Srinakharinwirot University Engineering Journal
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
Vol. 22 No.1 (January - June 2026)
ISSN : 2774 - 0269 (Online)

Srinakharinwirot University Engineering Journal Vol. 22 No.1 (January - June 2026)

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นวารสารในศูนย์ข้อมูลดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai – Journal Citation Index Centre: TCI) กลุ่มที่ 2 พ.ศ. 2563-2567 เลขมาตรฐานสากลประจำวารสาร 2774-0269 (Online) เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการ ด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมชีวการแพทย์ และสาขาใกล้เคียงอื่นๆ ทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ เป็นภาษาอังกฤษหรือภาษาไทยที่มีบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จึงกำหนดให้จัดทำโครงการจัดทำวารสารทางวิชาการขึ้น โดยจัดพิมพ์เป็นประจำทุกปี วารสารตีพิมพ์ 2 ครั้งต่อปี (ทุก 6 เดือน) ในเดือน มิถุนายน และ ธันวาคม ฉบับที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม – มิถุนายน ฉบับที่ 2 ช่วงเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม ซึ่งบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ทุกบทความจะผ่านการทบทวนโดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 คนต่อบทความ (Peer-review) และประเมินบทความในลักษณะเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ หรือ Double Blinded review และสงวนสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พุทธศักราช 2521 และเผยแพร่แบบออนไลน์ทั่วประเทศ

วัตถุประสงค์

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (วศม) มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดสรรและเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีในสาขาวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมชีวการแพทย์ และสาขาใกล้เคียงอื่นๆ ทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ

เจ้าของ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
63 หมู่ 7 ตำบลองครักษ์ อำเภอองครักษ์
จังหวัดนครนายก 26120
โทร. 0 2649 5000 ต่อ 27560
http://eng.swu.ac.th และ https://www.tci-thaijo.org/index.php/sej
อีเมล journalengswu@gmail.com

คำสั่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ที่ 9116 / 2568

เรื่อง แต่งตั้งกองบรรณาธิการวารสารวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เพื่อให้การจัดทำวารสารวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นไปด้วยความเรียบร้อยและมีประสิทธิภาพ อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 29 มาตรา 34 แห่งพระราชบัญญัติมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2559 จึงแต่งตั้งกองบรรณาธิการวารสารวิชาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ดังรายชื่อต่อไปนี้

1. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	ที่ปรึกษา
2. รองคณบดีฝ่ายแผนและพัฒนา	ที่ปรึกษา
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิลดา หวังพานิช	บรรณาธิการอำนวยการ
4. รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุณยวานิชกุล	บรรณาธิการ
5. ศาสตราจารย์ ดร.ทนงเกียรติ เกียรติศิริไพโรจน์	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
6. ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ อัครเอกฒาลิน	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
7. ศาสตราจารย์ ดร.เอเดรียน อีวาน ฟลัด	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
8. ศาสตราจารย์ ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
9. ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์ จำนงไทย	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
10. ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤกษ์	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
11. ศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
12. ศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ยอดสุดใจ	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
13. ศาสตราจารย์ ดร.วรงค์ ปวราจารย์	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
14. ศาสตราจารย์ ดร.ศราวุธ ริมดุสิต	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
15. ศาสตราจารย์ ดร.สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
16. ศาสตราจารย์ ดร.พงษ์เจต พรหมวงศ์	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
17. ศาสตราจารย์ ดร.อภิชาต โสภาแดง	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
18. ศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต ชาลีรักษ์ตระกูล	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
19. พันเอกหญิง ศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล เสนีวงศ์ ณ อยุธยา	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ

/20.รองศาสตราจารย์ ...

20. รองศาสตราจารย์ ดร.อธิคม ฤกษบุตร	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
21. รองศาสตราจารย์ ดร.ดวงพรรณ ศฤงคารินทร์	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
22. รองศาสตราจารย์ ดร.เตือนใจ สมบูณ์วิวัฒน์	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
23. รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
24. รองศาสตราจารย์ ดร.ธนิยา เกาศล	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
25. รองศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ กล่อมจิตร	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
26. รองศาสตราจารย์ ดร.รุ่งเรือง กาลศิริศิลป์	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
27. รองศาสตราจารย์ ดร.พัชราภรณ์ บุณยวานิชกุล	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
28. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย เหมหิรัญ	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
29. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐชานันท์ อังศุเศรณี	กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
30. รองศาสตราจารย์ ดร.จันจิรา จับศิลป์	กรรมการ
31. รองศาสตราจารย์ ดร.นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์	กรรมการ
32. รองศาสตราจารย์ ดร.สุนิติ สุภาพ	กรรมการ
33. รองศาสตราจารย์ ดร.ประมวล ชูรัตน์	กรรมการ
34. รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญา ชัยปัญญา	กรรมการ
35. รองศาสตราจารย์ธนยศ อริสริยวงศ์	กรรมการ
36. รองศาสตราจารย์ธีรภัทร หลิ่มบุญเรือง	กรรมการ
37. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชาดา ตันติสถิระพงษ์	กรรมการ
38. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์ คงประเสริฐ	กรรมการ
39. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธิดา ทีปรักษพันธุ์	กรรมการ
40. อาจารย์ ดร.วัณโน ยีตำ	กรรมการ
41. อาจารย์ ดร.กฤษฎา เล่งเวหาสถิตย์	กรรมการ
42. นางสาวลินดา นิลพัท	กรรมการฝ่ายการเงิน
43. นายณัฐกาญจน์ ไชยสมบูรณ์	กรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์
44. นางธิดา ศรีกงพาน	กรรมการฝ่ายประชาสัมพันธ์
45. นางสาวยุพาพร ประไพย์	กรรมการและผู้ช่วยบรรณาธิการ

โดยคณะกรรมการกองบรรณาธิการฯ มีหน้าที่และความรับผิดชอบหลัก ดังนี้

1) กำหนดนโยบายและแนวทางของวารสาร ขอบเขต และทิศทางของวารสาร รวมถึงกำหนดเป้าหมาย กลุ่มผู้อ่าน และมาตรฐานในการตีพิมพ์ ทั้งในด้านคุณภาพทางวิชาการ จริยธรรมการเผยแพร่ และรูปแบบการนำเสนอ เพื่อให้วารสารมีเอกลักษณ์และเป็นที่ยอมรับในระดับสถาบัน ชาติ และนานาชาติ

/2) บริหารจัด ...

2) บริหารจัดการกระบวนการพิจารณาบทความ เมื่อมีการส่งบทความเข้ามา กองบรรณาธิการจะเป็นผู้ตรวจสอบความเหมาะสมเบื้องต้น เช่น ความครบถ้วนของเนื้อหา การจัดรูปแบบตามที่กำหนด และความสอดคล้องกับขอบเขตของวารสาร จากนั้นจึงคัดเลือกผู้ทรงคุณวุฒิ (Reviewer) ที่มีความเชี่ยวชาญตรงสาขามาดำเนินการประเมิน (Peer Review) พร้อมทั้งติดตามและประสานงานให้กระบวนการดำเนินไปอย่างโปร่งใสและเป็นธรรม

3) ตัดสินใจและอนุมัติการตีพิมพ์ หลังจากได้รับผลการประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ กองบรรณาธิการจะทำหน้าที่พิจารณาและตัดสินใจว่าบทความใดควรได้รับการตีพิมพ์ ปรับแก้ หรือปฏิเสธ โดยอิงตามคุณภาพ ความถูกต้อง ความสำคัญทางวิชาการ และความสอดคล้องกับนโยบายวารสาร

4) ตรวจสอบคุณภาพทางวิชาการและภาษา ของบทความทั้งในด้านเนื้อหา ความถูกต้องของการอ้างอิง การใช้เหตุผลเชิงวิชาการ ตลอดจนการตรวจสอบภาษาให้ถูกต้อง ชัดเจน และเป็นมาตรฐาน เพื่อให้บทความที่เผยแพร่ออกมามีคุณภาพและสามารถสื่อสารต่อผู้อ่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5) กำกับดูแลจริยธรรมการตีพิมพ์ ให้การดำเนินงานของวารสารเป็นไปตามหลักจริยธรรมสากล เช่น การป้องกันการลอกเลียนผลงาน (Plagiarism) การหลีกเลี่ยงผลประโยชน์ทับซ้อน (Conflict of Interest) และการเคารพสิทธิของผู้เขียนและผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อสร้างความโปร่งใสและความเชื่อถือ

6) ส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพของวารสาร การเผยแพร่ และประชาสัมพันธ์วารสาร รวมทั้งพัฒนาระบบการจัดการให้มีความทันสมัย เช่น การจัดทำในรูปแบบออนไลน์ การจัดทำฐานข้อมูลเพื่อเชื่อมโยงกับเครือข่ายวิชาการ และการผลักดันให้วารสารเข้าสู่ฐานข้อมูลที่ได้รับการยอมรับในระดับสากล

7) สร้างเครือข่ายและความร่วมมือกับนักวิชาการ ผู้ทรงคุณวุฒิ สถาบันการศึกษาต่างๆ เพื่อยกระดับคุณภาพของวารสาร รวมถึงการเชิญนักวิชาการชั้นนำมาเป็นบรรณาธิการรับเชิญหรือผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อเสริมสร้างชื่อเสียงและความเชื่อมั่น

ทั้งนี้ ตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม 2568 เป็นต้นไป และให้ยกเลิกคำสั่งมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ 14012/2567 ลงวันที่ 24 ธันวาคม 2567 และคำสั่งที่ขัดแย้งกับคำสั่งฉบับนี้ โดยให้ถือปฏิบัติหน้าที่ตามคำสั่งฉบับนี้แทน

สั่ง ณ วันที่ 2 กันยายน พ.ศ. 2568

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชลวิทย์ เจียรจิตต์)
อธิการบดีมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

บทบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้จัดพิมพ์ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการ ผลงานวิจัย และแลกเปลี่ยนแนวคิด ความรู้ ความก้าวหน้าใหม่ ด้านวิศวกรรมศาสตร์อย่างต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลากว่า 20 ปี โดยบทความทุกเรื่องได้ผ่านการพิจารณากลั่นกรองและประเมินคุณภาพตามกระบวนการจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องจากหลายสถาบันการศึกษา ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับนี้ ได้นำเสนอบทความจำนวนทั้งสิ้น 8 บทความ เป็นบทความวิจัยจำนวน 8 บทความ โดยบทความทั้งหมดเป็นผลงานวิจัยพื้นฐานและผลงานวิจัยประยุกต์ในสาขาต่างๆ ทางวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งผลงานที่เผยแพร่ในครั้งนี้เป็นผลงานวิจัยที่มุ่งเน้นไปที่การประยุกต์ใช้งานและการแก้ปัญหาเชิงปฏิบัติการที่เข้ากับสถานการณ์ปัจจุบัน

วารสารวิศวกรรมศาสตร์จัดพิมพ์เป็นประจำทุกปี โดยตีพิมพ์ 2 ครั้งต่อปี (ทุก 6 เดือน) ในเดือน มิถุนายน และธันวาคม ฉบับที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม – มิถุนายน ฉบับที่ 2 ช่วงเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม ซึ่งบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ทุกบทความจะผ่านการทบทวนโดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 คนต่อบทความ (Peer-review) และประเมินบทความในลักษณะเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ หรือ Double Blinded review และสงวนสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พุทธศักราช 2521 และเผยแพร่แบบออนไลน์ทั่วประเทศ

กองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นเวทีทางวิชาการ ที่จะกระตุ้นการผลิตผลงานและแลกเปลี่ยนเรียนรู้ของนักวิจัย นักวิชาการและผู้อ่านทุกท่าน ทั้งนี้ เพื่อการมีส่วนร่วมในการสร้างสรรค์งานวิจัยอันจะเป็นการส่งเสริมการพัฒนาประเทศ ตามแนวนโยบายประเทศไทย 4.0 ในโอกาสนี้กองบรรณาธิการขอขอบคุณกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการประเมินบทความ ให้ความเห็นที่เป็นประโยชน์และมีส่วนร่วมในการพัฒนาคุณภาพและมาตรฐานของวารสารฯ ฉบับนี้เสมอ สุดท้ายนี้หากมีข้อเสนอแนะประการใดทางกองบรรณาธิการฯ ยินดีรับฟังข้อเสนอแนะเพื่อการปรับปรุงและพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพยิ่งขึ้น

รองศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุณยวานิชกุล
บรรณาธิการวารสาร

สารบัญ

บทความวิจัย

การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรม 4.0 ด้วย ROS 2 และ LabVIEW 1
Development of an Autonomous Mobile Robot for Industry 4.0 Based on ROS 2 and LabVIEW
กังวานไกล ผิผ่วนนอก1 ธนยศ อริสริยวงศ์

ตำแหน่งติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในอาคารที่เหมาะสมเพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงจากอัคคีภัย 11
The Appropriate Location for Installation of Electric Vehicle Charging Stations in Buildings to Prevent and Reduce Fire Risks
วันทนีย์ มิ่งมา วีรวุฒิ กนกบรรณกร ปานจิต ดำรงกุลกำจร

การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design เพื่อการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN ในการกัดเหล็กกล้า SKD61 24
A 2^3 Factorial Design for Studying Parameters Affecting the Wear of TiAlN-Coated Cutting Tools in SKD61 Steel Milling
เกริกชัย มีหนู* สมชาย โพธิ์พยอม

กำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ใช้การแทนที่ทรายด้วยมวลรวมเศษขยะพลาสติก 35
Strength and Durability of Concrete Using Sand Replacement with Plastic Waste Aggregate
อัญชนา กิจจานนท์ ลีน่า ปรัก ทวีชัย สำราญวานิช

การเพิ่มผลผลิตในวิธีการปอกมะพร้าวของผู้ประกอบการค้าส่งมะพร้าวแห้ง 53
Productivity Improvement in Coconut Peeling for Dried Coconut Wholesaler
วีรชัย มัฏฐารักษ์ เสรี หนูหลง พิเชษฐ์ รัตนบุญทวี

เครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นราคาประหยัด 69
A Cost-effective Cryotherapy Machine Using Cold Air Spraying
ภาณุศักดิ์ มูลศรี นพรัตน์ อมัติรัตน์* อภิเดช บุญเจือ ธวัชชัย จารุวงศ์วิทยา สัญชัย รำเพยพัด

การพัฒนาระบบทำรายการวัสดุเพื่อทำใบสั่งผลิตโดยใช้วีบีเอบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล กรณีศึกษาสินค้าม่านและมู่ลี่ 77
Development of a Bill of Materials System for Production Order Management Using VBA in Microsoft Excel: A Case Study of Curtain and Venetian blinds Products
ชุติมน เตียสกุล บัณฑิตา จันทรกลั่น พุทธกร จันทร์ไพร กิตติชัย อธิกุลรัตน์

การปรับปรุงสายการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคของลีนและจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ 93
Supercomputer Production Line Improvement by Lean Techniques and Computer Simulation
ภนิตา พรประเสริฐภัทรา, กัญฏิณิษฐ์ ยิ่งวุฒิวรกุล, วรรณวิภา ชวาลสันตติ, บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์

Srinakharinwirot University Engineering Journal (2026) 22(1), 1-10 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรม 4.0 ด้วย ROS 2 และ LabVIEW

Development of an Autonomous Mobile Robot for Industry 4.0 Based on ROS 2 and LabVIEW

กังวานไกล ผิผ่วนนอก[1] ธนยศ อริสริยวงศ์[2]*
[1]ศูนย์แห่งความยอดเยี่ยมทางวิศวกรรมเพื่อความยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120
[2]ห้องปฏิบัติการวิจัยเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120
Kangwankai Piphounnok[1] Tanayos Arisariyawong[2]*
[1]Exellent Center for Sustainable Engineering, Faculty of Engineering, Ongkharak, Nakhonnayok, 26120
[2]Mechatronics and Robotics Research Laboratory, Mechanical Engineering Department,
Faculty of Engineering, Ongkharak, Nakhonnayok, 26120
*Corresponding author Email: Tanayos.Swu@gmail.com
(Received: September 4, 2025; Revised: September 23, 2025 ; Accepted: January 8, 2026)

บทคัดย่อ

หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติถือเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการผลิตสมัยใหม่ในยุคอุตสาหกรรม 4.0 เนื่องจากสามารถสร้างเส้นทางเดินและหลบหลีกสิ่งกีดวางได้ด้วยตนเอง ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง แต่จะพบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเชิงพาณิชย์มีราคาสูงและการเชื่อมต่อกับโปรแกรมภายนอกทำได้ยาก เป็นผลให้โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็กและกลางของไทยไม่สามารถเข้าถึงเทคโนโลยีนี้ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยซอฟต์แวร์ ROS 2 ที่เป็นโอเพนซอร์สในการพัฒนาระบบควบคุมและนำทางของหุ่นยนต์ ร่วมกับซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เป็นซอฟต์แวร์ทางด้านงานวิศวกรรมเพื่อสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจาก LabVIEW จะรับคำสั่งจากผู้ใช้งานบนคอมพิวเตอร์และส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายไร้สายไปยังโปรแกรม ROS 2 ที่ทำงานอยู่บนคอมพิวเตอร์ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ เพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นนี้จะมีต้นทุนทางด้านซอฟต์แวร์ที่ลดลงมาก มีความยืดหยุ่นสูง และสามารถขยายต่อได้ในอนาคต จากผลการทดลองพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจาก LabVIEW สามารถรับส่งข้อมูลกับโปรแกรม ROS 2 ได้เป็นอย่างดี สามารถสร้างแผนที่จากการควบคุมแบบแมนนวลผ่านโปรแกรม LabVIEW หุ่นยนต์สามารถสร้างเส้นทางเดินไปยังจุดหมายพร้อมหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วยตัวเองอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการนำทางในพื้นที่โล่งมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน x, y, φ เท่ากับ 0.08 m, -0.03 m, -5.19° ตามลำดับ ส่วนกรณีการนำทางที่มีสิ่งกีดขวางมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน x, y, φ เท่ากับ 0.07 m, -0.03 m, -4.28° ตามลำดับ

คำสำคัญ: หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ การนำทาง การบริการกระจายข้อมูล ระบบปฏิบัติการหุ่นยนต์ แลปวิว

ABSTRACT

Autonomous mobile robots (AMR) are an important part of modern manufacturing processes in the Industry 4.0 era. They can create paths and avoid obstacles on their own, providing high flexibility. However, commercial autonomous mobile robots are expensive and difficult to connect to external programs. As a result, small and medium-sized factories in Thailand cannot access this technology. Therefore, this research presents the development of autonomous mobile robots using the open-source ROS 2 software to develop robot control and navigation systems, along with LabVIEW, an engineering software, to create a user interface. The LabVIEW program receives commands from the user on the computer and transmits data via a wireless network to the ROS 2 program running on the autonomous mobile robot's computer for controlling the robot to the desired location. This autonomous mobile robot offers significantly reduced software costs, is highly flexible, and is expandable in the future. The experimental results show that the LabVIEW program effectively transmits data to the ROS 2 program. A map can be generated from manual control via LabVIEW. This autonomous mobile robot can efficiently create a path to its destination and avoid obstacles. For the open-space case, the average errors in the x, y, φ were 0.08 m, -0.03 m, -5.19°. In the case of navigation with obstacles, the average errors in the x, y, φ were 0.07 m, -0.03 m, -4.28°.

Keyword: Autonomous mobile robot, navigation, data distribution service, ROS, LabVIEW.

1. บทนำ

ปัจจุบันขบวนการผลิตในอุตสาหกรรมได้เปลี่ยนเป็นแบบอุตสาหกรรม 4.0 [1-2] ซึ่งเป็นการผลิตสมัยใหม่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบผลิตภัณฑ์ได้ตามความต้องการอย่างรวดเร็ว และลดการใช้แรงงานคน มีการนำระบบควบคุมอัตโนมัติมาทำงานร่วมกับหุ่นยนต์อุตสาหกรรมมากขึ้น [3-5] การขนถ่ายวัสดุเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญมากต่อระบบการผลิตซึ่งอาจเป็นค่าใช้จ่ายมากถึง 2 ใน 3 ของการผลิตทั้งหมด [6] ดังนั้นการขนย้ายวัสดุหรืออุปกรณ์จำเป็นจะต้องมีระบบการเคลื่อนย้ายอัตโนมัติมาช่วยทำงาน จึงมีการพัฒนารถขนส่งแบบนำทางอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle: AGV) หรือเรียกว่ารถเอจีวี ขึ้นมาใช้ในสายการผลิต [7] โดยรถเอจีวีจะต้องติดตั้งเส้นทางการวิ่งไว้ที่พื้นเพื่อใช้นำร่องแบบกำหนดเส้นทางเดินที่แน่นอน การปรับเปลี่ยนรูปแบบเส้นทางการวิ่งทำได้ยาก ต่อมามีการพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ (Autonomous Mobile Robot: AMR) ที่มีความสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางและสร้างแผนที่เพื่อกำหนดเส้นทางการวิ่งได้ด้วยตนเองขึ้นมา [8] แต่การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติเป็นเรื่องที่มีความยุ่งยากและซับซ้อนเนื่องจากมีองค์ประกอบหลายส่วนที่ทำงานร่วมกัน ทำให้ต้นทุนในการพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติมีราคาสูงมาก อีกทั้งการพัฒนาโปรแกรมของหุ่นยนต์ก็ทำได้ลำบากเนื่องจากยังเป็นการพัฒนาแบบรวมทุกฟังก์ชันการทำงานไว้ในโปรแกรมเดียว ต่อมาได้มีการพัฒนาซอฟต์แวร์ ROS (Robot Operating System) ซึ่งเป็นชุดซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สสำหรับพัฒนาหุ่นยนต์ โดยมีไลบรารี เครื่องมือ และเฟรมเวิร์คต่างๆ ที่ช่วยให้สามารถสร้างโมดูลการทำงานของหุ่นยนต์เป็นส่วนๆ และสามารถสื่อสารกันได้ ทำให้การพัฒนาระบบหุ่นยนต์มีความยืดหยุ่นและมีต้นทุนที่ต่ำ [9] โดยปัจจุบันได้พัฒนาเป็นซอฟต์แวร์ ROS รุ่นที่ 2 หรือเรียกว่า ROS 2 ที่มี

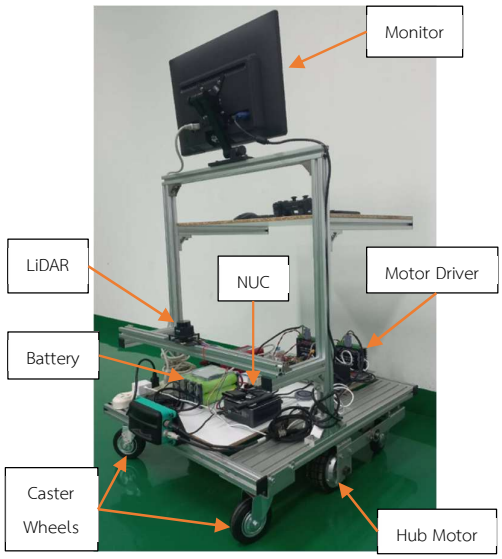
ความสามารถเพิ่มขึ้น ปรับปรุงเฟรมเวิร์คให้เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรม เปลี่ยนระบบการสื่อสารระหว่างโหนดเป็น DDS (Data Distribution Service) ซึ่งเป็นมาตรฐานสากลในการรับส่งข้อมูลระหว่างโปรแกรมต่างๆ เป็นต้น [10] ทำให้มีการพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยใช้ซอฟต์แวร์ ROS 2 กันอย่างแพร่หลาย [11-12] รวมถึงมีการพัฒนาให้โปรแกรมภายนอกสามารถเชื่อมต่อกับซอฟต์แวร์ ROS ได้ด้วย [13] แต่จะพบว่าซอฟต์แวร์ ROS 2 จะมีเฉพาะเครื่องมือพัฒนาทางด้านหุ่นยนต์เท่านั้นไม่มีเครื่องมือทางด้านวิศวกรรมอื่นๆ รวมถึงไม่มีเครื่องมือสำหรับใช้สร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน ทำให้การนำไปใช้งานจริงมีข้อจำกัดและขยายการใช้งานไปยังงานวิศวกรรมอื่นๆทำได้ยาก

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติโดยใช้ซอฟต์แวร์ ROS 2 พัฒนาระบบควบคุมและนำทางของหุ่นยนต์ ร่วมกับซอฟต์แวร์ LabVIEW [14] ที่ได้รับความนิยมในงานวิศวกรรมเพื่อสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน สามารถรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายไร้สายและทำงานข้ามแพลตฟอร์มได้ ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นนี้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง สามารถขยายการใช้งานไปยังงานวิศวกรรมต่างๆเพิ่มเติมได้ ซึ่งเหมาะกับการนำมาใช้ในอุตสาหกรรม 4.0 เป็นอย่างดี

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 ส่วนประกอบและโครงสร้างของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยโครงสร้างทำจากอลูมิเนียมโปรไฟล์ มีขนาด กว้างxยาวxสูง เท่ากับ 670x720x870 mm. ใช้การขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลไดร์ฟ (Differential Drive) ด้วยล้อขับจำนวน 2 ล้อ ที่เป็นอิสระต่อกัน โดยใช้มอเตอร์ฮับ (Hub Motor) เป็นต้นกำลัง ติดตั้งที่กลางตัวหุ่นยนต์ มีลูกล้อ (Caster Wheel) ด้านหน้าและด้านหลังอย่างละ 2 ล้อ สำหรับรักษาสมดุลของตัวหุ่นยนต์ มีการออกแบบกลไกให้ล้อขับและลูกล้อด้านหลังสามารถขึ้นลงได้ตามระดับพื้นที่ไม่เท่ากัน เพื่อช่วยให้ล้อขับติดพื้นตลอดเวลา ติดตั้งเซนเซอร์ไลดาร์ (LiDAR Sensor) เพื่อทำหน้าที่ตรวจจับสิ่งกีดขวางและสร้างแผนที่ ใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก รุ่น Intel NUC Core i5-7260U เป็นตัวควบคุมหลัก ขับเคลื่อนมอเตอร์ฮับด้วยบอร์ดขับมอเตอร์ (Motor Driver) ใช้แบตเตอรี่ชนิด $LiFePO_4$ ขนาด 24 V 15 AH เป็นแหล่งพลังงาน ติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (Inverter) ขนาด 1,600 W เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับจ่ายให้กับคอมพิวเตอร์และจอแสดงผลที่ติดตั้งด้านบนตัวหุ่นยนต์

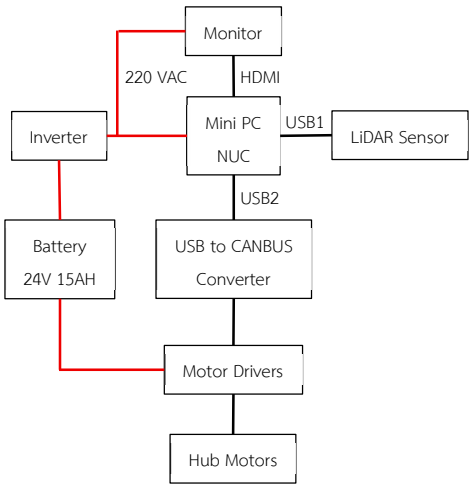


รูปที่ 1 ส่วนประกอบของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

2.2 ไดอะแกรมการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

ไดอะแกรมการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2 โดยเริ่มจากแบตเตอรี่จ่ายไฟให้กับบอร์ดขับมอเตอร์เพื่อใช้ในการขับมอเตอร์ฮับ และจ่ายไฟให้กับอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับจ่ายให้กับคอมพิวเตอร์และจอแสดงผล จากนั้นจอแสดงผลต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต HDMI ส่วนเซนเซอร์ไลดาร์ต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง

พอร์ต USB1 และเนื่องจากบอร์ดขับมอเตอร์รับคำสั่งควบคุมผ่านทางพอร์ต CANBUS เท่านั้น แต่คอมพิวเตอร์ NUC ไม่มีพอร์ต CANBUS ดังนั้นจึงต้องใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณจาก USB ไปเป็นสัญญาณ CANBUS เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารกับบอร์ดขับมอเตอร์ได้ โดยต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต USB2



รูปที่ 2 ไดอะแกรมการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

2.3 จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติทำได้โดยการควบคุมความเร็วเชิงมุมของล้อขับทั้งสองข้างเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังทิศทางต่างๆตามที่ต้องการ แต่คำสั่งที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในซอฟต์แวร์ ROS 2 จะอยู่ในรูปความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมของตัวหุ่นยนต์ โดยความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมของตัวหุ่นยนต์กับความเร็วเชิงมุมของล้อขับทั้งสองข้างสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3 และจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบดิฟเฟอเรนเชียลไดร์ฟสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1

$$\omega_L = \frac{V - \omega \times \frac{b}{2}}{r} \qquad (1)$$
$$\omega_R = \frac{V + \omega \times \frac{b}{2}}{r}$$

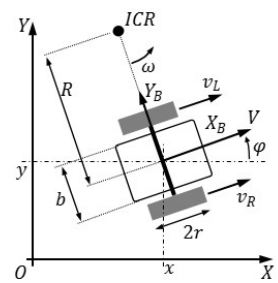
โดย ω_L, ω_R คือ ความเร็วเชิงมุมของล้อขับด้านซ้ายและขวาของหุ่นยนต์

V คือ ความเร็วเชิงเส้นของหุ่นยนต์

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของหุ่นยนต์

b คือ ความกว้างของตัวหุ่นยนต์

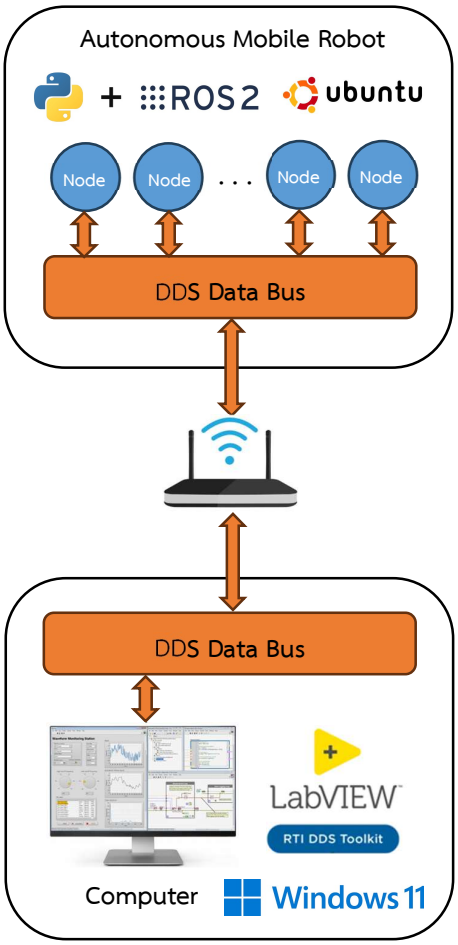
r คือ รัศมีของล้อขับ



รูปที่ 3 จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์แบบดิฟเฟอเรนเชียลไดร์ฟ [15]

2.4 การออกแบบระบบการทำงานร่วมกันระหว่าง ROS 2 และ LabVIEW ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

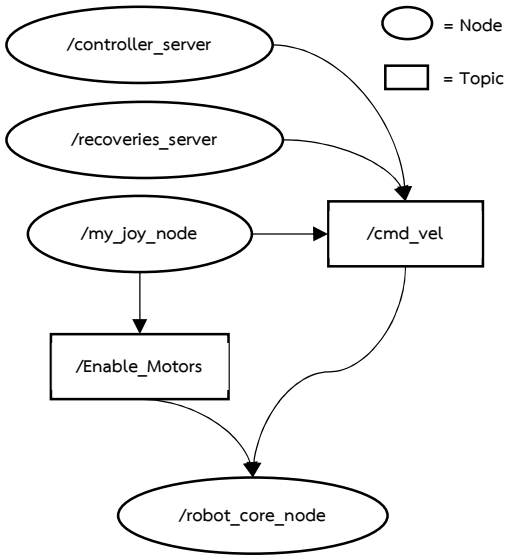
หุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติจะใช้ซอฟต์แวร์ ROS 2 เวอร์ชัน Galactic ในการพัฒนาระบบควบคุมและนำทาง โดยทำงานบนระบบปฏิบัติการ Ubuntu เวอร์ชัน 20.04 ส่วนซอฟต์แวร์ LabVIEW จะใช้สำหรับพัฒนาโปรแกรมติดต่อกับผู้ใช้งานโดยทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 11 ดังนั้นเพื่อให้ซอฟต์แวร์ทั้งสองสามารถสื่อสารกันได้ข้ามแพลตฟอร์มจึงออกแบบระบบการทำงานร่วมกันดังรูปที่ 4 โดยในซอฟต์แวร์ ROS 2 จะประกอบไปด้วยโหนด (Node) ทำหน้าที่เหมือนโปรแกรมย่อย แต่ละโหนดจะทำหน้าที่แตกต่างกัน และสามารถสื่อสารกันได้ทั้งภายในระบบ ROS 2 เองหรือกับโปรแกรมภายนอกก็ได้ผ่านบัสข้อมูล DDS ในส่วนของโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นจะใช้ RTI DDS Toolkit [16] ในการรับส่งข้อมูลผ่านบัสข้อมูล DDS เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันกับซอฟต์แวร์ ROS 2 และทั้งโปรแกรม LabVIEW กับ ROS 2 จะรับส่งข้อมูลกันผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย Wi-Fi



รูปที่ 4 ระบบการทำงานร่วมกันระหว่าง ROS 2 และ LabVIEW ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

2.5 การออกแบบระบบควบคุมและนำทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วย ROS 2

ในซอฟต์แวร์ ROS 2 จะแบ่งโปรแกรมการทำงานออกเป็นโปรแกรมย่อยๆที่เรียกว่าโหนด แต่ละโหนดสามารถสื่อสารกันได้บนบัสข้อมูล DDS ผ่านสิ่งที่เรียกว่าหัวข้อ (Topic) ในงานวิจัยนี้ใช้ภาษา Python สำหรับการพัฒนาโปรแกรมของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ และใช้เพจเกจชื่อว่า Nav2 [17] ในการนำทางและหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เลือกใช้วิธีการกำหนดตำแหน่งของหุ่นยนต์ในแผนที่ด้วยวิธี AMCL (Adaptive Monte Carlo Localization) การสร้างเส้นทางเดินแบบ Global Path Planner ด้วยวิธี A* Algorithm และการสร้างเส้นทางเดินแบบ Local Path Planner ด้วยวิธี DWA (Dynamic Window Approach) ตัวอย่างแผนภาพของโหนดและหัวข้อในโปรแกรม ROS 2 ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5

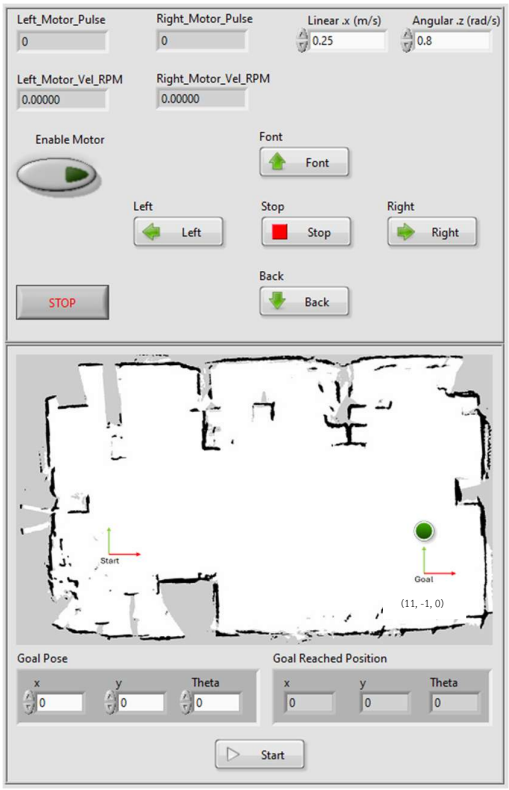


รูปที่ 5 ตัวอย่างแผนภาพของโหนดและหัวข้อในโปรแกรม ROS 2 ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ

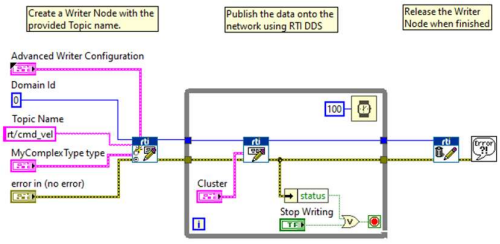
2.6 การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานด้วย LabVIEW

โปรแกรมที่ทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้งานจะพัฒนาด้วยซอฟต์แวร์ LabVIEW และใช้ RTI DDS Toolkit ในการรับส่งข้อมูลผ่านบัสข้อมูล DDS เพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกันกับโปรแกรม ROS 2 ที่ทำงานบนหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ โดย RTI DDS Toolkit จะทำหน้าที่แปลงข้อมูลชนิดต่างๆใน LabVIEW ให้เป็นข้อความและหัวข้อตามมาตรฐานบัสข้อมูล DDS ซึ่งจะต้องตรงกันกับที่ได้กำหนดไว้ในโปรแกรม ROS 2 เช่นจากรูปที่ 5 หัวข้อที่ชื่อว่า /cmd_vel จะรับข้อมูลของความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมที่ต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นข้อความชนิด Float64 ดังนั้นเมื่อผู้ใช้ป้อนข้อมูลของความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมที่ต้องการในโปรแกรม LabVIEW แล้ว RTI DDS Toolkit ก็จะแปลงข้อมูลดังกล่าวในโปรแกรม

LabVIEW ไปเป็นข้อความชนิด Float64 แล้วส่งข้อความไปที่หัวข้อ /cmd_vel ผ่านทางบัสข้อมูล DDS จากนั้นโปรแกรม ROS 2 ในหุ่นยนต์เคลื่อนที่ก็จะรับข้อมูลนี้แล้วสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามที่ต้องการ โดยข้อมูลทั้งหมดสื่อสารกันผ่านระบบเครือข่ายไร้สาย Wi-Fi หน้าต่างของโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้น และตัวอย่างโค้ดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6 และ รูปที่ 7 ตามลำดับ



รูปที่ 6 โปรแกรม LabVIEW สำหรับติดต่อกับผู้ใช้งาน



รูปที่ 7 ตัวอย่างโค้ดโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ส่งข้อมูลความเร็วไปที่หัวข้อ /cmd_vel ผ่าน RTI DDS Toolkit

จากรูปที่ 6 หน้าต่างโปรแกรมจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนกรอบบนใช้สำหรับสั่งควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบแมนนวล (Manual) พร้อมทั้งแสดงข้อมูลของตำแหน่งและความเร็วขณะหุ่นยนต์กำลังเคลื่อนที่ ใช้สำหรับการทำแผนที่บริเวณที่ต้องการทดสอบ ส่วนกรอบล่างใช้สำหรับทดสอบการนำทางและหลบหลีกสิ่งกีดขวาง โดยจะแสดงแผนที่บริเวณที่ต้องการทดสอบ จากนั้นกำหนดพิกัดจุดหมายปลายทาง คือ ระยะตามแนวแกน x ระยะตามแนวแกน y และมุมที่ต้องการรอบแกน z (Theta) แล้วกดปุ่ม Start หุ่นยนต์จะเริ่มเคลื่อนที่ด้วยตัวเอง เมื่อถึงจุดหมายหลอดไฟบนแผนที่สีเขียวจะติดพร้อมแสดงข้อมูลพิกัดของตำแหน่งปลายทางที่เกิดขึ้นจริง ส่วนรูปที่ 7 เป็นการแสดงตัวอย่างโค้ดโปรแกรม LabVIEW ที่ใช้ส่งข้อมูลความเร็วที่ต้องการไปที่หัวข้อ /cmd_vel ผ่าน RTI DDS Toolkit เพื่อให้โปรแกรม ROS 2 บนหุ่นยนต์เคลื่อนที่นำไปเป็นข้อมูลสำหรับสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามความเร็วที่ได้รับมา

3. ผลการวิจัย

3.1 การทดลองควบคุมแบบแมนนวล

ในการทดลองนี้จะเป็นการทดสอบการควบคุมแบบแมนนวลเพื่อทำแผนที่สำหรับใช้ทดสอบการนำทางและหลบหลีกสิ่งกีดขวางแบบอัตโนมัติ จากคุณสมบัติของมอเตอร์ที่ใช้เป็นล้อขับ จึงกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเชิงเส้นเท่ากับ 0.25 m/s และความเร็วเชิงมุมเท่ากับ 0.8 rad/s โดยใช้โปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 6 เริ่มจากกดปุ่ม Enable Motor เพื่อให้มอเตอร์ที่ล้อขับทำงาน จากนั้นกดปุ่มลูกศรกำหนดทิศทางเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปรอบๆบริเวณที่ต้องการทำแผนที่จนรอบ โดยการทำแผนที่จะใช้เทคนิค Cartographer [18] โดยขนาดพื้นที่สำหรับใช้ทำแผนที่มีขนาด กว้างxยาว เท่ากับ 11x15 m.

