



JTEP

RMUTK
RAJAMANGALA
KRUNGTHAP

วารสาร เทคโนโลยีและ วิศวกรรมก้าวหน้า

Journal of Technology
and Engineering
Progress

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2
เดือน มกราคม - มิถุนายน 2567
ISSN : 3027-6500 (Online)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ



วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า

Journal of Technology and Engineering Progress

ปีที่ 1 ฉบับที่ 2 มกราคม – มิถุนายน 2567 (Vol 1, No.2, 2024, January - June)

เจ้าของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ที่ปรึกษา

อธิการบดี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

นายกสมาคมเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์

สมาคมเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย เกาเนียม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กมลพงศ์ แจ่มกมล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวัฒน์ ชูวารี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วิชาญ ช่วยพันธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล กลิ่นบุญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศฐ์ พัฒนเดช

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รองศาสตราจารย์ ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.อิศรทัต พึ่งอัน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ มุฑามระ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.ประภาศ เมืองจันทร์บุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

รองศาสตราจารย์ วรพงศ์ บุญช่วยแทน

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย โสจิพันธุ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผู้จัดทำวารสาร

ดร.สมชาย วนไทยสงค์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

นายวงศธร วงศ์ดีอินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารเป็นความคิดเห็นของผู้เขียน**กองบรรณาธิการไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป****ความเป็นมา**

วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ISSN 3027 - 6500 เป็นวารสารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ร่วมกับ สมาคมเทคโนโลยีและนวัตกรรมเชิงสร้างสรรค์ (ICTA) ซึ่งมีนโยบายรับตีพิมพ์บทความคุณภาพสูงในด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรม เป็นวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยเผยแพร่เป็นราย 6 เดือน ซึ่งตีพิมพ์ปีละ 2 ฉบับ (ฉบับละ 8 - 12 บทความ) และ มีการดำเนินงาน จัดพิมพ์บทความประเภทต่าง ๆ ได้แก่ บทความวิจัย (Research paper) บทความวิชาการ (Academic paper) และบทความปริทัศน์ (Review article)

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า เป็นบทความที่สร้างองค์ความรู้ และมีคุณภาพในทางวิชาการสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการอ้างอิงได้ เพราะผ่านการพิจารณาถ่วงถ่วง และประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จากหลากหลายสถาบัน อย่างน้อย 3 ท่าน ซึ่งเป็น การประเมินแบบไม่แสดงชื่อผู้แต่งและผู้ประเมิน (Double blinded) ก่อนที่จะเผยแพร่สู่สาธารณชน จึงทำให้วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า เป็นวารสารวิชาการที่มีคุณภาพ

กองบรรณาธิการ วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า จัดทำวารสารเป็นรูปแบบฉบับสมบูรณ์และเผยแพร่ให้กับสถาบันการศึกษาต่าง ๆ ทั่วประเทศไทย นอกจากนี้ยังสามารถสืบค้นเพื่ออ้างอิงหรืออ่านบทความที่เปี่ยมด้วยองค์ความรู้ได้ที่ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP>

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่บทความวิจัย (Research paper) บทความวิชาการ (Academic paper) และบทความปริทัศน์ (Review article) ที่มีคุณภาพของอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง และสาขาต่าง ๆ ที่มีการบูรณาการข้ามศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิศวกรรม เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่ทันสมัย ได้แก่

- 1.1. ด้านกระบวนการผลิตขั้นสูง
- 1.2. กรรมวิธีการแปรรูปสมัยใหม่
- 1.3. เทคโนโลยีวัสดุขั้นสูงและวัสดุศาสตร์
- 1.4. วิศวกรรมงานเชื่อมและโลหะการ
- 1.5. การวิจัยการดำเนินงานขั้นสูง

1.6 เทคโนโลยีและนวัตกรรม

1.7 วิศวกรรมย้อนรอยและการตรวจสอบ

2. เพื่อส่งเสริมและเป็นกลไกการขับเคลื่อนงานวิจัย ทำให้เกิดผลงานวิจัยที่เข้าไปสู่การพัฒนาต่อภาคสังคม ชุมชน อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้อง และนำไปประยุกต์ใช้ในการเรียนการสอนเพื่อต่อยอด และเกิดความเชื่อมโยงระหว่างงานวิจัย งานวิชาการ ซึ่งนำมาสู่การเกิดประโยชน์ต่อมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ และตอบสนองต่อการพัฒนาด้านเทคโนโลยี และวิศวกรรมของประเทศไทย

นโยบายการรับบทความ

กองบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า มีความยินดีที่จะรับบทความจากอาจารย์ นักวิจัย นักวิชาการทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ที่เขียนเป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ซึ่งผลงานที่ส่งมาขอตีพิมพ์ต้องไม่เคยเผยแพร่ในสิ่งพิมพ์อื่นใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารอื่น

การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่าน การพิจารณา กลั่นกรองคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ และได้รับความเห็นชอบจากกองบรรณาธิการ

ข้อความที่ปรากฏอยู่ในแต่ละบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเล่มนี้ เป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแต่ละท่าน ไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพแต่อย่างใด ความรับผิดชอบด้านเนื้อหา และ การตรวจร่างบทความ แต่ละบทความเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียน แต่ละท่านจะต้องรับผิดชอบบทความของตนเอง แต่ผู้เดียว

กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ให้นำเนื้อหา หรือข้อคิดเห็นใด ๆ ของบทความในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ไปเผยแพร่ก่อนได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการ อย่างเป็นทางการเป็นลายลักษณ์อักษร ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ถือเป็น ลิขสิทธิ์ของวารสาร ผู้ประสงค์จะส่งบทความกรุณาอ่านรายละเอียดการส่งบทความที่คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ ซึ่งได้ ระบุไว้ในเล่มวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า (Online) หรือ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP> และ สามารถส่ง Online ได้โดยกรอกรายละเอียดให้ครบถ้วนในระบบการส่งบทความ Online หากต้องการสอบถามข้อมูลเพิ่มเติม ติดต่อได้ที่

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

E-mail: jtep.journal@mail.rmutk.ac.th

<https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP>

กำหนดการเผยแพร่ ปีละ 2 ฉบับ (ทุก 6 เดือนต่อฉบับ)
ฉบับที่ 1 เดือน กรกฎาคม – ธันวาคม
ฉบับที่ 2 เดือน มกราคม – มิถุนายน (ปีถัดไป)

การเผยแพร่ เผยแพร่ผ่านระบบออนไลน์
<https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP>

สารบัญ

หน้า

ผลกระทบของอัตราการแข็งตัวของตัวต่อรูปร่างของเฟส β -Al ₅ FeSi และเฟสยูเทคติกซิลิคอนในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก โดยการเติมโลหะแม่อะลูมิเนียม-5%โครเมียม-3%แมงกานีส-1%สตรอนเชียม	1
Effect of Cooling Rate on β -Al ₅ FeSi and Eutectic Silicon Morphologies in Al-Si-Fe Cast Alloys by Adding Al-5%Cr-3%Mn-1%Sr Master Alloy	
จิณกมล ลุยจันทร์, วัชรพร สำมณี, นิติธร ทองสุข, อัฐพล แสงนิล, มินทาดา ขำจริง, วุฒิชัย ดังคพานิช, พิสิทธิ์ เมืองน้อย	
การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเงิน 18 % ผสมทองแดงและอินเดียม	13
Study of Physical Properties of 18 % Silver Mixed with Copper and Indium	
ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง, รัตติกรณ์ เสาร์แดน, สมพร ปิยะพันธ์, สุรัตน์ วรรณศรี, สมบัติ น้อยมิ่ง	
การเพิ่มผลผลิตในกระบวนการเจียรไนปรับผิวชิ้นส่วนวงแหวนลูกสูบของคอมเพรสเซอร์ในเครื่องปรับอากาศ	21
โดยการวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมกับเครื่องจักร	
Increasing Productivity in Process of Surface Grinding Piston Ring Parts of Air Conditioner Compressor by Analyzing to Determine Number of Labors Suitable for Machine	
ศรินยา ประทีปชนะชัย, สหสวรรณ เลิศกระโทก, ภูสิทธิ ดวงคำ	
การประเมินทางเลือกการฟื้นฟูสภาพโครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟ กรณีศึกษาทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ	32
Assessment of Railway Infrastructure Restoration Options	
A Case Study of the Northeastern Railway	
ธวัชชัย ปัญญาคิด, ปรัชญา ยอดดำรงค์	
แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ กรณีศึกษาโรงปั้นเตาอั้งโล่ บ้านดงมะไฟ	40
Approach for Efficiency Improvement of the Brazier Manufacturing Process	
A Case Study of the Brazier Factory Ban Dong Mafia	
วิโรชา คำจันทร์, กาญจนา อุปปิต, ศักดิ์ธิดา คำจันทร์	
การพัฒนาและสร้างเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพ่วงสามจุด	50
Development and construction of a three-point tethered lemongrass planter	
สมมาตร ศรีประเทือง, ศราวุธ จันทร์กลาง	
การลดเวลากระบวนการเบิกจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด บีเอ็น โปร เอ็นจิเนียริง	60
Reducing Process Time of Tools and Equipment Disbursement	
Case Study: BN Pro Engineering Limited Partnership	
อสมภรณ์ ธงสันเทียะ, กัญญารัตน์ สีโนนสูง, กัญญารัตน์ หินเหล็ก, ประสงค์ แจนดอน, พีรเดช สุวิทยารักษ์	
อมรศักดิ์ มาใหญ่	
การประเมินค่าความแข็งวิกฤต ณ บริเวณกระพ้อ้นในการเชื่อมซ่อมเหล็กทางรถไฟด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์	72
Evaluation of Critical HAZ Hardness in Railway Steel During Repair Welding by Finite Element Method	
เกษภา แก้ววิจิตร, สัณญา คำจริง, อมรศักดิ์ มาใหญ่	

ผลกระทบของอัตราการแข็งตัวของเฟส β -Al₅FeSi และเฟสยูเทคติกซิลิคอนในโลหะ
ผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก โดยการเติมโลหะแม่อะลูมิเนียม-5%โครเมียม-3%
แมงกานีส-1%สตรอนเชียม

Effect of Cooling Rate on β -Al₅FeSi and Eutectic Silicon Morphologies in
Al-Si-Fe Cast Alloys by Adding Al-5%Cr-3%Mn-1%Sr Master Alloy

จิณกมล ลุยจันทร์¹ วัชรพร สำมณี¹ นิติตร ทองสุข¹ อัฒพล แสงนิล¹ มินทาดา ขำจริง¹ วุฒิชัย ดังคพานิช¹
และ พิสิตี เมืองน้อย^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
หัวหิน ประจวบคีรีขันธ์ 77110

Jinkamon Lujan¹ Watcharaporn Sommane¹ Nititon Thongsook¹ Attpoon Sangnin¹ Mintada Khamchring¹
Wuttichai Thangkapanit¹ and Phisith Muangnoy^{1*}

¹Department of Industrial and Production Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Hua Hin, Prachuap Khiri Khan 77110

*Corresponding author Email: Phisith.mua@rmutr.ac.th

(Received: February 6, 2024 / Revised: June 18, 2024 / Accepted: June 20, 2024)

บทคัดย่อ

ผลกระทบของอัตราการแข็งตัวและการเติมโลหะแม่อะลูมิเนียม-5%โครเมียม-3%แมงกานีส-1%สตรอนเชียม (5Cr3Mn1Sr) ต่อการปรับสภาพรูปร่างสารประกอบเชิงโลหะและเฟสยูเทคติกซิลิคอนในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก (Al-Si-Fe) ที่มีปริมาณธาตุเหล็ก 0.5, 1.0 และ 1.5% (wt.%) มีอัตราการแข็งตัว 2 ระดับ สำหรับวิเคราะห์การปรับสภาพเฟส ผลการทดลองพบว่าที่อัตราการแข็งตัว 0.2 °C/s โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-1.5%เหล็กเกิดก่อตัวของเฟส β (β -Al₅FeSi) และรูพรุนที่มีขนาดใหญ่ ในขณะที่การเติมโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr ปริมาณ 4% ในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ที่มีปริมาณธาตุเหล็ก 1.5% นั้น สามารถเปลี่ยนรูปร่างของเฟส β ให้กลายเป็นเฟส α (Al₁₅(Fe,Cr,Mn)₃Si₂) ได้ ในขณะที่รูพรุนที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กลง ผลกระทบของอัตราการแข็งตัวเร็วลดระยะห่างระหว่างแขนที่สองของต้นเดนไดรต์ และปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอนในโครงสร้างจุลภาค การรวมกันระหว่างอัตราการแข็งตัวเร็วและการเติมโลหะแม่สามารถปรับสภาพทั้งสารประกอบเชิงโลหะและเฟสซิลิคอนได้ดีเยี่ยม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่โลหะผสม A356 และโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-0.5%เหล็ก การวิเคราะห์ปริมาณเฟส β ในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-1%เหล็ก และ 1.5%เหล็ก ที่ผ่านการปรับสภาพเฟสลดลงเท่ากับ 75.80% และ 55.36% ตามลำดับ งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการรวมกันของอัตราการแข็งตัวสูงและการเติมโลหะแม่ ส่งผลดีต่อคุณภาพชิ้นงานหล่อและประสิทธิภาพในการปรับสภาพเฟส

คำสำคัญ: อัตราการแข็งตัว เฟส β -Al₅FeSi โลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน โลหะแม่

Abstract

The effects of the cooling rate and the addition of the Al-5%Cr-3%Mn-1%Sr (5Cr3Mn1Sr) master alloy on the intermetallic compound and eutectic silicon morphology in aluminum-silicon-iron (Al-Si-Fe) cast alloys were investigated. The Fe content was set to 0.5%, 1.0%, and 1.5% (wt.%). Two cooling rates

were used to analyze the modification of the Al-Si-Fe cast alloys. The experimental results showed that a low cooling rate in aluminum-silicon-1.5%Fe led to the formation of the β phase (β -Al₅FeSi) and porosity during the solidification process. In contrast, aluminum-silicon containing 1.5% Fe treated with 4 wt% of 5Cr3Mn1Sr master alloy can change the shape of β phase to α phase (Al₁₅(Fe,Cr,Mn)₃Si₂) morphology, while significantly reducing porosity size. The rapid cooling rate reduced the SDAS (Secondary dendrite arm spacing) phase and refined the eutectic Si morphology in the microstructures. The combination of the rapid cooling rate and the addition of the master alloy fully modified both the intermetallic compounds and eutectic Si, especially in the A356 and aluminum-silicon-0.5%Fe alloys. Fraction analysis revealed that the β phases in aluminum-silicon alloys with 1%Fe and 1.5%Fe, treated with master alloys, decreased to 75.80% and 55.36%, respectively. It can be concluded that the combination of the cooling rate and the addition of 5Cr3Mn1Sr master alloys can enhance the quality and modification efficiency of castings.

Keywords: Cooling rate, β -Al₅FeSi, Al-Si alloy Master alloy

1. บทนำ

อะลูมิเนียมเป็นโลหะนอกกลุ่มเหล็กที่มีความสำคัญสำหรับการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ในด้านวิศวกรรม เนื่องจากมีความหนาแน่นต่ำเท่ากับ 2.7 g/cm³ เมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กกล้า 7.874 g/cm³ (ที่อุณหภูมิห้องปกติ) ซึ่งส่งผลต่อน้ำหนักที่เบา มีผิวภายนอกสวยงาม และต้านทานการกัดกร่อนได้ดี กลุ่มโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน (Al-Si) เกรดสำหรับงานหล่อที่มีปริมาณธาตุซิลิคอน 4-12% เป็นส่วนผสมหลัก นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เนื่องจากคุณสมบัติทางกลที่ดี เช่น ความแข็งแรงและความสามารถในการไหลตัวของน้ำโลหะเข้าสู่โพรงแบบได้ดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งชิ้นส่วนที่มีความซับซ้อนสูง [1]

การปนเปื้อนของธาตุเหล็กในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ส่งผลต่อการก่อตัวของเฟส β มีลักษณะเป็นเส้นยาว (Needle-like) ส่งผลเสียต่อคุณสมบัติเชิงกล [2] และทำให้เกิดรูพรุนบริเวณใกล้ๆ เฟส β [3] ปกติการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเฟส β ให้กลายเป็นเฟส α -Al₁₅(Fe,Cr,Mn)₃Si₂ ที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน (Chicness scrip) สามารถทำได้โดยเติมธาตุโครเมียม และแมงกานีสในน้ำโลหะหลอมเหลว [2] จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะและรูปร่างนี้ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของชิ้นงานหล่อที่ดีขึ้น ปริมาณที่สูงของธาตุซิลิคอนในโลหะผสมส่งผลต่อปริมาณสัดส่วนเฟสยูเทคติกซิลิคอนที่เพิ่มมากขึ้น โดยปกติเฟสยูเทคติกซิลิคอนที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพนั้นมีลักษณะรูปร่างเป็นแผ่น (Plate-like) ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นในการเกิดความเค้น และลดความแข็งแรง ความเหนียว รวมทั้งความล้าของชิ้นงานหล่อ [4] การควบคุมเฟสยูเทคติกซิลิคอนให้มีขนาดเล็กสามารถทำได้โดยการควบคุมอัตราการแข็งตัว (Cooling rate) [5] ในกระบวนการหล่อที่มีอัตราการแข็งตัวเร็วในแม่แบบเหล็กถาวร ในขณะที่กระบวนการหล่อที่มีอัตราการแข็งตัวช้า เช่น กระบวนการหล่อโพรงแบบทรายขึ้น (Green sand) นิยมเติมธาตุสตรอนเทียมในรูปแบบโลหะผสม Al-10%Sr ปริมาณ 0.02-0.04% [4] ธาตุสตรอนเทียมทำหน้าที่ขัดขวางการเติบโตของเฟสซิลิคอน ส่งผลให้การเติบโตของเฟสซิลิคอนเกิดขึ้นได้หลายทิศทาง [2] ทำให้มีลักษณะรูปร่างเล็กและกลมมน (Fibrous) จากลักษณะดังกล่าวส่งผลดีต่อคุณสมบัติเชิงกลและความเหนียวของชิ้นงานหล่อ

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา Qing Cai และคณะ [6] ได้ศึกษาผลกระทบของธาตุแมงกานีสและนิกเกิล ทำการทดลองในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-นิกเกิล-เหล็ก-แมงกานีส กลุ่มไฮเปอร์ยูเทคติก เปรียบเทียบกับโลหะผสมที่มีปริมาณซิลิคอนใกล้เคียงกับยูเทคติก เกรด A383 (Near-eutectic) พบว่าธาตุแมงกานีสและนิกเกิล ส่งผลให้เกิดสารประกอบที่มีลักษณะรูปร่างของเป็นแผ่น (Plate-like) และก้อน (Block-like) ในโครงสร้างจุลภาค มีขนาดอยู่ในช่วง 5-20 ไมครอน ผลการทดสอบแรงดึง พบว่าค่าความต้านทานแรงดึงมีค่าสูงมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโลหะผสมเกรด A383 ในขณะที่อัตราการเย็นตัวลดลง Ossama Elsebaie [7] ได้ศึกษาผลของสตรอนเทียมและแมงกานีส ที่เติมลงไปโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-ทองแดง-แมงกานีส-เหล็ก ต่อความสามารถต้านทานการกระแทก (Toughness) หลังจากผ่านกระบวนการอบบ่ม

(Aging) จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคหลังจากการหล่อ (As-cast) พบว่าสโตนเทียมสามารถปรับเปลี่ยนรูปร่างเฟสยูเทคติกซิลิคอน จากรูปทรงไม่แน่นอน (Acicular) กลายเป็นรูปทรงที่มีขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นโครงข่าย มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และมีความยาว (Length) ลดลง ส่งผลอย่างมากต่อค่าความเหนียว (Ductility) และค่าความสามารถต้านทานการกระแทกที่สูงขึ้น การเติมแมงกานีส 0.45-0.65 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่งผลต่อปริมาณเฟส α -Al₁₅(Mn,Fe₃)Si₂ ที่เพิ่มมากขึ้น และยังพบว่าเกิดการก่อตัวของเฟสตะกอน (Sludge) ลักษณะเป็นก้อน เนื่องจากปริมาณสัดส่วนของธาตุเหล็กและแมงกานีสไม่เหมาะสม และเป็นสาเหตุทำให้ความต้านทานในการต้านแรงกระแทกลดต่ำลง M. AMNE ELAHI และคณะ [8] ได้ศึกษาผลกระทบของกระบวนการปรับปรุงน้ำโลหะและกระบวนการทางความร้อนต่อค่าความเหนียว (Toughness) และความสามารถในการรับแรงกระแทกในโลหะผสมอะลูมิเนียมเกรด A356 มีการออกแบบการทดลองหลายๆ สภาวะประกอบด้วย ชิ้นงานที่ผ่านการหล่อ (As-cast) ชิ้นงานผ่านการปรับปรุงขนาดเกรนโดยการเติมโลหะแมกนีต Al-5%Ti-1%B ชิ้นงานผ่านการปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอน ชิ้นงานผ่านการปรับขนาดเกรนผสมกับผ่านการปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอน และทุกสภาวะการทดสอบผ่านกระบวนการทางความร้อน T6 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านการปรับปรุงขนาดเกรนและปรับสภาพเฟสยูเทคติกซิลิคอน หลังจากผ่านกระบวนการ T6 มีค่าความแข็งแรง ค่าความเหนียว (Toughness) และความสามารถในการรับแรงกระแทกสูงกว่าทุกๆ สภาวะการทดสอบ

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของอัตราการแข็งตัวและการเติมโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr ต่อรูปร่างของเฟส β -Al₅FeSi และเฟสยูเทคติกซิลิคอนในโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่มีปริมาณเหล็กต่างกัน 0.5, 1.0 และ 1.5% รวมทั้งคุณภาพของชิ้นงานหล่อ โดยพิจารณาเฉพาะรูพรุนที่เกิดขึ้นจากการแข็งตัวของน้ำโลหะในโครงสร้างจุลภาคที่เป็นผลมาจากการปนเปื้อนของธาตุเหล็กในโลหะผสม

2. ขั้นตอนการทดลอง

2.1 โลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr

ปริมาณสัดส่วนของโลหะแม่ที่พัฒนาขึ้นได้มาจากการหลอมอะลูมิเนียมบริสุทธิ์ (99.99%) ปริมาณ 5 กิโลกรัม ผสมกับผงโครเมียมบริสุทธิ์ ($\geq 99\%$) ปริมาณ 0.25 กิโลกรัม จากบริษัท Sigma-aldrich จากนั้นผสมโลหะผสมอะลูมิเนียม-75% แมงกานีส ปริมาณ 0.20 กิโลกรัม และขั้นตอนสุดท้ายเติมโลหะผสมอะลูมิเนียม-10%Sr ปริมาณ 0.5 กิโลกรัม โดยใช้เตาเหนี่ยวนำไฟฟ้าความถี่ต่ำ อุณหภูมิการหลอมอยู่ในช่วง 1800-2000 องศาเซลเซียส

ชิ้นงานทดสอบขัดกระดาษทรายและสารละลายแขวนลอยซิลิคอน (Colloidal silica) กัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบด้วยสารละลายที่มีส่วนผสมของน้ำกลั่น 190 มิลลิลิตร กรดไนตริก 5 มิลลิลิตร ไฮโดรคลอริก 3 มิลลิลิตร และไฮโดรฟลูออริก 2 มิลลิลิตร ตามลำดับ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

2.2 การปรับสภาพเฟสโดยการเติมโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr อัตราการแข็งตัวช้า 0.2 องศาเซลเซียส/วินาที

การคำนวณปริมาณสัดส่วนของเหล็กในโลหะผสม ได้มาจากการหลอมโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ปริมาณ 10 กิโลกรัม ผสมกับตะกั่วที่มีขนาดเล็ก (มีปริมาณธาตุเหล็ก $> 99\%$) ปริมาณ 0.05, 0.10 และ 0.15 กิโลกรัม ตามลำดับ โดยใช้เตาเหนี่ยวนำไฟฟ้าความถี่ต่ำ อุณหภูมิการหลอมอยู่ในช่วง 1800-2000 องศาเซลเซียส

สำหรับงานวิจัยนี้เพื่อให้เห็นผลกระทบของการปนเปื้อนของธาตุเหล็กในโลหะผสมได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองเบื้องต้น โดยนำโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-1.5%เหล็ก ทดลองหล่อในแบบหล่อที่มีอัตราการแข็งตัวต่ำและการทดลองที่ปรับปรุงโดยการเพิ่มอัตราการแข็งตัวและเติมโลหะแม่ โลหะผสมใช้ในการทดลองภายใต้งานวิจัยนี้ประกอบด้วยโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่มีปริมาณธาตุเหล็ก 0.5, 1.0 และ 1.5% แสดงในตารางที่ 1

โลหะผสมหลอมที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส ในเตาเหนี่ยวนำความถี่ต่ำ เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นแข็งตัวในแม่แบบที่มีอัตราการแข็งตัวช้า 0.2 องศาเซลเซียส/วินาที วัดช่วงอุณหภูมิการแข็งตัวถึงอุณหภูมิสุดท้ายในการแข็งตัวต่อหน่วย

เวลา [9] สำหรับการทดลองเบื้องต้น และในแม่แบบเหล็กกล้าที่มีอัตราการแข็งตัวรวดเร็ว (Rapid cooling) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร สำหรับกระบวนการปรับปรุง

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลอง (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, wt.%)

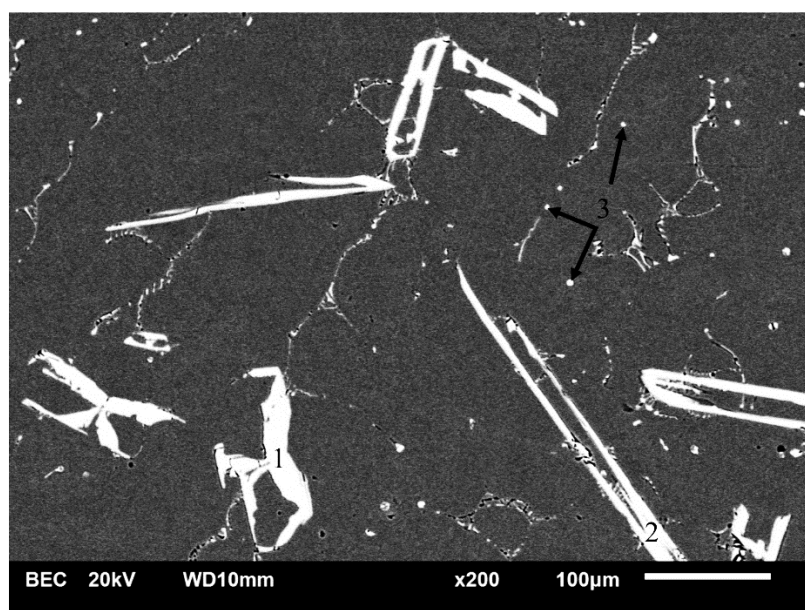
โลหะผสม	อัตราการแข็งตัว	5Cr3Mn1Sr
ทดลองเบื้องต้น ที่อัตราการแข็งตัวต่ำ		
Al-Si-1.5%Fe	ต่ำ	-
Al-Si-1.5%Fe	ต่ำ	4
ปรับปรุง โดยใช้อัตราการแข็งตัวเร็ว		
A356 (Al-Si)	เร็ว	-
Al-Si-0.5%Fe	เร็ว	-
Al-Si-1.0%Fe	เร็ว	-
Al-Si-1.5%Fe	เร็ว	-
ปรับปรุง โดยใช้อัตราการแข็งตัวเร็วและเติมโลหะแม่		
A356 (Al-Si)	เร็ว	4
Al-Si-0.5%Fe	เร็ว	4
Al-Si-1.0%Fe	เร็ว	4
Al-Si-1.5%Fe	เร็ว	4

ในลำดับขั้นตอนการหล่อหลังจากโลหะผสมหลอมเหลวเติมฟลักซ์ปกคลุมผิวหน้า (Covering flux) และเติมโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr ปริมาณการเติมกำหนดไว้ที่ 4% (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, wt.%) เวลาค้ำน้ำโลหะในเตา 30 นาที ใช้แก๊สอาร์กอนสำหรับไล่แก๊สเวลา 3-5 นาที กำหนดอุณหภูมิเทน้ำโลหะที่ 750 องศาเซลเซียส ในแม่แบบเหล็กกล้า ที่มีอัตราการแข็งตัวสูงเท่ากับ 10 องศาเซลเซียส/วินาที โดยกำหนดความหนาของแม่แบบเท่ากับ 8 มิลลิเมตร นำชิ้นงานทดสอบชุดกระดาศทรายเบอร์ 120, 240, 400, 600, 800, 1000 และ 1200 กริต ตามลำดับ ชัดละเอียดด้วยสารละลายแวนดอสซิลิคอน กัดผิวหน้าชิ้นงานทดสอบด้วยสารละลายที่มีส่วนผสมของน้ำกลั่น 190 มิลลิลิตร กรดไนตริก 5 มิลลิลิตร ไฮโดรคลอริก 3 มิลลิลิตร และไฮโดรฟลูออริก 2 มิลลิลิตร ตามลำดับ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscopy, OM) และวัดปริมาณเฟสที่เปลี่ยนแปลงโดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ด้วยภาพ (Image analysis)

3. ผลการวิจัย

3.1 โครงสร้างจุลภาคของโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr

โครงสร้างจุลภาคของโลหะแม่จากกล้องจุลทรรศน์ SEM ประกอบด้วยเฟส AlCrMn (สีขาว) มีลักษณะเป็นแท่งยาว และเฟสสตรอนเชียม ลักษณะเป็นก้อนกลมขนาดเล็ก (สีขาวสว่าง) กระจายตัวบริเวณขอบเกรนของเฟส α -Al ดังรูปที่ 1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีเอกซ์แบบกระจายพลังงาน (Energy dispersive X-ray spectroscopy, EDS) ที่ใช้ร่วมกับกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อยืนยันองค์ประกอบทางเคมีของโลหะแม่ในการวิจัยนี้ แสดงในตารางที่ 2



รูปที่ 1 โครงสร้างจุลภาคโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr จากกล้องจุลทรรศน์ SEM

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีโดยใช้เทคนิค EDS แบบจุด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก, wt.%)

ตำแหน่ง	องค์ประกอบทางเคมี (wt.%)					เหล็ก
	อะลูมิเนียม	ซิลิคอน	โครเมียม	แมงกานีส	สตรอนเชียม	
1	77.64	-	17.37	4.99	-	-
2	77.56	-	17.44	5.00	-	-
3	69.15	8.75	2.55	5.46	0.69	13.40

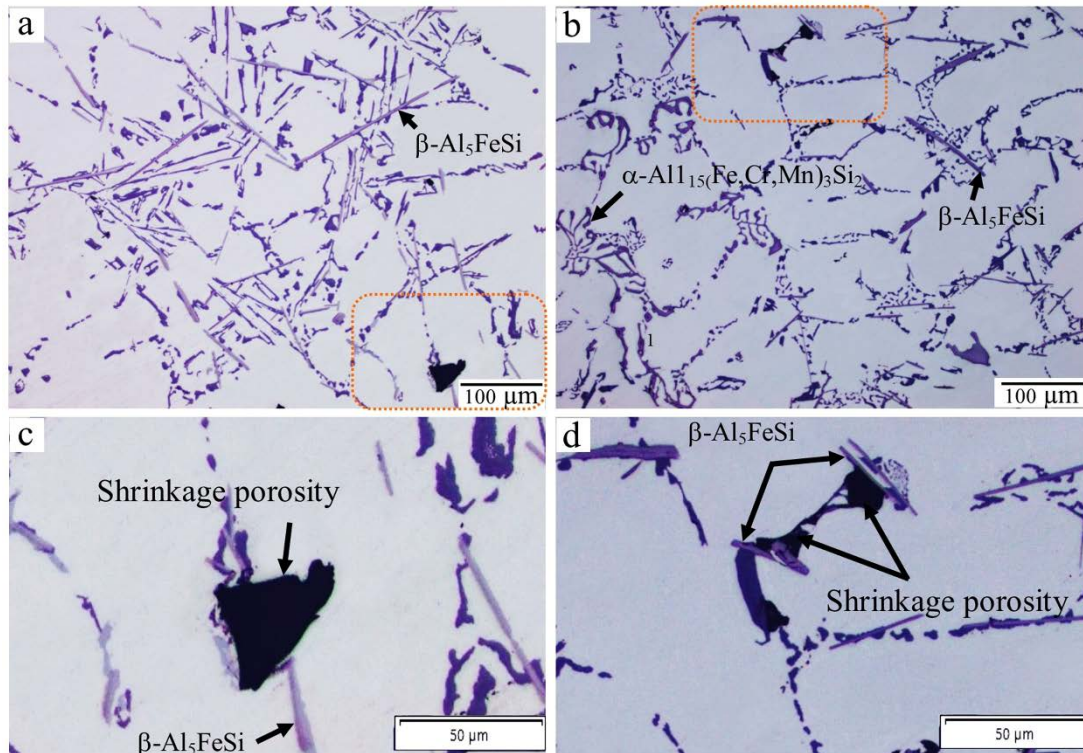
3.2 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-1.5%เหล็ก อัตราการแข็งตัว 0.2 องศาเซลเซียส/วินาที การศึกษาอัตราการแข็งตัวของโลหะผสมที่อัตราการแข็งตัวต่ำ เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคและผลกระทบจากการปรับปรุงสภาพโดยการเติมโลหะแม่ที่ส่งผลต่อคุณภาพงานหล่อจากอัตราการแข็งตัวที่ต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 2

โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-1.5%เหล็ก อัตราการแข็งตัวต่ำ ประกอบด้วยเฟส β ที่มีความยาวอยู่ในช่วง 50-100 ไมครอน กระจายตัวบริเวณเฟสยูเทคติกซิลิคอน และโครงสร้างยูเทคติกซิลิคอนมีลักษณะรูปร่างไม่แน่นอน กระจายตัวอยู่ทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 2 (a) นอกจากนี้ยังพบรูพรุน (Shrinkage porosity) ที่เกิดขึ้นจากการแข็งตัวของเฟส β มีขนาด 50 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 2 (c) การปรับปรุงสภาพเฟสโดยการเติมโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr ปริมาณการเติม 4% สามารถปรับปรุงสภาพเฟส β กลายเป็นเฟสที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน ในขณะที่ปริมาณและขนาดเฟส β ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยหลงเหลือในโครงสร้างจุลภาคปริมาณเล็กน้อยเท่านั้น และรูพรุนที่เกิดจากการแข็งตัวเกิดขึ้นบริเวณเฟส β มีขนาดเล็กอยู่ในช่วง 5-10 ไมครอน ดังแสดงในรูปที่ 2 (b, d) สาเหตุหลักในการเกิดรูพรุนนั้น เนื่องจากการก่อตัวของเฟส β ในระหว่างกระบวนการแข็งตัว ขัดขวางการป้อนเติมน้ำโลหะ [3] เข้าสู่ชิ้นงานที่เกิดการหดตัวจากการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นของแข็ง และปริมาณแก๊สที่ปนเปื้อนในน้ำโลหะเหลวเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่สำคัญที่ส่งผลต่อการหดตัว [10]

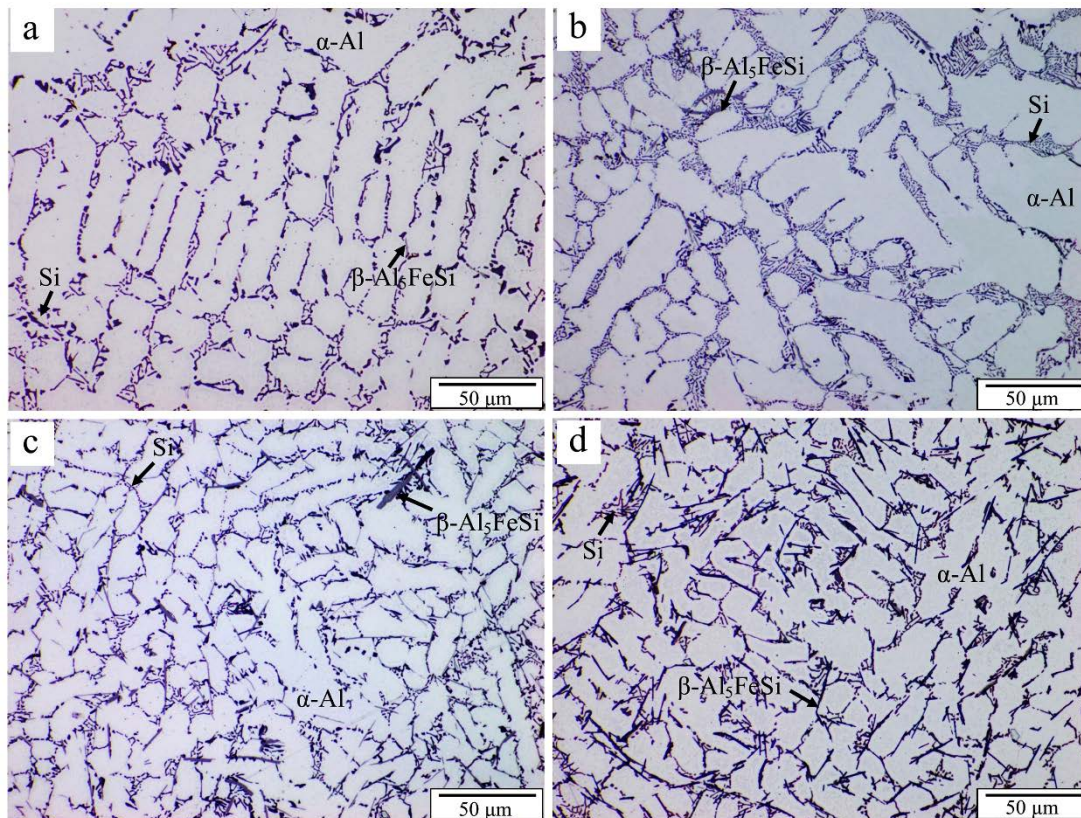
3.3. โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก แข็งตัวรวดเร็วในแม่แบบเหล็กกล้า

โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม A356 และโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ปริมาณธาตุเหล็ก 0.5, 1.0 และ 1.5% แสดงในรูปที่ 3 โลหะผสม A356 ที่ปริมาณธาตุเหล็กต่ำ และโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-0.5%เหล็ก พบว่าเกิดการก่อตัวของเฟส β ปริมาณเล็กน้อย มีลักษณะเป็นเส้นสั้นๆ แสดงในรูปที่ 3 (a-b) เมื่อปริมาณธาตุเหล็กเพิ่มขึ้นเท่ากับ 1.0 และ

1.5% ส่งผลต่อปริมาณเฟส β และความยาวเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ปริมาณ 1.5% ดังแสดงในรูปที่ 3 (c-d) ผลกระทบจากอัตราการแข็งตัวที่รวดเร็ว ส่งผลต่อปริมาณเฟส β ที่ลดลงอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการแข็งตัวที่ต่ำ 0.2 องศาเซลเซียส/วินาที แสดงในรูปที่ 2 (a-b) นอกจากนี้ยังพบว่าอัตราการแข็งตัวที่สูงนั้น ส่งผลต่อลักษณะที่กลมมนของเฟสซิลิกอนและลดระยะห่างของแขนที่สองต้นเดนไดรต์ ซึ่งเห็นได้ชัดเจน ดังรูปที่ 3 (a-d)



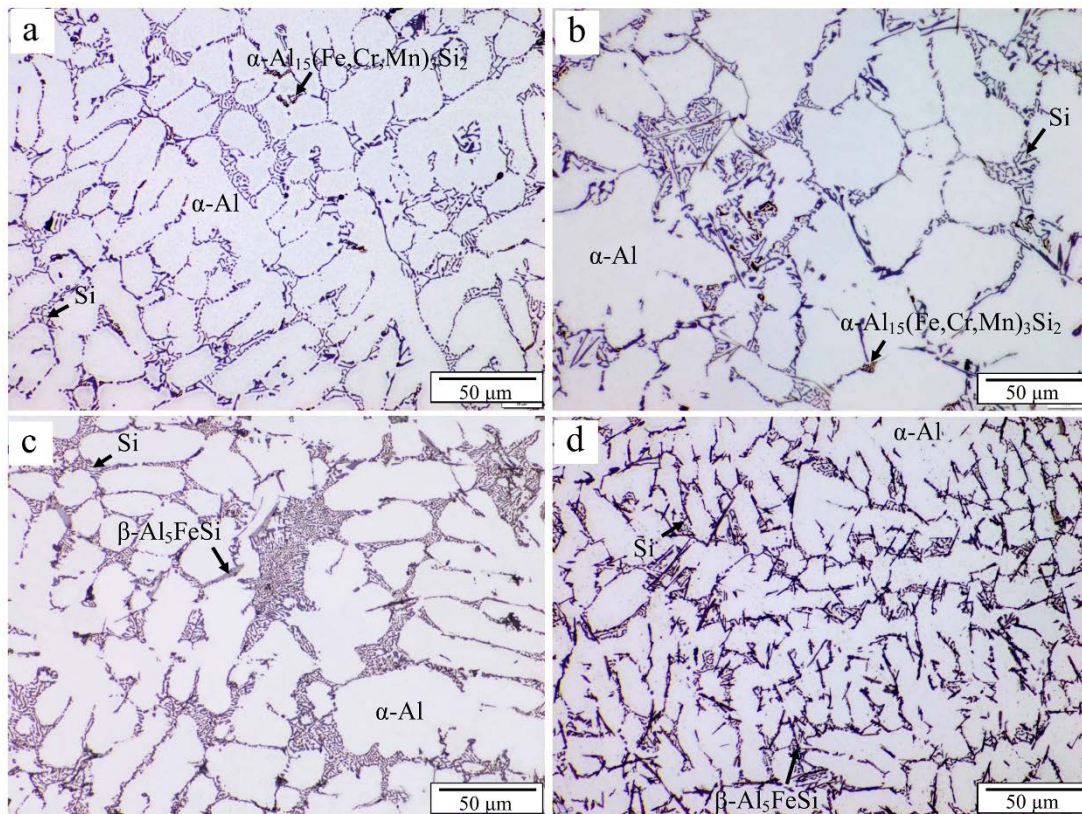
รูปที่ 2 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิกอน-1.5% เหล็ก (a และ c) ไม่เติมโลหะแมง (b และ d) เติมโลหะแมง 5Cr3Mn1Sr, อัตราการแข็งตัว 0.2 องศาเซลเซียส/วินาที



