX-2021
- ค่าความหนาของแนวเชื่อมเฉลี่ยลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT1-5 มีค่าต่ำกว่าชั้นงานลวดเชื่อม AWS A5.9 ER 309L เล็กน้อย
- ค่าต้านทานแรงดึงสูงสุด มีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ
- การทดสอบตัดโค้งของชั้นงานพบว่าลวดเชื่อม ทั้ง 2 ชนิด มีความสามารถในการตัดโค้งที่ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC.IX-2021
- การทดสอบความแข็งบริเวณแนวรอก พบว่าค่าความแข็งสูงสุดอยู่บริเวณเนื้อเชื่อม และบริเวณผลกระทบทางความร้อน ของชั้นงานลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT1-5 ที่กระแสไฟเชื่อม 105 แอมแปร์
- การทดสอบความแข็งบริเวณแนวทับหน้า พบว่าค่าความแข็งสูงสุดอยู่บริเวณผลกระทบทางความร้อน ของเหล็กกล้าคาร์บอน ASTM A106 Gr.B ที่กระแสไฟเชื่อม 105 แอมแปร์
- โครงสร้างจุลภาคของเนื้อเชื่อมทั้ง 4 รอยต่อพบว่าโครงสร้างจุลภาคประกอบไปด้วยออสเทนไนต์ และมีเดลต้าเฟอร์ไรต์กระจายตัวอยู่เพียงพอที่จะป้องกันการแตกร้าร้อน
- ลวดเชื่อม AWS A5.22 R309LT1-5 สามารถเชื่อมแนวรอก ทำให้ลดกระบวนการขั้นตอนในการเตรียมอุปกรณ์แก๊สรองหลัง และประหยัดค่าใช้จ่ายในกระบวนการผลิต

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ไทย โกเบลโก้ เวลดิง จำกัด และบริษัท ไทย นิปปอน สตีล เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชั่น คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่มอบวัสดุในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Kamel Touileb, Rachid Djoudjou, and Ubair Abdus Samad, Comparative Microstructural, Mechanical and Corrosion Study between Dissimilar ATIG and Conventional TIG Weldments of 316L Stainless Steel and Mild Steel, 2022
- [2] M.F.Mamat, E.Hamzah, Z.Ibrahim, Rohah A.M. and A.Bahador, Effect of Filler Metals on the Microstructures and Mechanical Properties of Dissimilar Low Carbon Steel and 316L Stainless Steel Welded Joints, 2015
- [3] Ilham Arifin Pahlawan, Effect of welding electrode variation on dissimilar metal weld of 316l stainless steel and steel ST41, Materials Science and Engineering · January 2021
- [4] Thainox Stainless Public Company Limited, Stainless Steel Welding Process, 2019
- [5] Kobelco Welding Handbook, Kobe Steel, LTD.
- [6] ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code Section IX 2021
- [7] Yun Luo, Wenbin Gu, Wei Peng, and Qiang Jin, A Study on Microstructure Residual Stresses and Stress Corrosion Cracking of Repair Welding on 304 Stainless Steel: Part I- Effects of Heat Input, 2020
- [8] John C. Lippold and Damian J. Kotecki, Welding Metallurgy and Weld ability of Stainless Steel, 2005

การเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดระหว่าง ADC3 และ AA5052 โดยการเชื่อมเสียดทานแบบกวน Dissimilar Aluminum Joining of ADC3 and AA5052 by Friction Stir Welding

สินินาฏ บัวงาม ศุภรัช สังข์ทอง สมลักษณ์ อุบลวัตร พร้อมพงษ์ ปานดี
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
E-mail: phrompong.pan@mail.kmutt.ac.th*

Sininad Buangam, Supatas Sangthong, Somluk Ubonwat, Phromphong Pandee*
Department of Production Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi
E-mail: phrompong.pan@kmutt.ac.th*

บทคัดย่อ

การเชื่อมเสียดทานแบบกวนเป็นกระบวนการเชื่อมในสภาวะของแข็ง ซึ่งมีความร้อนเข้าสู่แนวเชื่อมต่ำ และไม่มีส่วนประกอบที่เป็นโลหะผสมถูกเพิ่มเข้าไปในแนวเชื่อม การเชื่อมแบบกวนด้วยแรงเสียดทานสามารถเชื่อมได้ทั้งวัสดุชนิดเดียวกันและต่างชนิดกัน การเชื่อมประกอบระหว่างโลหะอะลูมิเนียมผสมหล่อและโลหะอะลูมิเนียมรีดขึ้นรูปมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในหลากหลายอุตสาหกรรม งานวิจัยนี้เป็นการเชื่อมโลหะอะลูมิเนียมผสมหล่อเกรด ADC3 และโลหะอะลูมิเนียมผสมรีดเกรด AA5052 ภายใต้ความเร็วรอบในการหมุนของหัวเชื่อม 1500-2100 รอบต่อนาที และใช้ความเร็วในการเดินเชื่อม 500-600 มิลลิเมตรต่อนาที โดยในส่วนของพารามิเตอร์อื่น ๆ จะกำหนดให้มีค่าคงที่ ทำการตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาค ความแข็ง และขนาดของรูที่เกิดขึ้นภายในเนื้อเชื่อม ลักษณะโครงสร้างทางจุลภาคของรอยเชื่อมแสดงให้เห็นถึงโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนในอะลูมิเนียมหล่อ ADC3 มีขนาดเล็กลงในบริเวณที่เกิดการกวนของเนื้อโลหะ จากการตรวจสอบทางโลหวิทยาเผยให้เห็นรูภายในรอยเชื่อม โดยบริเวณที่มีการเกิดรูคือบริเวณด้านแอดวานซ์ ซึ่งนอกจากนี้การตรวจสอบค่าความแข็งของรอยเชื่อมตามเงื่อนไขต่าง ๆ พบว่า แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดย ADC3 มีค่าความแข็งมากกว่า AA5052 เนื่องจาก ADC3 มีปริมาณของซิลิคอนผสมอยู่มากจึงส่งผลทำให้มีความแข็งสูง

คำสำคัญ: อะลูมิเนียมผสมซิลิคอน เชื่อมเสียดทานแบบกวน โครงสร้างทางจุลภาค การเชื่อมแบบต่อเกลย

Friction stir welding (FSW) is a solid-stage welding process in which the heat entering the weld is low, and no alloying elements are added to the weld. The friction stir welding can weld both single and different materials. Assembly consisting of cast and wrought aluminum alloys has wide-spread application in many industries. In the present study, ADC3 and AA5052 aluminum alloys were friction stir welded under tool rotational speeds of 1500-2100 rev/min and traversing speeds of 500-600 mm/min, keeping other parameters the same. The microstructure, microhardness, and porosity defects were investigated. Microstructure characterization of the bonded assemblies reveals the breaking of the coarse eutectic silicon network in the stirring zone. Metallographic examination revealed some porosity within the weld nugget. The area where the porosity is formed is on the advancing side. Additionally, the hardness of the weld nugget based on various conditions is not significantly different. ADC3 is harder than AA5052 because it contains a significant quantity of silicon, which results in a high hardness.

Keywords: Aluminum-silicon alloy, Friction Stir Welding, Microstructure, Lap joint

1. บทนำ

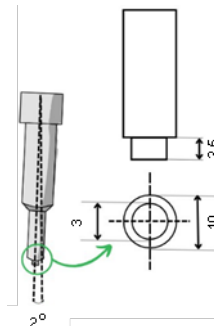
ปัจจุบันอะลูมิเนียมซึ่งเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-ferrous metals) สามารถพบได้ทั่วไปในชีวิตประจำวันและเป็นโลหะที่มีมากเป็นอันดับสามของโลก ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลายซึ่งในประเทศไทยก็มีแนวโน้มในการใช้งานอะลูมิเนียมมากยิ่งขึ้น จึงถือได้ว่าอุตสาหกรรมอะลูมิเนียมมีความสำคัญในการผลิตชิ้นเศรษฐกิจของประเทศไทยให้ขับเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยเช่นกัน ทั้งในด้านอุตสาหกรรมการก่อสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ และกลุ่มเครื่องใช้ไฟฟ้า [1] เนื่องจากอะลูมิเนียมสามารถทนต่อการกัดกร่อนและการเกิดสนิมได้ดี มีความเหนียวสูง สามารถทำการกลึงไสตัดเจาะได้ง่าย มีอุณหภูมิหลอมเหลวต่ำประมาณ $660\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2] มีความหนาแน่นต่ำ น้ำหนักเบา สามารถนำไฟฟ้าได้ดี และมีความแข็งแรงสูง แต่อะลูมิเนียมมีข้อเสียคือมีจุดหลอมเหลวต่ำ ทำให้การเชื่อมอะลูมิเนียมด้วยการเชื่อมแบบหลอมละลายทั่วไปส่งผลให้รอยเชื่อมมีสมบัติทางกลต่ำ อีกทั้งการเชื่อมแบบหลอมละลายของอะลูมิเนียมผสมนั้นทำได้ยากเนื่องจากเกิดข้อบกพร่องในการเชื่อม เช่น โพรงอากาศ และการเสียรูปจากการเชื่อม ซึ่งเป็นผลมาจากค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อนของอะลูมิเนียมผสมที่สูง จึงส่งผลให้สมบัติทางกลลดลงเช่นกัน [3] และในปัจจุบันการเชื่อมเสียดทานแบบกวน (Friction Stir Welding) ซึ่งเป็นกระบวนการเชื่อมแบบโซลิดสเตตที่ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย The Welding Institute ในปี 1991 ได้ใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่นั้นมาโดยเฉพาะในด้านอะลูมิเนียม [4] ส่งผลให้กระบวนการเชื่อมนี้ประสบความสำเร็จในการใช้งานด้านอุตสาหกรรมอะลูมิเนียมอย่างมาก [5] เพราะการเชื่อมในลักษณะนี้ให้สมบัติทางกลของแนวเชื่อมที่ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเชื่อมแบบหลอมละลายทั่วไป และการเชื่อมเสียดทานแบบกวนยังมีข้อดีคือสามารถเชื่อมอะลูมิเนียมได้หลายเกรด และมีหลักการที่ไม่ยุ่งยาก ดังนั้นงานเชื่อมด้วยวิธีนี้ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยเฉพาะกลุ่มสหภาพยุโรป เนื่องจากเป็นกระบวนการที่สำคัญสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิต การประกอบ การซ่อมบำรุง และงานอื่น ๆ ได้

โดยในกรณีศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่างอะลูมิเนียมต่างชนิดกันคือ ADC3 และ AA5052 ที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งนำไปเป็นแท่นชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในส่วนของกล่องแผงวงจรที่ต้องรับความร้อน แรงดันของน้ำในการหล่อเย็น และการกักความร้อนจากน้ำหล่อเย็น ในทำนองเดียวกันอะลูมิเนียม ADC3 เป็นอะลูมิเนียมผสมซิลิคอนหล่อ (Al-Si-Mg) ซึ่งมีสมบัติที่ทนทานต่อการสึกหรอ มีความแข็งแรงต่อการล้าตัวสูง มีความยืดตัวสูง มีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง และทนความร้อนได้ดี ส่วนอะลูมิเนียม AA5052 เป็นอะลูมิเนียมผสมแมกนีเซียมรีด (Al-Mg) ที่ทนต่อการกัดกร่อนได้ดีมาก ความแข็งแรงต่อการล้าตัวสูง สามารถเชื่อมได้ดี มีความแข็งแรงปานกลาง และมีความเหนียวสูง [6] อะลูมิเนียมทั้งสองเกรดนี้จึงเหมาะสมอย่างมากในการนำมาเชื่อมเสียดทานแบบกวน เพื่อนำไปเป็นอุปกรณ์เสริมในการทำแท่นชาร์จ

รถยนต์ไฟฟ้า แต่การเชื่อมเสียดทานแบบกวนของ ADC3 และ AA5052 ยังมีกรณีศึกษาที่น้อยมาก โดยเฉพาะการเชื่อมอะลูมิเนียมแบบต่อเกย (Lap joint) การหาสภาวะที่เหมาะสมในการเชื่อมอะลูมิเนียมต่างเกรด ADC3 และ AA5052 จึงถือเป็นเรื่องที่ยาก และเพื่อให้ได้คุณภาพของรอยเชื่อมที่ดี จำเป็นต้องมีการทดสอบสมบัติต่าง ๆ อย่างครบถ้วนก่อนการนำไปใช้งานจริง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการทดสอบสมบัติทางกล และตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคของรอยเชื่อมระหว่าง ADC3 และ AA5052 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเชื่อมอะลูมิเนียมสองชนิดนี้

2. ขั้นตอนการดำเนินงาน

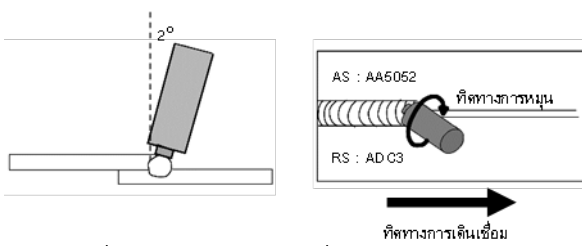
การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อที่จะเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดกันระหว่าง ADC3 และ AA5052 โดยเครื่องเชื่อมเสียดทานแบบกวน ซึ่งมีขนาดของชิ้นงาน $31.7 \times 25.4 \times 6$ เซนติเมตร โดยวิธีการเชื่อมเสียดทานแบบกวนต่อเกย (Friction Stir Lap Welding) ด้วยเครื่องเชื่อมเสียดทานแบบกวน รุ่น Sooncable - TS850 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเชื่อม 3 มิลลิเมตร ความยาวของหัวเชื่อม 2.5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของปากหัวเชื่อม 10 มิลลิเมตร มีความเอียงของหัวเชื่อมอยู่ที่ 2° และแรงกดขณะเชื่อม 1.8 kN ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หัวเครื่องมือของเครื่องเชื่อม (มิลลิเมตร)

โดยมีรายละเอียดขององค์ประกอบทางเทคนิคการเดินเชื่อม ทิศทางการหมุนของหัวพิน และการระบุด้านแอดวานซ์ (Advancing side: AS) และด้านรีทรีตติ้ง (Retreating side: RS) ตามรูปที่ 2 การตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียม ADC3 และ AA5052 ด้วยเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ (Spark Optical Emission Spectroscopy) ค่าตามตารางที่ 1 สำหรับการเตรียมชิ้นงานเพื่อตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาจะทำการขัดผิวชิ้นงานตัวอย่างด้วยกระดาษทรายเบอร์ 180, 400, 500, 800, 1000 และ 1200 จากนั้นทำการขัดเงาด้วยผงเพชร (Diamond suspension) ขนาด 3 ไมโครเมตร และสารแขวนลอยออกไซด์ (Oxide polishing suspension: OPS) ขนาด 0.25 ไมโครเมตร และขั้นตอนสุดท้ายคือการกัดกรดด้วยกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 5 วินาที เพื่อนำไปทำการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยาของรอยเชื่อมด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง ซึ่งประกอบไปด้วยโครงสร้างทางจุลภาคที่สมบูรณ์ของรอยเชื่อม

และขนาดของรูที่เกิดขึ้นในรอยเชื่อม จากนั้นจึงทำการเตรียมชิ้นงานเพื่อทดสอบความแข็งของรอยเชื่อมโดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งแบบไมโครวิกเกอร์ ใช้ภาระกรรมในที่ 1 กิโลกรัม ใช้เวลาในการกด 5 วินาที โดยทำการทดสอบค่าความแข็งบริเวณโลหะฐานจำนวน 5 ครั้ง และบริเวณที่เกิดการกวนของเนื้อโลหะจำนวน 5 ครั้ง การกำหนดสภาวะในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนแสดงดังตารางที่ 2 และจากงานวิจัย [7] พบว่ามีการกำหนดความเร็วรอบในการหมุนของหัวเชื่อมคือ 1500, 1800 และ 2100 rev/min แต่เป็นการเชื่อมที่สภาวะความเร็วในการเชื่อมต่ำ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการศึกษาการเชื่อมเสียดทานแบบกวนในสภาวะความเร็วในการเชื่อมสูง เพื่อเพิ่มความเร็วในการผลิต และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรมในการผลิตจำนวนมากได้



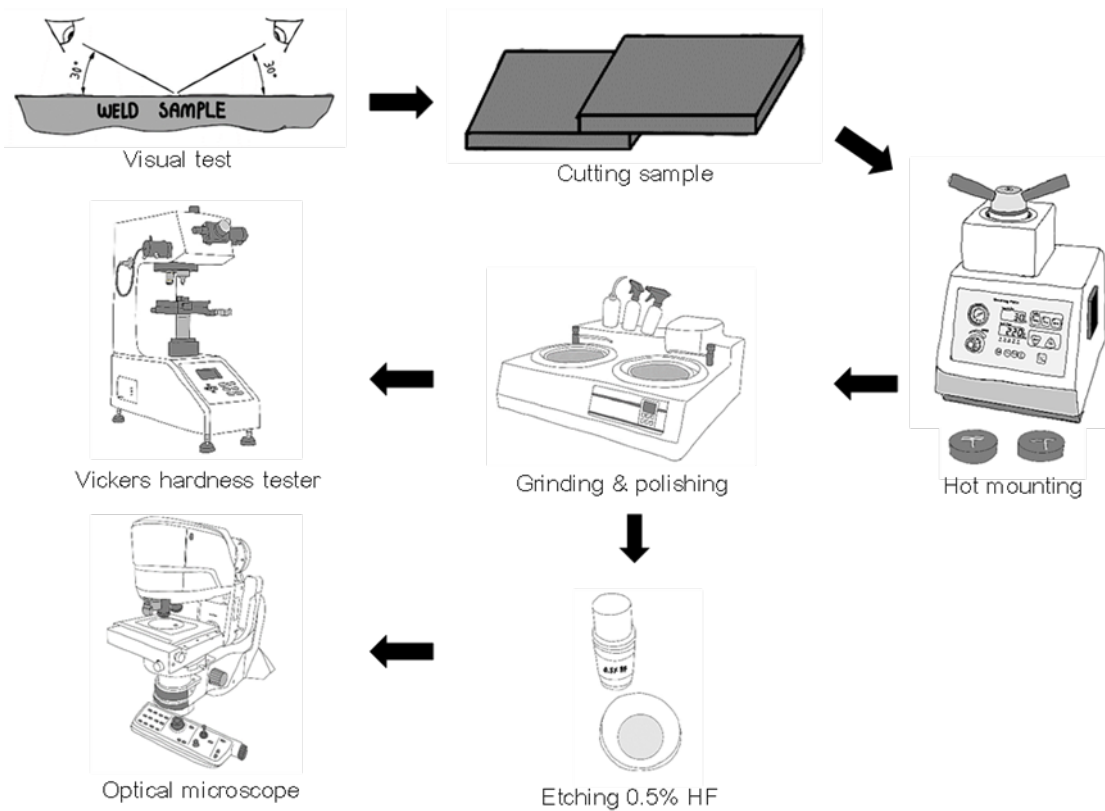
รูปที่ 2 รายละเอียดของการเชื่อมเสียดทานแบบกวน

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของอะลูมิเนียม ADC3 และ AA5052

	Weight percent					
	Cu	Si	Mg	Fe	Ni	Cr
AA5052	0.01	0.13	2.78	0.19	0.001	0.20
ADC3	0.58	10.27	0.51	1.06	0.05	0.04

ตารางที่ 2 สภาวะที่ใช้ในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนของอะลูมิเนียม ADC3 และ AA5052

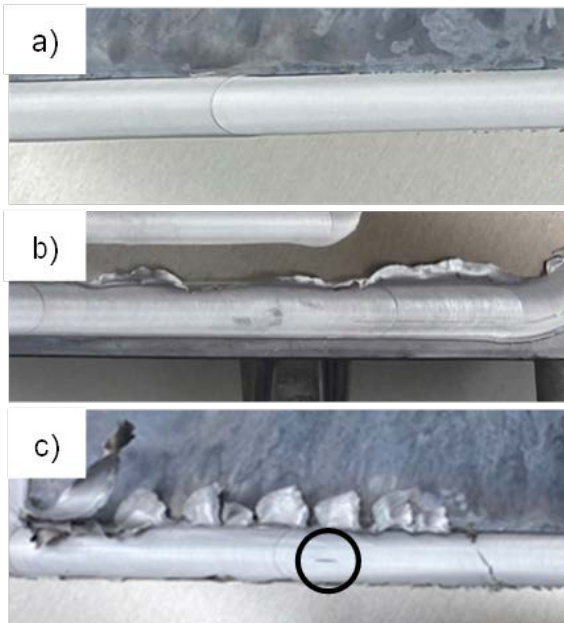
ความเร็วในการหมุน (rev/min)	ความเร็วในการเดินเชื่อม (mm/min)
1500	500
	550
	600
1800	500
	550
	600
2100	500
	550
	600



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 การตรวจสอบรอยเชื่อมด้วยการตรวจพินิจ



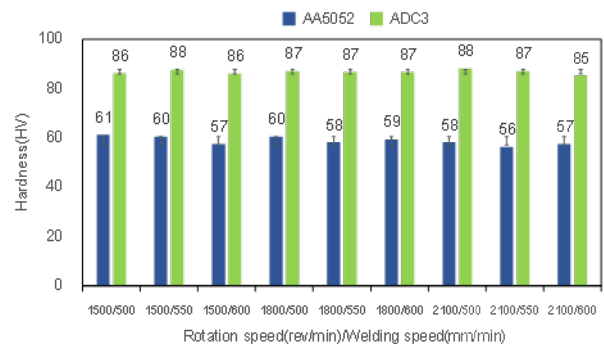
รูปที่ 4 a) ลักษณะของรอยเชื่อมที่สมบูรณ์ b) รอยเชื่อมที่เกิดข้อบกพร่องประเภทครีป c) รอยเชื่อมที่เกิดข้อบกพร่องประเภทรอยแตก

ลักษณะภายนอกของรอยเชื่อมจากการตรวจสอบด้วยการตรวจพินิจที่องศาการมอง 30° ณ สภาวะความสว่างในการมอง 100 ลักซ์ พบลักษณะของผิวรอยเชื่อมที่อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ตามรูปที่ 4a แต่ในสภาวะการเชื่อมที่มีความเร็วในการหมุนของหัวเชื่อม 2100 รอบต่อนาที และความเร็วในการเดินเชื่อม 500 มิลลิเมตรต่อนาที มีการเกิดข้อบกพร่องประเภทครีป (Flash) ในปริมาณมาก ซึ่งมีปริมาณที่มากกว่าเกณฑ์การยอมรับตามรูปที่ 4b และในสภาวะการเชื่อมที่มีความเร็วในการหมุนของเครื่องมือ 2100 รอบต่อนาที และความเร็วในการเดินเชื่อม 550 มิลลิเมตรต่อนาที มีการเกิดข้อบกพร่องประเภทรอยแตก (Crack) บริเวณผิวของรอยเชื่อมตามรูปที่ 4c ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่ไม่สามารถยอมรับได้ทุกกรณี

3.4 การทดสอบความแข็งของรอยเชื่อม

ความแข็งที่บริเวณที่เกิดการกวนของเนื้อโลหะ (Stir zone) ในทุกสภาวะจะมีค่าลดลงจาก โลหะฐาน (Base metal) ทั้งอะลูมิเนียมรีด AA5052 และอะลูมิเนียมหล่อ ADC3 เนื่องจากได้รับความร้อนจากการเชื่อมเสียดทานแบบกวน ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในการเชื่อมนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการหมุน และความเร็วในการเดินเชื่อม โดยหากมีความเร็วในการหมุนมากก็จะมีความร้อนเกิดขึ้นที่รอย

เชื่อมสูง และหากความเร็วในการเดินเชื่อมสูงจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นที่รอยเชื่อมต่ำ [8] ซึ่งจากรูปที่ 5 พบว่าความแข็งที่บริเวณรอยเชื่อมในทุกสภาวะของอะลูมิเนียม ADC3 จะมีค่าความแข็งมากกว่าอะลูมิเนียม AA5052 เนื่องจากอะลูมิเนียม ADC3 มีธาตุซิลิคอนอยู่ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับอะลูมิเนียม AA5052 ตามตารางที่ 1 ซึ่งจะส่งผลให้อลูมิเนียมมีความแข็งที่สูง [9] โดยสภาวะที่ให้ค่าความแข็งมากที่สุดบริเวณโซนกวนของอะลูมิเนียม AA5052 คือความเร็วในการหมุน 1800 rev/min และความเร็วในการเดินเชื่อม 500 mm/min ให้ค่าความแข็ง 60 HV และค่าความแข็งของอะลูมิเนียม ADC3 ที่บริเวณโซนกวนที่มีค่ามากที่สุดคือความเร็วในการหมุน 2100 rev/min และความเร็วในการเดินเชื่อม 500 mm/min ให้ค่าความแข็ง 88 HV โดยจากการวัดค่าความแข็งบริเวณโซนกวนของอะลูมิเนียมทั้งสองชนิด พบว่าค่าความแข็งที่ได้ในแต่ละสภาวะการทดลอง แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ

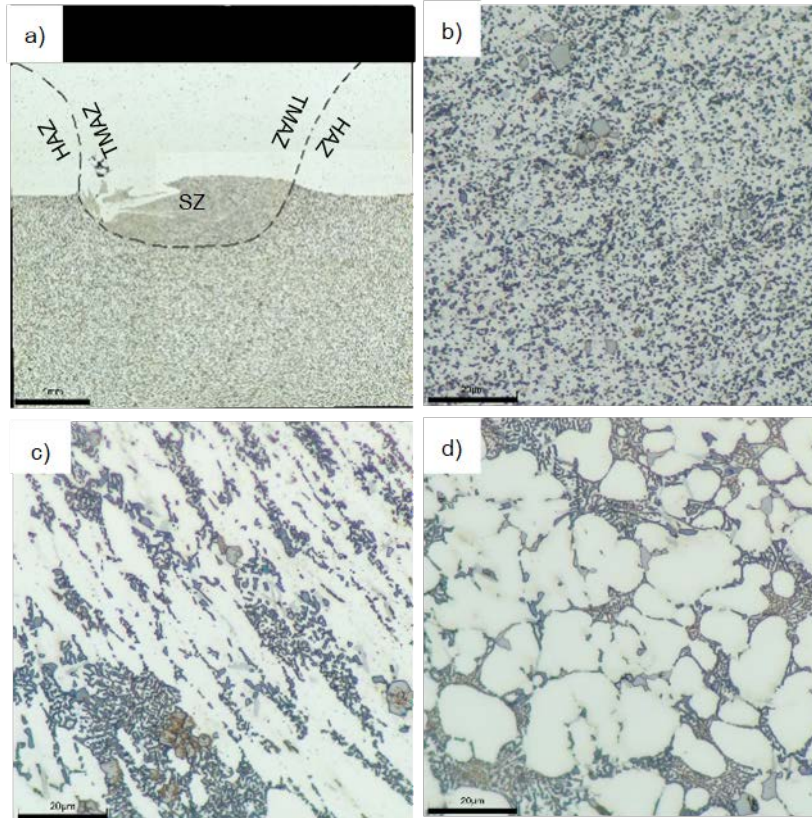


รูปที่ 5 ค่าความแข็งที่สภาวะต่างๆ ที่รอยเชื่อมของวัสดุ

3.5 โครงสร้างทางโลหะวิทยา (Microstructure)

3.5.1 โครงสร้างที่สมบูรณ์ของรอยเชื่อม

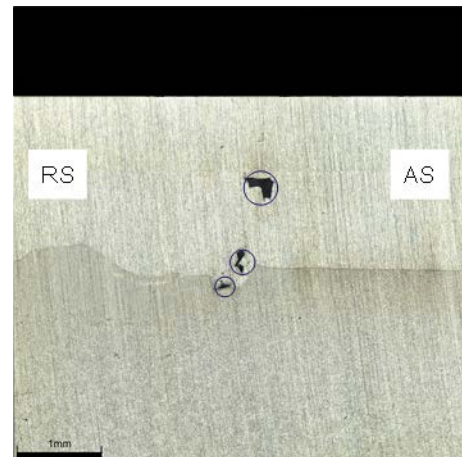
ความร้อนที่เกิดจากการกวน และแรงในการเคลื่อนที่จะทำให้เกิดบริเวณต่าง ๆ ในรอยเชื่อมตามภาพที่ 6 พบว่าเกิดบริเวณต่าง ๆ ทั้งหมด 3 บริเวณคือ Stir zone (SZ) เป็นโซนที่เกิดการกวนกันระหว่าง ADC3 และ AA5052 เกิดความร้อนที่สูงจนทำให้เกิดการตกผลึกใหม่ และเกรนมีลักษณะเล็กละเอียด ตามรูปที่ 6b การเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อมเสียดทานแบบกวนทำให้โครงสร้างยูเทคติกซิลิคอน ในอะลูมิเนียมหล่อ ADC3 มีขนาดเล็กและกระจายตัว [10-11] สังเกตได้จากบริเวณ Stir zone ในรูปที่ 6b บริเวณที่ 2 คือ Thermal mechanical affected zone (TMAZ) เป็นบริเวณที่ได้รับความร้อน และแรงเฉือนจากการเคลื่อนที่ของเครื่องมือหมุนทำให้เกรนในบริเวณนี้มีลักษณะบิดเบี้ยวเป็นริ้ว ตามแรงการเคลื่อนที่ตามรูปที่ 6c และบริเวณสุดท้ายก็คือ Heat affected zone (HAZ) เป็นบริเวณที่เกรนร้อนที่จะได้รับความร้อนจากการกวนอย่างเดียว ทำให้ลักษณะเกรนบริเวณนี้มีขนาดใหญ่กว่าทุกบริเวณ ตามภาพที่ 6d



รูปที่ 6 a) โครงสร้างทางจุลภาคของรอยเชื่อม b) Stir zone c) Thermal mechanical affected zone d) Heat affected zone

ตารางที่ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูภายในรอยเชื่อม

ความเร็วในการหมุน (rev/min)	ความเร็วในการเดินเชื่อม (mm/min)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูในแนวเชื่อม (μm)
1500	500	1033
	550	1028
	600	971
1800	500	884
	550	962
	600	466
2100	500	813
	550	276
	600	267



รูปที่ 7 รูในแนวเชื่อมที่เกิดขึ้นที่สภาวะความเร็วในการหมุน 2100 รอบต่อนาที ความเร็วในการเดินเชื่อม 600 มิลลิเมตรต่อนาที

3.5.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูภายในรอยเชื่อม (Cavity diameter)

การเกิดข้อบกพร่องชนิดรู เป็นข้อบกพร่องที่ส่งผลกระทบต่อรอยเชื่อมเป็นอย่างมาก จึงต้องมีการควบคุมสภาวะการเชื่อมให้เหมาะสม ซึ่งขนาดของข้อบกพร่องชนิดรูนี้ควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดย 3 สภาวะที่มีขนาดของรูต่ำที่สุดคือ ที่ความเร็วในการหมุน 2100 รอบต่อนาที ความเร็วในการเดินเชื่อม 600 มิลลิเมตรต่อ

นาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูในแนวเชื่อม 267 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นสภาวะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กที่สุด ดังรูปที่ 7 และที่สภาวะความเร็วในการหมุน 2100 รอบต่อนาที ความเร็วในการเดินเชื่อม 550 มิลลิเมตรต่อนาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูในแนวเชื่อม 276 ไมโครเมตร และสภาวะสุดท้ายที่ผ่านเกณฑ์คือ ความเร็วในการหมุน 1800 รอบต่อนาที ความเร็วในการเดินเชื่อม 600

มิลลิเมตรต่ออนาที มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูในแนวเชื่อม 466 ไมโครเมตร ผลของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูในแนวเชื่อม แสดงตามตารางที่ 4 โดยบริเวณที่มีการเกิดรูคือบริเวณด้าน Advancing หรือเป็นด้านที่ทิศทางในการเดินเชื่อมและทิศทางในการหมุนเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งบริเวณที่เกิดรูไม่มีความเกี่ยวข้องกับชนิดของอะลูมิเนียมแต่อย่างใด

4. สรุปผลการทดลอง

การทดลองการเชื่อมเสียดทานแบบกวนระหว่างอะลูมิเนียม ADC3 และ AA5052 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหัวเชื่อม 3 มิลลิเมตร มุมเอียงในการเชื่อม 2° เส้นผ่านศูนย์กลางของปากหัวเชื่อมเชื่อม 10 มิลลิเมตร โดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการหมุน และความเร็วในการเดินเชื่อม สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การเพิ่มความเร็วในการหมุนของหัวเชื่อม โดยกำหนดให้ความเร็วในการเดินเชื่อมมีค่าคงที่ พบว่ามีการเกิดข้อบกพร่องที่บริเวณผิวของรอยเชื่อมจำนวนมาก แต่ข้อบกพร่องข้างในรอยเชื่อมหรือรูมีขนาดเล็ก

2. การเพิ่มความเร็วในการเดินเชื่อม โดยกำหนดให้ความเร็วในการหมุนมีค่าคงที่ พบว่ามีการเกิดข้อบกพร่องที่บริเวณผิวของรอยเชื่อมน้อย แต่เกิดข้อบกพร่องภายในรอยเชื่อมหรือรูขนาดใหญ่

3. การเชื่อมในทุกสภาวะส่งผลต่อค่าความแข็งของเนื้อเชื่อมอย่างไม่มีนัยสำคัญ

ดังนั้นในการเชื่อมเสียดทานแบบกวนควรคำนึงถึงสภาวะการเชื่อมที่เหมาะสมทั้งความเร็วในการเดินเชื่อม และความเร็วในการหมุน ต้องให้ทั้ง 2 ค่าสัมพันธ์กัน

5. ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

ในอนาคตหากต้องการพัฒนาการเชื่อมเสียดทานแบบกวนสำหรับอะลูมิเนียมต่างชนิดกัน เพื่อให้ได้สมบัติทางกลที่ดี และรอยเชื่อมที่สมบูรณ์ สามารถนำกระบวนการข้างต้นมาประยุกต์ใช้กับอะลูมิเนียม เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ในการเชื่อมอะลูมิเนียมต่างชนิดกัน ซึ่งในการศึกษาวิจัยขั้นถัดไปมีความจำเป็นต้องศึกษาถึงแรงในการเชื่อม ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างทางโลหะวิทยาและสมบัติทางกลของการเชื่อมเสียดทานแบบกวนสำหรับอะลูมิเนียมต่างชนิดกัน อีกทั้งการพิจารณาถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโพรงอากาศที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเชื่อมที่ความเร็วในการเดินเชื่อมที่น้อยลง และความเร็วในการหมุนที่เพิ่มขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และบริษัท ผลิตภัณฑ์วิศวไทย จำกัด ที่ให้ความสนับสนุน อุปกรณ์เครื่องมือ และงบประมาณในการทำวิจัยตลอดการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2557, "รายงานฉบับสมบูรณ์การตรวจสอบสถานภาพอุตสาหกรรมโลหะนอกกลุ่มเหล็ก (Non-ferrous metals)". 16-24.
- [2] A. Vasudevan and R. Doherty. 1989. "Aluminum alloys-- Contemporary research and applications". Academic Press. INC. pp. 171-185.
- [3] R.S. Mishra and Z.Y. Ma. 2005. "Friction stir welding and processing". Materials Science and Engineering: R: Reports. 50(1-2). 1-78.
- [4] B.T. Gibson, D.H. Lammlein, T.J. Prater, W.R. Longhurst, C.D. Cox, M.C. Ballun, K.J. Dharmaraj, G.E. Cook and A.M. Strauss. 2013. "Friction stir welding: Process, automation, and control". Journal of Manufacturing Processes. 16(1). 56-73.
- [5] W.H. Kearns. 1982. Welding Handbook AWS, Vol. 4, 9th, p. 323.
- [6] Y. Ko, J. Lee and K. Park. 2010. "Microstructures of friction stir lap weld in A5052-H112 alloy". Journal of Welding and Joining. 27(6). 17-24.
- [7] R. Bhushan and D. Sharma. 2019. "Optimization of FSW parameters for maximum UTS of AA6082/SiC/10P composites". Vol. 28, 1-7.
- [8] B.S. Naik, D.L. Chen, X. Cao and P. Wanjara. 2013. "Microstructure and fatigue properties of a friction stir lap welded magnesium alloy". Metallurgical and Materials Transactions A. 44. 3732-3746.
- [9] T.T. Zuo, R.B. Li, X.J. Ren, Y. Zhang. 2014. "Effects of Al and Si addition on the structure and properties of CoFeNi equal atomic ratio alloy". Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 60-68.
- [10] M. Ghosh, K. Kumar, S.V. Kailas and A.K. Ray. (2010). "Optimization of friction stir welding parameters for dissimilar aluminum alloys". Materials & Design. 31(6). 3033-3037.
- [11] M. Eskandari, H.J. Aval and R. Jamaati. (2019). "The study of thermomechanical and microstructural issues in dissimilar FSW of AA6061 wrought and A390 cast alloys". Journal of Manufacturing Processes. 41. 168-176.

การศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงานเชื่อมท่อโลหะต่างชนิดระหว่าง ASTM A312 Gr.TP316/316L และ ASTM A106 Gr.B ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมแบบแรงดึงผิว และกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุม

Study on Mechanical Properties and Metallurgy Structure of Dissimilar Pipe Joining between ASTM A312 Gr. TP316/316L and ASTM A106 Gr.B with Gas Metal Arc Welding – Surface Tension Transfer and Gas Tungsten Arc Welding Processes

ประภาส เพ็งประโคน¹ ภิสัก เลิศวิจิตรพันธุ์² ธนาภรณ์ ทนโนนแดง³
สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมงานเชื่อม คณะวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
E-mail: prapas733@gmail.com¹, pisak.l@cit.kmutnb.ac.th², thanaporn.t@cit.kmutnb.ac.th³

Prapas Phengprakhon¹, Pisak Lertvijitpun², Thanaporn Thonondaeng³
Department of Welding Engineering Technology, Faculty of College of Industrial Technology,
King Mongkut's University of Technology North Bangkok
E-mail: prapas733@gmail.com¹, pisak.l@cit.kmutnb.ac.th², thanaporn.t@cit.kmutnb.ac.th³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงานเชื่อมท่อโลหะต่างชนิดระหว่าง ASTM A312 Gr.TP316/316L และ ASTM A106 Gr.B ด้วยกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมแบบแรงดึงผิว (GMAW-STT) และกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมโดย (GTAW) ใช้ลวดเชื่อม ER309LSi ชิ้นงานเชื่อมจะถูกทำการทดสอบด้วยการทดสอบแบบไม่ทำลาย และการทดสอบสมบัติทางกล ได้แก่ การทดสอบแรงดึง การทดสอบการดัดงอ การทดสอบค่าความแข็ง การทดสอบแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASME BPVC IX และ B31.3 จากผลการทดลองพบว่าชิ้นงานเชื่อมทั้งกระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมแบบแรงดึงผิว และกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมให้ผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย และผลการทดสอบสมบัติทางกลผ่านตามมาตรฐานเกณฑ์การยอมรับ รวมถึงโครงสร้างทางโลหะวิทยาที่เกิดขึ้นไม่พบโครงสร้างที่ไม่พึงประสงค์ และความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้น อีกทั้งสะท้อนให้เห็นว่าการใช้กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมแบบแรงดึงผิวสามารถผลิตชิ้นงานเชื่อมที่สมบูรณ์ได้และสมบัติทางกลเทียบเท่ากับกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุม และให้ความสามารถในการผลิตที่รวดเร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุมแบบทั่วไป นอกจากนี้พบว่ามีปริมาณเฟอไรต์ที่เกิดขึ้นเพียงพอที่จะลดโอกาสในการเกิดการแตกร้าวระหว่างการแข็งตัว

คำสำคัญ: การเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมแบบแรงดึงผิว การเชื่อมอาร์กทั้งสแตนเลสปกคลุม การเชื่อมโลหะต่างชนิด

Abstract

This research had the objective to study the mechanical properties and metallurgy structure of dissimilar pipe joining between ASTM A312 Gr. TP316/316L and ASTM A106 Gr.B by the gas metal arc welding – surface tension transfer (GMAW-STT) comparative with the gas Tungsten arc welding processes (GTAW) using ER309LSi electrode. The weldment was tested with the non-destructive method and mechanical testing such as tensile, bending, Vickers hardness, and CVN impact testing following ASME BPVC IX & B31.3. From the experiment results, it was found that both weldments of GMAW-STT and GTAW provided non-destructive & mechanical testing satisfied results by accepted standards including the presence of metallurgy structure not found any sign of detrimental phases or any discontinuity, it also reflects the use of GMAW-STT process can produce sounded weldment and satisfied with mechanical properties same as GTAW welding process and more productivity when compared with conventional GTAW including produce adequate ferrite content to prevent the appearance of solidification cracking in the weld metal.

Keywords: GMAW-STT, GTAW, Dissimilar Joining

1. บทนำ (Introduction)

การเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุม (GTAW) เป็นกระบวนการเชื่อมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติก อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของกระบวนการเชื่อม GTAW มีหลายประการ เช่น เป็นกระบวนการเชื่อมที่ให้ผลผลิตต่ำ และมีปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานสูง เนื่องจากปัญหาของการเชื่อมเหล็กกล้าไร้สนิมออสเทนนิติกคือการเกิดโครเมียมคาร์ไบด์ (Cr₂₃C₆) ซึ่งก่อให้เกิด Cr-Depleted Zone ณ บริเวณกระทบร้อน (HAZ) เมื่อได้รับอุณหภูมิวิกฤต (Sensitization Temp.) นำไปสู่การกัดกร่อนตามขอบเกรน [1-2] กระบวนการเชื่อมอาร์กโลหะแก๊สปกคลุมแบบแรงดึงผิว (GMAW-STT) เป็นเทคโนโลยีที่ออกแบบมาให้เหมาะสมกับการเชื่อมแนวราบของท่อโลหะกลุ่มเหล็กกล้าไร้สนิม โดยมีจุดเด่นคือ ให้การอาร์กที่เสถียร ง่ายในการควบคุมบ่อหลอมละลาย มีปริมาณความร้อนที่เข้าสู่ชิ้นงานต่ำ รวมถึงสามารถทำการเชื่อมได้รวดเร็ว [3-4]

การเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่างเหล็กกล้าคาร์บอนและเหล็กกล้าไร้สนิมเกิดขึ้นบ่อยครั้งในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น ปิโตรเคมี และโรงกลั่น ซึ่งโดยทั่วไปแล้วกระบวนการเชื่อมที่ได้รับความนิยมคือกระบวนการเชื่อม GTAW [5-6] อย่างไรก็ตามยังไม่พบว่ามีรายงานการประยุกต์ใช้กระบวนการเชื่อม GMAW-STT ในการเชื่อมโลหะต่างชนิดตั้งที่กล่าวมา

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้คือการใช้กระบวนการเชื่อม GMAW-STT เปรียบเทียบกับ กระบวนการเชื่อมอาร์กทังสเตนแก๊สปกคลุมเพื่อศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางโลหะวิทยาของชิ้นงานเชื่อมโลหะต่างชนิดระหว่าง ASTM A312 Gr.TP316/316L และ ASTM A106 Gr.B

2. ขั้นตอนดำเนินการวิจัย (Experimental Procedure)

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย (Materials and Welding Procedure)

ใช้ท่อเหล็กกล้าไร้สนิม A312 TP316/316L และเหล็กกล้าคาร์บอน A106 Gr.B ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 168.3 มม. ความหนา 7.11 มม. ความยาวรวม 300 มม. โดยรอยต่อการเชื่อมเป็นแบบต่อชน ทำการบากชิ้นงานขนาดมุมรวม 60 องศา Root Face 1.5 มม. และ Root Opening 2.6 มม. สมบัติทางกลของวัสดุและโลหะเติมรวมทั้งองค์ประกอบทางเคมีแสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และดำเนินการเชื่อมด้วยพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 สมบัติทางกลของวัสดุและโลหะเติม

Type Of Test	Base Metal		Filler Metal	
	A312	A106	GTAW A5.9 ER309LSi	STT A5.9 ER309LSi
Tensile (Mpa)	592	528	641	540
Yield (Mpa)	288	356	420	360
Elongation (%)	53	37	32	32
Impact	-	-	20°C / 49J	20°C / 100J

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุและโลหะเติม

Alloy (% wt.)	Base Metal		Filler Metal	
	A312	A106	GTAW A5.9 ER309LSi	STT A5.9 ER309LSi
C	0.015	0.190	0.018	0.014
Si	0.38	0.24	0.82	0.861
Mn	1.41	1.05	1.81	1.64
P	0.031	0.012	0.025	0.021
S	0.009	0.004	0.006	0.011
Cr	16.76	0.04	23.20	23.23
Ni	11.11	0.02	12.60	13.65
Mo	2.06	0.01	0.05	0.180

ตารางที่ 3 พารามิเตอร์กระบวนการเชื่อม GMAW-STT และ GTAW

Welding Parameter	Welding conditions	
	GTAW	GMAW-STT
Process	GTAW	GMAW-STT
Position	5G	5G
Welding Direction	Uphill	Downhill (Root) & Uphill
Shielding Gas (l/min)	Ar 99.99%	Ar 98%+O ₂ 2%
Shielding Flow Rate (l/min)	20	20
Backing Gas (l/min)	Ar 99.99%	Ar 99.99%
Backing Flow Rate (l/min)	18	18
Electrode	A5.9 ER309LSi	A5.9 ER309LSi
Transfer Mode	-	STT
Welding Current (min./max.)	85 / 120 (amp)	95 / 110 (amp)
Voltage (min./max.)	11 / 13 (v)	15 / 16 (v)
Travel Speed (min./max.) (mm/min)	3.41 / 8.70	6.39 / 5.73
Wire Feed Speed	-	152 / 155 (ipm)
Heat Input (KJ/mm)	38.23	28.87
Interpass Temp. (max.)	173 (C°)	175 (C°)
Total of welding time	26.59 (Min: Sec)	15.21 (Min: Sec)

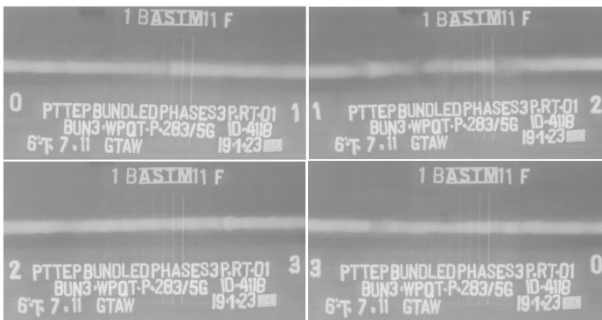
2.2 การตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Testing)

ชิ้นงานเชื่อมจะถูกทำการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย โดยการตรวจสอบด้วยวิธีพีเอ็นไอ (VT) และทำการประเมินผลโดยใช้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021 จากนั้นทำการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึม (PT) เพื่อพิจารณาจุดบกพร่องบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานเชื่อม และทำการประเมินผลโดยใช้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME B31.3 2020 หลังจากนั้นทำการตรวจสอบความ

สมบูรณ์ของรอยเชื่อมด้วยการถ่ายภาพด้วยรังสี (RT) ดังรูปที่ 1 และ 2 และทำการประเมินผลโดยใช้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน B31.3 2020 และ ASME BPVC IX-2021



รูปที่ 1 ภาพถ่ายรังสีของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT



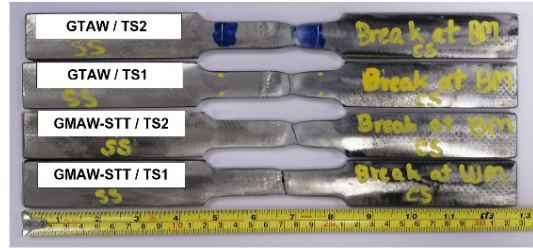
รูปที่ 2 ภาพถ่ายรังสีของชิ้นงานเชื่อม GTAW

2.3 การทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Testing)

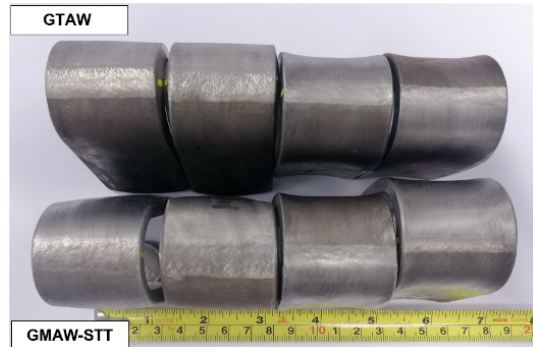
การทดสอบแรงดึง ทำการเตรียมชิ้นงาน และทดสอบตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021, QW-151 ถึง QW-152 และเกณฑ์การยอมรับตาม QW-153 ดังแสดงในรูปที่ 3

การทดสอบการดัดงอ (Bend Test) ตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021, QW-161 ถึง QW-162 และเกณฑ์การยอมรับตาม QW-163 ดังแสดงในรูปที่ 4 ส่วนการทดสอบตีกระแทก (Impact Test) ที่อุณหภูมิทดสอบ -12 องศาเซลเซียส ดำเนินการตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021, QW-172 และเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน QW-172.2 และ ASME B31.3 2020 โดยตำแหน่งการทดสอบแสดงในรูปที่ 5

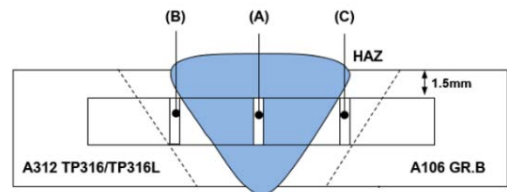
ส่วนการทดสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 6507-1 และเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน NACE MR0175/ISO 15156-2: 2015 โดยใช้แรงกด 5 Kg (HV5) ในการทดสอบ ส่วนตำแหน่งการทดสอบแสดงดังรูปที่ 6 และการทดสอบปริมาณเฟอร์ไรต์ในชิ้นงานเชื่อม (Ferrite Test) โดยใช้ Feritscope ตำแหน่งการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 3 ชิ้นงานทดสอบแรงดึง (Reduced Section Tensile Test)

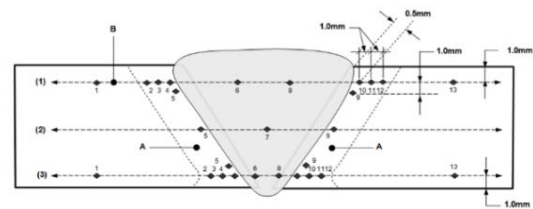


รูปที่ 4 ชิ้นงานทดสอบการดัดงอ (Bend Test) ภายหลังจากการทดสอบ

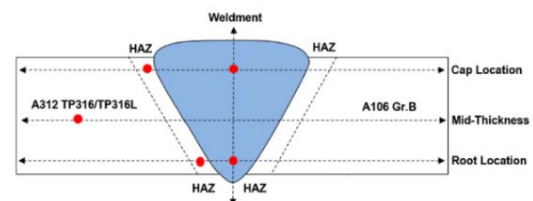


Notch Location : (A) Center of Weldment at 9 o'clock
(B) HAZ of A312 TP316/TP316L at 3 o'clock
(C) HAZ of A106 Gr.B at 3 o'clock

รูปที่ 5 ตำแหน่งการทดสอบแรงกระแทก (Impact Test)



รูปที่ 6 ตำแหน่งการทดสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ส (Vickers Hardness Test)



รูปที่ 7 ตำแหน่งการทดสอบปริมาณเฟอร์ไรต์ (Ferrite Test)

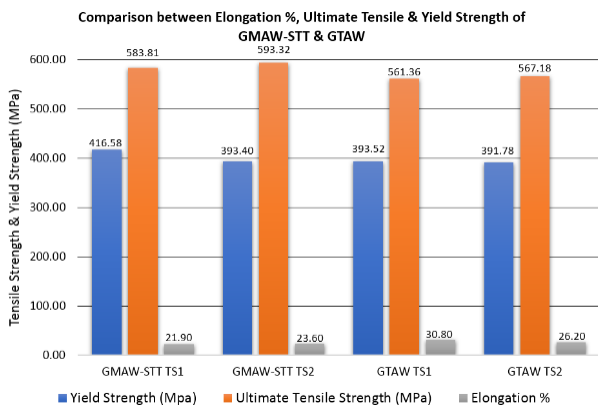
3. ผลการทดลอง (Experimental Results)

3.1 ผลการตรวจสอบแบบไม่ทำลาย (NDE Results)

ผลการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจและการตรวจสอบด้วยสารแทรกซึมไม่พบจุดบกพร่องบริเวณพื้นผิวของชิ้นงานเชื่อมทั้งภายนอกและภายในชิ้นงาน ซึ่งผลการตรวจสอบผ่านเกณฑ์การยอมรับตาม ASME BPVC IX-2021, QW-144 และ ASME B31.3 2020 Chapter VI 344.4.2 ส่วนผลการตรวจสอบความสมบูรณ์ของรอยเชื่อมด้วยการถ่ายภาพรังสีของชิ้นงานเชื่อมในกระบวนการเชื่อม GMAW-STT พบว่ามีฟองอากาศ (Gas Pore) ณ ตำแหน่งฟิล์ม 0-1 และ 2-3 แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME B31.3 2020 Chapter VI 341.3.2 ส่วนของชิ้นงานเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GTAW พบว่าไม่มีจุดบกพร่องในชิ้นงานเชื่อม

3.2 ผลการทดสอบสมบัติทางกล (Mechanical Testing Results)

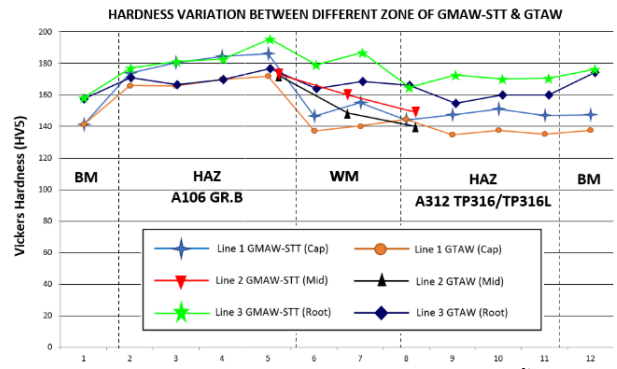
จากการทดสอบแรงดึงพบว่าชิ้นงานเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GMAW-STT และ GTAW ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021, QW-153 โดยค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของกระบวนการเชื่อม GMAW-STT TS1 = 583.81 MPa, GMAW-STT TS2 = 593.32 MPa, GTAW TS1 = 561.36 MPa และ GTAW TS2 = 567.18 MPa ตามลำดับ ส่วนค่าความต้านทานแรงดึง ณ จุดครากของกระบวนการเชื่อม GMAW-STT TS1 = 416.58 MPa, GMAW-STT TS2 = 393.40 MPa, GTAW TS1 = 393.52 MPa และ GTAW TS2 = 391.78 MPa ตามลำดับ ในส่วนของเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงานเชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GMAW-STT และ GTAW ผ่านเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC IIA-2021, SA-106/SA-106M ซึ่งผลการทดสอบเปอร์เซ็นต์การยืดตัวแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า (Ultimate Tensile Strength, Yield Strength, Elongation %) ของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW

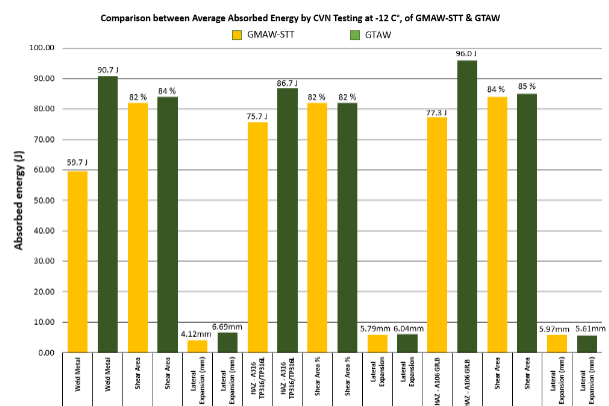
ในส่วนของการทดสอบการดัดงอของชิ้นทดสอบแนวราก (Root Bend) และ แนวทับหน้า (Face Bend) จากการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจไม่พบความไม่ต่อเนื่องที่เปิดผิวชิ้นงานและรอยแตกร้าวเกินเกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน ASME BPVC IX-2021, QW-163 ทั้ง

กระบวนการเชื่อม GMAW-STT และ GTAW ในส่วนของผลการทดสอบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW พบว่าค่าความแข็งมีการกระจายตัวที่ใกล้เคียงกันทั้งบริเวณโลหะฐาน (Base Metal; BM) บริเวณอิทธิพลทางความร้อน (Heat Affected Zone; HAZ) และแนวเชื่อม (Weld Metal; WM) ทั้งตำแหน่งแนวทับหน้าและแนวราก แต่การกระจายของค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อมด้าน A312 TP316/316L มีแนวโน้มลดลง ณ ตำแหน่งเขตอิทธิพลทางความร้อนที่ใกล้กับเส้นแบ่งเขตการหลอมละลาย ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าความแข็งแบบวิกเกอร์ของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW

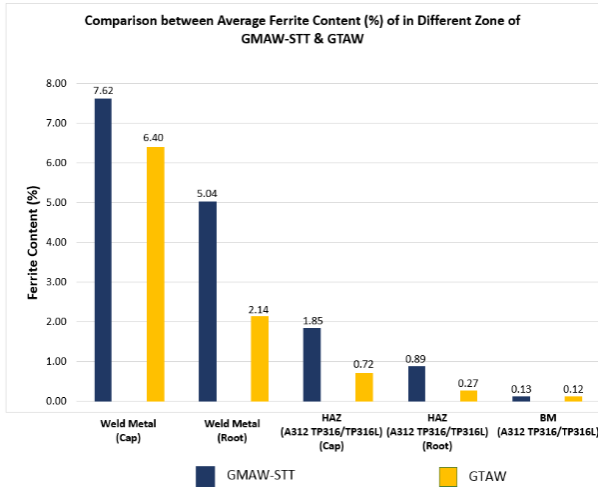
ผลการทดสอบแรงกระแทกของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW พบว่าค่าต้านทานแรงกระแทกของชิ้นงานเชื่อม GTAW มีค่าการดูดซับพลังงานสูงกว่าชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT ทั้งบริเวณ HAZ ทั้งสองข้างและแนวเชื่อม ในส่วนของพื้นที่แรงเฉือน (Shear Area %) และระยะขยายตัวด้านข้าง (Lateral Expansion) ชิ้นงานเชื่อม GTAW นั้นยังคงมีความสามารถดูดซับแรงกระแทกที่สูงกว่าชิ้นงานเชื่อมที่เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GMAW-STT เช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าการดูดซับพลังงานของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW

ส่วนของผลการทดสอบปริมาณเฟอร์ไรต์ในชิ้นงานเชื่อมของ GMAW-STT และ GTAW พบว่ามีปริมาณเฟอร์ไรต์ของชิ้นงานเชื่อม

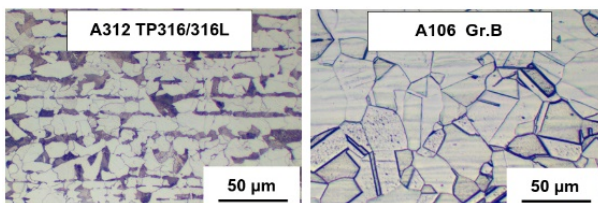
GMAW-STT มีค่าสูงกว่าชิ้นงานเชื่อม GTAW ทั้งบริเวณอิทธิพลทางความร้อนและแนวเชื่อมทั้งในส่วนตำแหน่งแนวทับหน้าและแนวราก ดังแสดงในรูปที่ 11



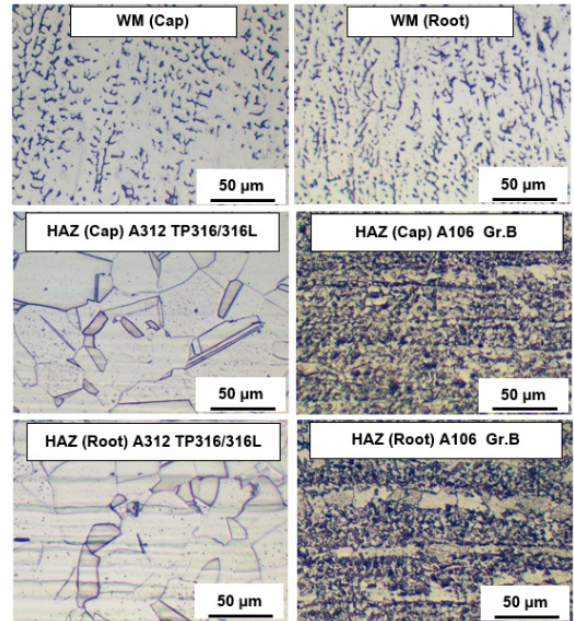
รูปที่ 11 แผนภูมิเปรียบเทียบปริมาณเฟอร์ไรต์ของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW

3.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างทางโลหะวิทยา (Metallurgy Structure Examination Results)

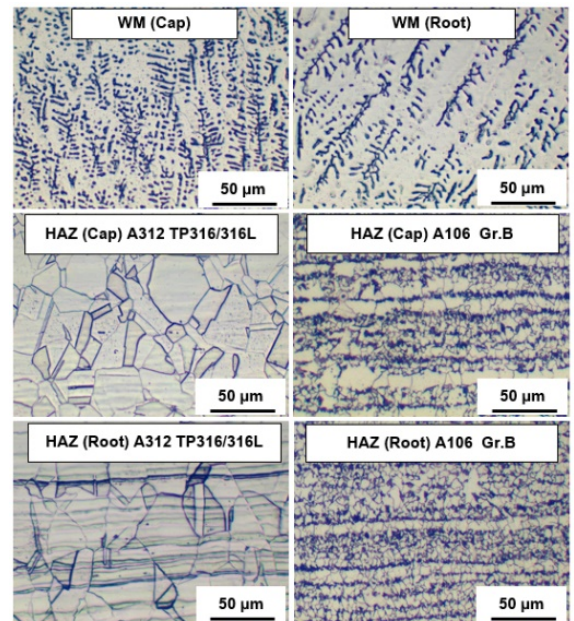
ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค (Microstructure) ของวัสดุโลหะงานที่กำลังขยาย 200X แสดงโครงสร้างเพิร์ลไลต์ (Pearlite) และเฟอร์ไรต์ (Ferrite) สำหรับวัสดุ A106 Gr.B และโครงสร้างออสเทนไนต์ (Austenite) สำหรับ วัสดุ A312 TP316/316L ดังแสดงในรูปที่ 12 ส่วนผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคบริเวณอิทธิพลทางความร้อนและแนวเชื่อม ทั้งตำแหน่งแนวทับหน้าและแนวรากที่กำลังขยาย 200X ของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14



รูปที่ 12 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของโลหะงาน



รูปที่ 13 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT



รูปที่ 14 ภาพถ่ายโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานเชื่อม GTAW

4. อภิปรายผลการวิจัย (Discussion)

จากผลการทดลองพบว่ากระบวนการเชื่อม GMAW-STT และ GTAW ใช้เวลาในการเชื่อมเฉลี่ย 15.21 และ 26.59 นาที ต่อรอยต่อร่วมถึงมีปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานเชื่อมที่ 28.87 และ 38.23 KJ/mm พบว่า กระบวนการเชื่อม GMAW-STT ใช้เวลาในการเชื่อมสั้นกว่า GTAW เนื่องจากมีอัตราการหลอมเติมโลหะสูงมีผลทำให้ปริมาณความร้อนเข้าสู่ชิ้นงานเชื่อมต่ำกว่า จึงทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงกว่าชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GTAW รวมถึงการควบคุมการบิดตัวของชิ้นงาน และการเสียรูป ที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการเชื่อม

GTAW ที่ให้ปริมาณความร้อนที่สูง และความเร็วในการเชื่อมที่ต่ำ ซึ่งเป็นข้อจำกัดหนึ่งในกระบวนการเชื่อม GTAW

และผลการตรวจสอบแบบไม่ทำลายของชิ้นงานเชื่อมทั้งสองผ่านตามเกณฑ์การยอมรับ การทดสอบแรงดึง ชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT ให้ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (UTS) ที่สูงกว่า ชิ้นงานเชื่อม GTAW เพียงเล็กน้อย และค่าความต้านทานแรงดึง ณ จุดคราก (YS) มีค่าใกล้เคียงกันของทั้งสองชิ้นงาน แต่เปอร์เซ็นต์การยึดตัวในชิ้นงานเชื่อม GTAW นั้นสูงกว่า GMAW-STT ส่วนผลการทดสอบการดัดงอภายหลังการตรวจสอบด้วยวิธีพินิจไม่พบความไม่ต่อเนื่องที่เปิดสู่ผิวชิ้นงานและรอยแตกร้าวของชิ้นงานที่ผ่านการเชื่อมจากทั้งสองกระบวนการเชื่อม ส่วนผลการทดสอบค่าความแข็งของชิ้นงานเชื่อม พบว่าชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระบวนการ GMAW-STT มีค่าความแข็งสูงกว่าชิ้นงานที่เชื่อมด้วยกระบวนการเชื่อม GTAW เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการเชื่อม GMAW-STT มีอัตราการเย็นตัวที่สูงกว่ากระบวนการเชื่อม GTAW นอกจากนี้พบว่าความแข็งบริเวณ HAZ ของวัสดุ A106 Gr.B จะมีค่าสูงกว่าบริเวณ HAZ ของวัสดุ A312 TP316/316 เล็กน้อย ส่วนผลการทดสอบแรงกระทำของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW พบว่าความต้านทานแรงกระทำของชิ้นงานเชื่อม GTAW มีค่าการดูดซับพลังงานที่สูงกว่าชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT ทั้งบริเวณ HAZ ทั้งสองข้าง และแนวเชื่อม โดยเฉพาะบริเวณ HAZ ผัง A106 Gr.B ที่มี recrystallized zone ที่กว้างกว่า และแนวเชื่อมอันเป็นผลมาจากบริเวณแนวเชื่อม GTAW มีสัดส่วนเฟสของออสเทนไนต์เกรนที่มากกว่าและทิศทางการเรียงตัวของเดรนไดรต์ (Dendrite) ที่หนาแน่นกว่า GMAW-STT ส่วนของผลการทดสอบปริมาณเพอร์ไรต์ในชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW พบว่าปริมาณเพอร์ไรต์ของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT มีค่าสูงกว่าชิ้นงานเชื่อม GTAW ทั้งบริเวณ HAZ และแนวเชื่อมทั้งตำแหน่งแนวทับหน้าและแนวราก อันเนื่องมาจากอัตราการเย็นตัวรวดเร็วกว่า ชิ้นงานเชื่อม GTAW ส่วนผลของการตรวจสอบโครงสร้างมหภาค พบว่าทั้งสองชิ้นงานมีการหลอมละลายที่สมบูรณ์ของแนวเชื่อมผ่านตามเกณฑ์การยอมรับ นอกจากนี้ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคนั้นแสดงโครงสร้างเพียร์ไลต์ (Pearlite) และเพอร์ไรต์ (Ferrite) ในบริเวณ HAZ ทั้งในบริเวณ grain growth zone และ recrystallized zone ของวัสดุ A106 Gr.B และโครงสร้างออสเทนไนต์ (Austenite) ทั้งในบริเวณ HTHAZ และ LTHAZ ในส่วนของแนวเชื่อมทั้งแนวทับหน้าและแนวรากมีโครงสร้างพื้นฐานเป็น Austenite และมี Delta Ferrite เพียงเล็กน้อย อันเนื่องมา ค่า Creq/Nieq อยู่ในบริเวณการเย็นตัวผ่าน A mode [7,8]

5. สรุปผลการวิจัย (Conclusion)

1. ผลการทดลองพบว่าชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT และ GTAW ให้ผลการทดสอบแบบไม่ทำลาย และผลการทดสอบสมบัติทางกลผ่านตามเกณฑ์การยอมรับ ส่วนสมบัติทางกลของชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT นั้นมีความแตกต่างกันเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับชิ้นงานเชื่อม GTAW
2. ชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT นั้นใช้เวลาในการเชื่อมที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกระบวนการเชื่อม GTAW เนื่องจากมีความเร็วในการเชื่อมสูง

กว่ากระบวนการเชื่อม GMAW-STT จึงให้ผลผลิตสูงกว่ากระบวนการเชื่อม GTAW

3. ชิ้นงานเชื่อม GMAW-STT นั้นมีปริมาณเพอร์ไรต์ต่ำกว่าเล็กน้อย จึงมีการดูดซับพลังงานตีกระแทกได้ต่ำกว่าชิ้นงานเชื่อม GTAW เล็กน้อย

6. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

ขอขอบพระคุณ บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) และบริษัท ไทยนิปปอน สตีล แอนด์ ซุมิคิน เอ็นจิเนียริ่ง แอนด์ คอนสตรัคชัน คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่สนับสนุนวัสดุเครื่องมือ และสถานที่ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Sanket C. Bodkhe, Dhananjay R. Dolas, Optimization of Activated Tungsten Inert Gas Welding of 304L Austenitic Stainless Steel, International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering Procedia Manufacturing 20 (2018) 277-282
- [2] B.A. Kessal, C. Fares, M. Hadj Meliani, A. Alhoussein, O. Bouledroua, M. Fram:oisd.: Effect of gas tungsten arc welding parameters on the corrosion resistance and the residual stress of heat affected zone, Engineering Failure Analysis 107 (2020) 104200
- [3] Application waveform control Technology, Surface tension Transfer (STT), STT Open Root: Lincoln Electric.
- [4] B. Konglom, P. Lertvijitpun, P. Wattanatham,: Study of GMAW-STT Welding Parameters and Joint Design on Root Pass Welded Pipe of AISI 304 Austenitic Stainless Steel, International Conference on Engineering Science and Innovative Technology (ESIT2018), Phang-Nga, Thailand, April 19 - 22, 2018
- [5] Sayed, A.R.; Kumbhare, Y.V.; Ingole, N.G.; Dhengale, P.T.; Dhanorkar, N.R. A Review Study of Dissimilar Metal Welds of Stainless Steel and Mild Steel by TIG Welding Process. Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol. 2019.
- [6] Baskoro, A.S. The Effect of Welding Parameters on Microstructure in Dissimilar Welding of Stainless Steel 316L and Structural Steel on Gas Metal Arc Welding (GMAW). 2019
- [7] Welding handbook volume 4 – Materials and applications, part 1. 9th edition: American Welding Society, 2005
- [8] 2019John C.Lipold and Damian J.Kotecki. Welding metallurgy and weldability of stainless steel: Wiley Interscience publication, 2005.