จากผลการทดลองพบว่าการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบแมนนวลด้วยโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้น ผ่านเครือข่ายไร้สาย Wi-Fi สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ไม่รู้สึกถึงการหน่วงเวลาในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้งานกับคอมพิวเตอร์บนตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ภาพแผนที่บริวณพื้นที่ทดสอบที่เก็บได้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 แผนที่บริวณพื้นที่ทดสอบที่เก็บได้

3.2 การทดลองการนำทางและหลบหลีกสิ่งกีดขวางแบบอัตโนมัติ

ในการทดลองนี้จะนำแผนที่จากการทดลองที่ 3.1 มาใช้ทดสอบการนำทางและหลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติ โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองย่อย คือ การทดลองการนำทางในพื้นที่โล่ง และการนำทางที่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งทั้งสองการทดลองจะใช้ระบบพิกัดฉากและอ้างอิงตัวแปรตามรูปที่ 3 โดยมีพิกัดจุดเริ่มต้น (x, y, φ) เท่ากับ (0, 0, 0) และพิกัดจุดหมายปลายทางเท่ากับ (11, -1, 0) กำหนดให้ระยะทางตามแนวแกน x และ y มีหน่วยเป็นเมตร ส่วนมุม φ มีหน่วยเป็นองศา ตั้งค่าตัวแปรที่สำคัญในเพจเกจ Nav2 ได้แก่ ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่เชิงเส้นและเชิงมุมเท่ากับ 0.40 m/s และ 0.55 rad/s ตามลำดับ เพื่อรักษาความความผิดพลาดให้อยู่ในช่วงที่กำหนดไว้ พื้นที่สำหรับทำ Local Cost Map เท่ากับ 3x3 m ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมกับหน่วยความจำที่มีและประสิทธิภาพของ CPU ค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ตามระนาบ xy และมุม φ เท่ากับ 0.1 m และ 5.73° ตามลำดับ และขนาด กว้างxยาว ของ Robot Footprint เท่ากับ 0.680x0.730 m. ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าตัวหุ่นยนต์เล็กน้อย โดยจะทำการทดลองจำนวน 5 รอบ บันทึกผลค่าความผิดพลาดของตำแหน่งตามแนวแกน x, y, φ รวมถึงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่

3.2.1 การทดลองนำทางในพื้นที่โล่ง

สำหรับการทดลองนี้จะสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทางผ่านทางโปรแกรม LabVIEW ที่พัฒนาขึ้นดังรูปที่ 6 โดยจะไม่มีสิ่งกีดขวางเพื่อทดสอบความสามารถในการนำทางเป็นหลัก ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 ส่วนเส้นแนวทางเดินที่สร้างจาก Nav2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9 และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10

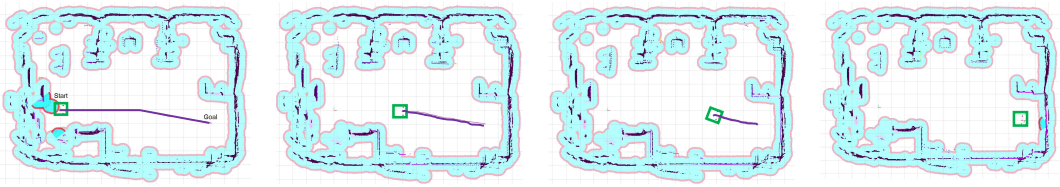
ตารางที่ 1 ผลการทดลองนำทางในพื้นที่โล่ง

ลำดับ	ค่าความผิดพลาด			เวลา (s)
	x (m)	y (m)	φ (deg)	
1	0.08	-0.03	-5.35	44.14
2	0.09	-0.04	-4.91	44.64
3	0.09	-0.03	-5.36	44.42
4	0.07	-0.03	-5.80	44.53
5	0.08	-0.03	-4.51	44.72
เฉลี่ย	0.08	-0.03	-5.19	44.49

จากตารางที่ 1 จะพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน x, y, φ เท่ากับ 0.08 m, -0.03 m, -5.19° ตามลำดับ และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเคลื่อนที่เท่ากับ 44.49 s ซึ่งจะพบว่าค่าความผิดพลาดที่ได้ไม่เกินค่าไว้ใน Nav2

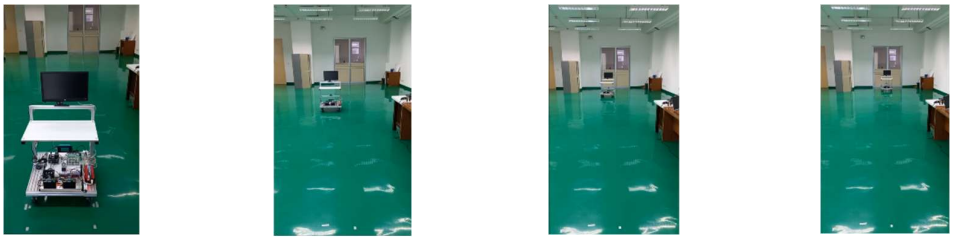
3.2.2 การทดลองนำทางที่มีสิ่งกีดขวาง

สำหรับการทดลองนี้จะสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทางเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.2.1 แต่จะมีสิ่งกีดขวางเพื่อทดสอบความสามารถในการนำทางและหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ส่วนเส้นแนวทางเดินที่สร้างจาก Nav2 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11 และการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 12



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 9 เส้นแนวทางเดินของหุ่นยนต์จากการทดลองนำทางในพื้นที่โล่ง โดยเริ่มจากรูป 9 (ก) ไปยัง 9 (ง)



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 10 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงจากการทดลองนำทางในพื้นที่โล่ง โดยเริ่มจากรูป 10 (ก) ไปยัง 10 (ง)

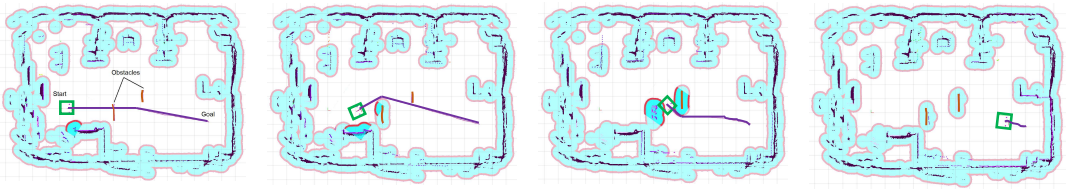
ตารางที่ 2 ผลการทดลองนำทางที่มีสิ่งกีดขวาง

ลำดับ	ค่าความผิดพลาด			เวลา (s)
	x (m)	y (m)	φ (deg)	
1	0.08	-0.03	-4.62	47.26
2	0.03	-0.03	-4.40	48.10
3	0.08	-0.04	-4.20	47.53
4	0.09	-0.04	-4.32	48.15
5	0.08	-0.03	-3.87	47.13
เฉลี่ย	0.07	-0.03	-4.28	47.63

จากตารางที่ 2 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแนวแกน x, y, φ เท่ากับ 0.07 m, -0.03 m, -4.28° และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการเคลื่อนที่เท่ากับ 47.63 s ซึ่งจะพบว่าค่าความผิดพลาดที่ได้ไม่เกินค่าที่ตั้งไว้ใน Nav2 ส่วนเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่กรณีมีสิ่งกีดขวางจะมากกว่ากรณีพื้นที่โล่ง

4. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติด้วยซอฟต์แวร์ ROS 2 ที่เป็นโอเพนซอร์สร่วมกับซอฟต์แวร์ LabVIEW ที่เป็นซอฟต์แวร์ทางด้านงานวิศวกรรมที่ได้รับความนิยม เพื่อออกแบบระบบควบคุมและนำทางหุ่นยนต์รวมถึงส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการทำงานข้ามแพลตฟอร์ม สื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สาย การลดต้นทุนด้านซอฟต์แวร์ และความสามารถในการขยายต่อได้ จากผลการทดลองจะพบว่าโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจาก LabVIEW สามารถรับส่งข้อมูลกับโปรแกรม ROS 2 ได้เป็นอย่างดี หุ่นยนต์สามารถสร้างเส้นทางไปยังจุดหมายพร้อมหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ด้วยตัวเองอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยไม่เกินค่าที่ได้ตั้งไว้



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 11 เส้นแนวทางเดินของหุ่นยนต์จากการทดลองนำทางที่มีสิ่งกีดขวาง โดยเริ่มจากรูป 11 (ก) ไปยัง 11 (ง)

(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 12 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงจากการทดลองนำทางที่มีสิ่งกีดขวาง โดยเริ่มจากรูป 12 (ก) ไปยัง 12 (ง)

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2567 หมายเลขโครงการ 201/2567

6. เอกสารอ้างอิง

[1] M. A. M. S. Lemstra and M. A. de Mesquita, “Industry 4.0: A tertiary literature review,” *Technol. Forecast. Soc. Change*, vol. 186, p. 122204, Jan. 2023.

[2] S. Rane, P. Shah and R. Sekhar, “Survey of technologies for Industry 4.0,” in *Proc. 6th Int. Conf. Comput., Commun., Control Autom. (ICCUBEA)*, Pune, India, 2022, pp.1–6.

[3] S. Eskilander, *Product Design for Automatic Assembly – A Method for Product Design (DFA2)*. Stockholm, Sweden: Royal Institute of Technology (KTH), 2001.

[4] E. Oztemel and S. Gursev, “Literature review of Industry 4.0 and related technologies,” *J. Intell. Manuf.*, vol. 31, pp. 127–182, 2020.

[5] R. Y. Zhong, X. Xu, E. Klotz and S. T. Newman, “Intelligent manufacturing in the context of Industry 4.0: A review,” *Engineering*, vol. 3, no. 5, pp. 616–630, Oct. 2017.

[6] P. Chutima, *Flexible Manufacturing System*. Bangkok, Thailand: Chulalongkorn University Press, 2001.

[7] R. C. Arkin and R. R. Murphy, “Autonomous navigation in a manufacturing environment,” *IEEE Trans. Robot. Autom.*, vol. 6, no. 4, pp. 445–454, Aug. 1990.

[8] X. Zhao and T. Chidambareswaran, “Autonomous mobile robots in manufacturing operations,” in *Proc. 19th Int. Conf. Autom. Sci. Eng. (CASE)*, Auckland, New Zealand, 2023, pp. 1–7.

[9] L. Joseph and J. Cacace, *Mastering ROS for Robotics Programming: Best Practices and Troubleshooting Solutions When Working with ROS*, 3rd ed. Birmingham, U.K.: Packt Publishing, 2021.

[10] D. Thomas, W. Woodall, and E. Fernandez, “Next-generation ROS: Building on DDS,” in *Proc. ROSCon 2014*, Chicago, IL, USA, Sept. 2014. Mountain View, CA: Open Robotics.

[11] P. Phueakthong and J. Varagul, “A development of mobile robot based on ROS2 for navigation application,” in *Proc. Int. Electron. Symp. (IES)*, Surabaya, Indonesia, 2021, pp. 517–520.

[12] Y. Liu, Y. Lu, C. Peng, Q. Bu, Y. C. Liang and J. Sun, “Autonomous vehicle based on ROS2 for indoor package delivery,” in *Proc. 28th Int. Conf. Autom. Comput. (ICAC)*, Birmingham, U.K., 2023, pp. 1–7.

[13] C. R. Pozna, E. Horváth, and J. Kovács, “Developing rapid prototype-capable applications for industrial mobile robot platforms,” in *Proc. IEEE 18th Int. Conf. Intell. Eng. Syst. (INES)*, Tihany, Hungary, 2014, pp. 203–207.

[14] H. W. Picot, M. Ateeq, B. Abdullah, and J. Cullen, “Industry 4.0 LabVIEW-based industrial condition monitoring system for industrial IoT,” in *Proc. 12th Int. Conf. Develop. eSystems Eng. (DeSE)*, Kazan, Russia, 2019, pp. 1020–1025.

[15] ROS.org. (2023, April 13). Diff drive controller [Online]. Available: https://wiki.ros.org/diff_drive_controller

[16] Real-Time Innovations, Inc. (2024, Nov 18). Data Distribution Service Toolkit [Online]. Available: www.ni.com/en/support/downloads/tools-network/download.data-distribution-service-toolkit.html

[17] Open Navigation LLC. (2025, Aug 20). Navigation2 (Nav2) Framework [Online]. Available: https://docs.nav2.org/

[18] X. Zhang, J. Lai, D. Xu, H. Li, and M. Fu, “2D lidar-based SLAM and path planning for indoor rescue using mobile robots,” *J. Adv. Transp.*, vol. 2020, p. 8867937, 2020.

Srinakharinwirot University Engineering Journal (2026) 22(1), 11-23 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

ตำแหน่งติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในอาคารที่เหมาะสม เพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงจากอัคคีภัย

The Appropriate Location for Installation of Electric Vehicle Charging Stations in Buildings to Prevent and Reduce Fire Risks

วันทนีย์ มิ่งมา* วีรวุฒิ กนกบรรณกร ปานจิต ดำรงกุลกำจร
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
Wantanee Mingma* Weerawoot Kanokbannakor Parnjit Damrongkulkamjorn
Faculty of Engineering, Kasetsart University, 50 Ngam Wong Wan Road, Lat Yao Subdistrict, Chatuchak District, Bangkok 10900
*Corresponding author Email: wantanee.mi@ku.th
Received: October 21, 2025; Revised: October 29, 2025 ; Accepted: November 28, 2025)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการคัดเลือกตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในอาคาร โดยรวบรวมและเปรียบเทียบข้อกำหนดตามกฎหมายไทยและมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้อง 10 ฉบับ เพื่อนำมาสังเคราะห์เป็นข้อกำหนดด้านความปลอดภัย สำหรับผู้บริหารอาคาร เจ้าหน้าที่ดูแลอาคาร ผู้ใช้อาคาร โดยจัดทำรายการตรวจสอบโดยใช้เทคนิคค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักพิจารณาค่าน้ำหนัก (w) และคะแนน (s) จากการตรวจสอบพื้นที่จริง เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความเหมาะสมรวม (α) เพื่อเลือกตำแหน่งติดตั้งสถานีชาร์จครอบคลุม 6 ด้าน ได้แก่ โครงสร้าง ระบบระบายอากาศ การป้องกันและระงับอัคคีภัย ระบบไฟฟ้า ป้ายเตือน และมาตรการควบคุมความเสี่ยง รายการตรวจสอบใช้ประเมินพื้นที่ก่อนการติดตั้งเพื่อคัดเลือกตำแหน่งที่เหมาะสม และใช้ตรวจสอบพื้นที่หลังการติดตั้งเพื่อให้สอดคล้องตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง โดยได้ประยุกต์ใช้กับอาคารสูง 9 ชั้นที่มีพื้นที่จอดรถแบบเปิดซึ่งยังไม่มีสถานีชาร์จ

คำสำคัญ: สถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ความปลอดภัยด้านอัคคีภัย

ABSTRACT

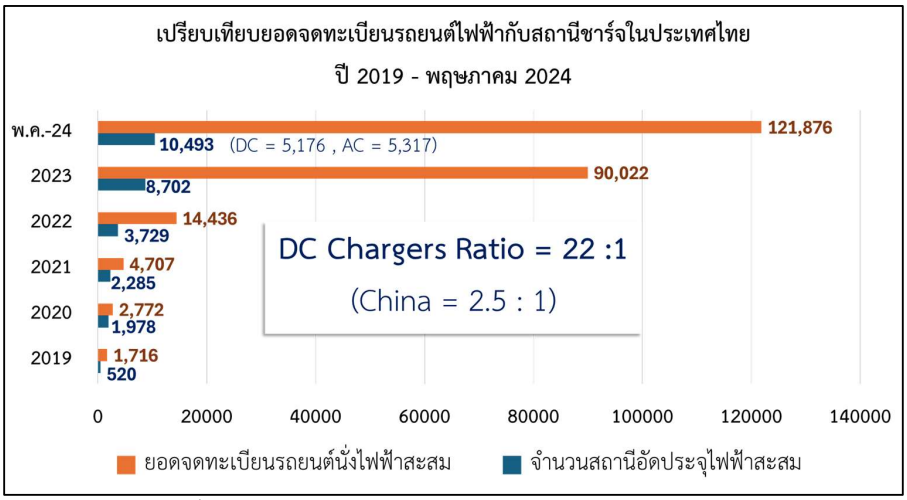
This study examines the selection of suitable locations for electric-vehicle (EV) charging stations in buildings. Ten Thai and international standards were reviewed and synthesized into safety requirements for building administrators, facility managers, and building users. The study was conducted in the form of a safety checklist and evaluation criteria developed using the Weighted Average Method, which considers weighting factors (w) and scores (s) from the actual site inspection. The level of suitability (α) is calculated to support decision-making for selecting appropriate and safe locations for EV charging station installation, covering six aspects: structure, ventilation, fire protection, electrical safety, signage, and risk control. The checklist is designed to evaluate suitability of sites before

installation and to verify safety compliance after installation. The approach was applied to a nine-story office building with an open parking area that has not yet installed EV charging stations.

Keyword: Electric vehicle charging stations, Fire safety.

1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา การใช้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยได้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากข้อมูลของกรมการขนส่งทางบก ตั้งแต่ปี 2553 มียอดจดทะเบียนสะสมถึงเดือนตุลาคม 2566 จำนวน 77,741 คัน เพิ่มขึ้นจากปีก่อนหน้าถึงร้อยละ 253 [1] จากแนวโน้มดังกล่าว รัฐบาลจึงได้ประกาศนโยบาย 30@30 [2] มีเป้าหมายลดการใช้รถยนต์ที่ปล่อยมลพิษอย่างน้อยร้อยละ 30 ของการผลิตภายในปี พ.ศ. 2573 ซึ่งสอดคล้องกับการพัฒนาสังคมคาร์บอนต่ำ อย่างไรก็ตาม การขยายตัวของรถยนต์ไฟฟ้ายังเผชิญข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐาน โดยเฉพาะสัดส่วนสถานีชาร์จต่อจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่ยังต่ำกว่ามาตรฐานสากล โดยประเทศไทยมีอัตราเพียง 1 สถานีชาร์จต่อรถยนต์ไฟฟ้า 22 คัน ขณะที่ประเทศจีนอยู่ที่ 1 ต่อ 2.5 คัน [3] ส่งผลให้มีความต้องการติดตั้งสถานีชาร์จเพิ่มเติมภายในอาคารสำนักงานและพื้นที่จำกัดในเมือง ตามที่แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเปรียบเทียบยอดจดทะเบียนรถยนต์ไฟฟ้ากับสถานีชาร์จ [3]

ข้อมูลจาก EV Firesafe รายงานว่า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 ถึงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567 มีเหตุการณ์เพลิงไหม้แบตเตอรี่ของรถยนต์ไฟฟ้าที่ได้รับการยืนยันทั่วโลก จำนวน 511 เหตุการณ์ โดยแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการใช้รถยนต์ไฟฟ้าที่ขยายตัวต่อเนื่อง เหตุเพลิงไหม้ส่วนใหญ่มีความรุนแรงและส่งผลต่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่กู้ภัย โดยอย่างน้อย 80 เหตุการณ์เกิดขณะชาร์จไฟ และ 117 เหตุการณ์เกิดในพื้นที่ปิดหรือโรงจอดรถใต้ดิน ซึ่งมีข้อจำกัดด้านการระบายอากาศและเสี่ยงต่อการสะสมความร้อนและควันไฟ ส่งผลให้เกิดการลุกไหม้อย่างรวดเร็วและกระทบต่อการอพยพของผู้ใช้อาคาร [4]

ในประเทศไทย ยังไม่พบการเปิดเผยสถิติอย่างเป็นทางการที่แยกเฉพาะกรณีอุบัติเหตุของรถยนต์ไฟฟ้าออกจากสถิติอุบัติเหตุทางถนนทั้งหมด อย่างไรก็ตาม เนื่องจาก

รถยนต์ไฟฟ้ายังมีสัดส่วนไม่สูงเมื่อเทียบกับจำนวนรถยนต์รวมทั้งประเทศ จึงคาดว่าจำนวนอุบัติเหตุจากรถยนต์ไฟฟ้ายังอยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้ จากคำแถลงของรองผู้ว่าราชการกรุงเทพมหานคร ระบุว่าเหตุเพลิงไหม้รถยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยยังมีไม่มากเมื่อเทียบกับรถประเภทอื่น แต่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรถที่เพิ่มขึ้น โดยเหตุการณ์ดังกล่าวมักมีความรุนแรงกว่าและต้องใช้เทคนิคการดับเพลิงเฉพาะทาง รวมถึงใช้น้ำในปริมาณมากกว่าปกติ [5] ตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2561–2568 เช่น เหตุเพลิงไหม้ขณะชาร์จรถบริเวณหน้าห้างสรรพสินค้าในเขตเทศบาลนครอุดรธานี พ.ศ. 2566 คาดว่าเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรในระบบรถยนต์ [6] เหตุเพลิงไหม้ภายในบ้านพักย่านบางกอกน้อย กรุงเทพฯ เมื่อต้นปี พ.ศ. 2568 ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการชาร์จไฟ และเหตุเพลิงไหม้ตู้ชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าหน้าร้านค้าในจังหวัดขอนแก่นเดือนตุลาคมปีเดียวกันโดยสาเหตุคาดว่าเกิดจากไฟฟ้าลัดวงจรในตู้ชาร์จ [7] เหตุการณ์เหล่านี้สะท้อนถึงความเสี่ยงด้านความปลอดภัยจากการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าโดยเฉพาะในพื้นที่อาคารหรือบริเวณที่มีข้อจำกัดด้านการระบายอากาศ ซึ่งต้องให้ความสำคัญต่อการป้องกันและระงับอัคคีภัย รวมถึงการจัดการความเสี่ยงอย่างเหมาะสม ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความจำเป็นในการยกระดับมาตรการด้านความปลอดภัยในการติดตั้งสถานีชาร์จในอาคาร ซึ่งมีข้อจำกัดด้านโครงสร้าง ระบบระบายอากาศ การป้องกันและระงับอัคคีภัย ทั้งนี้มาตรฐานความปลอดภัยของประเทศไทยในปัจจุบันยังมุ่งเน้นใช้กับสถานีชาร์จนอกอาคาร หรือในพื้นที่สถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นหลัก ในขณะที่กรณีของบ้านอยู่อาศัย อาคารชุด และอาคารสำนักงาน มักให้ความสำคัญเฉพาะการติดตั้งระบบไฟฟ้าให้เป็นไปตามมาตรฐานเท่านั้น

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดด้านความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งสถานีชาร์จภายในอาคาร ทั้งในส่วนของกฎหมายไทยและมาตรฐานสากล เพื่อนำมาวิเคราะห์และสังเคราะห์เป็นข้อกำหนดในรูปแบบตารางรายการตรวจสอบด้านความปลอดภัยที่ใช้ประเมินได้จริงกับบริบทของอาคารในประเทศไทย โดยมุ่งเน้นด้านโครงสร้าง ระบบระบายอากาศ การป้องกันและระงับอัคคีภัย การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า ป้ายและสัญลักษณ์ รวมถึงมาตรการควบคุมความเสี่ยง เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการพัฒนาแนวทางที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

ทั้งนี้ ได้นำตารางรายการตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นไปประเมินพื้นที่จอดรถของอาคารสำนักงานสูง 9 ชั้น ซึ่งเป็นพื้นที่จอดแบบเปิดและยังไม่มีการติดตั้งสถานีชาร์จ โดยมุ่งคัดเลือกตำแหน่งที่มีความปลอดภัยด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย โดยใช้เทคนิคค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก ผลการศึกษาที่ได้สนับสนุนการตัดสินใจของสำหรับผู้บริหารอาคาร เจ้าหน้าที่ดูแลอาคาร และผู้เกี่ยวข้องในการเลือกตำแหน่งติดตั้งสถานีชาร์จภายในอาคารอย่างเหมาะสม

2. วิธีการวิจัย

2.1 ศึกษามาตรฐานและข้อกำหนดด้านความปลอดภัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมและวิเคราะห์มาตรฐานในประเทศและมาตรฐานสากลด้านความปลอดภัยที่เกี่ยวข้องกับการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าภายในอาคาร จำนวนทั้งสิ้น 10 ฉบับ ดังนี้

(1) NFPA 88A (2023) สมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (National Fire Protection Association: NFPA) ประเทศสหรัฐอเมริกา [8]

(2) NFPA 70 (2023) สมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (National Fire Protection Association: NFPA) ประเทศสหรัฐอเมริกา [9]

(3) IBC (2021) มาตรฐานการออกแบบและก่อสร้างอาคาร (International Building Code) ประเทศสหรัฐอเมริกา [10]

(4) IEC 60364-7-722 (2018) มาตรฐานระบบการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับจุดชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า (International Electrotechnical Commission) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ [11]

(5) IEC 61851-21-2 (2018) มาตรฐานความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้าและความปลอดภัยของระบบชาร์จยานยนต์ไฟฟ้า (International Electrotechnical Commission) ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ [12]

(6) NFPA 13 (2022) มาตรฐานระบบสปริงเกลอร์ป้องกันอัคคีภัย (National Fire Protection Association: NFPA) ประเทศสหรัฐอเมริกา [13]

(7) มธพ. 701–2564 มาตรฐานความปลอดภัยสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้าภายในสถานีบริการน้ำมันเชื้อเพลิง [14]

(8) มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับบริภัณฑ์จ่ายไฟยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อการอัดประจุไฟฟ้า สำหรับประเภทบ้านอยู่อาศัย อาคารชุด อาคารสำนักงานและลักษณะที่คล้ายกัน ของการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค พ.ศ.2563 [15]

(9) การไฟฟ้านครหลวงตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อและติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า 2560 [16]

(10) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า พ.ศ.2563 [17]

2.2 รวบรวม วิเคราะห์ และจัดทำรายการตรวจสอบด้านความปลอดภัยตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

จากการรวบรวมและเปรียบเทียบเนื้อหาของมาตรฐานดังกล่าว จำนวน 10 ฉบับ พบว่ามีประเด็นสำคัญที่สอดคล้องกัน ซึ่งสามารถจำแนกออกเป็น 6 ประเด็นหลัก ได้แก่

1. โครงสร้างสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าภายในอาคาร
2. ระบบระบายอากาศ
3. การป้องกันและระงับอัคคีภัย
4. การป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า
5. ป้ายเตือนและสัญลักษณ์ความปลอดภัย
6. มาตรการควบคุมความเสี่ยง

จากนั้นได้นำทั้ง 6 ประเด็นดังกล่าวมาจัดทำเป็นรายการตรวจสอบด้านความปลอดภัย โดยอ้างอิงกฎหมายและมาตรฐานของประเทศไทยเป็นหลัก พร้อมใช้มาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องเป็นข้อมูลสนับสนุน ครอบคลุมทั้ง 6 ด้าน เกี่ยวข้องกับการติดตั้งสถานีชาร์จภายในอาคาร และเป็นฉบับปัจจุบันที่ประยุกต์ใช้ได้จริงในบริบทของประเทศ แนวทางนี้ช่วยให้การสังเคราะห์มาตรการด้านความปลอดภัยมีความครบถ้วนและสอดคล้องกับแนวปฏิบัติ โดยแบบฟอร์มรายการตรวจสอบที่พัฒนาขึ้นแสดงในตารางที่ 1 สำหรับประเมินความเหมาะสมของพื้นที่ก่อนและหลังการติดตั้งสถานีชาร์จ ตารางดังกล่าวถูกนำมาประเมินโดยใช้สมการคำนวณค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) เพื่อหาค่าความเหมาะสม (α) ซึ่งเป็นเทคนิคที่แตกต่างจากการคำนวณค่าเฉลี่ยทั่วไปที่ให้น้ำหนักข้อมูลทุกค่ามีความสำคัญเท่ากัน สมการนี้เหมาะสำหรับกรณีที่ปัจจัยแต่ละข้อมีความสำคัญแตกต่างกัน [18]

การกำหนดค่าน้ำหนัก (w) ได้มาจากการพิจารณาร่วมกันของคณะกรรมการความปลอดภัยประจำบริษัทและฝ่ายวิศวกรรมอาคาร ซึ่งประกอบด้วยวิศวกรโยธา ไฟฟ้าและเครื่องกล เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินตามแบบฟอร์มรายการตรวจสอบที่แสดงในตารางที่ 1 จากนั้นนำค่าน้ำหนักดังกล่าวไปคูณกับคะแนนการประเมิน (s) ที่กำหนดตามตารางที่ 2 โดยเกณฑ์การให้คะแนน (s) ถูกกำหนดในช่วง 0, 1 และ 2 คะแนน เพื่อสะท้อนระดับความเหมาะสมของแต่ละรายการ ดังแสดงในตารางที่ 2 จากนั้นคำนวณหาค่าความเหมาะสม (α) ด้วยสมการ (1) ดังนี้

$$\text{ค่าความเหมาะสม } (\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(w_i s_i)}{\sum_{i=1}^{n}(w_i)} \qquad (1)$$

โดย

w_i หมายถึง น้ำหนักของรายการที่สามารถให้คะแนนได้

s_i หมายถึง คะแนนที่ได้จริงจากการตรวจสอบ

n หมายถึง จำนวนรายการข้อกำหนดที่ได้รับการประเมิน

ตารางที่ 1 แบบฟอร์มรายการตรวจสอบ

รายการตรวจสอบ	น้ำหนัก (w)	คะแนน (s)	ผลลัพธ์ (w × s)
1. ด้านโครงสร้าง			
1.1 ประเภทอาคารจอดรถ - แบบเปิดสูงมากกว่า 25 เมตร ระยะห่างน้อยกว่าหรือเท่ากับ 60 เมตร และมีการระบายอากาศแบบธรรมชาติเพียงพอ - แบบปิดต้องมีระบายอากาศกล มีสปริงเกลอร์และอุปกรณ์ตรวจจับควัน	5		
1.2 โครงสร้างรับน้ำหนักได้มากกว่าหรือเท่ากับ 490 กก./ตร.ม. ห้ามเจาะคานหรือพื้นโดยไม่มีการเสริม	4		
1.3 ตำแหน่งและความสูงอุปกรณ์ชาร์จมีระยะ 0.75–1.20 เมตร ไม่น้อยกว่า 0.45 เมตร และไม่กีดขวางทางหนีไฟ	5		
1.4 พื้นที่ทำงานทางไฟฟ้าต้องมีความลึกคูณความกว้างคูณความสูงมากกว่าหรือเท่ากับ 0.91, 0.76 และ 2.0 เมตร ตามลำดับและประตูต้องเปิดได้มากกว่าหรือเท่ากับ 90 องศาโดยไม่มีสิ่งกีดขวาง	5		
1.5 ป้องกันความเสียหาย ด้วยเสากันชนและที่หยุดล้อ	5		
1.6 เว้นระยะจากถังน้ำมันหรือเชื้อเพลิงมากกว่าหรือเท่ากับ 6 เมตร	5		
2. ด้านระบบระบายอากาศ			
2.1 พื้นที่จอดรถแบบปิดต้องมีระบบระบายอากาศกลไม่น้อยกว่า 300 ลิตรต่อนาทีต่อตารางเมตรและติดตั้งพัดลมโดยเฉพาะ ส่วนพื้นที่จอดแบบเปิดต้องระบายอากาศแบบธรรมชาติอย่างเพียงพอ	4		
2.2 หากเครื่องชาร์จต้องการระบายอากาศ ต้องมีระบบรองรับและติดป้าย “Ventilation Required”	4		
2.3 พื้นที่จอดรถแบบปิดต้องใช้ระบบแรงดันบวก พัดลมดูดอากาศและช่องจ่ายอากาศออกแบบโดยวิศวกรและพื้นที่จอดรถแบบเปิดต้องมีการระบายอากาศธรรมชาติอย่างเพียงพอ	4		
2.4 หากอุปกรณ์ชาร์จ ปล่อยไฮโดรเจน ต้องติดตั้งระบบระบายอากาศในพื้นที่จอดรถแบบปิดและพื้นที่จอดรถแบบเปิดต้องมีการระบายอากาศธรรมชาติอย่างเพียงพอ	4		
2.5 สภาพแวดล้อมการติดตั้งมีอากาศถ่ายเทดี หลีกเลี่ยงใกล้วัตถุไวไฟหรือพื้นที่ร้อน	5		
3. ด้านระบบป้องกันอัคคีภัย			
3.1 ระบบหัวกระจายน้ำอัตโนมัติ ต้องมีสปริงเกลอร์จ่ายน้ำมากกว่าหรือเท่ากับ 0.2 GPM/SF ครอบคลุม 1,500 ตารางฟุต หากไม่มีฉนวนต้องขยายอีก 15 ฟุต และต้องตรวจสอบ บำรุงรักษาพื้นที่	5		

ตารางที่ 1 แบบฟอร์มรายการตรวจสอบ (ต่อ)

รายการตรวจสอบ	น้ำหนัก (w)	คะแนน (s)	ผลลัพธ์ (w× s)
3.2 การป้องกันการลุกลามของไฟ ช่องเปิดอาคารมากกว่าหรือเท่ากับ 4 ชั้น ใช้ผนังทนไฟมากกว่าหรือเท่ากับ 2 ชม ถ้าน้อยกว่า 4 ชั้น ใช้ผนังทนไฟมากกว่าหรือเท่ากับ 1 ชม ยกเว้นพื้นที่ทางลาด และมีสปริงเกลอร์หรือระบบตรวจจับอัคคีภัย	5		
3.3 ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ในพื้นที่จอดรถแบบปิดที่ใช้ร่วมกับสำนักงานต้องติดตั้งระบบแจ้งเหตุแบบอัตโนมัติตรวจจับและเชื่อมต่อระบบควบคุมอาคาร	5		
3.4 การเดินสายในผนังหรือฝ้าทนไฟต้องใช้วัสดุกันไฟลาม	5		
3.5 เครื่องดับเพลิงแบบมือถือต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 6.8 กิโลกรัม ชนิดผงเคมีแห้งหรือคาร์บอนไดออกไซด์ติดตั้งตามจำนวนขั้นต่ำ 2 เครื่อง ต่อ 1–4 เครื่องชาร์จพร้อมใช้งานและตรวจสอบทุก 6 เดือน	5		
4. ด้านการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้า			
4.1 วงจรไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้อุปกรณ์จ่ายเครื่องชาร์จไฟฟ้าต้องแยกเฉพาะโดยติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้าลัดวงจร (Breaker) และมีอุปกรณ์ตัดไฟอัตโนมัติเข้าถึงง่าย	5		
4.2 ต้องติดตั้งอุปกรณ์ตัดไฟรั่วทุกสาย โดยอนุญาตให้ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับแบบกระแสตรงมากกว่าหรือเท่ากับ 6 มิลลิแอมแปร์ (mA)	5		
4.3 ระบบสายดิน ต้องมีการต่อสายดินที่ถูกต้องตามมาตรฐานและมีค่าความต้านทานดินต่ำ	5		
4.4 ต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินตามพิกัดและบำรุงรักษาทุก 3 เดือน	5		
4.5 กระแสมากกว่า 60 แอมแปร์ (A) ต้องมีสวิตช์ฉุกเฉินในระยะ 15 เมตร ต้องตัดไฟพร้อมกันทุกสายและมองเห็นได้ชัดเจน	5		
5. ด้านป้ายเตือนความปลอดภัย			
5.1 ติดป้าย “ระวังไฟฟ้าช็อก” ป้าย “ต้องการการระบายอากาศ” และป้าย “Emergency Disconnect” ป้ายระบบตัดไฟฉุกเฉินสำหรับยานยนต์ไฟฟ้า	3		
5.2 ช่องจอดต้องมีป้ายสัญลักษณ์รูปเครื่องอัดประจุไฟฟ้า (EV) และป้ายผู้พิการ พื้นหลังน้ำเงิน-ขาว	3		
5.3 มีสัญลักษณ์เครื่องอัดประจุไฟฟ้า (EV) และผู้พิการบนพื้นช่องจอด	3		
5.4 ติดป้าย "จอดเฉพาะยานยนต์ไฟฟ้า" ให้เห็นชัดเจน	3		
6. ด้านมาตรการควบคุมความเสี่ยง			
6.1 ห้ามติดตั้งจุดชาร์จในทางหนีไฟ ในพื้นที่อับอากาศ ใกล้วัสดุไวไฟหรือน้ำท่วม	5		
6.2 ต้องมีสวิตช์ปิดฉุกเฉินติดตั้งในตำแหน่งที่เข้าถึงง่ายและรีเซ็ตด้วยมือได้	5		
6.3 มีเจ้าหน้าที่ควบคุมความปลอดภัยอย่างน้อย 1 คน ประจำตลอดเวลา	3		
รวม	125		

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณดังกล่าวถูกใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจตามเกณฑ์ตัดสินความเหมาะสมในตารางที่ 3 เทคนิคค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักนี้มีขั้นตอนชัดเจน ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในกรณีที่ต้องพิจารณาทางเลือกหลายมิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือหลักในการประเมินและคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า รวมทั้งสามารถใช้ประเมินพื้นที่ในอาคารที่มีการติดตั้งสถานีชาร์จแล้ว เพื่อพิจารณาว่ามีความปลอดภัยเพียงพอ หรือจำเป็นต้องปรับปรุงเพิ่มเติมให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยพิจารณาจาก 6 ประเด็นหลัก ได้แก่ โครงสร้าง ระบบระบายอากาศ การป้องกันและระงับอัคคีภัย ความปลอดภัยทางไฟฟ้า ป้ายและสัญลักษณ์ รวมถึงมาตรการควบคุมความเสี่ยง

ตารางที่ 2 เกณฑ์คะแนนการประเมิน (s)

ระดับ	ความหมาย
0	ไม่เหมาะสม ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด
1	ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด แต่สามารถปรับปรุงได้
2	เหมาะสม เป็นไปตามข้อกำหนด

เพื่อการแปลผลค่าความเหมาะสม (α) อย่างเป็นระบบได้กำหนดเกณฑ์ตัดสินระดับความเหมาะสมของพื้นที่ไว้ 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์ตัดสินความเหมาะสม

ระดับ	ค่าความเหมาะสม (α)	ความหมาย
สูง	2.00	เหมาะสม พร้อมติดตั้ง
กลาง	1.00 – 1.99	เหมาะสมปานกลาง ต้องปรับปรุงบางส่วน
ต่ำ	0.00 – 0.99	ไม่เหมาะสม

2.3 ประเมินพื้นที่ติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าภายในอาคาร กรณีศึกษาโดยใช้ตารางรายการตรวจสอบ

กรณีศึกษาที่นำมาวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้เป็นอาคารสำนักงานสูง 9 ชั้น โดยเลือกพื้นที่จอดรถบริเวณชั้นที่ 2 ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ยังไม่มีการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากมีลักษณะเป็นพื้นที่เปิดและมีการใช้งานจริง ซึ่งเหมาะสมต่อการประเมินด้านความปลอดภัย

พื้นที่ดังกล่าวถูกแบ่งออกเป็น 4 โซนตามลักษณะทางกายภาพ และการใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2 ได้แก่ โซน A บริเวณมุมซ้ายติดผนังริมอาคาร (ดังแสดงในรูปที่ 3) โซน B บริเวณกลางลานจอดรถ (ดังแสดงในรูปที่ 4) โซน C บริเวณประตูทางเข้าอาคาร (ดังแสดงในรูปที่ 5) และ โซน D บริเวณริมผนังด้านทางลาดขึ้น–ลงพื้นที่จอดรถ ดังแสดงในรูปที่ 6 การแบ่งพื้นที่นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมของแต่ละโซนภายใต้เงื่อนไขความปลอดภัยด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัย โดยดำเนินการประเมินตามแบบฟอร์มรายการตรวจสอบที่แสดงในตารางที่ 1 เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในอาคาร

พื้นที่จอดรถดังกล่าวมีบันไดหนีไฟจำนวน 3 ตำแหน่ง และลิฟต์ดับเพลิง 1 ตำแหน่ง โครงสร้างพื้นได้รับการออกแบบให้รองรับน้ำหนักบรรทุกจร Live Load (LL) ไม่น้อยกว่า 1,000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งเพียงพอต่อการรองรับน้ำหนักของรถยนต์ไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้ ยังติดตั้งระบบดับเพลิงอัตโนมัติแบบสปริงเกลอร์ และอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนหรือควัน เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการใช้งานพื้นที่