รูปที่ 3 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน (a) A356 (b-d) เหล็ก 0.5, 1.0 และ 1.5% ตามลำดับ, อัตราการแข็งตัวเร็วในแม่แบบเหล็กกล้า

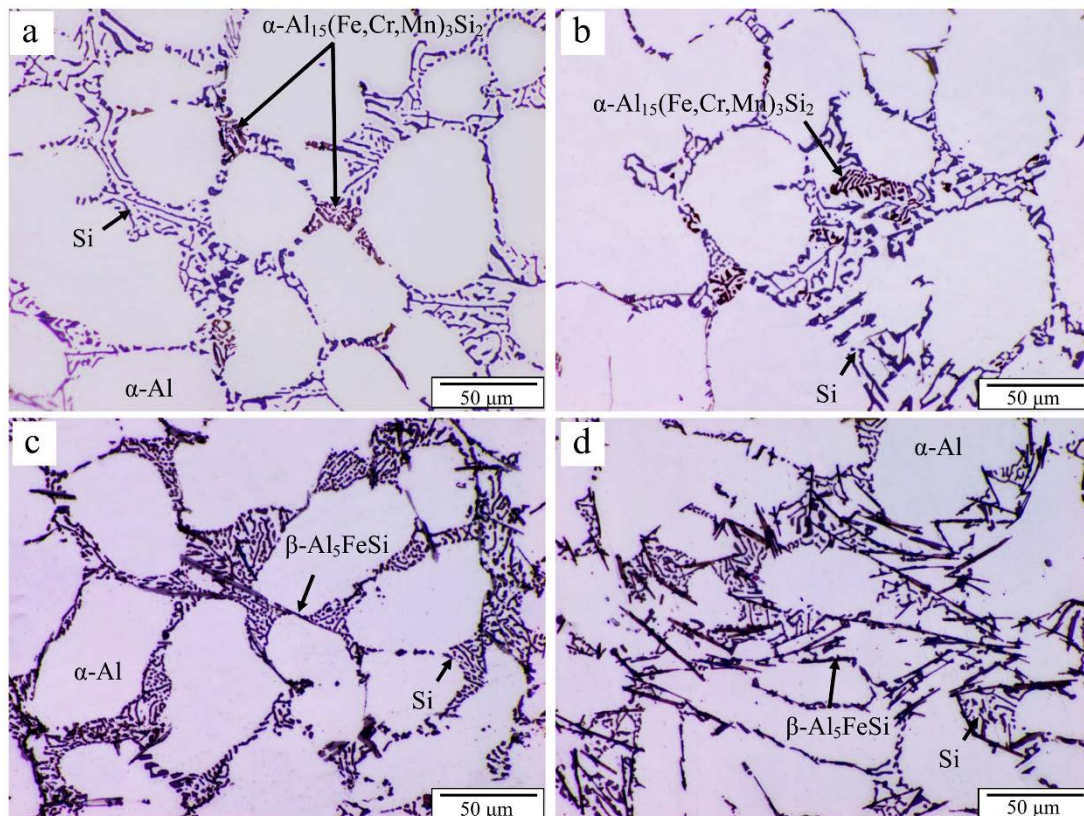
3.4 โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก หลังผ่านการปรับปรุงสภาพเฟสโดยการเติมโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr ปริมาณการเติม 4% แข็งตัวในแม่แบบเหล็ก

โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม A356 และโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ปริมาณธาตุเหล็ก 0.5, 1.0 และ 1.5% ผ่านการปรับปรุงสภาพโดยการเติมโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม A356 และโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-0.5%เหล็ก เกิดการก่อตัวของเฟสตัวอักษรจีนในโครงสร้างจุลภาค บริเวณเฟสยูเทคติกซิลิคอน และไม่ปรากฏเฟส β แสดงในรูปที่ 4 (a-b) เมื่อปริมาณธาตุเหล็กเท่ากับ 1.0 และ 1.5% พบว่าปริมาณเฟส β ลดลง แต่ไม่สามารถปรับปรุงสภาพให้หายไปจากโครงสร้างจุลภาคชิ้นงานทดสอบได้ ดังแสดงในรูปที่ 3 (c-d) นอกจากนี้ยังพบว่าผลกระทบของอัตราการแข็งตัวและการเติมโลหะแม่ ที่มีส่วนผสมของสตรอนเชียมในรูปแบบ 1%Sr ในโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr ส่งผลต่อลักษณะเฟสยูเทคติกซิลิคอนกลมนทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 4 (a-d)



รูปที่ 4 โครงสร้างจุลภาคโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน (a) A356 (b-d) เหล็ก 0.5, 1.0 และ 1.5% ตามลำดับ, อัตราการแข็งตัวรวดเร็วและเติมโลหะแม็ก 5Cr3Mn1Sr

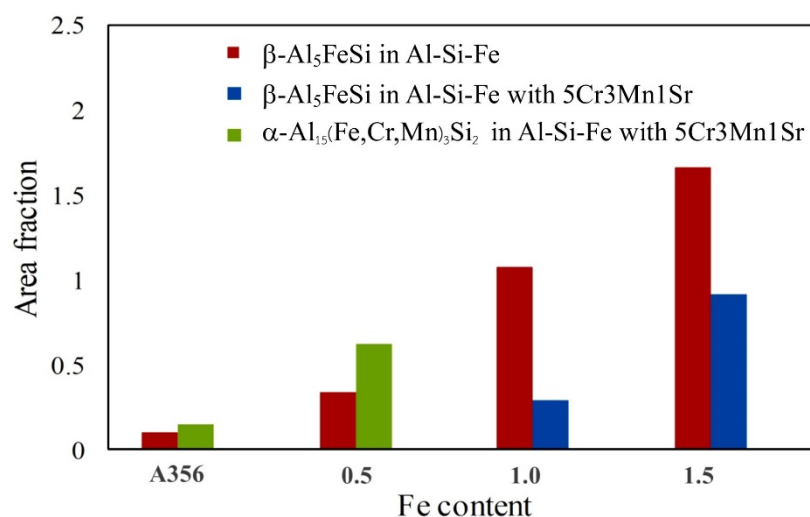
จากอัตราการแข็งตัวที่สูงนั้นส่งผลต่อขนาดและรูปร่างของเฟสที่มีขนาดเล็ก เพื่อที่จะให้เห็นภาพโครงสร้างจุลภาคได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้ตรวจสอบที่กล้องขยายสูง 1000 เท่า แสดงในรูปที่ 5 พบว่าโครงสร้างจุลภาคโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ปริมาณเหล็กน้อยเท่ากับ 0.01 และ 0.5 % ปริมาณการเติมโลหะแม็ก 4% ประกอบด้วยเฟส α ลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน (สีแดง) และเฟสซิลิคอนมีลักษณะกลมมน ดังแสดงในรูปที่ 5 (a-b) การไม่ปรากฏตัวของเฟส β ในโครงสร้างจุลภาคสามารถยืนยันได้ว่าการเติมโลหะแม็กในปริมาณ 4% นั้น เพียงพอสำหรับการปรับสภาพเฟส β กลายเป็นเฟส α ได้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณธาตุเหล็กเพิ่มมากขึ้น การเติมโลหะแม็กในปริมาณเท่ากัน สามารถลดปริมาณเฟส β ให้ลดลงได้ แต่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเฟส β ได้ทั้งหมดในโครงสร้างจุลภาค ดังแสดงในรูปที่ 5 (c-d)



รูปที่ 5 โครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยายสูงของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน (a) A356 (b-d) เหล็ก 0.5, 1.0 และ 1.5% ตามลำดับ, อัตราการแข็งตัวเร็วและเติมโลหะแมง 5Cr3Mn1Sr

3.5 ปริมาณเฟสต่อหน่วยพื้นที่ (Area fraction)

รูปที่ 6 แสดงปริมาณเฟสต่อหน่วยหนึ่งพื้นที่ของโลหะผสม A356 และโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-เหล็ก ที่ผ่านการปรับปรุงสภาพเฟส



รูปที่ 6 ปริมาณเฟส β และ α ต่อหน่วยพื้นที่ของโลหะผสมที่มีปริมาณเหล็กแตกต่างกันและอัตราการแข็งตัวรวดเร็ว

โลหะผสม A356 ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้มีธาตุเหล็กต่ำ มีปริมาณเฟส β เท่ากับ 0.16% เมื่อปริมาณธาตุเหล็กเพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 0.5, 1.0 และ 1.5% ส่งผลต่อปริมาณเฟส β ต่อหน่วยหนึ่งพื้นที่เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 0.34, 1.08 และ 1.66

ตามลำดับ หลังจากปรับสภาพโดยใช้โลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr ลงไปในโลหะผสม A356 และโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ปริมาณธาตุเหล็ก 0.5, 1.0 และ 1.5% พบว่าปริมาณเฟส β หายไปจากโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม A356 และโลหะอะลูมิเนียม-ซิลิคอน ที่มีปริมาณธาตุเหล็ก 0.5% และสามารถลดปริมาณเฟส β ได้เท่ากับ 75.80 และ 55.36% ที่ปริมาณธาตุเหล็ก 1.0 และ 1.5% ตามลำดับ

4. อภิปรายผล

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นศึกษาผลกระทบของอัตราการแข็งตัวและผลกระทบจากธาตุผสมที่ส่งผลต่อเฟส β และเฟสซิลิคอน โดยการเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมที่มีอัตราแข็งตัวแตกต่างกัน สำหรับอัตราการแข็งตัวที่ช้าของโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-1.5% เหล็ก เฟส β มีลักษณะเป็นแผ่นยาว และมีขนาดใหญ่ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแข็งตัวที่นาน ธาตุอะลูมิเนียม เหล็ก และซิลิคอน มีเวลานานในการแพร่มาจับตัวกัน เมื่อพิจารณาโครงสร้างผลึกของเฟส β มีโครงสร้างผลึกแบบ Monoclinic ส่งผลให้เกิดการก่อตัวและเติบโตทิศทางเดียว [2] โดยปกติเฟสซิลิคอนมีทิศทางการเติบโตในทิศทาง $\langle 111 \rangle$ และเกิดการ Twinning ในระนาบ (112) ซึ่งส่งผลต่อลักษณะและรูปร่างของเฟสซิลิคอน ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน [2]

จากอัตราการแข็งตัวที่ต่ำเช่นเดียวกัน แต่มีการปรับสภาพเฟสโดยการเติมโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr ลงไปในน้ำโลหะหล่อ หลอมเหลวธาตุโครเมียมและแมงกานีสทำหน้าที่ส่งเสริม (Promote) การก่อตัวของเฟส α แทนที่เฟส β [2, 11] สำหรับการเติมโลหะแม่ในการปรับสภาพเฟส β นั้น จำเป็นต้องพิจารณาสัดส่วนการเติมของโลหะแม่ให้เหมาะสม [12] เพื่อที่จะให้ได้โครงสร้างของชิ้นงานหล่อที่สมบูรณ์ และเป็นการลดปริมาณรูพรุนที่เกิดขึ้นจากการก่อตัวของเฟส β

การแข็งตัวที่สูงสามารถปรับสภาพเฟส β ให้มีความยาวที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 3) เฟส β มีเวลาน้อยลงสำหรับการเติบโตของสารประกอบเชิงโลหะ ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อขนาดที่เล็กและสั้นลงของเฟส β [11] ส่วนเฟสยูเทคติกที่มีรูปร่างขนาดเล็ก จากอัตราการแข็งตัวที่สูง ส่งผลให้อุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงที่ปฏิกิริยายูเทคติกลดต่ำลง เฟสซิลิคอนถูกปรับสภาพเฟสให้กลมมนได้ [5] ผลกระทบจากสองปัจจัยหลักในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยอัตราการแข็งตัวและปริมาณธาตุผสม ธาตุโครเมียม แมงกานีส และสตรอนเชียม ที่เติมลงไปในรูปแบบของโลหะแม่ พบว่าสามารถปรับสภาพเฟส β และเฟสซิลิคอนได้อย่างดีเยี่ยมในโลหะผสม 356 และโลหะผสมอะลูมิเนียม-ซิลิคอน-0.5% เหล็ก แสดงดังรูปที่ 5 (a-b) เฟส β ปรับสภาพกลายเป็นเฟส α ที่มีลักษณะคล้ายตัวอักษรจีน บริเวณแกนของต้นเดนไดรต์ อย่างไรก็ตามเมื่อปริมาณเหล็กในโลหะผสมเพิ่มมากขึ้น 1.0 และ 1.5% การเติมโลหะแม่ 4% นั้น ธาตุโครเมียมและแมงกานีสไม่สามารถปรับสภาพเฟส β ให้หายไปจากโครงสร้างจุลภาคได้ แต่สามารถลดปริมาณให้ลดน้อยลงได้เท่านั้นและไม่เกิดการก่อตัวของเฟส α

5. สรุปผลการทดลอง

5.1 อัตราการแข็งตัวช้าส่งผลต่อลักษณะรูปร่างของเฟส β ที่ยาวมีขนาดใหญ่ และเฟสซิลิคอน ที่มีรูปร่างไม่แน่นอน ในขณะที่การปรับสภาพโดยการเติมโลหะแม่ 4% สามารถปรับสภาพเฟส β ให้กลายเป็น α ได้ และเฟสซิลิคอนถูกปรับสภาพมีลักษณะเล็กและกลมมน

5.2 อัตราการแข็งตัวที่สูงส่งผลต่อปริมาณและขนาดเฟส β ที่ลดลงและเฟสซิลิคอน ที่มีขนาดเล็กกระจายตัวสม่ำเสมอ

5.3 อัตราการแข็งตัวที่สูงและการเติมโลหะแม่ 5Cr3Mn1Sr สามารถปรับสภาพเฟส β ให้หายไปจากโครงสร้างจุลภาคได้ในโลหะผสมที่มีปริมาณธาตุเหล็กต่ำกว่า 0.5%

5.4 อัตราการแข็งตัวและธาตุปริมาณเหล็กส่งผลต่อปริมาณและขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นในชิ้นงานทดสอบ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และนักศึกษา สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่มีส่วนช่วยเหลือให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] John L. Jorstad, Donna L. Zalensas and Wayne M. Rasmussen, American Foundrymen's Society, 1993.
- [2] Lennart Bäckerud, Guocai Chai and Jarmo Tamminen, Solidification Characteristics of Aluminum Alloys: Foundry alloys Volume 2 of Solidification Characteristics of Aluminum Alloys, Skanaluminium, 1990.
- [3] Mahta. M, Emamy, M, Cao. X and Campbell. J, "Overview of β -Al₅FeSi phase in Al-Si alloys," Materials Science Research Trends, 2008, pp. 251-271.
- [4] M.H. Abdelaziz, A.M. Samuel, H.W. Doty and F.H. Samuel, "Effect of extended thermal exposure and alloying elements on the morphology of eutectic Si in Al-Si Cast Alloys," Inter Metal cast, 2020, pp. 1013-1024.
- [5] Rui CHEN, Yu-feng SHI, Qing-yan XU and Bai-cheng LIU, "Effect of cooling rate on solidification parameters and microstructure of Al-7Si-0.3Mg -0.15Fe alloy," Trans. Nonferrous Met. Soc. China, vol. 24, 2014, pp.1645-1652.
- [6] Qing Cai , Ewan Lordan, Shihao Wang, Guangyu Liu, Chamini L. Mendis , Isaac T.H. Chang and Shouxun Ji, "Die-cast multicomponent near-eutectic and hypoeutectic Al-Si-Ni-Fe-Mn alloys: Microstructures and mechanical properties," Materials Science & Engineering A, vol. 872, 2023, pp. 144977.
- [7] Ossama Elsebaie, Agnes M. Samuel, F.H. Samuel and H.W. Doty, "Impact toughness of Al-Si-Cu-Mg-Fe cast alloys: Effects of minor additives and aging conditions," Materials and Design, vol. 60, 2014, pp. 496-509.
- [8] M. AMNE ELAHI and S. G. SHABESTARI, "Effect of various melt and heat treatment conditions on impact toughness of A356 aluminum alloy," Trans. Nonferrous Met. Soc. China, vol. 26, 2016, pp. 956-965.
- [9] Krittee eidhed and Phisith muangnoy, "Effect of cooling rates of production process of Al-3%B-3%Sr master alloy on grain refinement and eutectic modification efficiency in cast A356 alloy," MATEC Web of Conferences, 192, 2018, pp. 01036.
- [10] D. Gagnon, A. M. Samuel, F. H. Samuel, M. H. Abdelaziz, and H. W. Doty, "Melt Treatment-Porosity Formation Relationship in Al-Si Cast Alloys, Casting Processes and Modelling of Metallic Materials. 2021.
- [11] Witthaya Eidhed, "Modification of β -Al₅FeSi Compound in Recycled Al-Si-Fe Cast Alloy by Using Sr, Mg and Cr Additions," J Mater Sci Technol, vol. 24, 2008, pp. 45-47.

- [12] P. Muangnoy, “The Development of Al-10%Mn-1%Sr Master Alloy to Modify β -phase and Eutectic Silicon in Cast Al-7% Si-1% Fe Alloys,” Industrial Engineering (IE) Network Conference, 2011, pp. 1255-1263.

การศึกษาสมบัติทางกายภาพของเงิน 18 % ผสมทองแดงและอินเดียม

Study of Physical Properties of 18 % Silver Mixed with Copper and Indium

ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง¹ รัตติกรณ์ เสาร์แดน¹ สมพร ปิยะพันธ์¹ สุรัตน์ วรรณศรี² และ สมบัติ น้อยมิ่ง^{2*}¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Teerayut Kanchanasangtong¹ Rattikorn Saodaen¹ Somporn Peyapan¹ Surat Wannasri²and Sombut Noyming^{2*}¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Krungthep

2 Nang Linchi Road Thung Maha Mek, Sathorn, Bangkok 10120

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Industry and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Nai Mueang, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000

*Corresponding author Email: sombut.no@rmuti.ac.th

(Received: January 18, 2024 / Revised: June 19, 2024 / Accepted: June 21, 2024)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติของโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่มีธาตุทองแดง (Cu) และอินเดียม (In) เป็นธาตุเจือ ซึ่งปริมาณส่วนผสม 80-82% และ 0-2.0% ตามลำดับ โดยทำการเปรียบเทียบโลหะเงินเจือ 18.03Ag อัลลอยด์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ จากการดำเนินการวิเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของชิ้นทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้ การผสมโลหะเงิน 18 wt.% ที่มีปริมาณการผสมของทองแดงที่ลดลง และอินเดียมที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสม 18.03Ag 79.75Cu 2.02In ซึ่งมีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงและอินเดียม เท่ากับ 97.54% และ 2.46% ตามลำดับ มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดเท่ากับ $8.50 \pm 0.02 \text{ g/dm}^3$ การตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากทองแดงและอินเดียมสามารถหลอมละลายผสมรวมเข้ากับโลหะเงิน เป็นโลหะเงินเจือ 18 wt.% ในรูปของสารละลายของแข็งเนื้อเดียว (Single phase solid solution) โดยธาตุเจือชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ไม่มีการแยกเฟส ชิ้นทดสอบทุกชิ้นมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็นเดนไดรต์ ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน อันเป็นผลจากการที่น้ำโลหะเกิดการเย็นตัวในสถานะที่เร็วกว่าสมดุล การวัดค่าระดับสีของชิ้นทดสอบตามค่าปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ตามมาตรฐาน CIELAB เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีผลทำให้ ค่า L^* (ค่าความสว่าง) มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อปริมาณเข้มข้นของทองแดงลดลง ในส่วนของค่า a^* (โทนสีแดง) มีแนวโน้มมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าระดับสีแดงลดลง แต่มีความเป็นสีเขียวเพิ่มมากขึ้น และในส่วนของค่า b^* (โทนสีเหลือง) ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบมีความเป็นสีเหลืองลดลง แต่มีความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสม 18.03Ag 79.75Cu 2.02In มีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 97.54% ของอินเดียมเท่ากับ 2.46% มีค่าระดับสีใกล้เคียงกับชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18.03 Ag อัลลอยด์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศมากที่สุด โดยมีค่า E ต่ำสุดเท่ากับ 4.48

คำสำคัญ: โลหะเงินเจือ, ทองแดง, อินเดียม

Abstract

This project aimed to study the properties of 18 wt. % sterling silver metal containing 80-82% copper (Cu) and 0-2.0% indium (In) elements, respectively, comparing with 18.03 Ag silver alloys imported from overseas. Based on the physical properties of the test pieces, it can be concluded as follows: The mixing volume of copper decreased and the indium increased mixed with silver metal, making the sterling silver metal 18 wt. % dilute, resulted in a continuous decrease in the density of the test pieces. The one with a mixing rate of 18.03Ag 79.75Cu 2.02In composing of concentration of 97.54% copper and 2.46% indium had minimum density of 8.50 ± 0.02 g/dm³. The microstructure of the test specimens did not change, since copper and indium could be melted into silver metals, becoming a silver metal of 18 wt. % in the form of a single phase solid solution. Every test piece had a dendrite microstructure with a core structure formed within the grain, caused by the metal water cooling in faster-than-balance conditions. For the color measurement of the test specimens according to the color space of the L*a*b system according to CIELAB standard, the color value changed, resulting in a change in the L* (brightness value). The trend continued to decline as copper concentrations decreased. In the a* (red) value, the trend had continued to decline. The red value softened, but the green color increased, and the b* (yellow) value showed a decrease in yellow, while an increase in blueness, which resulted in a mixing rate of 18.03Ag 79.75Cu 2.02In with concentration of 97.54% copper and 2.46% indium with a color level most closest to the test piece 18.03Ag. The most imported alloy, with the lowest E value of 4.48.

Keywords: Metal Sterling Silver, Copper, Indium

1. บทนำ

ในกลุ่มอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นกลุ่มอุตสาหกรรมที่นำโลหะมีค่ามาผลิตเครื่องประดับ อาทิ เช่น เงินสเตอร์ลิง ทองแดง เป็นต้น มาใช้ในการผลิตเครื่องประดับ และผลิตเพื่อการส่งออก และสามารถทำให้เกิดรายได้เข้าประเทศ สำหรับอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของประเทศไทย ได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งวัตถุดิบที่อุดมสมบูรณ์ ทำให้อุตสาหกรรมเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยมากขึ้น มูลค่าการส่งออกในแต่ละปีมีมูลค่าประมาณสามแสนล้านบาท [1] ที่ก่อให้เกิดการจ้างงานในตำแหน่งต่าง ๆ มากมาย เนื่องจากการผลิตในอุตสาหกรรมนี้ต้องใช้ความประณีตที่มีความละเอียดอ่อน ซึ่งเครื่องจักรไม่สามารถทดแทนได้ และเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดมูลค่าเพิ่มสูง การประกอบการของอุตสาหกรรมสาขานี้ มีทั้งผู้ประกอบการ ที่ดำเนินการผลิตขนาดใหญ่ ขนาดกลางและขนาดเล็ก รวมถึงผู้ประกอบการระดับครัวเรือน กระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ กระบวนการผลิตต่าง ๆ นั้นยังคงต้องอาศัยเทคนิคทางด้านความชำนาญของผู้ปฏิบัติงาน ทำให้โรงงานเครื่องประดับส่วนใหญ่ขาดประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต จึงก่อให้เกิดความเสียหายจำนวนมากที่ไม่สามารถควบคุมได้ และเป็นสาเหตุสำคัญที่ลดทอนความสามารถของการแข่งขันทางธุรกิจเนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตที่สูง

ในส่วนกระบวนการหล่อผลิตเครื่องประดับ ซึ่งนับได้ว่าเป็นกระบวนการที่สำคัญส่วนหนึ่งในการผลิตเครื่องประดับ เนื่องจากเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะเพื่อทำให้เป็นชิ้นงานเครื่องประดับ และเป็นกระบวนการที่เพิ่มมูลค่าให้แก่วัตถุดิบเป็นอย่างมาก แต่มีข้อเสียคือเป็นกระบวนการที่มีเสียค่าใช้จ่ายสูงในขั้นตอนดำเนินการ และเป็นกระบวนการที่ส่งผลให้เกิดของเสียในกระบวนการผลิตอย่างเห็นได้ชัด [2] จากปัญหาการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับดังที่ได้กล่าวข้างต้น งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพัฒนาเพิ่มมูลค่าของโลหะเงินสเตอร์ลิงผสม และอินเดียมเพื่อเพิ่มสมบัติกันหมอง สำหรับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ โดย

ทำการศึกษาวิเคราะห์อิทธิพลของธาตุเจือทองแดง และเงิน ที่มีผลต่อ โครงสร้างจุลภาค ความแตกต่างของค่าระดับสี พฤติกรรมความต้านทานการหมอง พฤติกรรมการอบชุบด้วยกระบวนการทางความร้อน และการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการหล่อขึ้นรูปโลหะเงินสเตอร์ลิงผสมทองแดง และอินเดียมเพื่อเพิ่มสมบัติกันหมอง จากสถาบันการศึกษามีหน้าที่ในการเข้าไปศึกษาวิจัยเพื่อแก้ปัญหาอุปสรรคที่มีอยู่ในการทำวิจัยนี้จึงเป็นการประยุกต์เอาโลหะวิทยามาใช้ในการศึกษา สามารถนำเอาผลการวิจัยไปเผยแพร่ และอ้างอิงได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาดังแต่กระบวนการหล่อโดยเครื่องหล่อแบบดูดสุญญากาศโดยใช้โลหะเงินสเตอร์ลิงทองแดง และอินเดียม เพื่อเปรียบเทียบโครงสร้างจุลภาค ความแตกต่างของค่าระดับสี เพื่อให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการยืดอายุการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพของการผลิตเครื่องประดับ [2]

2 วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

2.1. ในการจัดเตรียมวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ผู้วิจัยได้แยกหัวข้อในการเตรียมวัสดุไว้ดังต่อไปนี้

2.1.1 วัสดุเตรียมแบบหล่อ ได้แก่ เทียนซีผึ้งสำหรับทำกระสวนปูนปาสเตอร์ทำแบบหล่อ

2.1.2 วัสดุสำหรับการหล่อหลอมโลหะและหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ คือ เบ้าแกรไฟต์สำหรับหลอมผสมโลหะ และหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ ผนวนกันความร้อนชนิดต่าง ๆ

2.1.3 วัสดุสำหรับการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค เช่น กระดาษทรายเบอร์ต่าง ๆ ผ้าขัดสักหลาด สำหรับการศึกษาคูโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์

2.2 การเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์

การจัดเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ผู้วิจัยได้แยกหัวข้อการเตรียมเครื่องมืออุปกรณ์ไว้ดังต่อไปนี้

2.2.1 เครื่องมืออุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับการหลอมผสมโลหะและการหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบในการทดลอง ศึกษาวิจัยนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องหลอมผสมเทเมตโลหะ เครื่องหล่อดูดสุญญากาศ และเครื่องมืออุปกรณ์การหล่อ

2.2.2 เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ทดสอบสมบัติทางกายภาพประกอบไปด้วย วัดค่าสีโดยใช้เครื่องทดสอบ Photo Spectrometer ความหนาแน่น การหาปริมาตรของขึ้นทดสอบ ใช้ขึ้นทดสอบแทนที่น้ำ มวลของขึ้นทดสอบใช้ตาชั่งเทคนิคสามตำแหน่ง วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง

2.2.3 เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีในการศึกษาผลงานวิจัยนี้ โดยใช้เครื่องมืออุปกรณ์ คือ เครื่อง X - Ray Fluorescence Spectrometer วิเคราะห์ตรวจสอบส่วนผสมของขึ้นทดสอบ

2.3 การหลอมผสมโลหะและหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ การเตรียมวัตถุดิบ

2.3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ในการทดสอบประกอบด้วย เงินบริสุทธิ์ (Ag) ทองแดงบริสุทธิ์ (Cu) และอินเดียมบริสุทธิ์ (In) แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับวัตถุดิบมีดังนี้



ก. เงินบริสุทธิ์ 99.99%



ข. ทองแดงบริสุทธิ์ 99.99%

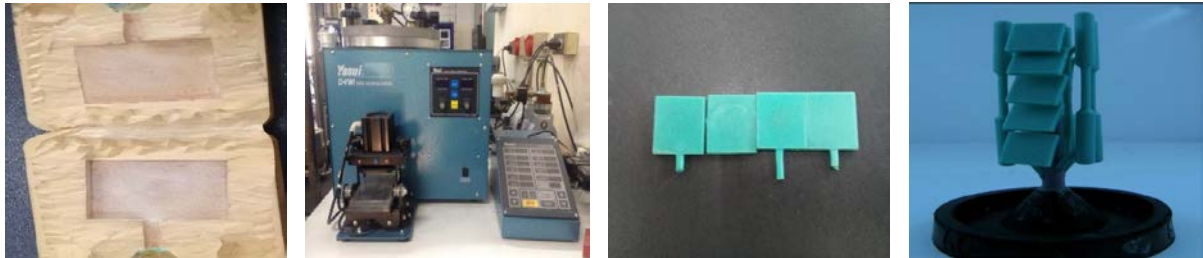


ค. อินเดียมบริสุทธิ์ 99.99%

รูปที่ 1 วัตถุดิบที่ใช้สำหรับการหล่อขึ้นรูปทดสอบ

2.3.2 ขั้นตอนการเตรียมกระสวนขึ้นฝั่ง

ในขั้นตอนการหลอมโลหะเงินผสม ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็นแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้ การฉีดขึ้นรูปกระสวนขึ้นฝั่งในแบบฉีดกระสวนยางด้วยเครื่องฉีดขึ้นฝั่งยี่ห้อ Yasui รุ่น D-VWI เพื่อทำต้นแบบในการขึ้นรูปชิ้นส่วนทดสอบ โดยห้องปฏิบัติการวัสดุและการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม



ก. แบบฉีดกระสวน ข. เครื่องฉีดเทียมน Yasui รุ่น D-VWI ค. แบบกระสวน ง. การติดกระสวนบนต้นเทียน

รูปที่ 2 ขั้นตอนผลิตขึ้นรูปชิ้นทดลอง

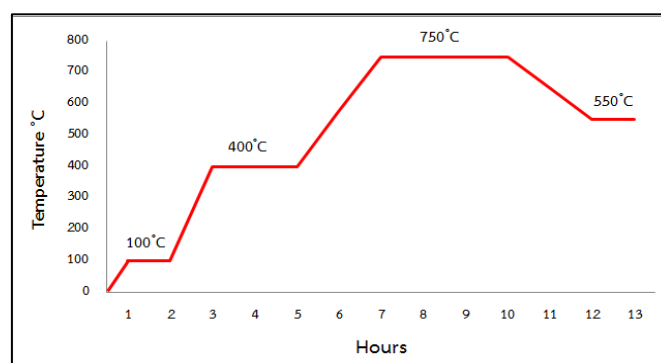
2.3.3 การเตรียมแบบหล่อ

ผู้วิจัยได้นำกระสวนแบบหล่อที่ได้จากการฉีดขึ้นรูปมาทำการติดเป็นต้นเทียน แล้วเตรียมกระบอกปูนพลาสติกด้วยแบบหล่อดังรูปที่ 3 (ก) จากนั้นทำการเตรียมกระบอกปูนพลาสติก โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนพลาสติก : น้ำ เท่ากับ ปูนพลาสติก 1 กิโลกรัม : น้ำ 380 มิลลิตร ดังรูปที่ 3 (ข) โดยการนำกระบอกสแตนเลสแบบหล่อปูนพลาสติกเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 750 °C ดังรูปที่ 3 (ค) แล้วลดอุณหภูมิกระบอกปูนลงมาที่อุณหภูมิ 550 °C ตามรายละเอียดขั้นตอนการเพิ่มอุณหภูมิอบกระบอกปูนที่แสดงในรูปที่ 4 (Investment Powder)



ก. เตรียมกระบอกหล่อ ข. ดูดอากาศออกจากแบบหล่อ ค. การอบกระบอกปูนแบบหล่อ

รูปที่ 3 ขั้นตอนในการเตรียมแบบหล่อ



รูปที่ 4 ลำดับขั้นตอนการให้ความร้อนในการอบกระบอกปูนแบบหล่อ

2.3.4 การหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบ

การดำเนินการทดลองหล่อโลหะเงินเจือ 18 wt.% ขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบ มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ โดยขั้นตอนแรกทำให้ขี้ผึ้งหรือ wax เป็นของเหลวเพื่อที่จะทำการฉีดเข้าไปในแม่พิมพ์ยางและทำการติดต้นเทียน จากนั้นทำแบบหล่อปูนพลาสติก นำกระบอกปูนครอบชิ้นงานที่ติดต้นเทียนแล้วพันด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการไหลของปูนออกจากเบ้า จากนั้นผสมปูนด้วยการชั่งน้ำหนักปูนและปริมาณน้ำ (อัตราส่วน 100:38) การผสมปูนจะต้องเทน้ำบางส่วนก่อนแล้วตามด้วยปูนและตามด้วยน้ำที่เหลือ หลังจากนั้นก็ใช้เครื่องตีปูนผสมให้เข้ากัน นำไปตักอากาศออกจากปูนประมาณ 1 นาที ทำการเทปูนลงเบ้า นำไปตักอากาศออกจากปูนอีกครั้ง ประมาณ 1 นาที รอเบ้าปูนแห้ง จึงจะแกะพลาสติกและฐานยางออก จากนั้นนำเข้าเตาอบปูนหรือเผาแบบหล่อปูนพลาสติก หลังจากเบ้าปูนแห้งนำไปเข้าเตาอบโดยตั้งอุณหภูมิดังต่อไปนี้ อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 750 °C เวลาที่ใช้ในการอบประมาณ 13 ชั่วโมง โดยปรับระดับอุณหภูมิให้ ชั่วโมงแรกอุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลานาน 2 ชั่วโมงเพื่อไล่ความชื้นออกจากเบ้า หลังจากนั้นเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 400 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วเย็นอุณหภูมิไป 3 ชั่วโมง เพื่อละลายเทียนออกจากเบ้าและเทียนก็จะละลายออกจนหมดและเพื่อให้ปูนขยายตัวทำให้โครงสร้างเป็นเนื้อเดียวกันเพิ่มอุณหภูมิขึ้นเป็น 750 °C เพื่อเผาไหม้เทียนเป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วคงที่อุณหภูมิไว้ 4 ชั่วโมง หลังจากนั้นลดอุณหภูมิลงที่ 550 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมงแล้วคงที่อุณหภูมิไว้ 2 ชั่วโมง เพื่ออบรักษาอุณหภูมิเบ้า และทำการหลอมโลหะ และการเทหล่อขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อดูดสุญญากาศ จากนั้นพักกระบอกปูนโดยการวางไว้นิ่งเป็นเวลา 10 นาที เพื่อให้โลหะเย็นตัวและแข็งตัวอย่างสมบูรณ์ แล้วทำลายแบบหล่อปูนพลาสติกเพื่อนำชิ้นงานหรือขึ้นทดสอบออกจากแบบหล่อปูนพลาสติก โดยการทำความสะอาดชิ้นงานหรือขึ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปด้วยกรดไฮโดรฟลูออริกหรือ กรดกัดแก้วเพื่อกัดปูนพลาสติกที่เกาะติดแน่นกับชิ้นงานออก และตัดแบ่งขึ้นทดสอบออกจากต้นเทียนจะได้ขึ้นทดสอบสำหรับการวิเคราะห์ทดสอบ สมบัติต่าง ๆ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3.1.1 ผลการศึกษาวิเคราะห์ ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมี การศึกษาโลหะเงินผสมที่ 18 wt.% ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดสัดส่วนการผสม (wt.%) สำหรับเป็นโมเดลในการทดลอง ดังแสดงตามตารางที่ 1 หลังจากที่ได้ดำเนินการหลอมผสมโลหะต่าง ๆ ที่เป็นส่วนผสมสำหรับงานวิจัยแล้ว ทำการหล่อขึ้นรูปเป็นขึ้นทดสอบ หลังจากนั้นนำขึ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูปทั้งหมดไปทำการวิเคราะห์ ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่อง X - Ray Fluorescence Spectrometer ยี่ห้อ Fischer รุ่น XDAL จากการวิเคราะห์ ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของขึ้นทดสอบที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป พบว่าธาตุเจือชนิดต่าง ๆ ที่ผสมอยู่ภายในขึ้นทดสอบมีปริมาณใกล้เคียงกับธาตุตั้งต้นแสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งสามารถสันนิษฐานได้ว่าธาตุเจือต่าง ๆ เหล่านี้ไม่มีการสูญเสียเกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการหลอมผสมโลหะ และหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบโดยเฉพาะธาตุอินเดียมที่มีอุณหภูมิหลอมละลายแตกต่างจากเงิน และทองแดงค่อนข้างมาก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้สำหรับทำการหลอมผสมโลหะ และหล่อขึ้นรูปขึ้นทดสอบนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิจุดเดือดค่อนข้างมาก

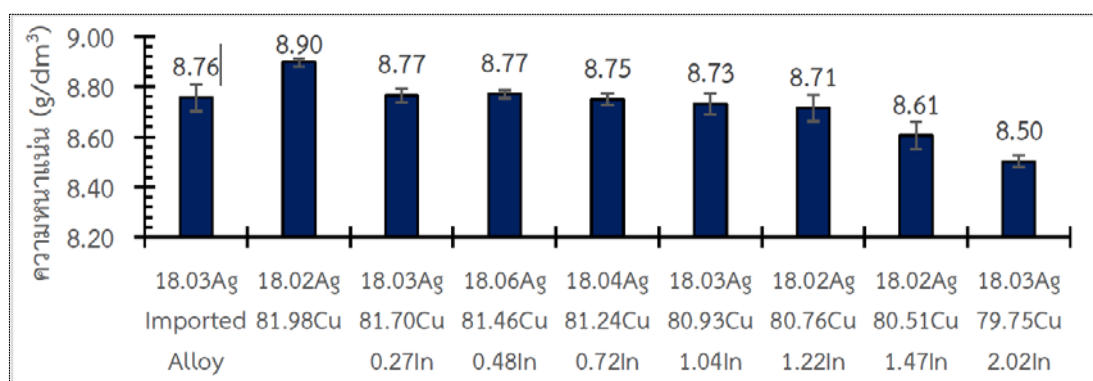
ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์ ตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีของชิ้นทดสอบ

Sample	สัดส่วนการผสม (%)			ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ผล (wt.%)		
	Ag	Cu	In	Ag	Cu	In
18.03 Ag Imported Alloy	18.03	NA	NA			
18.02 Ag 81.98 Cu	18.00	82.00	0.00	18.02	81.98	
18.03 Ag 81.70 Cu 0.27 In	18.00	81.75	0.25	18.03	81.70	0.27
18.06 Ag 81.46 Cu 0.48 In	18.00	81.50	0.50	18.06	81.46	0.48
18.04 Ag 81.24 Cu 0.72 In	18.00	81.25	0.75	18.04	81.24	0.72
18.03 Ag 80.93 Cu 1.04 In	18.00	81.00	1.00	18.03	80.93	1.04
18.02 Ag 80.76 Cu 1.22 In	18.00	80.75	1.25	18.02	80.76	1.22
18.02 Ag 80.51 Cu 1.47 In	18.00	80.50	1.50	18.02	80.51	1.47
18.03 Ag 79.75 Cu 2.02 In	18.00	80.00	2.00	18.03	79.95	2.02

3.2 ผลการศึกษาวិเคราะห์ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพ

3.2.1 ความหนาแน่น

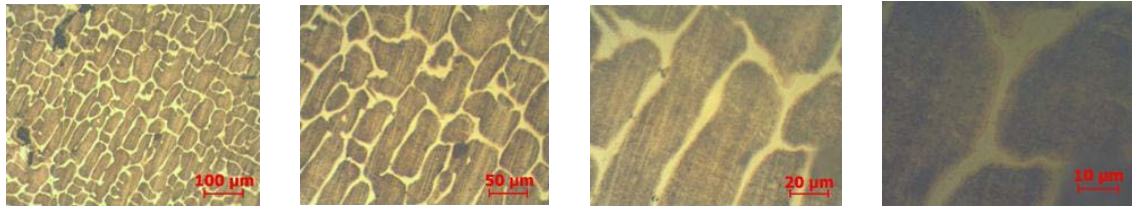
จากการวิเคราะห์ ตรวจสอบค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ผสมทองแดง และผสมทองแดง-อินเดียม พบว่าชิ้นทดสอบ 18.02 Ag 81.98 Cu ที่มีการผสมธาตุทองแดงเพียงอย่างเดียวมีค่าความหนาแน่นสูงสุดเท่ากับ 8.90 g/dm^3 ซึ่งมีค่าสูงกว่าชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ผสมทองแดง-อินเดียมและชิ้นทดสอบ 18.03 Ag ที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 8.76 g/dm^3 ดังผลการวิเคราะห์ ทดสอบที่แสดงในรูปที่ 5 แต่เมื่อมีการเจือธาตุอินเดียมเพิ่มเข้าไปพบว่าปริมาณการผสมอินเดียมที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ค่าความหนาแน่นชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% มีแนวโน้มมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องแปรผกผันกับปริมาณของธาตุอินเดียมที่เพิ่มขึ้นซึ่งยืนยันผลการเปรียบเทียบกับค่าความเข้มข้นของทองแดง (Cu) และอินเดียม (In)