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับธุรกิจซื้อ-ขายยางก้อนถ้วย

กรณีศึกษา : ร้านมูห่งการยาง จังหวัดยะลา

Decision Support System for Rubber Cup Lump Buy and Sell Business

Case Study : Mu-Noong Karn Yang in Yala Province

นัตพงษ์ โชติพันธ์ พรรณเพ็ญ ถาวรประสิทธิ์ อตินันท์ มาหามะ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์

E-mail: nattapong.c@pnu.ac.th*

Nattapong Chotipant, Phanpen Thavornprasit, Adinan Mahamat

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Princess of Naradhiwas University

E-mail: nattapong.c@pnu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับธุรกิจซื้อ-ขายยางก้อนถ้วย เพื่อตอบสนองความต้องการของร้านมูห่งการยาง อำเภอยะลา จังหวัดยะลา โดยศึกษากระบวนการทางธุรกิจซื้อ-ขายยางก้อนถ้วยของร้านมูห่งการยาง ซึ่งผู้ประกอบการต้องการขายในวันที่ได้กำไรสูงสุด แต่น้ำหนักยางก้อนถ้วยจะลดลงตามระยะเวลาที่เก็บอันเนื่องมาจากความชื้นที่ลดลง ประกอบกับราคาที่ยังขึ้นลงไม่แน่นอน จึงไม่สามารถตัดสินใจซื้อขายได้อย่างแม่นยำ ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาน้ำหนักที่ลดลงต่อวันของยางก้อนถ้วยและพฤติกรรมของราคาที่ยังขึ้นลงไม่แน่นอน โดยนำข้อมูลไปสร้างสมการพยากรณ์ ซึ่งสมการพยากรณ์น้ำหนักของยางก้อนถ้วยที่เหมาะสมที่สุดคือสมการเชิงเส้น มีค่า Error 1.37% และสมการพยากรณ์ราคาที่ยังขึ้นลงที่เหมาะสมที่สุด คือสมการ Simple moving average มีค่า Error 0.91% หลังจากนั้นใช้สมการพยากรณ์ทั้งสองสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจขายยางก้อนถ้วยที่มีผลกำไรสูงสุด และได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับธุรกิจซื้อ-ขายยางก้อนถ้วยเพื่อสะดวกต่อผู้ใช้งาน

คำสำคัญ: ยางก้อนถ้วย ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

Abstract

This research is aimed to create a decision support system for cup lump trading business. To meet the needs of Mu-noong karn yang, Yala Province by studying the business process of buying and selling cup lumps of Mu-noong karn yang. Which entrepreneurs want to sell on the most profitable day and conversely, the weight of cup lump will decrease with storage period due to the humidity decreasing together with the price of rubber that goes up and down uncertainly. Therefore, unable to make precise trading decisions. The researcher therefore studied the daily weight loss of cup lump and the daily price behavior of cup lump rubber by using the data to create a forecasting equation. The most suitable equation for forecasting the weight of cup lump rubber is the linear equation with an error of 1.37% and the most suitable equation for forecasting the price of cup lump rubber is the simple moving average equation with an error of 0.91%. The two created a mathematical model for deciding the most profitable sale of cup lump. And has developed a decision support system for the cup lump trading business for the convenience of users.

Keywords: Cup lump rubber, Decision support system, Mathematical model

1. บทนำ

ยางก้อนถ้วยเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของภาคใต้ สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการทำผลิตภัณฑ์ยางชนิดต่างๆ สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ตั้งแต่อุตสาหกรรมหนักไปจนถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในครัวเรือน จากข้อมูลของศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ [1] พบว่ายางพารามีคุณสมบัติบางอย่างที่ยางสังเคราะห์ไม่สามารถทำได้เช่น ความเหนียวและการยึดเกาะที่ดีกว่า จึงส่งผลให้ตลาดยางพาราเป็นที่ต้องการของตลาด

ยางก้อนถ้วยเป็นการแปรรูปยางพาราขั้นต้นเพื่อนำไปผลิตยางแท่ง STR (Standard Thai Rubber) ซึ่งเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากยางพาราหลายชนิด การผลิตยางก้อนถ้วยเป็นวิธีการที่ง่าย สะดวก และประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิต ใช้เวลาและแรงงานน้อย แต่มีต้นทุนการผลิตต่ำ ลักษณะของยางก้อนถ้วยแสดงดังรูปที่ 1

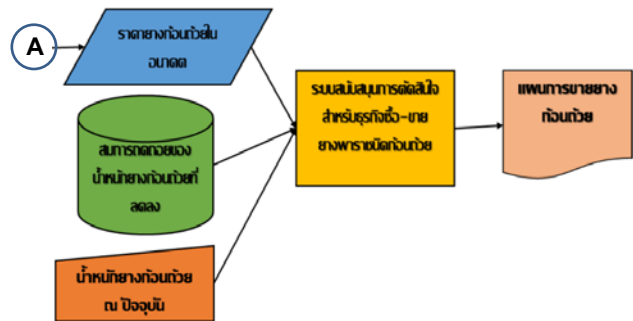
รูปที่ 1 ลักษณะของยางก้อนถ้วย

โดยยางก้อนถ้วยเกิดจากน้ำยางที่ได้จากการกรีด จับตัวรวมกันในตัวรองรับน้ำยาง จากนั้นเก็บรวบรวมเพื่อนำไปผึ่งแดด แล้วนำไปจำหน่าย ซึ่งกระบวนการรับซื้อยางก้อนถ้วยเริ่มจากชาวสวนเอามาขายให้กับพ่อค้าคนกลาง เมื่อรับซื้อแล้วจะนำไปขายให้กับโรงงานผลิตยางแท่ง ร้านจำหน่ายยางดำในธุรกิจเกี่ยวกับการรับซื้อยางก้อนถ้วยจากเกษตรกรและจำหน่ายให้กับโรงงานผลิตยางแท่ง ซึ่งผู้ประกอบการต้องการขายในวันที่ได้กำไรสูงสุด แต่น้ำหนักยางก้อนถ้วยจะลดลงตามระยะเวลาที่เก็บอันเนื่องมาจากความชื้นที่ลดลง ประกอบกับราคาที่ยังขึ้นลงไม่แน่นอน จึงไม่สามารถตัดสินใจซื้อขายได้อย่างแม่นยำ ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการสร้างระบบสนับสนุนในการตัดสินใจซื้อขายยางก้อนถ้วยเพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจการซื้อยางก้อนถ้วย โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อพยากรณ์ราคารับซื้อหน้าโรงงานของยางก้อนถ้วยในพื้นที่อำเภอยะหา
2. เพื่อสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจขายยางก้อนถ้วยเพื่อผลกำไรสูงสุด
3. เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับธุรกิจซื้อ-ขายยางพาราชนิดก้อนถ้วย

ซึ่งมีกรอบแนวคิดดังแสดงในรูปที่ 2

A



รูปที่ 2 กรอบแนวคิดของระบบสนับสนุนการซื้อ-ขายยางก้อนถ้วย

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โดยได้ทำการค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สามารถคำนวณและหาค่าที่เหมาะสมที่สุด พงงานวิจัยเรื่องระบบสนับสนุนการตัดสินใจการวางแผนการผลิตถุงมือยาง [2] เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า เนื่องจากถุงมือยางมีหลากหลายตามขนาด ผิวสัมผัส และชนิดน้ำยาง จึงต้องมีการปรับเปลี่ยนแม่พิมพ์และน้ำยางและผลิตให้ได้จำนวนของรายการที่ต้องการ ปัญหาของการวางแผนการผลิตจึงซับซ้อน ดังนั้นจึงได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการวางแผนจำนวนแม่พิมพ์และการผลิตถุงมือยางที่เหมาะสม และสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเป็นเครื่องมือในการวางแผนการผลิต ในงานวิจัยด้านโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ พงงานวิจัยเรื่องระบบสนับสนุนการตัดสินใจของทิศทางการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มยางพาราในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [3] ได้ศึกษาระบบโลจิสติกส์ของผลิตภัณฑ์ยางพาราทั้งระบบตั้งแต่ต้นน้ำ ถึงปลายน้ำ และได้สร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเลือกทำเลที่ตั้งในการสร้างโรงงานแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางพาราที่มีต้นทุนต่ำที่สุด ในงานวิจัยด้านโลจิสติกส์ พงงานวิจัยเรื่องการพัฒนา ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับขนส่งผลิตผลทางการเกษตรสู่ตลาดชุมชนโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม [4] ซึ่งได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการขนส่งสินค้าทางการเกษตรสู่ตลาดชุมชน โดยสามารถแสดงผลได้ทั้งคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลและอุปกรณ์พกพา การทำงานของระบบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ เว็บแอปพลิเคชันด้าน Front-End และ เว็บแอปพลิเคชันด้าน Back-End เมื่อผู้กำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับระบบ ระบบจะคำนวณและแสดงลำดับตลาดชุมชนที่ดีที่สุด 3 ลำดับแรก พร้อมรายละเอียดของตลาดให้ผู้ใช้การขนส่งผลิตผลบนเส้นทางที่ดีที่สุดภายใต้วิธีการเชิงพันธุกรรม นอกจากนี้ในงานวิจัยด้านการแพทย์ พงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเรื่องระบบสนับสนุนการ

ตัดสินใจการจัดการเครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาล [5] ได้พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจด้วยเทคนิคการทำเหมืองข้อมูล (Data mining) ใช้การพัฒนาโปรแกรมด้วย วิธีการสร้างต้นแบบ (Prototype-based methodology) และประเมินผลความพึงพอใจการใช้งาน เก็บข้อมูลเชิงปริมาณ ด้วยแบบประเมินความพึงพอใจกลุ่มตัวอย่าง)

จากการค้นคว้างานวิจัยจากหลาย ๆ เรื่องผู้วิจัยยังไม่พบงานวิจัยด้านระบบสนับสนุนการตัดสินใจอย่างก่อนด้วย จึงเห็นว่าการวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่น่าสนใจ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการศึกษาและทำการวิจัย

3. การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยการศึกษาระบบสนับสนุนการตัดสินใจอย่างก่อนด้วย มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบกระบวนการทำงานแต่ละขั้นตอนของโรงงาน และทราบปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนระหว่างการทำงาน พร้อมหาแนวทางการแก้ไข และปรับปรุงให้กับร้านหมู่งการยาง

3.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงานของร้านหมู่งการยาง

การศึกษารื้อฟื้นการทำงานพร้อมเก็บรวบรวมข้อมูล และปัญหาที่เกิดขึ้นทั้งหมดระหว่างการทำงานเพื่อทำการวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ไข พัฒนาร้านหมู่งการยางมีกระบวนการทำงานโดยรับซื้อยางก้อนถ้วยจากเกษตรกรในหมู่บ้านและหมู่บ้านที่ใกล้เคียง แล้วนำยางก้อนถ้วยนำไปขายให้กับโรงงานยางไทยปักษ์ใต้ จำกัด สาขายะลา ดังรูปที่ 3

รูปที่ 3 จุดรับซื้อร้านหมู่งการยาง

3.2 การพยากรณ์น้ำหนักที่ลดลงต่อวันของยางก้อนถ้วย

เป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลของราคายางแต่ละวันและค่าของน้ำหนักยางก้อนถ้วยในแต่ละวัน เนื่องจากข้อจำกัดด้านเงินทุนผู้ประกอบการได้ตั้งเกณฑ์ในการเก็บสต็อกไว้ไม่เกิน 7 วัน ต้องจำหน่ายออก ดังนั้นงานวิจัยจะใช้เวลาในการเก็บข้อมูล 7 วัน การเก็บข้อมูลน้ำหนักที่ลดลงต่อวันของยางก้อนถ้วยทำได้โดยการเก็บกลุ่มตัวอย่างยางก้อนถ้วยอย่างละ 10 กิโลกรัม นำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผลวันละครั้ง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักยางก้อนถ้วย

วันที่ (t)	1	2	3	4	5	6	7
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	10	9.5	9.5	9	8.5	8	8

หมายเหตุ จากการเก็บข้อมูล

กำหนดให้ y แทน ปริมาณน้ำหนักของยางพาราก้อนถ้วย เช่น

$y_2 = 9.5$ หมายความว่า ในวันที่ 2 น้ำหนักยางพาราลดลงเหลือ 9.5 กิโลกรัม จากนั้นได้ทำการพยากรณ์ด้วยวิธี Weighted Moving Average $n=3$ และ $n=5$ วิธี Simple Moving Average $n=2$ และ $n=5$ วิธี Single Exponential Method $\alpha = 0.1, \alpha = 0.2, \alpha = 0.3, \alpha = 0.4$ และ $\alpha = 0.5$ วิธีสมการ Exponential วิธีสมการ Linear Regression และวิธีสมการ Logarithm โดยใช้เกณฑ์การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Deviation : MAPD) ในการเลือกสมการที่จะนำไปใช้ในตัวแบบตัดสินใจต่อไปดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การพยากรณ์น้ำหนักที่ลดลงต่อวันของยางก้อนถ้วย

วิธีการพยากรณ์	MAPD
Weighted Moving Average $n=3$	4.01%
Weighted Moving Average $n=5$	2.73%
Simple Moving Average $n=2$	4.00%
Simple Moving Average $n=5$	3.52%
Single Exponential Method $\alpha = 0.1$	31.54%
Single Exponential Method $\alpha = 0.2$	12.03%
Single Exponential Method $\alpha = 0.3$	7.49%
Single Exponential Method $\alpha = 0.4$	6.50%
Single Exponential Method $\alpha = 0.5$	5.68%
สมการ Exponential	1.43%
สมการ Linear Regression	1.37%
สมการ Logarithm	2.24%

หมายเหตุ พยากรณ์จากข้อมูลในตารางที่ 1

จากตารางที่ 2 พบว่าสมการ Linear Regression ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสัมบูรณ์น้อยที่สุด (1.37%) ซึ่งสมการ Linear Regression ที่สร้างจากข้อมูลในตารางที่ 1 คือ

$$Yt = -0.3571t + 10.357 \quad (1)$$

โดยที่ Yt = น้ำหนักยางก้อนถ้วยในวันที่ t

3.3 การพยากรณ์ราคายางก้อนถ้วย

การศึกษาพฤติกรรมของราคายางก้อนถ้วย และพยากรณ์ราคายางก้อนถ้วยโดยจะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลราคายางก้อนถ้วยย้อนหลังหลังสามปีจากการยางแห่งประเทศไทย [1] จากการเก็บข้อมูลจะเห็นว่าราคายางก้อนถ้วยจะมีราคาลงที่ไม่แน่นอน จากนั้นได้ทำการพยากรณ์ด้วยวิธี Weighted Moving Average $n=3$ และ $n=5$ วิธี Simple Moving Average $n=2$ และ $n=5$ วิธี Single Exponential Method $\alpha = 0.1, \alpha = 0.2, \alpha = 0.3, \alpha = 0.4$ และ $\alpha = 0.5$ วิธีสมการ Exponential

วิธีสมการ Linear Regression และวิธีสมการ Logarithm โดยใช้เกณฑ์ การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Deviation : MAPD) ในการเลือกสมการที่จะนำไปใช้ใน ตัวแบบตัดสินใจต่อไปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การพยากรณ์น้ำหนักที่ลดลงต่อวันของยางก้อนถ้วย

วิธีการพยากรณ์	MAPD
Weighted Moving Average n=3	0.97%
Weighted Moving Average n=5	1.21%
Simple Moving Average n=2	0.91%
Simple Moving Average n=5	1.46%
Single Exponential Method $\alpha=0.1$	66.5%
Single Exponential Method $\alpha=0.2$	43.3%
Single Exponential Method $\alpha=0.3$	66.5%
Single Exponential Method $\alpha=0.4$	33.3%
Single Exponential Method $\alpha=0.5$	1.40%
สมการ Exponential	43.3%
สมการ Linear Regression	79.26%
สมการ Logarithm	11.78%

หมายเหตุ พยากรณ์จากข้อมูลราคาขายยางก้อนถ้วยย้อนหลังสามปีจาก การยางแห่งประเทศไทย [1]

จากตารางที่ 3 พบว่าสมการ Simple Moving Average n=2 ให้ค่า เปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสมบูรณ์น้อยที่สุด (0.91%) ซึ่งสมการ Simple Moving Average สร้างจากข้อมูลราคาขายยางก้อนถ้วยย้อนหลัง สามปีจากการยางแห่งประเทศไทย [1] คือ

$$X_t = (X_{t-1} + X_{t-2}) \div 2 \quad (2)$$

โดยที่ X_t = ราคาขายในวันที่ t

3.4 การสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจขายยาง ก้อนถ้วยที่มีผลกำไรสูงสุด

จากสมการพยากรณ์น้ำหนักที่ลดลงของยางก้อนถ้วย (1) ซึ่ง สามารถคาดการณ์น้ำหนักที่เหลืออยู่ ณ วันที่ต้องการได้ และสมการ พยากรณ์ราคาขายยางก้อนถ้วย (2) ซึ่งสามารถคาดการณ์ราคาขาย ณ วันที่ต้องการได้ ทำให้สามารถใช้สมการดังกล่าวนำไปสร้างตัวแบบ คณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจขายยางก้อนถ้วยที่มีผลกำไรสูงสุด ได้ ในบทถัดไป

4. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่ากำไรสูงสุด และขาดทุนน้อยที่สุดของยางก้อนถ้วยโดยมีวัตถุประสงค์ในการนำไป จำหน่ายให้กับโรงงาน โดยจะเป็นการพยากรณ์จากราคาขายภายใน 7

วัน โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver เป็นตัวช่วยในการคำนวณ โดยจะป้อนข้อมูล น้ำหนัก ราคาขายก่อนถ้วยของเมื่อวานและราคาขาย ก่อนถ้วยของวันนี้ เพื่อให้ได้กำไรที่สูงที่สุดและเหมาะสมที่จะนำไป จำหน่าย น้ำหนักของยางก้อนถ้วยเฉลี่ยของวันนี้และราคารับซื้อยาง ก้อนถ้วยเฉลี่ยของวันนี้ นำไปใช้ในแผนการตัดสินใจซื้อ-ขายยางก้อน ถ้วย จากนั้นจะได้ระบบการตัดสินใจให้กับร้านหมุงการยาง

4.1 การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการวางแผน การซื้อ-ขายยางก้อนถ้วย

ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการซื้อ-ขาย ยางพาราชนิดก้อนถ้วยโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver ซึ่งได้ ออกแบบแผนงานสำหรับตัวแปรตัดสินใจและค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการ หาคำตอบที่ดีที่สุดและการหาค่ากำไรสูงสุดในการขายยางก้อนถ้วย

4.1.1 ตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจเพื่อการหาค่ากำไรสูงสุด กำหนดดังนี้

X_t แทนราคาขายในวันที่ t

Y_t แทนน้ำหนักยางก้อนถ้วยในวันที่ t

4.1.2 พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของการ พยากรณ์

พารามิเตอร์ที่ใช้คำนวณตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ได้แก่

X_t แทนราคาขายยางก้อนถ้วยโดยที่ $t1$ จะเท่ากับราคาขายก่อนถ้วย วันนี้ $t0$ เท่ากับราคาขายก่อนถ้วยเมื่อวาน (บาทต่อกิโลกรัม)

Y_t แทนปริมาณน้ำหนักของยางก้อนถ้วย โดยที่ $t1$ จะเท่ากับน้ำหนัก ยางก้อนถ้วยวันนี้ $t0$ เท่ากับน้ำหนักยางก้อนถ้วยเมื่อวาน (กิโลกรัม)

$B1$ แทนราคารับซื้อ

$Max Z$ แทนกำไรสูงสุด

4.1.3 ข้อจำกัด

ข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการตัดสินใจ ซื้อ-ขายยางก้อน ถ้วยหาปริมาณน้ำหนักและราคาขายก่อนถ้วยจากสมการหลายค่าจนได้ สมการค่าที่ Error นำมาแทนเป็นสมการการตัดสินใจ ซึ่งสามารถสรุป เงื่อนไขและข้อจำกัดของสมการดังนี้

1.ระยะเวลา t จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 7 จะไม่มีค่าเท่ากับ 0 เพราะ ณ ร้านหมุงการยางจะเก็บยางก้อนถ้วยไม่เกิน 7 วัน

$$1 \leq t \leq 7 ; \forall t \quad (3)$$

2.ระยะเวลา t จะเป็นจำนวนนับ

$$t=1,2,3,\dots,n ; \forall t \quad (4)$$

3.จากการพยากรณ์ราคาขายก่อนถ่วงจะได้สมการ Simple Moving Averaga ที่มีค่า Error น้อยที่สุด อยู่ที่ 0.91% จะเห็นได้ว่าสมการนี้จะเป็นการคำนวณจากราคายกก่อนถ่วง 2 วันที่แล้ว

$$X_t = (X_{t-1} + X_{t-2}) \div 2 ; \forall t \quad (4)$$

4.จากการพยากรณ์น้ำหนักยกก่อนถ่วงจะได้สมการเชิงเส้นที่มีค่า Error น้อยที่สุด อยู่ที่ 1.37%

$$Y_t = -0.3571t + 10.357 ; \forall t \quad (5)$$

4.1.4 สมการเป้าหมาย

การวางแผนตัดสินใจสำหรับการวางแผนซื้อ-ขายยกก่อนถ่วงภายใน 7 วันเพื่อกำไรสูงสุดที่สุดมีสมการเป้าหมาย คือ

$$\text{Max } z = (X_t Y_t) - B1D1 \quad (6)$$

โดยที่ X_t แทน ราคาขายยกก่อนถ่วงโดยที่ $t1$ จะเท่ากับราคายกก่อนถ่วงวันนี้ $t0$ เท่ากับราคายกก่อนถ่วงเมื่อวาน (บาทต่อกิโลกรัม)

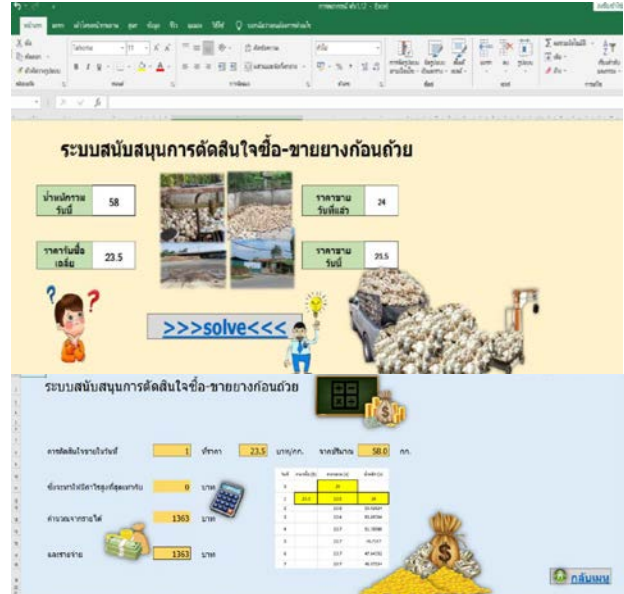
Y_t แทน ปริมาณน้ำหนักของยกก่อนถ่วง โดยที่ $t1$ จะเท่ากับน้ำหนัก ยกก่อนถ่วงวันนี้ $t0$ เท่ากับน้ำหนักยกก่อนถ่วงเมื่อวาน (กิโลกรัม)

$B1$ แทน ราคายกก่อนถ่วงที่รับซื้อวันนี้ (บาทต่อกิโลกรัม)

$D1$ แทน ปริมาณน้ำหนักของยกก่อนถ่วงที่รับซื้อวันนี้ (กิโลกรัม)

4.2 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการวางแผนซื้อ-ขายยกก่อนถ่วง

จากการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการวางแผนซื้อ-ขายยกก่อนถ่วง ที่ทำให้เกิดการ Error น้อยที่สุด ผู้วิจัยได้สร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเป็นเครื่องมือในการวางแผนการซื้อ-ขาย โดยโปรแกรม Microsoft Excel Solver ใช้ตัวเสริม Excel Solver เพื่อคำนวณหาจำนวนผลิตและน้ำยกโดยป้อนข้อมูล อัตราการผลิต ดังรูปที่ 6



รูปที่ 5 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจซื้อ-ขายยกก่อนถ่วง

4.3 การใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

จากการใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อเป็นเครื่องมือในการวางแผนการซื้อ-ขาย ผู้ประกอบการได้ให้ความเห็นว่าระบบสามารถเลือกวันในการขายยกก่อนถ่วงเพื่อให้ได้ราคาที่ดีที่สุดได้อย่างสะดวกรวดเร็ว แต่เนื่องจากในสถานการณ์จริงผู้ประกอบการไม่มีความสะดวกในการใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กจึงควรพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือจะใช้งานได้สะดวกและรวดเร็วมากกว่า

5. สรุปผลการดำเนินงาน และข้อเสนอแนะ

จากการพยากรณ์จากข้อมูลราคายกก่อนถ่วงย้อนหลังสามปีจากการขายแห่งประเทศไทยพบว่าสมการ Simple Moving Average $n=2$ ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสมบูรณ์น้อยที่สุด (0.91%) และจากการพยากรณ์น้ำหนักยกก่อนถ่วงที่ลดลงจากการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 7 วันตามข้อจำกัดของผู้ประกอบการพบว่าสมการ Linear Regression ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความเบี่ยงเบนเฉลี่ยสมบูรณ์น้อยที่สุด (1.37%) จากสมการข้างต้น ทำให้สามารถคาดการณ์น้ำหนักที่เหลืออยู่ ณ วันที่ต้องการได้ และสามารถคาดการณ์ราคาขาย ณ วันที่ต้องการได้ ทำให้สามารถนำไปสร้างตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจขายยกก่อนถ่วงที่มีผลกำไรสูงสุด และสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับธุรกิจซื้อ-ขายยกก่อนถ่วง โดยพัฒนาเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการตัดสินใจสำหรับการนำไปขายวันไหนดีที่สุด จะสามารถประมวลผลตามวิธีดังกล่าวได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าการคำนวณทางคณิตศาสตร์ทั่วไป

ข้อเสนอแนะงานวิจัยเรื่องการจำลองสถานการณ์สำหรับการตัดสินใจไปขายยกก่อนถ่วงในจังหวัดยะลาด้วยโปรแกรม Excel Solver ในงานวิจัยต่อไปควรพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันบนโทรศัพท์มือถือจะใช้งานได้สะดวกและรวดเร็วมากกว่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] การยางแห่งประเทศไทย.//[2565].//ราคายางก้อนถ้วย./ [สืบค้นเมื่อ วันที่ 6 มกราคม 2565].// [สืบค้นออนไลน์] จาก : <https://www.raot.co.th/main.php?filename=index>
- [2] นัตพงษ์ โชติพันธ์ "ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการวางแผนผลิตถุงมือยาง" [สืบค้นเมื่อ 7 มกราคม 2565]
- [3] รศ.ดร.เตือนใจ สมบูรณ์วิวัฒน์ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจของทิศทางการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยาง เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มยางพาราในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [สืบค้นเมื่อ 7 มกราคม 2565]
- [4] อภินันท์ จุณกรณ์ ภาธรญา ปาลวิสุทธิ, มงคล รอดจันทร์"การพัฒนา ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับขนส่งผลิตผลทางการเกษตรสู่ตลาดชุมชนโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม" [สืบค้นเมื่อ 7 มกราคม 2565]
- [5] ญัฐนัย สิงห์ศิริวรรณ"ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการจัดการ เครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาล" [สืบค้นเมื่อ 7 มกราคม 2565]

The Comparing of Expected Performance of Different Shapes in Cross-Docking

Songkhla Paisansukhakul, Siwaphong Kusolpuchong*

Ordnance engineering Department, Academic Division, Chulachomklao Royal Military Academy

E-mail: siwaphong.ku@crma.ac.th*

Abstract

Cross-docking is the practice of unloading goods from inbound delivery vehicles and loading them directly onto outbound vehicles. It is now widely used in many companies, from small to large, because of its advantages. The main advantages of implementing cross-docking are to reduce material handling and the need to store products in a warehouse. This paper proposes a mathematical model for calculating the travel distance of material handling from receiving dock to the shipping dock for the Mixed assignment policy inspired by the concept of centrality. Additionally, the implementation of the expected value is applied to make an informed decision based on the assigned probability. The result showed that the increase in the number of centrality facilities affects the total distance traveled for material handling to be reduced when adding doors for all ends.

Keywords: Cross-docking, Expected performance, Shape

1. Introduction

Cross-docking facilities are part of the supply chain that improve distribution and reduce the cost of inventory and transportation [1]. Since cross-dock operations aim to move products directly from arriving trucks to departing trucks, as shown in Figure 1, the product's destination in the temporary storage and arriving trucks is known, unlike the warehouse. However, value or non-value-added tasks, such as repacking and labeling, might be required before loading products into outbound trucks [2]. One of the successful and widely known for implementing cross-docking is the everyday low-price strategy of Walmart, stated by Stalk *et al.* [3].

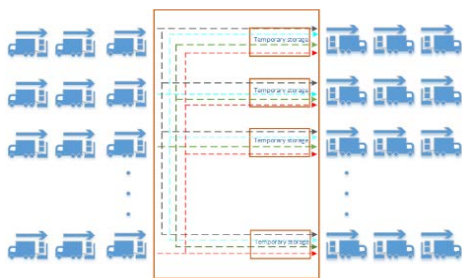


Figure 1 The movement of products from inbound docks to outbound docks

Source: Reprinted from [4]

This paper utilizes the concept of centrality proposed by Bartholdi and Gue [5] to compare the performance of the cross-docking shapes. A mathematical model is proposed to clarify that the more centrality the shapes have, the better performance of the facility will be in terms of the total distance traveled when doors are added.

The remainder of this paper is organized as follows: Section 2 reviews the literature. Section 3 shows the methodology. Section 4 shows the experiment results. Section 5 discusses the conclusion and future work.

2. Literature Reviews

The literature of cross-docking problems can be classified into strategic problems (location, layout, and shape problems) and operational problems (truck scheduling and dock assignment problems). The dock assignment problem for the cross-docking facility is to indicate which docks are assigned for unloading and loading products from trucks to minimize the total travel distance of material handling from receiving dock to the shipping docks.

It has been found limited literature that discusses the shape of cross-docking facilities; however, considerable literature addresses other types of facilities such as the airport, UPS, FedEx, or DHL facilities. The airport terminals can be the destination, while the cross-docking facility can be only transferring facilities. In package-handling terminals such as UPS, FedEx, or DHL, due to the limited standard size of the packaging, they can utilize the conveyor system in their facility [5]. Therefore, the shape of other kinds of facilities will not be included in this paper since they have some different factors from the cross-docking facility. Due to that, the cross-docking facility is labor-intensive, the shape and layout affect the operation cost.

The shape of the cross-docking facility is associated with dock assignment problems since they have the same objective of minimizing the total travel distance of material handling. Moreover, designing the shape of the cross-docking facility considers the location of receiving dock for inbound trucks and the shipping dock for outbound trucks. Bartholdi and Gue [5] consider the many shapes of cross-docking facilities, namely E, H, I, L, T, U, and X-shapes. The literature indicated that I-shape is suitable for the facility that has less than 150 doors, T-shape is suitable for the intermediate size of the cross-docking facility, and X-shape is better for the facility of more than 200 doors. The reason for this result will be discussed later. Küçükoğlu [6] reported that after comparing I, L, T, and U-shapes; I-shape is the best one for cross-docking facility based on the total cost from the truck-door assignment model.

Further, the literature showed that considering the only shape does not provide the best solution for achieving the minimum travel cost of material handling; however, including the layout and position of freight in cross-docking or freight terminals can achieve better results. Kevin R. Gue [7] developed mathematical models for finding the cost of worker and material handling systems in the less-than-truckload (LTL) carrier industry. The I-shape layout from this model can provide the freight flow balancing between waiting time cost due to the congestion in a facility and traveling cost. Gue also developed and improved the model to find the best layout in the freight facility based on the freight flow model [8], [9], [10]. Stephan and Boysen [11] conduct experiments on vis-à-vis (VAV) and mixed (MIX) door assignment policy with only an I-shape of the cross-docking facility. The result showed that MIX policy is better than vis-à-vis policy in most cases.

The finding of the literature discussed above is summarized. In literature [5], it is reported that, in 2000, there are more than

10,000 cross-docking facilities in the United States and Canada. There are seven existing shapes of cross-docking facilities, namely E, H, I, L, T, U, and X-shapes as shown in Figure 2. Considering the shapes of the facilities, assignment policy should be understood to know the pairs of doors. Stephan and Boysen [11] mentioned that VAV policy is one-directional material flow from one side to another side of the facility while MIX policy is more flexible than VAV, because inbound and outbound docks can be located next to each other where the movement of material handling can be reduced as well. The direction of material flow is shown in Figure 3.

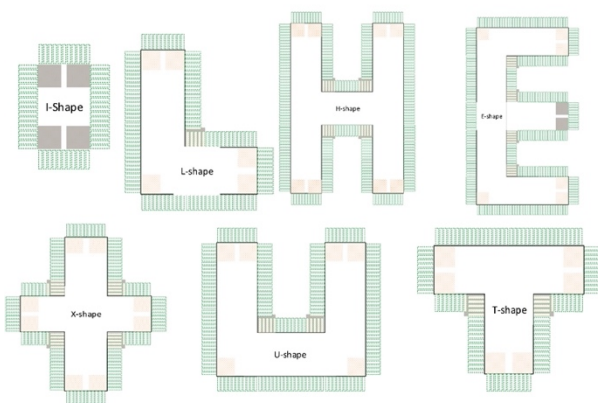


Figure 2 All existing shapes of the cross-docking facility

Source: Adapted from [5]

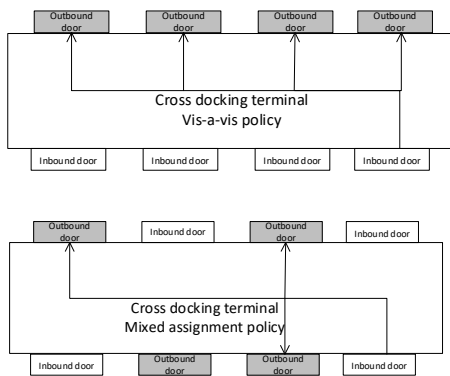


Figure 3 The door assignment policies

Source: Adapted from [11]

Bartholdi and Gue [5] used the diameter and centrality values, inside and outside corner areas, and total cost estimation for determining what shape is better in the specific range of the number of dock doors. The diameter of a cross-docking facility is “the largest distance between any pair of doors”. The centrality of the facility is “the number of doors required to increase its diameter

by one door offset”. The total cost estimation depends on the working time and waiting time due to material handling congestion. The inside and outside corner areas might be useless areas due to that the space of the inside corner area is not utilized for trailer trucks as the area is restricting the space for the inbound and outbound trucks. Also, due to the congestion of the working area inside the facility, the outside corner areas are not utilized. For example, in Figure 4, L-shape has 5 outside corners and 1 inside corner. One area of the outside corner is restricted from using three doors to avoid congestion in the facility. One area of the inside corner blocks at least eight dock doors because of the movement of trailer trucks. The total loss of the number of doors from the inside and outside corners is indicated in Table 1.