เมื่อได้ระบุตำแหน่งและสำรวจพื้นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้มาประเมินตามแบบฟอร์มรายการตรวจสอบ โดยใช้ค่าน้ำหนัก (w) และคะแนน (s) สำหรับการประเมินพื้นที่ก่อนการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ดังตารางที่ 4

จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณค่าความเหมาะสม (α) ของแต่ละโซนโดยใช้เทคนิคค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average) ตามสมการที่ (1) ดังนี้

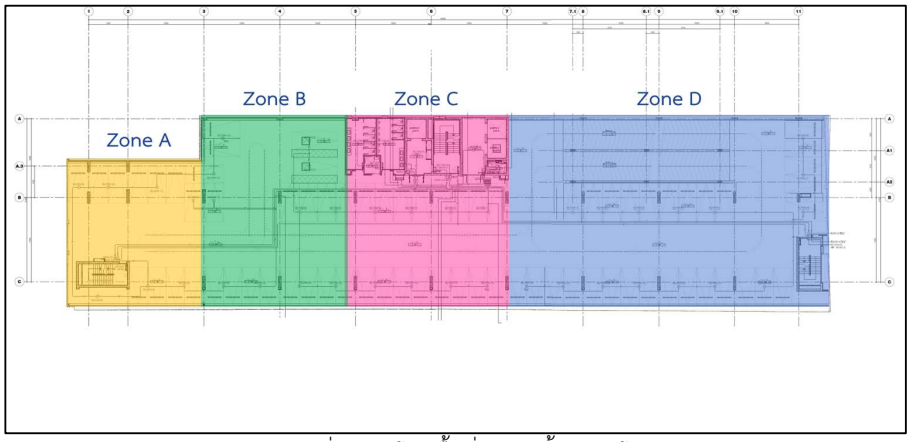
$$\text{Zone A } (\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(w_i s_i)}{\sum_{i=1}^{n}(w_i)} = \frac{75}{51} = 1.47$$

$$\text{Zone B } (\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(w_i s_i)}{\sum_{i=1}^{n}(w_i)} = \frac{102}{51} = 2.00$$

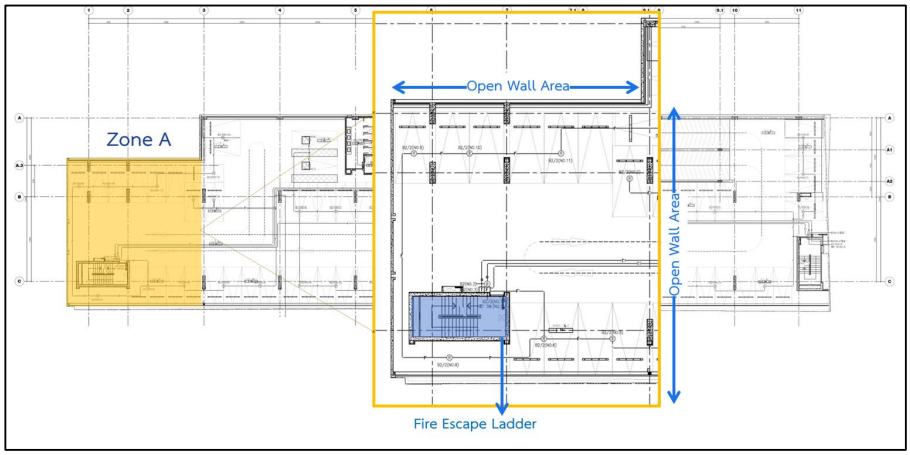
$$\text{Zone C } (\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(w_i s_i)}{\sum_{i=1}^{n}(w_i)} = \frac{48}{51} = 0.94$$

$$\text{Zone D } (\alpha) = \frac{\sum_{i=1}^{n}(w_i s_i)}{\sum_{i=1}^{n}(w_i)} = \frac{48}{51} = 0.94$$

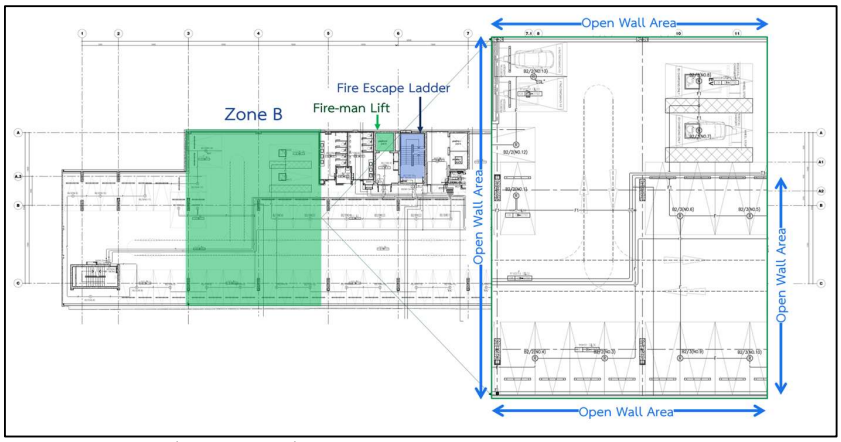
จากนั้นนำค่าความเหมาะสม (α) ของแต่ละโซนที่ได้จากการคำนวณไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การตัดสินในตารางที่ 4 เพื่อจัดระดับความเหมาะสมของพื้นที่ โดยใช้เกณฑ์ระดับ “สูง” “กลาง” และ “ต่ำ” เป็นแนวทางในการแปลผลในการคัดเลือกพื้นที่ที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในกรณีศึกษานี้



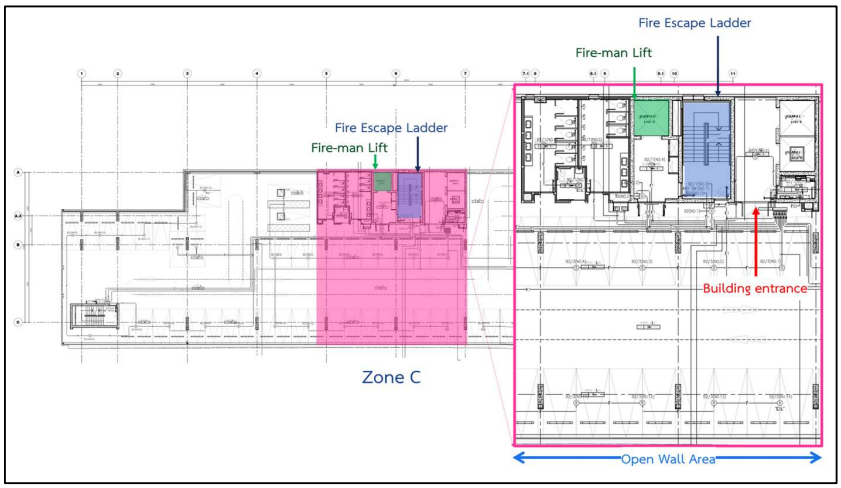
รูปที่ 2 แบ่งโซนพื้นที่จอดรถชั้น 2 (4 โซน)



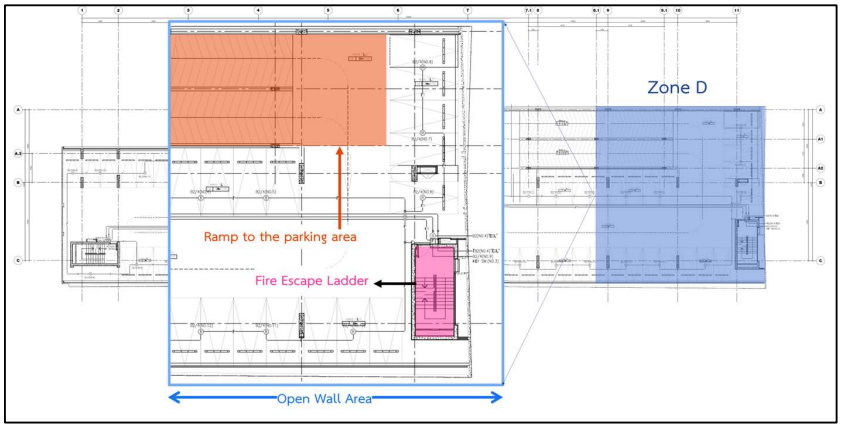
รูปที่ 3 ตำแหน่งที่ 1 ภาพขยายโซน A มุมซ้ายติดผนังริมอาคาร



รูปที่ 4 ตำแหน่งที่ 2 ภาพขยายโซน B โซนกลางลานจอดรถ



รูปที่ 5 ตำแหน่งที่ 3 ภาพขยายโซน C บริเวณประตูทางเข้าอาคาร



รูปที่ 6 ตำแหน่งที่ 4 ภาพขยายโซน D ริมผนังด้านทางลาดขึ้นลงพื้นที่จอดรถ

ตารางที่ 4 การให้คะแนนรายการตรวจสอบความปลอดภัยด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัยในแต่ละโซน

รายการตรวจสอบ	อ้างอิงมาตรฐานฉบับที่	น้ำหนัก (w)	โซน A		โซน B		โซน C		โซน D	
			คะแนน (s)	ผลลัพธ์ (w × s)	คะแนน (s)	ผลลัพธ์ (w × s)	คะแนน (s)	ผลลัพธ์ (w × s)	คะแนน (s)	ผลลัพธ์ (w × s)
1.1	(1)	5	2	10	2	10	0	0	0	0
1.2	(3)	4	2	8	2	8	2	8	2	8
1.3	(8)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
1.4	(2)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5	(1)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
1.6	(7)	5	2	10	2	10	2	10	2	10
2.1	(1)	4	1	4	2	8	0	0	0	0
2.2	(4)	4*	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3	(8)	4	1	4	2	8	0	0	0	0
2.4	(4)	4	1	4	2	8	0	0	0	0
2.5	(8)	5	1	5	2	10	0	0	0	0
3.1	(6)	5	2	10	2	10	2	10	2	10
3.2	(3)	5	2	10	2	10	2	10	2	10
3.3	(1)	5	2	10	2	10	2	10	2	10
3.4	(2)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
3.5	(7)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
4.1	(4)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
4.2	(4)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
4.3	(4)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
4.4	(4)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
4.5	(4)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
5.1	(4)	3*	-	-	-	-	-	-	-	-
5.2	(7)	3*	-	-	-	-	-	-	-	-
5.3	(7)	3*	-	-	-	-	-	-	-	-
5.4	(7)	3*	-	-	-	-	-	-	-	-
6.1	(4)	5	0	0	2	10	0	0	0	0
6.2	(4)	5*	-	-	-	-	-	-	-	-
6.3	(7)	3*	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม		51	16	75	22	102	10	48	10	48

(*) รายการที่ไม่นำมารวมในการประเมิน เนื่องจากพื้นที่ยังไม่มีการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า ส่งผลให้บางหัวข้อไม่สามารถให้คะแนนและคำนวณค่าน้ำหนักได้

3. ผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบข้อกำหนดและมาตรฐานด้านความปลอดภัยทั้งในประเทศและมาตรฐานสากล รวมเป็นรายการตรวจสอบ เพื่อใช้ประเมินพื้นที่ติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าภายในอาคาร ผลการประเมินพบว่าพื้นที่แต่ละโซนมีค่าความเหมาะสม (α) แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมทางกายภาพ ระบบระบายอากาศ และองค์ประกอบด้านความปลอดภัยอื่น ๆ ที่มีอยู่ในพื้นที่ในแต่ละด้าน ทั้งนี้ ค่าความเหมาะสม (α) และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงของแต่ละโซน แสดงไว้ในตารางที่ 5 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 ตัดสินความเหมาะสมเพื่อเลือกพื้นที่

โซน	α	ระดับ	ความหมาย
A	1.47	ปานกลาง	เหมาะสมปานกลาง แต่ต้องปรับปรุง ตามรายการข้อที่ 2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 6.1
B	2	สูง	เหมาะสม พร้อมติดตั้ง
C	0.94	ต่ำ	ไม่เหมาะสม มีข้อจำกัดหลายด้าน ตามรายการข้อที่ 1.1, 2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 6.1
D	0.94	ต่ำ	

จากการวิเคราะห์ พบว่า โซน B มีค่าความเหมาะสม (α) เท่ากับ 2.00 อยู่ในระดับ “สูง” หมายถึงพื้นที่มีความพร้อมต่อการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้ามากที่สุด ส่วนโซน A บริเวณมุมซ้ายติดผนังริมอาคาร ได้ค่าความเหมาะสม (α) เท่ากับ 1.47 อยู่ในระดับ “ปานกลาง” โดยมีข้อจำกัดหลายด้านซึ่งต้องปรับปรุงเพิ่มเติมตามรายการตรวจสอบข้อที่ 2.1, 2.3, 2.4, 2.5 และ 6.1 ได้แก่ การระบายอากาศไม่ทั่วถึง จำเป็นต้องติดตั้งระบบระบายอากาศเพิ่มเติม รวมทั้งจัดให้มีมาตรการควบคุมความเสี่ยงเพิ่มเติมโดยติดตั้งจุดชาร์จให้ห่างจากทางหนีไฟป้องกันการกีดขวาง และเพื่อยกระดับความปลอดภัยของพื้นที่ให้เหมาะสมต่อการใช้งาน ขณะที่โซน C และ โซน D มีค่าความเหมาะสม (α) เท่ากับ 0.94 อยู่ในระดับ “ต่ำ” ซึ่งยังไม่เหมาะสมต่อการติดตั้ง เนื่องจากมีข้อจำกัดหลายด้านตามรายการตรวจสอบข้อที่ 1.1, 2.1, 2.3, 2.4, 2.5 และ 6.1 กล่าวคือ โซน C ตั้งอยู่ใกล้ประตูทางเข้าอาคาร บันไดหนีไฟ และทางเข้าลิฟต์ดับเพลิง ซึ่งหากดำเนินการติดตั้งอาจส่งผลกระทบต่อเส้นทางอพยพและการเข้าถึงลิฟต์ดับเพลิงในกรณีฉุกเฉิน อีกทั้งยังขาดระบบระบายอากาศเชิงกล และไม่มีเครื่องดับเพลิงภายในพื้นที่ ส่วนโซน D มีข้อจำกัดด้านการระบายอากาศ อีกทั้งยังมีความเสี่ยงต่อการเฉี่ยวชนเนื่องจากตั้งอยู่ในบริเวณทางลาดขึ้นลงที่เป็นทางสัญจรของรถภายในอาคาร ซึ่งอาจกระทบต่อความปลอดภัยในการอพยพหนีภัยในกรณีฉุกเฉิน

จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า โซน B ถือเป็นพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากมีการระบายอากาศตามธรรมชาติที่ดี ระบบความปลอดภัยพร้อม และมีความสะดวกต่อการเข้าถึง ในขณะที่โซนอื่น ๆ จำเป็นต้องปรับปรุงระบบระบายอากาศ โครงสร้างอาคาร และมาตรการควบคุมความเสี่ยงเพิ่มเติมตามรายการตรวจสอบก่อนดำเนินการติดตั้งจริง

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาพบว่า งานวิจัยฉบับนี้สามารถพัฒนาแนวทางด้านความปลอดภัยสำหรับการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในอาคารได้อย่างเป็นระบบ โดยมีการตรวจสอบ รวบรวม และเปรียบเทียบข้อกำหนดตามกฎหมายหรือมาตรฐานของประเทศไทยควบคู่กับมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้องจำนวน 10 ฉบับ ก่อนสังเคราะห์ออกมาเป็นข้อกำหนดสำหรับจัดทำรายการตรวจสอบความปลอดภัยด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัยที่ครอบคลุมทั้งในกรณีที่ยังไม่ติดตั้งและกรณีที่ติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว พร้อมเกณฑ์ประเมินโดยใช้เทคนิคค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted Average)

ครอบคลุม 6 ด้าน ได้แก่ โครงสร้าง ระบบระบายอากาศ การป้องกันและระงับอัคคีภัย ระบบไฟฟ้า ป้ายเตือน และมาตรการควบคุมความเสี่ยง อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่เป็นการประเมินพื้นที่ซึ่งยังไม่มีการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า รายการบางหัวข้อยังไม่สามารถให้คะแนนและคำนวณค่าน้ำหนักได้

เมื่อประยุกต์ใช้รายการตรวจสอบกับอาคารกรณีศึกษา ซึ่งเป็นอาคารสำนักงานสูง 9 ชั้นที่มีพื้นที่จอดรถแบบเปิด ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ยังไม่มีการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า จึงต้องการประเมินเพื่อคัดเลือกพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้ง ผลสรุปพบว่าสามารถประเมินความเหมาะสมและความปลอดภัยตามข้อกำหนดได้จริง โดยรายการตรวจสอบที่จัดทำขึ้น สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการสนับสนุนการตัดสินใจเลือกพื้นที่ติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อกับอาคารประเภทอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน รวมถึงการนำไปใช้ประเมินพื้นที่ของอาคารที่มีการติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าแล้ว เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงมาตรการควบคุมความเสี่ยงและยกระดับมาตรฐานความปลอดภัยอย่างต่อเนื่องในอนาคต

ทั้งนี้ รายการตรวจสอบ และเกณฑ์ค่าน้ำหนักสามารถทบทวนและปรับปรุงให้สอดคล้องกับข้อกำหนดตามกฎหมายและมาตรฐานประเทศไทยและสากลฉบับล่าสุดหรือที่มีการแก้ไขเพิ่มเติมในอนาคต เพื่อให้แนวทางดังกล่าวสามารถนำไปใช้ได้อย่างต่อเนื่องและยั่งยืน อันจะช่วยเสริมสร้างความปลอดภัยด้านการป้องกันและระงับอัคคีภัยในการติดตั้งและใช้งานสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในอาคารต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Land Transport. (2023). Statistics of Registered Vehicles. Bangkok, Thailand: Department of Land Transport [Online]. Available: https://web.dlt.go.th/statistics/index.php

[2] Ministry of Energy. (2021, Oct 22). Promotion of Electric Vehicles. Bangkok, Thailand: Energy Policy and Planning Office [Online]. Available: https://www.eppo.go.th/index.php/en/component/k2/item/17415-ev-charging-221064-04

[3] S. Sangsnit, “The ratio of electric vehicle charging stations to registered BEV passenger cars in Thailand,” Electric Vehicle Association of Thailand, Bangkok, Thailand, Tech. Rep., Jun. 30, 2024.

[4] E. V. FireSafe. (2025, Jun.). EV Fire FAQs [Online]. Available: https://www.evfiresafe.com/ev-fire-faqs

[5] M. Online. (2025, Oct. 19). Bangkok Councillor Highlights EV Car Fire Statistics [Online]. Available: https://www.matichon.co.th/local/news_4250794

[6] M. Online. (2023, Sept. 3). Man Charging EV in Front of Udon Thani Mall Shocked as Car Fills with Smoke at 50% Charge [Online]. Available: https://www.matichon.co.th/region/news_4161455

[7] M. Online. (2025, Apr. 19). Moment an EV Car Caught Fire While Charging at Home [Online]. Available: https://www.matichon.co.th/social/news_5144331

[8] National Fire Protection Association, Standard for Parking Structures in NFPA 88A. Quincy, MA: NFPA, 2023.

[9] National Fire Protection Association. (2023). *NFPA 70: National Electrical Code (NEC)*. Quincy, MA: NFPA, 2023 [Online]. Available:

https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-70-standard-development/70

[10] International Code Council. (2021). International Building Code (IBC), Washington, DC: ICC [Online]. Available: https://codes.iccsafe.org/content/IBC2021P2

[11] International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 60364-7-722: Low-voltage electrical installations – Part 7-722: Requirements for special installations or locations – Supplies for electric vehicles. Geneva, Switzerland [Online]. Available: https://webstore.iec.ch/en/publication/29958

[12] International Electrotechnical Commission. (2018). IEC 61851-21-2: Electric vehicle conductive charging system – EMC requirements for off-board electric vehicle charging systems, Geneva, Switzerland [Online]. Available: http://www.iec.ch

[13] National Fire Protection Association. (2022). NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems, Quincy, MA [Online]. Available: https://www.nfpa.org/ codes-and-standards/nfpa-13-standard-development/13

[14] Department of Energy Business, Ministry of Energy, Safety Standards for Electric Vehicle Charging Stations in Fuel Service Stations. Bangkok, Thailand: Ministry of Energy, 2021.

[15] Metropolitan Electricity Authority, Provincial Electricity Authority, and Energy Regulatory Commission, Electrical Installation Standards for Electric Vehicle Charging Equipment in Residential and Commercial Buildings. Bangkok, Thailand: MEA, PEA, ERC, 2020.

[16] Metropolitan Electricity Authority, Requirements for Electrical Connection and Installation for Electric Vehicle Charging Stations. Bangkok, Thailand: MEA, 2017.

[17] Provincial Electricity Authority, Regulations on Connection Requirements for Electric Vehicle Charging Stations. Bangkok, Thailand: PEA, 2020.

[18] A. Ganti. (2025, Oct. 15). Weighted Average: Definition and How It Is Calculated and Used [Online]. Available: https://www.investopedia.com/terms/w/weightedaverage.asp

Srinakharinwirot University Engineering Journal (2026) 22(1), 24-34 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design เพื่อการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN ในการกัดเหล็กกล้า SKD61

A 2^3 Factorial Design for Studying Parameters Affecting the Wear of TiAlN-Coated Cutting Tools in SKD61 Steel Milling

เกริกชัย มีหนู* สมชาย โพธิ์พยอม
สาขาครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
พิษณุโลก อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
Kerkchai Meenu* Somchai Peopayom
Department of Industrial Education and Technology, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok, Mueang Phitsanulok District, Phitsanulok 65000
*Corresponding author Email: kerkchai2022@gmail.com
(Received: April 26, 2025; Revised: December 12, 2025 ; Accepted: January 13, 2026)

บทคัดย่อ

กระบวนการกัดเป็นหนึ่งในกระบวนการตัดเฉือนสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิต โดยเฉพาะงานที่ต้องการความละเอียดสูง ปัญหาหลักที่พบคือ การสึกหรอของเครื่องมือตัด ซึ่งส่งผลต่ออายุการใช้งานและคุณภาพผิวชิ้นงาน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์กระบวนการกัดต่อการสึกหรอด้านข้างของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN ในการกัดเหล็กกล้า SKD61 โดยออกแบบการทดลองแบบ 2^k factorial design วิเคราะห์ตัวแปรอิสระ 3 ตัว ได้แก่ ความเร็วตัด อัตราป้อน และความเร็วรอบ และวัดค่าการสึกหรอด้านข้าง (VB_A) ตามมาตรฐาน ISO 3685-1997 ผลการทดลองพบว่าความเร็วตัดและอัตราป้อนมีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ต่อการสึกหรอ โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ความเร็วตัด 40 เมตร/นาที อัตราป้อน 828 มิลลิเมตร/นาที และความเร็วรอบ 2,387 รอบ/นาที ให้ค่าการสึกหรอเฉลี่ยต่ำสุดที่ 0.0428 ไมครอน ซึ่งช่วยยืดอายุการใช้งานเครื่องมือ และลดต้นทุนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลลัพธ์นี้สามารถนำไปกำหนดพารามิเตอร์การกัดที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในการผลิตอุตสาหกรรมได้อย่างชัดเจน

คำสำคัญ: การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล, การสึกหรอ, เครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN, เหล็กกล้า SKD61

ABSTRACT

Milling is one of the essential machining processes in the manufacturing industry, particularly for high-precision applications. A major challenge in this process is tool wear, which directly affects tool life and the surface quality of the workpiece. This research aims to investigate the effects of milling parameters on the flank wear of TiAlN-coated cutting tools during the milling of SKD61 steel. A 2^k factorial design of experiments was employed to analyze three independent variables: cutting speed, feed rate, and spindle speed. Flank wear (VB_A) was measured in accordance with ISO 3685-1997. The

results revealed that cutting speed and feed rate significantly influenced tool wear ($p < 0.05$). The optimal condition—cutting speed of 40 m/min, feed rate of 828 mm/min, and spindle speed of 2,387 rpm—produced the lowest average flank wear of 0.0428 microns. These findings contribute to extending tool life and reducing production costs effectively. The outcome can be applied to define optimal milling parameters to enhance productivity and cost-effectiveness in industrial manufacturing processes.

Keyword: Factorial design, tool wear, TiAlN-coated cutting tool, SKD61 tool steel.

1. บทนำ

กระบวนการกัด เป็นกระบวนการตัดเฉือนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมการบินและอวกาศ อุตสาหกรรมยานยนต์ และการผลิตอื่น ๆ เนื่องจากกระบวนการนี้มีความสามารถในการสร้างรูปทรงที่ซับซ้อน และเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการกัดเหล็กกล้าเครื่องมือ SKD61 เนื่องจากสามารถทนการสึกหรอและอุณหภูมิสูงได้ดี ทำให้เหมาะกับการผลิตแม่พิมพ์และชิ้นส่วนที่ต้องการความทนทานสูง การใช้งานที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยการออกแบบกระบวนการตัดที่เหมาะสม เช่น การเลือกความเร็วตัด อัตราป้อน และการหล่อเย็นที่ถูกต้อง ถ้าไม่เหมาะสมส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องมือในการตัดลดลง และยังส่งผลกระทบต่อคุณภาพของชิ้นงาน เช่น ความเรียบของผิว และความแม่นยำในการกัด [1] ดังนั้น การควบคุมการสึกหรอด้านข้างจึงเป็นหัวใจสำคัญที่ช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดและเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมปัจจุบัน

การสึกหรอของเครื่องมือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานและอายุการใช้งานของเครื่องมือในการกัดหรือเจาะโลหะ การติดตามและควบคุมการสึกหรอจึงมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต [2] โดยเฉพาะการสึกหรอด้านข้าง (flank wear) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดหลักของการเสื่อมสภาพของคมตัด การวัดความกว้างของการสึกหรอตามช่วงเวลาช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมการใช้งานและการเสื่อมสภาพของเครื่องมือได้อย่างชัดเจน [3] กลไกหลักของการสึกหรอประกอบด้วย การเสียดสีระหว่างคมตัดกับชิ้นงาน การยึดเกาะและหลุดลอกของวัสดุชิ้นงาน การเกิดหลุมบนผิวเครื่องมือ และการสึกหรอแบบเกาะตัว

งานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าความเร็วในการตัดมีผลโดยตรงต่อการสึกหรอของเครื่องมือ นอกจากนี้ แรงเสียดทานและความแข็งของวัสดุชิ้นงานก็มีบทบาทสำคัญต่อการเสื่อมสภาพของคมตัด [4-5] การทำนายแรงตัดอย่างแม่นยำและประเมินการสึกหรอจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อออกแบบกระบวนการกัดที่มีประสิทธิภาพ แม้ว่าจะมีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาการสึกหรอของเครื่องมือ แต่ยังไม่มีการศึกษาโดยตรงที่ใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 factorial design กับการกัดเหล็กกล้า SKD61 ด้วยดอกกัด (End Mill) เคลือบ TiAlN ซึ่งเป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์การทำนายการสึกหรอ (flank wear) ในการกัดวัสดุอื่น ๆ [6]

งานวิจัยนี้ จึงมุ่งศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์การตัดเฉือนที่ส่งผลต่อความสึกหรอของคมตัดเคลือบ TiAlN โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 factorial design เพื่อระบุปัจจัยหลักและปฏิสัมพันธ์ที่มีผลต่อการสึกหรอ อีกทั้งปรับปรุงพารามิเตอร์การกัดเหล็กกล้า SKD61 เพื่อยืดอายุการใช้งานดอกกัดและเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการกัดให้เหมาะสมและคุ้มค่ามากที่สุด

2. ทฤษฎีและวิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยศึกษาทฤษฎีและวิธีดำเนินการวิจัยในการทดสอบ [7] ดังนี้

2.1 การออกแบบการทดลอง

ในการศึกษานี้ ผู้วิจัยเลือกใช้การทดลองแบบ 2^k factorial design ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งอิทธิพลหลักและอิทธิพลผลร่วมของปัจจัยที่ทำการศึกษาได้ครบถ้วน แต่ถ้าใช้การทดลองแบบทากุชิ (Taguchi) จะการลดจำนวนการทดลอง และหาอิทธิพลหลักเป็นหลัก อีกทั้งยังนำผลไปต่อยอดสู่การใช้การทดลองแบบพื้นผิวการตอบสนอง (RSM) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการเลือกใช้การทดลองแบบ 2^k factorial design สามารถเห็นอิทธิพลทั้งของปัจจัยเดี่ยวและอิทธิพลผลร่วมครอบคลุมทุกลำดับ ได้ชัดเจนมากกว่าวิธีแบบทากุชิ และแบบพื้นผิวการตอบสนอง [8]

นอกจากการเลือกใช้การทดลองแบบ 2^k factorial design ผู้วิจัยทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) เพื่อระบุเงื่อนไขที่เหมาะสมของตัวแปรอิสระ [9] ซึ่งประกอบด้วย ความเร็วตัด (Cutting Speed), ความเร็วรอบ (Spindle Speed) และ อัตราป้อน (Feed Rate) [10] ในการทดลองเบื้องต้น ได้มีการกำหนดจำนวนชุดการทดลองทั้งหมดจำนวน 8 ชุด ตามหลักการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design ซึ่งช่วยให้วิเคราะห์ผลกระทบของแต่ละปัจจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับการทดลองที่ระดับปัจจัยเป็นสองระดับ และง่ายต่อการตีความผลเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพขั้นต้น และทำการทดลอง 3 ครั้ง แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดลองแบบ 2^k Factorial Design

การทดลองแบบ	ระดับของปัจจัย			จำนวนซ้ำ	จำนวนครั้งการทดลอง
	A	B	C		
2^k Factorial Design	2	2	2	3	24

ทั้งนี้ ค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวถูกคำนวณจากสมการ 1 –3 เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดระดับของตัวแปรอิสระ

2.2.1 สมการคำนวณความเร็วตัด

$$V = \frac{\pi Dn}{1,000} \quad (1)$$

2.2.2 สมการคำนวณความเร็วรอบ

$$n = \frac{1,000v}{\pi D} \quad (2)$$

2.2.3 สมการคำนวณอัตราป้อน

$$F = f_z \times Z \times n \quad (3)$$

เมื่อ

V คือ ความเร็วตัด (เมตร/นาที)

π คือ ค่าพาย เป็นค่าคงที่ มีค่าเท่ากับ 3.14

D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)

n คือ ความเร็วรอบ (รอบ/นาที)

F คือ อัตราป้อน (มิลลิเมตร/นาที)

f_z คือ อัตราป้อนต่อฟัน (มิลลิเมตร/ฟัน)

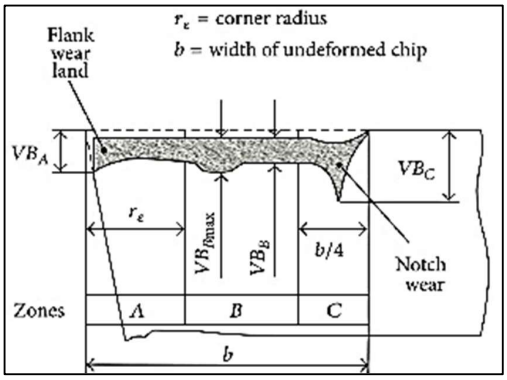
Z คือ จำนวนฟันของเครื่องมือตัด

ภายหลังการทดลองเบื้องต้น ผลการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าทุกระดับของพารามิเตอร์มีการแจกแจงแบบปกติ โดยพิจารณาจากค่า p-value > 0.05 ซึ่งไม่อาจปฏิเสธสมมติฐานว่าข้อมูลเป็นแบบปกติได้อย่างมีนัยสำคัญ ผลดังกล่าวช่วยให้ผู้วิจัยกำหนดระดับของตัวแปรอิสระในการทดลองหลักได้เหมาะสม โดยเลือกปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของคมตัด ตามแนวทางการออกแบบการทดลองแบบ 2^k Factorial Design รายละเอียดแสดงในตารางที่ 2 และใช้ระยะป้อนลึกเป็นค่าคงที่ เพื่อลดความซับซ้อน ลดตัวแปรที่เปลี่ยนรูปกลไกสึกหรอ ใช้การตัดเฉือนแบบแห้งเพื่อลดตัวแปรจากสารหล่อเย็นที่อาจเปลี่ยนสภาพผิวหรือการยึดติดของเศษชิ้นงาน

ตารางที่ 2 ปัจจัยและระดับของปัจจัยที่กำหนดในการทดลอง

ปัจจัย	ระดับของปัจจัย		หน่วย
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	
ความเร็วตัด	40	60	เมตรต่อนาที(m/min)
ความเร็วรอบ	1,591	2,387	รอบต่อนาที (rev/min หรือ rpm)
อัตราป้อน	828	1,241	มิลลิเมตรต่อนาที (mm/min)
ปัจจัยควบคุม ระยะป้อนลึก (depth of cut) ระยะ 1 มิลลิเมตร ใช้การตัดเฉือนแบบแห้ง (Dry machining)			

ตัวแปรตาม คือ การศึกษาการสึกหรอของดอกกัดตามมาตรฐาน ISO 3685:1997 [11] เน้นการประเมินการสึกหรอในโซนข้างของเครื่องมือกัด (Flank Wear) โดยการทดสอบจะพิจารณาอัตราการสึกหรอที่เกิดขึ้นในระหว่างการใช้งาน ซึ่งวัดค่าการสึกหรอในพื้นที่ที่เรียกว่า Flank Wear Area (VB_A) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือกัดและวัสดุที่ใช้ทำเครื่องมือ โดยการทดสอบจะใช้การวัดและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของขนาดการสึกหรอในระหว่างการทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่มีการควบคุม แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ค่ามาตรฐานการสึกหรอตามมาตรฐาน ISO 3685-1997 (VB_A) [11]

เมื่อ

VB_A คือ ความกว้างของ flank wear บริเวณโซน A (ใกล้มุมตัด)

VB_{max} คือ ค่าการสึกหรอ flank wear สูงสุดที่วัดได้ในโซน B

VB_B คือ ความกว้างของ flank wear เฉลี่ยบริเวณโซน B

VB_C คือ ความกว้างของ flank wear บริเวณโซน C

r_e คือ รัศมีมุมตัด

b คือ ความกว้างของชิ้นตัดที่ไม่ได้แปรรูป

การทดลองแบบ 2^K factorial design เป็นแบบจำลองเชิงเส้น (linear model) สำหรับการทดลองซึ่งรวมทั้งผลหลักและผลปฏิสัมพันธ์หลายระดับ β_0 แทนค่าพื้นฐาน (baseline) ของผลลัพธ์เมื่อทุกปัจจัยอยู่ระดับอ้างอิง ส่วน $\beta_x x_i$ แสดงผลหลักของแต่ละปัจจัย และ $\beta_{ij} x_i x_j$ แสดงปฏิสัมพันธ์สองปัจจัย ที่ชี้ว่าผลกระทบของปัจจัยหนึ่งขึ้นกับระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง นอกจากนี้ $\beta_{123} x_1\ x_2\ x_3$ แสดงปฏิสัมพันธ์สามปัจจัยพร้อมกัน ส่วน ε แสดงความคลาดเคลื่อนในการทดลอง การวิเคราะห์จะเริ่มด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อตรวจสอบความสำคัญของอิทธิพลหลัก (main effects) และอิทธิพลร่วม (interactions) โมเดลนี้ช่วยให้เข้าใจอิทธิพลของปัจจัยแต่ละตัวอย่างครบถ้วนและสามารถใช้คาดการณ์ผลตอบสนองได้อย่างแม่นยำ [12] โมเดลทางสถิติแบบ Summation สำหรับการทดลอง 2^3 factorial design แสดงในสมการที่ 4

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{3} \beta_x x_i + \sum_{i<j} \sum \beta_{ij} x_i\ x_j + \beta_{123} x_1\ x_2\ x_3\ + \varepsilon \quad (4)$$

เมื่อ

y คือ ค่าผลตอบสนองจากการทดลอง

β_0 คือ ค่าคงที่ (intercept)

β_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของผลกระทบหลักของปัจจัยที่ i

β_{ij} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของผลปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย i และ j

β_{123} คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของผลปฏิสัมพันธ์สามทาง

x_i คือ ค่ารหัสระดับของปัจจัยที่ i ซึ่งกำหนดเป็น -1 และ +1

ε คือ ความคลาดเคลื่อนของการทดลอง

การใช้ 2^3 factorial design แบบ full model จึงตอบโจทย์ทั้งการตรวจปัจจัยหลักและการสำรวจ ปัจจัยหลักร่วม เหมาะกับกรณีที่ต้องการเน้นผลกระทบหลักของแต่ละปัจจัย และช่วยลดความซับซ้อนของโมเดลโดยกำหนดการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab 19 ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ ได้การทดลองทั้งหมด 24 การทดลอง [13] การทดลองจากการสุ่มเลือกชิ้นงาน มาทำการกัดภายใต้เงื่อนไขที่ได้ออกแบบการ ทดลองจนครบ 24 ชิ้น ส่วนอีก 8 ชิ้นที่ได้ทำการทดลองเบื้องต้น สามารถนำผลจากการทดลองไปใช้ได้จึงไม่จำเป็นจะต้องทำใหม่ทั้ง 24 ชิ้น

2.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง

การทดลองนี้ใช้เครื่องกัด CNC ยี่ห้อ Chevalier รุ่น QP 2026-L สำหรับกระบวนการตัดเฉือนโลหะ พร้อมด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง รุ่น HBRV-187.5 สำหรับวัดค่าความแข็งแบบ Rockwell scale C และเครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบโลหะ HITACHI รุ่น OE750 เพื่อยืนยันองค์ประกอบธาตุของวัสดุ

ชิ้นงานที่ใช้คือ เหล็กกล้าเครื่องมือ JSI SKD61 ขนาด 39×40×26 มม. ซึ่งยังไม่ผ่านกระบวนการชุบแข็ง มีความแข็งเฉลี่ย 19.5 HRC ส่วนการเลือกเครื่องมือตัดเป็น ดอกกัดคาร์ไบด์ ขนาด 8 มม. คมตัด 4 ฟัน ยี่ห้อ Akira รุ่น Carbide Endmill D8 Lc20 4F เคลือบ TiAlN มีความแข็งเฉลี่ย 55 HRC เพราะมีผลต่อพื้นที่การวัดค่าความเรียบผิว [6] โดยรูปที่ 2 เหล็กกล้าเครื่องมือ JSI SKD61 และดอกเอ็นมิลคาร์ไบด์ และตารางที่ 3 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเหล็ก SKD61 (wt%)

รูปที่ 2 วัสดุที่ใช้ในการการทดลอง เหล็กกล้าเครื่องมือ JSI SKD61 และดอกเอ็นมิลคาร์ไบด์

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็ก SKD61 (wt%)

C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe
0.48	1.05	0.43	5.23	1.10	0.82	90.52

2.3 ขั้นตอนการทดลอง

1) การสร้างชิ้นงานและโปรแกรม Tool Path ด้วย MasterCAM 2022 โดยทำตามปัจจัยที่กำหนดและใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการควบคุมและจัดการกระบวนการผลิต (CAM) เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ลดเวลาผลิต และลดความผิดพลาดตรวจสอบการจำลองการทำงาน (Simulation) ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม NC-Code ใน Notepad Edit แก้ไขโปรแกรมตามเงื่อนไข ที่กำหนดไว้ในการการออกแบบการทดลอง

2) การทดลองกัดชิ้นงานจริง (ตามตารางสุ่ม 2^3 factorial Design) จากโปรแกรม Minitab 19 ทำซ้ำ 3 รอบ รวม 24 การทดลอง (RunOrder) การตั้งเครื่อง (calibration) ต้องตรวจสอบ tool length, spindle runout, work coordinate, และalignment ของชิ้นงาน ตรวจสอบสภาพชิ้นงานและตรวจสอบความถูกต้องระบบ NC ทุกครั้งก่อนการทดลอง หลังการทดลอง ถอดและจัดเก็บชิ้นงานพร้อมเครื่องมือภายใต้รหัสเดียวกันเพื่อความสอดคล้องในการวัดและวิเคราะห์

3) การวัดการสึกหรอของคมตัด ทำความสะอาดดอกกัดด้วยแปรงอ่อน วัดการสึกหรอ (flank wear) (VB_A) ของแต่ละฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์ Nikon ECLIPSE LV150NA/LV150N ตั้งค่ากำลังขยายและแสงที่เหมาะสม

บันทึกค่าเป็นหน่วยไมโครเมตร (μm) พร้อมคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และบันทึกผลการทดลองเพื่อการวิเคราะห์ผลทางสถิติ ใช้ผู้ปฏิบัติเดียวกันเพื่อลดความแปรปรวนและระบุความละเอียดอุปกรณ์พร้อมค่าความไม่แน่นอนของการวัด [14]

3. การทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการศึกษาการดำเนินการทดลองที่ได้จากตารางสุ่มการทดลอง เพื่อหาค่าเฉลี่ยความสึกหรอ ซึ่งวัดด้วยค่ามาตราฐานการสึกหรอตามมาตรฐาน ISO 3685-1997 (VB_A) เพื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยการสึกหรอคมตัดทั้ง 4 คมตัด ดังแสดงในตารางที่ 4

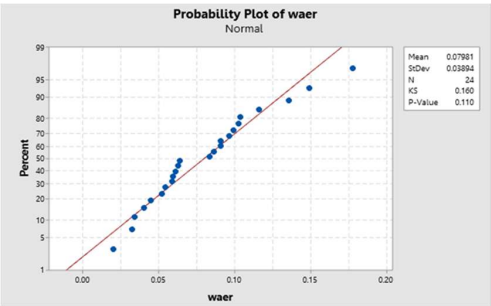
ตารางที่ 4 การเก็บผลการทดลองการสึกหรอ Flank Wear (VB_A) ของแต่ละฟันด้วยกล้องจุลทรรศน์

Std Order	Run Order	Cutting speed	Feed rate	Spindle Speed	Flank Wear Area 4 Flutes (VB_A) (μm)					
					1	2	3	4	$\bar{x}$	S.D.
1	7	40	828	1591	0.042	0.042	0.063	0.013	0.040	0.021
2	13	40	828	2387	0.063	0.013	0.061	0.042	0.045	0.023
3	1	40	1241	1591	0.088	0.117	0.063	0.117	0.096	0.026
4	14	40	1241	2387	0.015	0.042	0.246	0.042	0.086	0.107
5	3	60	828	1591	0.089	0.043	0.042	0.043	0.054	0.023
6	8	60	828	2387	0.061	0.063	0.042	0.042	0.052	0.012
7	20	60	1241	1591	0.239	0.125	0.061	0.119	0.136	0.074
8	15	60	1241	2387	0.042	0.237	0.061	0.125	0.116	0.088
9	2	40	828	1591	0.043	0.012	0.063	0.012	0.033	0.025
10	10	40	828	2387	0.012	0.013	0.042	0.013	0.020	0.015
11	23	40	1241	1591	0.125	0.042	0.125	0.042	0.084	0.048
12	21	40	1241	2387	0.023	0.063	0.042	0.008	0.034	0.024
13	19	60	828	1591	0.089	0.103	0.089	0.082	0.091	0.009
14	17	60	828	2387	0.063	0.042	0.082	0.063	0.063	0.016
15	6	60	1241	1591	0.082	0.117	0.117	0.094	0.103	0.017
16	4	60	1241	2387	0.238	0.117	0.119	0.238	0.178	0.069
17	18	40	828	1591	0.042	0.063	0.089	0.042	0.059	0.022
16	4	60	1241	2387	0.238	0.117	0.119	0.238	0.178	0.069
17	18	40	828	1591	0.042	0.063	0.089	0.042	0.059	0.022
18	5	40	828	2387	0.117	0.012	0.063	0.063	0.064	0.043
19	24	40	1241	1591	0.042	0.089	0.143	0.089	0.091	0.041
20	11	40	1241	2387	0.258	0.063	0.063	0.012	0.099	0.109
21	12	60	828	1591	0.099	0.013	0.063	0.063	0.060	0.035
22	9	60	828	2387	0.099	0.061	0.042	0.042	0.061	0.027
23	16	60	1241	1591	0.117	0.141	0.082	0.257	0.149	0.076
24	22	60	1241	2387	0.117	0.082	0.117	0.099	0.104	0.017

จากการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง สรุปได้ดังนี้

3.1 การตรวจสอบการแจงแบบปกติของข้อมูลการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

ผลการทดลองเบื้องต้น (Pilot Study) เพื่อหาระดับของตัวแปรอิสระที่เหมาะสมกับการทดลอง จากผลการทดลอง รูปที่ 3 พบว่าค่า P-Value เท่ากับ 0.150 ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ 0.05 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นนี้มีการแจกแจงแบบปกติ แสดงว่ายอมรับผลการทดลองเบื้องต้น และนำไปทดลองตามเงื่อนไขที่ออกแบบการทดลองไว้ได้



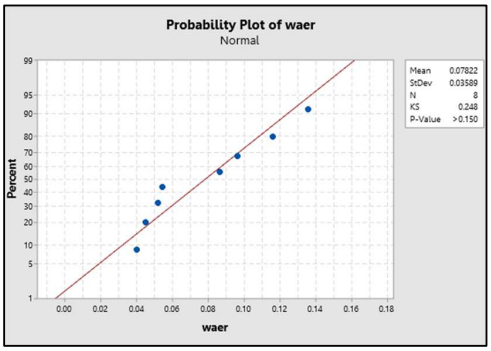
รูปที่ 3 การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05)

3.2 ผลการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของการทดลองทั้ง 24 การทดลอง

การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ ในระดับความเชื่อมั่นที่ 95% จากผลการทดลองทดลองทั้ง 24 การทดลอง โดยพิจารณาจากค่า P-Value ดังรูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างกระจายตัวตามแนวเส้นตรง โดยค่า P-Value ที่ได้คือ 0.110 ซึ่งมากกว่าเกณฑ์ 0.05 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

3.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีผลต่อความสึกหรอของคมตัดเคลือบ TiAlN

จากการศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสึกหรอของคมตัด ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อความสึกหรออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ ความเร็วตัด โดยมีค่า (P-value = 0.002) ซึ่งมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่าความแตกต่างของระดับความเร็วตัดส่งผลโดยตรงต่อความสึกหรอของคมตัด ในขณะที่ ความเร็วรอบ มีค่า (P-value = 0.538) ซึ่งมากกว่า 0.05 ทำให้สรุปได้ว่า ความเร็วรอบที่แตกต่างกันไม่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อความสึกหรอ สำหรับผลการวิเคราะห์อิทธิพลร่วมแบบสองปัจจัย และอิทธิพลร่วมแบบสามปัจจัย พบว่า ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 จากการตรวจสอบความถูกต้องของรูปแบบการทดลอง พบว่า โมเดลที่ใช้สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลได้อย่างเหมาะสม โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับผลกระทบของความเร็วตัดต่อการสึกหรอของคมตัด ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญเชิงวิศวกรรมในการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการตัดเฉือน ผลลัพธ์ดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าแบบจำลอง ANOVA ที่ใช้มีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการออกแบบกระบวนการผลิตที่เหมาะสมต่อไป เมื่อพิจารณาค่า R-sq = 74.33% และ R-sq (adj) = 63.09% แสดงว่าโมเดลสามารถอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้ในระดับที่เหมาะสม ค่า R-sq (pred) ที่ต่ำ (42.23%) ชี้ว่าโมเดลยังมีข้อจำกัดในการทำนายข้อมูลใหม่ ซึ่งอาจต้องการเพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลองหรือขยายช่วงของปัจจัยเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทดลองครั้งต่อไป



รูปที่ 4 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (α=0.05)

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่มีผลต่อความสึกหรอของคมตัดเคลือบ TiAlN

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	7	0.0259	0.0037	6.62	0.001
Linear	3	0.0243	0.0081	14.45	0.000
Cutting speed	1	0.0072	0.0072	12.88	0.002
Feed rate	1	0.0168	0.0168	30.07	0.000
Speed	1	0.0002	0.0002	0.40	0.538
2-Way Interactions	3	0.0013	0.0004	0.80	0.511
Cutting speed*Feed rate	1	0.0013	0.0013	2.31	0.148
Cutting speed*Speed	1	0.0000	0.0000	0.09	0.763
Feed rate*Speed	1	0.0000	0.0000	0.01	0.939
3-Way Interactions	1	0.0003	0.0003	0.57	0.461
Cutting speed*Feed rate*Speed	1	0.0003	0.0003	0.57	0.461
Error	16	0.0090	0.0006		
Total	23	0.0349			

S=0.0236580 R-sq=74.33% R-sq (adj) = 63.09% R-sq (pred) = 42.23%

เมื่อ DF คือ องศาอิสระ (จำนวนค่าที่เปลี่ยนแปลงได้)
Adj SS คือ ผลรวมกำลังสองที่ปรับแล้ว (ความแปรปรวนที่ตัวแปรอธิบายได้)
Adj MS คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองที่ปรับแล้ว (Adj SS ÷ DF)
F-Value คือ ค่าสถิติ F ใช้ทดสอบนัยสำคัญ
P-Value คือ ค่าความน่าจะเป็น ถ้า < 0.05 แสดงว่ามีนัยสำคัญ
S คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความคลาดเคลื่อน (ความแม่นยำของโมเดล)
R-sq คือ ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (ร้อยละความแปรปรวนที่โมเดลอธิบายได้)
R-sq (adj) คือ ค่า R-sq ที่ปรับแก้ (คำนึงถึงจำนวนตัวแปร)
R-sq (pred) คือ ค่า R-sq สำหรับทำนายข้อมูลใหม่

3.4 การกระจายตัวแบบปกติของส่วนตกค้างจากข้อมูลการวัดความสึกหรอ

จากรูปที่ 5 การตรวจสอบรูปแบบการทดลอง แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองเชิงเส้นที่สร้างขึ้นจากการวิจัยเชิงทดลอง มีความเหมาะสมและสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ในระดับที่น่าเชื่อถือ

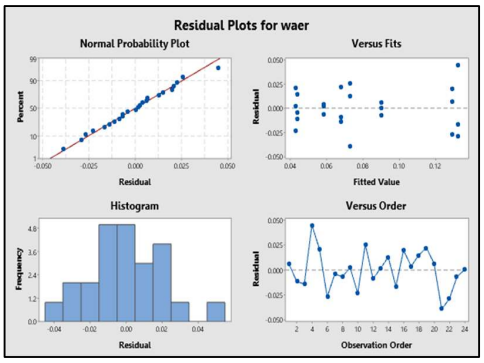
โดยพิจารณาจากกราฟ Normal Probability Plot พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) มีการกระจายตัวสอดคล้องใกล้เคียงการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญของการวิเคราะห์เชิงสถิติ

กราฟ Residuals versus Fitted Values แสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนกระจายรอบศูนย์โดยไม่เกิดรูปแบบชัดเจน และไม่ปรากฏลักษณะกรวย (Funnel Shape) บ่งชี้ว่าความแปรปรวนมีความคงที่ (Homoscedasticity)

ขณะที่กราฟ Histogram ของ Residuals มีรูปทรงใกล้เคียงระฆังคว่ำ ซึ่งยืนยันผลลัพธ์การกระจายแบบปกติอีกด้านหนึ่ง

สำหรับกราฟ Residuals versus Order พบว่าความคลาดเคลื่อนไม่มีแนวโน้มชัดเจนตามลำดับการ

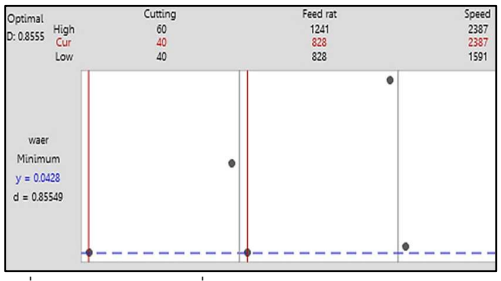
ทดลอง แสดงถึงความเป็นอิสระของข้อมูล (Independence of Errors) โดยสรุป ผลการตรวจสอบทั้งหมดบ่งชี้ว่าสมมติฐานพื้นฐานของการถดถอยเชิงเส้น (OLS Assumptions) ไม่ถูกละเมิดอย่างมีนัยสำคัญ แบบจำลองจึงมีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 5 การตรวจสอบรูปแบบการทดลอง

3.5 การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองเพื่อลดความสึกหรอ

การหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองเพื่อลดความสึกหรอของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Response Optimization ดังแสดงในรูปที่ 6 พบว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมในการลดค่าความสึกหรอของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN ให้น้อยที่สุด (ค่า wear ต่ำสุดที่ 0.0428) ได้แก่ ความเร็วตัด (Cutting Speed) ที่ 40 m/min อัตราป้อน (Feed Rate) ที่ 828 mm/min และความเร็วรอบ (Spindle Speed) ที่ 2,387 rpm โดยมีค่าดัชนีความพึงพอใจ เท่ากับ 0.85549 ซึ่งแสดงถึงประสิทธิภาพสูงในการทำนายและควบคุมกระบวนการกัดเหล็ก SKD61 ได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และมีความสำคัญต่อการยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดและลดต้นทุนการผลิตในกระบวนการกัดเหล็กกล้า



รูปที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลองการกัดเหล็กกล้า SKD61

4. สรุปผล

4.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความสึกหรอของคมตัดเคลือบ TiAlN

ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อความสึกหรอของคมตัดเคลือบ TiAlN ได้แก่ ความเร็วตัดและอัตราป้อน ซึ่งมีค่า F = 12.88 (p = 0.002) และ F = 30.07 (p = 0.000) ตามลำดับ แสดงว่า อัตราป้อนเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการสึกหรอ การเพิ่มอัตราป้อนทำให้แรงตัดและแรงกดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการขัดถูรุนแรงและเร่งการสึกหรอเร็วกว่าผลของความเร็วตัดเพียงอย่างเดียว

ความเร็วตัด เมื่อมีค่าที่สูงก่อให้เกิดความร้อนและแรงเสียดทานสะสมบริเวณหน้าสัมผัส ส่งผลให้การสึกหรอเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่รายงานว่า flank wear และ crater wear มักเกิดรุนแรงเมื่อความเร็วตัดสูง [15] แสดงว่าผลการสึกหรอถูกครอบงำด้วย ความเร็วตัด และอัตราป้อนเป็นหลัก ดังนั้นการควบคุมอัตราป้อนให้อยู่ในระดับต่ำและเลือกความเร็วตัดที่เหมาะสมจึงเป็นแนวทางหลักในการยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN [16]

4.2 การเพิ่มประสิทธิภาพพารามิเตอร์การกัดเหล็กกล้า SKD61 เพื่อลดการสึกหรอของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN

จากการใช้เทคนิค Response Optimization ในการหาค่าระดับปัจจัยที่เหมาะสมในการทดลองเพื่อลดความสึกหรอของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN ในการกัดวัสดุ SKD61 คือ ความเร็วตัด 40 เมตร/นาที อัตราป้อน 828 มิลลิเมตร/นาที และความเร็วรอบ 2,387 รอบ/นาที ซึ่ง

สามารถลดค่าการสึกหรอของเครื่องมือได้ต่ำสุดที่ 0.0428 ไมครอน ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์การหยุดทดสอบ (End-of-test criteria) เมื่อเครื่องมือตัดสึกหรอถึงระดับที่ถือว่าไม่เหมาะสมต่อการใช้งานต่อไป โดย ISO 3685:1997 กำหนดไว้ดังนี้ Flank wear (VB_A หรือ VB_{max}) โดยทั่วไป 0.3 มม. เป็นค่าหลักที่ใช้สิ้นสุดการทดสอบ อาจยืดหยุ่นได้ขึ้นกับงาน เช่น 0.2–0.6 มม. ค่ามาตรฐานสากล สำหรับใช้เปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องมือตัด (tool life) ค่าที่มากกว่านี้ (VB_A = 0.6 มม.) ใช้ในงานหยาบหรือสภาวะที่ต้องการความทนทานมากกว่าเน้นผิวละเอียด ในเชิงอุตสาหกรรมอาจมีการปรับตามความต้องการ เช่น ลดลงเหลือ VB_A= 0.2 มม. ถ้างานต้องการผิวละเอียดสูง ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้ระบุค่าการสึกหรอของเครื่องมือได้ต่ำสุดที่ 0.0428 ไมครอน อยู่ระหว่างค่าเฉลี่ย VB_A = 0.3 มม. งานทั่วไป (finishing) และค่าเฉลี่ย VB_A = 0.6 มม. งานหยาบ (roughing) โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถคาดการณ์ผลได้อย่างแม่นยำ [11]

5. ข้อจำกัดและงานวิจัยในอนาคต

1) จำนวนตัวอย่างทดลองค่อนข้างจำกัด ส่งผลต่อความแม่นยำของแบบจำลองทางสถิติ ควรเพิ่มจำนวนซ้ำหรือช่วงระดับปัจจัยในการศึกษาครั้งต่อไปเพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงการกำหนดระดับนัยสำคัญ ใช้ค่า (α = 0.05) เป็นมาตรฐาน และกำหนดกำลังทดสอบ (power analysis) เพื่อประมาณค่าผลกระทบ (Effect Size) ขนาดของผลลัพธ์ที่คาดว่าจะพบในการทำทดลองเบื้องต้น (Pilot Study)

2) ควรขยายการศึกษาไปโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์พื้นผิวการตอบสนอง (RSM) เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในเชิง (Optimization) และสร้างสมการเชิงคณิตศาสตร์สำหรับทำนายค่าการสึกหรอได้อย่างละเอียด

3) พัฒนาแบบจำลอง (Machine Learning) หรือ Predictive Model เพื่อคาดการณ์การสึกหรอจากข้อมูลพารามิเตอร์การตัดจริงในโรงงาน

4) ศึกษาผลของวัสดุเคลือบชนิดอื่น เช่น AlCrN, TiSiN หรือ TiCN เพื่อเปรียบเทียบความทนทานและกลไกการสึกหรอในสภาวะเดียวกัน

5) เพิ่มการทดลองเปรียบเทียบในสภาวะการตัดเฉือนที่ใช้ สารหล่อเย็น (Wet Machining) หรือ MQL (Minimum Quantity Lubrication) เพื่อประเมินผลของการหล่อลื่นต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัด

6. เอกสารอ้างอิง

[1] P. Hongsuwan and B. Panprasitvech, “Factors of machining with milling tool TiAlN coated solid carbide finishing end mill affecting life time of cutting edge and surface roughness,” *J. KMUTNB*, vol. 27, no. 2, pp. 303–313, 2017.

[2] P. Zhao, Y. Song, B. Jiang and B. Wang, “Distribution and prediction of incremental cutter flank wear in high-efficiency milling,” *Applied Sciences*, vol. 13, no. 8, Art. no. 4749, 2023.

[3] M. S. Najiha, M. Rahman, and A. R. Yusoff, “Flank wear characterization in aluminum alloy (6061-T6) with nanofluid minimum quantity lubrication environment using an uncoated carbide tool,” *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, vol. 137, no. 6, Art. no. 061004, 2015.

[4] S. Gao, X. Duan, K. Zhu, and Y. Zhang, “Generic cutting force modeling with comprehensively considering tool edge radius, tool flank wear and tool runout in micro-end milling,” *Micromachines*, vol. 13, no. 11, Art. no. 1805, 2022.

[5] J. Baralić, A. Mitrović, and M. Radović, “Flank wear as a function of cutting time,” *Int. J.*

Adv. Manuf. Technol., vol. 123, no. 4, pp. 789–798, 2022.

[6] P. B. Odedeyi and K. Abou-El-Hossein, "A model for prediction and optimization of flank wear in end milling of AISI 316 stainless steel," in *Proc. 8th Int. Conf. Fracture, Fatigue and Wear (FFW 2020)*, Singapore, 2020, pp. 573–586.

[7] M. Fakthong, S. Peopayom, N. Leechai, S. Chuenchomnakjad, S. Kongta and K. Meenu, "Factors affecting surface roughness in the milling process of SKD 61 steel using design of experiment," *J. Eng. Innov.,* vol. 17, no. 4, pp. 43–52, Oct.–Dec. 2024.

[8] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*, 9th ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2017.

[9] S. A. Julious, "Pilot studies in clinical research," *Stat. Methods Med. Res.*, vol. 25, no. 3, pp. 995–996, 2016.

[10] B. Sornil and S. Wattanasriyakul, *Metal Work Manual Table*. Bangkok, Thailand: Textbook Production Center, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2015.

[11] International Organization for Standardization, ISO 3685: Tool-Life Testing with Single-Point Turning Tools, 1997.

[12] P. Sudasna Na Ayudthya and P. Luangpaiboon, *Design and Analysis of Experiments*. Bangkok, Thailand: Top Publishing, 2008.

[13] P. Palaphan, *A Professional Guide to Analyzing and Managing Statistical Data with Minitab*. Nonthaburi, Thailand: IDC Premier, 2017.

[14] R. Daicu and G. Oancea, "Methodology for measuring the cutting inserts wear," *Symmetry*, vol. 14, no. 3, p. 469, 2022.

[15] E. M. Trent and P. K. Wright, *Metal Cutting*, 4th ed. Oxford, UK: Butterworth-Heinemann, 2000.

[16] B. Denkena and D. Biermann, "Cutting edge geometries," *CIRP Ann. Manuf. Technol.*, vol. 61, no. 2, pp. 631–653, 2012.

Srinakharinwirot University Engineering Journal (2026) 22(1), 35-52 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

กำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ใช้การแทนที่ทรายด้วยมวลรวมเศษขยะพลาสติก
Strength and Durability of Concrete Using Sand Replacement with Plastic Waste Aggregate

อัญชนา กิจจานนท์[1] ลีน่า ปรัก[1] ทวีชัย สำราญวานิช[2*]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ตำบลคลองหก อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
[2]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ถนนลงหาดบางแสน ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20131
Aunchana Kijjanon[1] Lyna Prak[1] Taweechai Sumranwanich[2*]
[1]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi, Khlong Hok Subdistrict, Khlong Luang District, Pathum Thani Province 12120
[2]Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Burapha University, Thanon Long Had Bangsaen, Saen Suk, Chon Buri District, Chon Buri 20131
*Corresponding author Email: twc@buu.ac.th
(Received: May 7, 2025; Revised: September 15, 2025; Accepted: January 21, 2026)

บทคัดย่อ

บทความนี้มุ่งศึกษาผลการแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในคอนกรีตด้วยเศษขยะพลาสติกต่อกำลังอัด กำลังดัด กำลังดึงแบบผ่าซีก ความต้านทานการขัดสี การนำความร้อน การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งและการแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่ทั้งหมดเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมธรรมชาติ โดยใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก 3 ชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ (PVC) พอลิโพรไพลีน (PP) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนร้อยละ 10 20 และ 30 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียด ใช้อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 จากผลการทดลองพบว่า กำลังอัด กำลังดัด และกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติกเพิ่มขึ้น คอนกรีตผสม PVC ร้อยละ 10 มีค่ากำลังสูงสุดและมีกำลังอัดมากกว่า 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งสามารถใช้กับงานก่อสร้างทางเท้าและทางจักรยาน เมื่อพิจารณาความคงทนพบว่า การใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกช่วยเพิ่มความต้านทานการขัดสี โดยการใช้ PVC ร้อยละ 30 มีความต้านทานการขัดสีสูงที่สุด การนำความร้อนของคอนกรีตลดลงอย่างมากเมื่อใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก โดยการใช้ PVC ร้อยละ 10 มีค่าต่ำสุดเพียง 0.148 W/mK หรือลดลงจากคอนกรีตควบคุมร้อยละ 83.3 คอนกรีตผสม PET หรือ PP ร้อยละ 10 มีการแทรกซึมคลอไรด์ในระดับสูง ขณะที่คอนกรีตผสม PVC ร้อยละ 10 มีการแทรกซึมคลอไรด์ระดับปานกลาง

คำสำคัญ: เศษขยะพลาสติก กำลังอัด ความต้านทานการขัดสี การแทรกซึมคลอไรด์

ABSTRACT

This paper aims to study the effect of plastic waste as a partial fine aggregate replacement in concrete on compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, abrasion resistance, thermal conductivity, rapid chloride penetration, and bulk chloride diffusion of concrete with natural aggregate. There were three types of plastic waste aggregate: polyvinyl chloride (PVC), polypropylene (PP), and polyethylene terephthalate (PET). Fine aggregate was partially replaced by plastic waste aggregate at 10%, 20%, and 30% by volume of fine aggregate. The water-to-binder ratio of 0.50 was used. The study results found that the compressive strength, flexural strength, and splitting tensile strength of concrete decreased as the amount of plastic waste aggregate replacement increased. Concrete containing 10% PVC achieved the highest strength values and had a compressive strength of 210 kg/cm², being applied for the construction of pavement and bicycle paths. By considering durability, it was found that utilizing plastic waste aggregates improved the abrasion resistance of concrete, particularly with 30% PVC, which provided the highest resistance. Thermal conductivity decreased significantly with the incorporation of plastic waste aggregates, with 10% PVC achieving the lowest value of 0.148 W/mK, representing an 83.3% reduction compared to the controlled concrete. Concretes containing 10% of PET or PP had high chloride penetrability, whereas concrete containing 10% PVC had moderate chloride penetrability.

Keywords: Plastic waste, compressive strength, abrasion resistance, chloride penetration resistance.

1. บทนำ

ประเทศไทยจัดอยู่ในลำดับที่ 5 ของโลกในด้านปริมาณการก่อขยะพลาสติกต่อประชากร โดยชนิดขยะพลาสติกที่พบมาก ได้แก่ พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene Terephthalate: PET) พอลิโพรพิลีน (Polypropylene: PP) และพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) พลาสติกเหล่านี้หากกลายเป็นขยะจะต้องใช้เวลาย่อยสลายนานกว่า 450 ปีจึงจะสลายหมด ส่งผลให้เกิดการสะสมของขยะพลาสติกจำนวนมาก ซึ่งสร้างผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม ทั้งในด้านปัญหาการจัดการที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ทั้งหมดในทันที ตลอดจนการใช้พื้นที่จัดเก็บขยะที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพจึงมีความจำเป็น เพื่อส่งเสริมการรีไซเคิล ลดการใช้พลังงาน ลดมลพิษ และรักษาทรัพยากรธรรมชาติ

ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง คอนกรีตเป็นวัสดุหลักที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีการใช้ทรายและหิน ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติในปริมาณสูง โดยเฉพาะทรายที่มีสัดส่วนร้อยละ 20–35 ของปริมาตรคอนกรีตทั้งหมด ความต้องการที่สูงทำให้เกิดการขุดทรายอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับการใช้งาน ซึ่งส่งผลกระทบเชิงลบต่อระบบนิเวศ เช่น การทำลายแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิต การกัดเซาะตลิ่ง การเกิดน้ำท่วม และการเสื่อมสภาพของแหล่งน้ำ

เพื่อลดผลกระทบดังกล่าว จึงมีความพยายามในการนำเศษขยะพลาสติกมาใช้เป็นวัสดุทดแทนในงานคอนกรีต โดยเฉพาะการแทนที่ทรายบางส่วน ซึ่งช่วยลดการใช้ทรายธรรมชาติ ลดผลกระทบต่อระบบนิเวศ และแก้ไขปัญหาการสะสมของขยะพลาสติก อีกทั้งยังช่วยประหยัด

พลังงาน ลดการใช้ทรัพยากรใหม่ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเปลี่ยนขยะพลาสติกจากปัญหาสิ่งแวดล้อมให้กลายเป็นทรัพยากรที่เป็นประโยชน์ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง การใช้วัสดุหมุนเวียนจึงมีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ยั่งยืน และเป็นการรักษาทรัพยากรธรรมชาติให้คงอยู่ต่อไป [1] จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีศึกษาผลของการใช้ขยะพลาสติกในคอนกรีตทั้งต่อคุณสมบัติของคอนกรีตสดและคอนกรีตแข็งตัวดังนี้ ในด้านกำลังอัด การแทนที่มวลรวมด้วยพลาสติกทำให้กำลังอัดลดลง ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณพลาสติกที่ใช้ (เช่น PET, HDPE, PP, PVC) [1–6] ในด้านกำลังดึงและกำลังดัด การใช้ขยะพลาสติกในคอนกรีตทำให้กำลังดึงและกำลังดัดลดลงเมื่อใช้พลาสติกในปริมาณสูง แต่ในปริมาณต่ำ (≤10%) ยังอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ และในบางกรณีพลาสติก HDPE อาจช่วยเพิ่มแรงดึงจากคุณสมบัติการยืดตัว [1, 6] ในด้านความคงทน การใช้พลาสติกในคอนกรีตมีข้อจำกัดด้านความทนทาน เช่น ความไวต่อการกัดกร่อนทางเคมี การซึมน้ำ การกัดกร่อนจากคลอไรด์ และความต้านทานต่อสภาพแวดล้อมกรด-ด่าง [2, 4] ในด้านคุณสมบัติทางความร้อน การใช้พลาสติกช่วยลดการนำความร้อนและเพิ่มคุณสมบัติการเป็นฉนวน (กันความร้อนและเสียง) [4] ในด้านความสามารถในการทำงานได้ การใช้ขยะพลาสติกในปริมาณที่เพิ่มขึ้นบางครั้งทำให้ความสามารถในการทำงานลดลงตามปริมาณพลาสติก แต่บางงานวิจัยพบว่า PET ในรูปเม็ดบดบางขนาดช่วยเพิ่ม Workability ได้ [5–6] และในด้านความหนาแน่น ขยะพลาสติกมีความหนาแน่นต่ำกว่ามวลรวมธรรมชาติ จึงทำให้คอนกรีตที่ใช้ขยะพลาสติกแทนที่มีความหนาแน่นลดลงประมาณร้อยละ 46 เนื่องจากความหนาแน่นของพลาสติกต่ำกว่ามวลรวมธรรมชาติ โดยขึ้นกับชนิดและปริมาณของพลาสติก [2, 4, 6]

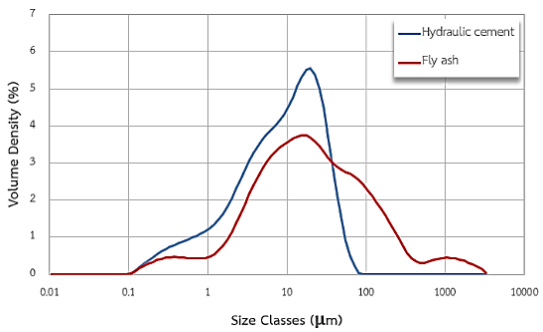
Olofinnade et al. [3] ได้ศึกษาการใช้ขยะพลาสติกแทนที่มวลรวมหยาบในคอนกรีตและพบว่า แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุประสานและอนุภาคพลาสติกไม่ดี เนื่องจากพื้นผิวของพลาสติกเรียบและมัน ส่งผลให้คุณสมบัติคอนกรีตโดยรวมลดลง โดยเฉพาะเมื่อใช้ในปริมาณสูง ดังนั้นการใช้ขยะพลาสติกยังไม่เหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตกำลังสูง เช่น ถนนคอนกรีตหรือโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก แต่สามารถประยุกต์ใช้ในงานคอนกรีตกำลังต่ำ เช่น ทางเท้าหรือทางจักรยานได้

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นเพียงด้านใดด้านหนึ่ง เช่น ความแข็งแรง ความต้านทานการกัดกร่อน หรือคุณสมบัติการนำความร้อน ดังนั้น บทความนี้จึงมุ่งศึกษาผลของการแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนด้วยเศษพลาสติกสามชนิด ได้แก่ PVC, PP และ PET ต่อคุณสมบัติเชิงกล (กำลังอัด กำลังดัด กำลังดึงแบบผ่าซีก และความต้านทานการขัดสี) คุณสมบัติทางความร้อน และคุณสมบัติด้านความคงทน (เช่น ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ทั้งแบบเร่งและแบบแพร่) เพื่อหาแนวทางการใช้คอนกรีตผสมขยะพลาสติกในงานก่อสร้างทางจักรยานต้นแบบขนาดเล็กอย่างเหมาะสม

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุประสาน

ใช้ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกประเภท GU (General use) ตามมาตรฐาน มอก.2594-2556 [7] และใช้เถ้าลอยชั้นคุณภาพ C ตามมาตรฐาน ASTM C618-19 [8] โดยองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและเถ้าลอยแสดงในตารางที่ 1 ส่วนการกระจายตัวของขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและเถ้าลอยแสดงในรูปที่ 1



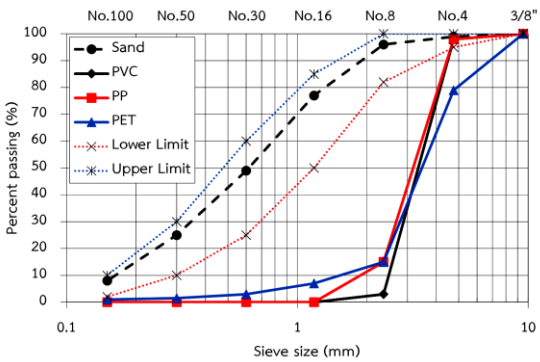
รูปที่ 1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์ไฮดรอลิกและเถ้าลอย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุประสาน

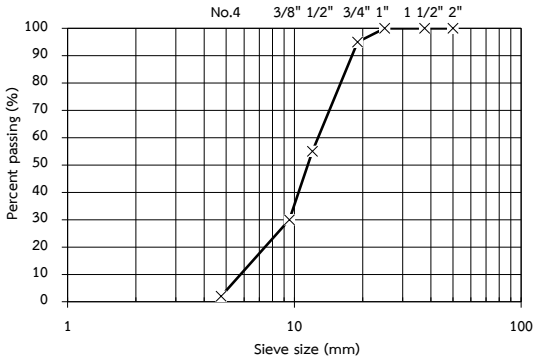
องค์ประกอบทางเคมี (%)	ปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก	เถ้าลอย
SiO_2	13.63	28.42
Al_2O_3	2.67	13.03
Fe_2O_3	3.31	14.88
CaO	66.20	27.11
MgO	1.12	1.90
SO_3	1.90	6.11
Na_2O	0.31	1.50
K_2O	0.35	2.53
LOI	6.78	3.18
คุณสมบัติทางกายภาพ		
ความถ่วงจำเพาะ	3.14	2.56
พื้นที่ผิวจำเพาะ (m^2/kg)	254.3	315.7

2.2 มวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบ

ใช้ทรายบกเป็นมวลรวมละเอียด และใช้หินปูนขนาดโตสุดไม่เกิน 19 มิลลิเมตร เป็นมวลรวมหยาบ โดยรูปที่ 2 และ 3 แสดงขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมพลาสติก และมวลรวมหยาบตามลำดับ ส่วนรูปที่ 4 และ 5 แสดงลักษณะหินและทรายที่ใช้ ตามลำดับ ส่วนตารางที่ 2 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมและมวลรวมเศษขยะพลาสติก

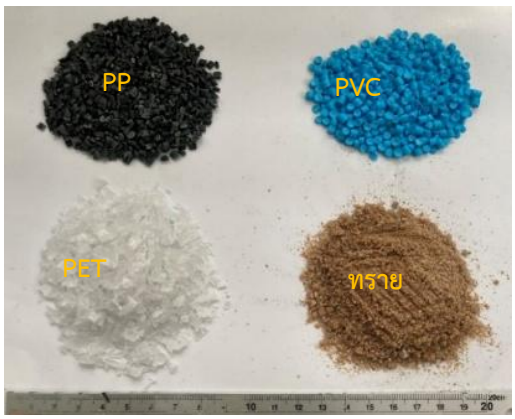


รูปที่ 2 ขนาดคละของมวลรวมละเอียดและมวลรวมเศษขยะพลาสติก



รูปที่ 3 ขนาดคละของมวลรวมหยาบ

รูปที่ 4 มวลรวมหยาบ



รูปที่ 5 มวลรวมเศษขยะพลาสติกและมวลรวมละเอียด

2.3 มวลรวมเศษขยะพลาสติก

มวลรวมเศษขยะพลาสติกทั้งสามชนิด ได้แก่ พอลิไวนิวคลอไรด์ (PVC) พอลิโพพิลีน (PP) และพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ตามที่แสดงในรูปที่ 5 ได้รับการจัดหาจากบริษัท โกลบอล พลาส เซ็นเตอร์ จำกัด โดยเศษพลาสติก PVC มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 3.0 -3.5 มม. เศษขยะพลาสติก PP มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 3.0 -3.5 มม. และเศษขยะพลาสติก PET มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ 3.0 -4.0 มม.