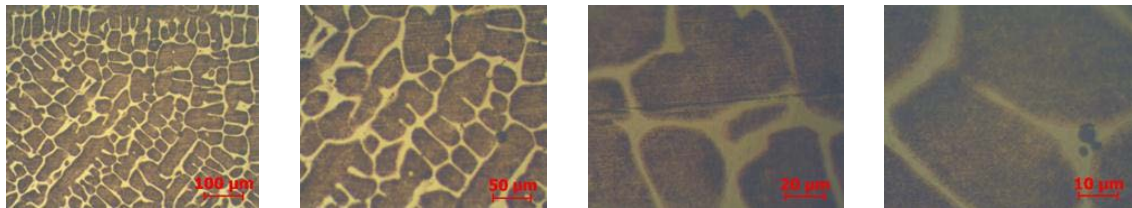
รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ผสมทองแดงและทองแดง-อินเดียม

3.3 ลักษณะโครงสร้างจุลภาค

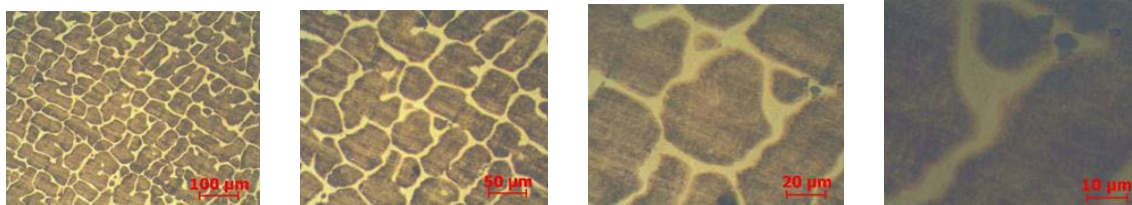
จากการศึกษาวิเคราะห์ ตรวจสอบลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18wt.% ผสมทองแดงและทองแดง-อินเดียมที่ได้จากการหล่อขึ้นรูป พบว่าชิ้นทดสอบทุกชิ้นมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็นเดนไดรต์ ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรนที่เกิดจากการที่น้ำโลหะเกิดการเย็นตัวในสภาวะที่เร็วกว่าสมดุลดังลักษณะที่แสดงในรูปที่ 6 – รูปที่ 7 และรูปที่ 8 นอกจากนี้เม็ดเกรนที่ดียังมีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ส่งผลให้ส่วนผสมภายในไม่สม่ำเสมอซึ่งลักษณะโครงสร้างจุลภาคเทียบกับแผนภาพสมดุลเฟสเงิน-ทองแดงเงิน-อินเดียม และเงิน-ทองแดง-อินเดียม พบว่า อินเดียมสามารถละลายในเงิน และทองแดงได้ดีในลักษณะสารละลายของแข็ง (Solid Solution) ในรูปของเฟส (Ag+Cu)



รูปที่ 6 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18.03 Ag 80.93 Cu 1.04 In



รูปที่ 7 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18.02 Ag 80.76 Cu 1.22 In



รูปที่ 8 ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของชิ้นทดสอบ 18.03 Ag 79.75 Cu 2.02 In

4. สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาวิจัยเพื่อหาอัตราส่วนผสมของชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ผู้วิจัยสรุปผลการวิเคราะห์ทดสอบต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษาวิจัย ดังต่อไปนี้

4.1 ชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่ประกอบด้วยเงิน (Ag) ทองแดง (Cu) อินเดียม (In) พบว่า ค่าความหนาแน่นของชิ้นทดสอบเกิดการเปลี่ยนแปลงมีแนวโน้มมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสม 18.03Ag 79.75 Cu 2.02In หรือมีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 97.54% (หรือปริมาณความเข้มข้นของอินเดียมเท่ากับ 2.46%) มีค่าความหนาแน่นต่ำสุดเท่ากับ $8.50 \pm 0.02 \text{ g/dm}^3$

4.2 ชิ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่ประกอบด้วยเงิน (Ag) ทองแดง (Cu) อินเดียม (In) พบว่า ค่าระดับสีของชิ้นทดสอบตามค่าปริภูมิสีระบบ $L^*a^*b^*$ ตามมาตรฐาน CIELAB เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยมีผลทำให้ ค่า L^* (ค่าความสว่าง) มีแนวโน้มมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนมีค่าสูงสุดเท่ากับ 101.95 ที่ปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 98.51% (หรือปริมาณความเข้มข้นของอินเดียมเท่ากับ 1.49%) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบมีความสว่างเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นปริมาณเข้มข้นของทองแดงที่ลดลงอย่างต่อเนื่องมีผลทำให้ค่า L^* มีแนวโน้มมีค่าลดลงเล็กน้อยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบมีความสว่างลดลง ในส่วนของค่า a^* (โทนสีแดง) มีแนวโน้มมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ค่าระดับสีออกไปทางสีแดงลดลง แต่มีความเป็นสีเขียวเพิ่มมากขึ้น และในส่วนของค่า b^* (โทนสีเหลือง) ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชิ้นทดสอบมีความเป็นสีเหลืองลดลง แต่มีความเป็นสีน้ำเงินเพิ่มมากขึ้น ซึ่งชิ้นทดสอบที่มีอัตราส่วนผสม 18.03Ag 79.75Cu 2.02In หรือมีปริมาณความเข้มข้นของทองแดงเท่ากับ 97.54% (หรือปริมาณความเข้มข้นของอินเดียมเท่ากับ 2.46%) มีค่าระดับสีใกล้เคียงกับชิ้นทดสอบ 18.03Ag Imported Alloy ผสมอัลลอยด์ที่นำเข้าจากต่างประเทศมากที่สุด โดยมีค่าต่ำสุดเท่ากับ

4.48

4.3 ขึ้นทดสอบโลหะเงินเจือ 18 wt.% ที่ประกอบด้วยเงิน (Ag) ทองแดง (Cu) อินเดียม (In) พบว่า ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากทองแดง และอินเดียมสามารถหลอมละลายผสมรวมเข้ากับโลหะเงินเป็นโลหะเงินเจือ 18 wt.% ในรูปของสารละลายของแข็งเนื้อเดียว (Single phase solid solution) โดยโลหะเงินหรือธาตุเจือชนิดต่าง ๆ เหล่านี้ไม่มีการแยกเฟส แต่ลักษณะโครงสร้างจุลภาคของขึ้นทดสอบทุกชิ้นมีลักษณะโครงสร้างจุลภาคเป็นโครงสร้างเดนไดรต์ที่มีลักษณะเป็น Core Structure เกิดเป็น Coring ภายในเกรน ที่เกิดจากการที่น้ำโลหะเกิดการเย็นตัวในสภาวะที่เร็วกว่าสมดุล

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ รวมไปถึงสาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดลองในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมศุลกากร ประมวลผลโดยสถาบันวิจัยและพัฒนาอัญมณีและเครื่องประดับแห่งชาติ (องค์การมหาชน). (2565, พฤษภาคม 24). สถานการณ์ส่งออกอัญมณีและเครื่องประดับไทยเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://www.thaitextile.org/th>
- [2] ชูติมันต์ จันทรเมือง และคณะ. โครงการการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของโลหะผสมเงินบาง ระบบสำหรับเครื่องประดับและอิทธิพลของธาตุเจือบางชนิดต่อความแข็ง และความต้านทานการหมอง, (2555).
- [3] Lawrence Addicks. Silver in Indusulting. Consulting Engineer, p. 38
- [4] เกศราพร วาญญู. การศึกษาอิทธิพลของดีบุกที่มีผลต่อการคืนตัวของโลหะเงินสเตอร์ลิง (93%Ag-.7% Cu). วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ.เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, (2549).
- [5] Phase diagram Ag-Cu. (2015, November. 8). แผนภาพสมดุลเฟสของโลหะเงิน-ทองแดง. //// [Online].Available : <http://lib.znate.ru/docs/index-9861.html>
- [6] Phase diagram Ag-In. (2015, November. 8). แผนภาพสมดุลเฟสของโลหะเงิน-อินเดียม. /// [Online]./Available/: https://www.researchgate.net/figure/Ag-In-phase-diagram-Redrawn-from-the-ASM-Handbook-Online_fig7_225803991
- [7] สุรัตน์ วรรณศรี. การศึกษาวิเคราะห์สมบัติโลหะเงินสเตอร์ลิงจากกรรมวิธีทางความร้อน วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมการผลิตบัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, (2543)
- [8] สุรัตน์ วรรณศรี และคณะ. ความแตกต่างของระดับสีทองคำกะรัต. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย, (2549)
- [9] ธนาธิป สะและหน่าย. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคและสมบัติทางกลของโลหะเงินเจือ 58.4% สำหรับการผลิตเครื่องประดับ วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมการผลิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล มงคลธัญบุรี, (2554)

การเพิ่มผลผลิตในกระบวนการเจียรไนปรับผิวชิ้นส่วนวงแหวนลูกสูบของคอมเพรสเซอร์ใน เครื่องปรับอากาศ โดยการวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมกับเครื่องจักร Increasing Productivity in Process of Surface Grinding Piston Ring Parts of Air Conditioner Compressor by Analyzing to Determine Number of Labors Suitable for Machine

ศรินยา ประทีปชนะชัย^{1*} สหสวรรค์ เลิศกระโทก² และ ภูสิติ ดวงคำ³

^{1,2,3}สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์

422 ถนนมรุพงษ์ ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมืองฉะเชิงเทรา จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

Sarinya Prateepchanachai^{1*} Sahatsawat Loedkathok² and Phusit Duangkam³

^{1,2,3}Department of Industrial Management Engineering, Faculty of Industrial Technology,

Rajabhat Rajanagarindra University

422, Marupong Road, Na-Muang Sub-district, Muang District, Chachoengsao 24000

*Corresponding author Email: sarinya.ptcc@gmail.com

(Received: January 14, 2024 / Revised: June 18, 2024 / Accepted: June 20, 2024)

บทคัดย่อ

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้รับผลิตชิ้นส่วนวงแหวนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ให้กับบริษัทผลิตผู้ผลิตเครื่องปรับอากาศแห่งหนึ่ง ขั้นตอนการผลิตเป็นขั้นตอนการเจียรไนรูด้านในของวงแหวนให้ได้ขนาด 20.6 ± 0.05 มิลลิเมตร และค่าความหยาบของผิว (Surface roughness, Ra) ที่ 0.3 ไมโครเมตร ความต้องการของลูกค้า 500 ชิ้น/วัน กระบวนการผลิตใช้พนักงาน 2 คน ทำงานกับเครื่องกัดอัตโนมัติ 2 เครื่อง มีรอบเวลาการผลิต 105 วินาที/ชิ้น กำลังการผลิต 257 ชิ้น/วัน/เครื่อง จากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ประเภทคน - เครื่องจักร พบว่าในแต่ละรอบการผลิตพนักงานมีเวลาร่างจากการทำงานถึง 61 วินาที/รอบเวลาการผลิต คิดเป็นค่าร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้ร้อยละ 41.90 อัตราผลิตภาพการผลิตก่อนการปรับปรุง 34.27 ชิ้น/ชั่วโมง/คน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงานเพื่อเพิ่มผลผลิตในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนวงแหวนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประกอบด้วยหลักการปรับปรุงความสูญเสียเปล่า 7 ประการ และแผนภูมิกิจกรรมพหุคูณประเภทคน - เครื่องจักร จึงถูกนำมาใช้วิเคราะห์เพื่อพิจารณาระยะงานของพนักงานแต่ละคน จากนั้นใช้สมการการคำนวณจำนวนเครื่องจักรสูงสุดที่พนักงานสามารถควบคุมได้ เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดจำนวนพนักงานที่เกินความจำเป็นลง จากการคำนวณพบว่าจำนวนเครื่องจักรสูงสุดที่พนักงาน 1 คน สามารถควบคุมคือ 2 เครื่อง ผู้วิจัยจึงใช้แผนผังกิจกรรมพหุคูณ ประเภทคน-เครื่องจักร วิเคราะห์กระบวนการทำงานของพนักงาน 1 คน ต่อเครื่องจักร 2 เครื่อง พบว่าเวลาร่างจากการทำงานของพนักงานลดลงจาก 61 วินาที/รอบเวลาการผลิต เหลือ 7 วินาที/รอบเวลาการผลิต ลดลง 54 วินาที/รอบเวลาการผลิต คิดเป็นลดลงร้อยละ 88.52 ค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 41.90 เป็นร้อยละ 186.67 โดยมีค่าร้อยละของจำนวนเวลาที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้จริงคงที่ร้อยละ 82.07 และสามารถเพิ่มอัตราผลิตภาพการผลิตได้จาก 34.27 ชิ้น/ชั่วโมง/คน เป็น 68.54 ชิ้น/ชั่วโมง/คน เพิ่มขึ้น 34.27 ชิ้น/ชั่วโมง/คน คิดเป็นร้อยละ 100

คำสำคัญ: แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ค่าอัตราประโยชน์ แผนภูมิคน-เครื่องจักร อัตราผลิตภาพการผลิต

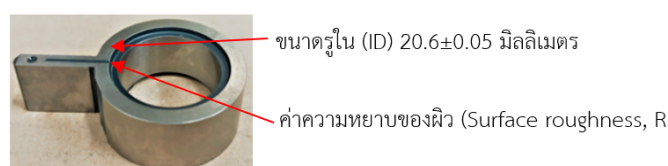
Abstract

The sample company is a contractor of compressor piston ring parts for an air conditioner manufacturing company. The production process is the process of grinding the inner hole of the ring to have a size of 20.6 ± 0.05 mm and a resolution of 0.3 micrometers according to customer requirements, 500 pieces/day. The production process requires 2 workers working with 2 automatic milling machines. Cycle time is 105 seconds/piece, capacity is 257 pieces/day/machine. From the data collection and analysis by multiplicative activity charts for man-machine type, it was found that in each cycle, employees had 61 seconds of idle time per production cycle as 41.90 %, productivity before improvement as 0.0095 pieces/second/person. This research aims to improve the work process of employees to increase productivity in the compressor piston ring manufacturing process. Industrial engineering tools consisted of 7 waste improvement principles, multiple activity charts and man-machine type were therefore used to analyze to consider the workload of each employee. Then use the equation to calculate the maximum number of machines the operator can control. To lead to improvements in working methods to reduce the number of employees that are unnecessary. From the calculations, it is found that the maximum number of machines that is 1 employee can control to 2 machines. It is found that the idle time from work of employees decreased from 61 seconds/cycle time to 7 seconds/ cycle time, decreasing 54 seconds/cycle time. representing a decrease of 88.52 %. The utility value or percentage of the amount of time that employees can work increases from 41.90 % to 186.67 % with the percentage of time that the machine can actually work at 82.07 % and can increase productivity, and it can be increased from 34.27 pieces/hour/person to 68.54 pieces/hour/person, an increase of 34.27 pieces/hour/person, accounted for 100 %

Keywords: multiple activity charts, utility, man-machine chart, productivity

1. บทนำ

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องปรับอากาศในประเทศไทยมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องจึงมีการแข่งขันทางธุรกิจที่มากขึ้นทั้งด้านการเพิ่มกำลังการผลิต การส่งมอบสินค้าที่รวดเร็วและการลดต้นทุนการผลิต ซึ่งบริษัทฯ และในภาคอุตสาหกรรมหลาย ๆ องค์กร ได้พยายามคิดหาแนวทางในการจัดการเพื่อเพิ่มขีดความสามารถในทางธุรกิจ และพยายามปรับปรุงในทุกส่วนของกระบวนการเพื่อให้มีการผลิตที่รวดเร็ว ลดต้นทุน ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ และสร้างความพึงพอใจต่อลูกค้า ได้แก่ การเพิ่มประสิทธิภาพ การจัดการและการปรับปรุงด้านการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดต้นทุนในกระบวนการผลิตเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการดำเนินกิจการในภาคอุตสาหกรรม [1] บริษัทตัวอย่างเป็นผู้ผลิตวงแหวนลูกสูบ (Piston Ring) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนคอมเพรสเซอร์ ของเครื่องปรับอากาศยี่ห้อหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนวงแหวนลูกสูบคอมเพรสเซอร์

จากรูปที่ 1 ชิ้นส่วนวงแหวนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ทำหน้าที่ดูดและอัดน้ำยาในสถานะความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำจากอีวาพอเรเตอร์ เข้ามาอัดตัวให้เป็นแก๊สที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงเพื่อส่งไปยังคอนเดนเซอร์ ขั้นตอนในการผลิตเป็นการเจียรไนปรับผิวชิ้นงานโดยใช้พนักงานทำงานร่วมกับเครื่องจักรอัตโนมัติ (Internal Cylinder Grinding Machine) เพื่อให้ได้ขนาดตามแบบที่ 20.6 ± 0.05 มิลลิเมตร และค่าความขรุขระผิว (Surface roughness, Ra) ที่ 0.3 ไมโครเมตร โดยชิ้นงานที่ผลิตต้องผ่านการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลด้วยเครื่องมือตรวจสอบแบบอัตโนมัติ ปัจจุบันบริษัท ตัวอย่างมีความต้องการในการผลิตชิ้นส่วนวงแหวนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ให้ได้ 500 ชิ้น/วัน จากการวางแผนการผลิตเบื้องต้นต้องใช้พนักงาน 2 คน ทำงานกับเครื่องจักร 2 เครื่อง โดยพนักงาน 1 คน ควบคุมเครื่องจักร 1 เครื่อง มีรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) 105 วินาที/ชิ้น เวลาในการทำงานต่อวันเมื่อหักเวลาเตรียมเครื่องจักรก่อนการทำงานและเวลาทำความสะอาดหลังเลิกงาน 27,000 วินาที/วัน กำลังการผลิต (Capacity) 257 ชิ้น/วัน/เครื่อง อัตราผลิตภาพการผลิต 34.27 ชิ้น/ชั่วโมง/คน ค่าอรรถประโยชน์ของพนักงาน 41.90 % จากการสังเกตพบว่ากระบวนการผลิตมีบางเวลาที่พนักงานว่างงานจากการยืนรอเครื่องจักรทำงานอัตโนมัติ ซึ่งถือว่าเป็นหนึ่งในความสูญเสียเปล่า 7 ประการ (7 Waste) ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการปรับปรุงแก้ไขโดยอาศัยเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมกับเครื่องจักรเพื่อเพิ่มค่าอรรถประโยชน์ (Utilization) หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานหรือเครื่องจักรสามารถทำงานได้จริง และเพิ่มผลผลิตให้องค์กรสามารถเติบโตและแข่งขันกับคู่แข่งในธุรกิจประเภทเดียวกันได้ในตลาดอุตสาหกรรม

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตชิ้นส่วนวงแหวนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ของบริษัทตัวอย่างเพื่อเพิ่มค่าอรรถประโยชน์และอัตราผลิตภาพการผลิตโดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในการดำเนินการปรับปรุงแก้ไข

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 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 ทรัพยากรอื่น ๆ สรุปโดยรวมผลิตภาพการผลิตหมายถึง การใช้ประโยชน์จากทรัพยากรในการผลิตอย่างคุ้มค่า โดยวิธีการลดต้นทุน ลดการสูญเสีย ปรับปรุงกระบวนการผลิต และมุ่งเน้นการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพซึ่ง คำนวณหาได้จาก สมการที่ 1

$$\text{ผลิตภาพการผลิต} = \frac{\text{ผลผลิต}}{\text{ปัจจัยที่ใช้ในการผลิต}} \quad (1)$$

2.2 ความสูญเสียเปล่า 7 ประการ (7 Wastes)

วิทยา อินทร์สอน [4] ความสูญเสียเปล่าจะแฝงอยู่ในกระบวนการผลิตไม่มากนักน้อย ซึ่งเป็นสาเหตุให้ประสิทธิภาพของกระบวนการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เช่น การใช้เวลานานในการผลิตมากเกินไป สินค้ามีคุณภาพต่ำ มีต้นทุนการผลิตสูง คล้ายงานวิจัยของ คลอเคลีย์ วจนะวิชากร [5] เพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตไม้กวาดทางมะพร้าวด้วยการประยุกต์ใช้การออกแบบอุปกรณ์จับยึดเพื่อคัดแยกขนาดและตัดทางมะพร้าวให้ได้ขนาดความยาว 40 และ 50 เซนติเมตรลดความสูญเสียเปล่าในขั้นตอนการทำงาน พนักงานทำงานสะดวกรวดเร็วขึ้นได้ปริมาณของงานมากขึ้นผลการปรับปรุงลดจำนวนพนักงานได้ 1 คน รอบเวลาในกระบวนการผลิตลดลง 6 นาที/ด้าม คิดเป็นร้อยละ 13.04

2.3 แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ (Multiple Activity Chart)

เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ การทำงานของพนักงานหลายคนซึ่งต้องทำงานเกี่ยวข้องกันหรือคนงานหลายคนทำงานร่วมกันในบริเวณหรือต้องใช้เครื่องจักรร่วมกันหรืออาจเป็นการศึกษาการทำงานของพนักงานคนเดียวทำงานสัมพันธ์กับเครื่องจักรหรือต้องดูแลเครื่องจักรพร้อมกันหลายเครื่องพร้อมกัน [6]

2.3.1 แผนภูมิคน - เครื่องจักร (Man-Machine Chart)

แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณที่ใช้บันทึกเฉพาะการทำงานของคนและเครื่องจักร เป็นการบันทึกเพื่อแสดงความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างคนกับเครื่องจักร ส่วนใหญ่เครื่องจักรจะทำงานในขณะที่คนยืนหรือมองดูเฉย ๆ ซึ่งเป็นการรอคอยเครื่องจักรอัตโนมัติทำงานตรงกันข้ามในขณะที่เครื่องจักรทำงานเสร็จคนก็จะเริ่มทำงานโดยที่เครื่องจักรจะหยุดเฉย ๆ เหมือนกัน หลักของการศึกษาวิธีการปรับปรุงการทำงานของคนและเครื่องจักรด้วยแผนภูมินี้คือ “เครื่องจักรต้องไม่หยุดทำงานเพื่อรอคนและคนก็ต้องไม่หยุดทำงานเพื่อรอเครื่องจักร” คล้ายกับงานวิจัยของ อณจ ชัยมณี และรัตนา ชั่วดทอง [7] ศึกษาและวิเคราะห์หาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มผลผลิตด้านแรงงาน เพิ่มประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมในกระบวนการผลิตและลดต้นทุนค่าแรงงานในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนตโดยอาศัยเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม คือ แผนผังกิจกรรมพหุคูณและแผนภูมียามาซุมิในการวิเคราะห์ภาระงานของพนักงานแต่ละคนนำไปสู่การลดจำนวนพนักงานลง ผลการวิจัยพบว่าจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในโหลตหน้า และห้องประกบ คือ 2 คน และ 3 คน สามารถลดจำนวนพนักงานจาก 11 คนเหลือ 7 คน ผลผลิตแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 57.14 และประสิทธิภาพแรงงานโดยรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 17.01 ต้นทุนค่าแรงงานในกระบวนการผลิตกระจกลามิเนตลดลง 581,250 บาทต่อปี

2.3.2 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแผนภูมิคนและเครื่องจักร

การวิเคราะห์งานด้วยแผนภูมิคน-เครื่องจักร จะใช้กราฟแท่ง (Bar Chart) แทนกิจกรรมแต่ละประเภท โดยใช้การระบายสีหรือสัญลักษณ์แทนกิจกรรมอิสระ กิจกรรมร่วม หรือการว่างงาน และมีตารางสรุปเวลาไว้ข้างล่างแผนภูมิเสมอ [8] โดยตัวอย่างสัญลักษณ์แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ของแผนภูมิคน-เครื่องจักร

สัญลักษณ์	ความหมาย	คำจำกัดความ
	กิจกรรมอิสระ	1. กิจกรรมที่แต่ละบุคคลทำงานเป็นอิสระ 2. เวลาที่เครื่องจักรทำงานโดยอัตโนมัติ
	กิจกรรมร่วม	1. กิจกรรมที่พนักงานทำร่วมกับเครื่องจักร 2. เวลาที่เครื่องจักรทำงานร่วมกับพนักงานรวมถึงในขณะเดินเครื่องและหยุดเครื่อง
	กิจกรรมว่างงาน	1. พนักงานยืนเฉย ๆ ไม่มีกิจกรรม 2. เครื่องจักรหยุดเดินเครื่องโดยไม่มีภาระทำให้เป็นกิจกรรม จากพนักงาน

ที่มา: มาโนช ริติโน (2549 : 123-124)

2.3.3 แนวทางการวิเคราะห์ของแผนภูมิคน-เครื่องจักร

เริ่มจากการบันทึกกิจกรรมและเวลาโดยแยกประเภทของกิจกรรมการทำงานอิสระ กิจกรรมการทำงานร่วมกันและกิจการการว่างงาน ของคนและเครื่องจักร ออกจากกันโดยใช้สัญลักษณ์ทั้ง 3 ชนิด และคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์การทำงานของคนและเครื่องจักร ดังสมการที่ 2

$$\text{เปอร์เซ็นต์การทำงาน} = \frac{\text{เวลาที่ทำงานจริงต่อชิ้น (วินาที/ชิ้น)}}{\text{รอบเวลาการผลิตต่อชิ้น (วินาที/ชิ้น)}} \times 100 \quad (2)$$

จากนั้นวิเคราะห์กิจกรรมการทำงานต่าง ๆ อย่างละเอียดเพื่อศึกษาว่ากิจกรรมอิสระใดบ้างที่สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อให้ลดการคอยางานลงหรือลดขั้นตอนการทำงานบางอย่างลงเพื่อให้เวลาการทำงานเร็วขึ้นหรือวิเคราะห์ด้วยวิธีการคำนวณหาจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับการทำงานของพนักงานที่สามารถควบคุมได้ ด้วยการสมการที่ 3

$$Nm/c = [(T_{m/c} + T_{MD}) / (T_{MI} + T_{MD})] \quad (3)$$

$N_{m/c}$ คือ จำนวนเครื่องจักรสูงสุดที่พนักงานสามารถควบคุมได้
 $T_{m/c}$ คือ เวลาในการทำงานอิสระของเครื่องจักร (วินาที)
 T_{MD} คือ เวลาในการทำงานร่วมกันของพนักงานกับเครื่องจักร
 T_{MI} คือ เวลาในการทำงานอิสระของพนักงาน

2.3.4 ค่าอรรถประโยชน์ (Utilization)

ค่าอรรถประโยชน์ คือ ร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานหรือเครื่องจักรสามารถทำงานได้จริง โดยหักจำนวนเวลาทำงานทั้งหมด ด้วยเวลาที่หยุดการทำงาน เช่น เวลาการซ่อมบำรุง หรือเวลาพักอาหารกลางวัน แบ่งออกเป็นค่าอรรถประโยชน์ของคน ดังสมการที่ 4 และค่าอรรถประโยชน์ของเครื่องจักร ดังสมการที่ 5

$$Utilization_{man} = \frac{N_{m/c} \times (T_{MD} + T_{MI})}{Cycle\ Time} \times 100 \quad (4)$$

$$Utilization_{m/c} = \frac{T_{m/c}}{Cycle\ Time} \times 100 \quad (5)$$

2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเพิ่มอัตราผลิตภาพในกระบวนการผลิตมีหลายงานวิจัยที่มีการนำเอาเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการมาประยุกต์ใช้ อาทิเช่น งานวิจัยของ อัมรินทร์ วงศ์เศรษฐี และณัฐพล พุฒยงกุล [9] ประยุกต์ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมอารีนา (Arena) และหลักการหาค่าที่เหมาะสมเพื่อหาจำนวนเครื่องจักรและจำนวนพนักงานที่สามารถรองรับการผลิตชุดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ 16,000 ชิ้น/วัน โดยคำนึงถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิที่สูงที่สุด ผลจากการวิเคราะห์กระบวนการพบว่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงสุดที่ 4,351,384,314 บาท ในช่วงอายุผลิตภัณฑ์ 4 ปี และใช้พนักงาน 64 คนในการดำเนินงานวิจัยของ สุวรรณ พลภักดี [10] ลดความสูญเสียโดยการประยุกต์ใช้แนวคิดแบบลีนในกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดของอุตสาหกรรมกรณีศึกษาที่เกิดจากความสูญเสีย 4 ประการ จากทั้งหมด 7 ประการ ได้แก่ ความสูญเสียจากการรอคอย (0.9 %) ความสูญเสียจากการเคลื่อนย้าย (1.4 %) ความสูญเสียจากกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม (6.2 %) และความสูญเสียจากสินค้าคงคลัง (87.5 %) จากการวิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางการแก้ไขด้วยการระดมสมองพบว่าแนวทางที่สามารถลดความสูญเสียได้ คือ ออกแบบสเกลนับจำนวนพาเลทชิต และออกแบบฟังก์ชันการกรอกข้อมูลในไฟล์เอ็กเซลให้มีความถูกต้อง เพื่อลดความสูญเสียจากกระบวนการทำงานที่ไม่เหมาะสม และประยุกต์ใช้ตัวแบบปริมาณการสั่งผลิตที่ประหยัดที่สุดของหลอดฟลูออโรหลอดแต่ละขนาด เพื่อลดความสูญเสียจากการมีสินค้าคงคลังที่มากเกินไป จากนั้นสร้างแผนผังสายธารคุณค่าในสถานะอนาคตเพื่อแสดงถึงผลจากการลดความสูญเสีย โดยเวลานำของกระบวนการผลิตน้ำดื่มบรรจุขวดลดลงจาก 230,598 วินาที เหลือ 228,588 วินาที 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

ผู้วิจัยสำรวจสภาพปัจจุบันของกระบวนการผลิตชิ้นส่วนวงแหวนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ ตั้งแต่ขั้นตอนแรกจนถึงขั้นตอนสุดท้าย โดยใช้แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ประเภท คน - เครื่องจักร ในการเก็บข้อมูลและเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2

แผนภูมิคนเครื่องจักร (Man - Machine Chart)			ภาพผลิตภัณฑ์		
ผลิตภัณฑ์: ชิ้นส่วนของวงแหวนลูกสูบ (เครื่องคอมเพรสเซอร์แอร์)					
กรรมวิธี: การเจียรในขัดผิวชิ้นงานด้วยเครื่องจักร Grinding (ID 20.6±0.05 มิลลิเมตร Ra ≤ 0.3 ไมโครเมตร)					
☒ วิธีปัจจุบัน ☐ วิธีนำเสนอ			กิจกรรม	สัญลักษณ์กิจกรรม (Bar)	
ตำแหน่งที่ตั้ง: ฝ่ายผลิต			กิจกรรมอิสระ		
ผู้บันทึก: ภูสิทธิ วันที่ 17 พฤศจิกายน 2565			กิจกรรมร่วมกัน		
ผู้อนุมัติ: ธนากร วันที่ 17 พฤศจิกายน 2565			กิจกรรมว่างงานหรือรอคอยงาน		
พนักงาน (Man)			เครื่องจักร (Machine)		
Workflow activities	Time (Sec.)	Bar	Workflow activities	Time (Sec.)	Bar
กดสวิทช์เปิดประตูเครื่องเจียรใน	2		รอพนักงานกดสวิทช์เพื่อเปิดประตูเครื่องเปิด	2	
รอประตูเครื่องเจียรในเปิด	3		ประตูเครื่องเจียรในกำลังเปิดออก	3	
คลายล็อกอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานออก	8		อุปกรณ์จับยึดถูกคลายล็อกและถูกส่งชิ้นงานออก	8	
นำชิ้นงานไปวางบนโต๊ะเพื่อรอการตรวจสอบ	5		รอให้พนักงานใส่ชิ้นงานใหม่	7	
หยิบชิ้นงานชิ้นใหม่	2				
ใส่ชิ้นงานใหม่เข้ากับอุปกรณ์จับยึดพร้อมล็อกชิ้นงาน	10		ถูกพนักงานใส่ชิ้นงานใหม่เข้ากับอุปกรณ์จับยึด	10	
กดสวิทช์ปิดประตูเครื่องจักร	2		รอพนักงานกดสวิทช์เพื่อปิดประตูเครื่องจักร	2	
ตรวจสอบคุณภาพชิ้นงาน (QC) ด้วยเครื่องตรวจสอบขนาดและผิวงานพร้อมบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์แบบอัตโนมัติ	12		ประตูเครื่องจักรกำลังปิด	3	
หยิบชิ้นงานออกจากเครื่องตรวจสอบวางใส่ภาชนะ	3		เครื่องเจียรทำงานอัตโนมัติ	70	
รอเครื่องเจียร Grinding ทำงานอัตโนมัติ	58				

รูปที่ 2 แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณประเภทคน – เครื่องจักร ชิ้นส่วนของวงแหวนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ก่อนการปรับปรุง

จากรูปที่ 2 ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแผนภูมิคน - เครื่องจักร มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การทำงานของพนักงานและเครื่องจักรอัตโนมัติ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เวลาทำงานของคนและเครื่องจักร (ก่อนปรับปรุง)

เวลา	พนักงาน (วินาที)	คิดเป็นร้อยละ	เครื่องจักร (วินาที)	คิดเป็นร้อยละ
เวลาว่างงาน	61	58.10	11	10.48
เวลาทำงานอิสระ	26	24.76	76	82.07
เวลาทำงานร่วมกัน	18	17.14	18	17.14
เวลาทั้งหมด	105	100	105	100

จากตารางที่ 2 ก่อนการปรับปรุงพบว่าจากรอบเวลาการผลิต 105 วินาทีต่อชิ้น พนักงานมีเวลาในการทำงานอิสระและร่วมกับเครื่องจักรเพียง 44 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 41.90 % แต่มีเวลาว่างงานถึง 61 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 58.10 % ส่วนเครื่องจักรมีเวลาทำงานอิสระและร่วมกับพนักงาน 94 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 89.52 % และมีเวลาว่างงานเพียง 11 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 10.48 % ซึ่งเป็นค่าคงที่เนื่องจากการทำงานอัตโนมัติ จากนั้นผู้วิจัยแยกประเภทเวลาตามลักษณะของกิจกรรม ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รอบเวลาตามลักษณะของกิจกรรม (ก่อนปรับปรุง)

กิจกรรม	เวลา (วินาที)
$T_{m/c}$ คือ เวลาในการทำงานอิสระของเครื่องจักร	76
T_{MD} คือ เวลาในการทำงานร่วมกันของพนักงานกับเครื่องจักร	18
T_{MI} คือ เวลาในการทำงานอิสระของพนักงาน	26

จากตารางที่ 3 นำไปคำนวณหาค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานหรือเครื่องจักรสามารถทำงานได้จริงก่อนการปรับปรุงเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเปรียบเทียบกับค่าอัตราประโยชน์หลังการปรับปรุง ดังสมการที่ 4 และ 5

$$\%Utilization_{man} = \frac{1 \times (18 + 26)}{105} \times 100$$

$$\%Utilization_{man} = 41.90\%$$

$$\% Utilization_{m/c} = \frac{119}{145} \times 100$$

$$\% Utilization_{m/c} = 82.07 \%$$

ผลจากการคำนวณพบว่าค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้จริงก่อนการปรับปรุงอยู่ที่ 41.90 % ผู้วิจัยได้ตั้งไว้เป็นมาตรฐานเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าอัตราประโยชน์หลังการปรับปรุง ส่วนเครื่องจักรความสามารถในการทำงานอยู่ที่ 82.07 % ซึ่งเป็นค่าคงที่เนื่องจากการทำงานแบบอัตโนมัติ

จากนั้นผู้วิจัยวิเคราะห์ปัญหาเพื่อกำหนดแนวทางการแก้ไขด้วยการคำนวณหาจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในการควบคุมเครื่องจักร โดยใช้สมการที่ 3 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

$$Nm/c = \text{จำนวนพนักงานที่เหมาะสมในการควบคุมเครื่องจักร}$$

$$Nm/c = [(76 + 18) / (26 + 18)]$$

$$Nm/c = 2.13 \sim 2 \text{ เครื่อง}$$

จากการคำนวณจำนวนพนักงานที่เหมาะสมในการควบคุมเครื่องจักร พบว่าพนักงาน 1 คน สามารถควบคุมเครื่องจักรได้สูงสุด 2 เครื่อง ผู้วิจัยจึงนำมาเขียนแผนภูมิคน-เครื่องจักร หลังการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 3

☐ วิธีปัจจุบัน ☒ วิธีนำเสนอ			กิจกรรม			สัญลักษณ์กิจกรรม (Bar)								
ตำแหน่งที่ตั้ง: ฝ่ายผลิต			กิจกรรมอิสระ											
ผู้บันทึก: ภูสิทธิ วันที่ 17 พฤศจิกายน 2565			กิจกรรมร่วมกัน											
ผู้อนุมัติ: วันที่ 17 พฤศจิกายน 2565			กิจกรรมว่างงานหรือรอคอยงาน											
พนักงาน			เครื่องเจียรใน 1			เครื่องเจียรใน 2								
Workflow activities	Time (Sec.)	Bar	Workflow activities	Time (Sec.)	Bar	Workflow activities	Time (Sec.)	Bar						
กดสวิทช์เปิดประตูเครื่องเจียรใน (1)	2		รอพนักงานกดสวิทช์เพื่อให้ประตู	2		เครื่องเจียรใน (2) ทำงานอัตโนมัติ	52							
รอประตูเครื่องกัด CNC เปิด (1)	3		ประตูเครื่องเจียรในกำลังเปิดออก	3										
คลายสไลด์นำชิ้นงานที่เสร็จแล้วออกจากอุปกรณ์จับยึด (1)	8		อุปกรณ์จับยึดถูกคลายสไลด์และถูกส่งชิ้นงานออก	8										
นำชิ้นงานไปวางบนโต๊ะเพื่อรอการตรวจสอบ (1)	5		รอให้พนักงานใส่ชิ้นงานใหม่	7										
หยิบชิ้นงานขึ้นใหม่ (1)	2		เครื่องเจียรใน (1) ทำงานอัตโนมัติ	70										
ใส่ชิ้นงานใหม่เข้ากับอุปกรณ์จับยึดพร้อมสไลด์ชิ้นงาน (1)	10								ถูกพนักงานใส่ชิ้นงานใหม่เข้ากับอุปกรณ์จับยึด	10				
กดสวิทช์เปิดประตูเครื่องจักร (1)	2								รอพนักงานกดสวิทช์	2				
ตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบขนาดและผิวงานพร้อมบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์แบบอัตโนมัติ (1)	12								ประตูเครื่องเจียรในกำลังปิด	3				
หยิบชิ้น (1) ออกไปวางใส่ภาชนะ	3								เครื่องเจียรใน (2) ทำงานอัตโนมัติ	18				
เดินไปเครื่องเจียรใน (2)	5													
กดสวิทช์เปิดประตูเครื่องเจียรใน (2)	2											รอพนักงานกดสวิทช์เพื่อให้ประตู	2	
รอประตูเครื่องเจียรในเปิด (2)	3											ประตูเครื่องเจียรในกำลังเปิด	3	
คลายสไลด์นำชิ้นงานที่เสร็จแล้วออกจากอุปกรณ์จับยึด (2)	8											อุปกรณ์จับยึดถูกคลายสไลด์และถูกส่งชิ้นงานออก	8	
นำชิ้นงานไปวางบนโต๊ะเพื่อรอการตรวจสอบ (2)	5											รอให้พนักงานใส่ชิ้นงานใหม่	7	
หยิบชิ้นงานขึ้นใหม่ (2)	2		ถูกพนักงานใส่ชิ้นงานใหม่เข้ากับอุปกรณ์จับยึด	10										
ใส่ชิ้นงานใหม่เข้ากับอุปกรณ์จับยึดพร้อมสไลด์ชิ้นงาน (2)	10		รอพนักงานกดสวิทช์	2										
กดสวิทช์เปิดประตูเครื่องเจียรใน (2)	2		ประตูเครื่องเจียรในกำลังปิด	3										
ตรวจสอบคุณภาพชิ้นงานด้วยเครื่องตรวจสอบขนาดและผิวงานพร้อมบันทึกข้อมูลลงคอมพิวเตอร์แบบอัตโนมัติ (2)	12		เครื่องเจียรใน (2) ทำงานอัตโนมัติ	18										
หยิบชิ้น (2) ออกไปวางใส่ภาชนะ	3													
เดินไปเครื่องเจียรใน (1)	5													
รอเครื่องเจียรใน (1) ทำงานเสร็จ	1													

รูปที่ 3 แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณประเภทคน - เครื่องจักร ชิ้นส่วนของวงแหวนลูกสูบคอมพิวเตอร์หลังการปรับปรุง

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

จากรูปที่ 3 ผู้วิจัยนำข้อมูลที่ได้จากแผนภูมิคน - เครื่องจักร มาคำนวณเปอร์เซ็นต์การทำงานของพนักงานและเครื่องจักรอัตโนมัติ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทำงานของคน-เครื่องจักร (หลังปรับปรุง)

เวลา	พนักงาน (วินาที)	คิดเป็นร้อยละ	เครื่องจักร (วินาที)	คิดเป็นร้อยละ
เวลาว่างงาน	7	6.67	11	10.48
เวลาทำงานอิสระ	62	59.05	76	82.07
เวลาทำงานร่วมกัน	36	34.28	18	17.14
เวลาทั้งหมด	105	100	105	100

ตารางที่ 4 หลังการปรับปรุงพบว่าจากรอบเวลาการผลิต 105 วินาทีต่อชิ้น พนักงานมีเวลาในการทำงานอิสระและร่วมกับเครื่องจักร 98 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 93.33 % และเวลาว่างงาน 7 วินาทีต่อรอบ คิดเป็น 6.67 % จากนั้นนำข้อมูลมาแยกประเภทของเวลาตามลักษณะของกิจกรรม ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รอบเวลาตามลักษณะของกิจกรรม (หลังปรับปรุง)

กิจกรรม	เวลา (วินาที)
$T_{m/c}$	76
T_{MD}	36
T_{MI}	62
Cycle Time	105

จากตารางที่ 5 ผู้วิจัยนำไปคำนวณหาค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้จริงหลังการปรับปรุงเพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าอัตราประโยชน์ก่อนการปรับปรุง

$$\%Utilization_{man} = \frac{2 \times (36 + 62)}{105} \times 100$$

$$\%Utilization_{man} = 67.186 \%$$

ผลจากการคำนวณพบว่าค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้จริงหลังการปรับปรุงมีค่า 67.186 %

5. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษากระบวนการผลิตชิ้นส่วนของวงแหวนลูกสูบคอมเพรสเซอร์ของบริษัทตัวอย่างซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มค่าอัตราประโยชน์และอัตราผลิตภาพการผลิตโดยใช้เครื่องมือวิศวกรรมอุตสาหการในการดำเนินงาน สามารถสรุปได้ดังนี้

ผู้วิจัยใช้หลักการลดความสูญเสียเปล่า 7 ประการ จากลักษณะการรอกอยงานของพนักงานในขั้นตอนการทำงานอัตโนมัติของเครื่องจักร โดยใช้แผนภูมิกิจกรรมพหุคูณ ประเภทคน-เครื่องจักร เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล จากนั้นคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การทำงานและว่างงานของพนักงาน-เครื่องจักรก่อนปรับปรุงเพื่อใช้ใน ผลจากการคำนวณพบว่าค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้จริงหลังปรับปรุงมีค่า 67.186 % คำนวณค่าอัตราประโยชน์หรือร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้จริงก่อนการปรับปรุงเพื่อใช้เปรียบเทียบกับหลังการปรับปรุง และคำนวณจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมกับพนักงานที่สามารถควบคุมได้ จากนั้นทดลองให้พนักงานทำการผลิตและเก็บข้อมูล ผลการดำเนินงานสามารถสรุปได้ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ดำเนินงาน	ก่อน	หลัง	ผลลัพธ์
พนักงานทำงานอิสระและร่วมกับเครื่องจักร	44 วินาที	98 วินาที	เพิ่มขึ้น 54 วินาที
พนักงานว่างงาน	61 วินาที	7 วินาที	ลดลง 54 วินาที
เครื่องจักรทำงานอิสระและร่วมกับพนักงาน	94 วินาที	94 วินาที	คงที่
เครื่องจักรว่างงาน	11 วินาที	11 วินาที	คงที่
อัตราประโยชน์ man	41.90 %	152.38 %	เพิ่มขึ้น 110.48 %
อัตราประโยชน์ m/c	82.07 %	82.07 %	คงที่

จากตารางที่ 6 หลังการปรับปรุงแก้ไขพบว่าเวลาทำงานของพนักงานเพิ่มขึ้นจากเดิม 54 วินาทีต่อการผลิต คิดเป็นเพิ่มขึ้น 120.45 % เวลาว่างงานของพนักงานลดลงจากเดิม 54 วินาที คิดเป็นลดลง 88.52 % ค่าอัตราประโยชน์ของพนักงานร้อยละของจำนวนเวลาที่พนักงานสามารถทำงานได้จริงเพิ่มขึ้น 110.48 % และสามารถลดพนักงานได้ 1 คน ทำให้อัตราผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 อัตราผลิตภาพการผลิต ก่อน-หลัง การปรับปรุง

ผลการดำเนินงาน	ขึ้น	ชั่วโมง	คน	ขึ้น/ชั่วโมง/คน (A/B/C)
	A	B	C	
ก่อนปรับปรุง	514	7.5	2	34.27
หลังปรับปรุง	514	7.5	1	68.54

จากตารางที่ 7 หลังการปรับปรุงอัตราผลิตภาพการผลิตเพิ่มขึ้นจาก 34.27 ขึ้น/ชั่วโมง/คน เป็น 68.53 ขึ้น/ชั่วโมง/คน เพิ่มขึ้น 34.27 ขึ้น/ชั่วโมง/คน คิดเป็นเพิ่มขึ้น 100 % ซึ่งคล้ายกับงานวิจัยของ ยุทธณรงค์ จงจันทร์ และณฐา คุปต์ชัยริธ [11] ศึกษาและปรับปรุงสายการผลิตเตาเหล็กหล่อด้วยหลักการ อีซีอาร์เอส ซึ่งเป็นเครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม หลังการปรับปรุงสามารถลดจำนวนสถานีงานได้ 14 สถานี ลดจำนวนพนักงานได้ 14 คน ส่งผลให้ดัชนีผลิตภาพการผลิตรวมเพิ่มขึ้น 13.04 % และสามารถนำผลงานที่ได้จากงานวิจัยไปพัฒนาการทำงานในสายการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณกรรมการผู้จัดการ บริษัทตัวอย่างกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านการเก็บข้อมูล การสนับสนุน และข้อเสนอแนะต่าง ๆ ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ให้ประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Chanikarn, "Machine improving efficiency in OD polishing process of Seiko Instrument (Thailand) Company Limited," Master of Science, Dept. Environment Management, National Institute of Development Administration, 2011. (in Thai)
- [2] I. Withaya, "Understand the concept of productivity in news for adapting to keep up with industrial technology," *Industrial Technology Review*. Vol. 21(269), 2547, pp. 125-129. (in Thai)

- [3] J. Kiattisak, *Production and operation management*, Bangkok: H.N. Group, 2006, pp. 1-308. (in Thai)
- [4] I. Withaya. (2022, November 19). 7Wastes of production process [Online]. Available: <http://www.thailandindustry.com> (in Thai)
- [5] W. Klorklear. “Wast reduction for efficiency improvement in broom production processes: A case study of community enterprise bung wai, Ubon Ratchathani,” *UBU Engineering Journal*. Vol. 13(1), 2019, pp. 141-152. (in Thai)
- [6] S. Chansiri. (2022, November 19). Process analysis [Online]. Available: https://pirun.ku.ac.th/~fengcsr/courses/2008_01/206341/ch9.pdf (in Thai)
- [7] C. Anot and K. Rattana. “The analysis to determine appropriate number of labors by industrial engineering tools in laminate glass production process,” *Sripatum Review of Science and Technology*. Vol. 12, 2020, pp. 21-36. (in Thai)
- [8] R. Manote. (2022, November 19). Study documents in work study [Online]. Available: <https://fliphtml5.com/wbccy/pdoi/basic> (in Thai)
- [9] W. Amarin and P. Nattapong, “Finding the Appropriate Number of Machines and Employees in the Hard Disk Drive Read Head Assembly Process Using Simulation Techniques,” in *Proceeding of 37th The Conference of Industrial Engineering Network 2016 (IE Network 2016)*, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khonkaen, Thailand, 2016, pp. 116-122. (in Thai)
- [10] P. Suwanna, “Wast reduction in bottled water production process,” *Ladkrabang Engineering Journal*. Vol. 38(3), 2021, pp. 77-90. (in Thai)
- [11] J. Yuthanarong and K. Natha, “Productivity improvement for cast iron burner production line: A case study at TMN Machine and Foundry Co., Ltd,” *Journal of Engineering, RMUTT*. Vol. 8(2), 2013, pp. 17-27. (in Thai)

การประเมินทางเลือกการฟื้นฟูสภาพโครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟ กรณีศึกษาทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ Assessment of Railway Infrastructure Restoration Options A Case Study of the Northeastern Railway

ธวัชชัย ปัญญาคิด^{1*} ปรัชญา ยอดดำรงค์²

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตอุเทนถวาย

เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพมหานคร

Thawatchai Phanyakit^{1*} Pruchaya Yoddumrong²

^{1,2}Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Uthenthawai Campus,

Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangkok, Thailand

*Corresponding author Email: thawatchai_ph@rmutto.ac.th

(Received: February 19, 2024 / Revised: June 16, 2024 / Accepted: June 20, 2024)

บทคัดย่อ

โครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟมีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสังคม การเสื่อมสภาพของโครงสร้างเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบการขนส่งทางรถไฟ การฟื้นฟูสภาพโครงสร้างทางรถไฟจึงมีความจำเป็นอย่างงานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัยที่นำมาใช้เพื่อการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ เป้าหมายคือเพื่อพัฒนาวิธีการที่สามารถช่วยตัดสินใจเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละสถานการณ์งานวิจัยนี้ใช้กรอบการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (Multi-Criteria Decision Analysis - MCDA) ในการพัฒนาวิธีการ วิธีการ MCDA นั้นประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ ระบุทางเลือก: กำหนดกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เป็นไปได้ทั้งหมด ระบุเกณฑ์: กำหนดปัจจัยที่สำคัญต่อการตัดสินใจ เช่น ต้นทุน ความปลอดภัย ระยะเวลา ฯลฯ ประเมินทางเลือก: ประเมินทางเลือกแต่ละทางเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนด วิเคราะห์ผลลัพธ์: วิเคราะห์ผลการประเมินเพื่อเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เหมาะสมที่สุดงานวิจัยนี้พัฒนาวิธีการ MCDA สำหรับการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ วิธีการนี้ประกอบด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่างๆ ที่สามารถช่วยผู้ตัดสินใจเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละสถานการณ์การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัยเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ วิธีการ MCDA ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถช่วยผู้ตัดสินใจเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เหมาะสมที่สุดซึ่งช่วยให้มั่นใจได้ว่าโครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟจะปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และเชื่อถือได้

คำสำคัญ: การฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ, การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย, กลยุทธ์การฟื้นฟู, เกณฑ์การตัดสินใจ

Abstract

Railway infrastructure plays a crucial role in both the economy and society. Deterioration of these structures can significantly impact the safety, efficiency, and reliability of railway transportation systems. Therefore, railway infrastructure rehabilitation is essential. This research aims to investigate the multi-criteria decision analysis (MCDA) techniques employed for railway rehabilitation. The objective is to develop a methodology to assist in selecting the most appropriate rehabilitation strategy for each scenario. This

research utilizes the MCDA framework to develop the methodology. The MCDA method comprises the following steps: Identify Alternatives: Define all possible rehabilitation strategies. Define Criteria: Establish factors crucial to the decision-making process, such as cost, safety, duration, etc. Evaluate Alternatives: Assess each alternative based on the defined criteria. Analyze Results: Analyze the evaluation results to select the most suitable rehabilitation strategy. This research develops an MCDA methodology for railway infrastructure rehabilitation. The methodology encompasses various tools and techniques that can assist decision-makers in selecting the most appropriate rehabilitation strategy for each scenario. MCDA is an effective tool for railway infrastructure rehabilitation. The MCDA and FMADM methodology developed in this research can aid decision-makers in selecting the most suitable rehabilitation strategy, ensuring the safety, efficiency, and reliability of railway infrastructure.

Keywords: Railway infrastructure rehabilitation, multi- criteria decision analysis (MCDA), Rehabilitation strategies, Decision-making criteria

1. บทนำ

โครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟมีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจและสังคม การขนส่งทางรถไฟเป็นวิธีการขนส่งสินค้าและผู้โดยสารที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่า ช่วยลดความแออัดบนท้องถนนและมลพิษทางอากาศ อย่างไรก็ตาม โครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟเหล่านี้เผชิญกับปัญหาการเสื่อมสภาพตามกาลเวลา ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความน่าเชื่อถือของระบบการขนส่งทางรถไฟ [1,2] การฟื้นฟูสภาพโครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อรักษาการทำงานที่ปลอดภัยและมีประสิทธิภาพของระบบการขนส่งทางรถไฟ การตัดสินใจเกี่ยวกับกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เหมาะสมนั้นซับซ้อนและท้าทาย จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลายประการ เช่น ต้นทุน ความปลอดภัย ระยะเวลา ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความยั่งยืน [3,4] งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDA) ที่นำมาใช้เพื่อการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ เป้าหมายคือเพื่อพัฒนาวิธีการที่สามารถช่วยตัดสินใจเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละสถานการณ์ งานวิจัยนี้ใช้กรอบการวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDA) ในการพัฒนาวิธีการ MCDA และ FMADM นั้นประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ระบุทางเลือก: กำหนดกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เป็นไปได้ทั้งหมด
2. ระบุเกณฑ์: กำหนดปัจจัยที่สำคัญต่อการตัดสินใจ เช่น ต้นทุน ความปลอดภัย ระยะเวลา ฯลฯ
3. ประเมินทางเลือก: ประเมินทางเลือกแต่ละทางเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนด
4. วิเคราะห์ผลลัพธ์: วิเคราะห์ผลการประเมินเพื่อเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เหมาะสมที่สุด

งานวิจัยนี้พัฒนาวิธีการ MCDA และ FMADM สำหรับการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ วิธีการนี้ประกอบด้วยเครื่องมือและเทคนิคต่าง ๆ ที่สามารถช่วยผู้ตัดสินใจเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละสถานการณ์ การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัยเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสำหรับการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ วิธีการ MCDA และ FMADM ที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถช่วยผู้ตัดสินใจเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูที่เหมาะสมที่สุดซึ่งช่วยให้มั่นใจได้ว่าโครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟจะปลอดภัย มีประสิทธิภาพ และเชื่อถือได้

2. ทฤษฎี MCDA และ FMADM ที่จะนำมาใช้กับงานวิจัยนี้

2.1 ทฤษฎี MCDA (Multi-Criteria Decision Analysis) [5]

การวิเคราะห์การตัดสินใจแบบหลายปัจจัย (MCDA) เป็นวิธีการเชิงทฤษฎีที่ใช้ในการตัดสินใจเกี่ยวกับทางเลือกหลายทาง โดยพิจารณาจากปัจจัยหลายประการ MCDA มีประโยชน์สำหรับสถานการณ์ที่ไม่มีทางเลือกที่ชัดเจนที่สุด และจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่น ต้นทุน ประสิทธิภาพ ความปลอดภัย ความยั่งยืน ฯลฯ

MCDA ประกอบด้วยวิธีการต่างๆ มากมาย แต่ละวิธีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน วิธีการ MCDA ที่นิยมใช้ ได้แก่:

- วิธีการ AHP (Analytic Hierarchy Process): วิธีการ AHP แบ่งปัจจัยการตัดสินใจออกเป็นเกณฑ์ย่อยและจัดลำดับความสำคัญ
- วิธีการ TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution): วิธีการ TOPSIS คำนวณระยะทางของทางเลือกแต่ละทางเลือกจากจุดอุดมคติและจุดแย่ที่สุด
- วิธีการ ELECTRE (Elimination and Choice Expressing REference): วิธีการ ELECTRE เปรียบเทียบทางเลือกทีละคู่และคัดเลือกทางเลือกที่เหนือกว่า

2.2 ทฤษฎี FMADM (Fault Management and Diagnosis Method) [5]

วิธี FMADM เป็นวิธีการ MCDA ที่พัฒนาขึ้นโดย Masoud Kalali [1] วิธีนี้ได้รับการออกแบบมาเพื่อช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดการและวินิจฉัยข้อบกพร่องในระบบที่ซับซ้อน เช่น โครงสร้างพื้นฐานทางรถไฟ

FMADM ประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังต่อไปนี้:

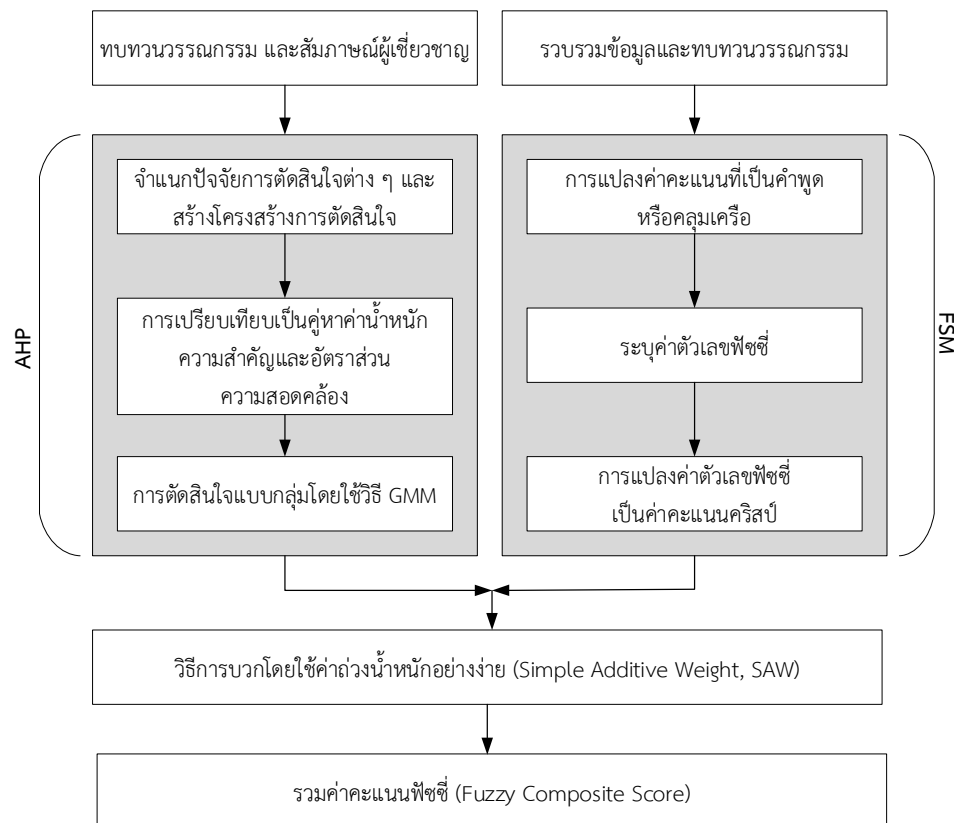
1. กำหนดปัญหา: ระบุปัญหาที่ต้องการแก้ไขและขอบเขตของการวิเคราะห์
2. ระบุทางเลือก: กำหนดชุดของทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับการแก้ไขปัญหา
3. ระบุเกณฑ์การตัดสินใจ: กำหนดปัจจัยที่สำคัญต่อการตัดสินใจ เช่น ต้นทุน ประสิทธิภาพ ความปลอดภัย ฯลฯ
4. ประเมินทางเลือก: ประเมินทางเลือกแต่ละทางเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนด
5. วิเคราะห์ผลลัพธ์: วิเคราะห์ผลการประเมินเพื่อเลือกทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด

2.3 การประยุกต์ใช้ MCDA และ FMADM กับงานวิจัยการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ [6,7]

ทฤษฎี MCDA และ FMADM สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟได้ดังนี้:

- กำหนดปัญหา: ปัญหาในการวิจัยนี้คือการเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูสภาพทางรถไฟที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสถานการณ์ต่างๆ
- ระบุทางเลือก: ทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ ได้แก่ การซ่อมแซม การเปลี่ยนใหม่ หรือการรื้อถอน
- ระบุเกณฑ์การตัดสินใจ: เกณฑ์การตัดสินใจสำหรับการเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ ได้แก่ ต้นทุน ความปลอดภัย ประสิทธิภาพ ความยั่งยืน ฯลฯ
- ประเมินทางเลือก: ทางเลือกแต่ละทางเลือกจะได้รับการประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยใช้เทคนิค MCDA เช่น AHP, TOPSIS หรือ ELECTRE
- วิเคราะห์ผลลัพธ์: ผลการประเมินจะถูกวิเคราะห์เพื่อเลือกกลยุทธ์การฟื้นฟูสภาพทางรถไฟที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสถานการณ์ต่างๆ

วิธี FMADM [8] จะเกี่ยวข้องกับปัญหาการตัดสินใจที่ประกอบด้วยชุดข้อมูลมีลักษณะเป็นข้อมูลที่คลุมเครือและข้อมูลที่เป็นตัวเลขชัดเจน ซึ่งข้อมูลที่คลุมเครือสามารถแสดงอยู่ในรูปแบบของค่าพูด เช่น น้อย ปานกลาง มาก เป็นต้น หรือสามารถแสดงได้ด้วยตัวเลขฟัซซี่ (Fuzzy numbers) ซึ่งหนึ่งในวิธีการ FMADM ที่ถูกใช้กันมากในงานการจัดการที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่ต้องใช้ข้อมูลทั้งสองประเภทนี้ในกระบวนการตัดสินใจ วิธีการ FMADM ประกอบด้วยขั้นตอนหลักดังแสดงไว้ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนของวิธี FMADM [8]

จากรูปที่ 1 แสดงองค์ประกอบที่สำคัญของวิธี FMADM มี 3 ส่วนได้แก่

- 1) วิธี AHP จะถูกใช้ในการคำนวณเพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ ของแต่ละปัจจัยการตัดสินใจในระดับต่ำที่สุดของโครงสร้างลำดับขั้นของการตัดสินใจ และวิธี GMM จะสามารถรวมการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนเป็นการตัดสินใจแบบกลุ่มได้
- 2) วิธี Fuzzy scoring method จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแปลงค่าคะแนนที่เป็นคำพูดที่คลุมเครือ (Fuzzy) ให้เป็นตัวเลขฟัซซี จากนั้นจะถูกแปลงต่อไปเป็นค่าตัวเลข (Crisp) ดังนั้นค่าคะแนนที่คลุมเครือของแต่ละทางเลือกที่พิจารณาภายใต้แต่ละปัจจัยการตัดสินใจ จะถูกแปลงให้เป็นค่าตัวเลขทั้งหมด
- 3) วิธี SAW จะถูกใช้ในการรวบรวมเอาผลคูณของค่าน้ำหนักความสำคัญสัมพัทธ์ของแต่ละปัจจัยและค่าคะแนนที่เป็นตัวเลขของทางเลือกภายใต้ปัจจัยที่พิจารณาแล้วจะได้ค่าคะแนนรวม (Global score) ของทางเลือกนั้น ๆ ค่าคะแนนรวมจะถูกใช้ในการจัดลำดับความสำคัญของทางเลือกเพื่อเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด

การรวมค่าคะแนนโดยวิธี Simple Additive Weight (SAW) [8]

หลังจากผ่านกระบวนการเปลี่ยนข้อมูลที่คลุมเครือให้เป็นตัวเลขฟัซซีแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ในรูปของตัวเลขที่หาค่าที่แน่นอนได้ หลังจากนั้นจะทำการประยุกต์ใช้วิธี FMADM ในการจัดเรียงลำดับความสำคัญของทางเลือกทั้งหมด และผลการวิเคราะห์หาค่าต่ำ ปานกลาง สูง จะใช้ทฤษฎี Fuzzy Scoring Method

สำหรับกระบวนการของ AHP นั้นเป็นการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และ Fuzzy Scoring Method ใช้หาค่าตัวเลขของค่าคะแนน ต่ำ ปานกลาง สูง ส่วนคะแนนรวมเพื่อจัดลำดับความสำคัญในการคัดเลือกทางเลือกที่เหมาะสมนั้นจะรวมคะแนนโดยวิธี Simple Additive Weight (SAW) โดยประยุกต์ใช้ทฤษฎี Utility Theory ด้วยสมการที่ (1) และ (2)

$$CI_i = \sum_{j=1}^n W_j S_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n W_j = 1, W_j > 0 \quad (2)$$

เมื่อ	CI_i	=	Composite Index ของทางเลือก i
	w_j	=	ค่าน้ำหนักความสำคัญของปัจจัย j
	S_{ij}	=	ค่าน้ำหนักของค่าคะแนนของทางเลือก i เมื่อพิจารณาปัจจัย j
	n	=	จำนวนปัจจัยที่พิจารณา

3. วิธีการดำเนินการ

แนวทางการดำเนินการ การเก็บข้อมูล และคุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญสำหรับการวิเคราะห์ FMADM ในการตัดสินใจเลือกแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ

3.1 แนวทางการดำเนินการ

1. จัดตั้งกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ: กลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่ประกอบด้วยผู้เชี่ยวชาญจากหลากหลายสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรรมโครงสร้างทางรถไฟ วิศวกรรมการบำรุงรักษาทางรถไฟ ที่มีประสบการณ์ด้านการซ่อมบำรุงทางไม่น้อยกว่า 10 ปี จำนวน 15 ท่าน หน้าที่ของคณะกรรมการคือ กำหนดขอบเขตของการวิเคราะห์ ระบุเกณฑ์การตัดสินใจ และประเมินทางเลือก
2. รวบรวมข้อมูล: รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ข้อมูลเกี่ยวกับสภาพโครงสร้างทางรถไฟ ข้อมูลเกี่ยวกับประวัติการซ่อมแซม ข้อมูลเกี่ยวกับอุบัติเหตุทางรถไฟ ข้อมูลเกี่ยวกับต้นทุนการบำรุงรักษา ข้อมูลเกี่ยวกับกฎหมายและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง ข้อมูลเกี่ยวกับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ฯลฯ
3. ระบุทางเลือก: ระบุชุดของทางเลือกที่เป็นไปได้สำหรับการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ทางเลือกที่เป็นไปได้อาจรวมถึง การซ่อมแซม การเปลี่ยนใหม่ หรือการรื้อถอน
4. ระบุเกณฑ์การตัดสินใจ: คณะกรรมการจะต้องกำหนดเกณฑ์การตัดสินใจที่สำคัญสำหรับการเลือกแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ เกณฑ์ที่พิจารณาอาจรวมถึง ต้นทุน ความปลอดภัย ประสิทธิภาพ ความยั่งยืน ฯลฯ
5. ประเมินทางเลือก: ทางเลือกแต่ละทางเลือกจะได้รับการประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนด โดยใช้เทคนิค FMADM เทคนิค FMADM ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้:
 - o กำหนดความสำคัญของเกณฑ์: คณะกรรมการจะต้องกำหนดความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์ โดยใช้เทคนิค AHP
 - o ประเมินทางเลือกตามเกณฑ์: ผู้เชี่ยวชาญจะประเมินทางเลือกแต่ละทางเลือกตามเกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์ โดยใช้เทคนิค TOPSIS หรือ ELECTRE
 - o วิเคราะห์ผลลัพธ์: ผลการประเมินจะถูกวิเคราะห์เพื่อเลือกแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟที่เหมาะสมที่สุด
6. เสนอแนะแผนการฟื้นฟู: คณะกรรมการจะเสนอแนะแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟที่เหมาะสมที่สุดต่อผู้บริหาร

3.2 การเก็บข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ FMADM สามารถรวบรวมจากแหล่งต่าง ๆ ดังนี้:

- หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง: หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ คือ การรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) และเขตบำรุงทางของการรถไฟฯ ฯลฯ

- เอกสารและรายงาน: เอกสารและรายงานที่เกี่ยวข้องกับสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น รายงานการตรวจสอบคุณภาพทางประจำปี น้ำหนักประจำทางแต่ละปีและสะสม รายงานการซ่อมแซม รายงานอุบัติเหตุทางรถไฟ ฯลฯ
- ผู้เชี่ยวชาญ: ผู้เชี่ยวชาญจากหลากหลายสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรรมโครงสร้างทางรถไฟ วิศวกรรมการบำรุงรักษาทางรถไฟ เศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จะพิจารณาถึงการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ 2 วิธี ได้แก่ การเสริมความมั่นคงของทางรถไฟ (Strengthening track) และการปรับปรุงทางรถไฟ (Track Rehabilitation) แสดงดังตารางที่ 1

3.3 คุณสมบัติของผู้เชี่ยวชาญ

ผู้เชี่ยวชาญที่จะให้ข้อคิดเห็นสำหรับการวิเคราะห์ FMADM ควรมีคุณสมบัติดังนี้คือ ต้องมีความรู้และประสบการณ์: ผู้เชี่ยวชาญควรมีความรู้และประสบการณ์ในสาขาที่เกี่ยวข้อง เช่น วิศวกรรมโครงสร้างทางรถไฟ วิศวกรรมการบำรุงรักษาทางรถไฟ เศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จะพิจารณาถึงการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟ 2 วิธี ได้แก่ การเสริมความมั่นคงของทางรถไฟ (Strengthening track) และการปรับปรุงทางรถไฟ (Track Rehabilitation) แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขอบเขตทั่วไปของงานหลักในการเสริมความมั่นคงของทางรถไฟและการปรับปรุงทางรถไฟ

การเสริมความมั่นคงของทางรถไฟ (Strengthening track)	การปรับปรุงทางรถไฟ (Track Rehabilitation)
- เปลี่ยนรางเก่าให้เป็นรางขนาดน้ำหนัก 100 ปอนด์ต่อหลา - เปลี่ยนประแจเก่าให้เป็นประแจขนาด 100 ปอนด์ - เปลี่ยนหมอนไม้เก่าให้เป็นหมอนคอนกรีตอัดแรงท่อนเดี่ยว - เพิ่มความหนาหินโรยทางใต้หมอนให้มีความหนา 25 ซม. - เปลี่ยนวัสดุทางผ่านเสมอระดับ	- เปลี่ยนรางเก่าให้เป็นรางขนาด 100 ปอนด์ต่อหลา - เปลี่ยนประแจเก่าให้เป็นประแจขนาด 100 ปอนด์ - เปลี่ยนหมอนไม้เก่าให้เป็นหมอนคอนกรีตอัดแรงท่อนเดี่ยว - เพิ่มความหนาหินโรยทางใต้หมอนให้มีความหนา 25 ซม. - เปลี่ยนวัสดุทางผ่านเสมอระดับ - ปรับปรุงชั้น subgrade - ปรับปรุงเสถียรรูปของลาดทาง - ปรับปรุงรัศมีโค้งแคบ - ยกและเสริมความมั่นคงสะพาน - จัดหารถบำรุงทางหนัก

(ที่มา: อรรถพล เก่าประเสริฐ และคณะ 2557)

4. ผลการศึกษา

เปรียบเทียบแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือจากผลการศึกษา

ตาราง 2 เปรียบเทียบแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ

เกณฑ์	แผน 1: เสริมความมั่นคงของทางรถไฟ	แผน 2: ปรับปรุงทางรถไฟ
ต้นทุน	100 ล้านบาท	150 ล้านบาท
ระยะเวลา	1 ปี	2 ปี
ความปลอดภัย	คะแนน 80	คะแนน 90
ประสิทธิภาพ	คะแนน 70	คะแนน 80
ความยั่งยืน	คะแนน 60	คะแนน 70

จากตาราง 2 แผน 2: ปรับปรุงทางรถไฟ ได้รับคะแนนรวมสูงสุด แผนนี้มีคะแนนความปลอดภัยและประสิทธิภาพสูงกว่าแผน 1 อย่างไรก็ตาม แผนนี้มีข้อเสียคือ ต้นทุนและระยะเวลาที่สูงกว่า

แผน 1: เสริมความมั่นคงของทางรถไฟ มีข้อดีคือ ต้นทุนและระยะเวลาที่ต่ำกว่า แผนนี้เหมาะสำหรับสถานการณ์ที่ต้องการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟอย่างเร่งด่วนและมีงบประมาณจำกัดการตัดสินใจเลือกแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น งบประมาณ ระยะเวลา ความสำคัญของความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความยั่งยืน ผู้บริหารควรพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ทั้งหมดอย่างรอบคอบก่อนตัดสินใจ

นอกเหนือจากผลการศึกษาเชิงตัวเลขที่แสดงในตาราง 2 งานวิจัยนี้ยังวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมของแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟแต่ละแผน ผลการวิเคราะห์เหล่านี้สามารถช่วยผู้บริหารในการตัดสินใจเลือกแผนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสายตะวันออกเฉียงเหนือ

งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ FMADM มาจากแหล่งต่างๆ และอาจมีความไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญที่ให้ข้อคิดเห็นอาจมีความคิดเห็นที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อผลการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับผู้บริหารในการตัดสินใจเลือกแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ผลการศึกษาเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม สามารถช่วยผู้บริหารในการพิจารณาปัจจัยต่างๆ อย่างรอบคอบก่อนตัดสินใจ

5. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาเพื่อเปรียบเทียบแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือระหว่างแผนที่ 1 คือ แผนการฟื้นฟูสภาพทางโดยการเสริมความมั่นคงของทางรถไฟ (Strengthening track) และแผนที่ 2 คือ แผนการฟื้นฟูสภาพทางโดยการปรับปรุงทางรถไฟ (Track Rehabilitation) โดยใช้ทฤษฎี FMADM (Fault Management and Diagnosis Method) ผลการศึกษพบว่า แผน 2: ปรับปรุงทางรถไฟ ได้รับคะแนนรวมสูงสุด แผนนี้มีคะแนนความปลอดภัยและประสิทธิภาพสูงกว่าแผน 1 อย่างไรก็ตาม แผนนี้มีข้อเสียคือ ต้นทุนและระยะเวลาที่สูงกว่าแผน 1: เสริมความมั่นคงของทางรถไฟ มีข้อดีคือ ต้นทุนและระยะเวลาที่ต่ำกว่า แผนนี้เหมาะสำหรับสถานการณ์ที่ต้องการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟอย่างเร่งด่วนและมีงบประมาณจำกัดการตัดสินใจเลือกแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น งบประมาณ ระยะเวลา ความสำคัญของความปลอดภัย ประสิทธิภาพ และความยั่งยืน ผู้บริหารควรพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ทั้งหมดอย่างรอบคอบก่อนตัดสินใจงานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดบางประการ ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ FMADM มาจากแหล่งต่างๆ และอาจมีความไม่ถูกต้องหรือไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ ผู้เชี่ยวชาญที่ให้ข้อคิดเห็นอาจมีความคิดเห็นที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อผลการวิเคราะห์ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับผู้บริหารในการตัดสินใจเลือกแผนการฟื้นฟูสภาพทางรถไฟสายตะวันออกเฉียงเหนือ ผลการศึกษาเชิงตัวเลขและการวิเคราะห์ผลกระทบทางเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อม สามารถช่วยผู้บริหารในการพิจารณาปัจจัยต่างๆ อย่างรอบคอบก่อนตัดสินใจ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาและขอขอบคุณวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า (JTEP) ที่ให้โอกาสในการนำเสนอผลงานเพื่อเผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า (JTEP) และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับการสนับสนุนจากทุกท่านเพื่อเผยแพร่ผลงานในวารสารต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Liu, Y., & Wang, Y. (2020). A multi-objective optimization approach for railway track maintenance planning considering reliability and economic performance. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 112, 102717.
- [2] Tiwari, A. K., Goel, S., & Kumar, R. (2022). Multi-criteria decision analysis for prioritization of railway bridge maintenance under budget constraints. *Journal of Rail Transport Planning and Management*, 100618.
- [3] Zang, W.-S., Wang, H., & Zhang, C. (2019). A multi-objective optimization approach for railway track maintenance planning considering reliability, cost, and environmental impact. *Journal of Advanced Transportation Systems*, 13(4), 1-12.
- [4] Kumar, R., & Pandey, R. K. (2020). Multi-criteria decision analysis for prioritization of railway track maintenance under budget constraints. *Journal of Rail Transport Planning and Management*, 87, 102323.
- [5] T.L. Saaty, *International Journal of Services Sciences*, 1, 83–98 (2008).
- [5] Kalali, M. (2011). Solaris fault administration using fmadm command. The Pensieve - Masoud Kalali's Blog. Retrieved from <https://kalali.blog/posts/>
- [6] Saaty, T. L. (1986). *The analytic hierarchy processes*. McGraw-Hill.
- [7] Hwang, S. Y., & Yoon, K. (1981). *Multiple-attribute decision making: Methods and applications*. Springer Science & Business Media.
- [8] Klungboonkrong P. Development of A Decision Support Tool for The Multicriteria Environmental Impact Evaluation of Urban Road Networks. [Ph.D. Dissertation]. Australia: School of Geoinformatics, Planning and Building, University of South Australia; 1998.

แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเตาอังโล่ กรณีศึกษาโรงงานเตาอังโล่ บ้านดงมะไฟ

Approach for Efficiency Improvement of the Brazier Manufacturing Process A Case Study of the Brazier Factory Ban Dong Mafia

วิเรखा คำจันทร์, กาญจนา อุปปิต และ ศักดิ์ดี คำจันทร์*

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการผลิต คณะวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติ จังหวัดสกลนคร

59 หมู่ 1 ตำบลเชียงเครือ อำเภอเมือง จังหวัดสกลนคร 47000

Wirekha Khamjan, Ganjana Auppit and Sakda Khamjan*

Industrial Engineering Major, Department of Mechanical and Manufacturing Engineering,

Faculty of Science and Engineering, Kasetsart University Chalermphrakiat Sakon Nakhon Province Campus

59 Moo.1, Chiangkrua Sub District, Muang, Sakon Nakhon, Thailand, 47000

*Corresponding author Email: sakda.kh@ku.th

(Received: June 1, 2024 / Revised: June 17, 2024 / Accepted: June 20, 2024)

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตเตาอังโล่ กรณีศึกษาโรงงานเตาอังโล่ บ้านดงมะไฟ โดยนำเทคนิคการลดความสูญเปล่า (ECRS) แผนภูมิกระบวนการผลิต (Process Chart) และการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (SMED) มาปรับปรุงการทำงาน ซึ่งขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิตก่อนทำการปรับปรุงมี 65 ขั้นตอน หลังจากปรับปรุงวิธีการทำงานทำให้มีขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิต 50 ขั้นตอน ลดลง 15 ขั้นตอน โดยลดเวลากระบวนการผลิตก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 171 ชั่วโมง 35 นาที หลังการปรับปรุงใช้เวลา 122 ชั่วโมง 28 นาที สามารถลดเวลาการทำงานลดลง ได้ 49 ชั่วโมง 6 นาที คิดเป็น 28.63%

คำสำคัญ: การปรับปรุงประสิทธิภาพ หลักการลดความสูญเปล่า การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว

Abstract

This paper has presented an approach for efficiency improvement of the brazier manufacturing process, a case study of the brazier factory Ban Dong Mafia by applying ECRS techniques, process chart, and Single Minute Exchange of Die (SMED) to improve processes. There were 65 working steps in the production process before the improvement. After the improvement, there were 50 working steps in the production process, reducing 15 steps by reducing the production time before the improvement took 171 hours. 35 minutes after the improvement takes 122 hours 28 minutes, which can reduce the working time by 49 hours 6 minutes, representing 28.63%.