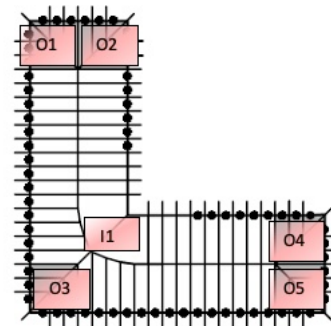


Figure 4 Inside corner and outside corner areas

Source: Reprinted from [5]

Table 1. The total loss of the number of doors of shapes considered

Shapes	Number of Inside corners	Number of Outside corners	Total lost doors
I	0	4	-12
T	2	6	-34
L	1	5	-23
H	4	8	-56
X	4	8	-56
U	2	6	-34
E	4	8	-56

Although there have been some works reported about comparing different layouts using the total cost, this paper utilized the concept of centrality to propose a mathematical model to calculate the increasing distance traveled when doors are added for all ends.

3. Methodology

The centrality of the facility is defined as the number of doors required to increase its diameter by one door offset [5]. The numbers of centrality are indicated in Table 2.

Table 2. The number of centralities

Shapes	# Centrality
I	2
T	3
L	2
H	4
X	4
U	2
E	3

The centrality value can be utilized to develop a simple equation to compare the performance of the different shapes of facilities. However, this equation can only be applied for the Mixed assignment policy, in which trucks can load and unload at any door.

The mathematical model for calculating the increasing distance traveled is formulated as follows:

Notation

Parameters

T: Total number of doors increased equally for all ends (door)

C: Centrality value (door)

D: Distance per offset (feet)

Decision variable

DT: Increasing distance traveled (feet)

$$DT = \left(\frac{T}{C}\right)D \quad (1)$$

The mathematical model for calculating the expected total distance using the following equation

$$E(X) = \sum x P(x) \quad (2)$$

Notation

Parameters

x: Distance (feet)

P(x): Probability of an event

Decision variable

E(X): Expected total distance (feet)

4. Experiment Results

In this paper, the facility shapes are grouped according to the number of centralities in three cases: L, U, and I-shape (a centrality value equal to two), E and T-shape (a centrality value equal to three), and H and X-shape (a centrality value equal to four). Considering the different shapes facility, the expected performance of each facility based on the research findings is discussed.

The expected performance of the three groups is examined. The experiment is conducted on the shapes considering the total number of doors increased for all ends, including 100, 200, and 300. It is assumed that there are cases of occurrences. First, the optimistic case is that inbound and outbound trucks are located next to each other; hence the minimum distance is obtained. To find the minimum distance, the width of each door is assumed to be 9 feet, and the space between the two doors is 3 feet [12], so the total one-door offset will be 12 feet considering the center of each entry. Also, the pessimistic case occurs when the calculated longest distance is obtained. The probability is included for calculating the expected values. These probabilities can be assigned based on observation. In this paper, the value of 0.5 is assigned to each case, assuming that there is an equal chance that two cases would occur.

For example, when considering the experiment of 100 doors, the pessimistic case yields 600 feet which are calculated as follows:

$$DT = \left(\frac{100}{2}\right)(12) = 600 \text{ feet}$$

According to the assigned equal probability, the expected performance in terms of the distance traveled is calculated using equation (2) for each categorized shape, considering each experiment. The expected values are shown in Table 3 and Figure 5.

Table 3. The expected performance

Total number of doors increased for all ends(door)	Shape	Optimistic probability (0.5)	Pessimistic probability (0.5)	Expected total distance (feet)
		Total distance (feet)	Total distance (feet)	
100	L, U and I	12	600	306
	E and T	12	400	206
	H and X	12	300	156
200	L, U and I	12	1200	606
	E and T	12	800	406
	H and X	12	600	306
300	L, U, and I	12	1800	906
	E and T	12	1200	606
	H and X	12	900	456

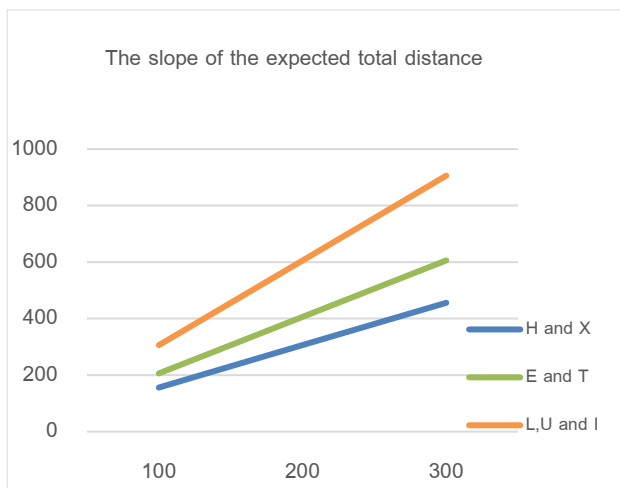


Figure 5 The slope of the expected total distance

5. Conclusions

The slope of the H and X shape line is less than the other two categories as shown in Figure 5. Therefore, it means the distance increased when doors added in H and X-shape is less than the others resulting from the higher number of centralities. In conclusion, the increase in the number of centrality facilities affects the total distance traveled for material handling to be reduced regardless of a given probability

This result calculates only the increasing door section. If the travel distance of existing shapes is included, the interception of each line would be considered for further studies.

Although the shapes of a cross-docking facility can minimize the travel distance, other considerations can generate more

benefits in terms of performance such as the cross-docking facility layout, the dock assignment, and the door assignment policy implemented in the environment of the cross-docking system.

References

- [1] U. M. Apte and S. Viswanathan, "Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies," *Int. J. Logist. Res. Appl.*, 2007, doi: 10.1080/713682769.
- [2] W. Yu and P. J. Egbelu, "Scheduling of inbound and outbound trucks in cross docking systems with temporary storage," *Eur. J. Oper. Res.*, 2008, doi: 10.1016/j.ejor.2006.10.047.
- [3] G. Stalk, P. Evans, and L. E. Shulman, "Competing on capabilities: the new rules of corporate strategy.," *Harvard Business Review*, vol. 70, no. 2. pp. 57–69, 1992.
- [4] S. Kusolpuchong, K. Chusap, O. Alhawari, and G. Suer, "A genetic algorithm approach for multi objective cross dock scheduling in supply chains," *Procedia Manuf.*, vol. 39, pp. 1139–1148, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.356.
- [5] J. J. Bartholdi and K. R. Gue, "The best shape for a crossdock," *Transp. Sci.*, vol. 38, no. 2, pp. 235–244, 2004, doi: 10.1287/trsc.1030.0077.
- [6] İ. Küçükoğlu, "The Effects of Crossdock Shapes on Material Handling Costs," *ISSN || Int. J. Comput. Eng. Res.*, vol. 10, pp. 2250–3005, 2016, [Online]. Available: www.ijceronline.com.
- [7] K. R. Gue, "Freight Terminal Layout and Operations," 1995.
- [8] K. R. Gue, "The Effects of Trailer Scheduling on the Layout of Freight Terminals," *Transportation Science*, vol. 33, no. 4. pp. 419–428, 1999, doi: 10.1287/trsc.33.4.419.
- [9] "Reducing Labour Costs in an LTL Crossdocking Terminal J Bartholdi K Gue.pdf." .
- [10] K. R. Gue and K. Kang, "Staging queues in material handling and transportation systems," *Winter Simul. Conf. Proc.*, vol. 2, pp. 1104–1108, 2001, doi: 10.1109/wsc.2001.977421.
- [11] K. Stephan and N. Boysen, "Vis-à-vis vs. mixed dock door assignment: A comparison of different cross dock layouts," *Oper. Manag. Res.*, vol. 4, no. 3–4, pp. 150–163, 2011, doi: 10.1007/s12063-011-0057-3.
- [12] "Design the Loading Dock: Determine Door Sizes." <https://www.loadingdock.com/blog/design-the-loading-dock-determine-door-sizes> (accessed Dec. 14, 2022).

การลดเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานโดยใช้ ซิกซ์ซิกม่า
กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมไก่แปรรูป
**Reduction of Machine Breakdowns through Six Sigma:
A Case Study of Poultry Processing Plant**

นัฐพล ญาณสิริสกุล¹, สติพร พิมพ์สกุล

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: 62601243@kmitl.ac.th*

Nattapon Yanasirisakul¹, Sittiporn Pimsakul

Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

E-mail: 62601243@kmitl.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานระหว่างการผลิตในอุตสาหกรรมไก่แปรรูป โดยใช้หลักการซิกซ์ซิกม่า (Six sigma) ช่วยในการปรับปรุง มีวิธีดำเนินการคือ 1) ศึกษาสภาพทั่วไปเพื่อสำรวจปัญหา 2) เก็บรวบรวมข้อมูลของเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานและศึกษากระบวนการ 3) การวิเคราะห์ข้อมูลของปัญหาเพื่อหาแนวทางการลดเวลาที่สูญเสีย 4) เลือกมาตรการทดลองที่ผ่านการวิเคราะห์จากการระดมสมอง 5) เก็บรวบรวมข้อมูลเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานจากการทดลอง 6) การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการโดยวิธีการที่ดีที่สุด 7) สรุปผลการปรับปรุงแก้ไขโดยเปรียบเทียบกับข้อมูลก่อนหลังการปรับปรุง ผลการปรับปรุงพบว่าสามารถลดเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานลงได้ 2.20% จากก่อนปรับปรุง 3.72% และหลังปรับปรุงอยู่ที่ 1.52%

คำสำคัญ: ซิกซ์ซิกม่า สูญเสียเวลาจากเครื่องจักรหยุดทำงาน อุตสาหกรรมไก่แปรรูป

Abstract

The objective of this research is to reduce the lost time from machine breakdown in the chicken processing industry by using the Six Sigma principle to improve. The procedure is 1) Study the general condition for the time data of the machine downtime 2) Data collection and measurement 3) Analyze the data to find the method of downtime reduction 4) Select experimental measures that is analyzed from the brainstorming of the team 5) Collected time-lost data from experimental machinery downtime. 6) Improve processes by used the best method and 7) Summarize the improvement results. Optimization of machine downtime caused the machine downtime decrease 2.20% (Before and after improvement is 3.72% and 1.52%)

Keywords: Six Sigma, Machine Breakdown, Poultry processing plant

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์ไก่แปรรูป (Processed Chicken) เป็นผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปที่ไทยส่งออกเป็นอันดับ 1 ในตลาดโลก โดยวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์ไก่แปรรูปคือ ชิ้นส่วนไก่ที่ได้มาจากเนื้อไก่ที่ชำแหละจากโรงงานที่ได้มาตรฐานสากล มีมาตรฐานความปลอดภัยทางอาหารเช่น GMP, HACCP, BRC ทำให้ผลิตภัณฑ์ไก่แปรรูปของไทยมีคุณภาพดีและเป็นที่ยอมรับของตลาดโลก

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจผลิตอาหารสำเร็จรูปประเภทผลิตภัณฑ์เนื้อไก่แปรรูป โดยปัจจุบันทางบริษัทต้องการส่งมอบสินค้าให้ทันตามกำหนดตามที่ได้ตกลงกับลูกค้าไว้เพื่อรักษาส่วนแบ่งทางการตลาดจากบริษัทคู่แข่ง แต่ปัญหาหลักที่พบในปัจจุบันคือสายการผลิตมีปัญหาทำให้ไม่สามารถผลิตได้ตามแผนที่กำหนดเนื่องจากเครื่องจักรหยุดทำงานโดยเวลาที่สูญเสียจากปัญหาดังกล่าวสูงถึง 3.72 เปอร์เซ็นต์โดยเฉลี่ยต่อปี ส่งผลให้ต้องหยุดการผลิตเพื่อแก้ปัญหาและทำให้เกิดค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ตามมาเช่น ค่าแรงโอที หรือเลื่อนการส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้า คณะผู้วิจัยสังเกตเห็นถึงปัญหาข้างต้นจึงมุ่งเน้นศึกษาปัญหาและใช้เทคนิค Six Sigma เพื่อลดเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงาน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด

เครื่องมือควบคุมคุณภาพเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาทางด้านคุณภาพของกระบวนการผลิต ซึ่งช่วยศึกษาสภาพทั่วไปของปัญหา คัดเลือกหรือจัดลำดับความสำคัญของปัญหา การสำรวจสภาพปัจจุบันของปัญหา การค้นหาและวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง [1] เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้อง ติดตามผลได้อย่างต่อเนื่อง ตลอดจนช่วยในการจัดทำมาตรฐาน ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมคุณภาพที่สำคัญ มี 7 ชนิด 1. ใบตรวจสอบ (Check Sheets) 2. กราฟ (Graphs) 3. ฮิสโตแกรม (Histogram) 4. แผนผังพาเรโต (Pareto Diagram) 5. แผนภาพก้างปลา (Fish-bone Diagram) 6. แผนผังการกระจาย (Scatter Diagrams) และ 7. แผนภูมิควบคุม (Control Charts)

2.2 การปฏิบัติตามแนวคิดลีน

นันทิยา เทพพรมา และปิ่นนณิ อินเสื่อ(2562), การลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตด้วยแนวคิดแบบลีน กรณีศึกษาโรงงานผลิตข้าวแต๋นทวีพรรณ ลีนหรือระบบการผลิตแบบลีน (Lean) ความหมายตามคำศัพท์ของภาษาอังกฤษหมายถึงผอม บาง หรือปราศจากไขมัน การบริหารระบบการผลิตแบบลีนจึงหมายความว่าระบบการผลิตที่ไม่มี ความสูญเสียหรือเกิดความสูญเสียจากการผลิตน้อยที่สุด ความสูญเสียเหล่านั้นจะเหมือนกับไขมันที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายของคนทำให้เกิดปัญหาด้านสุขภาพและอาจจะทำให้เสียชีวิตได้ ซึ่งถ้ามองในมุมมองของธุรกิจความสูญเสียต่าง ๆ ทำให้ต้นทุนสูงขึ้นจนทำให้ธุรกิจนั้นไม่สามารถแข่งขันได้ สุดท้ายก็อาจจะต้องออกจากการแข่งขันหรือต้องปิด

ตัวลงไปให้มากที่สุด ความสูญเสียในระบบการผลิตตามแนวคิดของระบบลีน เกิดจากกิจกรรมที่ไม่เพิ่มคุณค่าให้กับสินค้าในระบบการผลิต 7 ประการ [2]

1. ความสูญเสียจากการผลิตมากเกินไป (Over Production)
2. ความสูญเสียจากการรอคอย (Waiting)
3. ความสูญเสียจากการขนส่ง (Transportation)
4. ความสูญเสียจากการกระบวนการที่ไม่เหมาะสม (Inappropriate Processing)
5. ความสูญเสียจากสินค้าคงคลังที่ไม่จำเป็น (Excess Inventory)
6. ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวที่ไม่เหมาะสม (Extra Motion)
7. ความสูญเสียจากข้อบกพร่อง (Defect)

2.3 การบริหารคุณภาพด้วย Six Sigma

Six Sigma คือ กระบวนการเพื่อลดความผิดพลาด (Defect) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่าง ๆ โดยมุ่งเน้นให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด และมีความสูญเสียได้ไม่เกิน 3.4 หน่วยในล้านหน่วย หรือเรียกอีกอย่างว่า ความสูญเสียโอกาสสูงให้เหลือเพียงแค่ 3.4 หน่วย (Defect per Million Opportunities, OPMO) โดยขั้นตอนในการปรับปรุงกระบวนการแบบซิกซิกมา มีอยู่ 5 ขั้นตอน [3] ดังนี้

1. ขั้นตอนการระบุ/คัดเลือกหัวข้อหรือปัญหาที่พบ (Define Phase)
2. ขั้นตอนวัดปัญหาที่พบในกระบวนการจริง (Measure Phase)
3. ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุหลักของปัญหา (Analyze Phase)
4. ขั้นตอนการปรับปรุงปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา (Improve Phase)
5. ขั้นตอนการออกแบบระบบควบคุมคุณภาพ/ควบคุมปัจจัยที่ส่งผลต่อปัญหา (Control Phase)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุดาภัทร สืบดี และ รณินทร์ กิจกล้า (2559) ลดต้นทุนการผลิตตามนโยบายของบริษัทตัวอย่างโดยการประยุกต์ใช้แนวคิด DMAIC ปรับปรุงแก้ไขโดยเทียบข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุง จากผลการดำเนินการพบว่าประเภทของเสียสูงที่สุดคือ ฝูงบรรจุ By Product ซึ่งมีสัดส่วน 33% ของถุงเสียทั้งหมดเป็นจำนวนเงินที่สูญเสีย 87,936 บาทต่อเดือน ทางทีมผู้วิจัยปรับปรุงโดยใช้แนวคิดการง่ายคือการเปลี่ยนจากการใช้ฝูง By Product เป็นภาชนะพลาสติกเพื่อรองรับสินค้า By product ในกระบวนการตัดแต่ง พบว่าถุงเสีย By product ก่อนการปรับปรุง 1,262 ชิ้นต่อวัน หลังการปรับปรุงลดเหลือ 137 ชิ้นต่อวัน โดยลดลงไป 1,125 ชิ้นต่อวันหรือลดลง 89 % สามารถลดมูลค่าสูญเสีย 78,390 บาทต่อเดือน และมีระยะเวลาในการคืนทุน 12 เดือน [4]

ตรีศ เหล่าศิริพงษ์ทอง อัมพวรรณ จิรอาภาวงศ์ และ ทศพลเกียรติเจริญผล(2551) ปรับปรุงกระบวนการเตรียมวัตถุดิบสำหรับใช้ขึ้นรูปสุกภัณฑ์เซรามิกส์ โดยใช้หลักการซิกซิกมาที่เรียกว่า DMAIC ทางทีมผู้วิจัยเลือกศึกษากระบวนการบดทรายโดโลไมท์และพิซเซอร์ซึ่งเป็นวัตถุดิบเริ่มต้นของสุกภัณฑ์และมีค่าไฟฟ้าในการบดเป็นจำนวน 8.2 ล้านบาทต่อปี ทางทีมผู้วิจัยได้ทำการหาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ

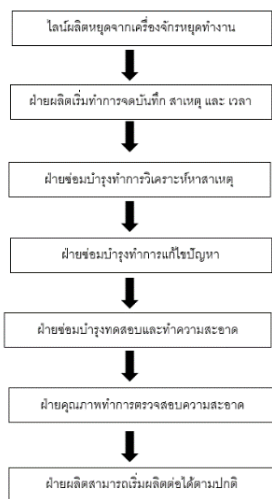
กระบวนการผลิตเพื่อนำมาออกแบบหาสภาวะการบิดที่ดีที่สุดโดยใช้การออกแบบการทดลองทางสถิติแบบ 2k factorial with center points และสร้างสมการ multi-factors linear regression model หลังจากได้สภาวะการบิดที่ดีที่สุด นำไปปรับใช้จริงในสายการผลิตพบว่าสามารถลดพลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดลง 28% จากระยะเวลาการบิดลดลง 8 ชั่วโมง รวมทั้งยังส่งผลให้คุณภาพการบิดสูงขึ้น (การกระจายอนุภาคที่มีความสม่ำเสมอมากขึ้น) [5]

ดิรัลกร เขมาสิทธิ์ และ รณินทร์ กิจกุล(2559) ศึกษาการลดของเสียจากกระบวนการผลิตไส้กรองของบริษัทกรณีศึกษาด้วยการประยุกต์ใช้หลักการ DMAIC เป็นแนวทางในการดำเนินงาน ลดของเสียสินค้าไส้กรองไม่ได้ตามขนาดที่กำหนด โดยพบว่าสาเหตุที่ทำให้ไส้กรองไม่ได้ขนาดมาจากการจัดเก็บอุปกรณ์พวก Tube ไม่เหมาะสม พนักงานขาดความรู้และขาดทักษะในการทำงาน ทีมวิจัยจึงปรับปรุงโดยการจัดทำจัดเก็บอุปกรณ์ให้เหมาะสมและออกแบบวิธีการทำงานแบบใหม่ นำไปทดลองใช้จริงในสายการผลิตพบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณไส้กรองไม่ได้ขนาดลดลงจากเดิม 4,219 กก. ต่อเดือน เหลือ 2,169 กก. ต่อเดือน โดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 48.5% [6]

3. วิธีการดำเนินงาน

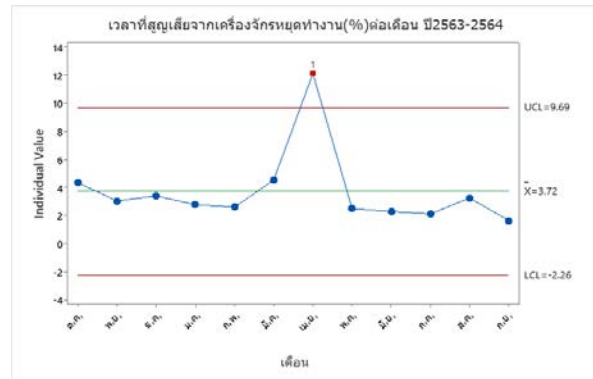
3.1 ศึกษาขั้นตอนการดำเนินการและสภาพของปัญหาเครื่องจักรหยุดการทำงาน

ศึกษาขั้นตอนการทำงานขณะที่เครื่องจักรหยุดทำงานระหว่างกระบวนการผลิตได้แปรรูปพบว่ามีขั้นตอนอยู่ 7 ขั้นตอนดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนดำเนินการขณะเครื่องจักรหยุดทำงาน

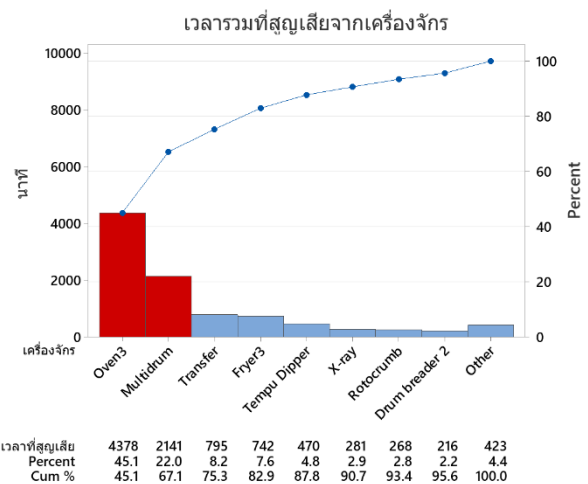
เก็บข้อมูลการสูญเสียเวลาจากเครื่องจักรหยุดทำงานเป็นระยะเวลาทั้งหมด 12 เดือน พบว่ามีการสูญเสียเวลาการทำงานเนื่องจากเครื่องจักรหยุดทำงานสูงถึง 3.72% จากเวลาการผลิตทั้งหมด



รูปที่ 2 เวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงาน

3.2 รวบรวมข้อมูลของปัญหาและวิเคราะห์เพื่อกำหนดเป้าหมายในการปรับปรุง

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานในแต่ละชนิดตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2564 – 30 กันยายน 2565 เป็นระยะเวลา 12 เดือนเพื่อหาว่าเครื่องจักรชนิดใดมีความสูญเสียของเวลาเนื่องจากเครื่องจักรหยุดทำงานมากที่สุดโดยใช้กราฟพาเรโตจัดเรียงลำดับเครื่องจักรที่มีความสูญเสียจากมากไปหาน้อย (รูปที่ 3) เพื่อตั้งเป้าหมายในการลดเวลาที่สูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงาน

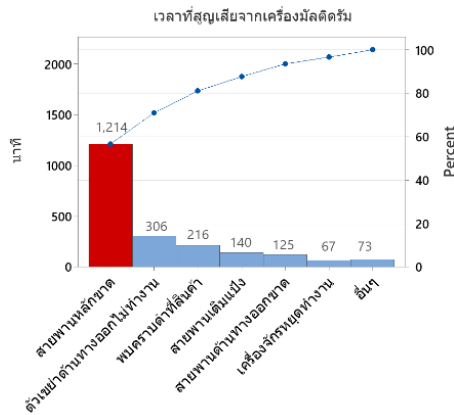


รูปที่ 3 ลำดับเครื่องจักรที่มีความสูญเสียเวลาจากเครื่องจักรหยุดทำงาน

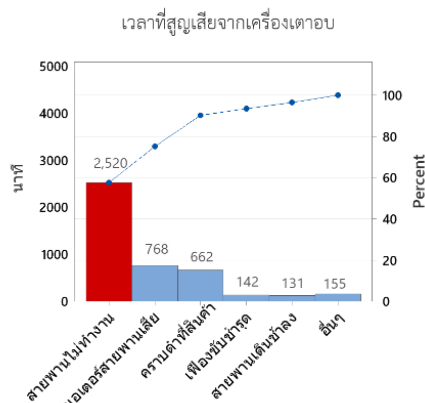
กราฟพาเรโตแสดงให้เห็นว่าเครื่องจักรที่มีการสูญเสียเวลาเนื่องจากเครื่องจักรหยุดทำงานมากที่สุดคือ เตอบอบและเครื่องมัลติดรัม (Multi-drum) งานวิจัยนี้จึงเลือกปรับปรุงเครื่องจักรดังกล่าว

3.3 วิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาแนวทางในการลดเวลาสูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงาน

เก็บข้อมูลปัญหาเครื่องจักรมัลติดริ่มหยุดทำงานว่าสาเหตุใดที่ทำให้เครื่องจักรดังกล่าวหยุดทำงานมากที่สุด จัดลำดับโดยกราฟพาเรโต



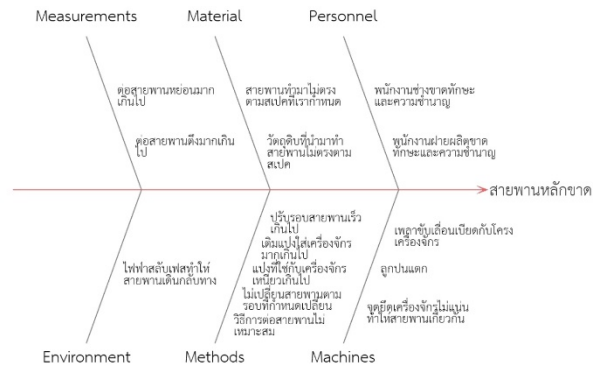
รูปที่ 4 สาเหตุของการสูญเสียเวลาเครื่องมัลติดริ่ม



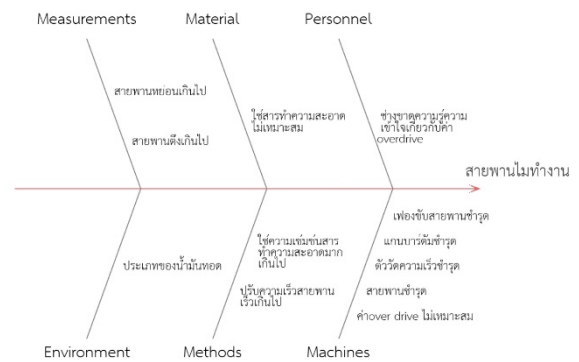
รูปที่ 5 สาเหตุของการสูญเสียเวลาเครื่องเตาอบ

เก็บข้อมูลปัญหาหลักที่ทำให้เครื่องเตาอบหยุดทำงานสาเหตุใดที่ทำให้เครื่องจักรดังกล่าวหยุดทำงานมากที่สุด จัดลำดับโดยกราฟพาเรโต

ผู้วิจัยพบว่า ปัญหาของเครื่องเตาอบคือสายพานไม่ทำงานและเครื่องมัลติดริ่มคือสายพานหลักขาด ซึ่งหลังจากที่ทราบสาเหตุหลักของปัญหา ได้ทำการหาแนวทางในการแก้ไขสาเหตุของปัญหาโดยใช้แผนผังแสดงเหตุและผล



รูปที่ 6 สาเหตุของปัญหาสายพานหลักขาดเครื่องมัลติดริ่ม



รูปที่ 7 สาเหตุของปัญหาสายพานหยุดทำงานเครื่องเตาอบ

ผู้วิจัยนำสาเหตุของปัญหาที่ได้มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่สามารถแก้ไขได้ง่าย ทันทที และมีผลกระทบต่อปัญหาที่ต้องการแก้ไขสูง (High impact Low effort) เพื่อนำสาเหตุดังกล่าวมาแก้ไขในขั้นตอนนี้ต่อไป โดยทางที่มิวิจัยเลือกสาเหตุของปัญหาเครื่องเตาอบคือ ค่า Over drive และเวลาเดินสายพานไม่เหมาะสม และของเครื่องมัลติดริ่มคือ วิธีการต่อสายพานไม่เหมาะสม

3.4 ลดเวลาสูญเสียเครื่องเตาอบหยุดจากสายพานไม่ทำงาน

ผู้วิจัยเลือกพิจารณาปัญหาค่าพารามิเตอร์ over drive และเวลาเดินสายพานที่ใช้อย่างไม่เหมาะสมในปัจจุบัน เนื่องจากมีการเปลี่ยนน้ำมันทอดซึ่งจากเดิมเคยใช้น้ำมันปาล์มมาใช้เป็นน้ำมันถั่วเหลือง การเปลี่ยนมาใช้ น้ำมันถั่วเหลืองทำให้พบปัญหาสายพานไม่สามารถทำงาน ส่งผลให้ต้องหยุดการผลิตเพื่อล้างทำความสะอาดสายพานเป็นเวลาสูญเสียไปอย่างมากถึง 2,520 นาทีต่อปี

3.4.1 ออกแบบการทดลองหาค่า Over drive ที่เหมาะสมกับช่วงความเร็วสายพาน

ออกแบบการทดลองหาค่า Over drive ที่เครื่องจักรยังสามารถทำงานได้ ค่า Over drive ต่ำสุดอยู่ที่ 220 มม. และ สูงสุดอยู่ที่ 350 มม. กับช่วงความเร็วสายพานที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้าโดย

กำหนดให้ความเวลาเดินสายพานต่อหนึ่งรอบต่ำสุดอยู่ที่ 5.5 นาที และสูงสุดอยู่ที่ 6.5 นาที กำหนดค่าพารามิเตอร์ Over drive และเวลาเดินสายพานต่อหนึ่งรอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ทดลองหาปัจจัยที่เหมาะสมระหว่างค่า Over drive กับ เวลาเดินสายพานต่อหนึ่งรอบ

Level	ค่า Over drive(มม.)	เวลาเดินสายพาน (นาที)
1	220	5.5
2	285	6.0
3	350	6.5

เก็บข้อมูลการทดลองและวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมโดยใช้ DOE (Design of Experiment)

3.4.2 ทดลองใช้ค่ากำหนด Over drive และ เวลาเดินสายพานต่อหนึ่งรอบแบบใหม่ในสายการผลิตจริง

กำหนดค่า Over drive และเวลาเดินสายพานต่อหนึ่งรอบโดยใช้ค่าที่เหมาะสมในสายการผลิตจริง เก็บข้อมูลการสูญเสียเวลาจากสายพานหยุดทำงานเครื่องเตาอบเทียบกับก่อนการปรับปรุง

3.5 ลดเวลาสูญเสียของเครื่องจักรมัลติดีรึมหยุดทำงานจากสายพานหลักขาด

ผู้วิจัยเลือกพิจารณาปัญหาสายพานหลักขาดเนื่องจากในปัจจุบันพบว่าสาเหตุมาจากการต่อสายพานหลักโดยใช้วิธีการตัดสายพาน ทำให้พบปัญหาเครื่องจักรหยุดทำงานมากถึง 1,214 นาทีต่อปี

3.5.1 ออกแบบวิธีการต่อสายพานที่เหมาะสม

ออกแบบวิธีการต่อสายพานแบบใหม่ที่เหมาะสมและวิเคราะห์ค่าความเค้น (Stress) และค่าการกระจัด (Displacement) โดย Finite Element Analysis เพื่อพิสูจน์ว่าวิธีแบบใหม่นั้นสามารถลดโอกาสการขาดของสายพานได้เนื่องจากวิธีการต่อสายพานแบบใหม่จะใช้ป้องกันการต่อสายพานมาเป็นตัวกลางทำให้เพิ่มความแข็งแรงให้กับสายพานซึ่งวิธีการต่อสายพานแบบเดิมจะใช้แรงในการตัดสายพานทำให้โครงสร้างของสายพานเกิดความเสียหายขึ้นทำให้สายพานขาดได้ง่าย

3.5.2 ทดลองใช้วิธีการต่อสายพานแบบใหม่ในสายการผลิตจริง

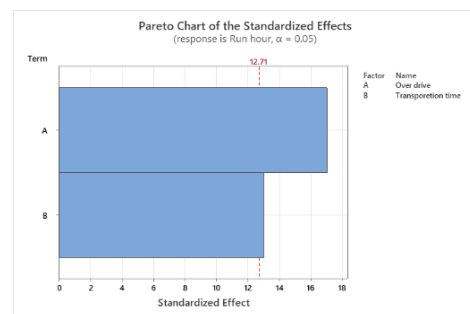
ออกแบบการทดลองหาค่าที่เหมาะสม

กำหนดวิธีการต่อสายพานแบบใหม่ใช้จริงในสายการผลิต เก็บข้อมูลของการสูญเสียเวลาจากสายพานหลักขาดเทียบก่อนและหลังปรับปรุง

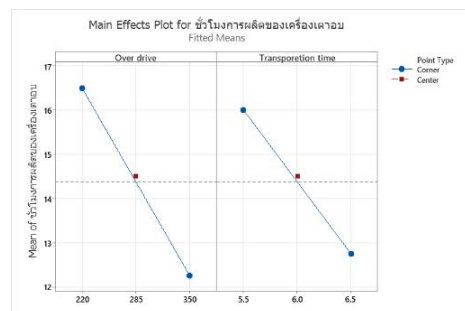
4 ผลการทดลอง

4.1 ผลของการใช้ค่ากำหนดใหม่ของค่า Over drive และเวลาเดินสายพานต่อรอบของเครื่องเตาอบ

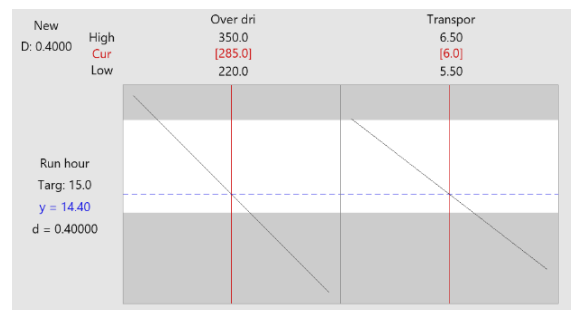
ออกแบบการทดลองหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้ 2^2+1 full factorial Design ระหว่างค่า Over drive และเวลาการเดินสายพานต่อรอบพบว่าปัจจัยทั้งสองเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อชั่วโมงการเดินสายพานของเครื่องเตาอบ (รูปที่ 8) โดยค่าที่เหมาะสมที่ทำให้ชั่วโมงการเดินสายพานของเครื่องเตาอบโดยไม่มีกรหยุดของสายพานคือ ค่า Over drive = 285 มม. และเวลาการเดินสายพานต่อหนึ่งรอบ = 6.0 นาทีต่อรอบ (รูปที่ 10) ส่งผลให้ทำให้เครื่องเตาอบทำงานต่อเนื่องได้นานถึง 14 ชั่วโมงโดยไม่มีกรหยุดการทำงานและไม่กระทบกับคุณภาพสินค้า



รูปที่ 8 ปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าชั่วโมงเดินสายพานของเครื่องเตาอบ



รูปที่ 9 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก (Main Effect) สำหรับชั่วโมงการผลิตของการทดลองแบบ 2^2+1 full factorial design



รูปที่ 10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Over drive และเวลาการเดินสายพานต่อหนึ่งรอบกับชั่วโมงการทำงานของเครื่องเตาอบ

4.2 ผลของการออกแบบวิธีการต่อสายพานที่เหมาะสม

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาวีธีการต่อสายพานที่เหมาะสมสามารถรับแรงและลดการขาดขณะใช้งานได้โดยออกแบบวิธีการต่อสายพานแบบใหม่โดยใช้ปลอกเพื่อทดแทนรูปแบบการต่อสายพานแบบเก่าที่ใช้แรงในการดัดลวดสายพานทำให้เส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเกิดการเปลี่ยนแปลงและเสียหายได้ง่าย ดังรูปที่ 11 และ 12

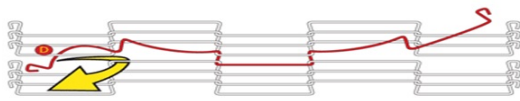
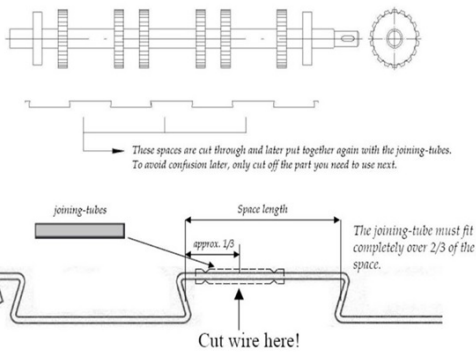


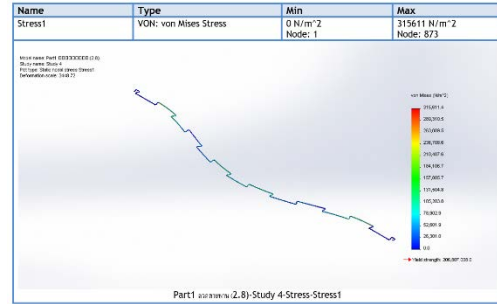
Diagram 3

รูปที่ 11 การต่อสายพานแบบเก่า (แบบดัด)



รูปที่ 12 การต่อสายพานแบบใหม่ (แบบใช้ปลอก)

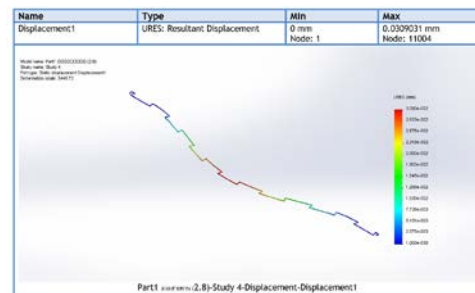
โดยการศึกษาในครั้งนี้ได้นำเครื่องมือที่เรียกว่า Computer Aided Engineering (CAE) วิเคราะห์หาค่าความเค้นและค่าการกระจัดเปรียบเทียบระหว่างการต่อสายพานแบบเก่าและแบบใหม่โดยใช้วิธีการ Finite Element Analysis พบว่าการต่อสายพานแบบใหม่มีค่าความเค้นและค่าการกระจัดน้อยกว่าการต่อสายพานแบบเก่า



รูปที่ 13 ค่าความเค้นของการต่อสายพานแบบเก่า
(ความเค้น = 0 – 315,611N/m²)



รูปที่ 14 ค่าความเค้นของการต่อสายพานแบบใหม่
(ความเค้น = 0 – 169,004N/m²)



รูปที่ 15 ค่าการกระจัดของการต่อสายพานแบบเก่า
(การกระจัด = 0 - 0.0309031mm.)