การกระจายขนาดคละของอนุภาคมวลรวมเศษขยะพลาสติกแสดงในรูปที่ 2 ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมเศษขยะพลาสติกสรุปไว้ในตารางที่ 2 โดยใช้เศษขยะพลาสติกแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 10 20 และ 30 โดยปริมาตร ดังแสดงในตารางที่ 3

2.4 การทดสอบ

2.4.1 กำลังอัด

กำลังอัดของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน BS EN 12390-3: 2009 [9] โดยหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10×10×10 เซนติเมตร^3 จากนั้นบ่มตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 7, 28 และ 365 วัน หลังจากครบระยะเวลาบ่มน้ำ นำตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัดโดยใช้เครื่องทดสอบแรงกดกดลงบนตัวอย่างคอนกรีตจนเกิดการวิบัติ แล้วบันทึกแรงกดสูงสุดเพื่อคำนวณกำลังอัดของคอนกรีต

2.4.2 กำลังดัด

กำลังดัดของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C293/C293M-16 [10] โดยใช้เครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (UTM) กับตัวอย่างทรงปริซึมขนาด 10×10×50 เซนติเมตร ที่บ่มในน้ำ 7 28 และ 365 วัน จากนั้นทำเครื่องหมายแบ่งกลางคานและแบ่งด้านข้างเป็นสองส่วนละ 22.5 เซนติเมตร เพื่อกำหนดจุดรองรับและจุดกดโหลด วางตัวอย่างบนแท่นรองรับสองจุด ใช้โหลดกดจุดกลางตัวอย่างโดยเพิ่มแรงอย่างต่อเนื่องจนเกิดแตกหัก บันทึกแรงสูงสุดและคำนวณกำลังดัด (Modulus of rupture)

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมและมวลรวมเศษขยะพลาสติก

คุณสมบัติ	มวลรวม		มวลรวมเศษขยะพลาสติก		
	ทราย	หิน	PVC	PP	PET
ความถ่วงจำเพาะ	2.68	2.59	1.30 – 1.48	0.905	1.35
ขนาดอนุภาค (มม.)	0 - 3	4.75 – 19.0	3 – 3.5	3 – 3.5	3.0 -4.5
การดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	0.32	0.42	0	0	0
รูปร่าง	angular	Angular	cylindrical	cube	angular

ตารางที่ 3 ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้

รหัสส่วนผสม	ส่วนผสมคอนกรีต (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)							
	ปูนซีเมนต์	เถ้าลอย	น้ำ	ทราย (SSD)	มวลรวมเศษขยะพลาสติก			หิน (SSD)
					PVC	PP	PET	
NC0	260	111.4	192	773	-	-	-	1020.8
PVC10	260	111.4	192	695.8	39.7	-	-	1020.8
PVC20	260	111.4	192	618.5	79.4	-	-	1020.8
PVC30	260	111.4	192	541.2	119	-	-	1020.8
PP10	260	111.4	192	695.8	-	26	-	1020.8
PP20	260	111.4	192	618.5	-	51.9	-	1020.8
PP30	260	111.4	192	541.2	-	77.9	-	1020.8
PET10	260	111.4	192	695.8	-	-	40	1020.8
PET20	260	111.4	192	618.5	-	-	79	1020.8
PET30	260	111.4	192	541.2	-	-	119.9	1020.8

<u>หมายเหตุ:</u> ส่วนผสมคอนกรีตออกแบบโดยควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (w/b) เท่ากับ 0.50 และใช้อัตราส่วนเถ้าลอยต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.30

2.4.3 กำลังดึงแบบผ่าซีก

กำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตถูกทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C496/C496M-17 [11] ด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต โดยหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จากนั้นบ่มตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 7, 28 และ 365 วัน หลังจากครบระยะเวลาบ่มน้ำ นำตัวอย่างมาทดสอบโดยการกดแรงที่ด้านข้างของผิวตัวอย่างบริเวณกึ่งกลางจนเกิดการแตกร้าว พร้อมทั้งบันทึกค่าแรงกดสูงสุดเพื่อคำนวณกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต

2.4.4 ความต้านทานการขัดสี

ความต้านทานการขัดสีของพื้นผิวคอนกรีตทดสอบตาม Rotating-cutter method ตามมาตรฐาน ASTM C944/C944M-19 [12] โดยติดตั้งหัวขัด (Dressing wheel) กับแกนหมุนของเครื่องเจาะ นำตัวอย่างคอนกรีตทรงลูกบาศก์ขนาด 10×10×10 เซนติเมตร^3 ผึ่งให้แห้งและชั่งน้ำหนัก จากนั้นขัดพื้นผิวด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ภายใต้น้ำหนักกด 98 นิวตัน เป็นเวลา 2 นาที หลังทดสอบชั่งน้ำหนักอีกครั้งและคำนวณการสูญเสียน้ำหนักจากการขัด โดยทดสอบหลังบ่มน้ำครบ 365 วัน

2.4.5 การนำความร้อน

การนำความร้อนของคอนกรีตทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D5334-22 [13] โดยใช้เครื่อง Transient Line Source (TLS-100) กับตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร หลังบ่มน้ำครบ 365 วัน ทำการเลือกและติดตั้งเข็มทดสอบที่เหมาะสม เสียบเข็มลงในตัวอย่าง เปิดเครื่องและตรวจสอบการเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ เริ่มทดสอบโดยกดปุ่มควบคุมค้าง 2 วินาที เครื่องจะปล่อยความร้อนผ่านเข็มและบันทึกอุณหภูมิ รอจนแสดงค่าการนำความร้อนและความต้านทานความร้อน บันทึกผลเพื่อวิเคราะห์ ค่าการนำความร้อนแสดงในหน่วย W/mK

2.4.6 การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่ง

หล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร บ่มในน้ำ 365 วัน จากนั้นนำตัวอย่างมาตัดบริเวณกึ่งกลางให้มีความหนา 5 เซนติเมตร นำตัวอย่างมาประกอบเข้ากับเซลล์ทดสอบ โดยด้านหนึ่งให้สัมผัสสารละลาย NaCl อีกด้านหนึ่ง และ NaOH ต่อขั้วไฟฟ้า ใช้แรงดัน 60 โวลต์ ผ่านตัวอย่าง บันทึกกระแสทุก 1 นาที เป็นเวลา 6 ชั่วโมง คำนวณค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่าน หน่วยเป็น Coulombs เพื่อประเมินความพรุนและการแทรกซึมคลอไรด์ตามมาตรฐาน ASTM C1202-22 [14]

2.4.7 การแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่ทั้งหมด

การทดสอบการแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่ตามมาตรฐาน ASTM C1556-22 [15] เริ่มต้นด้วยการหล่อตัวอย่างคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร บ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 365 วัน เมื่อครบกำหนด ตัดตัวอย่างเป็น 5 แผ่น หนาแผ่นละ 1 เซนติเมตร นับจากผิวหน้าคอนกรีต บดเฉพาะส่วนกึ่งกลางของแต่ละแผ่นให้เป็นผง สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ นำผงตัวอย่าง 5 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร และกรดไนตริกเจือจาง 25 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:1) ต้มให้เดือด กรองสารละลายแล้วไตรเตรทเพื่อวัดปริมาณคลอไรด์ทั้งหมดในคอนกรีต

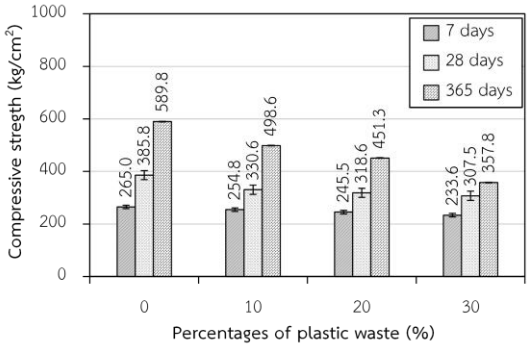
3. ผลการทดลองและอภิปราย

3.1 กำลังอัด

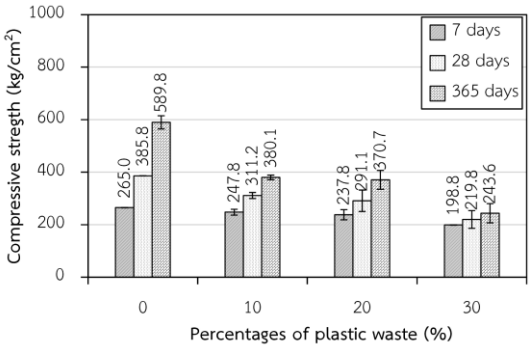
จากรูปที่ 6 พบว่า คอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีกำลังอัดลดลงตามปริมาณการแทนที่สูงขึ้น โดยที่ปริมาณการแทนที่ร้อยละ 10 ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับร้อยละ 20 และ 30 นอกจากนี้ การลดลงของกำลังอัดเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม อยู่ในช่วงร้อยละ 3.85–11.85 (7 วัน), 14.32–20.30 (28 วัน) และ 15.46–39.32 (365 วัน) ขณะที่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET มีการลดลงของกำลังอัดในช่วงร้อยละ 6.50–25.00 (7 วัน), 19.35–43.04 (28 วัน), 35.55–58.69 (365 วัน) และร้อยละ 10.26–30.77 (7 วัน), 24.54–46.76 (28 วัน) และ 38.85–53.89 (365 วัน) ตามลำดับ เนื่องจากเศษขยะพลาสติกมีลักษณะ

พื้นผิวเรียบมัน ดังนั้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุประสานและอนุภาคพลาสติก (Interface transition zone, ITZ) จึงลดลง นอกจากนี้ พื้นผิวที่การยึดเกาะไม่ดีก่อให้เกิดรอยต่อในโครงสร้างคอนกรีต ทำให้การถ่ายแรงระหว่างมวลรวมและวัสดุประสานไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลทำให้ความสามารถรับกำลังอัดลดต่ำลง [3-4, 16] นอกจากนี้การเพิ่มปริมาณการแทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่สูงขึ้นยังเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาคพลาสติกในเนื้อคอนกรีต ทำให้การเรียงตัวของวัสดุไม่สม่ำเสมอและเกิดการสะสมของรอยแตกร้าวได้ง่าย ซึ่งส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงโดยรวมของคอนกรีต ผลการทดลองในลักษณะเดียวกันนี้ยังถูกรายงานโดย Sau et al. [17] และ Hassan et al. [18] อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้ใช้ปริมาณการแทนที่ด้วยเศษขยะพลาสติกร้อยละ 10 20 และ 30 โดยปริมาตรของมวลรวมละเอียดซึ่งไม่ใช่ปริมาณที่สูงมากจนเกินไป แม้ว่าการใช้เศษขยะพลาสติกทำให้กำลังอัดต่ำกว่ากำลังอัดของคอนกรีตควบคุม แต่ก็มีกำลังอัดเกินกว่าร้อยละ 50 ของกำลังอัดของคอนกรีตควบคุมอยู่ กล่าวคือ กำลังอัดมากกว่า 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเหมาะสมสำหรับงานคอนกรีตทางจักรยาน

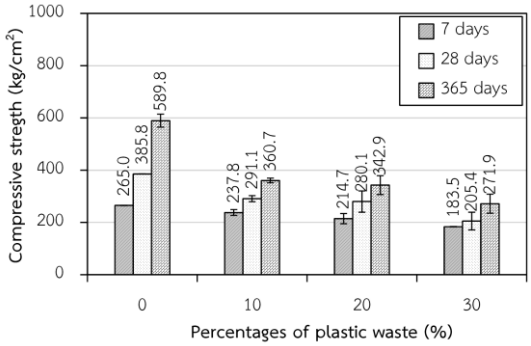
เมื่อพิจารณาผลกระทบของชนิดของมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่การแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 10 จากรูปที่ 7 พบว่า คอนกรีตที่ใช้ PVC มีค่ากำลังอัดดีที่สุด รองลงมาเป็น คอนกรีตที่ใช้ PP และ คอนกรีตที่ใช้ PET ตามลำดับ โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมพลาสติก PP และ PET มีกำลังอัดลดลงร้อยละ 2.76 และ 6.67 ที่ 7 วัน ร้อยละ 5.87 และ 11.93 ที่ 28 วัน และร้อยละ 23.76 และ 27.66 ที่ 365 วัน จากงานวิจัยของ Ibrahim et al. [19] พบว่า PVC มีค่าความแข็งแกร่ง (Young's modulus) เท่ากับ 2,833 เมกะปาสคาล ขณะที่ Shiuly et al. [20] รายงานว่า PET มีค่าความแข็งแกร่ง เท่ากับ 1,800 เมกะปาสคาล จากงานวิจัยดังกล่าว พบว่า PVC มีความแข็งแกร่งสูงกว่า PET ซึ่งอาจทำให้คอนกรีตที่ใช้ PVC มีกำลังอัดสูงกว่าคอนกรีตที่ใช้ PET [4]



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC

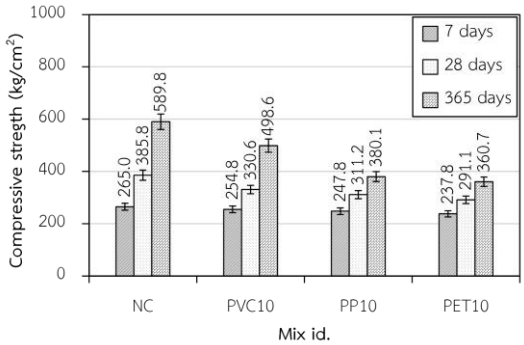


ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP



ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

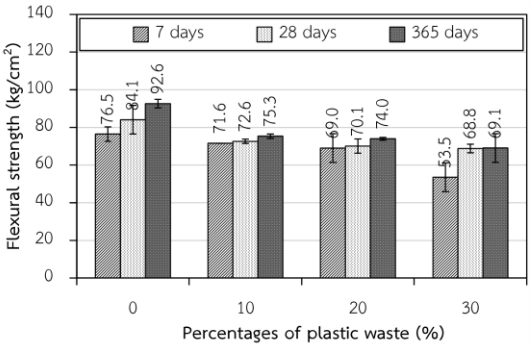
รูปที่ 6 กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก



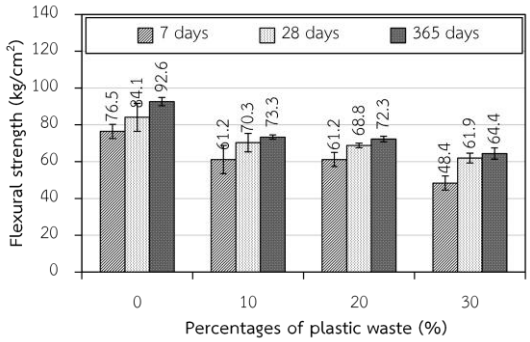
รูปที่ 7 กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

3.2 กำลังดัด

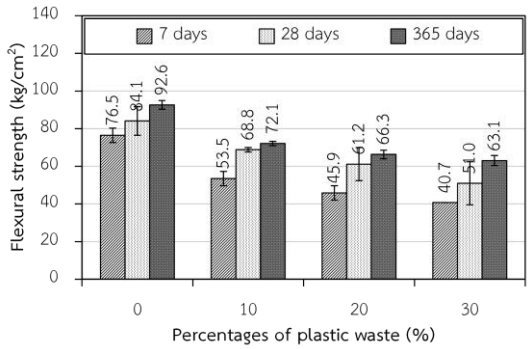
เมื่อพิจารณากำลังดัดของคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC, PP และ PET จากรูปที่ 8 พบว่า กำลังดัดลดลงตามอัตราการแทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นโดยเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม การลดลงของกำลังดัดที่ระยะเวลาบ่มน้ำ 7 วัน อยู่ในช่วงร้อยละ 6.30 ถึง 30.00ขณะที่ 28 วัน อยู่ระหว่างร้อยละ 13.64 ถึง 18.18 และที่ 365 วัน ลดลงร้อยละ 18.68 ถึง 25.45 ตามลำดับ สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP พบว่า กำลังดัดลดลงในช่วงร้อยละ 20.00–36.70, 16.36–26.36, 20.82–30.46 ที่ 7, 28 และ 365 วัน ตามลำดับ และคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET กำลังดัดลดลงในช่วงร้อยละ 30.00–46.70 ที่ 7 วัน, 18.18–39.36 ที่ 28 วัน และ 22.14–31.90 ที่ 365 วัน ตามลำดับ โดยคอนกรีตที่แทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติกร้อยละ 10 มีกำลังดัดสูงสุดในทุกชนิดของมวลรวมเศษขยะพลาสติก สำหรับการลดลงของกำลังดัดของคอนกรีตอาจเนื่องจากความหนาแน่นที่ต่ำกว่าของมวลรวมเศษขยะพลาสติกเมื่อเทียบกับมวลรวมธรรมชาติ ทำให้โครงสร้างภายในคอนกรีตมีช่องว่างและความพรุนสูงขึ้น ส่งผลให้การกระจายแรงดัดไม่เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ [20] แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุประสานกับมวลรวมเศษขยะพลาสติกต่ำ เนื่องจากพื้นผิวพลาสติกมีลักษณะเรียบทำให้เกิด ITZ ที่มีความอ่อนแอต่อการแตกร้าว และลดความสามารถในการถ่ายแรงระหว่างวัสดุ [21] และการเพิ่มปริมาณเศษพลาสติกเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของอนุภาคพลาสติกในเนื้อคอนกรีต ทำให้การเรียงตัวของวัสดุไม่สม่ำเสมอ และเพิ่มความเสี่ยงต่อการสะสมของรอยแตกร้าว ซึ่งทำให้ความแข็งแรงลดลงอย่างต่อเนื่องตามเวลาการบ่มน้ำ [5] เมื่อพิจารณาผลกระทบของชนิดของมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่การแทนที่มวลรวมละเอียดร้อยละ 10 ดังรูปที่ 9 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่ากำลังดัดดีที่สุด รองลงมาเป็นคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET ตามลำดับ



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC

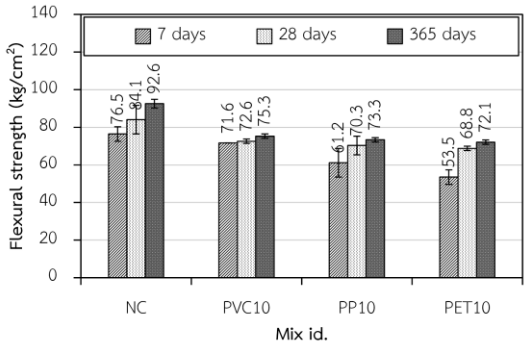


ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP



ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 8 กำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก



รูปที่ 9 กำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

เมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET มีกำลังดัดลดลงร้อยละ 14.62 และ 25.29 ที่ 7 วัน ร้อยละ 3.16 และ 5.26 ที่ 28 วัน และร้อยละ 2.64 และ 4.26 ที่ 365 วัน เนื่องจากมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่าความแข็งแกร่ง (Young's modulus) สูงกว่า PP และ PET [5, 19] ซึ่งช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงดัดของคอนกรีตเมื่อใช้เป็นมวลรวมเศษขยะพลาสติก เมื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิด PET, PVC และ PP พบว่า กำลังดัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังดัดแสดงในรูปแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล ดังตารางที่ 4

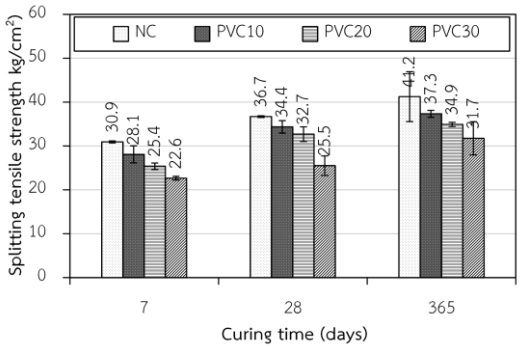
ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

PVC;	$f_r = 5.833f_c^{0.417}$	$R^2 = 0.851$
PP;	$f_r = 3.973f_c^{0.497}$	$R^2 = 0.803$
PET;	$f_r = 0.669f_c^{0.800}$	$R^2 = 0.881$

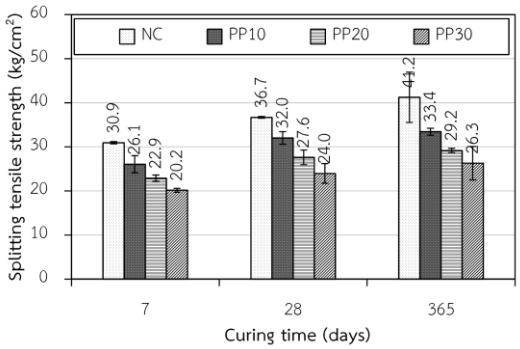
<u>หมายเหตุ:</u> f_c คือ กำลังอัดของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) , f_r คือ กำลังดัดของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ทั้งนี้ ปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดด้วยมวลรวมเศษขยะพลาสติกตั้งแต่ 10-30%

3.3 กำลังดึงแบบผ่าซีก

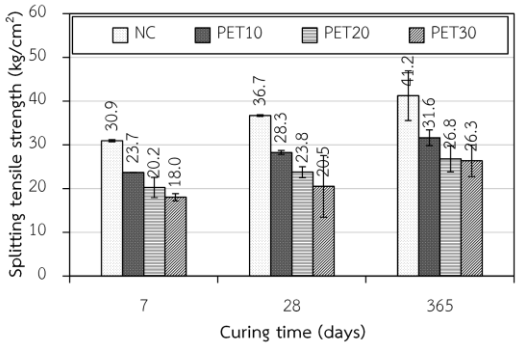
จากรูปที่ 10 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกทั้ง PVC, PP และ PE มีค่ากำลังดึงแบบผ่าซีกลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่เพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมพบว่า ที่ระยะเวลาบ่มน้ำ 7 วัน คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีกำลังดึงลดลงร้อยละ 9.18 ถึง 26.80 ขณะที่ระยะเวลาบ่มน้ำ 28 วัน มีกำลังดึงลดลงร้อยละ 6.37 ถึง 30.42 และที่ระยะเวลาการบ่มน้ำ 365 วัน มีกำลังดึงลดลงร้อยละ 9.44 ถึง 23.01 ซึ่งสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแทนที่มวลรวมละเอียดที่ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยปริมาตรตามลำดับ เช่นเดียวกับคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละระยะเวลาบ่มน้ำ*คือ* 7 28 และ 365 วัน พบว่า กำลังดึงลดลงร้อยละ 15.78–34.84, 12.73–34.66 และ 18.92–36.23 สำหรับคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และร้อยละ 23.48–41.79, 22.99–44.12 และ 23.29–36.11 สำหรับคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PET ตามลำดับ



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC



ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP

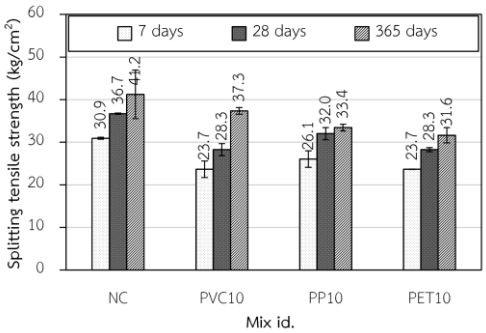


ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 10 กำลังดึงของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

การลดลงของกำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกอาจเกิดจากการยึดเกาะระหว่างเนื้อปูนซีเมนต์กับอนุภาคพลาสติกที่ไม่ดี เนื่องจากพื้นผิว

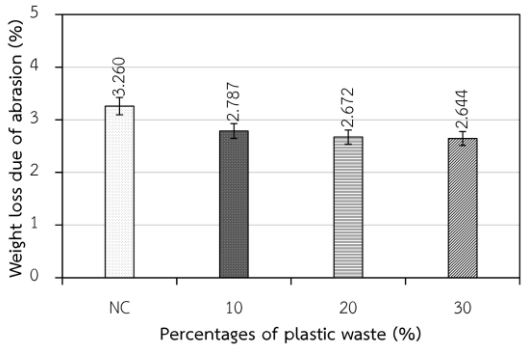
ของเศษพลาสติกมีลักษณะเรียบและเป็น Hydrophobic ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างวัสดุที่มีความอ่อนแอและเป็นจุดอ่อนสำหรับการแตกร้าวส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงดึงของคอนกรีตลดลงอย่างมาก [17, 21] ความแตกต่างของคุณสมบัติทางกลระหว่างมวลรวมธรรมชาติและเศษพลาสติก โดยเฉพาะโมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic modulus) ที่ต่ำกว่าของเศษพลาสติก ส่งผลให้เกิดการกระจายแรงที่ไม่สมดุลในเนื้อคอนกรีต ความต่างของความแข็งแรงและการยืดหดตัวทำให้เกิดความเครียดสะสมบริเวณรอยต่อระหว่างวัสดุ (ITZ) ซึ่งเป็นจุดอ่อนที่เสี่ยงต่อการเริ่มและขยายตัวของรอยแตกร้าว ส่งผลให้ความแข็งแรงโดยรวมของคอนกรีตลดลงและมีโอกาสเกิดความเสียหายมากขึ้นภายใต้แรงดึงหรือแรงดัดในระยะยาว [6, 20] โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษพลาติที่ร้อยละ 10 มีกำลังดึงแบบผ่าซีกสูงที่สุด เมื่อพิจารณาการแทนที่มวลรวมหยาบด้วยมวลรวมเศษพลาติกที่ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 11 พบว่า คอนกรีตที่ใช้ PVC มีกำลังดึงแบบผ่าซีกดีที่สุด รองลงมาเป็นคอนกรีตที่ใช้ PP และคอนกรีตที่ใช้ PET ตามลำดับ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับค่าความแข็งแกร่ง (E) ของเศษขยะพลาสติกของแต่ละชนิด [16, 22]



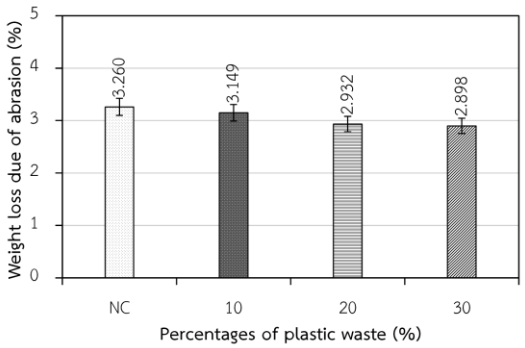
รูปที่ 11 กำลังดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

3.4 ความต้านทานการขัดสี

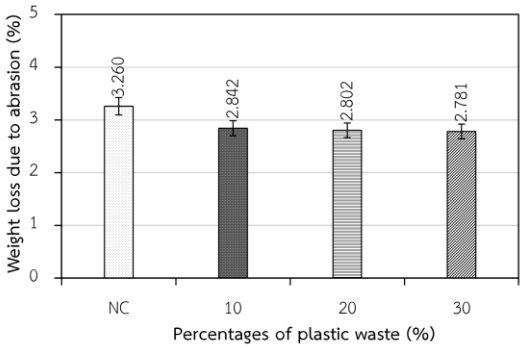
จากรูปที่ 12 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกมีการสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดธรรมชาติ และการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกลดลงอย่างเห็นได้ชัดตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC



ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP

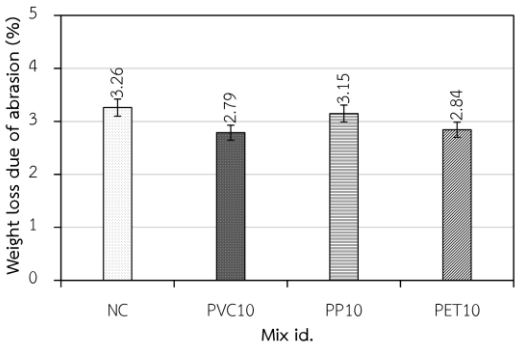


ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 12 การสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

โดยเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม การลดลงของการสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีของคอนกรีตที่ใช้ PVC อยู่ในช่วงร้อยละ 14.51 ถึง 18.90 ขณะที่คอนกรีตที่ใช้ PP มีค่าการลดลงอยู่ระหว่างร้อยละ 3.40 ถึง 11.10 และคอนกรีตที่ใช้ PET ลดลงร้อยละ 12.82 ถึง 14.69 ตามลำดับ โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกทั้งสามชนิดที่การแทนที่ร้อยละ 30 มีการสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sau et al. [17] ที่พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกมี

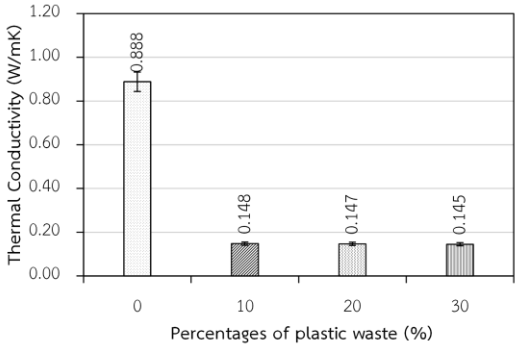
การสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีน้อยกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดธรรมชาติ เนื่องจากพลาสติกมีคุณสมบัติทางกลที่ช่วยดูดซับพลังงาน และมีพฤติกรรมยืดหยุ่น (Ductility) ที่ดี กล่าวคือ มีความสามารถในการเสียรูปโดยไม่แตกหัก ซึ่งช่วยควบคุมการเกิดรอยแตกร้าวและลดการสึกกร่อน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Mohammed et al. [22] พบว่า การสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมพลาสติก PVC ทั้งใช้ในการแทนที่ทรายและหิน มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ เมื่อพิจารณาผลกระทบของชนิดของมวลรวมเศษพลาติกที่การแทนที่ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 13 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีการสูญเสียน้ำหนักจากการขัดสีต่ำที่สุด



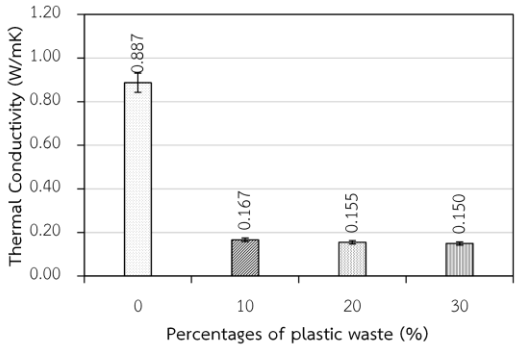
รูปที่ 13 ความต้านทานการขัดสีของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

3.5 การนำความร้อน

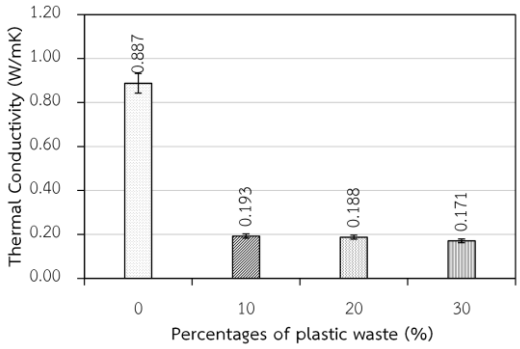
จากผลการทดลองที่แสดงในรูปที่ 14 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกทุกชนิดมีค่าการนำความร้อนลดลงอย่างมากเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ของมวลรวมเศษขยะพลาสติกในคอนกรีต หากเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุม พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่าการนำความร้อนลดลงสูงสุด ประมาณร้อยละ 83.33 – 83.67 ขณะที่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP ลดลงใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 81.23 – 83.15 และคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET ลดลงร้อยละ 78.30 – 80.78



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC



ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP



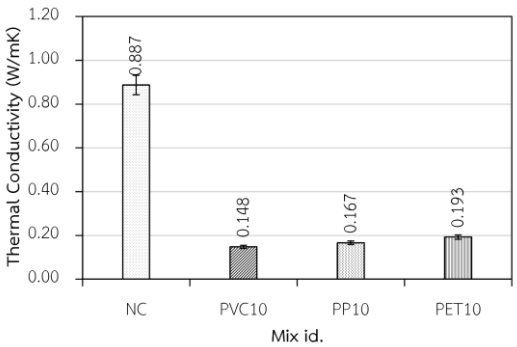
ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 14 การนำความร้อนของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อมีการแทนที่ทรายร้อยละ 30 คอนกรีตทุกชนิดสามารถลดค่าการนำความร้อนได้ต่ำที่สุด เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของพลาสติกที่มีค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนเชิงปริมาตรต่ำกว่าทรายธรรมชาติ อีกทั้งโครงสร้างโมเลกุลโพลิเมอร์ของวัสดุพลาสติก (PVC, PP, PET) ยังมีคุณสมบัติเป็นฉนวน ส่งผลให้กระบวนการถ่ายเทความร้อนช้าลงเมื่อถูกนำมาใช้แทนทรายในส่วนผสมคอนกรีต คุณสมบัติดังกล่าวช่วยลดค่า

การนำความร้อนโดยรวมของคอนกรีตได้อย่างมาก ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Belmokaddem et al. [4] และ Záleská et al. [23] เมื่อเปรียบเทียบผลกระทบของชนิดของมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่การแทนที่ร้อยละ 10 ดังรูปที่ 15 พบว่า คอนกรีตควบคุมมีค่าการนำความร้อนสูงสุดประมาณ 0.887 W/mK ขณะที่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่าการนำความร้อนลดลงอย่างมาก อยู่ที่ 0.148 W/mK สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET มีค่าการนำความร้อนอยู่ที่ 0.167 W/mK และ 0.193 W/mK ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการลดค่าการนำความร้อนอย่างมากเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม

เมื่อเปรียบเทียบค่าการนำความร้อนที่ได้จากการทดลองกับค่าที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงพลังงานสำหรับคอนกรีตสแลปซึ่งมีค่าการนำความร้อนประมาณ 1.442 W/mK และคอนกรีตมวลเบาที่มีความหนาแน่นระหว่าง 620 ถึง 1,280 กก./ม.^{3} ซึ่งมีค่าการนำความร้อนในช่วง 0.180 – 0.476 W/mK พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกจากการทดลองนี้มีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าคอนกรีตสแลปทั่วไปและบางช่วงค่าที่ต่ำกว่าคอนกรีตมวลเบา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการแทนที่มวลรวมเศษขยะพลาสติกในคอนกรีตช่วยลดค่าการนำความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีของ PVC ที่มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด

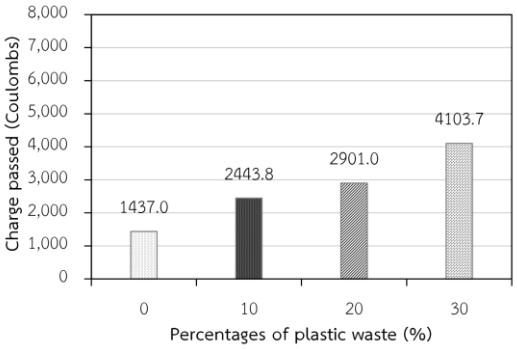


รูปที่ 15 การนำความร้อนของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

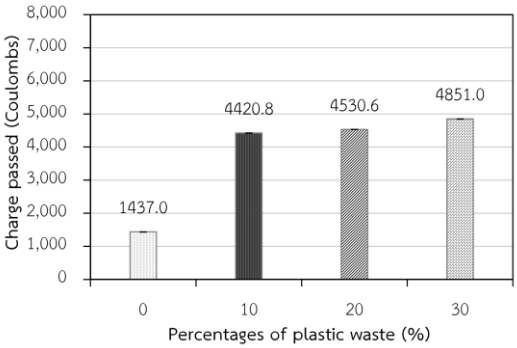
3.6 ความต้านทานคลอไรด์แบบเร่ง

การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งของคอนกรีตผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC, PP และ PET แสดงในรูปที่ 16 จากรูปพบว่า คอนกรีตควบคุมมีความต้านทานคลอไรด์ดีที่สุดโดยมีปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านเพียง 1,437 คูลอมป์ จัดอยู่ในกลุ่มความสามารถแทรกซึมคลอไรด์ต่ำ (Low chloride penetrability) ตามมาตรฐาน ASTM C1202 [14] เมื่อพิจารณาผลกระทบของมวลรวมเศษขยะพลาสติกแต่ละชนิด พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ความต้านทานคลอไรด์ดีที่สุดเมื่อเทียบกับเศษพลาสติกอื่น ๆ โดยที่การแทนที่ร้อยละ 10 และ 20 คอนกรีตผสม PVC ยังจัดอยู่ในกลุ่มความสามารถแทรกซึมคลอไรด์ปานกลาง (Moderate chloride penetrability) โดยมีปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่าน 2,443.8 และ 2,901.0 คูลอมป์ ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เมื่อการแทนที่เพิ่มเป็นร้อยละ 30 ค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านเพิ่มขึ้นเป็น 4,103.7 คูลอมป์ ซึ่งอยู่ในกลุ่มความซึมผ่านคลอไรด์สูง (High chloride penetrability) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC แทนที่ร้อยละ 10 ถึง 20 ยังคงมีประสิทธิภาพในการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีความเสี่ยงต่อคลอไรด์ในระดับปานกลางได้ ขณะที่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP ที่การแทนที่ร้อยละ 10 ค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านเพิ่มขึ้นจาก 1,437.0 เป็น 4,420.8 คูลอมป์ (เพิ่มขึ้นร้อยละ 207.6) ทำให้อยู่ในกลุ่มความสามารถแทรกซึมคลอไรด์สูง นอกจากนี้ การเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านเพิ่มขึ้นอย่างมากในช่วงการแทนที่ร้อยละ 0-10 ขณะที่การเปลี่ยนแปลงในช่วงการแทนที่ร้อยละ 10-20 ประจุไฟฟ้าทั้งหมดเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 2.5 และร้อยละ 7.1 สำหรับในช่วงการแทนที่ร้อยละ 20-30 แต่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP ทุกปริมาณการแทนที่ยังคงอยู่ในกลุ่มความสามารถแทรกซึมคลอไรด์สูง สำหรับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET มีค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านสูงที่สุด โดยมีค่าปริมาณประจุไฟฟ้าเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 273.7 ที่การ

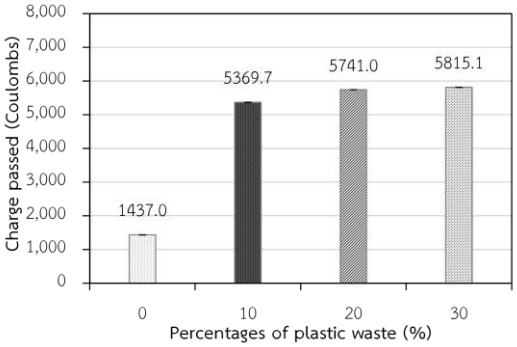
แทนที่ร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม และมีค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านสูงสุด 5,815.1 คูลอมป์ ที่การแทนที่ร้อยละ 30 ซึ่งคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET ร้อยละ 30 มีค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านสูงที่สุดเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกอื่น ๆ



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC



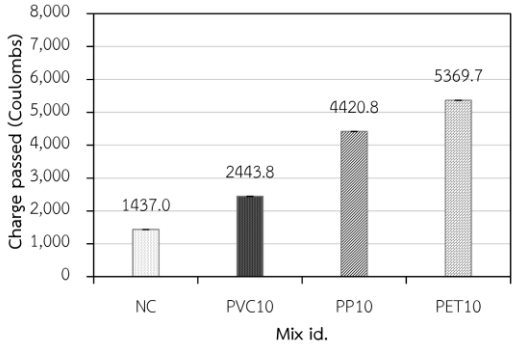
ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP



ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 16 การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก

การเพิ่มขึ้นของค่าปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านคอนกรีตสะท้อนให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของความพรุนและการเชื่อมต่อของรูพรุนในเนื้อคอนกรีต กล่าวคือ คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกมีบริเวณ ITZ มากกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดธรรมชาติ [4] ซึ่งโพรงช่องว่างเหล่านี้ส่งผลให้ประจุไฟฟ้าไหลผ่านตัวอย่างคอนกรีตได้ง่าย หรือกล่าวได้ว่า คอนกรีตมีความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำ เมื่อทำการเปรียบเทียบการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิด PVC, PP และ PET ที่การแทนที่มวลรวมละเอียดธรรมชาติร้อยละ 10 ดังรูปที่ 17 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิด PVC มีปริมาณประจุไฟฟ้าไหลผ่านต่ำที่สุด หรือ มีความต้านทานคลอไรด์แบบเร่งสูงที่สุดนั่นเอง

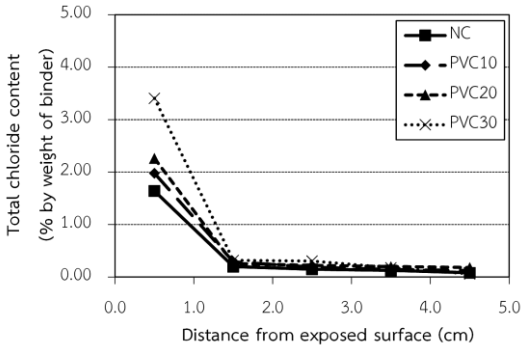


รูปที่ 17 การแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

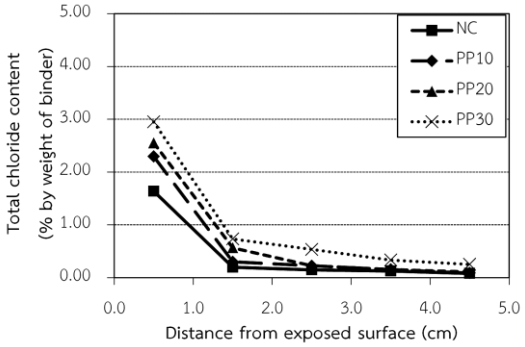
3.7 การแทรกซึมคลอไรด์แบบแช่

เมื่อพิจารณาการแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC, PP และ PET แทนที่มวลรวมละเอียดธรรมชาติ ดังรูปที่ 18 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกทุกชนิดมีการแทรกซึมคลอไรด์สูงกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมละเอียดธรรมชาติ โดยการแทรกซึมคลอไรด์ในคอนกรีตมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อการแทนที่ของมวลรวมเศษพลาติกเพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกส่งผลให้คอนกรีตมีโพรงช่องว่างเพิ่มมากขึ้น การเพิ่มขึ้นของโพรงช่องว่างส่งผลให้คลอไรด์สามารถแทรกซึมผ่านเนื้อคอนกรีตได้ง่ายขึ้น ทำให้ความต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำลง ซึ่งผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัยของ Islam et al. [6] และ Silva et

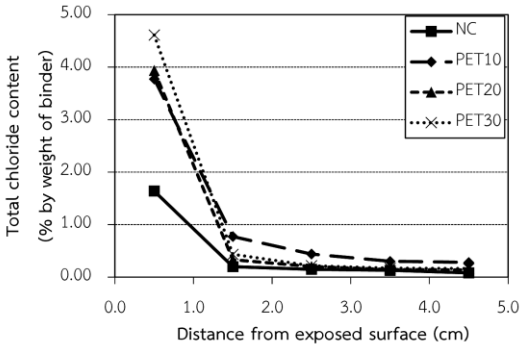
al. [24] และจากรูปที่ 19 เมื่อพิจารณาการแทนที่มวลรวมละเอียดธรรมชาติด้วยมวลรวมเศษขยะพลาสติกร้อยละ 10 พบว่า คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิด PVC มีการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำที่สุด รองลงมาเป็น PP และ PET ตามลำดับ



ก) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC

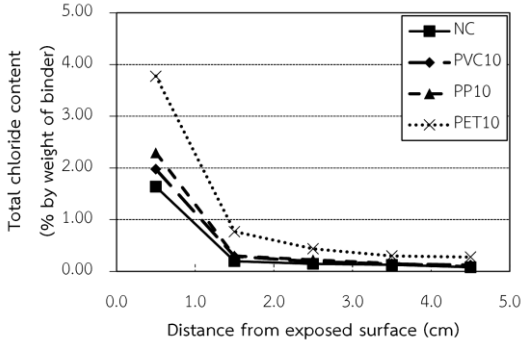


ข) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP



ค) คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PET

รูปที่ 18 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก



รูปที่ 19 การแทรกซึมคลอไรด์ของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกที่ 10%

3.8 การสร้างทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก

จากการพิจารณาผลทดสอบกำลังอัดและความต้านทานการขัดสีของคอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติกแต่ละชนิดพบว่า คอนกรีตที่ผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC แทนที่ทรายร้อยละ 10 มีกำลังอัดและความต้านทานการขัดสีดีกว่าคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกชนิดอื่น ดังนั้นส่วนผสมนี้จึงถูกเลือกใช้เป็นส่วนผสมคอนกรีตสำหรับการสร้างทางจักรยานในการศึกษานี้ โดยรายละเอียดส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้สำหรับสร้างทางจักรยาน แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ส่วนผสมของคอนกรีตผสมมวลรวมเศษขยะพลาติกที่ใช้ในทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก

ส่วนผสมคอนกรีต	ปริมาณ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
ปูนซีเมนต์	260
เถ้าลอย	111.4
น้ำ	185.7
ทราย (SSD)	689.1
เม็ดพลาสติก PVC	39.7
หิน (SSD)	1025.8

มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ที่ใช้มีลักษณะเป็นสีขาวเพื่อให้เข้ากับสีของคอนกรีต ดังรูปที่ 20 โดยทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก มีความกว้าง 2.00 เมตร ความยาว 15.00 เมตร และความหนา 10 เซนติเมตร ทำการ

ก่อสร้างบริเวณด้านหลังอาคารโรงประลองภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ดังแสดงในรูปที่ 21

รูปที่ 20 มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ที่ใช้ในงานก่อสร้างทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ยังมีข้อจำกัดที่ควรพิจารณาศึกษาต่อไปด้วย ได้แก่ (1) ความแข็งแรงระยะยาว (Long-term strength) แม้ตัวอย่างคอนกรีตมีความสามารถรับน้ำหนักบรรทุกและต้านทานการขัดสีได้ แต่ยังต้องการการศึกษาภายใต้การใช้งานระยะยาวและผลกระทบจากสภาพแวดล้อมด้วย (2) การยึดเกาะกับวัสดุอื่น (Interfacial bonding) เนื่องจากพื้นผิวมวลรวมเศษขยะพลาสติกอาจจับยึดกับเหล็กเสริมหรือวัสดุเสริมแรงอื่นๆ ได้ไม่เต็มที่ และ (3) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระยะยาว (Long-term environmental impact) เช่น การเสื่อมสลายหรือการปลดปล่อยไมโครพลาสติก (Microplastics) จากคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกอาจก่อให้เกิดปัญหาได้ จึงควรวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตวัสดุ (Life cycle assessment: LCA) ด้วย

ก) การปรับระดับพื้นดิน กั้นแบบและวางเหล็กเสริม

ข) การเทคอนกรีตผสมมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC 10%

ค) พื้นทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็กที่เสร็จแล้ว

รูปที่ 21 การสร้างทางจักรยานตัวอย่างขนาดเล็ก

4. สรุปผล

จากการศึกษากำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ใช้การแทนที่มวลรวมละเอียดธรรมชาติด้วยมวลรวมเศษขยะพลาสติก สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. กำลังอัดของคอนกรีตลดลงตามปริมาณมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ให้ค่ากำลังอัดสูงสุดเมื่อเทียบกับพลาสติกชนิดอื่น ทั้งนี้ การแทนที่ร้อยละ 10 ยังคงให้กำลังอัดมากกว่า 210 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งเหมาะสำหรับทางเท้าและทางจักรยาน

2. กำลังดัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณมวลรวมเศษขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ให้ค่ากำลังดัดและกำลังดึงแบบผ่าซีกสูงสุด โดยเฉพาะที่การแทนที่ร้อยละ 10

3. ความต้านทานการขัดสีของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเมื่อใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกทุกชนิด โดยมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ที่การแทนที่ร้อยละ 30 มีความต้านทานการขัดสีสูงที่สุด

4. การนำความร้อนของคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติกลดลงอย่างมาก โดยมวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ที่การแทนที่ร้อยละ 10 มีค่าการนำความร้อนเพียง 0.148 W/mK ซึ่งน้อยกว่าคอนกรีตควบคุมประมาณร้อยละ 83.3

5. คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PP และ PET ร้อยละ 10 มีการแทรกซึมคลอไรด์อยู่ในระดับสูง ขณะที่คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC ในสัดส่วนเดียวกัน มีค่าการแทรกซึมคลอไรด์แบบเร่งอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งผลการแทรกซึมคลอไรด์แบบแพร่มีแนวโน้มเดียวกัน โดยคอนกรีตที่ใช้มวลรวมเศษขยะพลาสติก PVC มีค่าการแทรกซึมคลอไรด์ต่ำที่สุด รองลงมาคือ PP และ PET ตามลำดับ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับงบประมาณสนับสนุนการวิจัย จากมหาวิทยาลัยบูรพา “งบประมาณเงิน อุดหนุนจากกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ประเภท Fundamental Fund ปีงบประมาณ พ.ศ.2566” เลขที่สัญญา ววน 28.1/2566 และขอขอบคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการก่อสร้างและบำรุงรักษาบูรพา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนการศึกษานี้ และขอขอบคุณนายบรรณกร ขันตา นายบุญเลิศ แก้วประจำ นางสาวกานต์มณี บุญพิคำ และนางสาววริศรา ประเสริฐสังข์ บัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ร่วมดำเนินการทดลองในการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] T. Liu, A. Nafees, S. Khan, M.F. Javed, F. Aslam, H. Alabduljabbar, J.J. Xiong, M.I. Hkan and M.Y. Malik, “ Comparative study of mechanical properties between irradiated and regular plastic waste as a replacement of cement and fine aggregate for manufacturing of green concrete,” *Ain Shams Engineering Journal*, vol. 13, Art.no. 101563, 2022.