Keywords: Efficiency Improvement, ECRS, SMED

1. บทนำ

เตาอั้งโล่เป็นเตาหุงต้มที่เป็นที่นิยมใช้ของคนไทยตั้งแต่อดีต แม้แต่ในยุคปัจจุบันมีการนำเอาเตาหุงต้มประเภทอื่นที่มีประสิทธิภาพและมีเทคโนโลยีในการใช้งานที่เหมาะสมกว่าแต่ผู้ใช้งานก็ยังให้ความสำคัญและนิยมใช้เตาอั้งโล่เป็นจำนวนมาก เตาอั้งโล่เป็นภูมิปัญญาที่อยู่คู่คนไทยมาช้านานเชื่อกันว่าการหุงหาอาหารด้วยเตาถ่านจะได้รสชาติที่อร่อยกว่าการใช้เตาแก๊สนั่นเป็นเพราะควันไฟจากถ่านหรือฟืนจะช่วยเพิ่มความหอมตามธรรมชาติให้อาหาร เกือบทุกครัวเรือนจะมีเตาแก๊สใช้กันอย่างแพร่หลาย แต่ความต้องการเตาถ่านหรือเตาอั้งโล่ก็ไม่ได้ลดลง เชื่อว่าแต่ละบ้านจะต้องมีเตาอั้งโล่อยู่ในบ้านอย่างน้อยก็หนึ่งลูก เพราะอาหารบางอย่างจะต้องปิ้งย่างหุงและต้มด้วยเตาถ่านเท่านั้นถึงจะได้รสชาติที่ดี

จังหวัดสกลนครเป็นจังหวัดนาร่องที่ส่งเสริมการใช้และผลิตเตาอั้งโล่จังหวัดหนึ่งมีแหล่งผลิตและจำหน่ายที่บริเวณหมู่บ้านดงมะไฟ ซึ่งเป็นธุรกิจขนาดย่อมสามารถผลิตเตาอั้งโล่ให้มีคุณภาพได้มาตรฐาน แต่ยังขาดระบบบริหารจัดการที่ดีไม่มี การกำหนดหน้าที่และความรับผิดชอบอย่างชัดเจนให้แก่คนงาน อีกทั้งยังไม่มีเครื่องมือที่ทันสมัยต่อการผลิตจำนวนมาก ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตจึงมีความสำคัญเพื่อรับรองความต้องการที่มีเป็นจำนวนมาก โดยโรงงานกรณีศึกษา มียอดขายสินค้าแต่ละเดือนรวมประมาณ 5,000 ใบต่อเดือน ขณะที่กำลังการผลิตต่อเดือนเพียง 4,000 ใบ ซึ่งทำการผลิตทุกวัน ไม่มีวันหยุดแต่ก็ยังไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการ

จากการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ พบว่าแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตนั้นใช้เวลาแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่ามีการสูญเสียเวลาไปเนื่องจากเกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิตทำให้พนักงานเกิดโรคอ้วนในการทำงานแต่ละรอบการผลิต ทำให้สูญเสียเวลาในการทำงาน ดังนั้นจึงควรมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เหมาะสม เพื่อให้สายการผลิตทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการลดความสูญเสียจากการทำงานของ พนักงานให้น้อยลงและปริมาณการผลิตเตาอั้งโล่เพิ่มขึ้น โดยนำเทคนิคการลดความสูญเสีย (ECRS) แผนภูมิกระบวนการผลิต (Process Chart) และการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (SMED) มาปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมเกี่ยวข้อง

2.1 หลักการลดความสูญเสีย (ECRS) เป็นหลักการพื้นฐานในการปรับปรุงกระบวนการทำงานของพนักงาน ประกอบด้วย Eliminate คือ การตัดขั้นตอนการทำงานที่ไม่จำเป็นในกระบวนการออกไป Combine คือ การรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกันเพื่อประหยัดเวลา Rearrange คือ การจัดลำดับงานใหม่ให้เหมาะสม Simplify คือ การปรับปรุงวิธีการทำงานหรือสร้างอุปกรณ์ช่วยให้ทำงานง่ายขึ้น

จากทฤษฎีดังกล่าวได้มีงานวิจัยที่ไปประยุกต์ใช้ เช่น [1] ได้ทำการศึกษาเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพื่อลดความสูญเสียและเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา [2] ได้ทำการปรับปรุงกระบวนการประกอบชิ้นส่วน ลำโพงขนาดเล็กเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการประกอบชิ้นส่วนลำโพง [3] ได้ทำการศึกษาเรื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคการปรับปรุงงาน กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มใบไม้เขียว [4] ได้ทำการลดความสูญเสียในกระบวนการผลิตดอกไม้จันทร์ กรณีศึกษากลุ่มออมทรัพย์เพื่อการผลิตบ้านแหลมเคียน และ [5] ได้ศึกษาการลดเวลาในกระบวนการผลิตด้วยแนวคิดการผลิตแบบลีน กรณีศึกษาการผลิตยางเรเดียล โดยงานวิจัยทั้งหมดนี้ ได้ใช้เทคนิคการลดความสูญเสีย (ECRS) มาช่วยแก้ปัญหา

2.2 แผนภูมิกระบวนการผลิต (Process Chart) เป็นแผนภูมิที่นิยมใช้มาก แผนภูมินี้ใช้วิเคราะห์ขั้นตอนการไหลของ วัตถุดิบ ชิ้นส่วน พนักงาน และอุปกรณ์ที่เคลื่อนไหวในกระบวนการพร้อมกับกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้น ประกอบด้วย การดำเนินงาน (Operation) หมายถึง การปฏิบัติงาน การขนส่ง (Transportation) หมายถึง การเคลื่อนย้ายวัตถุดิบจากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง การตรวจสอบ (Inspection) หมายถึง การตรวจสอบคุณภาพของชิ้นงาน การรอคอย (Delay) หมายถึง ความล่าช้าของงาน การเก็บรักษา (Storage) หมายถึง การเก็บดูแลวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์

2.3 การปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (Single Minute Exchange of Die; SMED) เป็นวิธีการที่ช่วยลดเวลาจนสามารถดำเนินการปรับตั้งเครื่องจักรได้ภายในเวลาในหน่วยนาที่ โดยอาศัยการแยกกิจกรรม หรืองานออกเป็นงานในซึ่ง

จำเป็นต้องทำเมื่อเครื่องจักรหยุด และงานนอกสามารถเตรียมไว้ก่อน โดยไม่ต้องทำระหว่างเครื่องจักรหยุดการทำงาน จากนั้นเปลี่ยนงานในให้เป็นงานนอกและงานในลำดับสุดท้ายทำการเปลี่ยนทุกกิจกรรมให้จ่ายต่อการทำงาน

3. วิธีการดำเนินงาน

3.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการปั้นเตาอั้งโล่ ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้น พบว่าแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตนั้นใช้เวลาแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่ามีการสูญเสียเวลาที่สูญเปล่ามากเกินไป เนื่องจากเกิดความล่าช้าในกระบวนการผลิตทำให้พนักงานเกิดรอยคอในการทำงานแต่ละรอบการผลิต ทำให้สูญเสียเวลาในการทำงาน ส่งผลให้ยอดการผลิตไม่เป็นไปตามแผนที่กำหนด

3.2 เก็บข้อมูลและการรวบรวมขั้นตอนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ ซึ่งวัตถุดิบที่ใช้ในการทำเตาอั้งโล่ประกอบด้วย ดินเหนียวตามธรรมชาติ แกลบดำ/ขี้เถ้าขาว ด่าน้ำ ถึงสังกะสี พลาสติก/ผ้ายาง ฟืน และสีน้ำมัน โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำเตาอั้งโล่ประกอบด้วย กรรไกร ฉาก มีดโค้ง เหล็กฉากเจาะประตูปูน รางเหล็ก กล้องเจาะลึนเตารังผึ้ง ถังน้ำ จอบ พิมพ์เตา บั้งก็ ค้อน ไม้อัดดิน จานตัดลึนรังผึ้ง เหล็กเสียบใต้ลึนเตา พลั่ว และเครื่องปั๊มเบอร์ (ตามขนาดของเตา) การผลิตเตาอั้งโล่มีขั้นตอนการผลิต 7 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

(1) ขั้นตอนการเตรียมดิน ผึ่งดินเหนียวให้แห้ง นำดินเหนียวที่ผึ่งแห้ง ใส่ในบ่อหมักดินใส่น้ำให้น้ำท่วมดินทิ้งไว้ 1 คืน เมื่อดินละลายแล้วตักดิน ผสมแกลบขี้เถ้าอัตราส่วนดิน 1 ส่วนต่อขี้เถ้าดำ 2 ส่วน ลงเครื่องปั่น (โม่ดิน) นำดินที่ผสมขี้เถ้าดำออกมากองไว้คลุมด้วยพลาสติกกันไว้ไม่ให้ถูกลมซึ่งจะทำให้ดินแข็งป็นยาก

(2) ขั้นตอนการปั้นเตา นำดินออกมาจากที่คลุมพลาสติกขนาดพอดีสำหรับการปั้นในแต่ละขนาดเตาแต่ละรุ่นโดยใช้แบบพิมพ์เตา นำดินมาใส่ในแบบพิมพ์เตาใช้มือปาดดินขึ้นรูปตามแบบพิมพ์เตา นำดินถอดออกจากแบบพิมพ์เตานำมาผึ่งลมจนหมาดพอดีอย่าให้ดินแห้งจะทำให้การตัดแต่งรูปทรงทำได้ยาก

(3) ขั้นตอนการปั้นลึนเตาอั้งโล่/รังผึ้ง/ตะแกรงเตาอั้งโล่ นำดินออกมาจากกองที่คลุมพลาสติกขนาดพอดีสำหรับการปั้นลึนเตา นำดินมา 1 ก้อน แล้วใช้มือกดให้แบนให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว ใช้จานตัดลึนตามขนาดต่างๆ กันตามแบบเสร็จแล้วนำไปผึ่งลมพอหมาด ใช้กล้องเจาะลึนเตาเจาะรูให้มีระยะห่างประมาณครึ่งนิ้ว นำมาตากแดดให้แห้ง เพื่อเตรียมเผา

(4) ขั้นตอนการตัดแต่งรูปทรงเตา นำดินที่ขึ้นรูปมาตัดแต่งรูปทรงโดยใช้เครื่องมือเหล็กฉากตัดแต่งรูปทรงให้ได้ขนาดและรูปทรงสวยงาม นำดินที่ตัดแต่งรูปทรงเสร็จแล้วตากแดดให้แห้งสนิท เมื่อเตาดินเผาตากแดดจนแห้งสนิทแล้วก่อนนำเข้าเตาเผาจะนำปากเตามาจุ่มสีแดง (ดินสีแดงผสมน้ำ) เพื่อให้มีสีสันสวยงาม

(5) ขั้นตอนการเผาเตา นำเตาดินเผาจัดเรียงเข้าเตาเผาโดยการเรียงซ้อนกันเป็นตั้งจนเต็มเตา ใส่ฟืนข้างล่างเตาจุดไฟเผาไปเรื่อยๆ อย่านให้ฟืนหมด โดยใช้เวลาประมาณ 1 วัน ปล่อยทิ้งไว้ให้เตาสุกให้ทั่วทั้งเตาสังเกตได้จากเตากลายเป็นสีแดงส้ม ถ้าเผาไม่สุกเตาจะมีสีดำทั้งไว้ 2 วันจึงนำเตาออกจากเตาเผาเตรียมประกอบใส่ถังเตา

(6) ขั้นตอนการทำถังเตา นำแผ่นสังกะสีมาตัดโดยใช้กรรไกรตัดแต่งตามแบบพิมพ์ถังเตา ใช้หมุดเย็บด้านข้างถังเตา 2 ข้างให้ยึดติดกันเป็นรูปทรงกรวย ตัดแผ่นกันเตา ตีเย็บขึ้นรูปเป็นถังเตา

(7) ขั้นตอนการประกอบถังเตา นำเตามาประกอบใส่ถังเตาใส่ดินอัดรอบๆ ข้างให้เต็มตัดแต่งปากเตาให้สวยงาม นำปูนซีเมนต์ผสมน้ำมาฉาบปิดขอบและกันเตา ใส่หูเตาสำหรับเป็นที่จับหรือยก เตรียมพร้อมสำหรับจำหน่าย

4. ผลการดำเนินงานและอภิปรายผล

4.1 วิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการขึ้นเตาอังโล่ โดยการประเมินกระบวนการปัจจุบันด้วยแผนภูมิกระบวนการและการแยกงานด้วยเทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (SMED) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แผนภูมิการผลิตและการแยกงานด้วย SMED ก่อนปรับปรุง

ลำดับ ที่	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภท					เวลา (นาที)	งาน	
		●	➔	D	■	▼		นอก	ใน
1.	เดินไปเอารถเข็นที่โรงเผาเตา						1.12	×	
2.	ตัดดินใส่รถเข็น						2.73		×
3.	นำดินไปเทในบ่อแช่ดิน						0.86		×
4.	เดินไปเอาสายยาง						1.17	×	
5.	นำสายยางไปต่อกับก๊อกน้ำ						0.61		×
6.	เติมน้ำใส่บ่อจนเต็ม						8.76		×
7.	แช่ดินไว้ 1 คืน						1,440		×
8.	เดินไปเอาแถบตามาใส่ดินที่แช่ไว้						3.27	×	
9.	นำดินผสมแถบตามาลงเครื่องปั้น						2.59		×
10.	รอให้ดินและแถบตามาเป็นเนื้อเดียวกัน						5.82		×
11.	นำดินออกจากเครื่องปั้น						2.35		×
12.	เดินไปเอาที่ถุงคลุมพลาสติก						0.68	×	
13.	นำถุงคลุมพลาสติกคลุมดินกันไม่ให้ดินแห้ง						0.23		×
14.	เดินไปเอาแถบขาวที่โรงเผาเตา						1.34	×	
15.	เทแถบขาวใส่ภาชนะ						0.10		×
16.	ใส่แถบขาวรอบๆ แม่พิมพ์เพื่อให้ดินติดพิมพ์						0.05		×
17.	นำดินใส่แม่พิมพ์แล้วปั้นเป็นรูปทรง						0.78		×
18.	นำเตาที่ปั้นได้ไปวางไว้						0.35		×
19.	ตรวจสอบ						0.05		×
20.	นำเตาที่ฝั่งแล้วมาตัดแต่งรูป						2.07		×
21.	ตรวจสอบ						0.10		×
22.	นำเตาไปตากให้แห้ง						1.54		×
23.	รอให้เตาแห้ง						1,440		×
24.	นำเตาที่แห้ง						7.60		×
25.	จัดเรียงเตาเพื่อทำการเผา						36.43		×
26.	ปล่อยทิ้งไว้ 2 วัน						2,880		×
27.	นำเตาออกจากเตาเผา						33.81		×
28.	ตรวจสอบ						0.50		×
29.	เดินไปเอาแถบขาวที่โรงเผาเตา						1.15	×	
30.	ใส่แถบขาวรอบๆ แม่พิมพ์กันไม่ให้ดินติดแม่พิมพ์						0.05		×
31.	นำดินใส่แม่พิมพ์ปั้นล้นเตา กดให้แบน						0.27		×
32.	นำล้นเตาไปวางไว้						0.13		×
33.	ตรวจสอบ						0.04		×
34.	นำล้นเตาที่ปั้นไว้มาเจาะรู						1.86		×
35.	ตรวจสอบ						0.12		×
36.	นำล้นเตาที่ได้ไปตากให้แห้ง						1.48		×

ลำดับ ที่	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภท					เวลา (นาที)	งาน	
		●	➔	D	■	▼		นอก	ใน
37.	รอให้ลื่นเตาแห้ง			●			1,440		×
38.	ตรวจสอบ			●			0.05		×
39.	นำลื่นเตาไปเผา		●				6.65		×
40.	ปล่อยทิ้งไว้ 2 วัน			●			2,880		×
41.	นำลื่นเตาออกจากเตาเผา	●					35.76		×
42.	ตรวจสอบ			●			0.09		×
43.	นำเตาและลื่นเตาใส่รถเข็น	●					5.48		×
44.	นำเตาและลื่นเตาที่เผาแล้วไปที่โรงประกอบเตา		●				1.26		×
45.	ขนเตาและลื่นเตาลงจากรถเข็น	●					5.81		×
46.	เดินไปเอาแกลบ		●				2.37	×	
47.	นำแกลบมากองไว้	●					1.21	×	
48.	เดินไปเอาดินเหนียว		●				3.62	×	
49.	นำดินเหนียวมากองไว้	●					1.63	×	
50.	ผสมดินเหนียวกับแกลบให้เข้ากัน	●					3.58	×	
51.	นำสังกะสีมาตัด	●					2.76		×
52.	ใช้หมุดเย็บด้านข้าง	●					0.54		×
53.	ตรวจสอบ			●			0.05		×
54.	นำสังกะสีที่ประกอบได้ประกอบใส่เตา	●					0.69		×
55.	นำดินเหนียวผสมแกลบใส่กันเตา		●				0.46		×
56.	อัดดินรอบๆ ข้างให้เต็ม	●					1.37		×
57.	ตรวจสอบ			●			0.21		×
58.	แต่งปากเตาให้สวยงาม	●					0.62		×
59.	นำปูนซีเมนต์ผสมน้ำ	●					2.48		×
60.	ฉาบปิดขอบเตา	●					1.56		×
61.	เทปูนปิดกันเตา	●					0.37		×
62.	ตรวจสอบ			●			0.18		×
63.	ใส่หูเตาสำหรับยก	●					0.82		×
64.	ตรวจสอบ			●			0.11		×
65.	จัดเก็บเตาเพื่อจัดจำหน่าย				●		1.23		×
รวม		30	17	6	11	1	10,281.27	11	54

จากตารางที่ 1 การแยกงานในและงานนอกด้วยเทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (SMED) พบว่า ขั้นตอนที่สามารถเตรียมไว้ล่วงหน้า โดยไม่จำเป็นต้องทำในขั้นตอนการทำงานแล้ว คือ ขั้นตอนที่ 1, 4, 8, 12, 14, 29, 46, 47, 48, 49 และ 50 และจากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปกิจกรรมที่เกิดขึ้นได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์แผนภูมิการผลิตก่อนปรับปรุง

กิจกรรม	ความหมาย	จำนวนกิจกรรม	เวลา (นาที)	งานนอก	งานใน
	การปฏิบัติงาน	30	156.39	3	27
	การเคลื่อนย้าย	17	36.38	8	9
	การรอคอย	6	10,085.82	0	6
	การตรวจสอบ	11	1.45	0	11
	การจัดเก็บ	1	1.23	0	1
รวม		65	10,281.27	11	54

ตารางที่ 2 พบว่ามีขั้นตอนปฏิบัติงาน 30 ขั้นตอน การเคลื่อนย้าย 17 ขั้นตอน การรอคอย 6 ขั้นตอน การตรวจสอบ 11 ขั้นตอน การจัดเก็บ 1 ขั้นตอน และมีงานนอก 11 ขั้นตอน งานใน 54 ขั้นตอน ซึ่งพบว่าการเคลื่อนย้ายที่เกิดขึ้นโดยมีการเดินทางที่ไม่จำเป็น เช่น การเดินไปเอาแกลบ การเดินไปหยิบสายยาง เป็นต้น

4.2 การหาแนวทางปรับปรุงการทำงาน ซึ่งจากผลการประเมินกระบวนการผลิตปัจจุบันด้วยเทคนิคการปรับปรุงงานด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว ก็นำเทคนิคลดความสูญเสียเปล่ามาใช้ในการปรับปรุงงานที่เหลือ ซึ่งเป็นงานในที่ต้องทำในกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ โดยผลการทำการปรับปรุงด้วยเทคนิคลดความสูญเสียเปล่า แสดงดังตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบการลดความสูญเสียเปล่าก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการลดความสูญเสียเปล่า

ลำดับ	วิธีการปัจจุบัน	ก่อนปรับปรุง	วิธีการปรับปรุง	หลังปรับปรุง
E	เดินไปเอาแกลบดำ/แกลบขาว		เตรียมแกลบดำ/แกลบขาวใส่ถุงไว้ล่วงหน้าเพื่อที่จะไม่ได้เดินไปเอา	
C	ขั้นตอนเผาเตากับลั่นเตาเผาแยกกัน		รวมขั้นตอนเผาเตากับเผาลั่นเตาเข้าด้วยกันเพราะขั้นตอนเผาสามารถวางลั่นเตาไว้ด้านบนเตาได้	
R	เดินไปเอาสายยางมาที่ก๊อกน้ำ		ย้ายสายยางมาไว้ใกล้ก๊อกน้ำ	
S	ใช้กล่องเจาะรูลั่นเตาทีละรู		แนะนำให้เปลี่ยนที่เจาะรูใหม่ให้เจาะได้ทั้งหมดครั้งเดียว	

จากการใช้เทคนิคลดความสูญเสียเปล่า พบว่ามีขั้นตอนทั้งหมด 14 ขั้นตอนที่สามารถลดเวลาได้ ดังนี้

Eliminate ตามขั้นตอน E โดยการกำจัดขั้นตอนดังกล่าวและนำไปทำเป็นงานนอกมีขั้นตอนดังนี้ คือ 1) เดินไปเอารถเข็นเพื่อที่โรงเผาเตา 8) เดินไปเอาแกลบดำมาใส่ดินที่แช่ไว้ 12) เดินไปเอาที่ถุงคลุมพลาสติก 14) เดินไปเอาแกลบขาวที่โรงเผาเตา 29) เดินไปเอาแกลบขาวที่โรงเผาเตา 46) เดินไปเอาแกลบ 47) นำแกลบมากองไว้ 48) เดินไปเอาดินเหนียว 49) นำดินเหนียวมากองไว้ 50) ผสมดินเหนียวกับแกลบให้เข้ากัน

Combine ตามขั้นตอน C โดยการรวมขั้นตอนเผาเตากับเผาลิ้นเตาเข้าด้วยกันเพราะขั้นตอนเผาสามารถวางลิ้นเตาไว้ด้านบนของเตาได้ ซึ่งปรับปรุงในขั้นตอนที่ 24) นำเตาที่แห้งไปเข้าโรงเผา 39) นำลิ้นเตาไปเผา

Rearrange ตามขั้นตอน R โดยการนำอุปกรณ์มาไว้ใกล้กับสถานที่ทำงาน ลดเวลาด้วยการทำให้ง่ายขึ้น คือ การนำย้ายสายยางมาไว้ใกล้กับก๊อกน้ำ ซึ่งปรับปรุงในขั้นตอนที่ 4 เดินไปเอาสายยาง

Simplify ตามขั้นตอน S โดยการเปลี่ยนวิธีการทำงานและสร้างอุปกรณ์ช่วยให้ทำงานง่ายขึ้น คือ เปลี่ยนจากใช้กล้องเจาะที่ละรูเป็นเครื่องเจาะหลายรูในที่เดียว ซึ่งปรับปรุงในขั้นตอนที่ 34 นำลิ้นเตาที่ปั้นไว้มาเจาะรู

หลังจากการปรับปรุงการขั้นตอนการทำงาน ได้นำข้อมูลมาประเมินอีกครั้งด้วยแผนภูมิกระบวนการผลิต โดยแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แผนภูมิกระบวนการผลิตหลังปรับปรุงการทำงาน

ลำดับ ที่	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภท					เวลา (นาที)
		●	➡	D	■	▼	
1.	ตักดินใส่รถเข็น	●					2.73
2.	นำดินไปเทในบ่อแช่ดิน		➡				0.86
3.	นำสายยางไปต่อกับก๊อกน้ำ	●					0.61
4.	เติมน้ำใส่บ่อจนเต็ม	●					8.76
5.	แช่ดินไว้ 1 คืน					▼	1,440
6.	นำดินผสมแกลบดำมาลงเครื่องปั่น	●					2.59
7.	รอให้ดินและแกลบดำเป็นเนื้อเดียวกัน					▼	5.82
8.	นำดินออกจากเครื่องปั่น	●					2.35
9.	นำถุงคลุมพลาสติกคลุมดินกันไม่ให้ดินแห้ง	●					0.23
10.	เทแกลบขาวใส่ภาชนะ	●					0.10
11.	ใส่แกลบขาวรอบๆ แม่พิมพ์เพื่อไม่ให้ดินติดพิมพ์	●					0.05
12.	นำดินใส่แม่พิมพ์แล้วปั้นเป็นรูปทรง	●					0.78
13.	นำเตาที่ปั้นได้ไปวางไว้		➡				0.35
14.	ตรวจสอบ				■		0.05
15.	นำเตาที่ฝั่งแล้วมาตัดแต่งรูป	●					2.07
16.	ตรวจสอบ				■		0.10
17.	นำเตาไปตากให้แห้ง		➡				1.54
18.	รอให้เตาแห้ง					▼	1,440
19.	นำเตาและลิ้นเตาที่แห้งไปเข้าโรงเผา	●					7.60
20.	จัดเรียงเตาและลิ้นเตาเพื่อทำการเผา	●					36.43
21.	ปล่อยให้ทิ้งไว้ 2 วัน					▼	2,880
22.	นำเตาและลิ้นเตาออกจากเตาเผา	●					33.81
23.	ตรวจสอบ				■		0.50
24.	ใส่แกลบขาวรอบๆ แม่พิมพ์กันไม่ให้ดินติดแม่พิมพ์	●					0.05
25.	นำดินใส่แม่พิมพ์ปั้นลิ้นเตาให้แบน	●					0.27
26.	นำลิ้นเตาไปวางไว้		➡				0.13
27.	ตรวจสอบ				■		0.04
28.	นำลิ้นเตาที่ปั้นไว้มาเจาะรู	●					1.86
29.	ตรวจสอบ				■		0.12
30.	นำลิ้นเตาที่ได้ไปตากให้แห้ง		➡				1.48
31.	รอให้ลิ้นเตาแห้ง					▼	1,440

ลำดับ ที่	ขั้นตอนการทำงาน	ประเภท					เวลา (นาทิจ)
		●	➡	D	■	▼	
32.	ตรวจสอบ				●		0.05
33.	นำเตาและลิ้นเตาใส่รถเข็น	●					5.48
34.	นำเตาและลิ้นเตาที่เผาแล้วไปที่โรงประกอบเตา		●				1.26
35.	ขนเตาและลิ้นเตาลงจากรถเข็น	●					5.81
36.	นำลังกะสีมาตัด	●					2.76
37.	ใช้หมุดเย็บด้านข้าง	●					0.54
38.	ตรวจสอบ				●		0.05
39.	นำลังกะสีที่ประกอบได้ประกอบใส่เตา	●					0.69
40.	นำดินเหนียวผสมกลับใส่กันเตา	●					0.46
41.	อัดดินรอบๆ ข้างให้เต็ม	●					1.37
42.	ตรวจสอบ				●		0.21
43.	แต่งปากเตาให้สวยงาม	●					0.62
44.	นำปูนซีเมนต์ผสมน้ำ	●					2.48
45.	ฉาบปิดขอบเตา	●					1.56
46.	เทปูนปิดกันเตา	●					0.37
47.	ตรวจสอบ				●		0.18
48.	ใส่หูเตาสำหรับยก	●					0.82
49.	ตรวจสอบ				●		0.11
59.	จัดเก็บเตาเพื่อจัดจำหน่าย					●	1.23
รวม		27	7	5	10	1	7,338.93

จากแผนภูมิกระบวนการผลิตหลังปรับปรุงการทำงาน สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์แผนภูมิการผลิตหลังปรับปรุง

กิจกรรม	ความหมาย	จำนวนกิจกรรม	เวลา (นาทิจ)		เวลาที่ลดลง (นาทิจ)
			ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
●	การปฏิบัติงาน	27	156.39	115.65	40.74
➡	การเคลื่อนย้าย	7	36.38	13.22	23.16
D	การรอคอย	5	10,085.82	7,205.82	2,880.00
■	การตรวจสอบ	6	1.45	1.41	0.04
▼	การจัดเก็บ	1	1.23	1.23	0.00
รวม		50	10,281.27	7,337.33	2,943.94

4.3 อภิปรายผลการดำเนินงาน

จากผลการปรับปรุงวิธีการทำงานกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ ตามแนวทางการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (SMED) และแนวทางการลดความสูญเสียเปล่า (ECSR) พบว่าเวลารวมลดลง 49 ชั่วโมง 6 นาที ซึ่งลดจาก 171 ชั่วโมง 35 นาที เป็น 122 ชั่วโมง 28 นาที โดยเกิดจากการลดลงของเวลาสูญเสียเปล่า เช่น การรอคอย การตรวจสอบ การเก็บพัก การเคลื่อนย้าย และการทำงานบางส่วน ซึ่งเวลาที่ลดลงมากที่สุดอยู่ในหมวดการปฏิบัติงาน โดยลดลงจาก 156.39 นาที เหลือ 115.65 นาที

จากเวลาก่อนการปรับปรุง เวลาในการตรวจสอบลดลงจาก 1.45 นาที เป็น 1.41 นาที เวลาในการรอคอยลดลงจาก 168 ชั่วโมง 9 นาที เป็น 120 ชั่วโมง 9 นาที และเวลาในการเคลื่อนย้ายลดลงจาก 36.38 นาที เป็น 13.22 นาที

ทั้งนี้จะสามารถลดเวลาการทำงานลงได้จากการปรับปรุงด้วยแนวทางการเปลี่ยนงานในเป็นงานนอก โดยการเตรียมอุปกรณ์และการนำส่วนผสมมาเตรียมไว้ก่อน เพื่อลดเวลาการเดินและเคลื่อนย้ายตามเทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว (SMED) และการปรับปรุงด้วยเทคนิคลดความสูญเสียเปล่า (ECRS) เช่น การเปลี่ยนวิธีการทำงานและสร้างอุปกรณ์ช่วยให้ทำงานง่ายขึ้น คือ เปลี่ยนจากใช้กล่องเจาะที่ละรูเป็นเครื่องเจาะหลายรูในครั้งเดียว

5. สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

แนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ วิทยาลัยการช่างปิ้งเตาบ้านดงมะไฟ ได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการลดความสูญเสียเปล่า (ECRS) แผนภูมิกระบวนการผลิต (Process Chart) และการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็ว ซึ่งสามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สรุปผลการทำงานก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

กิจกรรม	กิจกรรม ก่อนปรับปรุง	กิจกรรม หลังปรับปรุง	เวลา (นาที)		เวลาที่ลดลง (นาที)	คิดเป็น
			ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		
	31	27	156.39	115.65	40.74	26.05%
	16	7	36.38	13.22	23.16	63.66%
	6	5	10,085.82	7,205.82	2,880.00	28.55%
	11	6	1.45	1.41	0.04	2.75%
	1	1	1.23	1.23	0.00	0%
รวม	65	50	10,281.27	7,337.33	2,943.94	28.63%

ผลการศึกษาสภาพการทำงานจริงกรณีศึกษา พบว่ามีขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิตเตาอั้งโล่ ก่อนทำการปรับปรุงมี 65 ขั้นตอน มีการเคลื่อนย้ายที่เกิดขึ้นโดยมีการเดินทางที่ไม่จำเป็น จากปรับปรุงวิธีการทำงานทำให้ลดขั้นตอนการทำงานในกระบวนการผลิตลง 15 ขั้นตอน เหลือ 50 ขั้นตอน ประสิทธิภาพด้านการลดเวลาการทำงาน โดยรวมของทั้งสายการผลิตก่อนการปรับปรุงใช้เวลา 171 ชั่วโมง 35 นาที หลังการปรับปรุงใช้เวลา 122 ชั่วโมง 28 นาที สามารถลดเวลาการทำงานลดลงได้ 49 ชั่วโมง 6 นาที คิดเป็น 28.63 %

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ประกอบการโรงปั้นเตาอั้งโล่กรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลและขอขอบคุณพนักงานโรงปั้นเตาอั้งโล่ที่ให้ความร่วมมือ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] คลอเคลีย วจนะวิชากร, ปานจิต ศรีสวัสดิ์, วรัญญู ทิพย์ โพธิ์ (2559), “การปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเพื่อลดความสูญเสียเปล่าและเพิ่มคุณภาพผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา กรณีศึกษาชุมชนเครื่องปั้นดินเผาปากห้วยวังนอง จังหวัดอุบลราชธานี”, วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2559, หน้า 38-46.

- [2] ประสงค์ โพนาคา และพีรเดช สุวิทย์รักษ์, “การปรับปรุงกระบวนการประกอบชิ้นส่วนลำโพงขนาดเล็ก”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, ประจำปี พ.ศ. 2559, 7-8 กรกฎาคม 2559, หน้า 723-732.
- [3] คณิศร ภูนิคม, “การปรับปรุงประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตด้วยเทคนิคการปรับปรุงงาน กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มใบไม้เขียว”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม, ประจำปี พ.ศ. 2560, 12-15 กรกฎาคม 2560, หน้า 150-155.
- [4] คุณยา ศรีโยม และพิเชษฐ์ จันทวี, “การลดความสูญเสียเปล่าในกระบวนการผลิตดอกไม้จันทน์ กรณีศึกษา กลุ่มออมทรัพย์เพื่อการผลิตบ้านแหลมเคียน”, การประชุมมหาดไทยวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 9, 20-21 กรกฎาคม 2561, หน้า 1387-1395.
- [5] ณัฐนันท์ อีสระพงศ์, รัชฎา แต่งภูเขียว, ปิยณัฐ โตอ่อน ,อุ้มบุญ เหลียงรัชต์ชัย และพรศิริ คำหล้า , “การลดเวลาในกระบวนการผลิตด้วยแนวคิดการผลิตแบบลีน: กรณีศึกษาการผลิตยางเรเดียล”, วารสารวิชาการสมาคมสถาบันอุดมศึกษาเอกชนแห่งประเทศไทย ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 8, 1 (ม.ค.-มิ.ย. 2562), หน้า 76-90.

การพัฒนาและสร้างเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพ่วงสามจุด

Development and construction of a three-point tethered lemongrass planter

สมมาตร ศรีประเทือง^{1*} ศราวุธ จันทร์กลาง¹

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี วิทยาเขตจันทบุรี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Sommart Sripratuang^{1*} Sarawut Junklang¹

¹Department of Industrial Engineering, Establishment Project Faculty of Integrated Engineering and
Technology, Chanthaburi Campus, Rajamangala University of Technology Tawan-Ok

*Corresponding author Email: sommart_sr@rmutto.ac.th

(Received: January 31, 2024 / Revised: June 18, 2024 / Accepted: June 21, 2024)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาพัฒนาเครื่องปลูกตะไคร้ คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้การออกแบบพัฒนาตัวเครื่องและนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องก่อนพัฒนา เพื่อหาปัจจัยที่ดีที่สุดและลดต้นทุนการผลิตในการปลูกตะไคร้ โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย 2 ปัจจัยคือ 1) การหาค่าเฉลี่ยอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในระยะทางการวิ่งเท่ากัน 2) การหาประสิทธิภาพในการปลูกระยะทางเท่ากันแต่ความเร็วในการวิ่งต่างกัน โดยใช้เกียร์ L2 L3 และ L4 ความเร็วรอบเครื่องที่ 1,500 ,2,000 และ 2,500 รอบต่อนาที ในการทดลองทั้งหมด 27 ครั้ง โดยระยะห่างของต้นตะไคร้จะอยู่ที่ 120 เซนติเมตร จากการทดลองทั้งหมด จะเห็นได้ว่าผลการทดลองเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพ่วงสามจุดนั้นมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่เกียร์ L2 ที่ 2,000 รอบต่อนาที คิดเป็น 98.72 % สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้หลังการพัฒนาจากเครื่องเดิมตามวัตถุประสงค์ โดยใช้แรงงานคนเพียง 1 คน ใช้เวลาในการปลูก 38 นาที/ไร่ ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 2.34 ลิตร/ไร่ โดยการทดสอบทั้งหมด 27 ครั้ง ใช้ระยะทางการวิ่ง 16 เมตรเท่ากัน ใช้ความเร็วที่เกียร์ L2 ซึ่งจะมีความเร็วรอบเครื่องอยู่ที่ 2,000 รอบต่อนาที มีจำนวนตัวอย่างทั้งหมด 702 ต้น

คำสำคัญ: พัฒนาเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพ่วงสามจุด, ประสิทธิภาพ

Abstract

This experiment is an experiment to study and develop a lemongrass planter. The research team therefore chose to use the design and development of the machine and compared it with the pre-developed machine. To find the best factors and reduce production costs in growing lemongrass. The factors used in the experiment consisted of 2 factors: 1) Average fuel consumption in the same running distance 2) Efficiency in planting at the same distance but different running speeds was carried out by using gears L2, L3 and L4, engine speed at 1,500, 2,000, 2,500 Revolutions per minute in a total of 27 experiments where the distance of lemongrass plants was 120 centimetres. From all the experiments, it can be seen that the experimental results of the three-point lemongrass planter were the highest efficiency is L2 2,000 Revolutions per minute at 98.72%. The production cost could be reduced after the development of the original machine according to the objectives. using only 1person Planting time was 38 minutes/rai, fuel

consumption was 2.34 liters/rai. A total of 27 tests were conducted, using the same distance of 16 meters, using the speed of L2, which had a engine speed of 2,000 Revolutions per minute. 702 plants.

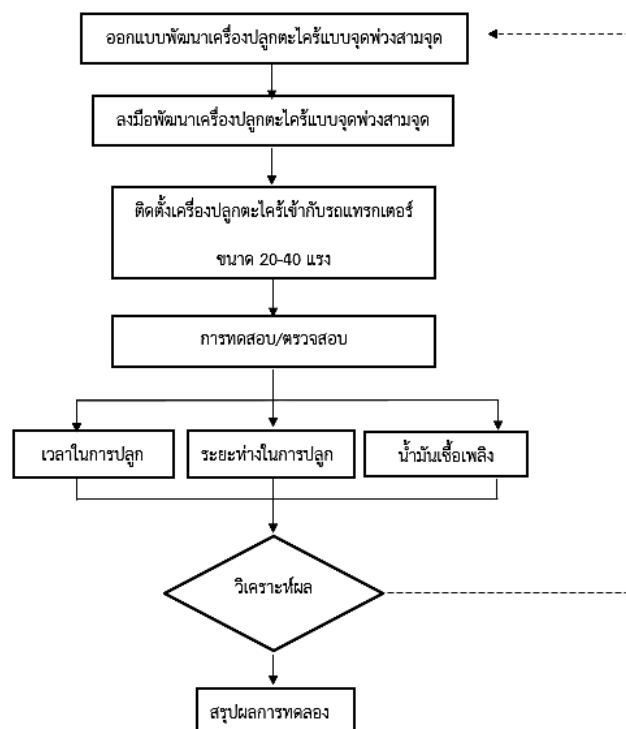
Keywords: Development three point attachment of lemongrass planter, Efficiency

1. บทนำ

ตะไคร้ หนึ่งในพืชสวนครัวที่มักจะต้องมีปลูกกันทุกบ้าน ใช้ตัวยำทำแกงบริโกค ทั้งธุรกิจสปา มีผลผลิตจากต้นและใบ ตะไคร้ สกัดน้ำมันหอมระเหย ฯลฯ ปริมาณของการใช้ตะไคร้จึงเกิดความต้องการอย่างต่อเนื่อง อาชีพการปลูกตะไคร้จึงมีการขยายพื้นที่ปลูกมากขึ้นตามความต้องการของตลาด แต่กระบวนการปลูกที่ต้องใช้แรงงานคนเป็นหลัก อาจพบเจอกับปัญหาการขาดแคลนแรงงาน หรือ จ้างแรงงานมาแล้วเสียค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนการปลูกมากเกินไปจนเกิดความจำเป็น จึงเป็นที่มาของการออกแบบสร้างและพัฒนาเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพ่วงสามจุด เพื่อลดแรงงานคนในการทำงาน จากปกติการปลูกตะไคร้ 10 ไร่ อาจต้องใช้คนงาน 6-10 คน ใช้เวลาเป็นวันหรือนานกว่านั้นในการปลูก แต่เครื่องปลูกตะไคร้ที่พัฒนาขึ้นจะใช้ระบบนิวเมติกส์ในการปลูกต้นตะไคร้ลงดินเพื่อปลูกแทน ใช้คนงานเพียงแค่ 1 คน ซึ่งสามารถเพิ่มความเร็วในการปลูกส่งผลให้นำไปสู่การเพิ่มผลผลิตของเกษตรกร ลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานคน และลดต้นทุนด้านการผลิตในขั้นตอนการปลูกตะไคร้ได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องจักรปลูกตะไคร้ซึ่งพัฒนาจากเครื่องต้นแบบโดยการนำเอาระบบนิวเมติกส์มาช่วยในการป้อนต้นพันธุ์ตะไคร้ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถลดปัญหาการขาดแคลนแรงงานและลดต้นทุนด้านการผลิตได้

2. วิธีการดำเนินงาน



รูปที่ 1 แผนผังการกำหนดขั้นตอนการทดลอง

2.1 วัสดุและวิธีการทดสอบ

การออกแบบพัฒนาเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพ่วงสามจุดจากปัจจัยที่วิเคราะห์จากเงื่อนไข ข้อจำกัดและปัญหาของการปลูกตะไคร้ก่อนพัฒนา พบว่าการปลูกตะไคร้จะปลูกได้โดยใช้แรงงาน 2 คน คือคนขับรถแทรกเตอร์และคนนั่งบนเครื่องปลูกตะไคร้เพื่อปักต้นตะไคร้ ในการวิ่งปลูกหนึ่งรอบสามารถปลูกได้เพียงหนึ่งแถว ทำให้การปลูกอาจใช้เวลาและทำให้มี

ค่าใช้จ่ายต่อการปลูกมากเกินจำเป็น

คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะออกแบบพัฒนาต่อยอดเครื่องปลูกตะไคร้ต้นแบบ เพื่อให้ในการวิ่งหนึ่งรอบสามารถปลูกได้สองแถว และใช้ระบบนิวเมติกส์เพื่อให้เครื่องสามารถปักต้นตะไคร้ลงดินอัตโนมัติเป็นการลดแรงงานคนลงอีกหนึ่งคน เพิ่มประสิทธิภาพในการปลูกและลดต้นทุนในการปลูก



รูปที่ 2 เครื่องจักรปลูกตะไคร้ต้นแบบก่อนพัฒนา

2.2 ขั้นตอนการสร้างเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพวงสามจุด

ในการดำเนินการพัฒนาสร้างเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพวงสามจุดจะต้องคำนึงถึงวัสดุและอุปกรณ์ที่จะ นำมาใช้เพื่อให้มีความเหมาะสมกับการทำงาน อีกทั้งวัสดุที่เลือกใช้จะต้องมีคุณสมบัติตรงตามการนำไปใช้งาน และนอกจากนั้นต้องเป็นวัสดุที่ได้มาตรฐานและมีจำหน่ายตามท้องตลาดทั่วไป

- 1) ออกแบบล้อกับกลไกหลักของเครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3
- 2) พัฒนาระบบปล่อยต้นตะไคร้กับระบบลำเลียงต้นตะไคร้ไปชุดปลูก ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ออกแบบล้อกับกลไกหลักของเครื่อง

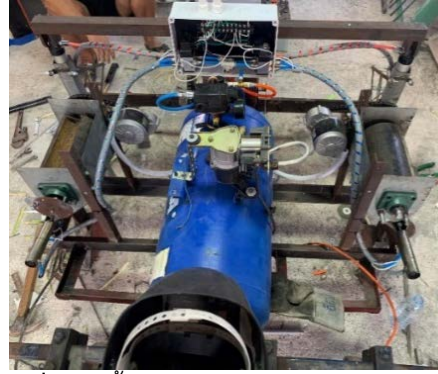


รูปที่ 4 ระบบปล่อยต้นตะไคร้กับระบบลำเลียงต้นตะไคร้

- 3) ทำระบบชุดปลูกต้นตะไคร้ ดังแสดงในรูปที่ 5
- 4) ติดตั้งระบบนิวเมติกส์ของเครื่องปลูกต้นตะไคร้ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 ระบบชุดปลูกต้นตะไคร้



รูปที่ 6 ติดตั้งระบบนิวเมติกส์สำหรับต้นพันธุ์ตะไคร้

5) ติดตั้งอุปกรณ์กลต้นตะไคร้หลังจากปลูกแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 อุปกรณ์กลต้นตะไคร้



รูปที่ 8 เครื่องปลูกตะไคร้ติดท้ายรถแทรกเตอร์หลังจากพัฒนา

3. ขั้นตอนการทดลองและเก็บผล

- 3.1 เตรียมดินสำหรับการปลูกต้นตะไคร้ โดยการใช้รถแทรกเตอร์ไถพรวนดิน
- 3.2 เตรียมอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลอง
- 3.3 วัดระยะทางในการทดลอง 16 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 วัดระยะทาง

3.4 ติดตั้งเครื่องปลูกตะไคร้กับรถแทรกเตอร์ขนาด 35 แรงม้า ดังแสดงในรูปที่ 10

3.5 ทำการต่อสายน้ำมันเชื้อเพลิงกับสลิ้งขนาด 100 มิลลิลิตร เข้าตัวเครื่องรถแทรกเตอร์เพื่อวัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 10 ติดตั้งเครื่องกับรถแทรกเตอร์



รูปที่ 11 ทำการต่อสายน้ำมันเชื้อเพลิงกับสลิ้ง

3.6 เติมน้ำมันใส่สลิ้งจำนวน 100 มิลลิลิตร

3.7 นำต้นพันธุ์ตะไคร้ที่มีความโตประมาณ 1.5 ถึง 2 เซนติเมตร ยาวประมาณ 20 เซนติเมตร ลงเครื่องปลูกดังแสดงในรูปที่ 12

3.8 ทดลองปลูก ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 12 ต้นพันธุ์ตะไคร้เตรียมปลูก



รูปที่ 13 ทดลองปลูก

3.9 จับเวลาที่ใช้ในการปลูก โดยการวิ่งหนึ่งรอบใช้ระยะเวลาในการวิ่งปลูกเฉลี่ย 46.22 วินาที

3.10 ปักธงแดงกรณีมีต้นล้ม/เสีย ดังแสดงในรูปที่ 14



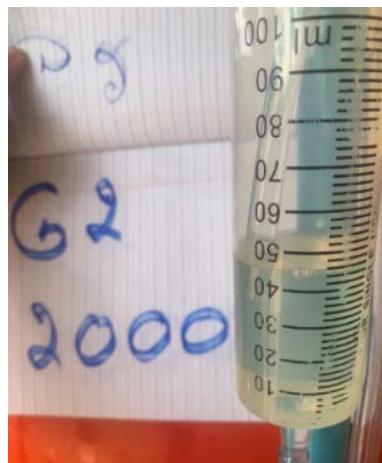
รูปที่ 14 ปักธงแดงกรณีมีต้นล้ม

3.11 วัดระยะความห่างของต้นโดยระยะความห่างของต้นอยู่ที่ 120 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 วัดระยะความห่างของต้น