รูปที่ 16 ค่าการกระจัดของการต่อสายพานแบบใหม่
(การกระจัด = 0 - 0.00837741mm.)

4.3 ผลจากการปรับปรุงการทำงานจริง

ทดลองใช้ค่ากำหนดใหม่ของค่า Over drive และเวลาการเดินทางสายพานของเครื่องเตาอบและวิธีการต่อสายพานแบบใหม่ของ

เครื่องจักรมัลติดรัมในสายการผลิตจริงเป็นเวลา 17 เดือน เก็บข้อมูลเปอร์เซ็นต์สูญเสียเวลาจากเครื่องจักรหยุดทำงานพบว่าหลังจากการปรับปรุงสามารถลดเปอร์เซ็นต์การสูญเสียเวลาจากเครื่องจักรหยุดทำงานเนื่องจากสายพานหยุดของเครื่องเตาอบจากเดิม 1.65% เป็น 0.05% (ลดลง 1.61% ของเวลาสูญเสียต่อเดือน)

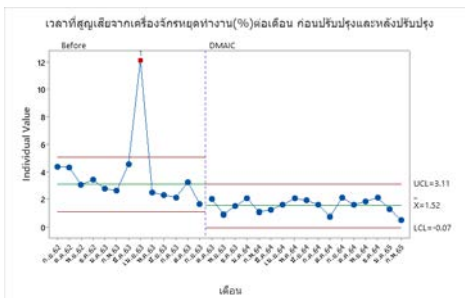


รูปที่ 17 เวลาสูญเสียจากสายพานหยุดทำงานของเครื่องจักรเตาอบ

ส่วนเครื่องจักรมัลติดรัมหลังปรับปรุงพบว่าสามารถลดเวลาการสูญเสียจากสายพานขาดจากเดิม 0.72% เป็น 0.26% (รูปที่ 18) และจากการปรับปรุงดังกล่าว ส่งผลให้เวลาสูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานต่อเดือนลดลงไปด้วยจากเดิม 3.72% เป็น 1.52% (รูปที่ 19)



รูปที่ 18 เวลาสูญเสียจากสายพานขาดของเครื่องจักรมัลติดรัม



รูปที่ 19 เวลาสูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงาน

5. สรุปผลและอภิปรายผลการทดลอง

ลดเวลาสูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานโดยมุ่งเน้นลดการหยุดทำงานของเครื่องเตาอบเนื่องจากสายพานหยุดทำงานและเครื่องจักรมัลติดรัมเนื่องจากสายพานหลักขาด โดยเครื่องเตาอบได้มีการหาค่ากำหนดของสายพาน (ค่า Over drive และเวลาการเดินทาง

สายพานต่อรอบ) เพื่อให้เวลาการเดินทางสายพานนั้นนานที่สุดโดยไม่มีปัญหาส่งผลให้สายพานหยุดทำงาน พบว่าค่า Over drive ที่ 285 และเวลาการเดินทางสายพานที่ 6.0 นาทีส่งผลให้การเดินสายพานของเครื่องเตาอบเดินได้นานขึ้น ไม่มีปัญหาที่ส่งผลให้เกิดการหยุดการทำงานของสายพานทำให้สามารถลดการสูญเสียเวลาของเครื่องจักรดังกล่าวจากสาเหตุสายพานหยุดทำงานได้ 1.61% เมื่อเทียบกับก่อนการปรับปรุง

การลดสูญเสียเวลาของเครื่องจักรมัลติดรัมออกแบบการต่อสายพานแบบใหม่ให้เหมาะสมต่อสภาพการใช้งานคือต่อแบบใช้ปลอกพบว่าการต่อสายพานแบบใหม่ส่งผลให้การแตกหักของสายพานหลักลดลง เวลาการสูญเสียจากปัญหาดังกล่าวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ความเชื่อมั่น 95% เนื่องจากการต่อสายพานแบบใหม่อ้างอิงจากการวิเคราะห์ Finite element มีความเค้นที่น้อยกว่าการต่อสายพานแบบเก่า แสดงถึงโอกาสที่จะเกิดการแตกหักน้อยกว่า รวมทั้งมีการกระจัดที่น้อยกว่าหมายความว่าความถี่ของการต่อสายพานแบบใหม่มีโอกาสสูญเสียรูปทรงที่น้อยกว่าเช่นเดียวกัน จึงทำให้เมื่อนำไปประยุกต์ใช้จริงสามารถลดโอกาสการหักของสายพานหลักของเครื่องจักรมัลติดรัม ลดเวลาสูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงานได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เรื่องลักษณะ บุตรเพชร, จุฑาวรรณ อันสุวรรณ, ธิดาเดียว มยุรีสุวรรณ, “เครื่องมือควบคุมคุณภาพ 7 ชนิด, ข้อมูลจาก http://sc2.kku.ac.th/stat/statweb/images/Eventpic/60/Seminar/02_13_-7-.pdf วันที่สืบค้นข้อมูล 20 มิถุนายน 2565.
- [2] นนทียา เทพพรมา และปิ่นมณี อินเสื่อ, การลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตด้วยแนวคิดแบบลีน กรณีศึกษาโรงงานผลิตข้าวแต๋น ทวีพรธร, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2562
- [3] S. Sigma, “การบริหารคุณภาพด้วย,1980.
- [4] สุดาภัทร สืบดี และระณิษฐ์ กิจกล้า, นวัตกรรมอย่างง่ายเพื่อลดสูญเสียในกระบวนการตัดแต่ง โดยการประยุกต์ใช้แนวคิด DMAIC กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร,วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, 68–76.มกราคม-มิถุนายน, 2559
- [5] ดรีทศ เหล่าศิริหงษ์ทอง, อัมพวรรณ จิราภาวงศ์, ทศพลเกียรติเจริญผล, การประยุกต์ใช้วิธีการ DMAIC สำหรับปรับปรุงกระบวนการผลิตสภภัณฑ์เซรามิกส์, วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา ปีที่ 19, ฉบับที่ 4, 2551
- [6] ดิรัศกร เขมาสิทธิ์ และระณิษฐ์ กิจกล้า, การลดของเสียจากกระบวนการผลิตไส้กรอกโดยการประยุกต์ใช้แนวคิด DMAIC กรณีศึกษา โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร,วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 11, ฉบับที่ 2, 77–83.กรกฎาคม - ธันวาคม, 2559

ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติสำหรับสกุลเงินบิตคอยน์ ด้วยตัวบ่งชี้ทางเทคนิค RSI และ Stoch

Bitcoin Algorithmic Trading Using RSI and Stoch Technical Indicators

ภัทรพล ชูชีพชื่นกมล^{1*} ดาริชา สุธีวงศ์²

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6470347921@student.chula.ac.th^{1*}, daricha.s@chula.ac.th²

Pattrapon Chucheepchuenkamon^{1*}, Daricha Sutivong²

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: 6470347921@student.chula.ac.th^{1*}, daricha.s@chula.ac.th²

บทคัดย่อ

ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติได้รับความนิยมมากขึ้นในช่วงหลายปีที่ผ่านมาเมื่อนักลงทุนมองหาการตัดสินใจซื้อขายแบบอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิธีการหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือการใช้ตัวบ่งชี้ทางเทคนิค เช่น Relative Strength Index (RSI) และ Stochastic Oscillator (Stoch) เพื่อระบุสภาวะการซื้อที่มากเกินไปและการขายที่มากเกินไปในตลาด กลยุทธ์นี้อาจได้ผลในบางสภาวะตลาด แต่ก็อาจส่งผลให้เกิดการขาดทุนได้เช่นกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องลองทดสอบกลยุทธ์การซื้อขายกับข้อมูลตลาดในอดีตก่อนที่จะใช้เงินทุนจริง ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการซื้อขายและหลีกเลี่ยงอคติทางอารมณ์ที่เกี่ยวข้องกับการซื้อขายได้ บทความนี้นำเสนอกฎการซื้อขายด้วยตัวบ่งชี้ RSI และ Stoch ในชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติสำหรับสกุลเงินบิตคอยน์ โดยซื้อเมื่อตลาดเป็นสภาวะการขายมากเกินไป (RSI น้อยกว่า 30 Stoch น้อยกว่า 20) และขายเมื่อตลาดเป็นสภาวะการซื้อที่มากเกินไป (RSI มากกว่า 70 Stoch มากกว่า 80) ซึ่งเป็นค่าที่นิยมใช้และวิเคราะห์ผลกระทบในสภาวะตลาดต่างๆ เช่น ตลาดขาขึ้น ตลาดขาลง และตลาดราคาออกข้าง ผลการทดลองกลยุทธ์ซื้อขายด้วยตัวบ่งชี้ RSI และ Stoch จะได้นำมาเปรียบเทียบกับกลยุทธ์การซื้อและถือยาวในการลงทุนระยะยาว ผลการทดลองพบว่าในช่วงเวลาที่ศึกษาคือ ก.ค. 2021 ถึง ธ.ค. 2022 นั้นกลยุทธ์ซื้อขายด้วยตัวบ่งชี้แบบ Stoch บนกรอบเวลา 15 นาทีที่เหมาะสมกับตลาดโดยรวมและตลาดที่มีแนวโน้มขาขึ้น ในส่วนของตลาดขาลงและตลาดราคาออกข้างตัวบ่งชี้ RSI และ Stoch บนกรอบเวลา 1 วัน ให้ผลตอบแทนสูงสุด ซึ่งกลยุทธ์ซื้อขายด้วยตัวบ่งชี้ประกอบกับกรอบเวลาที่เหมาะสมจะให้ผลตอบแทนที่ดีกว่าการซื้อและถือยาวในทุกสภาวะตลาด

คำสำคัญ: ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติ ตัวบ่งชี้ RSI ตัวบ่งชี้ Stoch สกุลเงินตราดิจิทัล การทดสอบระบบกลยุทธ์เทรดย้อนหลัง

Abstract

Algorithmic trading has become increasingly popular in recent years as traders look to automate their trading decisions using computer programs. One widely used approach is to employ technical indicators such as the Relative Strength Index (RSI) and the Stochastic Oscillator (Stoch) to identify overbought and oversold conditions in the market. The strategy can be effective in certain market conditions, but it can also result in losses. Therefore, it is crucial to backtest any trading strategy before committing actual funds. Algorithmic trading can increase trading efficiency and avoid emotional biases associated with manual trading. This paper proposes various strategies using RSI and Stoch indicators, specifically buying in an oversold market (RSI less than 30, Stoch less than 20) and selling in an overbought market (RSI over 70, Stoch over 80), which is a popular trading strategy in Bitcoin algorithmic trading and analyzes their impact on changing market conditions, such as bullish, bearish and sideways markets. The results of using RSI and Stoch indicators are then compared with buying and holding in a long-term investment. The results show that, under the studied period from July 2021 to December 2022, the strategy using 15-minute Stoch indicator performs the best in the overall market and during the upward market trend. In the downward market and the sideways market, the strategies using the RSI and Stoch indicators with a timeframe of 1 day lead to optimal returns. Trading strategies using appropriate indicators and timeframe consistently outperform buy-and-hold strategy in all market conditions.

Keywords: Algorithmic trading, RSI indicator, Stoch indicator, Cryptocurrency, Backtest

1. บทนำ

การซื้อขายเงินตราดิจิทัล (cryptocurrency) เป็นการลงทุนที่สามารถทำกำไรได้ตั้งเช่นสินทรัพย์ที่มีการซื้อขายในตลาดทั่วไป ทำให้การลงทุนอาจมีความผันผวนและความเสี่ยงสูง เพียงแต่เงินตราดิจิทัลนั้นมีความซับซ้อน และมีการเปลี่ยนแปลงของราคาค่อนข้างเร็ว

เงินตราดิจิทัลเป็นสินทรัพย์ดิจิทัลที่มีการรักษาความปลอดภัยด้วยการเข้ารหัส เพราะเป็นการทำงานอยู่บนเทคโนโลยี บล็อกเชน (Blockchain) โดยเริ่มต้นจากการสร้างชุดเก็บข้อมูล (Block) แล้วเรียงต่อกันไปเรื่อย ๆ ในลักษณะของโซ่คล้องกัน (Chain) อีกทั้งใช้ระบบการกระจายศูนย์ (Decentralized) ที่ปราศจากการควบคุมจากบุคคลใดหรือหน่วยงานใดในโลก

ปัจจุบันมีเงินตราดิจิทัลเป็นจำนวนมากและมีการใช้งานที่ต่างกันไป ซึ่งหลักๆที่จะกล่าวถึงในบทความนี้มีสองเหรียญคือ 1) บิตคอยน์ (Bitcoin) ซึ่งเป็นสกุลเงินตราดิจิทัลแรกของโลก ก่อตั้งโดยซาโตชิ นากาโมโตะในปี 2008 และเป็นเหรียญที่มีจำนวนจำกัดเพียง 21 ล้านเหรียญ ทำให้ราคาของเหรียญชนิดนี้แปรผันตามอุปสงค์และอุปทาน และ 2) Stablecoin ซึ่งมีเสถียรภาพในตัวเอง โดยอ้างอิงกับมูลค่าของสินทรัพย์บางอย่าง เช่น USDT อ้างอิงด้วยเงินดอลลาร์สหรัฐฯ (USD) ในอัตราส่วน 1:1

การลงทุนในเงินตราดิจิทัลมีหลายกลยุทธ์ที่สามารถนำมาใช้ได้ เช่น ซื้อและถือยาว ซึ่งหมายถึงการซื้อเงินตราดิจิทัลแล้วเก็บไว้เป็นระยะเวลานาน โดยไม่มีการขายหรือแลกเปลี่ยน วิธีนี้เหมาะสำหรับผู้ที่เชื่อว่าเงินตราดิจิทัลนั้นจะมีราคาสูงขึ้นในอนาคต ซึ่งในบางครั้งอาจจะต้องอดทนรอเป็นปีหรือหลายปีก่อนที่จะมีกำไรจากการลงทุน

วิธีการลงทุนในเงินตราดิจิทัลอีกวิธีหนึ่งคือการซื้อและขายตามราคาที่เปลี่ยนแปลงอยู่ในตลาด โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความเคลื่อนไหวของราคาเพื่อทำการซื้อหรือขายเงินตราดิจิทัลในเวลาที่เหมาะสม วิธีการนี้สามารถให้ผลตอบแทนที่สูงถ้าหากซื้อขายได้ถูกต้องตามกรอบเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสินทรัพย์ที่มีการแกว่งของราคามาก

ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติ (Algorithmic trading) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงการซื้อขายให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติเป็นการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์และคำนวณราคาและเวลาซื้อขายได้อย่างมีประสิทธิภาพและติดตามราคาได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่จำเป็นต้องเข้าถึงตลาดด้วยตนเอง อีกทั้งยังช่วยลดความเสี่ยงในการซื้อขายที่เป็นผลมาจากการตัดสินใจผิดพลาด [1] นอกจากนี้ การใช้ชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติยังช่วยให้สามารถปรับแต่งกลยุทธ์การซื้อขายให้เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์ตลาดได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มโอกาสในการตัดสินใจการซื้อขายที่ดีที่สุด [2]

กลยุทธ์การซื้อขายนั้นอาศัยราคาในอดีตมาคำนวณ โดยมีหลากหลายรูปแบบในการวิเคราะห์สภาพตลาด แนวโน้ม และทิศทางของราคา [3] ซึ่งในงานวิจัยนี้จะศึกษาตัวบ่งชี้ทางเทคนิคสองตัวหลักคือ Relative Strength Index (RSI) และ Stochastic Oscillator (Stoch) ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์สินทรัพย์ในตลาด

โดยทั่วไปแล้วผู้ซื้อขายจะใช้ตัวบ่งชี้เหล่านี้เพื่อช่วยวิเคราะห์และตัดสินใจทำการซื้อหรือขายในขณะที่ตลาดกำลังเคลื่อนไหว [4] โดยตัวบ่งชี้ที่ศึกษาทั้งสองตัวนี้เป็นตัวบ่งชี้แบบโมเมนตัม (Momentum Indicator) ที่มีข้อดีคือช่วยให้เราวางแผนการซื้อขายโดยอาศัยการสังเกตกราฟตามเกณฑ์ของตัวบ่งชี้เหล่านั้น แต่ข้อเสียคืออาจไม่แม่นยำ 100% ทำให้ต้องอาศัยตัวบ่งชี้อื่นๆประกอบด้วย

การวิเคราะห์เทคนิคอย่างเชี่ยวชาญมักใช้กรอบเวลา (timeframe) เพื่อตรวจสอบแนวโน้มของตลาด กรอบเวลาที่มีความสำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของราคาสินทรัพย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการศึกษาแนวโน้มราคาของเงินตราดิจิทัลเช่นบิตคอยน์ที่มีความผันผวนขึ้นและลงอย่างรวดเร็วในช่วงเวลาสั้นๆ

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาและวิเคราะห์การใช้ตัวบ่งชี้ทางเทคนิค RSI และ Stoch มาสร้างชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติเพื่อช่วยตัดสินใจซื้อขายบิตคอยน์ด้วยตัวบ่งชี้เหล่านี้ โดยคำนวณในกรอบเวลาต่างๆ เช่น 15 นาที, 1 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 1 วัน เพื่อมาเปรียบเทียบกับการถือยาว

2. บทบาททวนวรรณกรรม

RSI และ Stoch เป็นตัวบ่งชี้ที่เป็นที่นิยมในการซื้อขายอัตโนมัติ เนื่องจากทั้งสองจัดอยู่ในตัวบ่งชี้แบบโมเมนตัมที่สามารถพยากรณ์ทิศทางอย่างคร่าวๆของราคาได้ และยังสามารถบอกถึงจุดการเข้าซื้อและขาย [5] โดยมีการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่าง RSI และ Moving Average Convergence Divergence (MACD) ผลที่ได้คือ RSI สามารถให้ผลกำไรอย่างมีนัยยะสำคัญ แต่ MACD ยังไม่สามารถสรุปผลออกมาได้ [6]

งานวิจัยบางงานยังได้นำตัวบ่งชี้ประเภทต่างๆ มาจับคู่กันและเปรียบเทียบประสิทธิภาพออกมา ซึ่งตัวบ่งชี้ที่ศึกษาคือ 1) Moving Average Convergence Divergence (MACD) เป็นตัวบ่งชี้ที่บอกทิศทางแนวโน้มของราคา 2) Relative Strength Index (RSI) เป็นตัวบ่งชี้บอกสถานะของตลาด 3) Average Direction Index (ADX) เป็นตัวบ่งชี้บอกถึงความแข็งแกร่งว่าแนวโน้มนั้นจะจบลงเมื่อใด 4) Renko Charts เป็นตัววัดความเปลี่ยนแปลงของราคาที่ไม่ส่งผลต่อเวลา 5) Average True Range (ATR) เป็นตัวบ่งชี้บอกถึงความผันผวนของตลาด 6) On Balance Volume (OBV) เป็นตัวบ่งชี้บอกถึงปริมาณการซื้อขายของตลาด 7) Resistance Breakout เป็นการประยุกต์ของ ATR ที่งานวิจัยนี้จัดทำขึ้น ซึ่งจากการจับคู่ระหว่าง MACD and Renko, MACD and RSI, OBV and Renko, MACD and OBV และ Resistance Breakout และทดลองบนตลาดหุ้นอินเดียระหว่างวันที่ 22 ก.ค 2020 ถึง 15 ก.ย 2020 ผลปรากฏว่าการจับคู่ระหว่าง MACD และ RSI ได้ผลตอบแทนถึง 10% [7]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ศึกษาหากรอบเวลาที่เหมาะสมสำหรับการซื้อขาย โดยได้สร้างแบบจำลองจากการนำตัวบ่งชี้มาใส่ในการเรียนรู้ด้วยเครื่องโดยใช้เทคนิคการสุ่มป่าไม้ (Random Forest) มาเปรียบเทียบกับเทคนิคการเรียนรู้แบบเชิงลึก (Deep Learning) โดยตัว

บ่งชี้ในงานวิจัยมีทั้งหมด 5 ตัวคือ RSI, Stoch, MACD, OBV และ Williams %R พบว่า RSI ส่งผลต่อการซื้อขายมากที่สุด ส่วนตัวอื่น ๆ นั้นให้ผลใกล้เคียงกันแต่ OBV ส่งผลน้อยที่สุด ผู้วิจัยยังได้ศึกษากรอบเวลาที่ใช้ในการซื้อขาย 3 กรอบเวลาคือ 5 นาที, 15 นาที, 360 นาที และการถือแบบยาว พบว่าในการซื้อขายบิตคอยน์ 5 นาทีให้ผลดีที่สุด และมีการวัดผลกำไรด้วย 2 ค่าคือ อัตราผลตอบแทน (Rate of return) และ อัตราผลตอบแทนรายปี (Annualized Rate of Return) [8]

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า RSI เป็นตัวบ่งชี้ที่ให้ผลตอบแทนดีที่สุดในการนำมาใช้ในการสร้างอัลกอริทึม ซึ่งอันดับรองลงมาพบ Stoch และ Williams %R มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน [8] โดยตัวบ่งชี้ที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือ RSI และ Stoch [5] งานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาตัวบ่งชี้ RSI และ Stoch มาสร้างกลยุทธ์ในชุดคำสั่งคอมพิวเตอร์ซื้อขายอัตโนมัติ

3. ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

3.1 ตัวบ่งชี้

3.1.1 Relative Strength Index (RSI)

RSI ช่วยวิเคราะห์ว่าตลาดในขณะนั้นอยู่ในสภาวะการซื้อที่มากเกินไป (Overbought) หรือการขายที่มากเกินไป (Oversold) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 ซึ่งในสภาวะการซื้อที่มากเกินไป RSI จะอยู่ในช่วง 70-100 เป็นการส่งสัญญาณในการขายและในสภาวะการขายที่มากเกินไป RSI จะอยู่ในช่วง 0-30 เป็นการส่งสัญญาณในการซื้อ โดยเกณฑ์ 0-30 และ 70-100 เป็นค่าเหมาะสมที่สุดที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย [9] ค่าการคำนวณ RSI เป็นไปดังสมการ (1) และ (2)

$$RSI = 100 - \frac{100}{1 + RS}$$

$$RS = \frac{\text{Average Gain}}{\text{Average Loss}}$$

Gain = ราคาปิดที่เพิ่มขึ้นจากแท่งเทียนก่อนหน้า (เฉพาะแท่งเทียนที่มีราคาปิดเพิ่มขึ้น)

Loss = ราคาปิดที่ลดลงจากแท่งเทียนก่อนหน้า (เฉพาะแท่งเทียนที่มีราคาปิดลดลง)

Average Gain = ผลรวมของ Gain จากทุกแท่งเทียนที่ปิดเพิ่มขึ้นในช่วง n แท่งเทียนหารด้วย n

Average Loss = ผลรวมของ Loss จากทุกแท่งเทียนที่ปิดลดลงในช่วง n แท่งเทียนหารด้วย n

n = จำนวนแท่งเทียนที่ใช้ในการคำนวณ โดยปกติ n มีค่าเป็น 14

สังเกตว่าถ้า Average Gain มากกว่า Average Loss แล้ว Relative Strength (RS) จะมีค่ามากกว่า 1 ส่งผลให้ RSI มีค่ามากกว่า 50 หรือ อยู่ในสภาวะที่ซื้อมากเกินไป

3.1.2 Stochastic Oscillator (Stoch)

Stoch จะวัดระดับของการซื้อขายในช่วงระยะเวลาที่กำหนด โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0-100 เช่นเดียวกับ RSI ซึ่งในสภาวะการซื้อที่มากเกินไปจะอยู่ในช่วง 80-100 และในสภาวะการขายที่มากเกินไปจะอยู่ในช่วง 0-20 จึงกำหนดระดับการซื้อและขายที่ 20 และ 80 ตามลำดับ ค่าดังกล่าวเป็นค่าสากลที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย [9] การคำนวณ Stoch (%K) เป็นไปดังสมการ (3)

$$\%K = \frac{100 \times (\text{Recent close} - \text{Lowest low}(n))}{\text{Highest high}(n) - \text{Lowest low}(n)} \quad (3)$$

n = จำนวนแท่งเทียนที่ใช้ในการคำนวณ โดยปกติ n มีค่าเป็น 14

Recent close = ราคาปิด ณ วันนี้

Lowest low(n) = ค่าต่ำที่สุดของราคาต่ำสุดของแท่งเทียนย้อนหลัง n แท่ง

Highest High(n) = ค่าสูงที่สุดของราคาสูงสุดของแท่งเทียนย้อนหลัง n แท่ง

ตัวอย่างเช่นถ้ากรอบเวลาของแท่งเทียนที่ศึกษาคือ 1 วัน และ n = 14 จะเป็นการหาค่าต่ำที่สุดของราคาต่ำสุดของแท่งเทียนย้อนหลัง 14 แท่งเทียน มาคำนวณกับค่าสูงที่สุดของราคาสูงสุดของแท่งเทียนย้อนหลัง 14 แท่งเทียน

3.2 อัตราผลตอบแทนรายปี (Annualized Rate of Return)

อัตราผลตอบแทนที่ได้รับจากการลงทุนในช่วงหนึ่งปีกับจำนวนเงินที่ลงทุน โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ต่อปี

$$(1) \quad ARR = \left(\left(\frac{\text{Current value}}{\text{Initial value}} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right) \times 100 \quad (4)$$

$$(2) \quad ARR = \text{Annualized Rate of Return}$$

Initial value = มูลค่าสินทรัพย์ ณ จุดเริ่มต้น

Current value = มูลค่าสินทรัพย์ ณ ปัจจุบัน

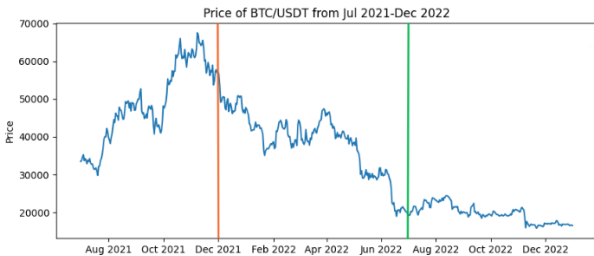
n = จำนวนปีในการลงทุน

4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

4.1 ข้อมูลที่ใช้ศึกษา

ข้อมูลที่ใช้ศึกษาคือราคาปิดของเหรียญ BTC/USDT จาก Binance exchange ซึ่งเป็นหนึ่งในตลาดการซื้อขายเงินตราดิจิทัลที่ใหญ่ที่สุดในโลกดังแสดงดังรูปที่ 1 โดยในการศึกษาจะแบ่งช่วงเวลากาวิเคราะห์ดังนี้ 1) การศึกษาข้อมูลระยะยาวโดยระยะเวลาเริ่มตั้งแต่เดือน ก.ค. 2021 ถึง ธ.ค. 2022 จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะขาขึ้นในช่วงแรก และขาลงในช่วงกลางและราคาออกข้างในช่วงหลัง 2) การศึกษาข้อมูลระยะสั้น ในช่วง ก.ค. 2021 ถึง ธ.ค. 2021 จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นขาขึ้นอย่างชัดเจนจากราคาระดับกลางจนถึงระดับราคาสูงสุด 3)

การศึกษาข้อมูลระยะสั้นในช่วง ม.ค. 2022 ถึง มิ.ย. 2022 จะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นขาลงอย่างชัดเจนจากระดับราคาสูงสุดลงไปจนถึงระดับราคาต่ำสุด 4) การศึกษาข้อมูลระยะสั้นใน ก.ค. 2022 ถึง ธ.ค. 2022 ช่วงจะเห็นว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นตลาดขาลงเล็กน้อยและราคาใกล้เคียงเดิม



รูปที่ 1 ราคาของ BTC/USDT ของระยะเวลาต่าง ๆ

เนื่องจากข้อมูลดิบเป็นข้อมูลรายนาฬิกาของเหรียญ BTC/USDT งานวิจัยนี้จะนำข้อมูลมาคำนวณเป็นแท่งเทียนของกรอบเวลา 15 นาที, 1 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง และ 1 วัน เพื่อใช้คำนวณตัวบ่งชี้ทางเทคนิคและสร้างอัลกอริทึมต่อไป

4.2 การสร้างอัลกอริทึม

4.2.1 การคำนวณตัวบ่งชี้ทางเทคนิค

การคำนวณตัวบ่งชี้ RSI และ Stoch ตามสมการ (1) (2) และ (3) ต้องนำข้อมูลดิบมามากกว่าที่ทำการทดลองจำนวนหนึ่ง เพราะเมื่อกำหนดให้ n เป็น 14 แล้ว ทำให้ในแต่ละกรอบเวลาต้องเพิ่ม 14 แท่งเทียนก่อนหน้า เช่นในส่วนของกรอบเวลา 1 วัน ที่เริ่มทำการซื้อขายต้นเดือนกรกฎาคม 2021 นั้นต้องดึงข้อมูลมาตั้งแต่กลางเดือนมิถุนายน เพราะเมื่อถึงวันแรกของเดือนกรกฎาคมจึงจะสามารถเริ่มดำเนินการซื้อขายตามอัลกอริทึมที่กำหนดได้

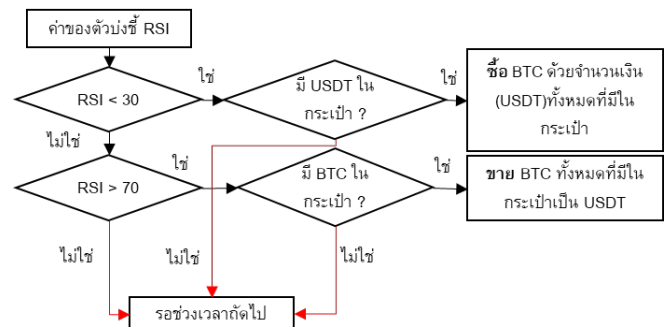
4.2.2 กลยุทธ์ในการซื้อขาย

กลยุทธ์ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มี 5 อัลกอริทึมคือ 1) อัลกอริทึมที่ใช้ตัวบ่งชี้ RSI อย่างเดียวซึ่งจะซื้อเมื่อค่า RSI ต่ำกว่า 30 ซึ่งเป็นสภาวะการขายที่มากเกินไป และจะขายก็ต่อเมื่อค่า RSI มากกว่า 70 ซึ่งเป็นสภาวะการซื้อที่มากเกินไป นอกเหนือจากนั้นจะเป็นการรอจนกว่าจะถึงช่วงเวลาถัดไป 2) อัลกอริทึมที่ใช้ตัวบ่งชี้ Stoch อย่างเดียวซึ่งจะซื้อเมื่อค่า Stoch ต่ำกว่า 20 ซึ่งเป็นสภาวะการขายที่มากเกินไปและจะขายก็ต่อเมื่อค่า Stoch มากกว่า 80 ซึ่งเป็นสภาวะการซื้อที่มากเกินไป นอกเหนือจากนั้นจะเป็นการรอจนกว่าจะถึงช่วงเวลาถัดไป 3) อัลกอริทึมที่ใช้ตัวบ่งชี้ RSI และ Stoch จะซื้อเมื่อค่า RSI ต่ำกว่า 30 และค่า Stoch ต่ำกว่า 20 พร้อมกันทั้ง 2 ค่า และจะขายก็ต่อเมื่อค่า RSI มากกว่า 70 และค่า Stoch มากกว่า 80 พร้อมกันทั้ง 2 ค่า นอกเหนือจากนั้นจะเป็นการรอจนกว่าจะถึงช่วงเวลาถัดไป 4) อัลกอริทึมที่ใช้ตัวบ่งชี้ RSI หรือ Stoch จะซื้อเมื่อค่า RSI ต่ำ