[2] H.M. Hamada, A. Al-Attar, F. Abed, S. Beddu, A.M. Humada, A. Majdi, S.T. Yousif and B.S. Thomas, “Enhancing sustainability in concrete construction: A comprehensive review of plastic waste as an aggregate material,” *Sustain. Mater. Technol., vol. 40, Art. no. e00877, 2024.*

[3] O. Olofinnade, S. Chandra and P. Chakraborty, “Recycling of high impact polystyrene and low-density polyethylene plastic wastes in lightweight based concrete for sustainable construction,” *Mater. Today: Proc., vol. 38, no. 5, pp. 2151–2156, 2021.*

[4] B. Belmokaddem, A. Mahi, Y. Senhadji and B.Y. Pekmezci, “Mechanical and physical properties and morphology of concrete containing plastic waste as aggregate,” *Construction and Building Materials*, vol. 257, Art. no.119559, 2020.

[5] M.V. Kangavar, W. Lokuge, A. Manalo, W. Karunasena and M. Frigione, “Investigation on the properties of concrete with recycled polyethylene terephthalate (PET) granules as fine aggregate replacement,” *Case Stud. Constr. Mater.,* vol. 16, Art. no. e00934, 2022.

[6] J. Islam, M.D. Shahjalal and A. Haque, “Mechanical and durability properties of concrete with recycled polypropylene waste plastic as a partial replacement of coarse aggregate,” *J. Build. Eng.,* vol. 54, Art. no. 104597, 2022.

[7] Thai Industrial Standards Institute, TIS 2594-2556: Hydraulic Cement, Bangkok, Thailand, 2013

[8] ASTM C618–19, Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, ASTM International, 2019.

[9] BS EN 12390-3:2009, *Testing of Hardened Concrete – Part 3: Compressive Strength of Test Specimens*, British Standards Institution, UK, 2009.

[10] ASTM C293/C293M–16, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2016.

[11] ASTM C496/C496M–17, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2017.

[12] ASTM C944/C944M–19, Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating Cutter Method, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2019.

[13] ASTM D5334–22, Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2022.

[14] ASTM C1202–22, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2022.

[15] ASTM C1556–22, Standard Test Method for Determining the Apparent Chloride Diffusion Coefficient of Cementitious Mixtures by Bulk Diffusion, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 2022.

[16] J. Thomeycoft, J. Orr, P. Savoikar and R. J. Ball, "Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand," *Constr. Build. Mater.*, vol. 161, pp. 63–69, 2018.

[17] D. Sau, A. Shiuly and T. Hazra, "Utilization of plastic waste as replacement of natural aggregates in sustainable concrete: Effects on mechanical and durability properties," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 21, pp. 2085–2120, 2023.

[18] S. A. A. Hassan and N. M. Fawzi, "Influence of replacing aggregates by recycled waste plastic on the mechanical properties of concrete: A review," *Samarra J. Eng. Sci. Res.*, vol. 3, pp. 55–72, 2025.

[19] A. A. Ibrahim, N. H. AL-Shareef, M. H. Jaber, R. F. Hassan, H. H. Hussein and N. H. Al-Salim, "Experimental investigation of flexural and shear behaviors of reinforced concrete beam containing fine plastic waste aggregates," *Structures*, vol. 43, pp. 834–846, 2022.

[20] A. Shiuly, T. Hazra, D. Sau and D. Maji, "Performance and optimization study of waste plastic aggregate based sustainable concrete – a machine learning approach," *Cleaner Waste Syst.*, vol. 2, Art. no. 100014, 2022.

[21] J. Oti, B. O. Adeleke, M. Rathnayake, J. M. Kinuthia and E. Ekwulo, "Strength and

durability characterization of structural concrete made of recycled plastic," *Materials*, vol. 17, Art. no. 1841, 2024.

[22] A. A. Mohammed, I. I. Mohammed, and S. A. Mohamme, "Some properties of concrete with plastic aggregate derived from shredded PVC sheets," *Constr. Build. Mater.*, vol. 201, pp. 232–245, 2019.

[23] M. Záleská, M. Pavlíková, J. Pokorný, O. Jankovský, Z. Pavlík, and R. Černý, "Structural, mechanical and hygrothermal properties of lightweight concrete based on the application of waste plastics," *Constr. Build. Mater.*, vol. 180, pp. 1–11, 2018.

[24] R. V. Silva, J. de Brito, and N. Saikia, "Influence of curing conditions on the durability-related performance of concrete made with selected plastic waste aggregates," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 35, pp. 23–31, 2013.

Srinakharinwirot University Engineering Journal (2026) 22(1), 53-68 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

การเพิ่มผลผลิตในวิธีการปอกมะพร้าวของผู้ประกอบการค้าส่งมะพร้าวแห้ง
Productivity Improvement in Coconut Peeling for Dried Coconut Wholesaler

วีรชัย มัฏฐารักษ์ เสรี หนูหลง พิเชษฐ์ รัตนบุญทวี*
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา 90000
Weerachai Madtharak Saree Nulong Pichate Rattanaboontawee*
Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University,
Mueang District, Songkhla Province 90000
*Corresponding author Email: s4001541@hotmail.com
(Received: September 10, 2025; Revised: December 12, 2025 ; Accepted: February 18, 2026)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการเพิ่มผลผลิต และลดปัญหาการยศาสตร์ในการปอกมะพร้าว ของกรณีศึกษาผู้ประกอบการ ตำบลประจำ อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ขั้นตอนโดยสรุปคือ 1) ศึกษาปัญหาสุขภาพเบื้องต้นและวัดดัชนีความผิดปกติ (AI) 2) ประเมินปัญหาการยศาสตร์ ก่อนปรับปรุง 3) นำเสนอวิธีการและปรับปรุงวิธีการเพิ่มผลผลิต และ 4) ประเมินปัญหาการยศาสตร์และวัดการเพิ่มผลผลิต ก่อน-หลังปรับปรุง ผลการศึกษาพบว่า การประเมินผลทางการยศาสตร์ด้วยวิธี RULA และ REBA ก่อนปรับปรุง วิธี RULA พบว่ามีคะแนนเท่ากับ 7 คือมีปัญหาทางการยศาสตร์จากการปอกมะพร้าวในระดับที่ต้องได้รับการปรับปรุงวิธีการโดยทันที สอดคล้องกับวิธี REBA ที่พบว่ามีคะแนนเท่ากับ 10 คือมีปัญหาทางการยศาสตร์มีความเสี่ยงสูง และส่งผลให้ผลผลิตตกต่ำเนื่องจากความเมื่อยล้า และเจ็บป่วยของคนงาน ทำให้คนงานทำงานช้าลง หรือต้องขาดงาน ควรวิเคราะห์เพิ่มเติม โดยในการวัดการปอกมะพร้าว 1 คน จำนวน 5 ผล ใช้เวลาเฉลี่ย 65.36 วินาที จากการวิเคราะห์ผลและได้นำเสนอวิธีการใหม่ในการปอกมะพร้าวที่ผ่านการประเมินวิธีที่เสนอจากกลุ่มตัวอย่างโดยรวม มีเฉลี่ย 4.10 ซึ่งอยู่ในระดับดี ที่สามารถนำไปทดลองใช้งาน และประเมินผลทางการยศาสตร์และวัดการเพิ่มผลผลิตอีกครั้ง พบว่าวิธี RULA มีคะแนนลดลงเหลือเท่ากับ 3 โดยสอดคล้องกับวิธี REBA ที่พบว่ามีคะแนนลดลงเหลือเท่ากับ 3 โดยวิธีการใหม่ในการปอกมะพร้าว 1 คน จำนวน 5 ผล ใช้เวลาเฉลี่ย 16.76 วินาที ลดลง 48.6 วินาที ส่งผลให้การปอกมะพร้าวเฉลี่ยวันละ 400 ผล ต่อ 1 คน ใช้เวลาลดลง 64.8 นาที หรือมีอัตราการเพิ่มผลผลิตในเวลา 90 นาที วิธีการเดิมได้ผลผลิตจำนวน 410 ผล โดยวิธีการใหม่เพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 1,610 ผล จากการใช้ชุดอุปกรณ์ปอกมะพร้าวมาทดแทนการปอกมะพร้าวโดยแรงงานคน การประเมินสรุปได้ว่าปัญหาการยศาสตร์ลดลงซึ่งเป็นความสูญเสียจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นและใช้เวลาในการทำงานลดลงซึ่งส่งผลให้การปอกมะพร้าวได้ผลผลิตเพิ่มขึ้น รวมถึงลดความเหนื่อยล้าในการทำงานที่มีผลต่อสุขภาพ

คำสำคัญ: การเพิ่มผลผลิต การประเมินทางการยศาสตร์ การปอกมะพร้าวแห้ง ผู้ประกอบการค้าส่ง

ABSTRACT

This study aimed to improving productivity and reducing ergonomic problems in coconut peeling, focusing on a case study of local entrepreneurs in Pracham Subdistrict, Chana District, Songkhla Province. The research procedures consisted of: 1) investigating initial health problems and measuring the Abnormality Index (AI), (2) assessing ergonomic risks before improvement, (3) proposing and implementing improved working methods, and (4) re-evaluating ergonomics and productivity before and after improvement. The ergonomic assessment using RULA and REBA before improvement revealed high risks, with scores of 7 and 10, respectively, indicating the need for immediate corrective action. The average time for peeling 5 coconuts was 65.36 seconds. After introducing the new peeling method, which was rated at an average score of 4.10 (good) by the participants, ergonomic risks were significantly reduced: the RULA score decreased to 3 and the REBA score to 3. The average time for peeling 5 coconuts decreased to 16.76 seconds, reducing the average peeling time by 48.6 seconds. Consequently, for one worker peeling 400 coconuts per day, the time required was reduced by 64.8 minutes, while productivity in 90 minutes increased from 410 coconuts with the old method to 1,610 coconuts with the new method. The findings indicate that the improved method reduced ergonomic risks, minimized unnecessary movements, shortened work time, and enhanced overall productivity while also decreasing worker fatigue that could affect health.

Keyword: Productivity Improvement, Ergonomics Assessment, Dried Coconut Peeling, Wholesaler.

1. บทนำ

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีพื้นที่ปลูกหลักทางภาคใต้ ซึ่งปัจจุบันความต้องการมะพร้าวทั้งในประเทศและต่างประเทศมีปริมาณสูง เนื่องจากมะพร้าวสามารถนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ได้หลากหลาย ทั้งอาหารคาวอาหารหวาน รวมถึงผลิตภัณฑ์เสริมความงาม โดยแนวโน้มความต้องการมะพร้าวสูงขึ้นทุกปี [1] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ได้คาดการณ์ความต้องการและปริมาณผลผลิตมะพร้าว ในช่วงปี พ.ศ. 2568 ว่ามีปริมาณใกล้เคียงกันในช่วงปี พ.ศ. 2567 ซึ่งมีผลผลิต จำนวน 0.83 ล้านตัน และความต้องการใช้มะพร้าว จำนวน 1.20 ล้านตัน [2] แบ่งเป็นการใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูปกะทิสำเร็จรูป 73% มะพร้าวขูด 25% และอื่น ๆ 2% ส่งผลให้ราคามะพร้าวปรับตัวสูงขึ้นจนถึงปัจจุบัน การส่งเสริมการผลิตจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องคำนึงถึง

การปอกมะพร้าวเป็นขั้นตอนสำคัญที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก ซึ่งเป็นงานที่ต้องใช้กำลังมากและมีท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บทางกล้ามเนื้อและส่วนต่างๆ ของร่างกาย อีกทั้งยังเป็นการทำงานงานซ้ำ ๆ ต่อเนื่อง เป็นเวลานาน ซึ่งก่อให้เกิดความเมื่อยล้าและอาการทางกล้ามเนื้อเรื้อรังในระยะยาว ปัญหาเหล่านี้ไม่เพียงแต่ส่งผลต่อสุขภาพของแรงงาน แต่ยังทำให้ประสิทธิภาพการผลิตลดลง การปรับปรุงสภาพการทำงานด้วยการลดปัญหาการยศาสตร์ จึงมีความจำเป็นเพื่อช่วยลดความเสี่ยง อุบัติเหตุ และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน [3] การใช้แนวทางในการลดปัญหาการยศาสตร์โดยการออกแบบเครื่องมือให้เหมาะสมและการปรับเปลี่ยนท่าทางในการทำงานให้สอดคล้องกับหลักการยศาสตร์สามารถส่งผลให้ลดความเหนื่อยล้าและเกิดความปลอดภัยในการทำงาน

จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่ ตำบลพะวง อำเภอเมือง และตำบลประจำ อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา ส่วนใหญ่การปอกมะพร้าวจะใช้เหล็กแหลม มีแรงงานคนในการปอกคราวละมากๆ ทำให้เกิดความเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าที่ส่งผลต่อสุขภาพ อีกทั้งวิธีการและอุปกรณ์ที่ใช้ยังมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุได้ซึ่งต้องใช้ความชำนาญในการปอกของแรงงานคน จากข้อมูลดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการเพิ่มผลผลิตในการปอกมะพร้าวแห้งของผู้ประกอบการ ตำบลประจำ อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา เพื่อช่วยลดปัญหาการยศาสตร์ที่ส่งผลต่อการเพิ่มผลผลิตในการปอกมะพร้าวจากการใช้แรงงานคน

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ประกอบการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มตัวอย่างคือ ผู้ประกอบการขายส่งมะพร้าวแห้งเป็นกลุ่มบุคคลที่ดำเนินธุรกิจในการจัดหามะพร้าวแห้งจำนวนมากจากเกษตรกรรายย่อย ซึ่งเป็นกลุ่มเกษตรกรที่มีพื้นที่ที่การทำเกษตรขนาดเล็ก

2.1 การเพิ่มผลผลิต

การเพิ่มผลผลิต (Productivity Improvement) มีความหมายทางวิทยาศาสตร์ คือ Output/Input โดยเกี่ยวข้องกับ ความสูญเสีย 7 อย่าง (7 waste) คือ การเคลื่อนย้าย (Transportation) การรอคอย (Waiting) การผลิตเกินความจำเป็น (Overproduction) การทำงานเกินความจำเป็น (Over-Processing) การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น (Motion) สินค้าเสียหรือข้อผิดพลาด (Defects) และการเก็บสต็อกเกินจำเป็น (Inventory) ซึ่งการเคลื่อนไหวทีไม่จำเป็นจะเกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในการทำงาน ความเหนื่อยล้าในการทำงาน ซึ่งส่งผลต่อสุขภาพและการเพิ่มผลผลิต

2.2 การยศาสตร์

การยศาสตร์เป็นศาสตร์ที่มุ่งเน้นการจัดสภาพงานให้เหมาะกับคนให้เหมาะสมกับงาน มีเป้าหมายเพื่อลดความเมื่อยล้า ความผิดพลาด และการบาดเจ็บ รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพ ความปลอดภัย และคุณภาพชีวิตในการทำงาน [4] การยศาสตร์จะให้ความสำคัญในเรื่องพฤติกรรมของมนุษย์ที่มีผลต่อการออกแบบ การใช้เครื่องมือ อุปกรณ์อำนวยความสะดวก และสิ่งแวดล้อม ตลอดจนกระบวนการที่มนุษย์ใช้ในการทำงานและใช้ในชีวิตประจำวัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการทำงานตามที่กำหนด ลดข้อผิดพลาด ความเครียด ความเหนื่อยล้า เพิ่มความปลอดภัย และความพึงพอใจในการทำงานของมนุษย์ [5] การศึกษาทางการยศาสตร์จึงเป็นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญในการทำงานเชิงอุตสาหกรรม ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการเพิ่มผลผลิตในงานอุตสาหกรรมได้

2.3 การประเมินทางการยศาสตร์

การประเมินด้วยวิธี RULA (rapid upper limb assessment) พัฒนาขึ้นโดย ดร.เลน แมคเอเทมเน่ย์ และ ดร.ไนเกล คอร์เลท ในปี 1993 (Mc.Atamney, L. and Corlett, E.N., 1993) [6] เผยแพร่ครั้งแรก ปี 1993 ใน The Journal Applied Ergonomics เป็นวิธีที่ออกแบบเพื่อใช้ประเมินความรุนแรงของท่าทางในการทำงานโดยเทคนิคนี้ถูกออกแบบขึ้นเพื่อทำการประเมินร่างกายท่อนบนของผู้ปฏิบัติงานเหมาะกับลักษณะการทำงานที่ใช้ร่างกายท่อนบนในการปฏิบัติงานเป็นหลัก ได้แก่ งานที่นั่งหรือยืนทำงานโดยมีการเคลื่อนไหวไม่มากนัก โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 กลุ่ม หลัก ได้แก่ กลุ่มที่ 1 วิเคราะห์ท่าทางของ แขนส่วนบน แขนส่วนล่าง มือและข้อมือ กลุ่มที่ 2 วิเคราะห์ท่าทางของศีรษะ คอ และลำตัว และ กลุ่มที่ 3 วิเคราะห์ท่าทางของขาและเท้า

การประเมินด้วยวิธี REBA (rapid entire body assessment) เป็นวิธีการที่ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อประเมินท่าทางการทำงานทั้งร่างกาย ทั้งในรูปแบบการทำงานที่เคลื่อนที่และหยุดนิ่ง [7] เป็นวิธีที่พัฒนามาจากหลักการของ RULA (Hignett, Sue. and McAtamney, Lynn. 2000) เหมาะสำหรับการประเมินการทำงานที่มีการใช้งานทั้งร่างกาย งานที่มีท่าทางการทำงานที่มีการเคลื่อนไหว และหยุดนิ่ง มีการเปลี่ยนแปลงท่าทางอย่างรวดเร็ว และมีขั้นตอนการทำงานที่ไม่คงที่ งานที่มีการถือ/ไม่ถือของในมือขณะที่กำลังทำงาน โดยจะพิจารณาส่วน

ของร่างกาย 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ได้แก่ ลำตัว คอ (พิจารณาร่วมกับการหมุนของข้อต่อ) และ ขา (พิจารณาร่วมกับการทำมุมของหัวเข่า) กลุ่มที่ 2 ได้แก่ แขนท่อนบน (พิจารณาร่วมกับการหมุนของข้อต่อตำแหน่งของไหล่และการเคลื่อนที่โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก) แขนท่อนล่าง และ ข้อมือ (พิจารณาร่วมกับการทำมุมของข้อมือ)

2.4 การประเมินผลการปรับปรุงการทำงาน

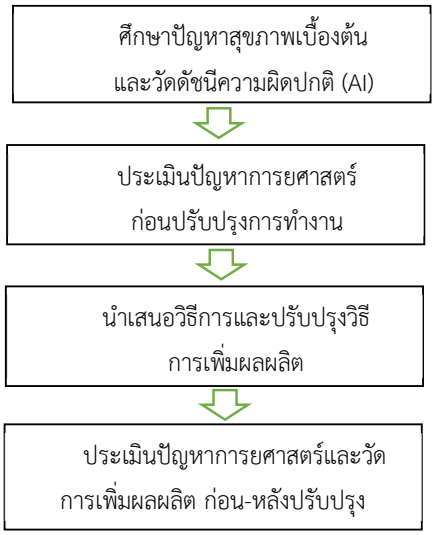
การประเมินผลการปรับปรุงวิธีการทำงาน ผู้วิจัยแบ่งเป็น 3 ด้าน คือ 1) ด้านการยศาสตร์ ประกอบด้วย ความรู้สึกเมื่อใช้งาน ไม่เกิดอาการปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ ท่าทางการทำงานเหมาะสมกับสรีระ ไม่ต้องออกแรงมาก สามารถใช้งานได้นานโดยไม่เหนื่อยล้า ระดับเสียง และแรงสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ 2) ด้านการใช้งาน ประกอบด้วย ใช้งานง่าย ไม่ซับซ้อน ความปลอดภัย ประสิทธิภาพในการปอกมะพร้าว ความสะดวกในการบำรุงรักษา ความเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมการทำงาน และ 3) ความพึงพอใจโดยรวม ประกอบด้วย ความพึงพอใจต่อเครื่องและ ความปลอดภัยในการทำงานโดยรวม ความเหมาะสมของราคากับประสิทธิภาพ ความต้องการใช้งานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ การใช้งานต่อเนื่องในอนาคต จากการศึกษาเรื่องการสร้างและประเมินประสิทธิภาพเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวแห้ง [8] โดยงานดังกล่าวมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องปอกมะพร้าวแห้ง โดยผลการศึกษาความเร็วรอบของชุดลูกกลิ้งเครื่องปอกเปลือกมะพร้าวแห้งอยู่ที่ 35 รอบต่อนาที โดยมีสมรรถนะการทำงานประมาณ 10 ลูก ใช้เวลา 2.40 นาที ในช่วงเวลาการทำงานดังกล่าวไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผนังด้านในของมะพร้าว และมีประสิทธิภาพของเครื่องเท่ากับ 96.6% และจากศึกษาเรื่องการสำรวจปัญหาการยศาสตร์ของเกษตรกรผู้ปลูกข้าว ในจังหวัดพิษณุโลก [11] สามารถใช้อ้างอิงในการประเมินทางการยศาสตร์เพิ่มเติมได้

3. วิธีการศึกษา

ในการศึกษามีขั้นตอนการศึกษา เครื่องมือที่ใช้ และการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

3.1 ขั้นตอนการศึกษา

จากรูปที่ 1 เริ่มจากการศึกษาปัญหาสุขภาพเบื้องต้น วัดดัชนีความผิดปกติ ประเมินปัญหาการยศาสตร์ ก่อนปรับปรุง นำเสนอวิธีการ/ปรับปรุงวิธีการ ประเมินปัญหาการยศาสตร์และวัดการเพิ่มผลผลิต ก่อน-หลังปรับปรุง



รูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษา

3.2 เครื่องมือที่ใช้

เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาตามขั้นตอนประกอบด้วย

1) แบบฟอร์มการวัดดัชนีความผิดปกติ (abnormal index --AI) ใช้แบบฟอร์มของ standard nordic questionnaire ในการประเมินเป็นรายบุคคล ตามแนวทาง [9] ในการวิเคราะห์ข้อมูล

2) แบบฟอร์ม RULA (RULA Employee Assessment Worksheet) และแบบฟอร์ม REBA (REBA Employee Assessment Worksheet) ในการตรวจสอบและประเมินผลทางการยศาสตร์

3) แบบประเมินการออกแบบปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดปัญหาการยศาสตร์

4) เครื่องมือ/อุปกรณ์ สำหรับการศึกษาและการทดลอง ได้แก่ นาฬิกาจับเวลา แผนภูมิกระบวนการ วัสดุอุปกรณ์เพื่อการออกแบบสร้างชิ้นงานสำหรับการทดลอง

5) ข้อมูลต่างๆ เพื่อประกอบการวิเคราะห์ผล ได้แก่ ภาพถ่ายอย่างละเอียด วีดีโอบันทึกข้อมูล

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลดัชนีความผิดปกติและการประเมินผลทางการยศาสตร์ ดังแสดงในตารางที่ 1-4 ค่าดัชนีความผิดปกติของความล้าทางด้านร่างกายและจิตใจ (Abnormal Index (AI)) จะใช้การประเมินความรู้สึกทั้ง 8 ด้านของคนงานคือ 1) ความล้าทั่วไป 2) ความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ 3) ระบบความสนใจต่องานที่ทำ 4) ความซับซ้อนของลักษณะงาน 5) ความยากง่ายของการทำงาน 6) จังหวะการทำงาน 7) ความรับผิดชอบในการทำงาน 8) ความเป็นอิสระในการทำงาน จากนั้นคนงานจะให้คะแนน 10 ระดับ (0-9) โดย 0 หมายถึง มีความรู้สึกน้อยที่สุด และ 9 หมายถึง มีความรู้สึกมากที่สุด ซึ่งข้อมูลคะแนนที่ได้จะนำมาคำนวณค่าดัชนีความผิดปกติ โดยใช้สมการที่ 1

$$AI = [\sum(\text{ความรู้สึกต้องแก้ไข}) - \sum(\text{ความรู้สึกปลอดภัย})]/8 \quad (1)$$

ดังนั้น $AI = [\sum(1,2,4,5,6,7) - \sum(3,8)]/8$ โดยข้อ3 คือความสนใจต่องานที่ทำ และข้อ 8 คือความเป็นอิสระในการทำงาน ค่าประเมินความรู้สึกยิ่งมากยิ่งดี

ตารางที่ 1 เกณฑ์การแปลผลภาวะความไม่สบายที่เกิดขึ้น

ระดับ	ความรุนแรง
0	ไม่รู้สึกปวดเมื่อย
1	รู้สึกปวดเมื่อยโดยไม่ต้องกินยาหรือทายา
2	ทานยาหรือทายาด้วยการซื้อในร้านขายยา
3	พบแพทย์เพื่อรับการรักษา/ กายภาพบำบัด
4	เข้ารับการผ่าตัด

ตารางที่ 2 เกณฑ์การแปลผลค่าดัชนีความผิดปกติ

ดัชนีความผิดปกติ	การแปลผล
AI = 0	ไม่มีปัญหาอะไร
0 < AI ≤ 2	มีปัญหาเล็กน้อยพอทนได้
2 < AI ≤ 3	ต้องเอาใจใส่ ระมัดระวัง
3 < AI ≤ 4	มีปัญหามากขึ้น รับไม่ได้
4 > AI	รับไม่ได้ให้แก้ไขทันที

ตารางที่ 3 เกณฑ์การประเมินผลด้วยวิธี RULA [6]

คะแนน	การแปลความหมาย
1-2	ยอมรับได้ แต่อาจมีปัญหาการยศาสตร์ได้ ถ้าทำซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม
3-4	ควรได้รับการพิจารณา การศึกษาละเอียดขึ้นและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง อาจมีความจำเป็นออกแบบงานใหม่
5-6	เริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงาน
7 ขึ้นไป	มีปัญหาการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที

ตารางที่ 4 เกณฑ์การประเมินผลด้วยวิธี REBA [7]

คะแนน	การแปลความหมาย
1	ยอมรับได้ แต่อาจมีปัญหาการยศาสตร์ได้ ถ้าทำซ้ำๆ ต่อเนื่องเป็นเวลานานกว่าเดิม
2-3	ควรได้รับการพิจารณา ศึกษาละเอียดขึ้น ติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง อาจมีความจำเป็นออกแบบงานใหม่
4-7	เริ่มเป็นปัญหา ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมและรีบดำเนินการปรับปรุงลักษณะงาน
8-11	มีปัญหาการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับปรับปรุงโดยเร็ว
11 ขึ้นไป	มีปัญหาการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงโดยทันที

ตารางที่ 1-4 แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลตามเกณฑ์การประเมินผล ทั้งนี้การประเมินการยศาสตร์ไม่ได้ใช้การวัดจากเครื่องมือโดยเป็นการคาดคะเนจากสายตา ดังนั้นอาจเกิดความคลาดเคลื่อนได้ ทั้งนี้ต้องอาศัยการฝึกฝนและความชำนาญของผู้วิเคราะห์รวมถึงการสังเกตแบบมีส่วนร่วมที่สามารถนำมาช่วยในการดำเนินงานให้แม่นยำขึ้น [10] ได้นำการสังเกตแบบมีส่วนร่วม (Participation observation) โดยสังเกตการปฏิบัติงานที่มาช่วยในการลดความสูญเปล่าจากการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น

4. ผลการศึกษา

จากผลการศึกษาปัญหาสุขภาพเบื้องต้นในการปอกมะพร้าวของผู้ประกอบการ ตำบลพะวง อำเภอเมือง จังหวัดสงขลา และตำบลประจำ อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา โดยการสัมภาษณ์ที่พบว่ายังมีอาการเหน็ดเหนื่อยเมื่อยล้าจากการทำงานและความเสี่ยงของอุบัติเหตุในการใช้แรงงานคนปอกที่มีลักษณะคล้ายกันคือใช้เหล็กแหลมตั้งตรงอยู่กับพื้นแล้วเอาผลมะพร้าวไปกดเพื่อฉีกเปลือกมะพร้าว โดยแรงงาน 1 คน จะปอกได้วันละเฉลี่ย 400 ผล ซึ่งเป็นการทำงานแบบซ้ำๆ ต่อเนื่อง และหยุดพักไม่แน่นอน โดยทั้ง 2 พื้นที่พบปัญหาที่ไม่ต่างกัน จากการเก็บข้อมูลผู้วิจัยเลือกกลุ่มตัวอย่างทดลองพื้นที่ตำบลประจำ อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา เนื่องจากมีผลผลิตมากกว่าและมีความต่อเนื่องตลอดทั้งปี โดยดำเนินการประเมินหาค่าดัชนีความผิดปกติเพื่อศึกษาต่อไป

4.1 ผลการประเมินหาค่าดัชนีความผิดปกติ

ผลการศึกษาปัญหาสุขภาพและการเก็บข้อมูลดัชนีความผิดปกติ (abnormal index --AI) ของคนงานปอกมะพร้าว จำนวน 3 คนจาก

$$AI = [\sum(1,2,4,5,6,7) - \sum(3,8)]/8 \qquad (2)$$

ดังนั้น AI = [(5.66 + 6.33 + 3.33 + 4.33 + 6.33 + 3.66) – (6.33 + 3.66)] / 8 = 2.45 แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการศึกษาข้อมูล AI รายบุคคล (3 คน)

ข้อ	คะแนนแต่ละข้อ			ค่าเฉลี่ย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	
1	6	5	6	5.66
2	7	6	6	6.33
3	6	7	6	6.33
4	3	3	4	3.33
5	5	4	4	4.33
6	7	6	6	6.33
7	4	3	4	3.66
8	4	3	4	3.66
ค่า AI	2.75	2.12	2.50	2.45

จากตารางที่ 5 แสดงค่าดัชนีความผิดปกติ เป็นรายบุคคลของคนงานปอกมะพร้าวจำนวน 3 คน ที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง โดยมีค่า AI เฉลี่ยเท่ากับ 2.45 ซึ่งเป็นค่าที่ต้องเอาใจใส่และระมัดระวังในการทำงานให้มากขึ้น แสดงให้เห็นว่าควรศึกษาทางการยศาสตร์ต่อไป โดยพบว่าคนที่ 1 มีค่าคะแนนสูงสุด คือเท่ากับ 2.75 ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ตัวอย่างคนที่ 1 เป็นตัวอย่างการทดลองการทำงานและการประเมินทางการยศาสตร์ต่อไป โดยมีท่าทางในการทำงานดังแสดงในรูปที่ 2 ที่มีการนำมะพร้าวมาปอกด้วยอุปกรณ์ปลายแหลมในลักษณะทำซ้ำอย่างต่อเนื่อง

4.2 ผลการประเมินปัญหาการยศาสตร์ ก่อนปรับปรุง

4.2.1 ผลการประเมินทางการยศาสตร์ ด้วยวิธี RULA ก่อนปรับปรุงวิธีการทำงาน

Step 1 แขนส่วนบนมีการเคลื่อนไหวไปมาด้านหน้า 20-45 องศา มีระดับคะแนนเป็น 2 มีการยกหัวไหล่ จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 3 ซ้ายมือและขวามือทำงานไม่ต่างกันมาก

Step 2 แขนส่วนล่างมีตำแหน่งยกขึ้นด้านบน 0-60 องศา มีระดับคะแนนเป็น 2 ไม่มีการไขว้หรือแขนกางออก

รูปที่ 2 การปอกมะพร้าวของเกษตรกรรายย่อย

Step 3 มือและข้อมือมีการเคลื่อนไหวมีมุมมากกว่า 15 องศา มีระดับคะแนนเป็น 3 โดยมีการเอียงข้อมือเบี่ยงไปด้านข้างเล็กน้อย

Step 4 ขณะทำการจับผลมะพร้าวเพื่อปอก มีการหมุนข้อมือตั้งแต่ครึ่งถึงเกือบสุด มีระดับคะแนนเป็น 2

Step 5 แขนส่วนบน ใน step 1 คะแนนเป็น 3 แขนส่วนล่าง ใน step 2 มีคะแนนเป็น 2 มือ ข้อมือมีการเคลื่อนไหวใน step 3 มีคะแนนเป็น 3 การหมุนของข้อมือใน step 4 มีคะแนนเป็น 2 นำไปเปิด ตาราง A จึงได้ระดับคะแนนเป็น 4

Step 6 ในการจับผลมะพร้าวเพื่อปอก มีลักษณะการทำงานเป็นแบบซ้ำๆ โดยมีการเคลื่อนไหวไปมา หรือมีการทำงซ้ำมากกว่า 4 ครั้ง ต่อนาที จึงมีคะแนนเป็น 1

Step 7 มีการยกน้ำหนักในการจับผลมะพร้าวเพื่อปอก มีน้ำหนักน้อยกว่า 2 กิโลกรัม แต่ก็มีการถือหรือใช้แรงซ้ำไปมาบ่อย มีระดับคะแนนเป็น 0

Step 8 จาก step 5 มีคะแนนเป็น 4 เพิ่มค่า Muscle Use ใน step 6 เป็น 1 และค่า Force Scores ใน step 7 เป็น 0 สรุปรวมคะแนนเป็น 5 โดยเป็นคะแนนไว้สำหรับเปิดค่าในตาราง C ต่อไป

Step 9 ศีรษะและคอ มีการก้มมีมุมมากกว่า 20 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 3 มีการหมุนและเอียงศีรษะไปด้านข้าง จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 4

Step 10 ลำตัวเคลื่อนไหวมีมุมระหว่าง 20 - 60 องศา มีคะแนนเป็น 3 โดยมีการหมุนและเอนลำตัวไปด้านข้าง จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 4

Step 11 ขาและเท้ามีลักษณะสมดุลกับการรองรับบนพื้น มีระดับคะแนนเป็น 1

Step 12 ศีรษะและคอใน step 9 มีคะแนนเป็น 4 ลำตัวมีการเคลื่อนไหวใน step 10 มีคะแนนเป็น 4 และขาและเท้าใน step 11 มีคะแนนเป็น 1 นำค่าไปเปิดตาราง B จึงได้ระดับคะแนนเป็น 7

Step 13 มีการใช้แรงจากกล้ามเนื้อขาหรือเท้า แบบซ้ำ ๆ ตั้งแต่ 4 ครั้ง ต่อนาทีขึ้นไป มีระดับคะแนนเป็น 1

Step 14 มีการยกน้ำหนักในการจับผลมะพร้าวเพื่อปอก มีน้ำหนักน้อยกว่า 2 กิโลกรัม แต่ก็มีการถือหรือใช้แรงซ้ำไปมาบ่อย มีระดับคะแนนเป็น 0

Step 15 ผลจาก step 12 คะแนนเป็น 7 เพิ่มค่า Muscle Use ใน step 13 เป็น 1 และเพิ่มค่า Force Scores ใน step 14 เป็น 0 สรุปคะแนนรวมเป็น 8

Step 16 เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการประเมินโดยนำข้อมูลจากตาราง A ได้คะแนนรวมสรุปเท่ากับ 5 ตาราง B ได้คะแนนรวมสรุปเท่ากับ 8 (7+) เปิดค่าในตาราง C จึงได้คะแนน Final Score สรุปเท่ากับ 7 ตามการแปลความหมาย คือการปอกมะพร้าวมีปัญหาทางการยศาสตร์ที่ต้องได้รับการปรับปรุงทันที

4.2.2 ผลการประเมินทางการยศาสตร์ ด้วยวิธี REBA ก่อนปรับปรุงวิธีการทำงาน

Step 1 ลักษณะการทำงานก้มจับผลมะพร้าวเพื่อปอก ก้มคอมีมุมมากกว่า 20 องศา มีคะแนนเป็น 2 มีการหมุนคอเอียงคอไปด้านข้าง เพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 3

Step 2 ลักษณะการทำงานลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่าง 20-60 องศา มีคะแนนเป็น 3 โดยมีการหมุนและเอนลำตัวไปด้านข้าง เพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 3

Step 3 ท่าทางของส่วนขายืนสมดุล มีระดับคะแนนเป็น 1 และมีมุมการย่อเข่าเพียงเล็กน้อย

Step 4 ท่าทางคอ ศีรษะใน step 1 มีคะแนนเป็น 3 ท่าทางของลำตัวใน step 2 มีคะแนนเป็น 4 ท่าทางของส่วนขาใน step 3 มีคะแนนเป็น 1 นำค่าไปเปิด ตาราง A ได้ระดับคะแนน 2

Step 5 ภาระงานยกน้ำหนักในการจับผลมะพร้าวเพื่อปอก มีน้ำหนักน้อยกว่า 11 ปอนด์ มีระดับคะแนนเป็น 0

Step 6 สรุปผลรวมคะแนนจาก step 4 มีคะแนนเป็น 6 และ step 5 มีคะแนนเป็น 0 สรุปคะแนนรวมเป็น 6 โดยเป็นคะแนนไว้เปิดค่าในตาราง C ต่อไป