3.12 บันทึกอัตราบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิงในการวิ่งปลูก 1 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 16 แสดงอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

4. ผลการดำเนินงาน

การวิจัยพัฒนาเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพ่วงสามจุดเพื่อลดระยะเวลาในการปลูกและลดจำนวนแรงงาน คณะผู้วิจัยจึงเลือกใช้การออกแบบหาปัจจัยที่ดีที่สุด โดยพัฒนาเครื่องให้สามารถปลูกได้ 2 แถว โดยการใช้ระบบนิวแมติกส์ในการทำงาน และทำการทดลองทั้งหมด 3 เกียร์ แต่ละเกียร์วิ่งทดลอง 3 ครั้ง ระยะทาง 16 เมตร ใช้รถแทรกเตอร์ความเร็วรอบ 3 ความเร็ว

รอบ ได้แก่ 1500 2000 2500 รอบต่อนาที

4.1 การทดลองครั้งนี้มีการทดลองวิ่งทั้งหมด 3 เกียร์ ระยะทาง 16 เมตร เท่ากัน

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองเกียร์ L2 ระยะทาง 16 เมตร

L2								
รอบ เครื่อง	เวลา ที่ใช้	น้ำมัน ที่ใช้	รอบที่ 1		รอบที่ 2		รอบที่ 3	
			ตันดี	ตันเสีย	ตันดี	ตันเสีย	ตันดี	ตันเสีย
1,500	52	52 mL	17	9	20	6	15	11
2,000	46	55 mL	26	0	26	0	25	1
2,500	43	59 mL	13	13	10	16	11	15

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองเกียร์ L3 ระยะทาง 16 เมตร

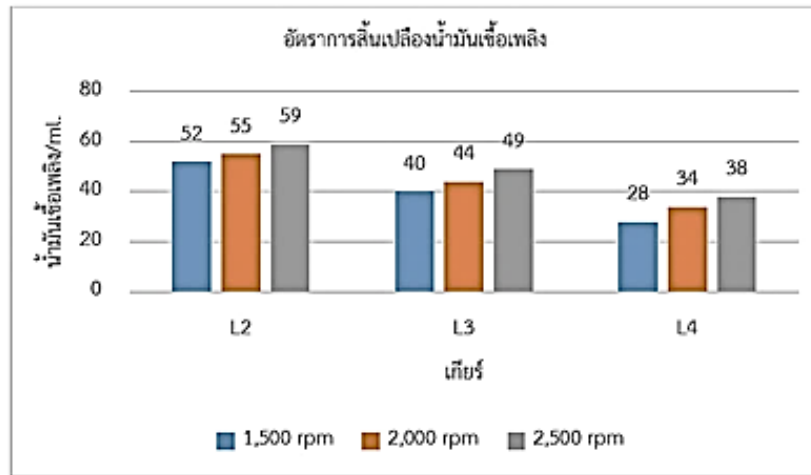
L3								
รอบ เครื่อง	เวลา ที่ใช้	น้ำมัน ที่ใช้	รอบที่ 1		รอบที่ 2		รอบที่ 3	
			ตันดี	ตันเสีย	ตันดี	ตันเสีย	ตันดี	ตันเสีย
1,500	30	40 mL	6	20	7	19	3	23
2,000	28	44 mL	8	18	5	21	6	20
2,500	25	49 mL	5	21	5	21	4	22

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองเกียร์ L4 ระยะทาง 16 เมตร

L4								
รอบ เครื่อง	เวลา ที่ใช้	น้ำมัน ที่ใช้	รอบที่ 1		รอบที่ 2		รอบที่ 3	
			ตันดี	ตันเสีย	ตันดี	ตันเสีย	ตันดี	ตันเสีย
1,500	22	28 mL	4	22	1	25	2	24
2,000	18	34 mL	1	25	2	24	0	26
2,500	16	38 mL	2	24	1	25	1	25

4.2 ผลทดลองอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงในการวิ่งปลูก 16 เมตร

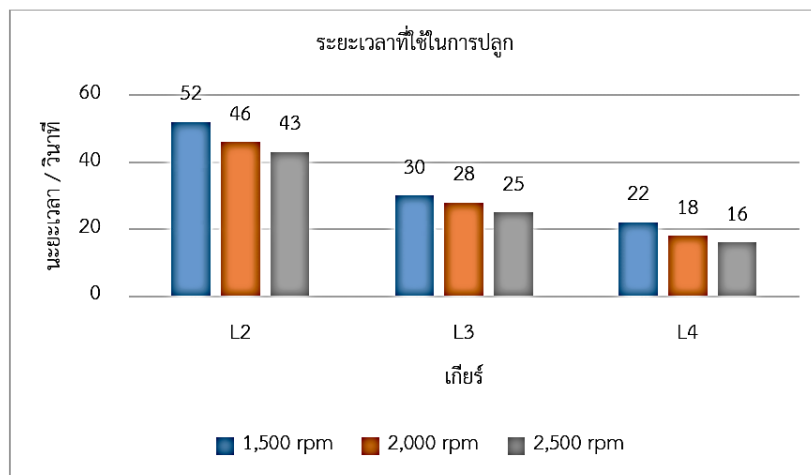
- L2 ที่ 1,500 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 52 มิลลิตร ที่ 2,000 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 55 มิลลิตร ที่ 2,500 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 59 มิลลิตร
- L3 ที่ 1,500 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 40 มิลลิตร ที่ 2,000 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 44 มิลลิตร ที่ 2,500 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 49 มิลลิตร
- L4 ที่ 1,500 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 24 มิลลิตร ที่ 2,000 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 34 มิลลิตร ที่ 2,500 รอบต่อนาที ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 38 มิลลิตร



รูปที่ 17 อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

4.3 ผลทดลองเวลาที่ใช้ในการปลูกระยะทาง 16 เมตร

- L2 ที่ 1,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 52 วินาที ที่ 2,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 46 วินาที ที่ 2,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 43 วินาที
- L3 ที่ 1,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 30 วินาที ที่ 2,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 28 วินาที ที่ 2,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 25 วินาที
- L4 ที่ 1,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 22 วินาที ที่ 2,000 รอบต่อนาที ใช้เวลา 18 วินาที ที่ 2,500 รอบต่อนาที ใช้เวลา 16 วินาที



รูปที่ 18 ระยะเวลาที่ใช้ในการปลูก

4.3 ผลการทดลองประสิทธิภาพ

ผลการทดลองประสิทธิภาพของเครื่องปลูกตะไคร้โดยมีการทดสอบทั้งหมด 3 เกียร์ ได้แก่ L2 L3 และ L4 ใช้รอบความเร็วเครื่องยนต์ 3 ระดับ 1,500, 2,000 และ 2,500 รอบต่อนาที ทำการทดลองปลูก 3 รอบ รวมทั้งหมด 27 รอบ ใช้ต้นตะไคร้ 702 ตัวอย่าง โดยผู้วิจัยได้นำผลการทดลองของระยะทางของลำต้น เวลา และ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีประสิทธิภาพสูงของปัจจัยและระดับของปัจจัยมาทำการวิเคราะห์

การหาประสิทธิภาพของเครื่องปลูกตะไคร้

$$N = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด}-\text{จำนวนชิ้นงานที่เสีย}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด}} \times 100$$

จากการทดลองหาประสิทธิภาพการปลูกของเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดพ่วงสามจุดจะเห็นได้ว่าการปลูกโดยใช้ L2 ความเร็วรอบ เครื่อง 2,000 รอบต่อนาที มีประสิทธิภาพมากที่สุดถึง 98.72 %

5. อภิปรายผล

การทดลองประสิทธิภาพเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดต่อพ่วงสามจุดที่พัฒนาเครื่องให้สามารถปลูกได้ทีละสองแถว โดยใช้ระบบนิวเมติกส์ในการทำงานและทำการทดลองซ้ำเป็นจำนวน 27 รอบ 3 เกียร์ L2 L3 และ L4 โดยการทดลอง 1 ครั้ง ใช้ระยะทางในการทดลอง 16 เมตรเท่ากัน ใช้รถแทรกเตอร์ความเร็วรอบ 3 ระดับ 1,500, 2,000 และ 2,500 รอบต่อนาทีซึ่งได้ผลทดสอบดังนี้

การทดลองครั้งที่ 1 ใช้เกียร์ L2 รอบเครื่อง 1,500 2,000 2,500 รอบต่อนาทีรอบ ทดลอง 3 รอบ ระยะทางวิ่งปลูก 16 เมตร ใช้ต้นตะไคร้รอบละ 26 ตัวอย่าง รวม 78 ตัวอย่าง ได้ค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 66.66 %, 98.72 %, 43.59 % ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 52, 55, 59 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการปลูก 52, 46, 43 วินาที ตามลำดับ

การทดลองครั้งที่ 2 ใช้เกียร์ L3 รอบเครื่อง 1,500 2,000 2,500 รอบต่อนาทีรอบ ทดลอง 3 รอบ ระยะทางวิ่งปลูก 16 เมตร ใช้ต้นตะไคร้รอบละ 26 ตัวอย่าง รวม 78 ตัวอย่าง ได้ค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 20.51 %, 24.36 %, 17.95 % ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 40, 44, 49 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการปลูก 30, 28, 25 วินาที ตามลำดับ

การทดลองครั้งที่ 3 ใช้เกียร์ L4 รอบเครื่อง 1,500 2,000 2,500 รอบต่อนาทีรอบ ทดลอง 3 รอบ ระยะทางวิ่งปลูก 16 เมตร ใช้ต้นตะไคร้รอบละ 26 ตัวอย่าง รวม 78 ตัวอย่าง ได้ค่าประสิทธิภาพอยู่ที่ 8.97 %, 3.85%, 5.13 % ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง 28, 34, 38 มิลลิลิตร ใช้เวลาในการปลูก 22, 18, 16 วินาที ตามลำดับ

6. สรุปผล

จากการทดลองทั้งหมด 27 ครั้ง 3 เกียร์ L2 L3 และ L4 โดยใช้ความเร็วรอบเครื่องต่างกัน 3 ระดับ 1500, 2,000 และ 2,500 รอบต่อนาที จะเห็นได้ว่าผลการทดลองเครื่องปลูกตะไคร้ที่พัฒนาขึ้นมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดคือการทดลองโดยใช้ L2 ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที จะมีความเร็ว อยู่ที่ 5.83 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยวิ่งในระยะทาง 16 เมตร ใช้เวลาทั้งหมด 46 วินาที ระยะห่างของต้นอยู่ที่ 120 เซนติเมตร อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 2.90 กิโลเมตรต่อลิตร คิดค่าประสิทธิภาพการทำงานได้สูงสุด 98.72% ใช้เวลาในการปลูก 38 นาที/ไร่ ใช้น้ำมันในการปลูก 2.34 ลิตร/ไร่ พื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกตะไคร้ได้ 1,333 ต้น เครื่องปลูกตะไคร้นี้เหมาะสมกับสภาพดินทุกชนิด

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สามารถดำเนินการวิจัยได้โดยเสรีจสมบุรณ์ โดยได้รับการสนับสนุนจากงบอุดหนุนทุนวิจัยงบประมาณเงินรายได้ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2564 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] โชติอนันต์ และคณะ, 2551. สมุนไพรไทย สำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน https://pharmacy.su.ac.th/herbmed/herb/text/herb_detail.php?herbID=96

- [2] พงศ์เพ็ชร เรืองศรี, 2560. การปลูกตะไคร้หยวกให้ได้ผลผลิตสูง <https://www.rakbankerd.com/agriculture/print.php?id=6180&s=tblplant>
- [3] บริษัท คอนเวเยอร์ไกด์ จำกัด , เรื่องที่ 1. สายพานกระพ้อลำเลียง(Bucket Belt Elevator <http://www.Conveyorguide.co.th/index.php?lay=show&ac=article&Ntype=19>
- [4] บริษัท ฟลูเทค จำกัด , 2566. กระบอกลม กระบอกสูบ (PNEUMATIC AIR CYLINDER) <https://www.Flutechthailand.com/content/7799/air-cylinder>
- [5] ธนกฤต โยธาฑูล และคณะ (2558) การพัฒนาเครื่องปลูกสับปะรดแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กปริญญา นิพนธ์เรื่อง การพัฒนาเครื่องปลูกสับปะรดแบบพ่วงท้ายรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กสืบค้นเมื่อ 4 มกราคม 2566
- [6] อีรศักดิ์ โกเมฆ และคณะ (2559) ทดสอบและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับกระเทียมปริญญา นิพนธ์ เรื่อง ทดสอบและพัฒนาเครื่องจักรกลเกษตรสำหรับกระเทียมสืบค้นเมื่อ 4 มกราคม 2566
- [7] กิตติพลและคณะ (2559) การออกแบบถังบรรจุของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนสำหรับแปลงขนาดยาวปริญญา นิพนธ์ เรื่อง การออกแบบถังบรรจุของเครื่องปลูกอ้อยแบบท่อนสำหรับแปลงขนาดยาว สืบค้นเมื่อ 4 มกราคม 2566
- [8] สามารถและคณะ (2561) เครื่องปลูกมันสำปะหลังแบบใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ปริญญา นิพนธ์เรื่อง เครื่อง ปลูกมันสำปะหลังแบบใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็กสืบค้นเมื่อ 4 มกราคม 2566
- [9] นก่อเกียรติ อรรคจุ่น และคณะ (2561) การออกแบบและสร้างเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดต่อพ่วงสามจุดปริญญา นิพนธ์ เรื่อง การออกแบบและสร้างเครื่องปลูกตะไคร้แบบจุดต่อพ่วงสามจุด สืบค้นเมื่อ 15 มิถุนายน 2565
- [10]สมภาร ศรีประเทืองและคณะ “การออกแบบและสร้างเครื่องปลูกตะไคร้แบบใช้จุดต่อพ่วงสามจุด”,การประชุม วิชาการราชชมงคลด้านเทคโนโลยีการผลิตและการจัดการ ครั้งที่ 4, เชียงใหม่, ประเทศไทย, 30-31 พฤษภาคม 2562: (2562),
- [11]สุวิพงษ์ และคณะ (2562) เครื่องหยอดข้าวนาแห้งแบบต่อพ่วงจอบหมุนปริญญา นิพนธ์ เรื่อง เครื่องหยอดข้าวนาแห้ง แบบต่อพ่วงจอบหมุนสืบค้นเมื่อ 4 มกราคม 2566
- [12]บรรลุ และคณะ (2563) การออกแบบและสร้างเครื่องโรยข้าวเมล็ดเดี่ยวแบบอัตโนมัติปริญญา นิพนธ์ เรื่อง การ ออกแบบและสร้างเครื่องโรยข้าวเมล็ดเดี่ยวแบบอัตโนมัติสืบค้นเมื่อ 4 มกราคม 2566

การลดเวลากระบวนการเบิกจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด บีเอ็น โปร เอ็นจิเนียริ่ง

Reducing Process Time of Tools and Equipment Disbursement

Case Study: BN Pro Engineering Limited Partnership

อสมภรณ์ ธงสันเทียะ¹ กัญญารัตน์ สีนอนสูง¹ กัญญารัตน์ หินเหล็ก¹ ประสงค์ แจนดอน¹

พีรเดช สุวิทยารักษ์¹ และ อมรศักดิ์ มาใหญ่^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

744 ถ.สุรนารายณ์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Asamaporn Thongsanthia¹ Kanyarat Seenoensung¹ Kanyarat Hinlek¹ Prasong Chandon¹

Peeradaech Suwittayarak¹ and Amornsak Mayai^{1*}

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan

744 Suranarai Road, Nai Mueang, Mueang District, Nakhon Ratchasima 30000

*Corresponding author Email: Amornsak.ma@rmuti.ac.th

(Received: March 16, 2024 / Revised: June 20, 2024 / Accepted: June 21, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการลดเวลาในการเบิก-จ่ายเครื่องมืออุปกรณ์ กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด บีเอ็น โปร เอ็นจิเนียริ่ง การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาด้วยทฤษฎี ลดความสูญเสีย 7 ประการและแผนผังแสดงเหตุและผล ประยุกต์ใช้หลักการ ECRS มาใช้ปรับปรุงขั้นตอนการเบิก-จ่ายเครื่องมือ อุปกรณ์ให้ง่ายขึ้นด้วยการระบุตำแหน่งของเครื่องมือ และอุปกรณ์เพื่อสะดวกต่อการหา และใช้หลักการ 5ส จัดเรียงเครื่องมือและอุปกรณ์ในคลังจัดเก็บให้เป็นระเบียบ ผลการวิจัย พบว่าสามารถลดเวลาการเบิก-จ่ายจากเดิมค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 182.64 นาที หลังการปรับปรุงใช้ระยะเวลาค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 91.23 นาที ลดลง 91.41 นาที คิดเป็นร้อยละ 50.05

คำสำคัญ: คลังจัดเก็บ, เครื่องมือ อุปกรณ์, ทฤษฎี ECRS, การลดเวลาในการทำงาน

Abstract

The purpose of this research is to reduce the time for equipment disbursement, a case study of BN Pro Engineering Limited Partnership. Theoretical root cause analysis 7 Wastes and Cause and Effect Diagram. Apply ECRS principles to simplify the disbursement process for tools and equipment by tool positioning equipment for easy finding and use the 5S principle to arrange the tools and equipment in the Storage in an orderly manner. The results showed that the disbursement time can be reduced from the previous average of 182.64 minutes. After improvement, the average time was 91.23 minutes, decreased by 91.41 minutes, representing 50.05%.

Keywords: Storage, Tool Equipment, ECRS Theory, Reducing Process Time

1. บทนำ

ธุรกิจรับเหมาก่อสร้างจัดเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญในการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชน และมีส่วนผลักดันให้กลไกของธุรกิจสามารถขับเคลื่อนต่อไปได้ [1] โดยธุรกิจรับเหมาก่อสร้างปี 2565 มีแนวโน้มเผชิญความเสี่ยงจากต้นทุนที่ปรับสูงขึ้นทั้งด้านค่าขนส่ง และราคาวัสดุก่อสร้าง จากสงครามรัสเซีย-ยูเครน ที่ผลักดันให้ราคาน้ำมัน และวัสดุก่อสร้างที่สำคัญโดยเฉพาะเหล็กและปูนซีเมนต์ปรับเพิ่มขึ้น [2] ในงานก่อสร้างวัสดุก่อสร้างเป็นทรัพยากรหลักในการดำเนินงานเนื่องจากมูลค่าของวัสดุก่อสร้างนั้นคิดเป็นร้อยละ 50 ของมูลค่างานก่อสร้างทั้งหมด [3] การบริหารจัดการวัสดุคงคลังจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญในการจัดการวัสดุ เนื่องจากหากวัสดุไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จะส่งผลให้งานหยุดชะงักทำให้งานล่าช้า ซึ่งกระทบต่อต้นทุนด้านแรงงานที่เสียไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นคลังวัสดุที่ดีจะต้องมีการจัดการภายในที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งหมายถึงมีระบบการจัดการเอกสารที่ดี ระบบจัดเก็บวัสดุที่ดี [4] เพื่อให้ง่ายต่อการดูแลรักษา และไม่เกิดความล่าช้าในการส่งเครื่องมือและอุปกรณ์ไปหน้างาน

จากการศึกษาวิจัยเพื่อลดความล่าช้าในการขนส่งเครื่องมือและอุปกรณ์ [5] ได้ศึกษา การลดเวลาการเบิก-จ่ายวัสดุ อุปกรณ์ ได้ประยุกต์ใช้แผนผังแสดงเหตุและผล ทำการจัดหมวดหมู่ ABC และทฤษฎีการวางแผนผังโรงงานหลักการ 5 ส ในการแก้ปัญหา ผลจากการปรับปรุงสามารถปรับฐานข้อมูลรายการวัสดุอุปกรณ์ที่มีความบกพร่องได้ ลดวัสดุอุปกรณ์ที่ไม่มีการเคลื่อนไหวเกินกว่า 5 ปีลง มีการจัดการวางแผนผังโรงงานและเพื่อให้เหมาะสมกับการดำเนินกิจกรรมคลังสินค้า และสามารถลดเวลาในการเบิก-จ่ายวัสดุอุปกรณ์ เพื่อลดเวลาในการนับวัสดุอุปกรณ์ช่วยในการจัดหมวดหมู่ ABC [6] ได้ศึกษาการลดเวลาในขั้นตอนการเบิก-จ่ายและนับสินค้าคงคลังโดยใช้เทคนิคในการศึกษาด้วยแผนภูมิกระบวนการ และวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังเหตุและผล จากนั้นใช้เทคนิคการวิเคราะห์จัดกลุ่มด้วยระบบ ABC เทคนิค 5 ส และใช้ควบคุมด้วยการมองเห็น (Visual Control) ในการกำกับป้ายต่างๆ จากการปรับปรุงสามารถลดเวลาการเบิก-จ่ายสินค้าคงคลัง สามารถลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายเพื่อเบิก-จ่ายสินค้าคงคลัง อีกทั้งยังส่งผลต่อเวลาของการนับสินค้าคงคลัง ในการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน [7] ได้ศึกษา การลดระยะเวลาในขั้นตอนการเบิก-จ่ายสินค้าสำเร็จรูปภายในคลังสินค้า ได้นำแผนผังเหตุและผล แผนภูมิกระบวนการไหลของกิจกรรม หลักการ ECRS มาใช้และปรับปรุงขั้นตอนการเบิก-จ่ายสินค้าสำเร็จรูป ผลการวิจัยพบว่าระยะเวลาในขั้นตอนการเบิก-จ่ายสินค้าสำเร็จรูปจากเดิมอยู่ที่ 212 นาที 30 วินาที เมื่อปรับปรุงขั้นตอนการเบิก-จ่ายสินค้าสำเร็จรูปใช้ระยะเวลาเพียง 184 นาที 17 วินาที ลดลง 13.25 % [8] ได้ศึกษา การลดระยะเวลาในการจัดส่งอะไหล่โดยการปรับปรุงผังการจัดเก็บอะไหล่ โดยผู้วิจัยใช้ทฤษฎีแผนผังเหตุและผลเพื่อหาสาเหตุของปัญหา การจัดรูปแบบสินค้าแบบ ABC และหลักการ ECRS มาใช้ในการวิเคราะห์จากการใช้เครื่องมือในการแก้ปัญหา พนักงานใช้ระยะทางในการเบิกสินค้าลดลงจากก่อนการปรับปรุง

ดังนั้น งานวิจัยจึงทำลดเวลาในกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ โดยนำแผนผังเหตุและผล แผนภูมิกระบวนการไหล หลักการ ECRS การออกแบบแผนผังคลังเก็บเครื่องมือ อุปกรณ์เพื่อระบุตำแหน่ง ออกแบบรหัสตำแหน่งที่ตั้ง ทำการจัดวางอุปกรณ์ก่อสร้างในคลังให้ เป็นระเบียบมีตำแหน่งที่ชัดเจนโดยใช้หลักการ 5ส และทำแฟ้มข้อมูลตำแหน่งของเครื่องมือและอุปกรณ์ เพื่อลดเวลาในการทำงานและลดเวลาในการดำเนินงานแต่ละโครงการจากผลการปรับปรุงและแก้ไขปัญหากรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด บีเอ็น โปร เอ็นจิเนียริง สามารถนำไปปรับใช้ในโครงการต่อไป

2. อุปกรณ์และวิธีการดำเนินงาน

ในการดำเนินงานเรื่อง การลดเวลาในกระบวนการเบิกจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด บีเอ็น โปร เอ็นจิเนียริง มีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

2.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงาน

ขั้นตอนในการศึกษาการลดเวลาในกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ศึกษารายละเอียดขั้นตอนการทำงาน โดยศึกษารายละเอียดขั้นตอนในการทำงานทั้งหมดภายในแผนกสามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของพนักงานได้ดังนี้

- 1) ขั้นตอนการรับคำสั่งเบิกเครื่องมือและอุปกรณ์
- 2) ขั้นตอนการเดินไปคลังเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์
- 3) ขั้นตอนการเดินหาเครื่องมือและอุปกรณ์
- 4) ขั้นตอนตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์
- 5) ขั้นตอนแจ้งพนักงานที่เบิกเครื่องมือและอุปกรณ์
- 6) ขั้นตอนการยกเครื่องมือและอุปกรณ์ไปตำแหน่งจัดเตรียม
- 7) ขั้นตอนการวางเครื่องมือและอุปกรณ์ตำแหน่งจัดเตรียม
- 8) ขั้นตอนการเดินปรีนใบเบิก
- 9) ขั้นตอนการทำรายการเบิก
- 10) ขั้นตอนการทำการจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ออกจากระบบ
- 11) ขั้นตอนพนักงานยกเครื่องมือและอุปกรณ์ขึ้นรถขนย้าย

2.1.2 ศึกษากระบวนการคีย์ข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel

2.1.3 ศึกษารายละเอียดของใบเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.4 เข้าคลังจับเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อศึกษากระบวนการจัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.5 ศึกษากระบวนการนับจำนวนก่อนขนย้ายเครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.6 ศึกษากระบวนการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อโหลดขึ้นรถขนย้าย

2.1.7 ศึกษากระบวนการโหลดเครื่องมือและอุปกรณ์ขึ้นรถขนย้าย

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การรวบรวมข้อมูลภายในแผนกจัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ โดยศึกษากระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ไปจนถึงการจัดเก็บ และหยิบเครื่องมือและอุปกรณ์นำไปใช้งานอย่างละเอียด การเก็บรวบรวมนั้นจะเก็บจากการสอบถามหัวหน้าแผนก พนักงานภายในแผนกที่เกี่ยวข้อง และการเก็บข้อมูลจากการลงดูหน้างานจริง เป็นจำนวน 10 ครั้งของโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งมีรายการเบิกเครื่องมือและอุปกรณ์ 23 รายการ มีเวลาเฉลี่ย 182.64 นาที ระยะทางในการเบิก 52.8 เมตร แสดงกระบวนการไหลของการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ตารางที่ 1

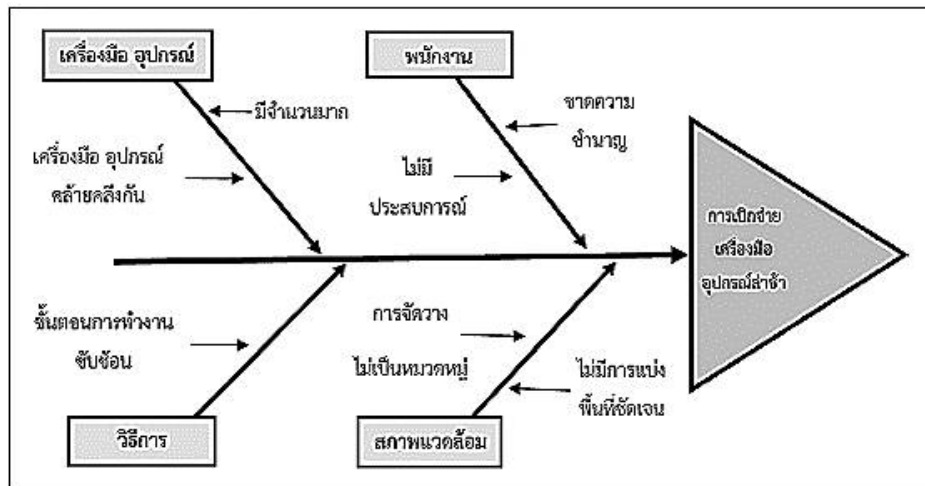
ตารางที่ 1 กระบวนการไหลของการเบิก-จ่าย (ก่อนปรับปรุง)

แผนภูมิการไหลของกระบวนการ							
Flow Process Chart							
	สรุปผล						
กิจกรรม : การเบิกจ่าย	กิจกรรม					กิจกรรม	
เครื่องมือและอุปกรณ์	ปฏิบัติงาน ○					6	
วิธีทำงาน : ปัจจุบัน (ก่อนการปรับปรุง)	เคลื่อนย้าย ➡					4	
	ล่าช้า D					0	
สถานที่ : คลังจัดเก็บ เครื่องมือและอุปกรณ์	ตรวจสอบ □					1	
	เก็บ ▲					0	
คำอธิบาย	รวมเวลา (นาที)					182.64	
	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์				
			○	➡	D	□	▲
ขั้นตอน							
1	0	6.33	●	➡	D	□	▲
2	23.12	0.58	○	➡	D	□	▲
3	6.14	111.52	○	➡	D	□	▲
4	0	4.16	○	➡	D	■	▲
5	0	2.15	●	➡	D	□	▲
6	22.04	13.27	○	➡	D	□	▲
7	0	3.80	●	➡	D	□	▲
8	1.5	1.70	○	➡	D	□	▲
9	0	4.85	●	➡	D	□	▲
10	0	3.32	●	➡	D	□	▲
11	0	30.97	●	➡	D	□	▲
รวม	52.8	182.64	6	4	0	1	0

จากการศึกษากระบวนการไหลของกิจกรรมของกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือ อุปกรณ์หน้างานโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าขั้นตอนในกระบวนการการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ มี 11 กิจกรรม 1) การปฏิบัติงานมี 6 กิจกรรม 2) การเคลื่อนย้ายมี 4 กิจกรรม 3) การตรวจสอบ มี 1 กิจกรรม ใช้เวลาการเบิก-จ่าย 182.64 นาที ระยะทางในการปฏิบัติงาน 52.8 เมตร

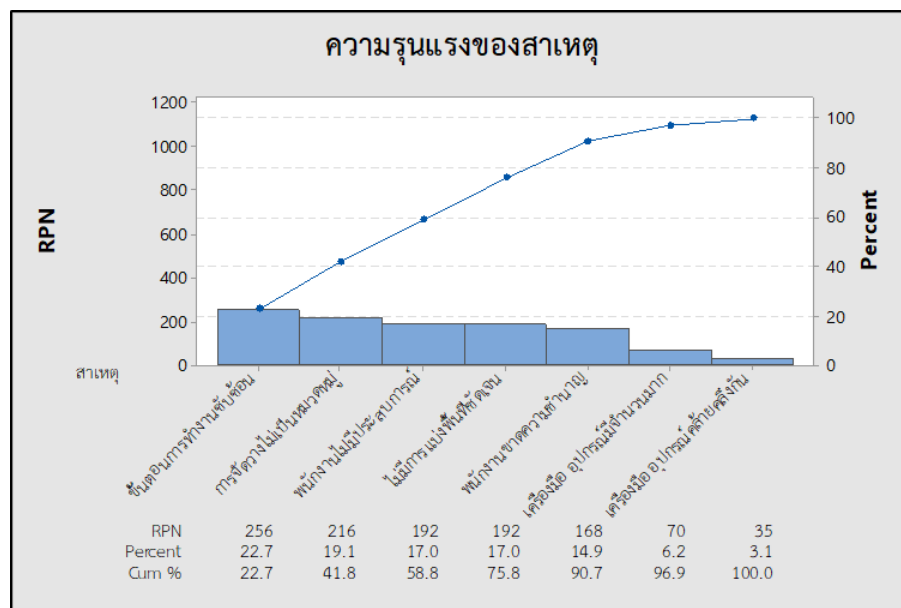
2.3 วิเคราะห์ข้อมูลและหาสาเหตุ

จากการศึกษากระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อนำไปหน้านงานนั้น จึงทำการวิเคราะห์ตามทฤษฎีความสูญเสีย 7 ประการ (7 Wastes) พบความสูญเสีย 2 ด้าน ได้แก่ ความสูญเสียเนื่องจากการเก็บวัสดุคงคลัง และความสูญเสียเนื่องจากการเคลื่อนไหว โดยใช้แผนผังเหตุและผลแสดงถึงสาเหตุของปัญหา



รูปที่ 1 แผนผังเหตุและผลของกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์

หลังทำการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยใช้แผนผังเหตุและผลพบว่าปัญหาที่คือการเบิก-จ่ายเครื่องมือ อุปกรณ์ล่าช้า จึงนำสาเหตุของปัญหามาทำการประเมินความรุนแรงของสาเหตุ ตามหลักการ FMEA โดยใช้การคำนวณจัดลำดับความเสียหายจากการประเมินความรุนแรง การประเมินโอกาสเกิด การประเมินความสามารถในการตรวจจับ (SOD) และได้จัดเรียงลำดับความสำคัญของความเสี่ยง (Risk Priority Number) เพื่อแก้ไขปัญหาได้อย่างถูกต้องและถูกจุด แสดงในรูปแบบแผนภูมิพาเรโต เพื่อให้เห็นความรุนแรงของสาเหตุที่ชัดเจน แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงความรุนแรงของสาเหตุ

จากการแสดงของแผนภูมิพาเรโต (Pareto Diagram) เห็นว่าสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหามากที่สุด 4 ลำดับ โดยใช้หลักการ 80/20 ของพาเรโต คือ ขั้นตอนการทำงานซับซ้อน, การจัดวางไม่เป็นหมวดหมู่, พนักงานไม่มีประสบการณ์ และ ไม่มีการแบ่งพื้นที่ชัดเจน จึงนำสาเหตุนี้ไปแก้ไขต่อไป

2.4 ปรับปรุงวิธีการทำงานโดยหลักการ ECRS

ด้านกระบวนการทำงานปรับปรุงโดยใช้หลักการ ECRS ซึ่งประกอบไปด้วย

2.4.1 การกำจัด (Eliminate) คือ กำจัดขั้นตอนการทำงานบางส่วนที่ไม่จำเป็นโดยทำการวิเคราะห์ขั้นตอนของกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ได้ดังตาราง 2 โดยวิเคราะห์กิจกรรมดังนี้

VA (Value Added) เพิ่มคุณค่า

NVA (Non-Value Added) ไม่ได้เพิ่มคุณค่า

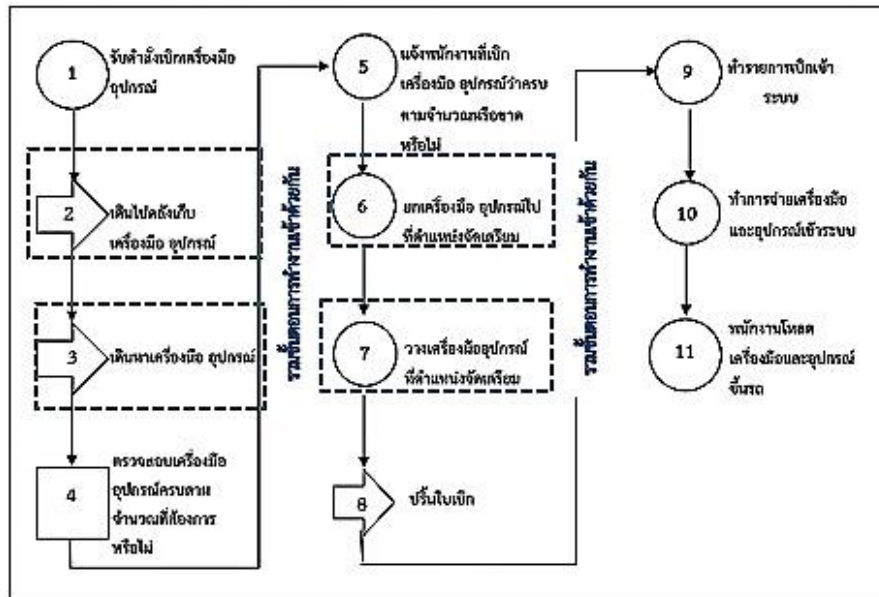
NNVA (Necessary Non-Value Added) ไม่ได้เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็น

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์กิจกรรมของขั้นตอน

ลำดับ	ขั้นตอน	วิเคราะห์กิจกรรม		
		VA	NVA	NNVA
1	รับคำสั่งเบิกเครื่องมือและอุปกรณ์	✓		
2	เดินไปคลังจัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์			✓
3	ค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์			✓
4	ตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ครบตามจำนวนที่ต้องการหรือไม่	✓		
5	แจ้งพนักงานที่เบิกเครื่องมือและอุปกรณ์ว่าครบตามจำนวนหรือขาดหรือไม่	✓		
6	ยกเครื่องมือและอุปกรณ์ไปที่ตำแหน่งจัดเตรียม			✓
7	วางเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ตำแหน่งจัดเตรียม			✓
8	เดินไปรับใบเบิก			✓
9	ทำรายการเบิกเข้าระบบ	✓		
10	ทำการจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์เข้าระบบ	✓		
11	พนักงานโหลดเครื่องมือและอุปกรณ์ขึ้นรถ	✓		
รวม		6	0	5

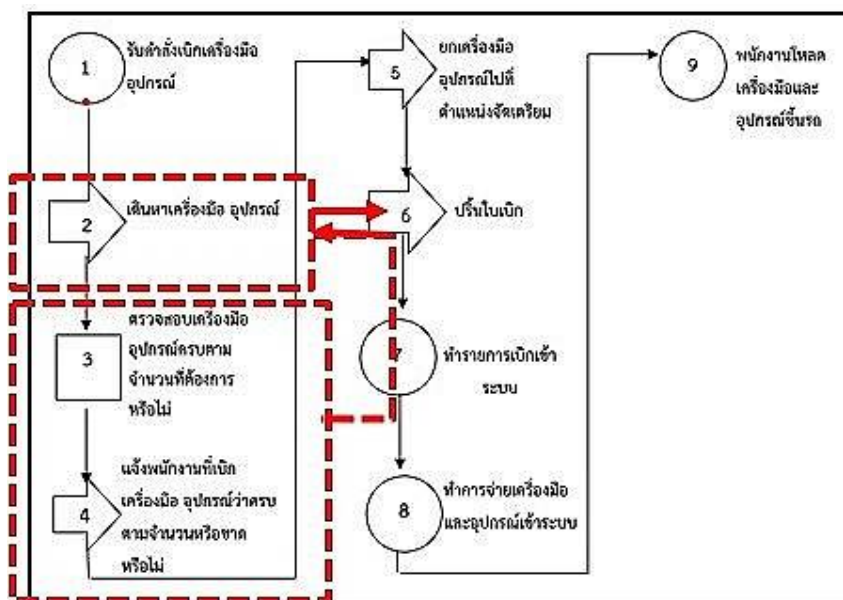
จากตารางการวิเคราะห์ขั้นตอนของกระบวนการเบิกจ่ายเครื่องมือ อุปกรณ์ พบว่าขั้นตอนเพิ่มคุณค่า มี 6 ขั้นตอน ขั้นตอนที่ไม่เพิ่มคุณค่าแต่จำเป็นต้องทำ มี 5 ขั้นตอน และไม่พบขั้นตอนที่ไม่เพิ่มคุณค่าและไม่จำเป็นต้องทำ จึงไม่สามารถกำจัดขั้นตอนการเบิกจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ได้

2.4.2 การรวมขั้นตอน (Combine) คือ รวมขั้นตอนการทำงานที่มีการปฏิบัติคล้ายคลึงกันเป็นขั้นตอนเดียว เพื่อลดขั้นตอนในการทำงานให้น้อยลง โดยทำการรวมขั้นตอนการทำงานที่ 2 กับ 3 และขั้นตอนที่ 6 กับ 7 เข้าด้วยกัน เพื่อให้ขั้นตอนการทำงานไม่ซับซ้อนและพนักงานเข้าใจขั้นตอนการทำงานง่ายขึ้น เนื่องจากขั้นตอนการทำงานที่ 2 กับ 3 และขั้นตอนที่ 6 กับ 7 เป็นการปฏิบัติงานที่มีลักษณะต่อเนื่องกันโดยไม่หยุด ส่งผลให้การทำงานไม่หยุดชะงักในขั้นตอนต่อไป ดังรูปที่ 3



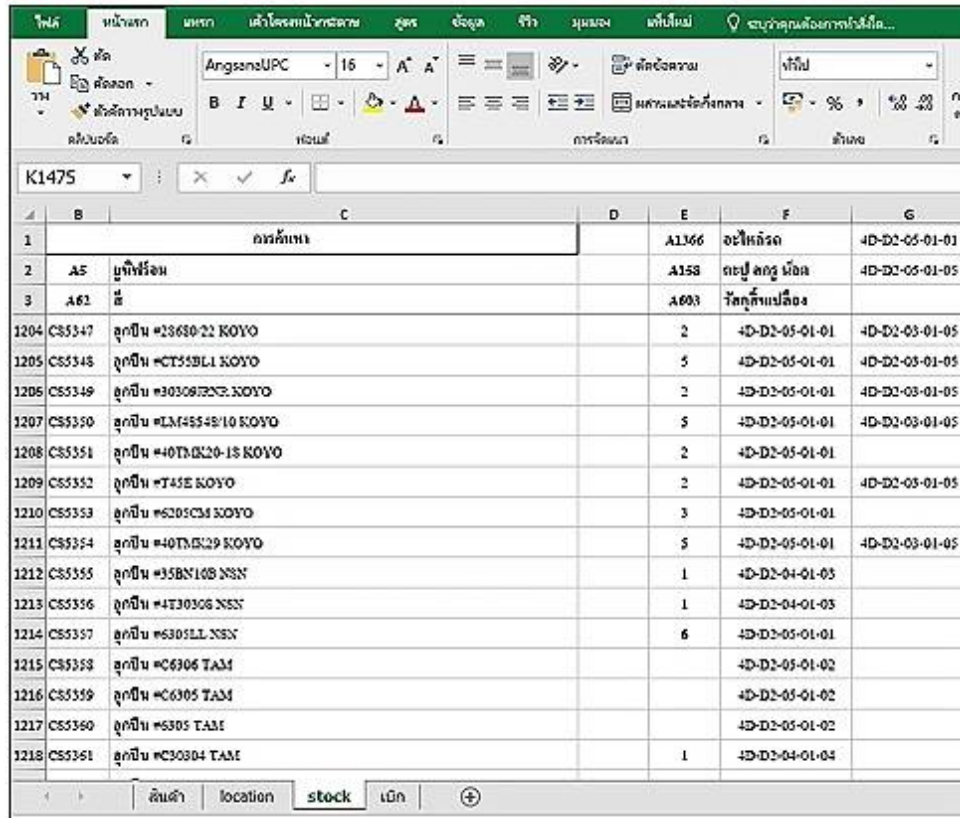
รูปที่ 3 แสดงการรวมขั้นตอนการทำงานเข้าด้วยกัน