กว่า 30 หรือค่า Stoch ต่ำกว่า 20 เมื่อค่าใดค่าหนึ่งถึงจุดที่ระบุจะทำการซื้อ และจะขายก็ต่อเมื่อ ค่า RSI มากกว่า 70 หรือค่า Stoch มากกว่า 80 เมื่อค่าใดค่าหนึ่งถึงจุดที่ระบุจะทำการขาย นอกเหนือจากนั้นจะเป็นการรอจนกว่าจะถึงช่วงเวลาถัดไป 5) กลยุทธ์สุดท้ายเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบคือการถือยาว เป็นการซื้อปิดคอยน์ตั้งแต่เริ่มต้นของช่วงเวลาที่ศึกษาแล้วถือยาวจนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลา เพื่อนำมาเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของอัลกอริทึม

งานวิจัยนี้จะเริ่มต้นการซื้อขายด้วยเงินทุนจำนวน 100,000 USDT ซึ่งเทียบเท่า 100,000 ดอลลาร์และหลังจากนั้นจะทำการซื้อด้วยเงินทั้งหมดที่คงเหลือในบัญชี และจะขายเหรียญทั้งหมดที่มีในบัญชี โดยสมมติให้ไม่มีค่าธรรมเนียมของการซื้อขายในแต่ละครั้ง

รูปที่ 2 เป็นตัวอย่างอัลกอริทึมในการซื้อขายด้วยตัวบ่งชี้ RSI อย่างเดียว ในส่วนของอัลกอริทึมที่ใช้ตัวบ่งชี้รูปแบบอื่นๆ จะสามารถปรับในส่วนเงื่อนไขที่ใช้ในการตัดสินใจซื้อหรือขายตามที่ได้ระบุข้างต้น



รูปที่ 2 อัลกอริทึมในการซื้อขายด้วยตัวบ่งชี้ RSI อย่างเดียว

4.3 การคำนวณอัตราผลตอบแทน

อัตราผลตอบแทนจะวัดมูลค่า ณ เวลาสิ้นสุดของช่วงเวลาที่ศึกษาเมื่อเทียบกับมูลค่าเริ่มต้นคือ 100,000 USDT โดยถ้าในกระเป๋าถือครองเป็นปิดคอยน์ ก็จะคิดมูลค่าเทียบเท่าเป็น USDT ณ เวลานั้น โดยเมื่อคำนวณอัตราผลตอบแทนในช่วงเวลานั้นแล้ว (ซึ่งคือ 1 ปีครึ่งสำหรับช่วงเวลาทั้งหมด และครึ่งปีที่ 1, 2 และ 3) ก็จะนำมาคำนวณเป็นอัตราผลตอบแทนรายปี เพื่อการเปรียบเทียบต่อไป

5. ผลการดำเนินงานวิจัย

5.1 อัตราผลตอบแทนของอัลกอริทึมที่ใช้ตัวบ่งชี้ต่าง ๆ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอัตราผลตอบแทนรายปี โดยในแต่ละช่วงเวลา กลยุทธ์ซื้อขายและกรอบเวลาที่ให้อัตราผลตอบแทนรายปีสูงสุด จะระบายสีช่องอัตราผลตอบแทนไว้เพื่อง่ายต่อการสังเกต พบว่าในช่วงตลาดโดยรวม (ก.ค.2021 ถึง ธ.ค.2022) อัลกอริทึมที่ใช้ Stoch อย่างเดียวนกรอบเวลา 15 นาที สามารถให้อัตราผลตอบแทนรายปีที่ดีที่สุดที่ 24.55% เมื่อเปรียบเทียบกับกรถือยาว ซึ่งให้ผลตอบแทนรายปี -39.04% ส่วนในช่วงตลาดขาขึ้น (ก.ค.2021 ถึง ธ.ค.2021) พบว่าอัลกอริทึมที่ใช้ Stoch อย่างเดียวนกรอบเวลา 15 นาที ทำอัตราผลตอบแทนรายปีได้สูงสุดที่ 106.13% เมื่อเปรียบเทียบกับกรถือยาว

ซึ่งได้อัตราผลตอบแทนรายปีเพียง 76.74% ในช่วงตลาดขาลง (ม.ค. 2022 ถึง มิ.ย.2022) พบว่าอัลกอริทึมที่ใช้ RSI และ Stoch บนกรอบเวลา 1 วัน สามารถลดการขาดทุนได้ คือมีอัตราผลตอบแทนรายปีอยู่ที่ -42.75% เมื่อเปรียบเทียบกับการถือยาวซึ่งมีอัตราผลตอบแทนรายปีอยู่ที่ -82.54% และสุดท้ายในช่วงตลาดราคาออกข้าง (ก.ค.2022 ถึง ธ.ค. 2022) พบว่า อัลกอริทึมที่ใช้ RSI หรือ Stoch บนกรอบเวลา 1 วัน สามารถทำอัตราผลตอบแทนรายปีได้ 83.89% เมื่อเปรียบเทียบกับการถือยาวที่มีอัตราผลตอบแทนรายปีที่ -26.38% สรุปกลยุทธ์ที่ดีที่สุดและกรอบเวลาที่ดียิ่งที่สุดในช่วงเวลาต่างๆดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 อัตราผลตอบแทนรายปีของกลยุทธ์ซื้อขาย 5 รูปแบบในช่วงเวลาต่างๆ และกรอบเวลาซื้อขาย 15 นาที, 1 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 1 วัน

อัลกอริทึมที่	ก.ค. 2021 ถึง ธ.ค. 2022	ก.ค. 2021 ถึง ธ.ค. 2021	ม.ค. 2022 ถึง มิ.ย. 2022	ก.ค. 2022 ถึง ธ.ค. 2022
กรอบเวลา 15 นาที				
1	-45.31	-35.34	-77.5	-0.4
2	24.55	106.13	-44.3	62.83
3	-40.03	-27.22	-78.76	21.52
4	20.81	103.62	-47.69	60.67
5	-39.04	76.74	-81.79	-30.21
กรอบเวลา 1 ชั่วโมง				
1	-44.25	-3.15	-71.09	-36.46
2	-4.75	99.09	-56.5	-7.26
3	-40.09	-10.46	-64.55	-32.88
4	-7.84	97.89	-59.3	-9.66
5	-39.01	77.11	-81.73	-33.56
กรอบเวลา 4 ชั่วโมง				
1	-27.62	-10.63	-70.35	35.32
2	-4.66	88.5	-61.61	19.93
3	-22.99	-3.48	-67.17	40.27
4	-6.42	87.03	-61.11	12.84
5	-38.96	76.93	-81.5	-27.73
กรอบเวลา 1 วัน				
1	-26.69	0	-42.75	-26.38
2	-18.88	22.22	-72.82	39.4
3	-26.69	0	-42.75	-28.44
4	-17.5	22.22	-72.82	83.89
5	-37.53	90.28	-82.54	-26.38

หมายเหตุ อัลกอริทึมที่ 1 คือ RSI อย่างเดียว, อัลกอริทึมที่ 2 คือ Stoch อย่างเดียว, อัลกอริทึมที่ 3 คือ RSI และ Stoch, อัลกอริทึมที่ 4 คือ RSI หรือ Stoch และ อัลกอริทึมที่ 5 คือถือยาว

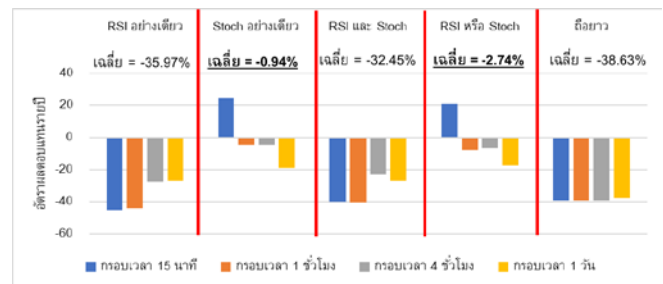
ตารางที่ 2 กลยุทธ์และกรอบเวลาที่ดียิ่งที่สุดในแต่ละช่วงเวลา

ระยะเวลา	อัลกอริทึม	กรอบเวลา	ARR
ตลาดโดยรวม (ก.ค.2021 ถึง ธ.ค.2022)	Stoch อย่างเดียว	15 นาที	24.55
ตลาดขาขึ้น (ก.ค.2021 ถึง ธ.ค.2021)	Stoch อย่างเดียว	15 นาที	106.13
ตลาดขาลง (ม.ค.2022 ถึง มิ.ย.2022)	RSI และ Stoch	1 วัน	-42.75
ตลาดราคาออกข้าง (ก.ค.2022 ถึง ธ.ค.2022)	RSI หรือ Stoch	1 วัน	83.89

5.2 การเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมและกรอบเวลา

รูปที่ 3,4,5,6 เปรียบเทียบอัลกอริทึมซื้อขายรวมทั้งกรอบเวลาในช่วงเวลา (สภาพตลาด) ต่างๆ

จากรูปที่ 3 พบว่าในสภาพตลาดโดยรวมในช่วงที่ศึกษา อัลกอริทึมที่ใช้ตัวชี้ Stoch อย่างเดียว (กราฟกลุ่มที่ 2) กับอัลกอริทึม RSI หรือ Stoch (กราฟกลุ่มที่ 4) เป็นอัลกอริทึมที่ให้อัตราผลตอบแทนในภาพรวมที่ดีกว่าอัลกอริทึมอื่นโดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราผลตอบแทนรายปี -0.94% และ -2.74% ตามลำดับ และกรอบเวลายิ่งสั้นจะทำให้อัตราผลตอบแทนสูงขึ้น

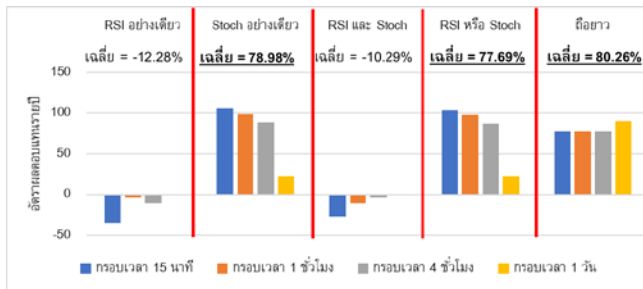


รูปที่ 3 อัตราผลตอบแทนรายปีในช่วง ก.ค.2021 ถึง ธ.ค.2022

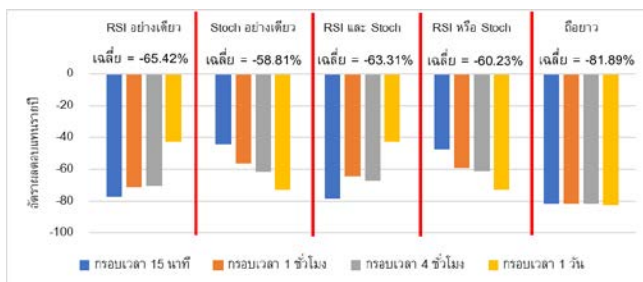
จากรูปที่ 4 พบว่าในสภาพตลาดขาขึ้นอัลกอริทึมที่ใช้ Stoch อย่างเดียว,อัลกอริทึมที่ใช้ RSI หรือ Stoch และการถือยาว เป็นอัลกอริทึมที่ให้ผลตอบแทนใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราผลตอบแทนรายปี 78.98%, 77.69% และ 80.26% ตามลำดับ เนื่องจากข้อมูลเป็นขาขึ้นอย่างชัดเจน ไม่ว่าจะซื้อขายอย่างไรก็สามารถทำกำไรได้ เพราะ Stoch นั้นเป็นตัวชี้ที่ถึงจุดซื้อขายเร็วทำให้การสะสมของเงินทุนจากการซื้อขายแต่ละครั้งนั้นมากขึ้น โดยในอัลกอริทึมที่ใช้ Stoch อย่างเดียว และอัลกอริทึมที่ใช้ RSI หรือ Stoch กรอบเวลายิ่งสั้นยิ่งดี แต่โดยรวมแล้วในสภาพตลาดขาขึ้นการถือยาวกลับให้อัตราผลตอบแทนโดยเฉลี่ยสูงสุด

จากรูปที่ 5 พบว่าในสภาพตลาดขาลงอัลกอริทึมแต่ละแบบให้อัตราผลตอบแทนรายปีที่ไม่ต่างกันมากนักโดยเฉลี่ยตั้งแต่ -58.81% ถึง -81.89% เนื่องจากข้อมูลมีแนวโน้มเป็นขาลงอย่างชัดเจน ทำให้ไม่ว่าจะ

ซื้อขายอย่างไรการทำการเป็นไปได้อย่าง ทำได้แต่เพียงทำให้ขาดทุนน้อยที่สุด โดยกรอบเวลาที่ดีที่สุดขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมแต่ละแบบ

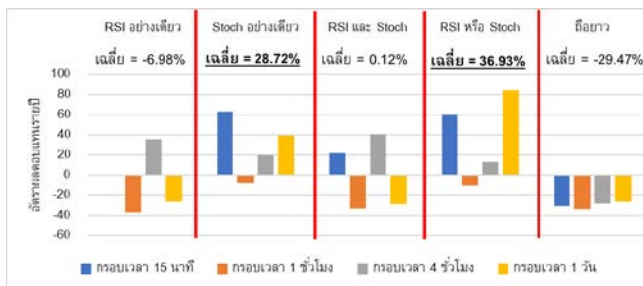


รูปที่ 4 อัตราผลตอบแทนรายปีในช่วง ก.ค.2021 ถึง ธ.ค.2021



รูปที่ 5 อัตราผลตอบแทนรายปีในช่วง ม.ค.2022 ถึง มิ.ย.2022

จากรูปที่ 6 ในสภาพตลาดราคาออกข้างพบว่าอัลกอริทึมที่ใช้ RSI หรือ Stoch และอัลกอริทึมที่ใช้ Stoch อย่างเดียว เป็นอัลกอริทึมที่ดีที่สุดในช่วงเวลานี้ โดยมีค่าเฉลี่ยของอัตราผลตอบแทนรายปีที่ 36.93% และ 28.72% ตามลำดับ เนื่องจากข้อมูลมีแนวโน้มเป็นขาลงเล็กน้อย และราคาใกล้เคียงเดิม และการใช้ RSI หรือ Stoch เมื่อตัวใดตัวหนึ่งถึงจุดซื้อขายจะทำการซื้อขายทันที ทำให้การซื้อขายเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าแบบอื่น โดยความสัมพันธ์ของกรอบเวลาที่ดีที่สุดกับอัลกอริทึมไม่ชัดเจน



รูปที่ 6 อัตราผลตอบแทนรายปีในช่วง ก.ค.2022 ถึง ธ.ค.2022

6. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้พบว่าตลาดโดยรวมและตลาดขาขึ้นอัลกอริทึมที่ใช้ตัวบ่งชี้แบบ Stoch อย่างเดียวด้วยกรอบเวลา 15 นาที ให้อัตราผลตอบแทนรายปีที่ดีที่สุด สำหรับตลาดขาลงอัลกอริทึมที่ใช้ตัวบ่งชี้แบบ RSI และ Stoch ด้วยกรอบเวลา 1 วันดีที่สุด และสำหรับตลาดขาลง

เล็กน้อยและราคาออกข้าง ใช้ตัวบ่งชี้แบบ RSI หรือ Stoch ด้วยกรอบเวลา 1 วันจะให้ผลตอบแทนที่ดีที่สุด

ถ้าพิจารณาอัลกอริทึมโดยภาพรวมพบว่าการถือยาวสามารถใช้ได้ในตลาดขาขึ้นเท่านั้น อัลกอริทึม Stoch อย่างเดียวสามารถใช้ได้กับตลาดโดยรวม ตลาดขาขึ้นและตลาดขาลง อัลกอริทึม RSI หรือ Stoch สามารถใช้ได้ค่อนข้างดีกับตลาดแทบทุกสถานการณ์โดยอัตราผลตอบแทนสูงสุดขึ้นกับกรอบเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

งานวิจัยนี้ศึกษาการซื้อขายเมื่อเป็นสภาวะการขายมากเกินไป (RSI น้อยกว่า 30 Stoch น้อยกว่า 20) และขายเมื่อเป็นสภาวะการซื้อมากเกินไป (RSI มากกว่า 70 Stoch มากกว่า 80) ถ้าเกณฑ์ค่า RSI และ Stoch ที่ใช้ซื้อขายเปลี่ยนไป อาจให้ผลลัพธ์ที่ต่างออกไปได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Griffith, M. Najand, and J. Shen, "Emotions in the Stock Market," *Journal of Behavioral Finance*, vol. 21, no. 1, pp. 42-56, 2020/01/02 2020.
- [2] T. Hendershott and R. Riordan, "Algorithmic Trading and Information," *NET Institute, Working Papers*, 01/01 2009.
- [3] D. Shah, H. Isah, and F. Zulkernine, "Stock Market Analysis: A Review and Taxonomy of Prediction Techniques," *International Journal of Financial Studies*, vol. 7, p. 26, 05/27 2019.
- [4] P. Hemanth Kumar and S. Basavaraj Patil, "Forecasting volatility trend of INR USD currency pair with deep learning LSTM techniques," *2018 3rd International Conference on Computational Systems and Information Technology for Sustainable Solutions (CSITSS)*, pp. 91-97, 2018.
- [5] Y. Hu, K. Liu, X. Zhang, L. Su, E. W. T. Ngai, and M. Liu, "Application of Evolutionary Computation for Rule Discovery in Stock Algorithmic Trading: A Literature Review," *Applied Soft Computing*, vol. 36, 07/01 2015.
- [6] S. Halilbegovic and N. Čelebić, *Study Of Technical Analysis Indicators: Relationship Between Profitability And Signal Strengths Of MACD and RSI*. 2020.
- [7] T. Salkar, A. Shinde, N. Tamhankar, and N. Bhagat, "Algorithmic Trading using Technical Indicators," in *2021 International Conference on Communication information and Computing Technology (ICCICT)*, 25-27 June 2021, pp. 1-6.
- [8] A. Vo and C. Yost-Bremm, "A High-Frequency Algorithmic Trading Strategy for Cryptocurrency," *Journal of Computer Information Systems*, vol. 60, pp. 1-14, 12/07 2018.
- [9] M. J. Pring, *Technical Analysis Explained: The Successful Investor's Guide to Spotting Investment Trends and Turning Points*. McGraw-Hill, 1991.

การปรับปรุงการพยากรณ์ยอดขายและนโยบายสินค้าคงคลังสำหรับบริษัทกรณีศึกษาเจ้าของแบรนด์ สินค้าประเภทน้ำหอม

Improvement of Forecasting and Inventory Policy for Case Study a Brand Owner in Fragrance Industry

รวินันท์ ลิ้มโอพารสุขสกุล* นระเกณท์ พุ่มชูศรี
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
E-mail: 6270226421@student.chula.ac.th*

Ravinun Limolansuksakul*, Naragain Phumchusri
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
E-mail: 6270226421@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการปรับปรุงการพยากรณ์ยอดขายและนโยบายสินค้าคงคลังสำหรับบริษัทกรณีศึกษาเจ้าของแบรนด์สินค้าประเภทน้ำหอม จากการตรวจสอบข้อมูลการทำงานของบริษัทที่ศึกษาพบว่า มีปัญหาเรื่องระดับสินค้าคงคลังมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น เมื่อเทียบค่าเฉลี่ยระดับสินค้าคงคลังกับค่าเฉลี่ยความต้องการของทั้งสองกลุ่มสินค้าจะพบว่าค่าเฉลี่ยระดับสินค้าคงคลังสูงกว่าค่าเฉลี่ยความต้องการถึง 6 เท่า โดยจำนวนวันขายจากปริมาณพัสดุคงคลังเท่ากับ 36 วัน ซึ่งสูงกว่าเป้าหมายที่บริษัทตั้งไว้ 14 วัน ผู้วิจัยได้เริ่มจากการใช้หลักการ ABC-XYZ analysis ช่วยเลือกสินค้าที่สำคัญในกลุ่ม AX ที่มียอดขายและต้นทุนการขายที่สูงทั้งหมด 7 รายการเพื่อมาเป็นตัวแทนในการศึกษา โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือ Training data set ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์รูปแบบความต้องการ ตลอดจนกำหนดวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม และ Test data set เพื่อทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ผ่านตัวชี้วัด Mean absolute percentage error (MAPE) และ Mean absolute deviation (MAD) ตามลำดับจากการวิเคราะห์รูปแบบความต้องการสินค้า พบว่ามีลักษณะไม่คงที่และไม่สามารถทราบล่วงหน้า โดยปรับปรุงวิธีการที่ใช้ในการพยากรณ์ความต้องการให้มีความแม่นยำขึ้นโดยใช้เทคนิคการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาที่เหมาะสมกับรูปแบบความต้องการ ซึ่งวิธีการพยากรณ์แบบใหม่มีความแม่นยำสูงกว่าวิธีการพยากรณ์แบบปัจจุบัน ค่า MAPE ลดลงจากวิธีการพยากรณ์ปัจจุบันถึง 16% และพบว่าวิธีแบบจำลองระดับคงคลังเป้าหมาย (Order-up-to Level Model) โดยใช้ค่าเฉลี่ยความต้องการและค่า MAD จากค่าพยากรณ์มาเป็นตัวกำหนดค่า OUL และระดับพัสดุสำรองคลัง (Safety stock) ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมน้อยกว่าวิธีการพยากรณ์แบบปัจจุบันถึง 49.75% โดยที่ระดับการให้บริการ (%Service level) = 100% ซึ่งไม่น้อยไปกว่าเป้าหมายที่ 97%

คำสำคัญ: การพยากรณ์ความต้องการ นโยบายสั่งซื้อ แบบจำลองระดับคงคลังเป้าหมาย

Abstract

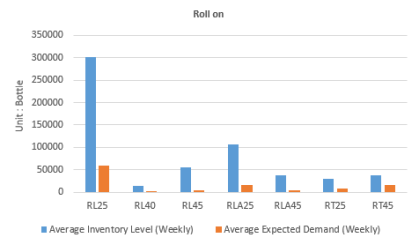
The objective of this study is to improve forecasting and Inventory Policy for case study a brand owner in fragrance industry. Currently, the researcher found that the case study company has a problem with excessive inventory level. We compare the average inventory level with the average demand, we found that the average inventory level is higher than the average demand to 6 times. The case study company has inventory day of sales is 36 days that more than target to 14 days. We have first categorized all products by using ABC-XYZ analysis to select AX group which has high sale volume and high cost of goods sold to 7 SKU. According to the results from the training data set (used to analyze the demand pattern of selected products and properly determine forecasting techniques), The analysis of Finish goods demand from the case study company shows that the demand pattern is uncertain and unpredictable. We improve forecast accuracy using a time series method that is fitted to each demand pattern, Test data set, whose MAPE and MAD is lower than the existing forecast method by 16%. Order-up-to Level Model is found to be the best policy as total cost is lower than the existing forecasting method by 49.75% based on %Service level is 100% that higher than target to 97%

Keywords: Demand forecasting, Inventory policy, Order-up-to level model

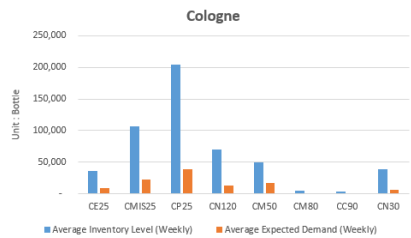
1. บทนำ

ปัจจุบันตลาดน้ำหอมในไทยมีนโยบายเศรษฐกิจสนับสนุนการแข่งขันทางการค้าอย่างเสรี ตลาดน้ำหอมในประเทศไทยสามารถจำแนกได้ 2 ประเภทใหญ่ตามลักษณะของการวางตำแหน่งสินค้าในตลาด คือ 1. น้ำหอมในตลาดระดับบน ได้แก่ น้ำหอมแบรนด์เนม 2. น้ำหอมในตลาดมวลชน น้ำหอมในตลาดส่วนนี้จะวางลูกค้ำกลุ่มเป้าหมายไว้กว้าง ๆ เช่น กลุ่มวัยรุ่นหญิง[1] สินค้าน้ำหอมที่ขายในตลาดระดับมวลชนมีการแข่งขันทางการตลาดสูง เนื่องจากสินค้าที่มีราคาถูก เมื่อสินค้าขาดตลาดอาจส่งผลให้ลูกค้าหนีไปใช้สินค้าแบรนด์อื่นทดแทนได้ บริษัทต้องมีกลยุทธ์ที่สามารถรองรับความต้องการของลูกค้าได้ตลอดเวลา บริษัทกรณีศึกษาดำเนินธุรกิจจำหน่ายผลิตภัณฑ์น้ำหอมให้แก่ลูกค้าภายในประเทศไทย โดยในปัจจุบันผลิตภัณฑ์ที่บริษัทจัดจำหน่ายสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ดังนี้ 1. น้ำหอมประเภทโคโลญจน์ (Cologne) แบ่งเป็นกลุ่มสินค้าตามรูปแบบบรรจุภัณฑ์และสารสำคัญได้ 8 กลุ่ม 2. น้ำหอมประเภทลูกกลิ้ง (Roll on) แบ่งเป็นกลุ่มสินค้าได้ 7 กลุ่ม ทั้งนี้บริษัทกรณีศึกษาไม่มีโรงงานในการผลิตเป็นของตัวเอง ทำสัญญาจ้างบริษัทรับจ้างผลิตเพื่อผลิตสินค้าภายใต้แบรนด์ของบริษัทกรณีศึกษา จากนั้นส่งสินค้าเข้ามาเก็บไว้ที่ศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาตามระยะเวลา (Lead time) ตั้งแต่บริษัทรับจ้างผลิตรับแผนเรียกเข้าจนกระทั่งส่งสินค้าเข้าสู่ศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาเท่ากับ 2 สัปดาห์ ก่อนจะถูกจัดส่งไปยังลูกค้าและผู้อุปโภคบริโภคต่อไป

จากการศึกษาการบริหารสินค้าคงคลังในปี 2563 พบว่าเมื่อเทียบค่าเฉลี่ยระดับสินค้าคงคลังกับค่าเฉลี่ยความต้องการของทั้งสองกลุ่มสินค้าจะพบว่าค่าเฉลี่ยระดับสินค้าคงคลังสูงกว่าค่าเฉลี่ยความต้องการถึง 6 เท่า (ดูรูปที่ 1 และ 2 ประกอบ) เมื่อคำนวณหาจำนวนวันขายจากปริมาณพัสดุคงคลังเท่ากับ 36 วัน ซึ่งสูงกว่าเป้าหมายที่บริษัทตั้งไว้ 14 วัน ซึ่งปัญหาหลักเกิดจาก ปัญหาในการสั่งซื้อสินค้าจากบริษัทรับจ้างผลิตที่ไม่สอดคล้องกับความต้องการ ทำให้เกิดปัญหาการจับเก็บพัสดุคงคลังที่มากเกินไป หากพิจารณาปัญหาข้างต้นโดยละเอียดแล้วจะพบว่า ปัญหาที่เกิดขึ้นล้วนแต่มีสาเหตุมาจากการพยากรณ์ความต้องการสินค้าที่ขาดความแม่นยำ และนโยบายพัสดุคงคลังที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้การสั่งซื้อสินค้าและการจับเก็บพัสดุคงคลังไม่สอดคล้องกับการขายสินค้า ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นทำการศึกษาวิธีการปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาให้มีความแม่นยำขึ้น อีกทั้งยังศึกษานโยบายสินค้าคงคลังที่เหมาะสม



รูปที่ 1 ค่าเฉลี่ยระดับสินค้าคงคลังเทียบกับค่าเฉลี่ยความต้องการของสินค้าหอมแบบลูกกลิ้ง



รูปที่ 2 ค่าเฉลี่ยระดับสินค้าคงคลังเทียบกับค่าเฉลี่ยความต้องการของสินค้าหอมแบบโคโลญจน์

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การพยากรณ์

การพยากรณ์เป็นส่วนหนึ่งของการวางแผน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องทำการประมาณการถึงความต้องการสินค้าที่คาดว่าจะเกิดในช่วงระยะเวลาใดเวลาหนึ่งในอนาคต เพื่อจัดเตรียมสินค้าให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าด้วยต้นทุนที่เหมาะสม ในการพยากรณ์จะต้องมีการตัดสินใจดังนี้ 1.เลือกระยะเวลาในการพยากรณ์ 2.เลือกวิธีการพยากรณ์ที่มีความแม่นยำที่ยังรักษาระดับบริการตามที่ต้องการ 3.เลือกหน่วยของสินค้าที่จะทำการพยากรณ์

2.1.1 วิธีพยากรณ์

วิธีการพยากรณ์สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ

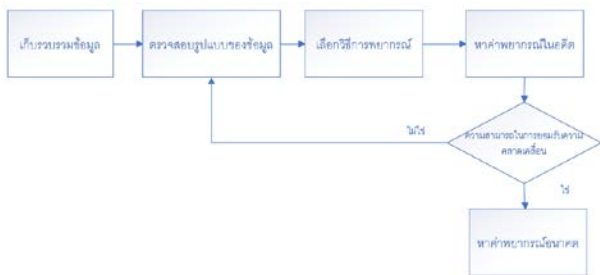
- วิธีการพยากรณ์เชิงคุณภาพ (Qualitative) มักใช้ดุลพินิจของผู้เชี่ยวชาญที่มีความรู้ เหมาะกับสินค้าเกิดขึ้นใหม่ที่ไม่มีความชัดเจน
- วิธีการพยากรณ์เชิงปริมาณ (Quantitative) เป็นวิธีการพยากรณ์ที่ใช้ข้อมูลมาเป็นหลักในการวิเคราะห์และพิจารณาถึงสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต โดยอาศัยหลักการทางสถิติ แบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ 1. วิธีความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ (Causal methods) เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ทำการพยากรณ์กับตัวแปรอิสระความสัมพันธ์ที่สร้างขึ้นจะสามารถนำมาใช้ในการพยากรณ์ค่าที่เกิดขึ้นในอนาคต 2.วิธีอนุกรมเวลา (Times series) เป็นการจับเก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่ติดต่อกัน โดยทั่วไปจะประกอบไปด้วย 4 ส่วน 1.แนวโน้ม (Trend) เป็นส่วนที่ทำให้อนุกรมเวลาเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป 2.วัฏจักร (Cycle) เป็นส่วนที่มีรูปแบบเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นรอบ 3.ความผันแปรจากฤดูกาล (Seasonal variations) เป็น

รูปแบบในช่วงเวลาหนึ่งของอนุกรมเวลาที่เกิดขึ้นภายใน 1 ปี และเกิดขึ้นซ้ำในทุก ๆ ปี 4.ความผันผวนจากเหตุการณ์ไม่ปกติ[2]

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t + S_{t-s+p} \quad (7)$$

2.1.2 ขั้นตอนการพยากรณ์

ขั้นตอนการหาค่าพยากรณ์ จะเริ่มตั้งแต่การรวบรวมข้อมูลในอดีตนำมาทำการตรวจสอบและวิเคราะห์รูปแบบของข้อมูล เพื่อเลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม จากนั้นจะทำการหาค่าพยากรณ์ด้วยวิธีที่เลือกโดยแบ่งข้อมูลในอดีตออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกจะนำมาใช้ในการพยากรณ์ครั้งแรก จากนั้นจะหาค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเพื่อให้มั่นใจได้ว่าวิธีที่เลือกมีความเหมาะสมและสามารถยอมรับได้หรือไม่ หากค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เราจะใช้วิธีการพยากรณ์ที่เลือกมาทำการพยากรณ์ในขั้นตอนที่สอง และเช็คความคลาดเคลื่อนอีกครั้งว่าอยู่ในระดับที่ยอมรับได้หรือไม่ หากยอมรับได้จะถือว่าวิธีที่เลือกมาเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในอนาคต[3](ดูรูปที่ 3 ประกอบ)



รูปที่ 3 ขั้นตอนการหาค่าพยากรณ์

2.1.3 วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential smoothing)

เป็นวิธีการพยากรณ์ที่นำมาหาค่าพยากรณ์ไม่เท่ากันโดยมีหลักการคือข้อมูลในอดีตที่เกิดขึ้นจริงและค่าพยากรณ์ในอดีตนั้นล้วนส่งผลต่อค่าพยากรณ์ในอนาคต โดยวิธีปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลอย่างง่ายเป็นที่นิยมมากเนื่องจากสมการไม่ซับซ้อนแต่วิธีนี้ไม่สามารถใช้กับชุดข้อมูลที่มีแนวโน้มได้ จึงได้มีการปรับปรุงวิธีให้สามารถตรวจจับแนวโน้มได้เรียกว่าวิธีของโฮลต์ (Holt's method) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1-3) แต่เนื่องจากวิธีของโฮลต์ ไม่สามารถใช้กับข้อมูลที่มีความแปรปรวนของฤดูกาลได้ จึงได้มีการปรับปรุงวิธีการซึ่งเรียกว่าวิธีการของวินเทอร์ (Winter's method) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4-7) [4]

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (1)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (2)$$

$$\hat{Y}_{t+p} = L_t + pT_t \quad (3)$$

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (4)$$

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (5)$$

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (6)$$

โดยที่ \hat{Y}_{t+p} คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา t+p, L_t คือ ค่าระดับ ณ เวลา t, T_t คือ ค่าแนวโน้ม ณ เวลา t, S_t คือ ค่าฤดูกาล ณ เวลา t, α คือ ค่าคงที่สำหรับค่าระดับ, β คือ ค่าคงที่สำหรับค่าแนวโน้ม, γ คือ ค่าคงที่สำหรับค่าฤดูกาล, p คือ จำนวนช่วงเวลาที่พยากรณ์. s คือ จำนวนฤดูกาล

2.1.4 วิธี Autoregressive Integrated Moving Average (ARIMA)

เป็นวิธีพยากรณ์ที่พิจารณาลักษณะของอนุกรมเวลาว่ามีสหสัมพันธ์กับข้อมูลอย่างไร โดยข้อมูลที่นำมาใช้วิเคราะห์ต้องเป็นอนุกรมเวลาแบบคงที่ตัวแบบทั่วไปของ ARIMA จะเขียนอยู่ในรูปของ ARIMA(p,d,q) โดยเมื่อข้อมูลมีรูปแบบแนวโน้มและฤดูกาล จะต้องใช้วิธี Seasonal Autoregressive Integrated Moving average (SARIMA) ตัวแบบการพยากรณ์จะอยู่ในรูปของ SARIMA (p, d, q) (P, D, Q)s [6] ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$\phi_p(B)\phi_p(B^s)(1-B)^d(1-B^s)^D Y_t = \theta_q(B)\Theta_q(B^s)\varepsilon_t \quad (8)$$