Step 7 ท่าทางของแขนส่วนบน อยู่ในตำแหน่งด้านหน้า 20-45 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 2 มีการยกหัวไหล่และกางออก เพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 3

Step 8 ท่าทางของแขนล่างอยู่ในตำแหน่งยกขึ้นด้านบนทำมุม 60-100 องศา มีระดับคะแนนเป็น 1

Step 9 ท่าทางของมือ/ข้อมือในการจับเก้าอี้ มีมุมมากกว่า 15 องศา มีคะแนนเป็น 2 โดยมีการหมุนและเอียงข้อมือ จึงเพิ่มอีก +1 สรุปคะแนนเป็น 3

Step 10 ท่าทางแขนส่วนบนใน step 7 มีคะแนนเป็น 3 ท่าทางแขนส่วนล่างใน step 8 มีคะแนนเป็น 1 ท่าทางมือและข้อมือใน step 9 มีคะแนนเป็น 3 นำค่าไปเปิดตาราง B มีระดับคะแนน 5

Step 11 การจับยึดวัตถุ ไม่มีมือจับและวัตถุจับยึดได้ยาก เช่น เปลี่ยนรูปร่างได้เป็นก้อนกลมใหญ่ ผิวลื่นมัน จึงมีระดับคะแนนเป็น 3

Step 12 สรุปผลรวมคะแนน step 10 ซึ่งมีคะแนนเป็น 5 และ step 11 มีคะแนนเป็น 3 สรุปคะแนนรวมเป็น 7 โดยเป็นคะแนนไว้สำหรับเปิดค่าในตาราง C ต่อไป

Step 13 มีการเคลื่อนไหวในการขนย้าย โดยทำงานซ้ำมากกว่า 4 ครั้ง ต่อนาที มีระดับคะแนนเป็น 1

Step 14 จากคะแนนที่ได้ใน step 6 ซึ่งมีคะแนนเป็น 6 และคะแนนใน step 12 ซึ่งมีคะแนนเป็น 7 นำค่าไปเปิดตาราง C จึงได้ระดับคะแนนเป็น 9

Step 15 ข้อมูลจากตาราง C มีคะแนนเท่ากับ 9 และจาก step 13 เท่ากับ 1 สรุปคะแนน Final Score เท่ากับ 10 ตามการแปลความหมาย คือการปอกมะพร้าวมีปัญหาทางการยศาสตร์มีความเสี่ยงสูง ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและควรปรับปรุง

4.3 ผลการนำเสนอการปรับปรุงวิธีการ

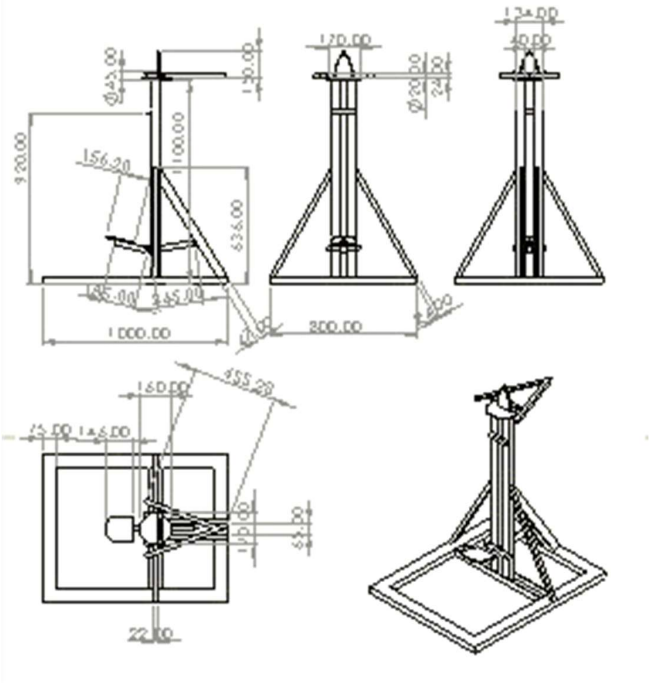
จากผลการวิเคราะห์ทางการยศาสตร์ทั้ง 2 วิธี ในการปอกมะพร้าวด้วยแรงงานคนที่มีความสอดคล้องกันว่าในการทำงานมีปัญหาด้านการยศาสตร์ ที่ต้องได้รับการปรับปรุงวิธีการทำงาน

4.3.1 ผลการออกแบบอุปกรณ์ปอกมะพร้าว

ในการเสนอแนวคิดปรับปรุงการทำงานในเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์บอกมะพร้าวขั้นพื้นฐาน และทดลองใช้ซึ่งยังพบว่ายังมีความเสี่ยงทางการยศาสตร์ทั้งในส่วนของอุปกรณ์ที่มีคมที่มีความเสี่ยงกับอุบัติเหตุ มีการออกแรงเหยียบเพื่อปอกเปลือกมะพร้าว และมีการวางเท้าที่ไม่สมดุลในการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3-4

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้นำมาปรับปรุงพัฒนารูปแบบโดยการศึกษาผลการวิเคราะห์ทางการยศาสตร์ด้วยวิธี RULA และ REBA ที่พบว่ามีท่าทางและลักษณะของแขนส่วนล่าง มือและข้อมือ การหมุนข้อมือ ศีรษะและคอ ลักษณะการทำงานศีรษะ/คอ ท่าทางของลำตัว ท่าทางของแขนส่วนบน ท่าทางของมือ/ข้อมือ พิจารณาการจับยึดวัตถุ จึงทำให้มีระดับคะแนนค่อนข้างสูง โดยจากผลการวิเคราะห์ทางการยศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว โดยแนวคิดการนำเสนอการร่างต้นแบบชิ้นงานนวัตกรรมซึ่งเป็นอุปกรณ์การปอกมะพร้าวที่ได้จากการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทางการยศาสตร์ ด้วยวิธี RULA และ REBA ที่พบว่ามีท่าทางการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นในรูปแบบต่างๆ ชิ้นงานที่ร่างขึ้นจะช่วยลดการทำงานที่มีการเคลื่อนไหวไปมา ลดท่าทางและลักษณะของแขนส่วนล่าง การใช้มือและข้อมือ การหมุนข้อมือ ลดท่าทางของศีรษะและคอ ลักษณะการทำงานศีรษะ/คอ ลดท่าทางของลำตัว ลดท่าทางของแขนส่วนบน ลดท่าทางของมือ/ข้อมือ การพิจารณาการจับยึดวัตถุ นอกจาก

คำนึงถึงผลการวิเคราะห์ทางการยศาสตร์แล้ว ยังได้คำนึงถึงจำนวนผู้ปฏิบัติงานที่ลดลงในการผลิตคราวละมากๆ รวมถึงท่าทางการทำงานที่มีความสะดวก ลดการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นและเพิ่มความปลอดภัยในการทำงานมากขึ้นจากการลดท่าทางการทำงานที่ไม่เหมาะสม การลดการเคลื่อนไหวในการทำงานดังกล่าวก็จะส่งผลให้ลดความเหนื่อยล้าในการทำงานลงได้



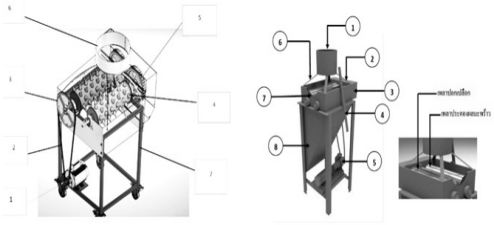
รูปที่ 3 แนวคิดการออกแบบชุดอุปกรณ์ปอกแบบที่ 1

รูปที่ 4 การนำวิธีการปรับปรุงขั้นต้นไปทดลองใช้ สเก็ตซ์

ในการดำเนินการสร้างชิ้นงานสำหรับการทดสอบ (Prototype) เพื่อการปรับปรุงการทำงาน การทดลองประสิทธิภาพ การพิจารณาค่าสัดส่วนร่างกายกับค่าขนาดที่เหมาะสม พิจารณาระดับภาระงาน อะไรที่ส่งผลต่อโอกาสการเกิดอันตรายในการทำงานให้สำเร็จ รวมถึงมีเทคโนโลยีทางเลือกอะไรบ้าง ที่สามารถดำเนินการได้ โดยผลจากการประเมินทางการยศาสตร์ใช้เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบชิ้นงาน โดยการสร้างแนวคิดการปรับปรุงการทำงาน จากนั้นสเก็ตซ์แบบจากการรวบรวมแนวคิดสร้างรูปแบบ (model) ชิ้นงานที่มาจากการวิเคราะห์แนวทางที่จะช่วยลดการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่างๆ จากนั้นทำการกลั่นกรองแบบ (design refinement) แสดงออกมาเป็นรายละเอียด (details) เพื่อดำเนินการสร้างชิ้นงานสำหรับการทดสอบ (Prototype)

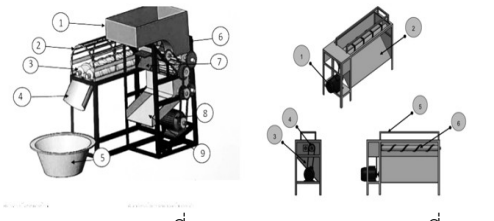
ในการสเก็ตซ์แบบของอุปกรณ์ปอกมะพร้าวจากการรวบรวมแนวคิด ทางทีมงานวิจัยได้นำเสนอไอเดียในหลากหลายรูปแบบ พร้อมทั้งนำเสนอรายละเอียดและความเป็นไปได้ ข้อดี-ข้อเสีย ในการออกแบบชิ้นงานเพื่อให้ได้แนวคิดที่ดีที่สุด

จากรูปที่ 5-7 เป็นการแนวคิดการออกแบบชุดอุปกรณ์ปอกมะพร้าวก่อนการตัดสินใจซึ่งช่วยให้เห็นภาพรวมของแนวคิด ทำให้ผู้ออกแบบและผู้เกี่ยวข้องเข้าใจรูปร่าง ลักษณะ และการทำงานเบื้องต้น การลดความผิดพลาดในการสื่อสาร ในการถ่ายทอดความคิดจากผู้ออกแบบไปยังทีมงาน เปรียบเทียบและเลือกทางเลือกที่เหมาะสม สามารถสร้างหลาย ๆ แบบร่างเพื่อเปรียบเทียบข้อดี–ข้อเสีย ก่อนเลือกแนวทางที่เหมาะสมที่สุด ประหยัดเวลาและต้นทุนในการ แก้ไขหรือปรับปรุงบนแบบร่างง่ายกว่าการแก้ในขั้นตอนการสร้างจริง ช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาในการทดลองซ้ำ เป็นพื้นฐานในการออกแบบเชิงวิศวกรรม การกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์ รวมถึง เปิดโอกาสให้ผู้เกี่ยวข้องเสนอความคิดเห็น ปรับแต่ง และพัฒนานวัตกรรมได้มากขึ้น



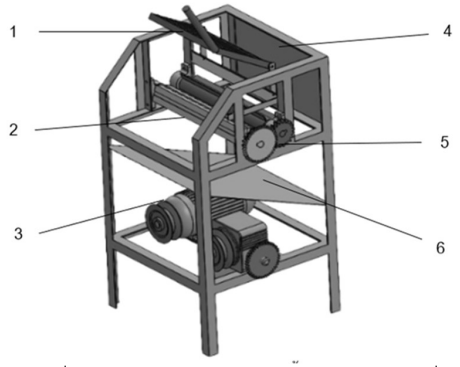
5(ก) แบบที่ 1 5(ข) แบบที่ 2

รูปที่ 5 แนวคิดการออกแบบชุดอุปกรณ์ปอกแบบที่ 1-2



6(ก) แบบที่ 3 6(ข) แบบที่ 4

รูปที่ 6 แนวคิดการออกแบบชุดอุปกรณ์ปอกแบบที่3-4



รูปที่ 7 แนวคิดการออกแบบชุดอุปกรณ์ แบบที่ 5

หลังจากทีมงานวิจัยร่วมกันพิจารณาเพื่อคัดเลือกแบบสเก็ตซ์โดยได้ข้อสรุปในการคัดเลือก ดังแสดงในรูปที่ 7 โดยมีส่วนประกอบในเบื้องต้นตามหมายเลข 1 คือ ตัวกดมะพร้าว หมายเลข 2 คือ ลูกกลิ้งจิกมะพร้าว หมายเลข 3 คือ มอเตอร์ต้นกำลัง หมายเลข 4 คือ ฝาครอบกั้น และหมายเลข 6 คือ ช่องมะพร้าวออก หลังจากนั้นได้ดำเนินการสร้างชิ้นงานตามขั้นตอนต่อไป โดยหลักการทำงานโดยการใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนการหมุนแทนการปอกมะพร้าวด้วยมือ ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 1) มอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า (220 โวลต์) 2) เฟืองทดรอบ 20/1 และชุดส่งกำลังโดยใช้สายพาน 3) ใบมีด 4) เพลาหมุน 5) เหล็กกดมะพร้าว 6) โครงสร้างเครื่อง ทำงานโดยการหมุนเพลาที่ได้ติดตั้งใบมีดไว้ในแนวราบด้วยความเร็วรอบ 72.5 รอบ/นาที ซึ่งเพลาที่ติดตั้งใบมีดสามารถถอดแยกออกจากเครื่องได้ การทำงานของเครื่องเริ่มจากการส่งกำลังจากมอเตอร์ผ่านมูเล่ย์ไปยังตัวขับ สายพาน มูเล่ย์ตัวตาม ตัวทดและชุดส่งกำลังแบบเฟืองซึ่งเชื่อมต่อกับเพลาที่มีใบมีดติดตั้งอยู่ ดังนั้นเมื่อมอเตอร์หมุนจะส่งถ่ายกำลัง ทำให้ใบมีดหมุนด้วย โดยหมุนในทิศทางเข้าหากันในลักษณะร่วมกันจิกผลมะพร้าว ดังแสดงในรูปที่ 8 ชุดอุปกรณ์ปอกมะพร้าวที่ออกแบบสร้าง

4.3.2 ผลการประเมินการปรับปรุงวิธีการ

หลังจากออกแบบชุดอุปกรณ์ปอกมะพร้าวโดยผ่านการทดลอง ปรับปรุงแก้ไข จนสามารถใช้งานได้ ซึ่งการปอกมะพร้าวหลังการปรับปรุงวิธีการ แสดงในรูปที่ 9

หลังจากนั้นทีมงานได้ทำการประเมินผลจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ชำนาญการจำนวน 6 ท่าน ซึ่งเป็นอาจารย์ที่มีความเชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน และคนงานปอกมะพร้าว จำนวน 3 ท่าน โดยมีผลการประเมินทั้ง 3 ด้าน ดังแสดงในตารางที่ 6

รูปที่ 8 ชุดอุปกรณ์ปอกมะพร้าวที่ออกแบบสร้าง

รูปที่ 9 การปอกมะพร้าว หลังการปรับปรุงวิธีการ

ตารางที่ 6 ผลการประเมินการปรับปรุงการทำงาน

รายการประเมิน	$\bar{X}$	SD
ด้านการยศาสตร์	4.12	0.76
ด้านการใช้งาน	4.05	0.57
ความพึงพอใจโดยรวม	4.13	0.83
ค่าเฉลี่ย	4.10	0.72

จากตารางที่ 6 ผลการประเมินการปรับปรุงการทำงานตามวิธีที่เสนอ โดยประเมินทางด้านการยศาสตร์ มีค่าเฉลี่ย 4.12 ด้านการใช้งาน มีค่าเฉลี่ย 4.05 และด้านความพึงพอใจโดยรวม มีค่าเฉลี่ย 4.13 โดยมีค่าเฉลี่ยรวม 4.10 หมายถึงอยู่ในระดับดีที่สามารถนำไปใช้งานได้

4.4 ผลการประเมินปัญหาการยศาสตร์และวัดการเพิ่มผลผลิต ก่อน-หลังปรับปรุง

4.4.1 ผลการประเมินทางการยศาสตร์ ด้วยวิธี RULA หลังปรับปรุง

Step 1 แขนส่วนบนมีการเคลื่อนไหวไปมา อยู่ด้านหน้า 20-45 องศา มีระดับคะแนนเป็น 2 ไม่มีการยกหัวไหล่หรือกางหัวไหล่

Step 2 แขนส่วนล่างอยู่ในตำแหน่งยกขึ้นด้านบนทำมุม 60-100 องศา มีระดับคะแนนเป็น 1 โดยไม่มีการไขว้หรือแขนกางออกไปข้างลำตัว

Step 3 มือและข้อมือมีการเคลื่อนไหวมีมุม 0-15 องศา มีระดับคะแนนเป็น 2 มีการเอียงข้อมือเบี่ยงไปด้านข้างเพียงเล็กน้อย

Step 4 ในขณะทำการใส่ผลมะพร้าวเพื่อปอก ไม่มีการบิดหรือหมุนบิดของข้อมือเล็กน้อยไม่เกินครึ่ง มีระดับคะแนนเป็น 1

Step 5 แขนส่วนบนใน step 1 คะแนนเป็น 2 แขนส่วนล่าง ใน step 2 มีคะแนนเป็น 1 มือและข้อมือมีการเคลื่อนไหวใน step 3 มีคะแนนเป็น 2 การหมุนของข้อมือใน step 4 มีคะแนนเป็น 1 นำค่าไปเปิด ตาราง A ได้ระดับคะแนนเป็น 3

Step 6 ในการใส่ผลมะพร้าวเพื่อปอกและจับอุปกรณ์เพื่อกดมีลักษณะการทำงานเป็นแบบซ้ำๆ โดยมีการ

เคลื่อนไหวไปมา หรือมีการทำงานซ้ำมากกว่า 4 ครั้ง ต่อนาที จึงมีคะแนนเป็น 1

Step 7 มีการยกน้ำหนักในการใส่ผลมะพร้าวเพื่อปอก มีน้ำหนักน้อยกว่า 2 กิโลกรัม แต่ก็มีการถือหรือใช้แรงซ้ำไปมาบ่อย มีระดับคะแนนเป็น 0

Step 8 จาก step 5 มีคะแนนเป็น 3 เพิ่มค่า Muscle Use ใน step 6 เป็น 1 และค่า Force Scores ใน step 7 เป็น 0 สรุปรวมคะแนนเป็น 4 โดยเป็นคะแนนไว้สำหรับเปิดค่าในตาราง C ต่อไป

Step 9 ศีรษะและคอ มีการก้มมีมุม 10-20 องศา มีระดับคะแนนเป็น 2 ไม่มีการหมุนและเอียงศีรษะไปด้านข้าง สรุปคะแนนเป็น 2

Step 10 ลำตัวเคลื่อนไหวมีมุมระหว่าง 0-20 องศา มีคะแนนเป็น 2 โดยไม่มีการหมุนและเอนลำตัวไปด้านข้าง สรุปคะแนนเป็น 2

Step 11 ขาและเท้ามีลักษณะสมดุลกับการรองรับบนพื้น มีระดับคะแนนเป็น 1

Step 12 ศีรษะและคอใน step 9 มีคะแนนเป็น 2 ลำตัวมีการเคลื่อนไหวใน step 10 มีคะแนนเป็น 2 และขาและเท้าใน step 11 มีคะแนนเป็น 1 นำค่าไปเปิดตาราง B ได้ระดับคะแนนเป็น 2

Step 13 การใช้แรงจากกล้ามเนื้อขาหรือเท้า ไม่มีแบบซ้ำ ๆ ไปมา ตั้งแต่ 4 ครั้ง ต่อนาทีขึ้นไป มีระดับคะแนนเป็น 0

Step 14 มีการยกน้ำหนักในการใส่ผลมะพร้าวเพื่อปอก มีน้ำหนักน้อยกว่า 2 กิโลกรัม แต่ก็มีการถือหรือใช้แรงซ้ำไปมาบ่อย มีระดับคะแนนเป็น 0

Step 15 ผลจาก step 12 คะแนนเป็น 2 เพิ่มค่า Muscle Use ใน step 13 เป็น 0 และเพิ่มค่า Force Scores ใน step 14 เป็น 0 สรุปคะแนนรวมเป็น 2

Step 16 นำข้อมูลจากตาราง A ได้คะแนนรวมสรุปเท่ากับ 4 ตาราง B ได้คะแนนรวมสรุปเท่ากับ 2 เปิดค่าในตาราง C จึงได้คะแนน Final Score สรุปเท่ากับ 3 ตามการแปลความหมาย คือควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและติดตามวัดผลอย่างต่อเนื่อง อาจจำเป็นที่จะต้องออกแบบงานใหม่หรือปรับปรุงเพิ่มเติม

4.4.2 ผลการประเมินทางการยศาสตร์ ด้วยวิธี REBA หลังปรับปรุงวิธีการทำงาน

Step 1 การทำงานในการควบคุมการปอกมะพร้าว มีการก้มคอ มีมุม 0-20 องศา จึงมีคะแนนเป็น 1 มีการหมุนคอเอียงคอไปด้านข้างเพียงเล็กน้อย

Step 2 ลักษณะการทำงานลำตัวโน้มไปด้านหน้าระหว่าง 0-20 องศา จึงมีคะแนนเป็น 2 โดยมีการหมุนและเอนลำตัวไปด้านข้างเพียงเล็กน้อย

Step 3 ท่าทางของส่วนขายืนสมดุล มีระดับคะแนนเป็น 1 และมีมุมการย่อเข่าเพียงเล็กน้อย

Step 4 ท่าทางของ คอ ศีรษะใน step 1 มีคะแนนเป็น 1 ท่าทางของลำตัวใน step 2 มีคะแนนเป็น 2 ท่าทางของส่วนขาใน step 3 มีคะแนนเป็น 1 นำค่าไปเปิด ตาราง A ได้ระดับคะแนน 2

Step 5 ภาระงานยกน้ำหนักจับผลมะพร้าวเพื่อปอก มีน้ำหนักน้อยกว่า 11 ปอนด์ จึงมีระดับคะแนนเป็น 0

Step 6 สรุปผลรวมคะแนนจาก step 4 มีคะแนนเป็น 2 และ step 5 มีคะแนนเป็น 0 สรุปคะแนนรวมเป็น 2 โดยเป็นคะแนนไว้เปิดค่าในตาราง C ต่อไป

Step 7 ท่าทางของแขนส่วนบน อยู่ในตำแหน่งด้านหน้า 20-45 องศา จึงมีระดับคะแนนเป็น 2 มีการยกหัวไหล่และกางออกเพียงเล็กน้อย

Step 8 ท่าทางของแขนล่างอยู่ในตำแหน่งยกขึ้นด้านบนทำมุม 60-100 องศา มีระดับคะแนนเป็น 1

Step 9 ท่าทางของมือ/ข้อมือในการจับคันโยก มีมุมมากกว่า 15 องศา มีคะแนนเป็น 2 โดยมีการหมุนและเอียงข้อมือเพียงเล็กน้อย

Step 10 ท่าทางแขนส่วนบนใน step 7 มีคะแนนเป็น 2 ท่าทางแขนส่วนล่างใน step 8 มีคะแนนเป็น 1 ท่าทางมือและข้อมือใน step 9 มีคะแนนเป็น 2 นำค่าไปเปิดตาราง B มีระดับคะแนน 2

Step 11 พิจารณาการจับยึดวัตถุ มือจับคันโยกสำหรับการปอกมะพร้าว สามารถจับยึดได้ถนัดมือและกำรอบมือได้ จึงมีระดับคะแนนเป็น 0

Step 12 ผลรวมคะแนนจาก step 10 ซึ่งมีคะแนนเป็น 2 และ step 11 มีคะแนนเป็น 0 สรุปคะแนนรวมเป็น 2 โดยเป็นคะแนนไว้สำหรับเปิดค่าในตาราง C ต่อไป

Step 13 มีการเคลื่อนไหวในการปอกมะพร้าว โดยทำงานซ้ำมากกว่า 4 ครั้ง ต่อนาที มีระดับคะแนนเป็น 1

Step 14 จากคะแนนที่ได้ใน step 6 มีคะแนนเป็น 2 และคะแนนใน step 12 มีคะแนนเป็น 2 นำค่าไปเปิดตาราง C ได้ระดับคะแนนเป็น 2

Step 15 นำข้อมูลจากตาราง C มีคะแนนเท่ากับ 2 และจาก step 13 เท่ากับ 1 สรุปคะแนน Final Score เท่ากับ 3 ตามการแปลความหมาย คือมีปัญหาความเสี่ยงทางการยศาสตร์น้อย แต่อาจจะต้องมีการปรับปรุงต่อไป

4.4.3 ผลการวัดการเพิ่มผลผลิต ก่อน-หลังการปรับปรุง

หลังจากประเมินผลทางการยศาสตร์ ในวิธีการเดิมและวิธีการใหม่ที่เสนอในการปรับปรุงการทำงาน ทีมงานได้วัดการเพิ่มผลผลิตจากการทดลองหาประสิทธิภาพในการทำงานโดยการเปรียบเทียบการปอกมะพร้าวด้วยวิธีเดิมที่ใช้แรงงานคนและวิธีใหม่ที่ใช้อุปกรณ์ปอกมะพร้าว โดยทำการทดลองจำนวน 5 ครั้ง ใช้มะพร้าวที่มีขนาดไม่ต่างกันในการทดลอง ครั้งละจำนวน 5 ลูก มีผลการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการทดลองการปรับปรุงการทำงาน

ครั้งที่ / รูปแบบ	ครั้งที่ (เวลา : วินาที)					
	1	2	3	4	5	$\bar{\bar{X}}$
วิธีเดิม	64.6	59.6	67.4	67.4	67.8	65.36
วิธีใหม่	17.3	17.6	16.2	16.3	16.4	16.76

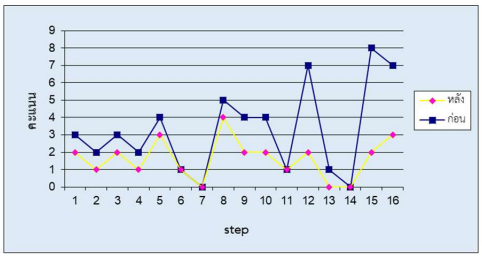
จากการวัดการเพิ่มผลผลิตในการปอกมะพร้าวด้วยแรงงานคน 1 คน จำนวน 5 ผล ใช้เวลาเฉลี่ย 65.36 วินาที หากปอก 400 ผล ใช้เวลา 5,228.8 วินาที (400/5 = 80 x 65.36) หรือ 87.14 นาที (5,228.8/60) โดยเปรียบเทียบการวัดการปอกมะพร้าวด้วยเครื่อง 1 คน จำนวน 5 ผล ใช้เวลาเฉลี่ย 16.76 วินาที หากปอก 400 ผล ใช้เวลา 1,340.8 วินาที (400/5 = 80 x16.76) หรือ 22.34 นาที (1,340.8 วินาที/60) สรุปใช้เวลาลดลง 3,888 วินาที (5,228-1,340.8) หรือ 64.8 นาที (87.14-22.34)

5. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษามีสรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผล

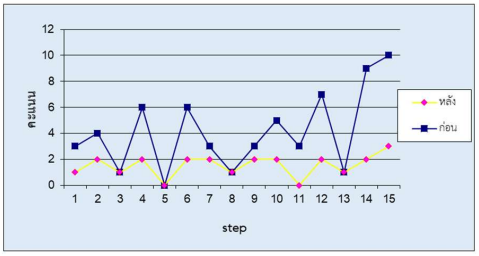
ผลการเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธี RULA ก่อน-หลัง การปรับปรุงวิธีการทำงาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า Step 2 แขนส่วนล่าง, Step 3 มือและข้อมือ, Step 4 การหมุนของข้อมือ มีคะแนนลดลง ส่งผลให้ Step 5 คะแนนเปิดตาราง A มีค่าคะแนนลดลง ส่วน Step 9 ศีรษะและคอ, Step 10 ลำตัวเคลื่อนไหว มีคะแนนลดลง และส่งผลให้ Step 12 คะแนนเปิดตาราง B มีค่าคะแนนลดลงเช่นกัน โดยใน Step 15 คะแนนรวม จากเดิม 8 ลดลง เป็น 2 ส่งผลให้การเปิดตาราง C เพื่อสรุปคะแนน จากเดิม 7 ลดลงเหลือ 3 คะแนน โดยแสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟเปรียบเทียบความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธี RULA ก่อน-หลัง การปรับปรุงวิธีการทำงาน ในรูปที่ 10



รูปที่ 10 เปรียบเทียบผลการศึกษาด้วยวิธี RULA

สรุปผลการเปรียบเทียบการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA ก่อน-หลัง การปรับปรุงวิธีการทำงาน จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า Step 1

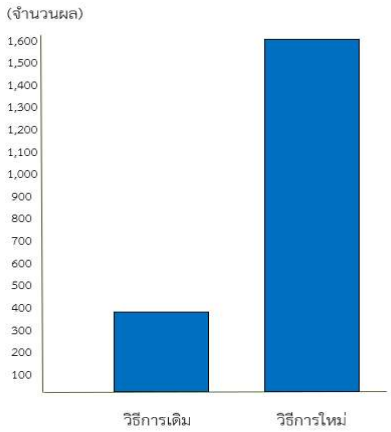
ลักษณะการทำงานศีรษะ/คอ, Step 2 ท่าทางของลำตัว มีคะแนนลดลง ส่งผลให้ Step 4 คะแนนเปิดตาราง A มีค่าคะแนนลดลง ส่วน Step 7 ท่าทางของแขนส่วนบน, Step 9 ท่าทางของมือ/ข้อมือ มีคะแนนลดลง และส่งผลให้ Step 10 คะแนนเปิดตาราง B มีค่าคะแนนลดลงเช่นกัน โดยใน Step 11 พิจารณาการจับยึดวัตถุ จากเดิมที่ต้องจับผลมะพร้าวเพื่อปอกเมื่อปรับปรุงวิธีการทำงานโดยการใส่ในอุปกรณ์แล้วใช้อุปกรณ์ที่มีการจับยึดกดปอกมะพร้าว ทำให้คะแนนลดลงมาก ส่งผลให้ Step 12 สรุปคะแนนเปิดตาราง C จากเดิม 7 ลดลงเหลือ 2 โดยส่งผล Step 14 คะแนนเปิดตาราง C จากเดิม 9 ลดลงเหลือ 2 ทำให้ผลใน Step 15 สรุปคะแนนรวม ลดลงจาก 10 ลดลงเหลือ 3 คะแนน โดยแสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟเปรียบเทียบความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA ก่อน-หลัง การปรับปรุงวิธีการทำงาน ในรูปที่ 11



รูปที่ 11 เปรียบเทียบผลการศึกษาด้วยวิธี REBA

จากกราฟจะเห็นได้ว่าชุดอุปกรณ์ปอกมะพร้าวนี้สามารถช่วยลดความเสี่ยงและความเมื่อยล้าของคนงานตามหลักการยศาสตร์ได้

เมื่อเปรียบเทียบการเพิ่มผลผลิตในการปอกมะพร้าวต่อ 1 คน ในเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที (90 นาที) พบว่า ในปอกมะพร้าวด้วยแรงงานคน สามารถปอกได้จำนวน 413 ผล และการปอกมะพร้าวด้วยเครื่อง สามารถปอกได้เพิ่มขึ้นเป็นจำนวน 1,610 ผล ตามกราฟรูปที่ 12 ทั้งนี้อาจมีตัวแปรในการปอกที่อาจมีการหยุดพักแบบไม่แน่นอนซึ่งอาจจะเกิดขึ้นในกรณีการใช้แรงงานคนปอกมากกว่าการใช้อุปกรณ์ที่ออกแบบสร้างช่วยปอกมะพร้าว



รูปที่ 12 การเพิ่มผลผลิตก่อนและหลังปรับปรุง เปรียบเทียบเวลาเฉลี่ย 90 นาที

5.2 อภิปรายผล

ผลการศึกษาปัญหาความเสี่ยงทางการยศาสตร์ในการปอกมะพร้าวเพื่อการปรับปรุงวิธีการปอกมะพร้าวโดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์สำหรับปอกมะพร้าวเพื่อลดปัญหาการยศาสตร์ในการปอกมะพร้าวของเกษตรกร เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทางการยศาสตร์ก่อนและหลังการปรับปรุงการทำงานจะเห็นว่าคะแนนในหลาย Step ลดลง ซึ่งส่งผลให้คะแนนสรุป (Final Score) ของแต่ละวิธีมีคะแนนลดลง สอดคล้องกับการศึกษา [12] ของ Dempsey, McGorry, and O'Brien (2004, p.339) ที่กล่าวว่า การออกแบบสถานที่ทำงานตามหลักการยศาสตร์ จะเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตและลดความเครียดจากการทำงานได้ การปรับปรุงงานตามหลักการยศาสตร์ช่วยให้ท่าทางการเคลื่อนไหวร่างกายในการทำงานดีขึ้น สภาพงานช่วยลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บในการทำงาน [13] Heinrich (1959) กล่าวว่าการบาดเจ็บและความเสียหายต่างๆ ที่เกิดขึ้น เป็นผลโดยตรงจากการเกิดอุบัติเหตุและมีสาเหตุจากการกระทำที่ไม่ปลอดภัยของบุคคลและสภาพการที่ไม่ปลอดภัยในการทำงาน ทั้งนี้การวิเคราะห์ดังกล่าวมีข้อควรระวังคือผลคะแนนเป็นเพียงความเสี่ยงของการทำงาน คะแนนต่ำไม่ได้หมายความว่างานนั้นไม่มีความเสี่ยงจากอันตรายด้านการยศาสตร์ อีกทั้งการที่มีคะแนนสูงก็มิใช่การยืนยันเสมอไปว่างานนั้นจะ

มีปัญหารุนแรง โดยในการศึกษาทางการยศาสตร์หากมีการศึกษาปัจจัยอื่นๆ ประกอบจะช่วยให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ขึ้น Ong and Kogi (1992) [14] กล่าวว่าการยศาสตร์เป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกันหลายสาขาวิชาด้วยกัน ได้แก่ แพทยศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เป็นต้น ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการปรับปรุงคุณภาพการทำงานให้มีประสิทธิภาพและความปลอดภัยในสูงสุด และจากการสร้างเครื่องปอกมะพร้าวมาทดแทนแรงงานคน สามารถประมาณการระยะเวลาคืนทุนได้คือ 115 วัน (โดยสมมติฐานว่าต้นทุนการผลิตเครื่องปอกมะพร้าว 80,000 บาท ค่าแรงคนงานวันละ 350 บาท ค่าไฟกับค่าบำรุงรักษาเครื่องวันละ 250 บาท และ ชุดอุปกรณ์ปอกมะพร้าว 1 เครื่อง ใช้คนงาน 1 คนคุมเครื่องสามารถปอกมะพร้าวได้เท่ากับแรงงานคน 4 คน)

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ควรให้คนงานศึกษาเกี่ยวกับท่าทางที่มีปัญหาการยศาสตร์ เพื่อความเข้าใจและลดท่าทางที่ไม่เหมาะสม

5.3.2 ควรบันทึกเก็บข้อมูลสถิติการบาดเจ็บบริเวณต่างๆ ของร่างกาย รวมถึงการเกิดอุบัติเหตุ การขาดงาน พร้อมสาเหตุต่างๆ เพื่อช่วยให้การวิเคราะห์งานที่เป็นจุดเสี่ยงเพื่อนำไปเป็นประกอบการปรับปรุงการทำงานต่างๆ

5.3.3 ชุดอุปกรณ์ปอกมะพร้าวที่ออกแบบเพื่อการทดลองที่สร้างขึ้นซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ต้นแบบ (prototype) ในการปรับปรุงวิธีการทำงาน เพื่อเป็นแนวทางการลดปัญหาตามหลักการยศาสตร์ สามารถนำไปปรับปรุงพัฒนานวัตกรรมเพื่อการปอกมะพร้าวให้ดีขึ้นต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัย คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ปี 2567 ขอบคุณนายไกรฤกษ์ ขุนฤทธิ์แก้ว นายธนัช คงวัดใหม่ นายธนาดล ห้วนแจ่ม และนายภราดร ปาลยะรัตน์ กลุ่มตัวอย่างในการดำเนินงาน การทดลอง ตำบลพะวง อำเภอเมือง และตำบลประจำ อำเภอจะนะ จังหวัดสงขลา

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Thansettakij News. (2025, April 5), Coconut prices surge to a 30-year high; private sector indicates continued market growth for the next 5 years [Online]. Available: https://www.thansettakij.com/economy/trade-agriculture/624221.

[2] Horticultural Research Institute, Coconut Production Situation. Department of Agriculture, Thailand, 2021.

[3] C. Jaibantad and C. Lerdsudwichai, “Solutions to decrease ergonomic problems: A case study of Pathumthani Province,” *Science Journal, Chandrakasem Rajabhat University*, vol. 34, no. 1, pp. 1–12, 2023.

[4] T. Sippapakul, *Ergonomics and Mechanical Anatomy*. Bangkok, Thailand: Mitr Samphan Graphic Printing Co., Ltd., 2010.

[5] S. Krungkraiwong, Ergonomic Job Identification and Analysis for Improving Working Conditions. Safety Development Division, Institute for Occupational Safety Development, Thailand, 2011.

[6] L. McAtamney and E. N. Corlett, “RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders,” *Applied Ergonomics*, vol. 24, no. 2, pp. 91–99, 1993.

[7] S. Hignett and L. McAtamney, “Rapid entire body assessment (REBA),” *Applied Ergonomics*, vol. 31, no. 2, pp. 201–205, 2000.

[8] N. Lagul, W. Datham and Y. Chaisit, “Design and evaluation of a dry coconut peeling machine,” in *Proc. 1st National Conf. Science, Technology, and Innovation*, Loei

Rajabhat University, Loei, Thailand, 2019, pp. 169–172.

[9] W. Madtharak, R. Homsettee and A. Sungkhapong, "Workstation improvement using ergonomic principles to reduce worker fatigue in smoked rubber sheet processing," *Journal of Industrial Technology*, *King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 20, no. 2, pp. 165–183, 2023.

[10] K. Thatphet and P. Ruangchoengchum, "Elimination of non-value-added movement by organizing production process layout: A case study of a fresh coffee shop business in Khon Kaen Province," *Journal of Management Science*, *Ubon Ratchathani University*, vol. 10, no. 2, pp. 1–24, Jul.–Dec. 2021.

[11] T. Bangsalee, N. Kongked and W. Srijaroen, "Exploring ergonomic problems of rice farmers in Matum Sub-district, Phrom Phiram District, Phitsanulok Province," *Thai Journal of Safety and Health*, vol. 16, no. 1, pp. 124–137, Jan.–Jun. 2023.

[12] P. G. Dempsey, R. W. McGorry, and N. V. O'Brien, "The effects of work height, workpiece orientation, gender, and screwdriver type on productivity and wrist deviation," *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 33, no. 4, pp. 339–346, 2004.

[13] H. W. Heinrich, *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 1959.

[14] C. N. Ong and K. Kogi, "Application of ergonomics to developing countries," in *Occupational Health in Developing Countries*. Oxford, U.K.: Oxford University Press, 1992.

Srinakharinwirot University Engineering Journal (2026) 22(1), 69-76 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

เครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นราคาประหยัด

A Cost-effective Cryotherapy Machine Using Cold Air Spraying

ภาณุศักดิ์ มูลศรี นพรัตน์ อมัติรัตน์* อภิเดช บุญเจือ ธวัชชัย จารุวงศ์วิทยา สัญชัย รำเพยพัด
สาขาวิศวกรรมพลังงานและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา 30000
Panusak Moonsri Nopparat Amattirat* Apidach Boonjue Tawatchai Jaruwongwittaya
Sanchai Ramphueiphad
Department of Energy and Air Conditioning Engineering, Faculty of Engineering and Technology,
Rajamangala University of Technology Isan, Nakhonratchasima, 30000
*Corresponding author Email: panusak_13@hotmail.com
(Received: November 20, 2024; Revised: June 25, 2025 ; Accepted: February 18, 2026)

บทคัดย่อ

การบำบัดรักษาด้วยความเย็นสามารถลดการเจ็บปวดให้กับผู้บาดเจ็บได้ การพ่นลมเย็นจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบำบัดรักษา เพราะสามารถรักษาได้ตรงจุดที่เกิดการบาดเจ็บ แต่ปัจจุบันเครื่องพ่นลมเย็นที่ใช้อยู่ทั่วไปมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นราคาประหยัด โดยใช้สารทำความเย็น R-404a เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิและความเร็วลมกับเครื่องพ่นลมเย็นทั่วไป โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 แบบ คือ การทดลองในห้องควบคุมอุณหภูมิ 20°C 25°C และ 30°C ที่ความเร็วลม 5 10 15 และ 20 m/s ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า งานวิจัยนี้สามารถทำอุณหภูมิได้ -7.5°C ถึง -10.7°C ขณะที่เครื่องพ่นลมเย็นทั่วไปสามารถทำอุณหภูมิได้ -10.3°C ถึง -24.4°C จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่า งานวิจัยนี้ยังทำอุณหภูมิให้ต่ำได้ไม่เท่ากับเครื่องพ่นลมเย็นทั่วไป จึงควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

คำสำคัญ: การบำบัดรักษาด้วยความเย็น เครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็น สารทำความเย็น R-404a

ABSTRACT

Cryotherapy can reduce pain in injured people. Cold air blasting is another alternative treatment because it can treat the injured area directly. However, currently, cold air blasters are expensive and must be imported from abroad. This research aims to design and create the cryotherapy machine by spraying cold air with cost-effective, using refrigerant R-404a, to compare the temperature and wind speed with the normal cryotherapy machine. The experiments are divided into 3 types: experiments in a temperature-controlled room at 20°C, 25°C, and 30°C with wind speeds of 5, 10, 15, and 20 m/s, respectively. The results of the experiments show that this research can produce temperatures of -7.5°C to -10.7°C, while general cold air blasters can produce temperatures of -10.3°C to -24.4°C. This information shows that this research cannot produce temperatures as low as general cold air blasters. Therefore, further study and development should be conducted.