2.4.3 การจัดขั้นตอนการทำงานใหม่ (Rearrange) คือ การจัดลำดับขั้นตอนของกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือ อุปกรณ์ใหม่ โดยนำขั้นตอนที่ 3 คือ การตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และขั้นตอนที่ 4 คือ การแจ้งพนักงานที่เบิกเครื่องมืออุปกรณ์ นำมาไว้ในขั้นตอนที่ 2 และ 3 ตามลำดับ และนำขั้นตอนที่ 2 มาไว้ในขั้นตอนที่ 4 คือ การค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ เพื่อให้ลดความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวที่เกินจำเป็นของพนักงาน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การจัดขั้นตอนการทำงานใหม่

2.4.4 การปรับปรุงขั้นตอนการทำงานให้ง่ายขึ้น (Simplify) ซึ่งทำการปรับปรุงขั้นตอนที่ 2 การตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์จากเดิมตรวจสอบจากการเดินไปที่คลังเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อนับจำนวนปรับเปลี่ยนเป็นการตรวจสอบได้จากแฟ้มเอกสารเก็บรวบรวมรหัส, ตำแหน่งที่ตั้ง (Location) จำนวนของเครื่องมืออุปกรณ์โดยโปรแกรม Microsoft Excel แสดงดังรูปที่ 5



	B	C	D	E	F	G
1		ควรค้นหา		A1366	อะไหล่รถ	4D-D2-03-01-01
2	A5	บูทพร้อม		A158	ตะปู สกรู น็อต	4D-D2-03-01-05
3	A62	สี		A603	วิกเกอร์เปลี่ยน	
1204	C53347	ลูกปืน #23630-22 KOYO		2	4D-D2-03-01-01	4D-D2-03-01-05
1205	C53348	ลูกปืน #CT533BL1 KOYO		5	4D-D2-03-01-01	4D-D2-03-01-05
1206	C53349	ลูกปืน #30309/3232 KOYO		2	4D-D2-03-01-01	4D-D2-03-01-05
1207	C53350	ลูกปืน #LM45548/10 KOYO		5	4D-D2-03-01-01	4D-D2-03-01-05
1208	C53351	ลูกปืน #40T3K20-18 KOYO		2	4D-D2-03-01-01	
1209	C53352	ลูกปืน #T43E KOYO		2	4D-D2-03-01-01	4D-D2-03-01-05
1210	C53353	ลูกปืน #6205CM KOYO		3	4D-D2-03-01-01	
1211	C53354	ลูกปืน #40T3K29 KOYO		5	4D-D2-03-01-01	4D-D2-03-01-05
1212	C53355	ลูกปืน #35BN168 NISN		1	4D-D2-04-01-03	
1213	C53356	ลูกปืน #4T30306 NISN		1	4D-D2-04-01-03	
1214	C53357	ลูกปืน #6305LL NISN		6	4D-D2-03-01-01	
1215	C53358	ลูกปืน #C6306 TAM			4D-D2-03-01-02	
1216	C53359	ลูกปืน #C6305 TAM			4D-D2-03-01-02	
1217	C53360	ลูกปืน #6305 TAM			4D-D2-03-01-02	
1218	C53361	ลูกปืน #C30304 TAM		1	4D-D2-04-01-04	

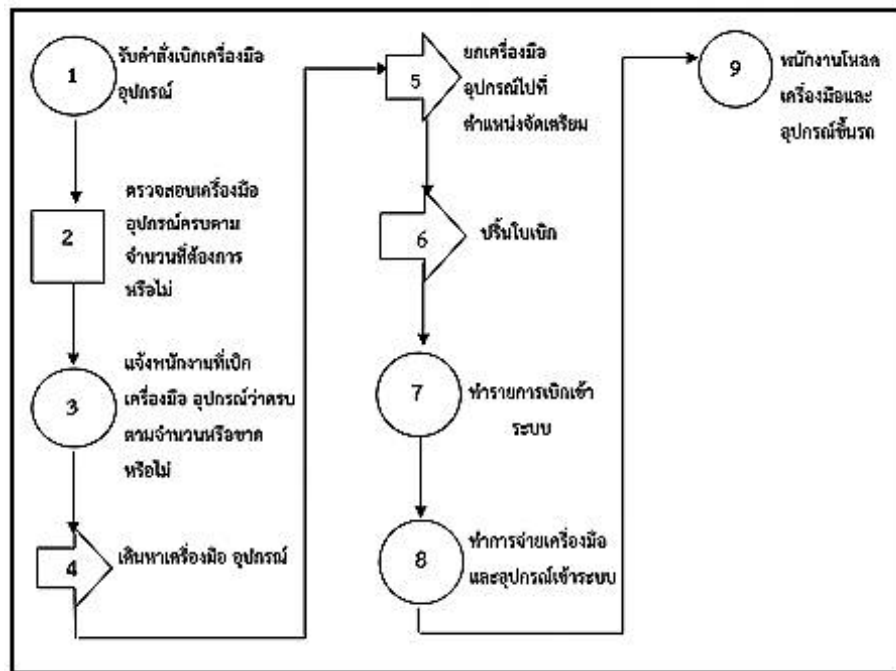
รูปที่ 5 แฟ้มเอกสารเครื่องมืออุปกรณ์โดยโปรแกรม Microsoft Excel

3. ผลการวิจัย

หลังจากการวิเคราะห์ปัญหาในกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์กรณีศึกษาทางหุ่นส่วนจำกัด บีเอ็น โพรเอ็นจิเนียริง พบว่า การเบิกจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ล่าช้า เนื่องจากขั้นตอนการทำงานซับซ้อน การจัดวางไม่เป็นหมวดหมู่ พนักงานไม่มีประสิทธิภาพ ไม่มีการแบ่งพื้นที่ชัดเจน พนักงานขาดความชำนาญ ส่งผลให้การเริ่มต้นในการทำงานของพนักงานล่าช้าไปด้วย ซึ่งดำเนินการปรับปรุงแก้ไขกระบวนการตามแนวทางที่ได้กำหนดไว้ และทำการวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ ประกอบไปด้วยหัวข้อดังต่อไปนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์และปรับปรุงขั้นตอนในกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมืออุปกรณ์

ขั้นตอนในกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนการทำงานหลังปรับปรุง

แสดงขั้นตอนของกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือ อุปกรณ์ดังนี้

- 1) ขั้นตอนการรับคำสั่งเบิกเครื่องมือและอุปกรณ์
- 2) ขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์
- 3) ขั้นตอนแจ้งพนักงานที่เบิกเครื่องมือและอุปกรณ์
- 4) ขั้นตอนการค้นหาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่คลังเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์
- 5) ขั้นตอนการยกเครื่องมือและอุปกรณ์ไปวางที่ตำแหน่งจัดเตรียม
- 6) ขั้นตอนการเดินปรัใบเบิก
- 7) ขั้นตอนการทำรายการเบิกเข้าระบบ
- 8) ขั้นตอนการทำการจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์
- 9) ขั้นตอนพนักงานยกเครื่องมือและอุปกรณ์ขึ้นรถขนย้าย

3.2 ผลการวิเคราะห์การปรับปรุงกระบวนการ

หลังจากการปรับปรุงกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ทำให้พนักงานทำงานสะดวกมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีการจัดลำดับ การรวม และปรับปรุงขั้นตอน เพื่อไม่ให้ขั้นตอนการทำงานซับซ้อนและช่วยลดเวลาในกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ทำให้พนักงานหน้างานเริ่มงานได้เร็วยิ่งขึ้น หลังการปรับปรุงสามารถจับเวลาการเบิกจ่าย 10 ครั้ง ของโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก รายการการเบิกเครื่องมือและอุปกรณ์ 23 รายการ มีเวลาเฉลี่ย 91.23 นาที ระยะเวลาในการเบิก 47.25 เมตร แสดงกระบวนการไหลของการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กระบวนการไหลของการเบิก-จ่าย (หลังปรับปรุง)

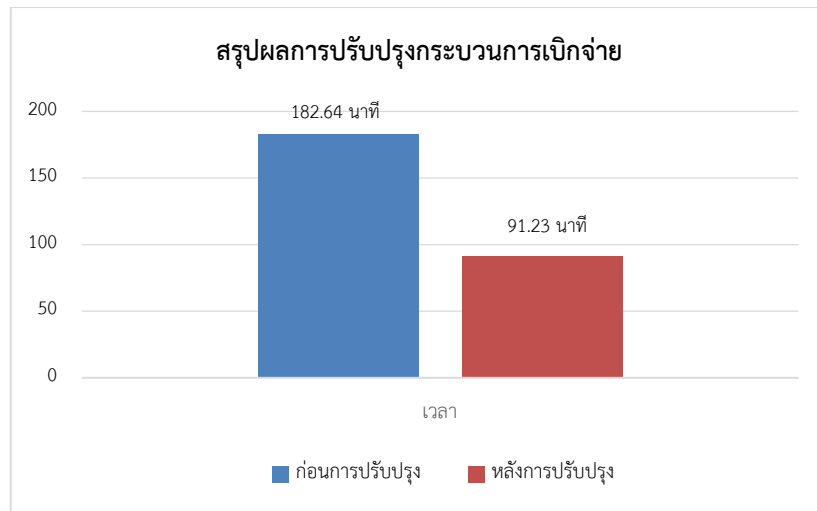
แผนภูมิการไหลของกระบวนการ							
Flow Process Chart							
	สรุปผล						
กิจกรรม : การเบิกจ่าย เครื่องมือและอุปกรณ์	กิจกรรม					กิจกรรม	
	ปฏิบัติงาน ○					5	
วิธีทำงาน : ปัจจุบัน (หลังการปรับปรุง)	เคลื่อนย้าย ➡					3	
	ล่าช้า D					0	
สถานที่ : คลังจัดเก็บ เครื่องมือและอุปกรณ์	ตรวจสอบ □					1	
	เก็บ ▲					0	
คำอธิบาย	รวมเวลา (นาที)					91.23	
	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	สัญลักษณ์				
			○	➡	D	□	▲
ขั้นตอน							
1	0	6.83	●	➡	D	□	▲
2	0	10.67	○	➡	D	■	▲
3	0	3.20	●	➡	D	□	▲
4	24.5	10.75	○	➡	D	□	▲
5	21.25	15.68	○	➡	D	□	▲
6	1.5	1.87	○	➡	D	□	▲
7	0	5.17	●	➡	D	□	▲
8	0	4.38	●	➡	D	□	▲
9	0	32.68	●	➡	D	□	▲
รวม	47.25	91.23	5	3	0	1	0

จากการศึกษาแผนภูมิกระบวนการไหลของกิจกรรมกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมืออุปกรณ์หน้างานโครงการก่อสร้างถนนคอนกรีตเสริมเหล็ก พบว่าขั้นตอนในการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์มี 9 กิจกรรม 1) การปฏิบัติงานมี 5 กิจกรรม 2) การเคลื่อนย้ายมี 3 กิจกรรม 3) การตรวจสอบมี 1 กิจกรรมใช้เวลาการเบิก-จ่าย 91.23 นาที ระยะทางรวมในการปฏิบัติงาน 47.25 เมตร

ตารางที่ 4 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการเบิกจ่าย

รายการ	ก่อนการปรับปรุง (นาที)	หลังการปรับปรุง (นาที)
โครงการ	182.64	91.23

จากตารางที่ 4 ตารางสรุปผลการปรับปรุงกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์พบว่าการปรับปรุงนั้นสามารถลดเวลาเฉลี่ยได้ร้อยละ 50.05 มากกว่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ หรือลดเวลาได้ 91.41 นาที สามารถแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 สรุปผลการปรับปรุงกระบวนการเบิกจ่าย

4. อภิปรายผล

การลดเวลาในกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัด บีเอ็น โปร เอ็นจิเนียริง ใช้ทฤษฎีความสูญเสีย 7 ประการ แผนผังแสดงเหตุและผล และการประเมินความรุนแรงของสาเหตุมาวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา พบว่ากระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ล่าช้าจากสาเหตุขั้นตอนการซับซ้อน การจัดวางคลังจัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ไม่เป็นหมวดหมู่ไม่มีการแบ่งพื้นที่ชัดเจน การเบิกจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์เฉลี่ยเท่ากับ 182.64 นาที ทำให้พนักงานและพนักงานได้เริ่มทำงานในแต่ละวันช้าไปด้วย

ทั้งนี้เพื่อลดความล่าช้าในการส่งเครื่องมือ อุปกรณ์ ได้ผลสอดคล้องกับงานงานวิจัย ณัฐพงศ์ [5] ได้ศึกษา การลดเวลาการเบิก-จ่ายวัสดุอุปกรณ์ ได้ประยุกต์ใช้แผนผังแสดงเหตุและผล ทำการจัดหมวดหมู่ ABC และทฤษฎีการวางผังโรงงาน หลักการ 5ส ในการแก้ปัญหา ผลจากการปรับปรุงสามารถปรับฐานข้อมูลรายการวัสดุอุปกรณ์ที่มีความบกพร่อง ลดวัสดุอุปกรณ์ที่ไม่มีการเคลื่อนไหว และสามารถลดเวลาในการเบิก-จ่ายวัสดุอุปกรณ์ได้ จึงเป็นข้อมูลยืนยันชัดเจนว่าการปรับปรุงกระบวนการช่วยลดเวลาในกระบวนการเบิก-จ่ายได้

5. สรุป

การศึกษาการลดเวลากระบวนการเบิกจ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัด บีเอ็น โปร เอ็นจิเนียริง สรุปได้ดังนี้

5.1 การปรับปรุงกระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ด้วยหลักการ ECRS มาใช้ปรับปรุงขั้นตอนการทำงานของพนักงาน โดยการกำจัด การรวม การเรียบเรียงขั้นตอนการทำงานใหม่ และการปรับปรุงขั้นตอนการตรวจสอบเครื่องมือและอุปกรณ์ให้ง่ายขึ้นซึ่งใช้หลักการ 5ส มาช่วยในการจัดเรียงเครื่องมือและอุปกรณ์ในคลังจัดเก็บ เพื่อให้ง่ายต่อการหาเครื่องมือและอุปกรณ์พบว่าสามารถลดขั้นตอนการทำงานจาก 11 ขั้นตอน ลดเหลือ 9 ขั้นตอน

5.2 กระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ของโครงการก่อนการปรับปรุง ใช้เวลาในการเบิก-จ่าย 182.64 นาที หลังการปรับปรุงใช้เวลาในการเบิก-จ่าย 91.23 นาที สามารถลดเวลาได้ถึง 91.41 นาที คิดเป็นร้อยละ 50.05 ระยะทางในการเบิก-จ่ายเฉลี่ย 47.25 เมตร

5.3 กระบวนการเบิก-จ่ายเครื่องมือและอุปกรณ์ก่อนการปรับปรุง มีระยะทางในการเบิกจ่าย 52.8 เมตร หลังการปรับปรุงกระบวนการ ระยะทางลดลงเหลือ 47.25 เมตร สามารถลดระยะทางได้ 5.55 เมตร คิดเป็นร้อยละ 10.51 มากกว่าเป้าหมายที่กำหนด

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน และ ห้างหุ้นส่วนจำกัด บีเอ็น โปร เอ็นจิเนียริ่ง ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่และข้อมูลในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] อนุพันธ์ ปทุมมาสูตร. รูปแบบและกลยุทธ์ในการดำเนินธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง กรณีศึกษา หจก.เล่าจุ่นฮะก่อสร้าง. ปรินญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยศิลปากร, (2558).
- [2] Puttachard Lunkam. (2022,Nov. 23). ธุรกิจรับเหมาก่อสร้าง. แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรมปี 2565-2567. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: [http:// www. krungsri. com/Construction-Contractor-2022](http://www.krungsri.com/Construction-Contractor-2022)
- [3] กิตติยา ไกรสรกุล. การปรับปรุงข้อกำหนดสัญญาเพื่อแก้ไขปัญหาการจัดหาวัสดุในโครงการก่อสร้าง. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2554).
- [4] ชนกานต์ ภิญโญภูมิมนตรี และคณะ. “การบริหารวัสดุคงคลังในธุรกิจก่อสร้างขนาดเล็ก”. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25. 17 กรกฎาคม 2563. มหาวิทยาลัยบูรพา: 2.
- [5] ณัฐพงศ์ เต็งทอง. การลดเวลาการเบิกจ่ายวัสดุอุปกรณ์. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, (2561).
- [6] ปาริฉัตร วัฒนวิจารณ์. “การลดเวลาในขั้นตอนการเบิกจ่ายและนับสินค้าคงคลังโดยใช้เทคนิคลีน”.งานสัมมนาทางวิชาการวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการอุตสาหกรรม ครั้งที่ 3. 07 กรกฎาคม 2562. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่: 1.
- [7] วริศรา งามบุญช่วย. “การลดระยะเวลาในขั้นตอนการเบิกจ่ายสินค้าสำเร็จรูปภายในคลังสินค้ากรณีศึกษา บริษัทฮอลแลนด์สตาร์บรรจุกัมภ์จำกัด” การประชุมวิชาการระดับชาติ ด้านนวัตกรรมเพื่อการเรียนรู้และสิ่งประดิษฐ์ ครั้งที่ 2. 18 กรกฎาคม 2561. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี: 1.
- [8] ธนิษฐนันท์ จันทรแย้ม. “การลดระยะเวลาในการจัดส่งอะไหล่โดยการปรับปรุงผังการจัดเก็บอะไหล่กรณีศึกษา บริษัท เอวาย จำกัด”. การประชุมวิชาการระดับชาติ วิทยาลัยนครราชสีมา ครั้งที่ 6. 30 มีนาคม 2562. วิทยาลัยนครราชสีมา.
- [9] สนิมหัต ฝ้ายลุยและคณะ. “การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการประกอบเครื่องจักรโดยใช้หลักการไคเซ็นกรณีศึกษา บริษัทออกแบบติดตั้งระบบอัตโนมัติ”. วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า (ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566)
- [10] ศักดิ์ดา คำจันทร์และคณะ. “การหาขอบเวลาสั่งซื้อที่เหมาะสมสำหรับสินค้าหลายผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษาร้านค้าวารัญญา”. วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า (ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม – ธันวาคม 2566)

การประเมินค่าความแข็งวิกฤต ณ บริเวณกระแทกร้อนในการเชื่อมซ่อมเหล็กรางรถไฟ ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

Evaluation of Critical HAZ Hardness in Railway Steel During Repair Welding by Finite Element Method

เจษฎา แก้ววิชิต¹ สัญญา คำจริง^{2*} และ อมรศักดิ์ มาใหญ่³

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์สุพรรณบุรี)

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ (ศูนย์นนทบุรี)

³สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Jesada Kaewwichit¹ Sanya Kumjing^{2*} and Amornsak Mayai³

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Technical Education,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi (Suphanburi),

²Department of Tool and Die Engineering, Faculty of Engineering and Architecture,

Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi (Nonthaburi),

³Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Technology,

Rajamangala University of Technology Isan

*Corresponding author Email: sanya.k@rmutsb.ac.th

(Received: June 6, 2024 / Revised: June 21, 2024 / Accepted: June 22, 2024)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินค่าความแข็งวิกฤต ณ บริเวณกระแทกร้อนในการเชื่อมซ่อมเหล็กรางรถไฟ เกรด R0900A ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) โดยการดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ขั้นตอนแรกทำการเชื่อมบนเหล็กรางรถไฟด้วยกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) ใช้กระแสในการเชื่อม 180 แอมป์ แรงดัน 22-24 โวลต์ และความเร็ว 1.27 มม./วินาที ขณะเชื่อมทำการบันทึกอัตราการเย็นของแนวเชื่อม ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งนำไปสู่การสอบเทียบการวิเคราะห์ความร้อนในแบบจำลองการเชื่อมด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ สำหรับขั้นตอนที่สอง ในส่วนนี้เป็นการประเมินช่วงความกว้างของบริเวณกระแทกร้อน และอัตราการเย็นตัว ($\Delta T_{8/5}$) ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองเพื่อทำนายค่าความแข็งวิกฤตที่เกิดขึ้นโดยอ้างอิงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่า $\Delta T_{8/5}$ และค่าความแข็งจากการทดลอง การประเมินค่าความแข็งวิกฤตสำหรับงานเชื่อมซ่อมเหล็กรางรถไฟ ส่วนสุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการทำนายค่าความแข็งวิกฤต ณ ตำแหน่งต่างๆ กับชิ้นงานจริง ผลการทดลองพบว่าค่าความแข็งที่ได้จากการทำนาย ณ บริเวณกระแทกร้อน มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 494.6-513.1 HV และค่าความแข็งที่ได้จากชิ้นงานจริงภายหลังการเชื่อม มีค่าความแข็งอยู่ระหว่าง 516.3-570.4 HV ซึ่งโดยรวมแล้วค่าความแข็งวิกฤตที่ได้จากการทำนายและทดลองจริงมีค่าใกล้เคียงกัน แม้ว่าค่าความแข็งจากการทดลองจริงจะมีค่าสูงกว่าการทำนายประมาณ 60 HV โดยการแบบจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้สามารถถูกนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบข้อปฏิบัติงานเชื่อมที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการแตกร้าวขณะเย็นตัว (Cold cracking) ต่อไป

คำสำคัญ: ทำนายค่าความแข็งวิกฤต ณ บริเวณกระแทกร้อน, อัตราการเย็นตัว, การจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

This research aims to evaluate the critical Hardness at the HAZ in the repair welding of R0900A grade railway steel by the finite element method (FEM). Works were divided into 3 parts; firstly, actual welding on a railway steel by Flux Cored Arc Welding process (FCAW). Welding conditions were set up of a welding current of 180 A, a voltage of 22-24 V, and a welding speed of 1.27 mm/sec. During welding, 3 points of cooling temperature were measured. The relationship between temperature and time is obtained. Such data were used to verify thermal distribution for FEM. Secondly, FEM was carried out in order to determine the width of HAZ, as well as, cooling rate ($\Delta T_{8/5}$). Such the $\Delta T_{8/5}$ was employed to estimate critical Hardness at the HAZ. As previous research experiment, mathematical model between hardness and $\Delta T_{8/5}$ was established for this work. Finally, comparison of critical HAZ hardness between FEM and experiments was performed. As the results, it revealed that the critical HAZ hardness of FEM model was 494.6-513.1 HV. Meanwhile, the experiments provided 516.3-570.4 HV. The FEM simulation was relatively agreed with the experiment. The maximum error value of prediction was approximately 60 HV. This FEM approach is able to apply in properly welding procedure in order to avoid cold cracking in the future.

Keyword: Predict the critical hardness at HAZ, Cooling rate, Finite Element Simulation (FEM)

1. บทนำ

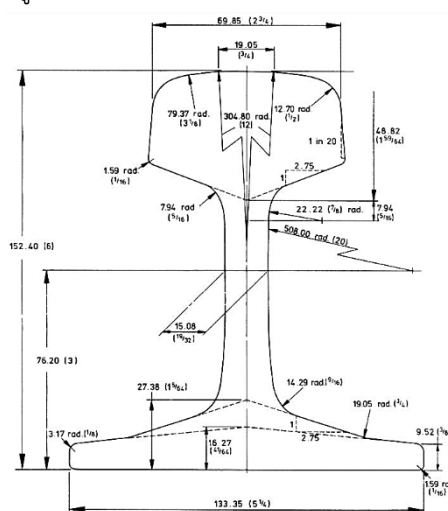
ในปัจจุบันการคมนาคมและการขนส่งในประเทศไทยมีความสำคัญอย่างมากโดยเฉพาะการคมนาคมและการขนส่งทางรางซึ่งได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการขยายงานอย่างรวดเร็วในระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา กระทรวงคมนาคมมีแผนงานการปรับปรุงระบบและโครงสร้างพื้นฐาน เพื่อพัฒนาระบบรถไฟรางคู่มาแทนระบบรางเดี่ยว ระบบโครงสร้างพื้นฐานอย่างหนึ่งคือการวางรางรถไฟ การวางรางรถไฟใหม่รวมถึงการบำรุงทางจะต้องมีการเชื่อมเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้โดยเฉพาะการเชื่อมซ่อมบำรุง สำหรับเหล็กการรถไฟประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ หัวราง (Head) เอรราง (Web) และฐานราง (Foot) สำหรับเหล็กการรถไฟเมื่อผ่านการใช้งานก็จะเกิดการชำรุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งการชำรุดที่บริเวณหัวราง ซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสัมผัสกับล้อรถไฟ การเปลี่ยนรางรถไฟใหม่แทนที่รางรถไฟที่ชำรุดเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากต้องใช้งบประมาณค่อนข้างสูงและมีความยุ่งยากเป็นอย่างมาก ดังนั้นการซ่อมเพื่อยืดอายุการใช้งานจึงเป็นสิ่งจำเป็น [1] ซึ่งในกระบวนการเชื่อมซ่อมเป็นอีกหนึ่งวิธีการที่ได้รับความนิยมในปัจจุบัน โดยการเชื่อมซ่อมบนหัวราง จะมีอยู่หลักๆ กระบวนการเชื่อม ได้แก่ กระบวนการเชื่อมลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (MMA) และกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คลอซ์ (FCAW) โดยกระบวนการเชื่อมทั้งสองแบบมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน จากที่กล่าวมา มีการเปรียบเทียบการเชื่อมพอกผิวบนหัวรางรถไฟระหว่างกระบวนการเชื่อมด้วยลวดเชื่อมหุ้มฟลักซ์ (MMA) และกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คลอซ์ (FCAW) โดย FCAW มีประสิทธิภาพมากกว่า MMA การประยุกต์ใช้ FCAW ใช้วัสดุน้อยกว่าโดยเฉลี่ย 2 เท่า อัตราการเติมเนื้อโลหะเร็วกว่า 3 เท่า และวัสดุที่ใช้โดยรวมถูกกว่า MMA 3 เท่า ซึ่งได้คุณภาพที่ดีของแนวเชื่อมระหว่างชิ้นแนวเชื่อมและชิ้นของโลหะพื้นฐานส่วนที่สึกหรอและเสียหาย [2] สิ่งสำคัญประการหนึ่งเกี่ยวกับคุณภาพของการเชื่อมต่อการเชื่อมคือการลดลงของความแข็งที่เรียกว่าโซนอ่อน (Soft zones) ซึ่งอยู่ที่ทั้งสองด้านของรอยเชื่อมที่ช่วงเปลี่ยนจาก HAZ เป็นโลหะพื้นฐาน (BM) ความแข็งที่ลดลงเหล่านี้อาจปรากฏแตกต่างกันเด่นชัดสำหรับเกรดเหล็กและกระบวนการเชื่อมที่แตกต่างกัน สาเหตุที่ความแข็งลดลงในบริเวณนี้คือการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างจุลภาคเนื่องจากการเชื่อมวิธีการที่ง่ายและมีประสิทธิภาพในการจัดการกับความท้าทายในการเชื่อมครั้งนี้ คือ การรักษาขนาดของ HAZ ให้เล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้โดยการลดความร้อนนำเข้า อย่างไรก็ตาม การเชื่อมด้วยความร้อนนำเข้า (Heat input) ที่ลดลงอาจทำให้เกิดข้อบกพร่องในรอยต่อเนื่องจากการหลอมละลายไม่สมบูรณ์ด้านข้างแนวเชื่อม ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็นจุดเริ่มต้นการแตกร้าว

ได้ภายใต้การรับโหลดแบบวัฏจักร (Cyclic load) และอาจแสดงให้เห็นลักษณะความรุนแรงมากขึ้นในราง นอกจากนี้ อัตราการเย็นตัวยังเพิ่มขึ้นอีกด้วยและนำไปสู่การก่อตัวของเฟสที่ไม่พึงประสงค์ เช่น Bainite และ Martensite ซึ่งเป็นสิ่งต้องห้ามตามมาตรฐานการเชื่อมทางรถไฟ [3-6] จึงมีความต้องการสำหรับขั้นตอนการเชื่อมราง ซึ่งวัตถุประสงค์ได้รับการปรับให้เหมาะสมอย่างแม่นยำเพียงพอที่ความน่าเชื่อถือเพียงพอและต้นทุนการลงทุนที่เหมาะสม สิ่งหนึ่งที่สำคัญมากงานที่จะเอาชนะความท้าทายที่อธิบายไว้ข้างต้นคือการปรับความร้อนนำเข้าให้เหมาะสมสำหรับแต่ละชั้นเช่นผิวชั้นที่เพียงพอคือรับประกันอย่างต่อเนื่องในด้านหนึ่งและทางกลคุณสมบัติใน HAZ เทียบกับที่ทำการเชื่อมวัสดุจะลดลงน้อยที่สุดในอีกด้านหนึ่งมีการเลือกใช้การจำลองเชิงตัวเลขเพื่อสนับสนุนการพัฒนาระบบการเป็นความพยายามในการทดลองเชื่อมสำหรับสิ่งเหล่านี้ ชิ้นส่วนหนักที่มีหน้าตัดขนาดใหญ่จะสูงมาก โดยการจำลองเชิงตัวเลขถูกนำมาใช้ในสาขาต่างๆ มากมายในอุตสาหกรรมและการวิจัยเพื่อรองรับกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมงาน สามารถศึกษาปรากฏการณ์ต่าง ๆ ได้ เช่น พฤติกรรมของบ่อหลอมเชื่อม การบิดเบือนและความเค้นตกค้างตลอดจนการแปลงเฟสและการเปลี่ยนแปลงที่เกี่ยวข้องของโครงสร้างจุลภาค และคุณสมบัติของรอยต่อ ชัดชัดว่าซอฟต์แวร์ต่างๆ ที่มีจำหน่ายทั่วไป เช่น SYSWELD, SimWeld, DynaWeld และ SimuFact ด้วยเป็นตำราการจำลองการเชื่อมทั่วไปจำนวนมาก เช่น เป็นข้อพิสูจน์ว่าการจำลองเชิงตัวเลขในการเชื่อมสามารถถือเป็นเครื่องมือที่ล้ำสมัยสำหรับการใช้งานที่หลากหลายทุกวันนี้การศึกษาเกี่ยวกับการทำนายการเสียรูปการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองการเชื่อมผ่านการวิเคราะห์องค์ประกอบไฟไนต์เอลิเมนต์และปรับปรุงคุณภาพการเชื่อม การปรับปรุงแหล่งความร้อนในการเชื่อมเป็นสิ่งสำคัญ แบบจำลองแหล่งความร้อนแบบกระจายถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหานี้โดยทั่วไปแล้วแหล่งความร้อนแบบเกาส์เซียน มีข้อดีคือเหมาะสำหรับการจำลองโดยการเปลี่ยนแหล่งความร้อนที่ไม่มีที่สิ้นสุดให้อยู่ในรูปของแหล่งความร้อนที่จำกัดโดยการใช้แนวคิดของเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีประสิทธิภาพ ในบรรดาแบบจำลองแหล่งความร้อนแบบเกาส์เซียนประเภทต่างๆ โมเดลที่เป็นที่รู้จักมากที่สุด คือ โมเดลแหล่งความร้อนของ Goldak [7]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยมีความมุ่งหมายในการประยุกต์ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับการเชื่อมและการประเมินค่าความแข็งแรงวิกฤต ณ บริเวณกระแทกร้อนในการเชื่อมซ่อมเหล็กทางรถไฟ เพื่อใช้เป็นแนวทางในกำหนดขั้นตอนปฏิบัติงานเชื่อมที่เหมาะสมในป้องกันการแตกร้าวขณะเย็นตัว (Cold cracking) ต่อไป

2. วัสดุและอุปกรณ์การทดลอง

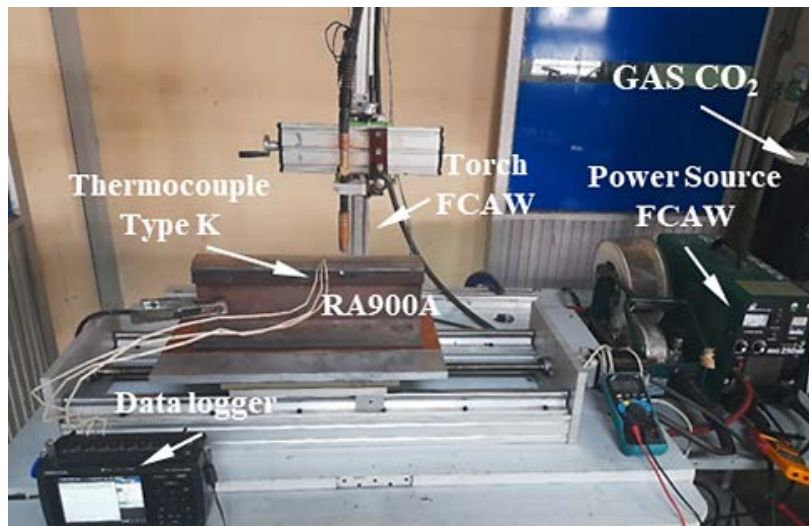
วัสดุที่ใช้สำหรับการทดลองผลิตจากเหล็กกล้ายูเทคตอยด์ (Eutectoid Steel) เกรดเหล็กทางรถไฟ R0900A โดยมีผลการตรวจสอบส่วนผสมทางเคมีด้วยเครื่องวิเคราะห์ธาตุ (Optical Emission Spectroscopy, OES) ดังตารางที่ 1 และขนาดของรางรถไฟที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 1 อ้างอิงตาม British standard; BS11-1985 BS100A R0900A



รูปที่ 1 ขนาดชิ้นงานทดลองเหล็กทางรถไฟเกรด R0900A [8]

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมี (โดยน้ำหนัก%)

Grade of Steel	Chemical composition, Elements in % of mass					
	C	Mn	Si	Cr	P	S
R0900A	0.7051	1.227	0.2078	0.0196	0.233	0.0037



รูปที่ 2 การติดตั้งการเชื่อมฟลักซ์คอร์ และติดตั้งอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิ

จากรูปที่ 2 แสดงเครื่องมือและอุปกรณ์ดำเนินการทดลองประกอบด้วยกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) ซึ่งทำการติดตั้งหัวเชื่อมให้อยู่กับที่ในตำแหน่งท่าราบ (Flat position) ขณะที่ชิ้นงานเหล็กทรงรูปไฟเกรด R0900A ถูกทำให้เคลื่อนที่ตามความเร็วที่กำหนดด้วยรางเลื่อนอัตโนมัติ ค่าพารามิเตอร์การเชื่อมถูกกำหนดดังตารางที่ 2 นอกจากนี้ขณะเชื่อมได้ทำการตรวจวัดวัฏจักรอุณหภูมิ (Thermal cycle) บริเวณด้านข้างแนวเชื่อม จำนวน 3 จุด ด้วยเทอร์โมคัปเปิล Type K เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มม. ซึ่งสามารถวัดอุณหภูมิสูงสุดได้ 1200 °C และใช้เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ MIDI Logger รุ่น GL900 โดยได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาการเย็นตัว ณ ตำแหน่งต่างๆ จากแนวเชื่อมเพื่อวิเคราะห์อัตราการเย็นตัวและเป็นข้อมูลทวนสอบการจำลองแบบการเชื่อมจากระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Welding simulation) ต่อไป

ตารางที่ 2 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการเชื่อม FCAW

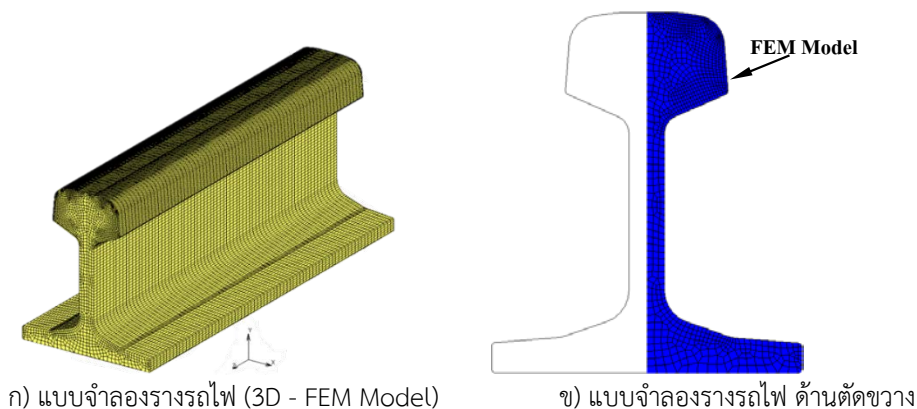
ตัวแปรงานเชื่อม	
กระแส (แอมป์)	180
แรงดัน (โวลต์)	22-24
ความเร็วเชื่อม (มม./วินาที)	1.27
ระยะยื่นของลวดเชื่อม CTWD (มม.)	15
เกรดของลวดเชื่อม	E71T-11
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางลวดเชื่อม (มม.)	1.2

3. วิธีการดำเนินงาน

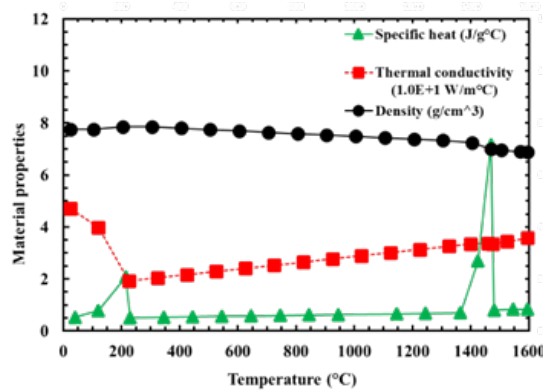
การดำเนินการวิจัยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ขั้นตอนแรกทำการเชื่อมบนเหล็กรางรถไฟด้วยกระบวนการเชื่อมฟลักซ์คอร์ (FCAW) ขณะเชื่อมทำการบันทึกอัตราการเย็นของแนวเชื่อม ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลา ณ ตำแหน่งต่างๆ ซึ่งนำไปการสอบเทียบการวิเคราะห์ความร้อนในแบบจำลองการเชื่อมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป สำหรับขั้นตอนที่สองนี้เป็นการจำลองการเชื่อมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ลักษณะการวิเคราะห์แบบความร้อนที่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา (Transient-thermal analysis) และแหล่งความร้อนแบบเคลื่อนที่ (Moving heat source) โดยใช้โปรแกรม MSC Marc ผลการคำนวณทางความร้อนได้นำมาประเมินช่วงความกว้างของบริเวณกระทบร้อน (HAZ) อัตราการเย็นตัว (Cooling rate) และช่วงเวลาการเย็นตัวจากอุณหภูมิ 800 °C จนถึง 500 °C เรียกว่า $\Delta T_{8/5}$ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองเพื่อทำนายค่าความแข็งวิกฤตที่เกิดขึ้น โดยอ้างอิงความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างค่า $\Delta T_{8/5}$ และค่าความแข็งจากการทดลองของคณะผู้วิจัยก่อนหน้านี้ [9] ส่วนสุดท้ายเป็นการทวนสอบโดยการเปรียบเทียบระหว่างการทำนายค่าความแข็งวิกฤต ณ ตำแหน่งต่างๆ กับชิ้นงานเชื่อมจริง

3.1 การจำลองงานเชื่อมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การจำลองการเชื่อมด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ประกอบด้วยการสร้างแบบจำลอง 3 มิติของรางรถไฟดังแสดงในรูปที่ 3 การวิเคราะห์กำหนดเป็นลักษณะแบบความร้อนที่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา (Transient-thermal analysis) และแหล่งความร้อนแบบเคลื่อนที่ (Moving heat source) ซึ่งคล้ายคลึงกับบ่อหลอมที่เคลื่อนที่ไปขณะเชื่อม นอกจากนี้กำหนดให้มีการจำลองแบบด้วยเทคนิค Birth and Death Element เสมือนการเติมเนื้อเชื่อมจากลวดเชื่อมนั่นเอง โดยการวิเคราะห์ประมวลผลด้วยโปรแกรม MSC Marc ผลการคำนวณทางความร้อนได้นำมาประเมินช่วงความกว้างของบริเวณกระทบร้อน (HAZ) อัตราการเย็นตัว (Cooling rate) และช่วงเวลาการเย็นตัว $\Delta T_{8/5}$ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองเพื่อทำนายค่าความแข็งวิกฤต ขณะที่กำหนดค่าสมบัติทางความร้อนเหล็กรางรถไฟขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ได้แก่ ค่าการนำความร้อน ค่าความร้อนจำเพาะ และค่าความหนาแน่นของวัสดุ แสดงดังแสดงในรูปที่ 4



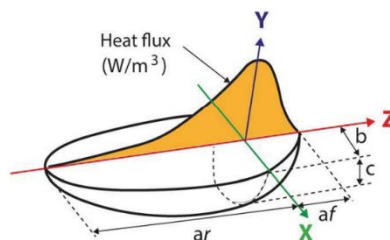
รูปที่ 3 แบบจำลอง 3 มิติของรางรถไฟสำหรับวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



รูปที่ 4 สมบัติทางความร้อนสำหรับแบบจำลองการเชื่อมรางรถไฟ [6]

3.2 การกำหนดค่าแหล่งความร้อนของการอาร์ค (Moving Heat Source)