โดยที่ $\phi_p(B)$ คือ สหสัมพันธ์ในตัวเองอันดับที่ p, $\phi_p(B^s)$ คือ สหสัมพันธ์ในตัวเองแบบฤดูกาลอันดับที่ p, $\theta_q(B)$ คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อันดับที่ q, $\Theta_q(B^s)$ คือ ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ฤดูกาลลำดับที่ Q, Y_t คือ ข้อมูลอนุกรม ณ เวลา t, ε_t คือ ค่าคลาดเคลื่อน ณ เวลา t, d คือ จำนวนครั้งที่หาผลต่าง, D คือ จำนวนครั้งที่หาผลต่างฤดูกาล

2.1.5 การวัดความแม่นยำของการพยากรณ์

การพิจารณาว่าวิธีการพยากรณ์ใดมีความเหมาะสมที่ควรเลือกนำมาใช้ วิธีที่ใช้ในการวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์คือการเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์ที่เทียบขอยอดขายจริงในช่วงเวลาหนึ่ง โดยตัวชี้วัดที่เป็นที่นิยมประกอบไปด้วยวิธีดังนี้ ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ Mean Absolute Percentage Error (MAPE) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9) แทนใช้ในการเทียบผล (ดูรูปที่ 4 ประกอบ) [7]

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\% \quad (9)$$

โดยที่ A_t คือ ยอดขายจริงในช่วง ณ เวลา t และ F_t คือค่าพยากรณ์ในช่วงเวลา t

MAPE	Interpretation
<10	Highly accurate forecasting
10-20	Good forecasting
20-50	Reasonable forecasting
>50	Inaccurate forecasting

รูปที่ 4 เกณฑ์ในการวัดด้วยวิธี MAPE

ค่าเฉลี่ยของความเบี่ยงเบนสัมบูรณ์ Mean Absolute Deviation (MAD) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (10)

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |A_i - F_i| \quad (10)$$

2.2 นโยบายพัสดุดังกล่าว

การจัดการพัสดุที่ดีคือการจัดการพัสดุดังกล่าวให้มีระดับสินค้าคงคลังในปริมาณที่เหมาะสม และพัสดุดังกล่าวมีเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า นโยบายพัสดุดังกล่าว (Inventory policy) มีประเด็นที่ต้องตัดสินใจ 2 ประเด็นหลัก คือ เมื่อไรที่ต้องมีการสั่งเติมพัสดุ และต้องเติมพัสดุในปริมาณครั้งละเท่าไร โดยเกณฑ์ที่ใช้ในการวัดว่านโยบายเหมาะสม ก็มักจะใช้ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง และระดับการให้บริการ (Service level) ซึ่งในการกำหนดนโยบายพัสดุดังกล่าวต้องเข้าใจองค์ประกอบในเรื่อง 1.ความต้องการพัสดุ 2.เวลานำ 3.รอบเวลาการตรวจสอบระดับพัสดุดังกล่าว 4.ความต้องการส่วนเกินจากพัสดุดังกล่าว 5.คุณสมบัติของตัวพัสดุ [8]

2.2.1 แบบจำลองระดับคงคลังเป้าหมาย (Order-up-to Level Model, OUL)

แบบจำลองที่ใช้กับรูปแบบที่มีความต้องการไม่แน่นอน (Stochastic demand) มีการกำหนดรอบการสั่งเติมพัสดุเป็นรอบ โดยนโยบายนี้จะหาว่าควรสั่งเติมพัสดุดังกล่าวเท่าไร เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาพัสดุดังกล่าวน้อยที่สุด นโยบายการสั่งเติมพัสดุของแบบจำลองนี้คือ เมื่อถึงรอบการสั่งที่กำหนดไว้จะสั่งเติมในปริมาณที่ทำให้ระดับพัสดุดังกล่าวสูงถึงระดับคงคลังเป้าหมาย (OUL) ปริมาณการสั่งซื้อสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (11-13) และสามารถหาค่าสำรองคงคลังได้จากสมการที่(14-15)[8]

$$Q^* = OUL - IOH \quad (11)$$

$$OUL = \mu_{L+T} + ss \quad (12)$$

$$\mu_{L+T} = (L+T)\mu_D \quad (13)$$

$$ss = Z * \sigma * \sqrt{(L+T)} \quad (14)$$

$$ss = Z * \sqrt{(L+T)} * 1.25MAD \quad (15)$$

โดยที่ Q^* คือ ปริมาณการสั่งซื้อสินค้า, OUL คือ ระดับคงคลังเป้าหมาย, IOH คือ ปริมาณพัสดุดังกล่าวคงเหลือ, μ_{L+T} คือความต้องการเฉลี่ย, ss คือระดับพัสดุดังกล่าวสำรอง, σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน, L คือ เวลานำ (Lead time), T คือ รอบเวลาสั่ง (Cycle time)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษา วิเคราะห์ และสรุปสถานการณ์ของปัญหาปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น ยอดขาย ยอดพยากรณ์ ยอดสั่งซื้อและปริมาณสินค้าคงคลังและได้ใช้ ABC-XYZ analysis ในการจัดลำดับความสำคัญ ซึ่งจะพิจารณาจาก 2 ปัจจัย ได้แก่ 1.ปริมาณความต้องการสินค้าทั้งเดือนเฉลี่ยของปี 2563 เนื่องจากปริมาณสินค้าส่งผลกระทบต่อตอบสนองความต้องการสินค้าของลูกค้าและมูลค่าการจัดเก็บพัสดุดังกล่าว หากปริมาณความต้องการสินค้ามีสูงกว่าสต็อกสินค้าคงคลังจะส่งผลให้เกิดการร้างพัสดุ แต่หากปริมาณความต้องการน้อยกว่าสต็อกสินค้าคงคลังจะส่งผลให้จำนวนวันที่ขายเพิ่มขึ้นหรือเกิดต้นทุนจมที่สูงขึ้น 2.ต้นทุนการขายสินค้า (Cost of goods sold) เนื่องจากต้นทุนการขายสินค้าส่งผลต่อสภาพคล่องทางการเงินของบริษัท ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่ามีกลุ่มสินค้าจำหน่ายประเภทลูกกลิ้งอยู่ในกลุ่ม AX ทั้งหมด = 2 กลุ่ม คือ RL25, RLA25 และกลุ่มจำหน่ายประเภทโคลนจ้ออยู่ในกลุ่ม AX ทั้งหมด = 4 กลุ่ม คือ CGIS25, CP25, CM25, CMIS25 แต่เนื่องจาก CGIS25 เป็นสินค้าที่ไม่ได้ขายต่อเนื่องในปี 2563 จึงมุ่งเน้นศึกษา 3 กลุ่มที่เหลือแทน เมื่อทำการจัดอันดับกลุ่มย่อยแล้ว ผู้วิจัยได้เลือกศึกษา SKU ที่มียอดขายสะสมไม่ต่ำกว่า 80% จากกลุ่มย่อย AX ซึ่งได้ตัวแทนทั้งหมด 7 SKU แบ่งเป็นสินค้าน้ำหอมประเภทลูกกลิ้ง 3 SKU คือ RL25.1, RL25.2, RLA25 และน้ำหอมประเภทโคลนจ้อ 4 SKU คือ CM25, CP25, CMIS25.1, CMIS25.2

ผู้วิจัยได้นำเอายอดขายจริงปี 2562 ของทั้ง 7 SKU เทียบกับระดับสินค้าคงคลังปลายคาบเป็นรายสัปดาห์ เพื่อหาปัญหาที่แท้จริงของงานวิจัย พบว่าระดับสินค้าคงคลังปลายคาบของสินค้าทั้ง 7 SKU มีค่าสูงกว่าความต้องการสินค้าของลูกค้าหลายเท่าในทุกๆ สัปดาห์ โคนในบางสัปดาห์มีระดับสินค้าคงคลังปลายคาบสูงถึง 48 เท่า เมื่อหาค่าเฉลี่ยระดับสินค้าคงคลังปลายคาบเทียบกับค่าเฉลี่ยความต้องการสินค้าของลูกค้าพบว่ามีความสูงถึง 4-8 เท่า จากการวิเคราะห์ข้อมูลทำให้ทราบว่าปัญหาของบริษัทที่ทำการศึกษาคือระดับสินค้าคงคลังที่มากเกินไป

3.2 ศึกษาสภาพปัจจุบันและรวบรวมข้อมูลที่เป็นสำหรับการปรับปรุงวิธีการพยากรณ์และกำหนดนโยบายพัสดุดังกล่าว

หน่วยงานวางแผนจะส่งแผนสั่งซื้อสินค้าให้โรงงานผู้ผลิตทุกๆ สัปดาห์ โดยคำนวณจำนวนในการสั่งซื้อโดยใช้ค่าเฉลี่ยยอดขายในอดีตมาเป็นยอดขายพยากรณ์ในอนาคต และจะสั่งซื้อสินค้าเข้ามาเพื่อให้สต็อกคงคลังปลายสัปดาห์มีเพียงพอต่อการขายสินค้าอีก 2 อาทิตย์ อ้างอิงความต้องการจากค่าพยากรณ์ ขั้นตอนการส่งแผนสั่งซื้อจะส่งทุกๆ สัปดาห์ เพื่อรับสินค้าเข้าตามระยะเวลาที่ 2 สัปดาห์ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับยอดขายจริง ราคาสินค้า ขั้นต่ำในการสั่งซื้อระยะเวลา และระดับสินค้าคงคลัง ของสินค้า 7 รายการ(ดูตารางที่ 1 ประกอบ) ตั้งแต่ปี 2559-2562 ย้อนหลังไป 4 ปี เพื่อนำมาใช้ศึกษา และพัฒนาวิธีการพยากรณ์ความต้องการที่มีความแม่นยำมากขึ้นและกำหนดนโยบายสินค้าคงคลังที่เหมาะสม

ตารางที่ 1 ราคาสินค้า ระยะเวลา นำ และจำนวนชิ้นต่ำในการสั่งซื้อ

สินค้า	ราคา (ชิ้น)	ระยะเวลา นำ (วัน)	จำนวนชิ้นต่ำในการสั่งซื้อ (ชิ้น)
RL25.1	10.8	14	4560
RL25.2	10.8	14	4560
RLA25	10.8	14	4800
CM25	17.7	14	4320
CP25	12.8	14	4800
CMis25.1	22.8	14	4200
CMis25.2	21.9	14	4200

3.3 พัฒนารูปแบบการพยากรณ์ที่เหมาะสมและกำหนดนโยบายพัสดุคงคลัง

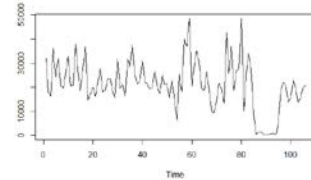
ผู้วิจัยได้แบ่งข้อมูลยอดการขายสินค้าทั้ง 7 รายการ ออกเป็น 2 ส่วน โดยข้อมูลส่วนแรกจำนวน 106 สัปดาห์ (มกราคม'59-ธันวาคม'60) จะถูกนำไปใช้ในการพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ (Training data) และข้อมูลส่วนที่สองจำนวน 53 สัปดาห์ (มกราคม'61-ธันวาคม'61) จะถูกนำไปใช้ในการวัดความแม่นยำของการพยากรณ์ผ่านตัวชี้วัด MAPE และ MAD ตามลำดับ (Test data) เมื่อได้วิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมแล้วจะนำค่าพยากรณ์ มกราคม'62-ธันวาคม'62 มาใช้ในการจำลองหา นโยบายพัสดุคงคลังที่เหมาะสม

4. ผลการวิจัย

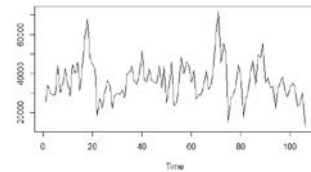
4.1 ผลวิเคราะห์ลักษณะความต้องการสินค้า

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลยอดการขายสินค้าทั้ง 7 รายการที่เกิดขึ้นจริงในชุดข้อมูลแรก (Training data) มาสร้างกราฟอนุกรมเวลา (time series) เพื่อหาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อความต้องการ จากนั้นจะทำการแบ่งกลุ่มสินค้าที่นำมาศึกษาได้ 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบแนวโน้ม กลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีฤดูกาล และกลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีแนวโน้มและฤดูกาล โดยกลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบแนวโน้ม ได้แก่สินค้า CMis25.2 เมื่อพิจารณาจากอนุกรมเวลาพบว่าแนวโน้มความต้องการลดลงเรื่อยๆตามเวลา (ดูรูปที่ 5 ประกอบ) ผู้วิจัยเลือกวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์ และวิธี Autoregressive Integrated Moving average โดยกลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีฤดูกาล ได้แก่สินค้า RL25.1, RL25.2, RLA25, CM25, CP25 เมื่อพิจารณาจากอนุกรมเวลาของสินค้า RL25.1 จะพบว่า มีรูปแบบฤดูกาลใน time lag ที่ 18, 22 และ 28 (ดูรูปที่ 6 ประกอบ) ผู้วิจัยจึงได้เลือกวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์ และวิธี Seasonal Autoregressive Integrated Moving average และกลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีแนวโน้มและฤดูกาล ได้แก่สินค้า CMis25.1 เมื่อพิจารณาจากอนุกรมเวลาพบว่า มีแนวโน้มความต้องการลดลงเรื่อยๆตามเวลา และพบว่า มีรูปแบบฤดูกาลที่ time lag 13, 15, 28 และ 48 (ดูรูปที่ 7 ประกอบ) ผู้วิจัยจึงได้เลือกวิธีปรับ

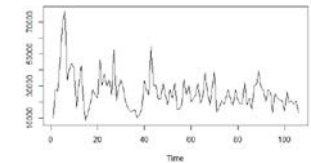
เรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์และวินเทอร์ และวิธี Seasonal Autoregressive Integrated Moving average ที่มีความเหมาะสมกับรูปแบบของความต้องการมาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงวิธีการพยากรณ์แบบเดิม โดยผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์และทำการพยากรณ์ทุกๆ 4 สัปดาห์ เพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานในปัจจุบันของบริษัทนี้ศึกษา



รูปที่ 5 Time series ของสินค้า CMis25.2



รูปที่ 6 Time series ของสินค้า RL25.1



รูปที่ 7 Time series ของสินค้า CMis25.1

4.2 ผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพความแม่นยำของการพยากรณ์แบบเดิมเปรียบเทียบกับวิธีการพยากรณ์แบบใหม่

ผู้วิจัยได้เลือกใช้ R studio ในการวิเคราะห์หาค่าพยากรณ์รูปแบบใหม่ของแต่ละกลุ่มสินค้า จากนั้นนำเอาค่าพยากรณ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลการขายที่เกิดขึ้นจริง ผ่านดัชนีชี้วัดความแม่นยำ Mean absolute percentage error (MAPE) และ Mean absolute deviation (MAD) ตามลำดับ โดยในกลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบแนวโน้มพบว่าวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์เป็นวิธีที่มีความแม่นยำที่สุด มีค่า MAPE 73% ซึ่งมีค่าลดลงจากวิธีปัจจุบัน 4% (ดูตารางที่ 2 ประกอบ) โดยสาเหตุที่ค่า MAPE ค่อนข้างสูงอาจเนื่องมาจากในช่วงปลายปี 2561 เกิดการร้างพัสดุ ทำให้รูปแบบความต้องการมีรูปแบบไม่ปกติ กลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีฤดูกาล พบว่า วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเทอร์เป็นวิธีที่มีความแม่นยำที่สุด มีค่า MAPE 40% ลดลงจากวิธีปัจจุบันถึง 17% (ดูตารางที่ 3 ประกอบ) และกลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีแนวโน้มและฤดูกาล พบว่าวิธี SARIMA เป็นวิธีที่มีความแม่นยำที่สุด มีค่า MAPE 42% ลดลงจากวิธีปัจจุบันถึง 21%(ดูตารางที่ 4ประกอบ)

ผู้วิจัยจึงได้เลือกวิธีพยากรณ์ที่มีความแม่นยำสูงของแต่ละกลุ่ม เพื่อพยากรณ์หาความต้องการในปี 2561 โดยทำการพยากรณ์ทุกๆ 4 สัปดาห์ เพื่อนำไปใช้ในการจำลองหาปริมาณสินค้าคงคลังที่เหมาะสมในลำดับถัดไป

ตารางที่ 2 ค่า MAPE และ MAD กลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบแนวโน้ม(สินค้า CMis25.2)

CMis25.2	Current	ARIMA (0,1,1)	Holt's
MAPE	77%	88%	73%
MAD	7720	6906	7618

ตารางที่ 3 ค่า MAPE และ MAD กลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีฤดูกาล

รายการ	Current	Winter's	SARIMA	
RL25.1	49%	30%	32%	SARIMA(0,1,1) (0,1,0)[53]
RL25.2	45%	20%	30%	SARIMA(0,1,1) (0,1,0)[53]
RLA25	117%	88%	94%	SARIMA(0,0,0) (0,1,0)[53]
CM25	31%	19%	24%	SARIMA(0,0,1) (0,1,0)[53]
CP25	44%	42%	34%	SARIMA(0,0,0) (0,1,0)[53]
MAPE	57%	40%	43%	
MAD	7781	5848	6958	

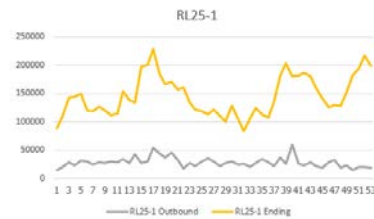
ตารางที่ 4 ค่า MAPE และ MAD กลุ่มที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีฤดูกาล (สินค้า CMis25.1)

CMis25.1	Current	Holt – Winter's	SARIMA (2,0,2)(0,1,0)[53]
MAPE	63%	63%	42%
MAD	6908	8211	8042

4.3 ผลวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาและโอกาสในการปรับปรุงนโยบายพัสดุดังแบบเดิม

ผู้วิจัยทบทวนนโยบายพัสดุดังแบบเดิมในปัจจุบัน โดยทำการเปรียบเทียบระดับสินค้าคงคลังปลายคาบกับความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นจริงในปี 2562 เป็นรายสัปดาห์ พบว่าระดับสินค้าคงคลังปลายคาบของสินค้า RL25.1 มีค่าสูงกว่าความต้องการในทุกๆ สัปดาห์ ซึ่งในบางช่วงเวลาสูงถึง 12 เท่า (ดูรูปที่ 8 ประกอบ) ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าการกำหนดระดับพัสดุดังคลังไม่สอดคล้องกับระยะเวลา และความ

แปรปรวนของความต้องการ ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยปริมาณสินค้าคงคลังมีมากกว่าค่าเฉลี่ยความต้องการหลายเท่า



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบระดับสินค้าคงคลังปลายคาบกับความต้องการสินค้าที่เกิดขึ้นจริงในปี 2562 ของสินค้า RL25.1

ผู้วิจัยจึงได้กำหนดรอบในการสั่งซื้อ (Periodic review) เนื่องจากสินค้าที่ศึกษามีราคาไม่สูง รอบการตรวจสอบไม่บ่อยเพื่อลดภาระความจำเป็นในการตรวจนับสต็อก โดยกำหนดให้รอบการสั่งซื้อทุกอาทิตย์ เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูลพยากรณ์ความต้องการ จากที่กล่าวมาผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วิธี OUL ที่มีการทบทวนระดับสินค้าคงคลังแบบกำหนดระยะเวลา โดยแบ่งการจำลองด้วยวิธี OUL เป็นสามแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการคำนวณหาระดับพัสดุดังคลัง (Safety stock) ที่เหมาะสม และก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ได้แก่ 1.วิธี OUL แบบไม่ใช้ค่าพยากรณ์มากำหนดระดับพัสดุดังคลัง 2.วิธี OUL แบบใช้ค่า MAD มากำหนดระดับพัสดุดังคลัง 3.วิธี OUL แบบใช้ค่า MAD มากำหนดระดับพัสดุดังคลังและใช้ค่าเฉลี่ยความต้องการของค่าพยากรณ์ใช้กำหนดระดับเป้าหมายสินค้าคงคลัง

4.4 ผลวิเคราะห์การดำเนินการจำลองสถานการณ์สั่งซื้อตามรูปแบบของนโยบายที่ออกแบบเทียบกับวิธีการสั่งซื้อในปัจจุบัน

ผู้วิจัยได้นำค่าใช้จ่ายรวมของวิธีปัจจุบันเปรียบเทียบกับรูปแบบนโยบายที่ออกแบบ พบว่าวิธีสั่งซื้อสินค้าในปัจจุบัน มีค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 9,018,964 บาท และค่าใช้จ่ายรูปแบบการสั่งซื้อแบบใหม่ทั้งสามวิธี 1.วิธี OUL แบบไม่ใช้ค่าพยากรณ์มากำหนดระดับพัสดุดังคลัง ค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 5,798,331 บาท 2.วิธี OUL แบบใช้ค่า MAD มากำหนดระดับพัสดุดังคลัง ค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 4,993,973 บาท และ 3.วิธี OUL แบบใช้ค่า MAD มากำหนดระดับพัสดุดังคลังและใช้ค่าเฉลี่ยความต้องการของค่าพยากรณ์ใช้กำหนดระดับเป้าหมายสินค้าคงคลัง ค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 4,577,531 บาท (ดูตารางที่ 5 ประกอบ) เมื่อเปรียบเทียบค่า %Service level ของนโยบายสั่งซื้อแบบจำลองระดับคงคลังเป้าหมาย (Order-up-to Level Model, OUL) ทั้งสามวิธี จะพบว่าค่า %Service level เท่ากับ 100% ซึ่งไม่น้อยไปกว่าเป้าหมายที่บริษัทกรณีศึกษาตั้งไว้

ตารางที่ 5 ต้นทุนทั้งหมดจากการใช้นโยบายสั่งซื้อทั้ง 4 วิธี

รายการ	Fixed order cost	Holding cost	Opp. Loss	Total cost

ปัจจุบัน	280,000	4,764,477	3,974,487	9,018,964
OUL ไม่ใช้ค่าพยากรณ์	225,000	4,917,157	656,173	5,798,331
OUL, FC: MAD	269,000	4,531,791	193,182	4,993,973
OUL, FC: MAD, Avg. Demand,	275,000	4,286,307	16,224	4,577,531

นโยบายสั่งซื้อแบบปัจจุบัน โดยแบ่งการจำลองด้วยวิธี OUL เป็นสามแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบการคำนวณหาระดับพัสดุสำรองคลัง (Safety stock) ที่เหมาะสม และก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ได้แก่ 1. วิธี OUL แบบไม่ใช้ค่าพยากรณ์มากำหนดระดับพัสดุสำรองคลัง 2. วิธี OUL แบบใช้ค่า MAD มากำหนดระดับพัสดุสำรองคลัง 3. วิธี OUL แบบใช้ค่า MAD มากำหนดระดับสินค้าสำรองคลังและใช้ค่าเฉลี่ยความต้องการของค่าพยากรณ์ที่กำหนดระดับเป้าหมายสินค้าคงคลัง ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการจำลองการสั่งซื้อ พบว่าวิธี OUL แบบใช้ค่า MAD มากำหนดระดับสินค้าสำรองคลังและใช้ค่าเฉลี่ยความต้องการของค่าพยากรณ์ที่กำหนดระดับเป้าหมายสินค้าคงคลัง มีค่าใช้จ่ายรวมน้อยกว่าวิธีปัจจุบัน และยังสามารถรักษา %Service level ได้ตามเป้าหมายที่ 97%

5. สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดนโยบายการพยากรณ์ความต้องการสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาให้มีความแม่นยำมากขึ้น และเพื่อปรับปรุงนโยบายคงคลังของบริษัทกรณีศึกษา ลดระดับสินค้าคงคลังโดยที่ระดับบริการไม่น้อยกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ที่ 98% โดยเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เช่น ยอดขายที่เกิดขึ้นจริง ระดับสินค้าคงคลังในปี 2559-2562 และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหาตัวแทนของสินค้าน้ำหอมประเภทลูกกลิ้งและน้ำหอมประเภทโคโลญจน์ที่ถูกจัดอยู่ในระดับ AX ด้วยวิธี ABC & XYZ Analysis แบ่งกลุ่มโดยใช้เกณฑ์ค่าเฉลี่ยปริมาณความต้องการและค่าเฉลี่ยต้นทุนในการขายสินค้าในปี 2563 ซึ่งได้ตัวแทนมาทั้งหมด 7 รายการสินค้า ได้แก่ RL25.1, RL25.2, RLA25, CM25, CP25, CMis25.1 และ CMis25.2 หลังจากนั้นผู้วิจัยได้แบ่งความต้องการที่เกิดขึ้นจริงในปี 2559-2561 เป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรก Training data จะถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะของความต้องการ เพื่อใช้เลือกวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสม ส่วนที่สอง Test data set เพื่อทดสอบความแม่นยำของการพยากรณ์ผ่านตัวชี้วัด Mean absolute percentage error (MAPE) และ Mean absolute deviation (MAD) ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์และทดสอบหาวิธีการพยากรณ์แบบใหม่พบว่ากลุ่มสินค้าน้ำหอมที่มีรูปแบบความต้องการแบบแนวโน้ม เมื่อใช้วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบไฮลท์จะมีความแม่นยำที่สุด กลุ่มสินค้าน้ำหอมที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีฤดูกาล เมื่อใช้วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบวินเทอร์จะมีความแม่นยำที่สุด และกลุ่มสินค้าน้ำหอมที่มีรูปแบบความต้องการแบบมีแนวโน้มและฤดูกาล เมื่อใช้วิธี SARIMA จะมีความแม่นยำที่สุด ผู้วิจัยได้นำเอาค่าพยากรณ์ในปี 2562 จากวิธีที่มีความแม่นยำที่สุด มาใช้ในการดำเนินการจำลองสถานการณ์สั่งซื้อสินค้าตามรูปแบบปัจจุบันและนโยบายที่ออกแบบใหม่ จากการศึกษาพบว่าสินค้าน้ำหอมมีราคาที่ไม่สูง และต้องการลดภาระการตรวจนับสต็อก ผู้วิจัยได้กำหนดรอบในการสั่งซื้อ (Periodic review) โดยมีรอบการสั่งซื้อทุกสัปดาห์ โดยเลือกนโยบายสั่งซื้อแบบจำลองระดับคงคลังเป้าหมาย (Order-up-to Level Model, OUL) มาเปรียบเทียบกับ

เอกสารอ้างอิง

- [1] MarketeerTeam. (2559). ตลาดน้ำหอม 2016, สืบค้นจาก <https://marketeeronline.co/archives/241440>. สืบค้นเมื่อ 01 สิงหาคม 2559.
- [2] พิภพ ลลิตาภรณ์. การวางแผนและควบคุมการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 1 ed. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2556.
- [3] อมรศิริ วิลาสเดชาพันธ์. เอกสารคำสอนวิชาการพยากรณ์ทางอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2560.
- [4] เดชาดำรงชัย, ว. (2021). การปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการและนโยบายการเติมเต็มพัสดุคงคลังสำหรับชิ้นส่วนเครื่องจักรกลการเกษตร จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย].
- [5] S. Makridakis, S. Wheelwright and R. J. Hyndman, Forecasting methods and applications, John wiley & sons, 3rd ed., New York: John Wiley & Sons, 2008.
- [6] S. Makridakis, S. Wheelwright and R. J. Hyndman, Forecasting methods and applications, John wiley & sons, 3rd ed., New York: John Wiley & Sons, 2008.
- [7] Lewis, C. D. Industrial and Business Forecasting Methods. London: Butterworth-Heinemann, 1982.
- [8] ปวีณา เชาวลิทวงศ์. การกำหนดนโยบายพัสดุคงคลัง ทฤษฎีและกระบวนการคิดอย่างเป็นระบบ. พิมพ์ครั้งที่ 1 ed. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561.

การปรับปรุงกระบวนการขออนุมัติชิ้นงานตัวอย่างสำหรับซัพพลายเออร์ Improvement of Sample Approval Process for Supplier

รุ่งทิพย์ อินทวงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

E-mail: 6270233821@student.chula.ac.th*

Rungtip Intawong

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Chulalongkorn University

E-mail: 6270233821@student.chula.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงกระบวนการขออนุมัติชิ้นงานตัวอย่างสำหรับซัพพลายเออร์ และกระบวนการทำงานของแต่ละหน่วยงาน เพื่อลดการรอคอยเอกสาร, ลดกระบวนการทำงานซ้ำซ้อน และลดปริมาณการใช้กระดาษ ซึ่งเป็นการจัดการห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain management) โดยการนำเครื่องมือและเทคโนโลยี และ ระบบ ที่มีใช้อยู่แล้ว นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ช่วยในการจัดการ, Tracking, Monitor กระบวนการ แก้ไขปัญหาการอนุมัติล่าช้า ให้เร็วขึ้น ซึ่งปัจจุบันกระบวนการทำงานนี้ใช้ระยะเวลาเฉลี่ย 18 วันทำงานต่อ 1 ชุด ผู้วิจัยได้ศึกษาและนำระบบ Share point, Power Automate, Power BI, และ การทำ Checklist เกี่ยวกับเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการตรวจเช็ค ซึ่งผลการทดลองที่ได้สามารถแก้ไขปัญหาการพิจารณาอนุมัติชิ้นงานตัวอย่างล่าช้าได้จริง ลดระยะเวลาในการตรวจสอบเหลือ 5 วันทำงาน และสามารถลดการทำงานในการตรวจสอบซ้ำได้ 19%

คำสำคัญ: ระบบการสื่อสาร และเก็บข้อมูล ในรูปแบบของเว็บไซต์ที่ใช้ภายในองค์กร ระบบการแจ้งเตือนอัตโนมัติ ระบบที่ช่วยเรื่องการวิเคราะห์ผลติดตามและรายงานผล ตารางรายการเอกสารที่ใช้ในการตรวจสอบ

Abstract

This paper proposes to improve of sample approval process for suppliers. and work processes to reduce time waiting for documents, reduce redundant of work. and reduce the use of paperless which is the supply chain management by using tools and technologies and systems used of benefit to management, Tracking, Monitoring process, solving the problem of delay approval, which currently takes an average of 18 working days per set. The researcher has studied and used the Share point system, Power Automate, Power BI, and checklist of relevant documents. for apply to the experimental. The results obtained can actually solve the problem of delayed sample approval. Shorten the inspection period to 5 working days and can reduce the re-inspection work by 19%.

Keywords: Share point, Power Automate, Power BI, Checklist

1. บทนำ

แนวโน้มตลาดการผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อยู่ภายใต้ความผันผวนทางเศรษฐกิจ และความไม่แน่นอนของตลาดทั้งหมดถือเป็นความท้าทายครั้งใหญ่สำหรับผู้ผลิตและผู้ประกอบการด้านอุตสาหกรรม Electronics Manufacturing Services, EMS ด้วยการแข่งขันที่เพิ่มขึ้น การใช้เทคโนโลยีขั้นสูง ผู้ผลิตต้องพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การควบคุมด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ รวมถึงการพัฒนาประสิทธิภาพการทำงานของคนในองค์กร ให้สามารถก้าวทันเทคโนโลยีและการเปลี่ยนแปลงของเศรษฐกิจได้อย่างรวดเร็ว เช่น การนำเทคโนโลยีที่ล้ำสมัย การอ็อปเทรตอุปกรณ์ มาประยุกต์ใช้เพื่อให้มั่นใจว่าสินค้าที่ผลิตมีคุณภาพมาตรฐานที่สูงและสม่ำเสมอ และสามารถรองรับกับความต้องการของตลาดในอนาคตได้

ปัจจุบันบริษัทเป็นผู้ผลิตส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Manufacturing Services, EMS) และประกอบเป็นสินค้าสำเร็จรูป (Box build assembly) จึงทำให้มีชิ้นส่วนหลากหลายที่นำเข้ามาใช้ผลิต เช่น PCB, ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์, สายไฟ, พลาสติก, ยาง, เหล็ก เป็นต้น ซึ่งชิ้นส่วนทั้งหมดจะผ่านกระบวนการตรวจสอบ และรับรองคุณภาพของชิ้นส่วนก่อนจะรับเข้ามาในสายการผลิต ดังนั้นกระบวนการนี้จึงเป็นกระบวนการสำคัญที่ควรนำมาทบทวนและปรับปรุงเพื่อลดความสูญเสียในสายการผลิต ลดเวลาในการทำงาน เพิ่มประสิทธิภาพของข้อมูล เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้ลูกค้า ขยายมุมมองเชิงธุรกิจ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

กระบวนการตรวจสอบและอนุมัติกระบวนการผลิตและชิ้นส่วนจะเกิดขึ้นเมื่อมีการผลิตใหม่ ชิ้นงานใหม่ วัสดุใหม่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิต โดยจะแนบเอกสารการรับประกันคุณภาพและผลตรวจวัดจะอ้างอิงตามแบบร่างลูกค้า ให้มาพร้อมกับชิ้นส่วน ถ้าหากชิ้นส่วนนั้นไม่ตรงตามมาตรฐาน หรือ ยังไม่ได้รับการอนุมัติ ก็ไม่สามารถเริ่มวางแผนการผลิตได้ จะเกิดความล่าช้า หรือหยุดชะงักของสายการผลิต ผลิตภัณฑ์ส่งไม่ได้ตามแผนที่ลูกค้ากำหนดไว้ ส่งผลกระทบด้าน ธุรกิจ (Business) และ โซ่อุปทาน(supply chain)

ปัจจุบันนี้กระบวนการเหล่านี้ เป็นการทำงานและติดตามแบบ Manual, มีการติดต่อสื่อสารกับหลายหน่วยงาน, ผู้อนุมัติหลายคน, ค้นหาเอกสารไม่เจอ โดยการทำงานจะเป็นลักษณะ Step by Step หมายถึงการรอให้หน่วยงานก่อนหน้าทำงานให้จบก่อน ถึงจะสามารถส่งต่อไปให้หน่วยงานถัดไปได้ จึงใช้เวลาในการทำงาน เฉลี่ย 18 วันต่อ 1 ชุด ซึ่งการไหลของกระบวนการแต่ละหน่วยงานมีบทบาทหน้าที่ดังนี้

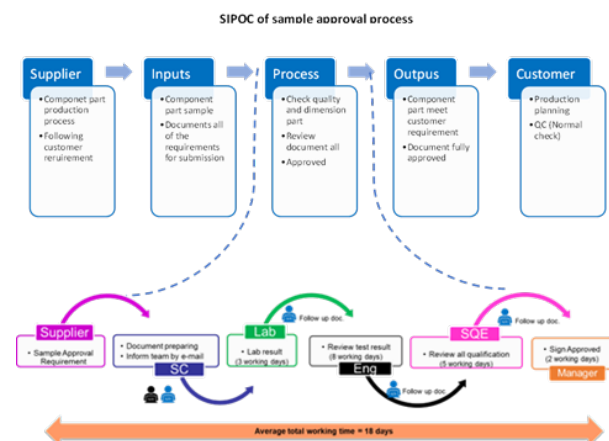
- Supplier (ซัพพลายเออร์) :เตรียมเอกสารและชิ้นงานให้ตรงตามข้อกำหนด
- Sourcing (SC) :หน่วยงานจัดซื้อจัดหาตรวจสอบเอกสารเบื้องต้นตามรายการข้อกำหนด ปรีนเอกสารเป็นรูปเล่ม ลงบันทึก รวมถึงจัดเตรียมใบปะหน้าที่เป็นเอกสารทางการสำหรับการเซ็นอนุมัติ และส่งชิ้นงานตัวอย่างให้กับหน่วยงานทดลอง โดยมีพนักงานหลักที่

ตรวจสอบจัดเตรียมเอกสาร 1 คน และมีพนักงาน Admin 1 คน ที่ทำหน้าที่ให้การจัดส่งเอกสารและติดตามสถานะของเอกสารเพื่อส่งต่อไปให้กับหน่วยงานถัดไป(ติดตามทุกชุดเอกสาร)

- Lab Engineer (Lab) :หน่วยงานทดลองวัดขนาด และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับข้อกำหนดลูกค้า และ Drawing และส่งต่อรายงานการวัด
- Engineer (Eng) :หน่วยงานวิศวกรรมตรวจสอบเอกสารเชิงวิศวกรรม
- Supplier Quality Engineer (SQE) :หน่วยงานคุณภาพตรวจสอบเอกสารรายงานด้านคุณภาพและประสิทธิภาพในการผลิตของซัพพลายเออร์
- Manager :หัวหน้างานแต่หน่วยงานตรวจสอบรายงานและเซ็นอนุมัติเอกสาร

ดังนั้นการศึกษาและปรับปรุงกระบวนการทำงานให้ดีขึ้น เพื่อช่วยให้ทุกหน่วยงานสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องกันและเกิดข้อผิดพลาดที่น้อยที่สุด โดยผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางศึกษาโดยเริ่มจากแผนภาพ SIPOC[1] เพื่อมองภาพรวมของกระบวนการ และเข้าใจการทำงานขอบเขตของงานมากขึ้น โดย SIPOC มีองค์ประกอบหลัก คือ

- S = Suppliers (ซัพพลายเออร์) : ผู้ให้บริการ (บุคคลหรือบริษัท) ส่งมอบอินพุต เช่นข้อมูลและทรัพยากรที่จำเป็นในการดำเนินการตามกระบวนการที่วางแผนไว้
- I = Inputs (ปัจจัยนำเข้า) : ทรัพยากร (วัสดุ, ข้อมูล กำลังคน การเงิน) เพื่อนำไปสู่กระบวนการต้องการเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ลูกค้าต้องการ
- P = Process (กระบวนการ) : กระบวนการเปลี่ยนทรัพยากรหรือข้อมูลเพื่อสร้างผลลัพธ์ที่มีคุณค่าต่อลูกค้า
- O = Outputs (ผลลัพธ์) : สิ่งที่ส่งมอบ (ผลิตภัณฑ์หรือบริการ) ที่ผ่านการเปลี่ยนแปลงจากกระบวนการ
- C = Customer (ลูกค้า) : ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งภายในและภายนอก (บุคคลหรือบริษัท) ที่ได้รับผลผลิต/ส่งมอบจากกระบวนการ [2]



รูปที่ 1 วิเคราะห์กระบวนการทำงานโดยใช้ SIPOC model

2. ศึกษาข้อมูลและวิธีดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินการงานวิจัย ผู้วิจัยได้ศึกษาและปรับปรุงกระบวนการของอนุมัติเอกสารและชิ้นงานก่อนจะอนุมัติให้ผู้ขายเริ่มผลิตขาย โดยใช้แนวคิด Lean Six Sigma ในหลักการของ DMAIC [3],[4] ในดำเนินงานวิจัย เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุง กำหนดแนวทางในการดำเนินการวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์

2.1 Define (การระบุปัญหา) :

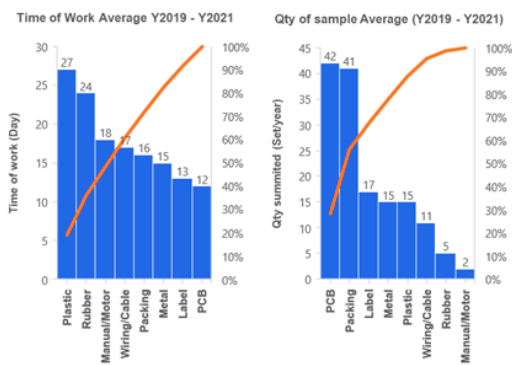
- ศึกษาและรวบรวมย้อนหลัง 3 ปี ตั้งแต่ปี 2019 จนถึง ปี 2021 พบว่าข้อมูลการขออนุมัติคิดเป็นจำนวนเฉลี่ยของเอกสารและชิ้นงานตัวอย่างที่ส่งเพื่อขออนุมัติชิ้นงานการผลิตคือ 147 ชุดต่อปี ใช้ระยะเวลาทำงานเฉลี่ย 18 วัน ต่อ 1 ชุด โดยมีผลของการอนุมัติเอกสารและตัวอย่างชิ้นงานดังนี้

ตารางที่ 1 ผลของการอนุมัติเอกสารและตัวอย่างชิ้นงาน

ผลการอนุมัติเฉลี่ย (3 year History)				
Detail	Fully Approved	Condition Approved	Rejected	Sum
Average	97	41	9	147

จะแบ่งผลการอนุมัติออกเป็น 3 ประเภท คือ

- Fully Approved หมายถึง ผ่านการอนุมัติ ชิ้นส่วนตรงตามข้อกำหนด และได้รับอนุมัติให้ส่งชิ้นส่วนตามแผนการสั่งซื้อ
- Condition Approved หมายถึง ผ่านการอนุมัติเฉพาะลัด ซึ่งจะอนุมัติให้มีการจัดส่งชิ้นส่วนที่จำเป็นต้องใช้เท่านั้น Supplier ต้องปรับปรุงแก้ไขและยื่นขออนุมัติใหม่
- Rejected หมายถึง ไม่ผ่านการอนุมัติ ชิ้นส่วนไม่ตรงตามสเปกลูกค้า แจ้ง Supplier ปรับปรุงและเร่งผลิตลัดใหม่



รูปที่ 2 กราฟวันทำงานของกระบวนการขออนุมัติ และจำนวนเฉลี่ยของเอกสารและชิ้นงานตัวอย่างแยกตามประเภทชิ้นงาน

นำข้อมูลมาสรุปและตรวจสอบระยะเวลาของกระบวนการทำงานโดยใช้กราฟพาเรโต (Pareto) ในการวิเคราะห์ และแยกเป็นประเภท

ของชิ้นงาน เพื่อดูว่าควรเลือกปรับปรุงกลุ่มชิ้นงานไหนก่อนหลัง และจากข้อมูลกระบวนการขออนุมัติ (Time of work average Y2019 – Y2021) มีชิ้นงานประเภท พลาสติก(Plastic) และ ยาง(Rubber) ที่ใช้ระยะเวลาในการอนุมัติเยอะสุดที่ 27 และ 24 วันทำงาน และจากข้อมูลจำนวนแยกตามประเภทชิ้นงาน (Qty of Sample average Y2019 – Y2021) ชิ้นงานประเภท แผงวงจร(PCB) และ บรรจุภัณฑ์(Packing) มีจำนวนเฉลี่ยในการขออนุมัติเอกสารและชิ้นงานเยอะที่สุดอยู่ที่ 42 และ 41 ชิ้นต่อปี ซึ่งไม่สอดคล้องกับกราฟวันทำงานของกระบวนการขออนุมัติเอกสารและชิ้นงานตัวอย่างแยกตามประเภทชิ้นงาน ที่ชิ้นงานประเภท Plastic และ Rubber ที่ใช้เวลาในการอนุมัตินานที่สุด แต่เนื่องจาก PCB เป็นชิ้นส่วนประกอบหลัก ถือว่าเป็นหัวใจและกลไกหลักในระบบการสั่งการและปฏิบัติงานของผลิตภัณฑ์ทุกผลิตภัณฑ์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดเป้าหมายในการวิเคราะห์และปรับปรุงโดยเลือกปรับปรุงกระบวนการขออนุมัติเอกสารและชิ้นงานตัวอย่างในทุกประเภทชิ้นงาน

2.2 Measure (การวัด)

นำข้อมูลที่รวบรวมย้อนหลัง 3 ปี กำหนดตัวชี้วัด โดยได้ตั้งเป้าหมายในการปรับปรุงไว้ดังนี้

- ลดระยะเวลาในการอนุมัติ : จาก 18 วัน เป็น 5 วัน
- ลดกระบวนการทำงานที่ซ้ำซ้อนไม่จำเป็น, ลดการตรวจเอกสารซ้ำ
- ลดการใช้กระดาษ (Paperless) : 100%

2.3 Analyze (การวิเคราะห์ปัญหา)

2.3.1 วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังก้างปลา [5],[6]

- จากการวิเคราะห์ปัญหาหาสาเหตุของปัญหานี้ พบว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดระยะเวลาในการทำงานนาน มีดังนี้
- ซัพพลายเออร์ส่งเอกสารไม่ถูกต้อง/ ซัพพลายเออร์ส่งเอกสารไม่ครบ
 - เอกสารสูญหาย/ไม่มีการ monitor
 - มีกระบวนการตรวจสอบเอกสารซ้ำ

ซึ่งผู้วิจัยได้นำสาเหตุเหล่านี้ไปวิเคราะห์ความสอดคล้องกับสภาพการทำงานจริง เพื่อหาแนวทางการแก้ไขปัญหาที่ตรงจุด

2.3.2 ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการตรวจสอบ

- ความแตกต่างของประเภทเอกสาร และ ข้อกำหนด โดยการทบทวนเอกสารและข้อกำหนด สามารถแยกความแตกต่างของรายการเอกสารออกเป็น 3 ประเภท ตามข้อกำหนดและกลุ่มผลิตภัณฑ์ ดังนี้

ตารางที่ 2 การจัดเตรียมเอกสารขออนุมัติชิ้นงานแต่ละผลิตภัณฑ์

กลุ่มผลิตภัณฑ์/ ประเภทเอกสาร	ISO	ISO	
	13485	IATF16949	ISO 9001
	FDA	PPAP	FAI
อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์	O		
อุปกรณ์ด้านยานยนต์		O	
อุปกรณ์ทางด้านอุตสาหกรรม			O
อุปกรณ์ด้านความปลอดภัย			O

- ลักษณะชิ้นงาน : สามารถแยกความแตกต่างจากฟังก์ชันการใช้งาน
ดังนี้

PCB : เป็นชิ้นส่วนที่เป็นแผงวงจรที่เป็นองค์ประกอบหลักที่
ใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า

Mechanic : เป็นชิ้นส่วนที่เป็นอะไหล่ หรือ ใช้สำหรับการ
ประกอบ ที่ผลิตตามขนาดที่ใช้งาน ทำจาก Plastic, Rubber, Metal,
Wiring, Cable เช่น Housing, CASE TOP, CASE BOTTOM, SCREW

Other : เป็นชิ้นส่วนนอกเหนือจากฟังก์ชันหลักเช่น Label,
Packing, Box

- การวัด : จากรายงานการวัดย้อนหลัง และการสำรวจเครื่องมือวัดใน
ปัจจุบัน สามารถแบ่งประเภทเครื่องมือวัดและวิธีการวัดออกเป็น 3
ประเภทดังนี้

ตารางที่ 3 สรุปเครื่องมือวัดของแต่ละกลุ่มชิ้นงานและฟังก์ชัน

Part Group	Material Part Type	Equipment Measurement
PCB	PCB	VMM
Mechanic	Plastic/Rubber/Metal	Vernier Caliper/VMM/CMM
Other	Label/Packing/Manual/etc.	Vernier Caliper/VMM

2.3.3 นำแนวความคิดแบบลีน (Lean Thinking)

โดยการวิเคราะห์ความสูญเสียเปล่า 8 ประการ ของกระบวนการทำงาน
[7],[8]

ตารางที่ 4 วิเคราะห์ความสอดคล้องความสูญเสียของกระบวนการ

ตัว ย่อ	รายละเอียด	วิเคราะห์ความสอดคล้อง
D	งานที่ต้องแก้ไข/งานเสีย (Defect)	มีจำนวนเอกสารที่ต้องปรับ เพื่อ แผนขออนุมัติ
O	การผลิตสินค้ามากเกินไปเกินความต้องการ (Over production)	มีการจัดทำรายงานหรือสำเนาที่ มากเกินไปจนจำเป็น
W	การรอคอย (Waiting)	มีการรอเอกสารจากอีกหน่วย หนึ่งไปอีกหน่วยงานหนึ่ง
N	ความคิดสร้างสรรค์ของทีมงานที่ ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ (Non- utilized Talent)	มีการทำงานไม่จำเป็น ที่ไม่ใช่ งานหลักของพนักงานแต่ละ หน่วยงาน
T	การขนย้ายบ่อย ๆ (Transportation)	มีการขนย้ายเอกสารระหว่าง พื้นที่ หรือ ระหว่างหน่วยงาน
I	สินค้าคงคลังมากเกินไป (Inventory)	มีใช้พื้นที่ในการจัดเก็บเอกสาร
M	การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Motion)	มีการติดตามเอกสารระหว่างชั้น ระหว่างตึกทำงาน
E	ขั้นตอนซ้ำซ้อนไม่ถูกต้อง (Excess Processing)	มีการทำงานซ้ำ ซึ่งก็เป็นการ สูญเสียของเวลาและค่าใช้จ่ายใน องค์กร

2.3.4 ศึกษาเวลาการทำงานแต่ละขั้นตอนของแต่ละหน่วยงาน

เป็นการศึกษาวิธีการทำงานและจับเวลาการทำงานที่เกิดขึ้นจริงในกรณี
ที่มีการจัดเตรียมเอกสารที่ถูกต้องและครบถ้วน โดยจะแบ่งการทำงาน
และการตรวจสอบชิ้นงานและเอกสารตามลักษณะชิ้นงาน ซึ่งการจับ
เวลาของแต่ละกระบวนการทำงานตั้งแต่เริ่ม จนถึงกระบวนการสุดท้าย
และนำมาคำนวณเป็นวันได้ดังนี้

ตารางที่ 5 เวลาเฉลี่ยของการทำงานแต่ละขั้นตอนและแต่ละหน่วยงาน

Part Group	Current Working (Day)				
	SC	Lab	SQE	Eng	Sum
PCB	1.00	1.00	3.00	5.00	<u>10.00</u>
Plastic (Mechanic)	1.00	3.00	3.00	6.00	<u>13.00</u>
Packing (Other)	1.00	1.00	2.00	2.00	<u>6.00</u>

จากการวิเคราะห์ และศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ความแตกต่าง
ของประเภทเอกสาร และกระบวนการทำงานมีผลทำให้การอนุมัติ
ชิ้นงานตัวอย่างล่าช้า

2.4 Improve (การปรับปรุง)

2.4.1 การปรับปรุงกระบวนการของซัพพลายเออร์ (External)

เป็นการปรับปรุงแก้ไขปัญหาดังแต่ต้นทาง เพื่อป้องกันในสาเหตุที่
ซัพพลายเออร์ส่งเอกสารไม่ถูกต้อง/ ซัพพลายเออร์ส่งเอกสารไม่ครบ
ผู้วิจัยได้แก้ไขโดยวิธีการทำ Checklist รายการเอกสาร ที่สามารถเลือก
โดยคลิกตามกลุ่มผลิตภัณฑ์, ประเภทของเอกสาร (กำหนดไว้ตาม
ตารางที่ 2) และ ลักษณะชิ้นงาน (กำหนดไว้ตามตารางที่ 3) ซึ่งจะมี
รายการเอกสารโชว์ขึ้นมาแบบ Auto ตาม Requirement ที่เลือก โดย
SC ใช้รายการเอกสารเหล่านี้ส่งให้กับซัพพลายเออร์ เพื่อจัดเตรียม
เอกสาร และ ใช้ในการตรวจเช็คเอกสารให้ครบถ้วน ก่อนนำส่งชิ้นงาน

ตัวอย่าง และ ง่ายต่อการจัดชุดเอกสารทั้งหมดในการขออนุมัติ วิธีนี้จะลดเวลาในการค้นหา และ ตรวจสอบเอกสาร

Customer Name (ชื่อลูกค้า)			
Product Application (กลุ่มผลิตภัณฑ์)	Medical Device (อุปกรณ์เครื่องมือแพทย์)		
Commodity (ลักษณะชิ้นงาน)	PCB		
Document type (ประเภทของเอกสาร)	FAI Package		
Item (ลำดับ)	Document list (รายการเอกสาร)	Check (ตรวจสอบ)	Note (หมายเหตุ)
1	Process Flow (Must be mention of Decision process)	<input checked="" type="checkbox"/>	
2	Material Drawings (Customer DWG or Supplier DWG design)	<input checked="" type="checkbox"/>	
3	Deviation report / TQ or EQ Approved/ DFM (if applicable)	<input checked="" type="checkbox"/>	
4	UL/CE/CSA Requirements, (If applicable)	<input checked="" type="checkbox"/>	
5	Inspection & Test Report (Yield Report)	<input checked="" type="checkbox"/>	
6	PCB Fab Stack-up Approval (Approved by customer)	<input checked="" type="checkbox"/>	
7	Reliability Test (Base on customer requirement)	<input checked="" type="checkbox"/>	
8	Solderability & Thermal Stress Test report	<input type="checkbox"/>	
9	Electrical test report 100%	<input type="checkbox"/>	
10	Ionic Contamination Test report	<input type="checkbox"/>	
11	Microsection report or Layer Constitution	<input type="checkbox"/>	
12	RoHS Compliance Statement	<input type="checkbox"/>	
13	Dimensional Report	<input type="checkbox"/>	
14	Unit & Carton Packing Instruction	<input type="checkbox"/>	
15	Sample for Approval	<input type="checkbox"/>	
16	C of C (Certificate of Compliance)	<input type="checkbox"/>	
17	Drawing's notes review and Specification review (If applicable)	<input type="checkbox"/>	
18	Material, Performance Test Results	<input type="checkbox"/>	

รูปที่ 3 ตัวอย่างการเลือกข้อมูลใน Checklist

2.4.2 การปรับปรุงกระบวนการทำงานภายในองค์กร (Internal)

ศึกษาเทคโนโลยีและการดำเนินธุรกิจยุคใหม่ (ABCDEF) เพื่อนำแนวคิดมาประยุกต์ใช้ และค้นหาทรัพยากร เครื่องมือ หรือ เทคโนโลยีที่มีอยู่แล้ว นำมาใช้ในการปรับปรุงแก้ปัญหา ซึ่งเทคโนโลยี ABCDEF [9],[10] ได้แก่

A คือ Artificial Intelligence(AI) เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถทำความเข้าใจ เรียนรู้ วิเคราะห์ และประมวลผลต่างๆ อย่างอัตโนมัติ

B คือ Blockchain เป็นระบบการกระจายฐานข้อมูล ที่ช่วยสร้างความเชื่อมั่นและป้องกันการปลอมแปลงข้อมูล

C คือ Cloud เป็นการให้บริการด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

D คือ Data หรือ ข้อมูล เป็นข้อมูลเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

E คือ E-Business หรือธุรกิจดิจิทัล เป็นการดำเนินธุรกิจด้วยเทคโนโลยีดิจิทัลและอินเทอร์เน็ต

F คือ Form เป็นรูปแบบ Innovation Platform นำมาใช้ให้เกิดเป็นนวัตกรรมใหม่ๆ ที่ต่อยอดกันไปเรื่อยๆ ในการทำธุรกิจเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน

โดยผู้วิจัยได้นำเทคโนโลยีเกี่ยวกับ ABCDF มาช่วยในการปรับปรุงดังนี้

A = AI สร้าง Program สำหรับ Share point โดยการนำระบบ Power Automate และ Power BI เข้ามาช่วยในการแจ้งเตือนและสรุปผลรายงาน และช่วยในการติดตาม

B = Blockchain ช่วยในการประสานและสนับสนุนให้ทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทำงานด้วยกัน และ พร้อมกันได้

C = Cloud ช่วยในการเก็บฐานข้อมูลเอกสาร ข้อมูลเชิงวิศวกรรม

D = Data ช่วยในการรวบรวมฐานเก็บข้อมูลจำนวนมาก

F = Platform ช่วยสร้างรูปแบบการออกแบบ (Create) ฐานข้อมูลให้เป็นรูปแบบเดียวกัน

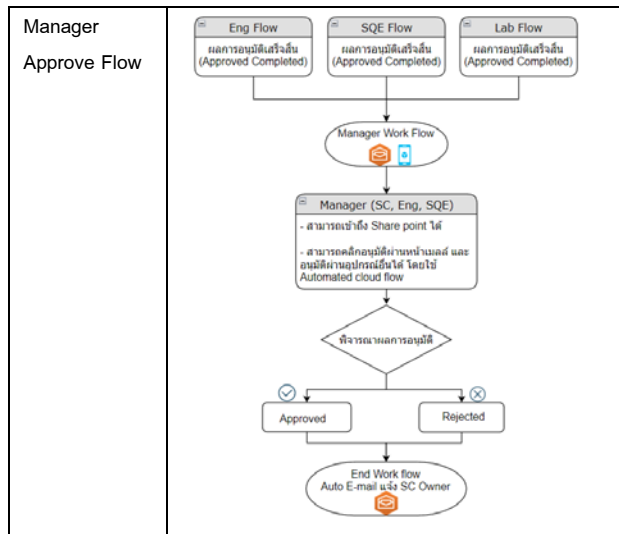
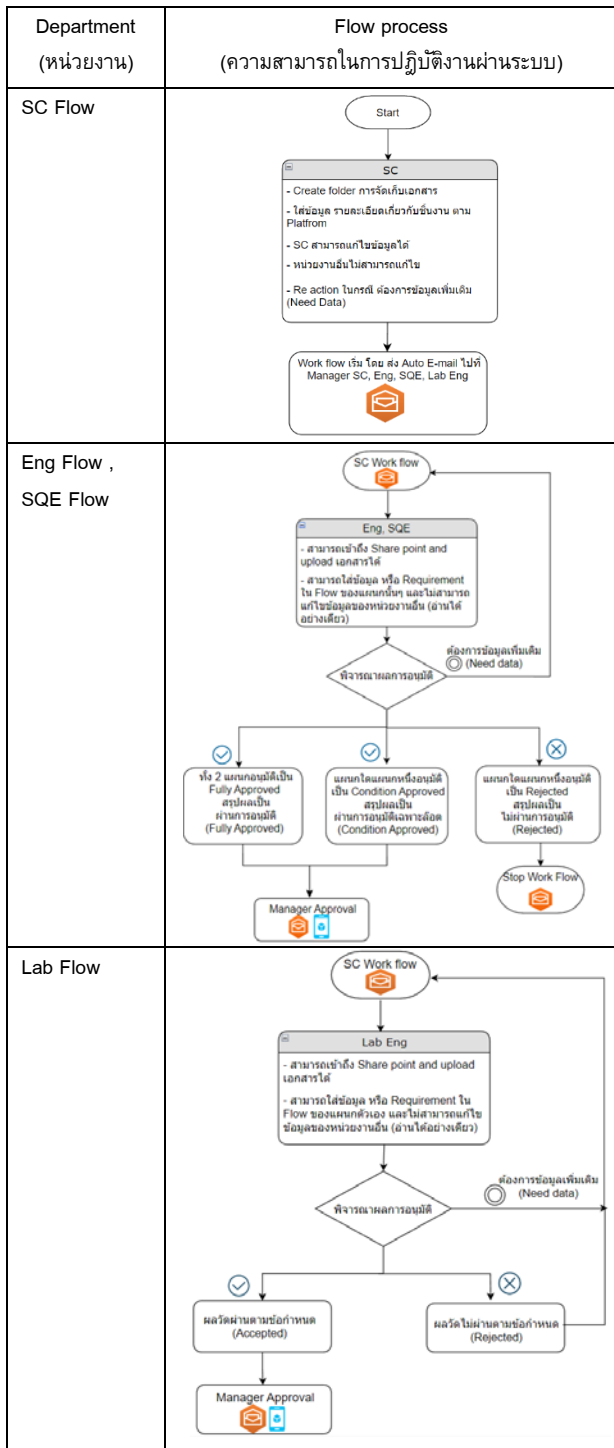
โดยการสร้างระบบ หรือ ซอฟต์แวร์ Share point ที่ช่วยสนับสนุนกระบวนการอนุมัติชิ้นงานตัวอย่างตั้งแต่การลงทะเบียนค่าขออนุมัติ ชิ้นงาน จนจบกระบวนการ และ แสดงผลการตรวจสอบคุณสมบัติเสร็จสิ้น ซึ่งทีมจะได้รับการตรวจสอบข้อมูลแพ็คเกจที่เข้ามาและแจ้งสถานะผ่านระบบนี้ และ ทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเริ่มการทำงานพร้อมกันได้



รูปที่ 4 กระบวนการทำงานรูปแบบใหม่ ผ่านระบบ

วิธีการดำเนินงานสำหรับการสร้างระบบ

- ออกแบบ Function Requirements เพื่อนำเสนอให้สร้างระบบ
- Create Form ที่ใช้สำหรับระบบ Share Point เพื่อเป็นรูปแบบสำหรับการทำงานของแต่ละหน่วยงาน
- Apply Microsoft Power Platform เข้ามาใช้ในการ Monitor เช่น Power Automate มาใช้เพื่อแจ้งเตือนให้ทีมในกรณีเกินกำหนด และ การใช้ Power BI มาใช้ในการ Summary ข้อมูล



รูปที่ 5 Flow process and Function Requirements

- ทำการออกแบบการทำการทดสอบระบบ (Simulation)

โดยวิธีการจำลองสถานการณ์ของผลพิจารณาเพื่อจัดรูปแบบในการทดสอบระบบ ซึ่ง Factor ที่มีผลต่อ Result ที่ระบบต้องคำนวณนั้นมาจากการผลการพิจารณาของ Eng และ SQE

ตารางที่ 5 จำลองผลการอนุมัติเพื่อใช้ระบบ

No.	Lab	SQE	Eng	Result
1	Accept	Fully approved	Fully approved	Fully approved
2	Accept	Fully approved	Condition approved	Condition approved
3	Accept	Fully approved	Rejected	Rejected
4	Accept	Condition approved	Fully approved	Condition approved
5	Accept	Condition approved	Condition approved	Condition approved
6	Accept	Condition approved	Rejected	Rejected
7	Accept	Rejected	Fully approved	Rejected
8	Accept	Rejected	Condition approved	Rejected
9	Accept	Rejected	Rejected	Rejected
10	Rejected	Fully approved	Fully approved	Fully approved
11	Rejected	Fully approved	Condition approved	Condition approved
12	Rejected	Fully approved	Rejected	Rejected
13	Rejected	Condition approved	Fully approved	Condition approved
14	Rejected	Condition approved	Condition approved	Condition approved
15	Rejected	Condition approved	Rejected	Rejected
16	Rejected	Rejected	Fully approved	Rejected
17	Rejected	Rejected	Condition approved	Rejected
18	Rejected	Rejected	Rejected	Rejected

- ทำการทดสอบการทำงานของระบบกับหน่วยงานที่จะใช้งานจริงเพื่อยืนยันในกระบวนการ

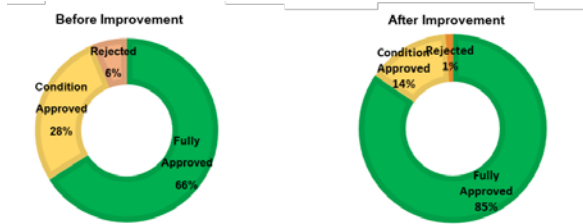
2.5 Control (การควบคุม)

- Jun'22 นำไปใช้และปฏิบัติในกระบวนการทำงานจริง และมีการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบผลก่อนการปรับปรุง

- สร้างระบบควบคุมด้วยข้อมูลและจัดทำคู่มือทำงานที่เป็นมาตรฐาน

3. ผลการทดลอง

จากข้อมูลการยื่นขออนุมัติชิ้นงานตัวอย่างผ่านระบบ Share point ตั้งแต่ Jun'22 ถึง Dec'22 มีจำนวนทั้งหมด 84 ชุด นำผลพิจารณาอนุมัติชิ้นงานตัวอย่างมาเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลก่อนการปรับปรุง พบว่าเปอร์เซ็นต์ของผลการอนุมัติที่เป็น Fully Approved จาก 66% เป็น 85% ผลการอนุมัติที่เป็น Condition Approved และ Rejected ลดลงจาก 28% เป็น 14% และ จาก 6% เป็น 1%



รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบผลการพิจารณาอนุมัติชิ้นงานตัวอย่าง ก่อน และ หลัง การปรับปรุง

และจากชุดข้อมูล 84 ชุดนี้ นำมาคำนวณระยะเวลาการทำงานเฉลี่ย 5 วันต่อ 1 ชุด (นับตั้งแต่เริ่ม Work flow จน Manager อนุมัติ) ซึ่งสามารถลดเวลาในกระบวนการการทำงานได้จริง และสามารถลดได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ที่ 5 วัน (ปัจจุบันจาก 18 วัน ลดเหลือ 5 วัน)

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบเวลาระบวนการทำงานก่อน-หลังการปรับปรุง

Time Work (Day)						
Detail	Lab	Eng	SQE	Ma na ger	Total	Work Method
Before Improvement	3	8	5	2	18	นำเวลาแต่ละหน่วยงานรวมกัน เพราะ ต้องรอหน่วยงานก่อนหน้าทำงานจบ
After Improvement	2	5	3	1	5	นำเวลา Lab, Eng, SQE มีเฉลี่ยกัน เพราะสามารถเริ่มงานพร้อมกัน

4. สรุป

การปรับปรุงกระบวนการของซัพพลายเออร์ก่อนขออนุมัติชิ้นงานตัวอย่าง ทำให้เอกสารที่แนบในการขออนุมัติมีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นการแก้ปัญหาเอกสารไม่ถูกต้องเอกสารไม่ครบ ส่งผลให้การอนุมัติ Fully Approved เพิ่มขึ้น 19% และสามารถลดกระบวนการทำงานที่ไม่จำเป็น ลดการตรวจเอกสารซ้ำ การทำงานซ้ำของทีมงานได้

การปรับปรุงกระบวนการทำงานภายในองค์กรโดยใช้เทคโนโลยี และระบบช่วยในการ การติดตาม(Tracking) และ การตรวจสอบ(Monitor)

สามารถลดเวลาในการทำงาน ลดขั้นตอนการติดต่อได้ นอกจากนั้นยังสามารถลดการใช้กระดาษได้ 100%

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบเวลาระบวนการทำงานก่อน-หลังการปรับปรุง

ลำดับ	วิเคราะห์ความสอดคล้อง (ก่อนการปรับปรุง)	วิเคราะห์ความสอดคล้อง (หลังการปรับปรุง)
1	มีจำนวนเอกสารที่ต้องปรีน เพื่อแนบขออนุมัติ	เอกสารและข้อมูลทั้งหมดถูกรวบรวมและจัดเก็บ โดย Cloud
2	มีการจัดทำรายงานหรือสำเนาที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็น	จึงไม่มีเอกสารที่ต้องปรีน หรือจัดทำรายงานที่เกินความจำเป็น
3	มีการรอเอกสารจากอีกหน่วยงานหนึ่งไปอีกหน่วยงานหนึ่ง	ไม่มีการรอคอยเอกสารจากหน่วยงานก่อนหน้า เพราะทุกหน่วยงานสามารถตรวจสอบเอกสารพร้อมกันได้
4	มีการทำงานไม่จำเป็น ที่ไม่ใช่งานหลักของพนักงานแต่ละหน่วยงาน	SC สามารถลดพนักงานที่ทำหน้าที่ เดินส่งเอกสาร ติดตาม
5	มีการขนย้ายเอกสารระหว่างพื้นที่ หรือ ระหว่างหน่วยงาน	ติดตามเอกสาร ได้ 1 คน เนื่องจากใช้ระบบมาช่วย
6	มีการติดตามเอกสารระหว่างชั้นระหว่างตึกทำงาน	Tracking และ Monitoring
7	มีการทำงานซ้ำ ซึ่งก็เป็นการสูญเสียของเวลาและค่าใช้จ่ายในองค์กร	ในกรณีนี้ที่ผลการอนุมัติเป็น Fully Approved เพิ่มขึ้น สามารถลดการทำงาน การจัดเตรียม และ การตรวจสอบเอกสารซ้ำ ของพนักงานแต่ละหน่วยงาน
6	มีใช้พื้นที่ในการจัดเก็บเอกสาร	ลดพื้นที่ ของตู้จัดเก็บเอกสารได้

5. กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาและเมตตา ยิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ. จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Techno-PM. What is SIPOC? Why do we need SIPOC? [ออนไลน์]. 2021. แหล่งที่มา : <https://www.techno-pm.com/2021/08/what-is-sipoc-why-do-we-need-sipoc.html>
- [2] BUSINESS ANALYSIS TECHNIQUES. SIPOC Model [ออนไลน์]. 2018. แหล่งที่มา : <https://thebadoc.com/ba-techniques/f/sipoc-model?blogcategory=Techniques>
- [3] SUPPLY CHAIN GURU. คลังความรู้เรื่อง DMAIC – Six Sigma [ออนไลน์]. 2022. แหล่งที่มา : <https://supplychainguru.co.th/articles/operations/dmaic-six-sigma/>

- [4] Supaporn Kupimail, M.S. (2012) "Process Improvement Using Six Sigma Concept: Case Study of Hard Disk Manufacturing by DMAIC"
- [7] BESTERLIFE. 7 QC Tool เครื่องมือคุณภาพเพื่อควบคุมกระบวนการผลิตโดยใช้กลวิธีทางสถิติ[ออนไลน์]. 2019. แหล่งที่มา : <https://besterlife.com/7-qc-tool/>
- [6] Worathai Krajangjaeng (2016) "The application of 7-basic quality control tool for resolving communication in organization: a case study of ABC company"
- [7] จำลักษณ์ ขุนพลแก้ว. Digital Lean มิติใหม่การผลิตยุค 4.0 [ออนไลน์]. 2019.แหล่งที่มา : <https://www.ftpi.or.th/2019/29904>
- [8] Atikan Muangngeon (2019) "An application of Lean technique (ECRS +IT) to efficient Book Return Process for Library and Information Center, NIDA"
- [9] ผู้จัดการออนไลน์. เคล็ดลับทำธุรกิจยุคใหม่ ต้องมี ABCDEF [ออนไลน์]. 2020. แหล่งที่มา : <https://m.mgonline.com/business/detail/9630000103951>
- [10] SUPPLY CHAIN GURU. บล็อกเชนกับการจัดการซัพพลายเชน [ออนไลน์]. 2022. แหล่งที่มา : <https://supplychainguru.co.th/articles/news/blockchain-in-supply-chain-management/>