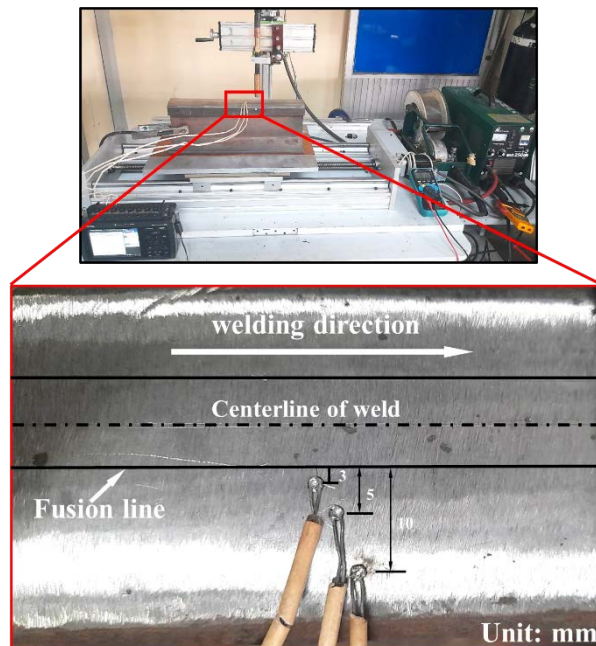
ในการจำลองการเชื่อมนี้แหล่งความร้อนแบบเคลื่อนที่ (Moving heat source) ซึ่งคล้ายคลึงกับบ่อหลอมที่เคลื่อนที่ไปขณะเชื่อม ได้กำหนดค่าคงที่ของพารามิเตอร์รูปร่างแหล่งความร้อนของการอาร์ค เช่น af , ar , b และ c ดังแสดงในรูปที่ 5 ถูกกำหนดไว้ที่ 3, 5, 8 และ 3 มม. ตามลำดับ ขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างการเชื่อม ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการเชื่อมในงานวิจัยนี้ถูกกำหนดค่าเท่ากับ 0.75 ซึ่งใกล้เคียงกับกระบวนการเชื่อม FCAW และการสอบเทียบผลการตรวจวัดอุณหภูมิขณะเชื่อมดังได้กล่าวมาข้างแล้ว



รูปที่ 5 ลักษณะแหล่งความร้อนรูปร่างรีคู่ของ Goldak สำหรับการจำลองการเชื่อม [10]

3.4 การทวนสอบวัฏจักรทางความร้อนระหว่างแบบจำลองทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลองเชื่อมจริง

ในการทวนสอบอัตราการเย็นตัวหรือช่วงเวลาการเย็นตัว $\Delta T_{8/5}$ ระหว่างแบบจำลองทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลองเชื่อมจริง ได้ดำเนินการโดยการเปรียบเทียบแนวโน้มของเส้นวัฏจักรทางความร้อนระหว่างการเชื่อมจำนวน 3 จุดด้านข้างแนวเชื่อม โดยทำการติดเทอร์โมคัปเปิล ชนิด Type K เพื่อบันทึกค่าอุณหภูมิการเย็นตัวระหว่างการเชื่อม ระยะห่างในการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล ได้แก่ 3, 5 และ 10 มม. ตามลำดับ จากบริเวณขอบแนวเชื่อม แสดงดังรูปที่ 6 จากนั้นนำผลบันทึกเส้นวัฏจักรทางความร้อนระหว่างการเชื่อมที่ได้ไปเปรียบเทียบแนวโน้มความความสอดคล้องกันระหว่างผลจากการจำลองด้วยวิธีระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป

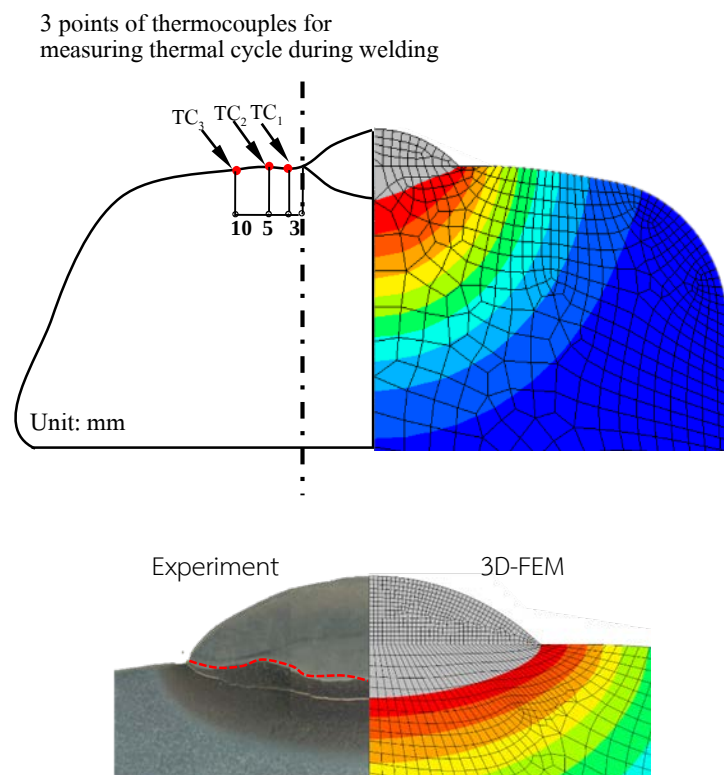


รูปที่ 6 ระยะการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล Type K

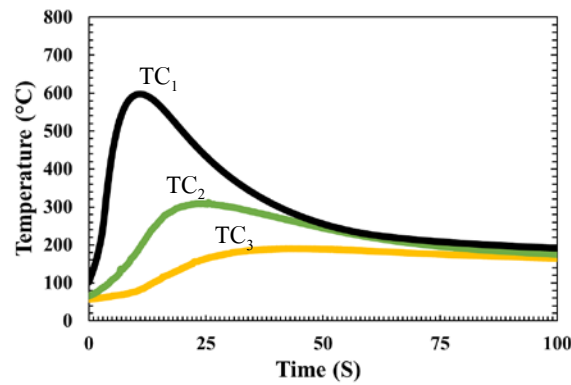
4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการทวนสอบวัฏจักรทางความร้อนระหว่างแบบจำลองทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลองเชื่อมจริง

จากรูปที่ 7 แสดงลักษณะภาพตัดขวางของการเปรียบเทียบความกว้างและความลึกแนวเชื่อมระหว่างผลการจำลองทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลองเชื่อมจริง โดยด้านซ้ายมือแสดงการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิทั้ง 3 ตำแหน่ง

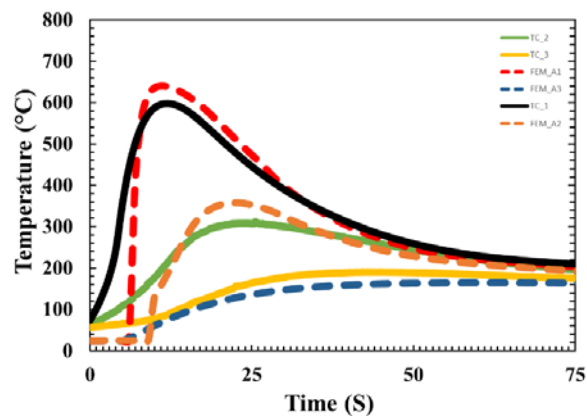


รูปที่ 7 การเปรียบเทียบขนาดรอยเชื่อมระหว่างผลการจำลองทางวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และการทดลองเชื่อมจริง



รูปที่ 8 เส้นโค้งวัฏจักรทางความร้อนขณะเชื่อมจากเทอร์โมคัปเปิล

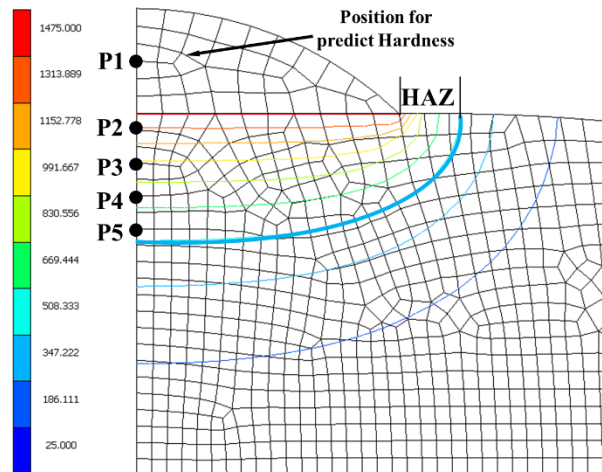
รูปที่ 8 แสดงเส้นโค้งอุณหภูมิการเย็นตัวภายหลังการเชื่อมจากการวัดอุณหภูมิจากเทอร์โมคัปเปิล พบว่าอัตราการเย็นของตำแหน่ง TC₁ มีค่าเท่ากับ 10.8 °C/s ตำแหน่ง TC₂ มีอัตราการเย็นตัว เท่ากับ 3.07 °C/s



รูปที่ 9 เปรียบเทียบภาพตัดขวางและเส้นโค้งอุณหภูมิการเย็นตัวภายหลังการเชื่อมจากเทอร์โมคัปเปิลและการจำลอง FEM

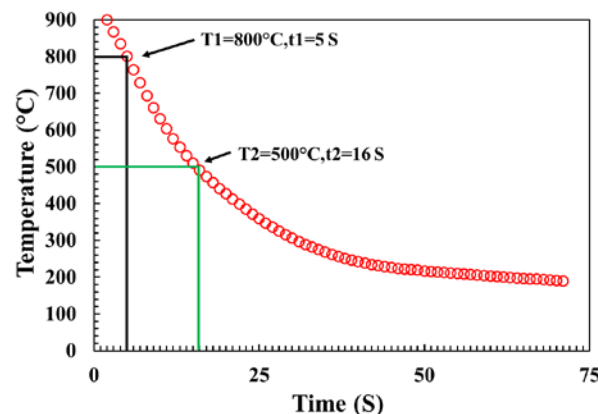
จากรูปที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบภาพตัดขวางระหว่างการทดลองและการจำลอง FEM พบว่ารูปร่างของบ่อหลอมถูกปรับขนาดของแหล่งความร้อนในการอาร์คจนเป็นที่น่าสนใจและตรงกับขนาดของบ่อหลอมในการทดลอง ซึ่งจากที่กล่าวมาพบว่าอุณหภูมิเส้นโค้งการเย็นตัวที่ตำแหน่งเดียวกันกับการติดเทอร์โมคัปเปิล จะเห็นได้ว่ามีเส้นโค้งอุณหภูมิการเย็นตัวใกล้เคียงกัน โดยคณะผู้วิจัยสนใจช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 800 °C ลดลงถึง 500 °C ซึ่งเป็นช่วงที่มีผลกระทบทางความร้อนจากการเชื่อมโดยมีโอกาสนในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสูงและความเค้นมีโอกาสเปลี่ยนเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงนำการจำลอง FEM ไปทำนายค่าความเค้นที่อยู่ตำแหน่งระหว่างบริเวณกระแทกร้อน แสดงดังรูปที่ 10

4.2 การประมาณความกว้างของบริเวณกระทบร้อน (HAZ)



รูปที่ 10 ช่วงความกว้างของบริเวณกระทบร้อน (HAZ) และตำแหน่งการประเมินค่าความแข็งวิกฤตบริเวณกระทบร้อน

จากรูปที่ 10 เป็นการประมาณค่าความกว้างของบริเวณกระทบร้อน (HAZ) และแสดงถึงตำแหน่งที่ทำการทำนายความแข็ง ซึ่งจากอยู่ในบริเวณกระทบร้อน จะเห็นได้ว่าความกว้างของ HAZ ดูจากบริเวณด้านบนความกว้างมีค่าประมาณ 2 มม. และดูจากระดับผิวของรางรถไฟลงไปความกว้างของ HAZ มีค่าความกว้างประมาณ 5 มม.



รูปที่ 11 ตำแหน่งการคำนวณอุณหภูมิการเย็นตัว $\Delta T_{8/5}$

จากรูปที่ 11 แสดงตำแหน่งการคำนวณอุณหภูมิการเย็นตัว $\Delta T_{8/5}$ โดยคำนวณจากอุณหภูมิการเย็นที่อยู่ในช่วง 800 °C ถึง 500 °C ที่ตำแหน่ง P1 มีค่า $\Delta T_{8/5}$ เท่ากับ 8 วินาที, ตำแหน่ง P2 มีค่า $\Delta T_{8/5}$ เท่ากับ 8.25 วินาที, ตำแหน่ง P3 มีค่า $\Delta T_{8/5}$ เท่ากับ 8.5 วินาที, ตำแหน่ง P4 มีค่า $\Delta T_{8/5}$ เท่ากับ 9 วินาที และ ตำแหน่ง P5 มีค่า $\Delta T_{8/5}$ เท่ากับ 9.5 วินาที

4.3 การประเมินค่าความแข็งวิกฤตบริเวณกระทบร้อน

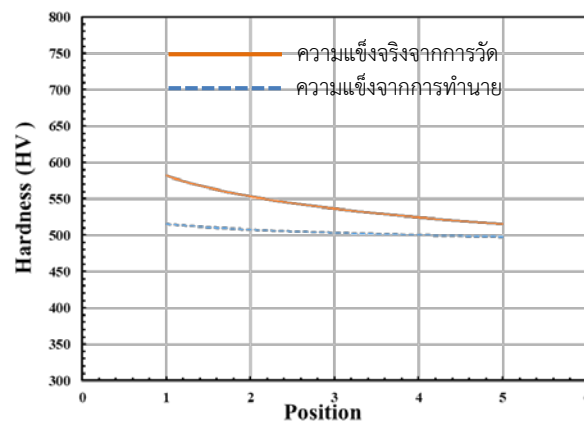
ภายหลังจากได้ค่าของ $\Delta T_{8/5}$ จากตำแหน่งอุณหภูมิการเย็นตัวที่กำหนดในไฟไนต์เอลิเมนต์ จึงนำมาทำนายค่าความแข็งสูงสุดสำหรับเหล็กกล้ารางรถไฟเกรด R0900A หรือ เหล็กกล้ายูเทคตอยด์ (Eutectoid Steel) ซึ่งในการทำนายค่าความแข็งวิกฤตบริเวณกระทบร้อน อ้างอิงจากการทดลองของคณะผู้วิจัยก่อนหน้านี้ [9] โดยได้ทำนายค่าความแข็งจากสมการที่ 1

$$\text{Predicted Hardness} = 798.87(\Delta T_{8/5})^{-0.213} \quad (1)$$

ภายหลังจากการแทนค่าในสมการที่ 1 ได้ผลการเย็นตัวที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 800°C ถึง 500°C ซึ่งทราบช่วงเวลาในการของแต่ละตำแหน่งค่าความแข็งจากการคำนวณแสดงดังตารางที่ 3 แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างการทำนายค่าความแข็งและจากการวัดค่าความแข็งจริง

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบระหว่างการทำนายค่าความแข็งและจากการวัดค่าความแข็งจริง

ตำแหน่ง	$\Delta T_{8/5}$ (s)	ทำนายค่าความแข็ง บริเวณกระทบบร้อน (HV)	ค่าความแข็งที่ได้จาก การวัด (HV)
P1	8	513.1	570.4
P2	8.25	509.6	551.5
P3	8.5	506.4	516.3
P4	9	500.3	522.4
P5	9.5	494.6	532.7



รูปที่ 12 เปรียบเทียบระหว่างความแข็งที่วัดจริงและความแข็งจากการทำนาย

จากรูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งที่วัดจริงและความแข็งจากการทำนาย ค่าความแข็งที่ได้จากการวัดจริงมีความแข็งอยู่ระหว่าง 516.3-570.4 HV และความแข็งที่ได้จากการจำลอง FEM มีค่าอยู่ระหว่าง 494.6-513.1 HV จากการเปรียบเทียบผลบ่งชี้ว่าค่าความแข็งวิฤตจากการจำลองและจากการวัดจริงมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองการประเมินความแข็งวิฤตสำหรับงานเชื่อมเชื่อมเหล็กรางรถไฟ ณ บริเวณกระทบบร้อนด้วยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเย็นตัว และเดลต้า $T_{8/5}$ [9] ดังนั้นจึงสามารถใช้ผลที่ได้จากการจำลองไปทำนายความแข็งวิฤตก่อนการเชื่อมในครั้งถัดไปได้

5. สรุป

จากการประเมินค่าความแข็งวิฤต ณ บริเวณกระทบบร้อนในการเชื่อมเชื่อมเหล็กรางรถไฟด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์สรุปผลการทดลองได้ ดังนี้

ผลการทดลองแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายค่าความแข็งและจำลองการกระจายตัวของอุณหภูมิงานเชื่อมด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์ผลเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงมีผลค่าความแข็งที่สอดคล้องกัน แต่อย่างไรก็ตามค่าความแข็งจากการทดลองจริงมีค่ามากกว่าการทำนายอยู่ในช่วงบวกสูงสุดที่ 60 HV หรืออาจเป็นลบ และข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองด้วยระเบียบไฟไนต์เอลิเมนต์จะถูกนำไปใช้ประโยชน์สำหรับการออกแบบข้อปฏิบัติงานเชื่อมต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพสำหรับการทดลองครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Tipsunave, C., Thawornsupacharoen, P., Hommuang, S., Simlee, K., & Paitoonphon, S. (2019). Office of the Permanent Secretary. Ministry of Transport. Retrieved February 1, 2020.
- [2] Dijis Sergejevs, Andris Tipainis, Pavels Gavriloys, Restoration of Railway Turnout Elements with Manual Metal Arc Welding and Flux-Cored Arc Welding, Procedia Engineering 134 (2016) 353 -358.
- [3] Micenko P, Li H (2013) Double dip hardness profiles in rail weld heat-affected zone-literature and research review report.Brisbane, Australia.
- [4] Maalekian M (2007) Friction welding of rails, Dissertation Graz niversity of Technology 8. Mutton P, Cookson J, Qiu C, Welsby D (2016) Microstructural characterisation of rolling contact fatigue damage in flashbutt welds. Wear:1–10.
- [5] Fletcher GVDI, Franklin FJ, Garnham JE,Muyupa E, Papaelias M,Davis CL, Kapoor A, Widiyarta M (2008) Three-dimensional microstructural modelling of wear, crack initiation and growth in rail steel. Int J Railw 1:106–112.
- [6] “Railway applications - Track - Flash butt welding of rails - Part 1: New R220, R260, R260Mn and R350HT grade rails in a fixed plant.” Austrian/European Standard OENORMEN 14587–1, 2008.
- [7] Pyo, C.; Jeong, S.-M.; Kim,J.; Park, M.; Shin, J.; Kim, Y.; Son, J.;Kim, J.-H.; Kim, M.-H. A Study on the Enhanced Process of Elaborate Heat Source Model Parameters for Flux Core ArcWelding of 9% Nickel Steel for Cryogenic Storage Tank. J.Mar. Sci. Eng. 2022, 10, 1810.
- [8] British standard BS11-1985, BS100A, R0900A, <https://www.railwayrail.com/products/bs-100a-steel-rail/>.
- [9] R. Phaoniam, S. Wonthaisong, N. Intawong, J. Chara and K.Nurinram, “Evaluationt HAZ hardness critical during railtraeie-welding repair useing the barrister betneen cooling rate and $\Delta T_{8/5}$ ” RMTC2023 (2023).
- [10] J.Goldak, A. Chakravarti, and M. Bibby; “A New Finite Element Model for Welding Heat Sources”, J.Metallurgical Transactions B,Vol. 15B, (1984),p.299-305.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียน

วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า รับผิดชอบต่อภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ต้องเป็นต้นฉบับ ไม่เคยตีพิมพ์หรือเผยแพร่ที่ไหนมาก่อน มีจุดประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้ และผลงานวิชาการด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรม และมีการตรวจสอบคุณภาพอย่างเคร่งครัด

1. ข้อกำหนดทั่วไป

บทความต้องประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ตามลำดับต่อไปนี้ คือ

- ชื่อเรื่อง/บทความ (Title)
- ชื่อผู้เขียน/อีเมล (Author, E-mail)
- ที่อยู่ผู้เขียน (Affiliation)
- บทคัดย่อ (Abstract)
- คำสำคัญ (Keywords)
- บทนำ (Introduction)
- เนื้อหา (Text)
- สรุป (Conclusion)
- กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) (Acknowledgements)
- เอกสารอ้างอิง (References)

2. คำแนะนำในการเขียนและพิมพ์

บทความที่มีความประสงค์เผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ให้ผู้เขียนใช้ฟอนต์ TH Sarabun New ทั้งฉบับ เว้นแต่การใช้สัญลักษณ์เฉพาะ โดยมีการกำหนดขนาดของตัวอักษรและการกำหนดตัวพิมพ์หนา (Bold) และตัวพิมพ์ปกติ (Regular) ดังนี้

2.1. ชื่อเรื่อง/บทความ (Title) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 ด้วยการพิมพ์ตัวหนา ควรใช้ชื่อเรื่องให้มีความกระชับแต่ครอบคลุมสาระเนื้อหาของบทความเพื่อสื่อความหมายของบทความอย่างชัดเจน ไม่ใช้คำย่อ โดยจัดวางกึ่งกลางหน้ากระดาษ

2.2. ชื่อผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) และผู้เขียนร่วม (Co-Author) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ด้วยการพิมพ์ตัวปกติ ไม่ต้องระบุตำแหน่งและตำแหน่งทางวิชาการ ให้ใส่หมายเลขลำดับ (ตัวยก) แสดงสังกัดที่แตกต่างกัน และใส่เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้หลัง ชื่อ-สกุล และหมายเลขสังกัด ของผู้เขียนหลัก (ตัวยก)

2.2.1 สำหรับผู้เขียนหลัก ให้ระบุ E-mail เพื่อใช้ในการติดต่อ

2.3. สังกัดผู้เขียน (Affiliation) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ด้วยการพิมพ์ตัวปกติ ประกอบด้วย ชื่อสังกัด ที่อยู่ และรหัสไปรษณีย์ โดยให้ใส่ตัวเลขกำกับไว้ด้านหน้าโดยใช้ตัวยก

2.4. บทย่อบทคัดย่อ (Abstract) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 หัวข้อให้ใช้ตัวพิมพ์หนาและสำหรับเนื้อหาของบทคัดย่อให้ใช้ตัวพิมพ์ปกติ ซึ่งเป็นการสรุปประเด็นเนื้อหาที่เป็นแก่นสำคัญเน้นประเด็นสำคัญของงาน ที่ต้องการนำเสนอ โดยควรประกอบด้วยวัตถุประสงค์ วิธีการ เครื่องมือ และผลสรุป ควรเขียนให้สั้นที่ได้จากการวิจัย และกระชับ สำหรับบทคัดย่อภาษาอังกฤษ ผู้เขียนต้องใช้หลักไวยากรณ์ที่ถูกต้องและต้องมีความหมายเดียวกันกับบทคัดย่อภาษาไทย ถ้าบทความเป็นภาษาไทยจะต้องมีบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยให้ภาษาไทยขึ้นก่อน มีความยาวไม่เกิน 1,000 คำ

2.5. คำสำคัญ (Keywords) มีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 โดยใช้ตัวพิมพ์หนาตัวพิมพ์ปกติ ดังตัวอย่างใน Template นี้ ควรเป็นคำที่อยู่ในชื่อบทความ โดยให้ระบุ 3-5 คำ สำหรับภาษาไทย ให้เว้นวรรคระหว่างคำสำคัญ โดยไม่ใส่จุลภาค หรือ ลูกน้ำ (,) ขึ้นระหว่างคำสำคัญ

2.6. บทนำ (Introduction) ใช้ตัวอักษรขนาด 14 หัวข้อให้ใช้ตัวพิมพ์หนาและสำหรับเนื้อหาให้ใช้ตัวพิมพ์ปกติ ในส่วนนี้เป็นเนื้อหาที่ผู้เขียนตั้งใจให้อ่านเกิดความสนใจในเรื่องนั้นๆ ซึ่งควรมีข้อมูลปฐมภูมิจากการทบทวนวรรณกรรม ข้อมูลทางวิชาการ โดยการสรุปและมีการอ้างอิง เพื่อไว้เป็นข้อมูลที่ผู้กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.7. เนื้อหา (Text) ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ด้วยตัวพิมพ์ปกติ โดยบทความที่เสนออาจพิมพ์เป็นภาษาไทยหรือภาษาอังกฤษ ตามรูปแบบที่กำหนดเพื่อพร้อมที่จะนำไปพิมพ์ได้ทันที โดยกำหนดขนาดพิมพ์ขนาด A4 ใช้รูปแบบการพิมพ์ 1 คอลัมน์ตามรูปแบบบทความนี้ ไม่มีเว้นระยะห่างระหว่างบรรทัด นอกจากการขึ้นหัวข้อใหม่ให้เว้นบรรทัด 1 บรรทัด โดยจะต้องพิมพ์ให้เต็มคอลัมน์ก่อนที่จะขึ้นคอลัมน์ใหม่ หรือขึ้นหน้าใหม่ ห้ามเว้นที่เหลือไว้ว่างเปล่า

การลำดับหัวข้อในส่วนของเนื้อหานี้ ให้ใส่เลขกำกับโดยให้บทนำเป็นหัวข้อหมายเลข 1 และใส่มหัพภาค หรือ เครื่องหมายจุดหลังตัวเลข เว้นระยะห่าง 1 ช่อง และตามด้วยลำดับหัวข้อ โดยกำหนดให้ทั้งหัวข้อเป็นตัวพิมพ์หนาหากมีการแบ่งหัวข้อย่อย ให้ใช้เลขระบบทศนิยมกับหัวข้อย่อย เช่น 1.1 โดยใช้อักษรรูปแบบปกติ ซึ่งในส่วนเนื้อหาของบทความควรมีหัวข้อเรื่องระเบียบวิธีการ วัสดุและอุปกรณ์ และหัวข้ออื่นที่จำเป็นต่อการได้มาซึ่งผลการวิจัย

2.7.1 รูปแบบการเขียนตารางให้ดูตัวอย่างดังตารางที่ 1 กำหนดให้มีเส้นในแนวนอน มีเฉพาะเส้นในแนวนอน หัวข้อหลักในแต่ละคอลัมน์ กำหนดให้เป็นตัวหนา จัดชิดขอบด้านซ้ายของแต่ละคอลัมน์ และในส่วนเนื้อหาของตารางควรมีการอธิบายตารางที่นำมาใช้สื่อสารกับผู้อ่านในบทความ โดยใช้ตัวอักษรขนาด 12 ในเนื้อหาของตาราง โดยหัวข้อในตารางให้ใช้ตัวพิมพ์หนา

ชื่อ ตารางที่ 1 ใช้ตัวอักษรขนาด 14 ด้วยตัวพิมพ์หนาและตามด้วยชื่อตารางด้วยตัวพิมพ์ปกติจัดวางอยู่เหนือตาราง โดยไม่เว้นบรรทัดระหว่างชื่อตารางกับตาราง ตำแหน่งของชื่อตารางและตัวตารางให้จัดชิดซ้ายสุด

2.7.2 รูปภาพที่ใส่ในบทความควรมีความละเอียดเพียงพอต่อการแสดงรายละเอียดเพื่อสื่อสารกับผู้อ่าน ต้องมีอัตราส่วน (Ratio) ของรูปภาพที่ถูกต้อง หากมีตัวอักษรในภาพต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอและได้สัดส่วนกับรูปภาพดังกล่าว รูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลขกำกับเรียงลำดับก่อนและหลังพร้อมคำบรรยายได้รูปภาพ โดยจัดคำอธิบายและรูปไว้กึ่งกลางหน้ากระดาษ ไม่ควรใช้คำว่า “แสดง” เช่น ไม่ควรเขียนว่า “รูปที่ 1 แสดงเงื่อนไขการสร้างความเค้นดักค้ำขณะเชื่อม” ที่ถูกต้องควรเป็น “รูปที่ 1 เงื่อนไขการสร้างความเค้นดักค้ำขณะเชื่อม” ทั้งนี้ทุกรูปภาพต้องมีการอ้างอิงในเนื้อหา

2.7.3 การเขียนสมการจะต้องมีหมายเลขกำกับอยู่ภายในวงเล็บและเรียงลำดับที่ถูกต้อง ควรใช้ตัวพจน์เฉพาะแสดงถึงพารามิเตอร์หรือตัวแปรในสมการหรืออาจใช้สัญลักษณ์เฉพาะ หรือใช้รูปแบบ Equation ในการเขียน โดยต้องมีรายละเอียดแสดงความหมายของพารามิเตอร์ที่ปรากฏอยู่ในสมการ เว้นหนึ่งบรรทัดก่อนเขียนสมการ และเว้นหนึ่งบรรทัดหลังเขียนสมการ จัดให้สมการอยู่ตรงกลางหน้ากระดาษ

ตัวอย่างเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเสียดทาน (Friction Force; f) กับความดันกระทำตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ (Normal Pressure; N) ที่รู้จักกันในชื่อ Coulomb Friction ดังสมการ (1) โดยที่ μ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Coefficient of Friction) [2] ซึ่งต้องมีการอ้างอิงหากนำมาจากแหล่งอื่น ตัวอย่างการเขียนสมการแสดงดังสมการที่ (1) (เว้น 1 บรรทัด ด้วยขนาดอักษร 14)

$$\mu = \frac{f}{N} \quad (1)$$

(เว้น 1 บรรทัด ด้วยขนาดอักษร 14)

3. สรุป

ในส่วนเนื้อหา ผลที่ได้จากการวิจัยต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลหรือเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้าเพื่อให้ได้ข้อสรุปที่ได้จากงานวิจัยนี้ ควรแสดงถึงสิ่งที่ได้จากงานวิจัยนี้เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาต่อยอดกับงานวิจัยอื่นหรือผู้อ่าน รวมถึงสามารถใช้อ้างอิงข้อมูลหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้ โดยอาจเขียนแบ่งเป็นข้อ ๆ

1) บทความวิจัยควรมีความยาวของหน้ากระดาษระหว่าง 6 ถึง 12 หน้า

2) บทความทุกบทความที่ส่งเข้าในระบบเพื่อกระบวนการเผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ต้องได้รับความยินยอมจากผู้เขียนร่วมทุกท่าน และจะถูกตรวจสอบความซ้ำซ้อนจากกองบรรณาธิการตามมาตรฐานที่กำหนด รวมถึงจะถูกกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาอนุมัติ ให้แก้ไข หรือปฏิเสธการเผยแพร่ในวารสาร

3) การส่งบทความให้ดำเนินการผ่านระบบออนไลน์ ที่ <https://ph03.tci-thaijo.org/index.php/JTEP>

4. กิตติกรรมประกาศ

บรรณาธิการขอขอบคุณท่านที่สนใจเสนอผลงานเพื่อเผยแพร่ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า (JTEP) และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับการสนับสนุนจากทุกท่านเพื่อเผยแพร่ผลงานในวารสารนี้ต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Phaoniam, S. Wonthaisong, K. Nurinram and J. Kaewwichit. “ Study of Cracking Behavior of a Drilled Hole Edge Crack on ECT Sensitivity for Machinery Component Maintenance,” in *Proceeding of 7th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2022 (RMTC2022)*, Rajamangala University of Technology Isan, Thailand, 2022, pp. 221–222. (in Thai)
- [2] K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, New York, McGraw-Hill, 1985.

การอ้างอิงเอกสารใช้ระบบ (Vancouver Style) เรียงตามลำดับ ตามการใช้งาน โดยใส่ตัวเลขของ 1,2,3 เอกสารอ้างอิงไว้ในวงเล็บ เช่น [1] เป็นต้น แล้วรวบรวมไปเขียนอ้างอิง ตามรูปแบบวารสารกำหนด

ในการเขียนเอกสารอ้างอิงผู้เขียนต้องเขียนเป็นภาษาอังกฤษ ในกรณีแหล่งข้อมูลที่ใช้อ้างอิงมาจากแหล่งอ้างอิงภาษาไทย เช่น ตำราไทย วารสารไทย เป็นต้น ให้แปลเป็นภาษาอังกฤษ แล้ววงเล็บด้านท้ายชื่อภาษาต้น เช่น (in Thai) สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายการเอกสารอ้างอิง กำหนดให้ใช้รูปแบบ IEEE ดังตัวอย่างข้างล่าง ทั้งนี้ เพื่อความสะดวก สามารถใช้ IEEE style file ในโปรแกรม Endnote หรือใช้บริการจัดรูปแบบเอกสารอ้างอิงออนไลน์ฟรี โดยยกตัวอย่างเช่น เว็บไซต์ <http://www.citethisforme.com/citation-generator/ieee>

ตัวอย่างการเขียนเอกสารอ้างอิง

หนังสือ

- [3] K. Lange, *Handbook of Metal Forming*, New York, McGraw-Hill, 1985.
- [4] L. Stein, “Random patterns,” in *Computers and You*, J. S. Brake, Ed. New York: Wiley, 1994, pp. 55-70.
- [5] G. W. Stachowiak and A. W. Batchelor, *Engineering Tribology*, 3rd ed., Elsevier Butterworth-Heinemann, USA, 2005.

การประชุมวิชาการ

- [6] N. Angsuseranee and B. Watcharasresomroeng, “Performance of Diamond-like Carbon Film Sliding on Stainless Steel Graded SUS304 BA,” in *Proceeding of 5th Rajamangala Manufacturing and Management Technology Conference 2020 (RMTC2020)*, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Thailand, 2020, pp. 217–222. (in Thai)

วารสาร

- [7] A. Gård, P.V. Krakhmalev, J. Bergström and N. Hallbäck, “Galling resistance and wear mechanisms – cold work tool materials sliding against carbon steel sheets,” *Tribology Letters*. Vol. 26(1), 2007, pp. 67–72.
- [8] N. Angsuseranee, B. Watcharasresomroeng, P. Bunyawanchkul and S. Chartniyom, “Tribological behavior of tool steel substrate and solid films against 304 BA austenitic stainless steel under dry sliding,” *Advances in Tribology*, vol. 2020, 2020, pp. 1–11.

มาตรฐาน

- [9] *IEEE Criteria for Class IE Electric Systems*, IEEE Standard 308, 1969.
- [10] *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*, ASTM E8/E8M – 13a, 2013.

สิทธิบัตร

- [11] J.P. Wilkinson, “Nonlinear resonant circuit devices,” U.S. Patent 3 624 125, July 16, 1990.

เว็บไซต์

- [12] J. Jones. (1991, May 10). Networks (2nd ed.) [Online]. Available: <http://www.atm.com>
- [13] JFE Steel Corporation. (2020, September 9). Stainless Steels [Online]. Available: <https://www.jfe-steel.co.jp/en/products/stainless/catalog/g1e-001.pdf>

วิทยานิพนธ์

- [14] J.O. Williams, “Narrow-band analyzer,” Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng., Harvard Univ., Cambridge, MA, 1993.
- [15] N.M. Amer, “The effects of homogeneous magnetic fields on developments of tribolium confusum,” Ph.D. dissertation, Radiation Lab., Univ. California, Berkeley, Tech. Rep. 16854, 1995.

รายชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review)

รองศาสตราจารย์ ดร.วิชาญ ช่วยพันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ ดร.จิระพล กลิ่นบุญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
รองศาสตราจารย์ ดร.นเรศรชฎ พัฒนาเดช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
รองศาสตราจารย์ ดร.บวรโชค ผู้พัฒน์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.อิสริหัต พึ่งอัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ประยูร สุรินทร์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิวัฒน์ มุตตามระ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ประกาศ เมืองจันทร์บุรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รองศาสตราจารย์ สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ต่อสกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์ สิทธิเจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ วรพงศ์ บุญช่วยแทน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
รองศาสตราจารย์ ดร.คมกริช ละวรรณวงษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติชัย ไศจิพันธ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติวัฒน์ นิธิกาญจนธาร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ ภูเกล้าวัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีรวิทย์ โชคเหมาะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ใหม่ น้อยพิทักษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชรพล ตัณพิรุฬห์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชิดพงษ์ จอมเดช	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตติกรณ์ เสาร์แดน	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุเดช แสงสีดา	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธีรยุทธ กาญจนแสงทอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญญา ศรีสัตยกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิสิทธิ์ เมืองน้อย	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัฒน์ มูเก็ม	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กัวหน้า จงวัฒนารักษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยณรงค์ ศรีวัชบุตร	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฐิติ หมอรักษา	โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เฉลิมพล คล้ายนิล	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิรวัฒน์ ณ พัทลุง	สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ดร.จิระศักดิ์ ธาระจักร์	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ดร.เอกชัย วารินศิริรักษ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
ดร.ปริญญา กวีกิจบัณฑิต	คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ดร.ปกรณ์ ชุมรัมย์	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
ดร.ธงชัย เพ็งจันทร์ดี	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ดร.ประจักษ์ จัตกุล

โครงการจัดตั้งคณะวิศวกรรมศาสตร์บูรณาการและเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

ดร.สุริยพงศ์ นิลสังข์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ดร.ทงศักดิ์ คงสินธุ์

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ดร.ปิยะพงษ์ คำคุณ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

แบบฟอร์มส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ลงในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

ข้าพเจ้า (นาย/นาง/นางสาว)..... นามสกุล.....

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย ☐ บทความวิชาการ

เรื่อง (ภาษาไทย)

เรื่อง (ภาษาอังกฤษ)

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาไทย)

1. ชื่อ..... นามสกุล.....

2. ชื่อ..... นามสกุล.....

3. ชื่อ..... นามสกุล.....

ชื่อผู้เขียนร่วม (ภาษาอังกฤษ)

1. Firstname..... Surname

2. Firstname..... Surname

3. Firstname..... Surname

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก..... หมู่ที่..... ซอย.....

ถนน..... ตำบล/แขวง..... อำเภอ/เขต..... จังหวัด.....

รหัสไปรษณีย์..... E-mail.....

โทรศัพท์..... โทรสาร..... โทรศัพท์ (มือถือ).....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ ☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าแต่เพียงผู้เดียว

☐ เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความจริง

โดยขอรับรองว่ารูปภาพและข้อความทั้งหมดในบทความนี้ ไม่ละเมิดลิขสิทธิ์ใด ๆ และบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อน และจะไม่นำบทความนี้ไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นอีกเป็นการซ้ำซ้อนการละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นความรับผิดชอบของผู้เขียนบทความโดยตรง ทั้งนี้ผู้เขียนเข้าใจในนโยบายการรับบทความของวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้าแล้ว และยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า ถือเป็นลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ลงชื่อ.....

(.....)



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขอรับรองว่าบทความ.....

โดย

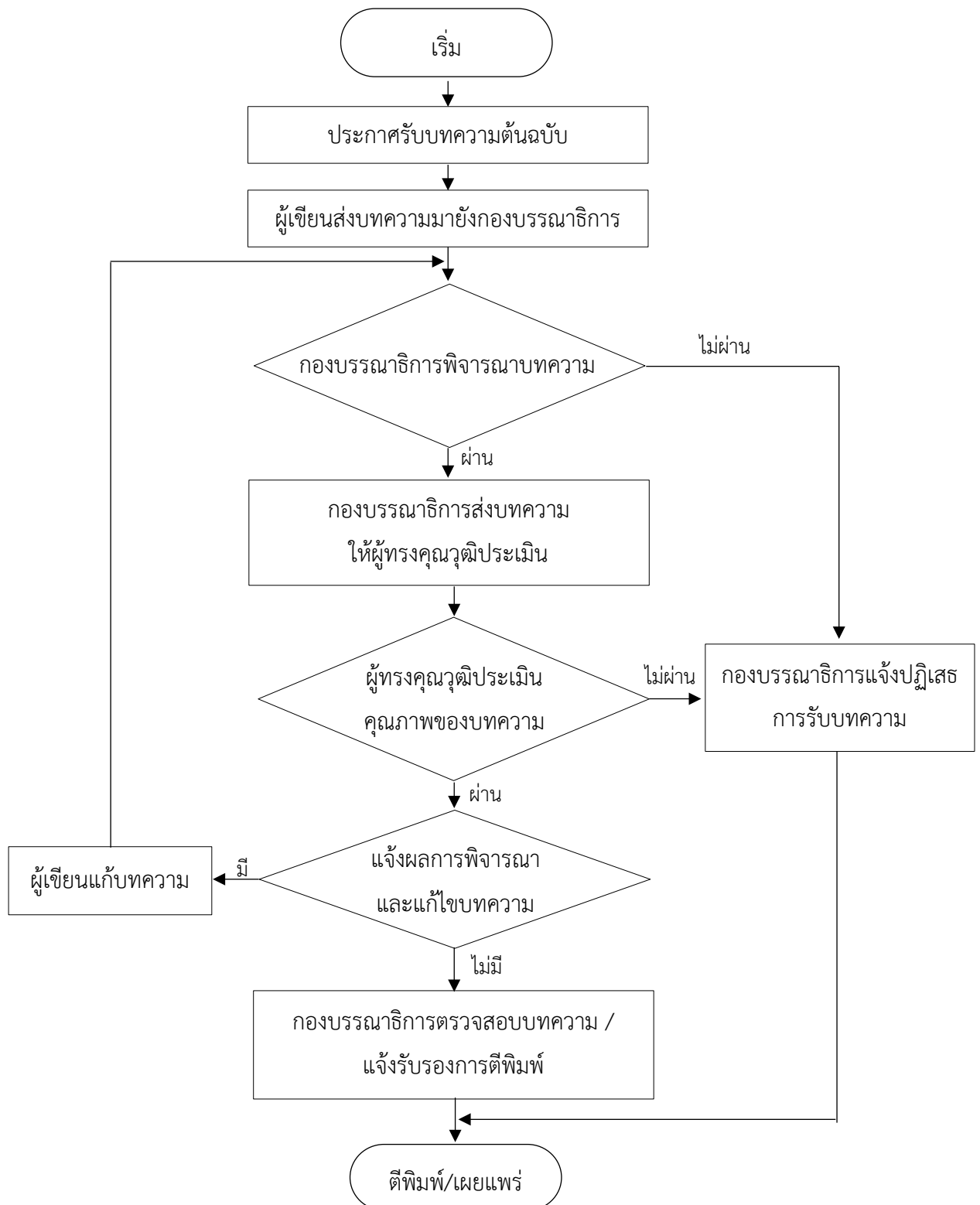
.....

.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจำนวน 3 ท่าน
และตีพิมพ์ในวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า
ปีที่ ฉบับที่ (..... - พ.ศ.)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฤทธิชัย เกาเนียม)
บรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

ขั้นตอนการจัดทำวารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า



วารสารเทคโนโลยีและวิศวกรรมก้าวหน้า

Journal of Technology and Engineering Progress

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ แขวงทุ่งมหาเมฆ

เขตสาทร กรุงเทพมหานคร 10120

E-mail : jtep.journal@mail.rmutk.av.th