Keyword: Cryotherapy, cryotherapy machine by spraying cold air, refrigerant R-404a.

1. บทนำ

สาเหตุของการเกิดเส้นเอ็นและกล้ามเนื้ออักเสบส่วนหนึ่งเกิดจากการเคลื่อนไหวของร่างกาย เพราะเส้นเอ็นเป็นส่วนหนึ่งของร่างกายช่วยให้ร่างกายเคลื่อนไหว สามารถเกิดแรงกระทบได้ทั้งภายนอกและภายในอาทิ เช่น อายุที่เพิ่มมากขึ้น น้ำหนักที่มากเกินไป การนั่งท่าเดิมเป็นเวลานาน การออกกำลังกายอย่างไม่สม่ำเสมอ การเล่นกีฬาบางชนิด เป็นต้น [1] จากสาเหตุต่างๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการเจ็บปวด

ปัจจุบันมีการจัดการกับความปวดโดยวิธีใช้ยาบรรเทาปวดและวิธีที่ไม่ใช้ยา ซึ่งสามารถหลีกเลี่ยงผลข้างเคียงของยาและอันตรายจากการแพ้ยาได้ เช่น การจัดท่านอนเพื่อให้เกิดความสุขสบาย พูดปลอบใจและเบี่ยงเบนความสนใจของผู้ป่วย และการประคบเย็น หากมีอาการปวดหรือได้รับบาดเจ็บควรประคบด้วยน้ำแข็ง หรือน้ำเย็นทันที (ภายใน 24-48 hr) ประคบนาน 20-30 min วันละ 2-3 ครั้ง [2] อาการที่ควรประคบเย็น เช่น ปวดศีรษะ มีไข้สูง ปวดฟัน ปวดบวมข้อเท้า ข้อเคล็ด เลือดกำเดาไหล หรือ ปวดบวมบริเวณอื่นๆ ที่เกิดจากการได้รับบาดเจ็บหรือเพิ่งมีอาการใหม่ๆ อาจใช้เจลสำหรับประคบร้อนเย็นแบบสำเร็จรูปหรือทำถุงน้ำแข็งขึ้นใช้เอง โดยการใช้ถุงพลาสติกขนาดพอเหมาะแล้วเติมน้ำเปล่าผสมน้ำแข็งอย่างละครึ่งลงไปในถุง อาจใช้การแช่ในภาชนะที่บรรจุน้ำเย็นแทน โดยแช่นานประมาณ 15-20 min [3] นอกจากนี้ยังมีนักวิจัยหลายท่านที่ศึกษาการใช้ความเย็นในการบำบัดรักษา

มุกพัฒนะ แสนสุข [4] ได้ศึกษาการจัดการความเจ็บปวดโดยการประคบเย็นในผู้ป่วยที่มีความปวดจากภาวะที่ผิดปกติของกล้ามเนื้อ กระดูก และข้อ กลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยในจำนวน 15 ราย โดยจะใช้เจลประคบเย็น (Cold Pack) ที่มีขนาด 100x228x13 mm อุณหภูมิ 12-19°C โดยผู้ป่วยจะได้รับการประคบเย็นในระยะ 48 hr จำนวน 6 ครั้ง โดยระยะ 24 hr ผลของการประคบเย็นสามารถลดความเจ็บปวด รู้สึกผ่อนคลายทำให้ผู้ป่วยสามารถนอนหลับได้ Eun-jung kim และคณะ [5] ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพและความปลอดภัยของการรักษาด้วยการใช้ความร้อนและความเย็นกับผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังส่วนล่างเรื้อรัง การรักษาด้วยความเย็นและความร้อน โดยอุณหภูมิความร้อนเท่ากับ 45°C และอุณหภูมิความเย็นเท่ากับ 15°C ผลการทดลองปรากฏว่าการกระตุ้นด้วยความร้อนหรือความเย็นสามารถรักษาอาการปวดกล้ามเนื้อและกระดูกสำหรับผู้ป่วยที่มีอาการปวดหลังส่วนล่างเรื้อรังได้ดี นภาภรณ์ ปิยขจรโรจน์ และบังอร ชาตริยานุโยค [6] ได้ทำการศึกษาการบำบัดด้วยความเย็น (Cryotherapy) โดยการทำ Basic Cooling Cuff อุปกรณ์ประกอบด้วยกระติกน้ำ (Cooler) ปั๊มน้ำตู้ปลา (Electric Pump) คัพ (Cuff) และ Urine Bag โดยนำ Urine Bag ต่อเข้าที่ตัวกระติกน้ำและใช้ปั๊มตู้ปลาเป็นตัวช่วยในการดูดน้ำจากกระติกไปยัง Urine bag ผลการทดลองพบว่าผู้ป่วยมีอาการปวดน้อยลง นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอการรักษาด้วยความเย็น [7]-[14] ซึ่งพบว่าการใช้ความเย็นรักษาสามารถลดความเจ็บปวดให้กับผู้ป่วยได้ จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการใช้ความเย็นรักษาสามารถบรรเทาอาการบาดเจ็บได้ โดยยังมีอีกหนึ่งวิธีรักษาด้วยความเย็นคือการพ่นลมเย็น ซึ่งง่ายและสะดวก สามารถพ่นลมเย็นรักษาเฉพาะจุดได้ แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นยังมีข้อมูลการพ่นลมเย็นค่อนข้างน้อย เครื่องพ่นลมเย็นทั่วไปที่ใช้อยู่ตามโรงพยาบาลยังมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็น และเพื่อศึกษาอุณหภูมิและความเร็วลม โดยเปรียบเทียบกับเครื่องพ่นลมเย็นทั่วไป

2. การคำนวณ

งานวิจัยนี้ใช้สารทำความเย็น R-404a โดยทำการออกแบบขนาดของคอมเพลสเซอร์เพื่อนำไปเปรียบเทียบหาขนาดจากบริษัทผู้ผลิตต่อไป มีตัวแปรการออกแบบได้แก่ อุณหภูมิอากาศภายในห้อง 25°C DB ความชื้นภายในห้อง 58% RH อุณหภูมิที่ต้องการ -30°C และ

อัตราการระบายอากาศ 0.44 CMM และมีสมการการออกแบบดังสมการที่ 1 - 5

การคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความร้อนสัมผัส [15] และการคำนวณหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความร้อนแฝง แสดงในสมการที่ 1-2

$$Q_s = 0.0201\text{CMM} \times \text{TD} \quad (1)$$

$$Q_l = 49.07\text{CMM} \times (\text{HR}_H - \text{HR}_L) \quad (2)$$

นำสมการที่ (1) และ (2) มาคำนวณหาขนาดของเครื่องอัดไอ ดังสมการที่ 3

$$Q_{Comp} = Q_s + Q_l \quad (3)$$

จากนั้นนำขนาดของเครื่องอัดไอมาคำนวณหาขนาดของเครื่องควบแน่นและคำนวณหาค่า COP ดังสมการที่ 4-5

$$Q_{Cond} = Q_{Comp} \times \text{factor of condenser} \quad (4)$$

$$\text{COP} = \frac{Q_{evap}}{Q_{Comp}} \quad (5)$$

3. ส่วนประกอบของเครื่อง จุดวัดอุณหภูมิ

หลักการทำงาน วิธีการทดลอง และเครื่องมือวัด

3.1 ส่วนประกอบของเครื่องบำบัดรักษาด้วยความเย็นและความร้อน

เครื่องบำบัดรักษาด้วยความเย็นและความร้อนมีขนาดกว้าง x ยาว x สูง = 60 x 80 x 100 cm และมีกล่องสำหรับกักเก็บลมเย็นขนาด 25 x 35 x 80 cm ดังรูปที่ 1 ขนาดห้องที่ใช้ทดสอบ กว้าง x ยาว x สูง = 6 x 8 x 3 m ควบคุมอุณหภูมิโดยเครื่องปรับอากาศขนาด 36,000 Btu จำนวน 2 เครื่อง

1) เครื่องอัดไอ (Compressor)

เครื่องอัดไอเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่หมุนเวียนสารทำความเย็นในระบบ งานวิจัยนี้ใช้เครื่องอัดไอ KULTHORN WJ2440ZK ขนาด 3,300 Btu โดยใช้สารทำความเย็น R-404a

2) เครื่องควบแน่น (Condenser)

เครื่องควบแน่นเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็นเพื่อควบแน่นเป็นของเหลว งานวิจัยนี้ใช้เครื่องควบแน่นขนาด 5,300 Btu

3) ท่อรูเข็ม (Capillary Tube)

ท่อรูเข็มเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ฉีดสารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นของเหลวเข้าในเครื่องระเหย

4) เครื่องระเหย (Evaporator)

เครื่องระเหยเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดูดความร้อนออกจากบริเวณรอบ ๆ เพื่อทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอและทำให้บริเวณใกล้เคียงเกิดความเย็น [16] โดยขนาดของเครื่องระเหยใช้ขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเครื่องอัดไอ เป็นเครื่องระเหยชนิดที่ใช้กับห้องแช่เย็น

3.2 ตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความดันภายในเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็น

โดยกำหนดตำแหน่งการวัด ดังรูปที่ 1, 2, 3 จุดวัดอุณหภูมิและความดัน ดังต่อไปนี้

T1, P1 = การวัดอุณหภูมิและความดันที่เข้าเครื่องอัดไอ

T2, P2 = การวัดอุณหภูมิและความดันที่ออกจากเครื่องอัดไอ

T3, P3 = การวัดอุณหภูมิและความดันที่เข้าเครื่องควบแน่น

T4, P4 = การวัดอุณหภูมิและความดันที่ออกจากเครื่องควบแน่น

T5, P5 = การวัดอุณหภูมิและความดันที่เข้าเครื่องระเหย

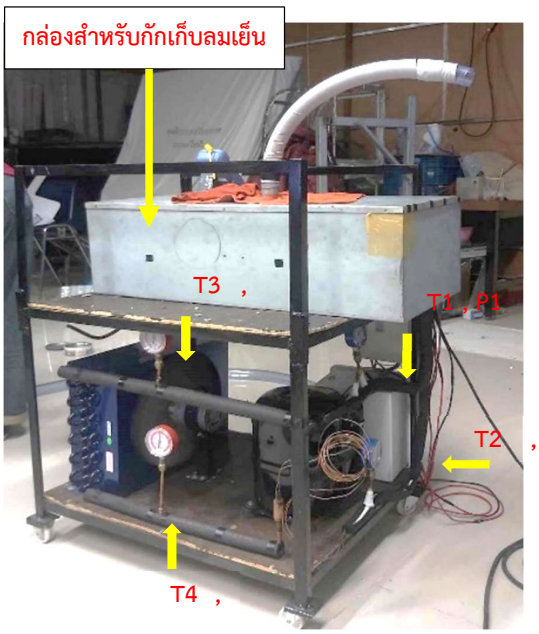
T6, P6 = การวัดอุณหภูมิและความดันที่ออกจากเครื่องระเหย

T7 = การวัดอุณหภูมิความเย็นที่ท่อพ่นลมเย็น

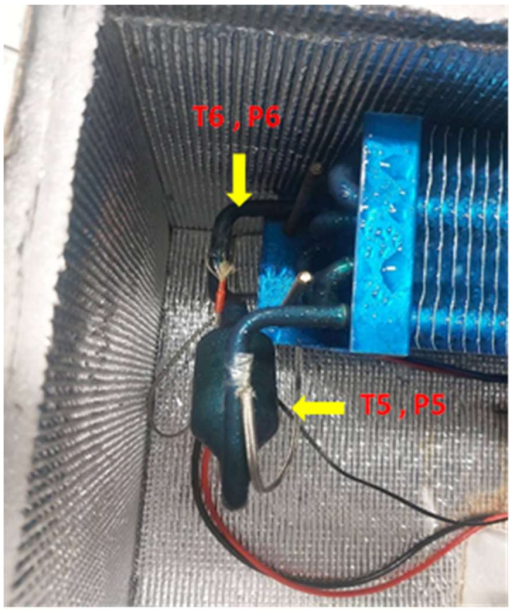
T8 = การวัดอุณหภูมิภายในกล่องเก็บความเย็น

T9 = การวัดอุณหภูมิภายนอก

รูปที่ 1 ส่วนประกอบของระบบและจุดวัดอุณหภูมิและความดัน



รูปที่ 2 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความดันภายนอก



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิและความดันภายใน

3.3 หลักการทำงานของเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็น

1) เมื่อเปิดสวิตช์การทำงาน จะเริ่มต้นจากเครื่องอัดไอจะดูดสารทำความเย็นสถานะเป็นไอ เข้าทางด้านดูดของเครื่องอัดไอและอัดให้มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงผ่านทางด้านส่ง

2) จะส่งสารทำความเย็นผ่านท่อไปยังเครื่องควบแน่น เพื่อระบายความร้อนออกจากสารทำความเย็น เมื่อถึงจุดควบแน่นสารทำความเย็นจะเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลว

3) เครื่องควบแน่นจะส่งสารทำความเย็นไปยังท่อรูเข็ม เพื่อลดความดันของสารทำความเย็นและส่งไปยังเครื่องระเหย

4) เครื่องระเหยจะดูดความร้อนออกจากบริเวณรอบ ๆ ไปใช้เป็นความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นจากของเหลวเป็นไอ

5) เมื่อได้อุณหภูมิที่ต้องการ จากนั้นเปิดสวิตช์ควบคุมการทำงานของโบลเวอร์ โบลเวอร์จะดูดความเย็นส่งผ่านท่อพ่นลมเย็น ไปยังจุดที่ต้องการ

6) สารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องระเหยจะถูกส่งไปยังเครื่องอัดไออีกครั้ง

3.4 วิธีการทดลอง

1) ทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิเข้ากับกล่องเก็บความเย็นโดยใช้สายเทอร์โมคัปเปิล type k ทำการทดลองด้วยความเย็นที่อุณหภูมิ -20°C

2) เปิดเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็น

3) รอจนกระทั่งอุณหภูมิได้ตามที่กำหนดไว้

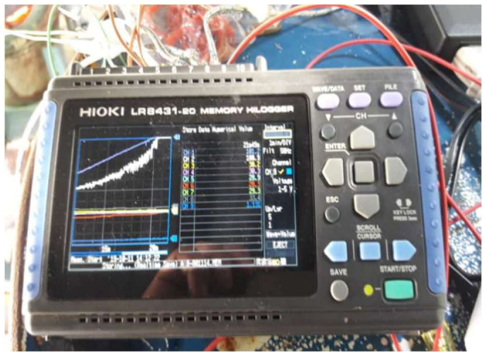
4) บักทึกค่าอุณหภูมิที่ความเร็วลม 5-20 m/s

5) นำการทดลองที่ได้มาใช้ในการคำนวณ

6) สรุปผลการทดลองและทำการวิเคราะห์ผล

3.5 เครื่องมือวัด

1) เครื่องมือบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ HIOKI LRB8431-20 รับสัญญาณได้ 10 ช่อง บันทึกข้อมูลในเมมโมรี่การ์ดขนาด 2 GB ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 เครื่องมือบันทึกข้อมูล

2) เครื่องวัดความเร็วลมแบบใช้ลวดนำความร้อน (Hot-Wire Air Velocity Meter) Tenmars TM-4002 ดังรูปที่ 5

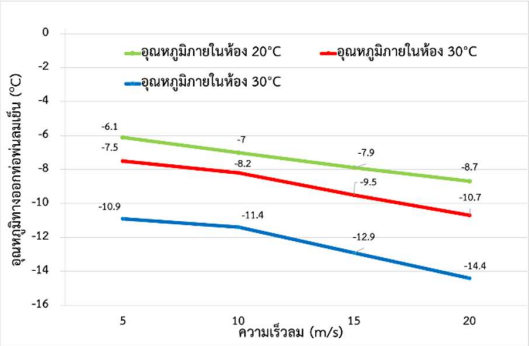
รูปที่ 5 เครื่องวัดความเร็วลม

3) สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K เซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิ ประกอบด้วย ลวดโลหะตัวนำ 2 ชนิด ที่แตกต่างกันมาเชื่อมปลายข้างหนึ่งด้วยกัน ดังรูปที่ 6

รูปที่ 6 สายเทอร์โมคัปเปิ้ลชนิด K

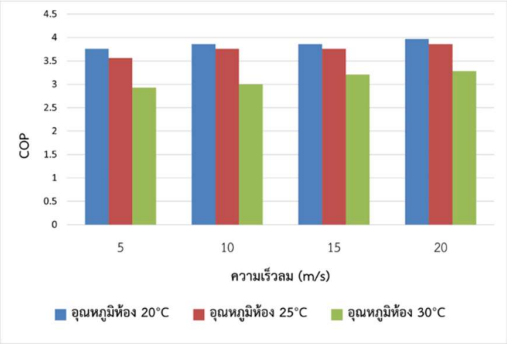
4. ผลการทดลอง

ผลการทดลองเปรียบเทียบของเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นอุณหภูมิภายในห้อง 20°C, 25°C และ 30°C เนื่องจากเป็นอุณหภูมิห้องที่ใช้งานจริง แสดงในรูปที่ 7 - 8



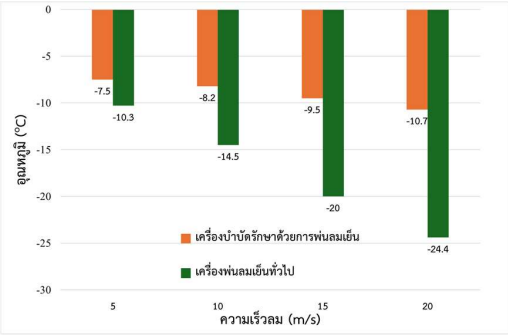
รูปที่ 7 การเปรียบเทียบอุณหภูมิทางออกท่อพ่นลมเย็นและความเร็วลมของเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นอุณหภูมิในห้อง 20°C, 25°C และ 30°C

จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิที่ได้ลดต่ำลง เนื่องจากสามารถพาความเย็นได้ดีขึ้น และอุณหภูมิภายในห้องเท่ากับ 20°C สามารถทำอุณหภูมิได้ต่ำที่สุด เนื่องจากระบบมีการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่นได้ดี



รูปที่ 8 การเปรียบเทียบค่า COP อุณหภูมิภายในห้อง 20°C, 25°C และ 30°C

จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิห้องส่งผลต่อค่า COP มากกว่าความเร็วลม โดยค่า COP แต่ละความเร็วลมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และค่า COP สูงที่สุดที่อุณหภูมิห้อง 20°C และที่ความเร็วลม 20 m/s มีค่า COP สูงสุดที่ 3.98 จึงอาจกล่าวได้ว่าอุณหภูมิห้องมีผลต่ออุณหภูมิลมเย็นและค่า COP ของเครื่อง



รูปที่ 9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิและความเร็วลมของเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นราคาประหยัดกับเครื่องพ่นลมเย็นทั่วไป ที่อุณหภูมิภายในห้อง 25°C

จากรูปที่ 9 แสดงค่าอุณหภูมิและความเร็วลมที่ 5-20 m/s เครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นราคาประหยัดสามารถทำอุณหภูมิได้ -7.5°C ถึง -10.7°C ส่วนเครื่องพ่นลมเย็นทั่วไปสามารถทำอุณหภูมิได้ -10.3°C ถึง -24.4°C

จากการเปรียบเทียบงานวิจัยนี้กับเครื่องพ่นลมเย็นทั่วไป พบว่าอุณหภูมิที่ได้ยังสูงกว่าที่ความเร็วลมเดียวกัน เหตุผลเนื่องจาก 1. งานวิจัยนี้ใช้การดูดความเย็นภายในห้องเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งอาจทำให้การพาความเย็นจากแผงเครื่องระเหยไม่ดีเท่าที่ควร ควรเปลี่ยนเป็นเป่าลมผ่านเครื่องระเหยแทน 2. ลักษณะของเครื่องระเหยเป็นแบบทรงสี่เหลี่ยมยาว พื้นที่สัมผัสระหว่างลมและเครื่องระเหยมีน้อย ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากเป็นเครื่องระเหยที่หาซื้อตามท้องตลาด จึงควรออกแบบเครื่องระเหยโดยเฉพาะ 3. กล่องสำหรับกักเก็บลมเย็นมีขนาดใหญ่เกินไป เนื่องจากต้องครอบคลุมเครื่องระเหย ส่งผลให้มีภาระการทำความ

เย็นมาก จึงควรออกแบบให้มีขนาดเล็กที่สุด 4. ควรใช้ฉนวนที่มีความหนาเพิ่มขึ้นเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน 5. ท่อส่งลมเย็นควรมีการหุ้มฉนวนหรือเป็นชนิดป้องกันการแลกเปลี่ยนความร้อน 6.โครงสร้างเครื่องมีขนาดใหญ่เกินไป จึงควรพัฒนาให้มีขนาดกระทัดรัดเคลื่อนย้ายง่าย เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนของเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นราคาประหยัดอยู่ที่ประมาณ 20,000 บาท ส่วนเครื่องพ่นลมเย็นทั่วไปราคาอยู่ที่ประมาณ 150,000 บาท ซึ่งมีราคาต่ำกว่ามาก

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นราคาประหยัด โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 แบบ คือ การทดลองในห้องควบคุมอุณหภูมิ 20°C 25°C และ 30°C ที่ความเร็วลม 5 10 15 และ 20 m/s ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิห้อง 20°C ความเร็วลม 20 m/s เครื่องฯมี COP สูงที่สุด 3.83 เนื่องจากอุณหภูมิห้องต่ำจึงทำให้ระบบมีค่า COP สูงที่สุด นอกจากนี้ยังได้มีการเปรียบเทียบระหว่างเครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นราคาประหยัดและเครื่องพ่นลมเย็นทั่วไป ผลการทดลองพบว่า งานวิจัยนี้สามารถทำอุณหภูมิได้ -7.5°C ถึง -10.7°C ขณะที่เครื่องพ่นลมเย็นทั่วไปสามารถทำอุณหภูมิได้ -10.3°C ถึง -24.4°C จากข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่างานวิจัยนี้ยังทำอุณหภูมิให้ต่ำได้ไม่เท่ากับเครื่องพ่นลมเย็นทั่วไป จึงควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ตามสัญญาเลขที่ NKR2566INC053 และขอบคุณสาขาวิศวกรรมพลังงานและการปรับอากาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์การทดลองในการทำวิจัยในครั้งนี้

7. รายการสัญลักษณ์

Q	อัตราการถ่ายเทความร้อน [kW]
T	จุดวัดอุณหภูมิ [°C]

คำย่อ

CMM	ลูกบาศก์เมตรต่อนาที [m^3 min^{-1}]
TD	อุณหภูมิแตกต่าง [°C]
HR	อัตราส่วนความชื้น [kg $kg_{dry\ air}$]
COP	สัมประสิทธิ์สมรรถนะ

ตัวกำกับล่าง

comp	เครื่องอัดไอ
cond	เครื่องควบแน่น
evap	เครื่องระเหย
H	ด้านอุณหภูมิสูง
l	ความร้อนแฝง
L	ด้านอุณหภูมิต่ำ
s	ความร้อนสัมผัส

8. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Wiwattanawongwana. (2024, Sep. 10). “What causes tendonitis,” Dr. Sutt Clinic [Online]. Available: https://drsuttclinic.com

[2] Pawinee. (2024, Oct. 6). How do you know whether to use a hot or cold compress, Health Systems Research Institute [Online]. Available: https://wwwold.hsri.or.th

[3] Food and Drug Administration. (2024, Nov. 13) “What symptoms require hot or cold compresses,” Ministry of Public Health [Online]. Available: https://dis.fda.moph.go.th

[4] M. Saensuk, “Cold compression for musculoskeletal pain management at inpatient department of Nongsung Hospital,

Mukdahan Province," M.N.S. thesis, Faculty of Nursing, Khon Kaen Univ., Khon Kaen, Thailand, 2009.

[5] E. J. Kim, Y. D. Choi, C. Y. Lim, K. H. Kim and S. Deok, "Effect of heating and cooling combination therapy on patients with chronic low back pain: Study protocol for a randomized controlled trial," College of Korean Medicine, pp. 1–26, Jun. 26, 2015.

[6] N. Piyakhacharoen and B. Chatriyanuyoke, "Basic cooling cuff," Dept. of Orthopedics, Faculty of Medicine, Ramathibodi Hospital, Mahidol Univ., Bangkok, Thailand, 2012.

[7] A. Sritep, "The effect of providing information combined with cryotherapy on pain of clavicle fracture patients," M.N.S. thesis, Faculty of Nursing, Chulalongkorn Univ., Bangkok, Thailand, 2007.

[8] L. P. Ling, "Evidence-based guidelines of using cryotherapy in reducing pain, knee swelling, and improving range of motion for patients after total knee replacement," M.N. thesis, Univ. of Hong Kong, Hong Kong, 2012.

[9] A. Thepphabutra and K. Subbalekha, "Satisfaction of oral surgical patients with cold compression using temperature-maintaining gel," *Thai Red Cross Nursing Journal*, vol. 2, pp. 119–131, Jul.–Dec. 2016.

[10] S. Eamchunprathip and T. Tepapal, "Effects of cold compression with self-efficacy on pain and recovery among patients receiving open reduction and internal fixation of femur," *Nursing Journal CMU*, vol. 44, no. 1, pp. 39–49, 2017.

[11] C. Bleakley, S. McDonough, E. Gardner, G. D. Baxter, J. T. Hopkins and G. W. Davison, "Cold-water immersion (cryotherapy) for preventing and treating muscle soreness after exercise," *Cochrane Database of Systematic Reviews*, vol. 2, Art. no. CD008262, 2012.

[12] Y. Pimban, O. Suttiart, and K. Wangkunprom, "Effects of pain management with cold compress in patients after leg bone fixation surgery in orthopedic wards," *Academic Journal of Mahasarakham Provincial Public Health Office*, vol. 5, no. 10, pp. 1–10, Apr.–Sep. 2021.

[13] J. Charoenbhakdi and W. Homla, "An innovative wonder cold pad for pain relief in patients with orthopedic surgery," *Thai Journal of Nursing*, vol. 70, no. 3, pp. 20–28, Dec. 2021.

[14] A. Doungkulsa, "Effectiveness of air pulsed cryotherapy on delayed onset muscle soreness," M.S. thesis, Graduate School, Chiang Mai Univ., Chiang Mai, Thailand, 2017.

[15] N. Kedkaw, *Air Conditioning*. Bangkok, Thailand: Amarin Corporations Public Co., Ltd., 2023.

[16] C. T. Siriwattana, *Refrigeration and Air Conditioning*. Bangkok, Thailand: TPA Publishing, 2017.

Srinakharinwirot University Engineering Journal (2026) 22(1), 77-92 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

การพัฒนาระบบทำรายการวัสดุเพื่อทำใบสั่งผลิตโดยใช้วีบีเอ บนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล กรณีศึกษา สินค้าม่านและมู่ลี่

Development of a Bill of Materials System for Production Order Management Using VBA in Microsoft Excel: A Case Study of Curtain and Venetian blinds Products

ชุติมน เตียสกุล บัณฑิตา จันทรกลั่น พุทธกร จันทร์ไพร กิตติชัย อธิกุลรัตน์*
ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนประชาราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
Chutimon Tiasakul Bantita Janklan Puttakorn Chanphai Kittichai Athikulrat*
Department of Materials Handling and Logistics Engineering, Faculty of Engineering King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Pracharat 1 Road, Wongsawang, Bangsue, Bangkok 10800
*Corresponding author Email: Kittichai.athi@gmail.com
(Received: April 11, 2025; Revised: September 29, 2025; Accepted: February 18, 2026)

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบทำรายการวัสดุเพื่อทำใบสั่งผลิตโดยใช้วีบีเอบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล กรณีศึกษาสินค้าม่านและมู่ลี่ จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลปัญหาจากบริษัทกรณีศึกษาพบว่ามีความผิดพลาดในการผลิตสินค้าและความล่าช้าในการสั่งผลิต จากนั้นทำการวิเคราะห์ถึงสาเหตุของปัญหาโดยใช้การวิเคราะห์ทำไม-ทำไม รวมถึงได้พัฒนากระบวนการสั่งผลิตโดยประยุกต์ใช้แผนภาพการไหลของข้อมูล สำหรับพัฒนาใบสั่งผลิตให้มีรายละเอียดที่ชัดเจนถึงรายการวัสดุและมีการคำนวนผลรวมจำนวนรายการวัสดุที่ถูกใช้ในการผลิตแต่ละคำสั่งซื้อ เมื่อถึงจุดสั่งซื้อที่กำหนด ระบบจะทำการคำนวนหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) เพื่อวางแผนการสั่งซื้อครั้งถัดไป ซึ่งการพัฒนาระบบฐานข้อมูลและระบบงานอัตโนมัติโดยใช้โปรแกรม Microsoft 365 ร่วมกับชุดคำสั่ง Visual Basic for Application หลังจากการปรับปรุงกระบวนการส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น ลดการเกิดของเสียหรือความผิดพลาดจากการผลิตร้อยละ 63.67 ประสิทธิภาพด้านเวลาในการสั่งผลิตม่านม้วน มู่ลี่ไม้ และมู่ลี่อะลูมิเนียมเพิ่มขึ้นร้อยละ 27.5 32.5 และ 22.85 ตามลำดับจากนั้นตัวแทนผู้ใช้งานระบบงานทำการประเมินความพึงพอใจพบว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจระดับมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยรวม เท่ากับ 4.2 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน

คำสำคัญ : ใบสั่งผลิต วีบีเอ รายการวัสดุ การวิเคราะห์ทำไม-ทำไม ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด

Abstract

This research aims to develop an automated material listing system for production orders using Visual Basic for Applications (VBA) within Microsoft Excel. The case study focuses on the production of curtain and venetian blinds. An analysis of the case study company revealed significant

issues with production errors and delays in placing orders. The root causes of these problems were analyzed using the "Why-Why" analysis technique. A new production ordering process was then developed by applying a data flow diagram to create a more detailed production order form. This form clearly lists the materials required for each customer order and calculates the total quantity of materials used. When the reorder point is reached, the system automatically calculates the Economic Order Quantity (EOQ) to optimize subsequent purchasing plans. The development of this database and automated system, using Microsoft 365 and Visual Basic for Applications, significantly improved process efficiency. The new system resulted in a 63.67% reduction in waste and production errors. Furthermore, it improved the production time efficiency for roller blinds, wooden blinds, and aluminum blinds by 27.5%, 32.5%, and 22.85%, respectively. A post-implementation user satisfaction survey indicated a high level of satisfaction, with an average score of 4.2 out of 5.0.

Keywords : Production order, VBA, Bill of Materials, Why-Why analysis, EOQ.

1. บทนำ

ธุรกิจผลิตและจำหน่าย ม่าน มู่ลี่ และอุปกรณ์รางม่านต่าง ๆ เป็นธุรกิจหนึ่งที่มีการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในด้านการผลิต คุณภาพ ต้นทุนการผลิต และการส่งมอบ เพื่อที่จะตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า เนื่องด้วยปัจจุบันธุรกิจนี้ มีจำนวนเพิ่มขึ้น การแข่งขันค่อนข้างสูง อีกทั้งกลุ่มลูกค้าส่วนใหญ่ต้องการให้มีการส่งมอบสินค้าด้วยระยะเวลาที่สั้น และสินค้ามีความถูกต้องตรงตามความต้องการของลูกค้า ดังนั้นการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าด้านความรวดเร็วในการส่งมอบสินค้าและความถูกต้อง จึงเป็นอีกกลยุทธ์หนึ่งขององค์กรที่จะทำให้เกิดข้อได้เปรียบทางการแข่งขัน และสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า [1] นอกจากนี้ การลดต้นทุนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต พบว่า การจัดการแผนการสั่งซื้อวัสดุที่เหมาะสมจัดเป็นอีกหนึ่งกลยุทธ์ในการปรับปรุงความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจเช่นกัน หากมีการกำหนดปริมาณวัสดุคงคลังที่มากเกินไปอาจส่งผลกระทบโดยตรงกับพื้นที่จัดเก็บและต้นทุนส่วนเกินในการสั่งซื้อวัสดุคงคลังที่เกินความจำเป็น [2] ในกรณีที่มีปริมาณวัตถุดิบคงคลังที่น้อยเกินไปก็อาจทำให้เกิดการขาดแคลนวัสดุในสายการผลิต ซึ่งจะส่งผลเสียในแง่ของการสูญเสียโอกาสในการขายสินค้าให้กับลูกค้าและต้องรับภาระค่าปรับหากส่งมอบสินค้าไม่ทันตามข้อตกลงและส่งผลต่อความเชื่อมั่นตลอดจนความพึงพอใจของลูกค้าอีกด้วย [3] ดังนั้นการจัดการแผนการสั่งซื้อจึงมีความสำคัญอย่างมากในการทำธุรกิจเพราะการวางแผนการสั่งซื้อสามารถหาวัตถุดิบที่มีคุณภาพมาใช้ในการผลิตได้ทันเวลา มีความต่อเนื่อง มีต้นทุนในการสั่งซื้อและสินค้าคงคลังต่ำที่สุด ทำให้ธุรกิจสามารถสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน[4] มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดซื้อ [5] และระบบอัตโนมัติต่าง ๆ [6] เพื่อช่วยผู้ประกอบการในการดำเนินธุรกิจ ทำให้สามารถลดต้นทุนและจัดการข้อมูลได้อย่างถูกต้องและเป็นปัจจุบัน

ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจผลิตและจำหน่าย ม่านม้วน มู่ลี่ไม้ มู่ลี่อะลูมิเนียม ม่านปรับแสง ประสบปัญหาการสั่งผลิตที่มีความล่าช้า และเกิดการผิดพลาดในการผลิตสินค้า เนื่องจากทางบริษัทขาดการนำระบบเข้ามาช่วยในการทำใบสั่งผลิต ทางบริษัทมีการบันทึกข้อมูลเป็นแบบ Manual อาศัยการกรอกข้อมูลและคำนวณจำนวนวัสดุด้วยตนเอง โดยมีรายละเอียดของรายการวัสดุที่ไม่ชัดเจนว่าต้องใช้รายการวัสดุใด จำนวนเท่าใด ทำให้พนักงานเกิดความสับสนและผิดพลาดในการตัดชิ้นส่วนไม้ อะลูมิเนียม แผ่นผ้าม่านต่าง ๆ เกินจำนวนที่ต้องการผลิต ตัดผิดขนาดมาตรฐานของ

บริษัท มีการเบิกจำนวนรายการวัสดุที่จะนำมาผลิตเกิดความผิดพลาด ซึ่งทำให้เกิดการเสียต้นทุนการผลิต รวมถึงเสียเวลาในการผลิตโดยไม่จำเป็น อีกทั้งทางบริษัทไม่มีระบบสนับสนุนในการวางแผนการสั่งซื้อวัสดุ

ดังนั้นผู้วิจัยมุ่งศึกษาการพัฒนาระบบโดยนำ Microsoft Visual Basic for Applications (VBA) มาทำรายการวัสดุเพื่อที่จะทำใบสั่งผลิตโดยมีข้อมูลรายละเอียดของรายการวัสดุที่ชัดเจนขึ้น มีการคำนวณผลรวมจำนวนรายการวัสดุที่ถูกใช้ในการผลิตแต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้า เมื่อถึงจุดสั่งซื้อที่กำหนด ทางบริษัทก็จะสามารถวางแผนการสั่งซื้อรายการวัสดุนั้น ๆ ได้ ซึ่งระบบจะทำการคำนวณโดยจะใช้วิธีการคำนวณหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) ที่ช่วยกำหนดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่ต้องการในแต่ละครั้ง ว่าควรจะสั่งซื้อในปริมาณเท่าไหร่จึงจะเหมาะสมกับความต้องการใช้งานและทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด เพื่อที่จะทำให้บริษัทมีความสะดวกและง่ายต่อการสั่งผลิตสินค้าและสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสม สามารถลดความผิดพลาดในการเบิกจำนวนรายการวัสดุ ลดความผิดพลาดในกระบวนผลิต เช่น ตัดชิ้นส่วนไม้ อะลูมิเนียม แผ่นผ้าม่านต่าง ๆ ที่เกินจำนวนและผิดขนาด รวมถึงกระบวนการสั่งผลิตมีความรวดเร็ว และสินค้าตรงตามความต้องการของลูกค้าได้ถูกต้อง [7]

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบทำรายการวัสดุเพื่อทำใบสั่งผลิตโดย Microsoft Visual Basic for Applications (VBA) บน Microsoft Excel ภายในบริษัทกรณีศึกษา

2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในการสั่งผลิตสินค้าสำหรับบริษัทกรณีศึกษา

3. เครื่องมือและวิธีการดำเนินงาน

3.1 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาเฉพาะภายในบริษัทกรณีศึกษา

2. ในการพัฒนาการสร้างใบสั่งผลิตและการวางแผนการสั่งซื้อ ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้โปรแกรม Visual Basic for applications (VBA) บน Microsoft Excel

3. โปรแกรมการสร้างใบสั่งผลิต ที่มีรายละเอียดของรายการวัสดุ รวมถึงข้อมูลจำนวนรายการสินค้าต่อคำสั่งซื้อของลูกค้า และการคำนวณผลรวมจำนวนรายการวัสดุที่ถูกใช้ในการผลิตแต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้า เมื่อถึงจุดสั่งซื้อที่กำหนด ทางบริษัทก็จะสามารถวางแผนการสั่งซื้อรายการวัสดุนั้น ๆ ได้ ซึ่งจะใช้ในบริษัทกรณีศึกษาเท่านั้น

4. ขอบเขตด้านข้อมูล เป็นข้อมูลที่ได้รับมาจากบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจผลิตและจำหน่ายม่านม้วน มู่ลี่ไม้ มู่ลี่อะลูมิเนียม โดยเป็นข้อมูลรายการวัสดุ (Bill of material) ทั้งหมด ข้อมูลความผิดพลาดของการผลิต ข้อมูลด้านเวลาในการผลิต โดยทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมีนาคม - เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567 และข้อมูลสำหรับใช้ในการคำนวณ ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่องมือการรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากรายงานการบันทึกการสั่งผลิตของทางบริษัท โดยมีการบันทึกเป็นรายเดือน ซึ่งรายงานนี้มีข้อมูลความถี่ของจำนวนสินค้าที่มีการผลิตผิดพลาดในแต่ละเดือน เวลาในการสั่งผลิตของสินค้าแต่ละประเภท ข้อมูลรายการวัสดุ (Bill of material) และข้อมูลสำหรับใช้ในการคำนวณ ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) พร้อมทั้งผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เทคนิค Why-Why Analysis เพื่อให้ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา และง่ายต่อการรวบรวม การวิเคราะห์ และแก้ไขปัญหา

3.2.2 เครื่องมือสำหรับการออกแบบและพัฒนาระบบการทำงาน

ผู้วิจัยใช้วิธีการรวบรวมข้อมูลใบสั่งผลิตที่บริษัทกรณีศึกษาใช้ในปัจจุบันจากผู้จัดการฝ่ายผลิตเพื่อออกแบบใบสั่งผลิตใหม่จากใบสั่งผลิตที่ใช้ในปัจจุบัน และออกแบบให้มีรายละเอียดของรายการวัสดุที่ชัดเจนขึ้น

รวมถึงเส้นทางการผลิต จากนั้นออกแบบให้ระบบการทำงานอัตโนมัติคำนวนรายการวัสดุในแต่ละใบสั่งผลิต และคำนวณรายการวัสดุที่ใช้ไป เมื่อถึงจุดสั่งซื้อซ้ำที่กำหนด ระบบการทำงานอัติโนมัติจะแสดงให้ผู้ใช้งานทราบว่าควรสั่งซื้อ และมีระบบการคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด

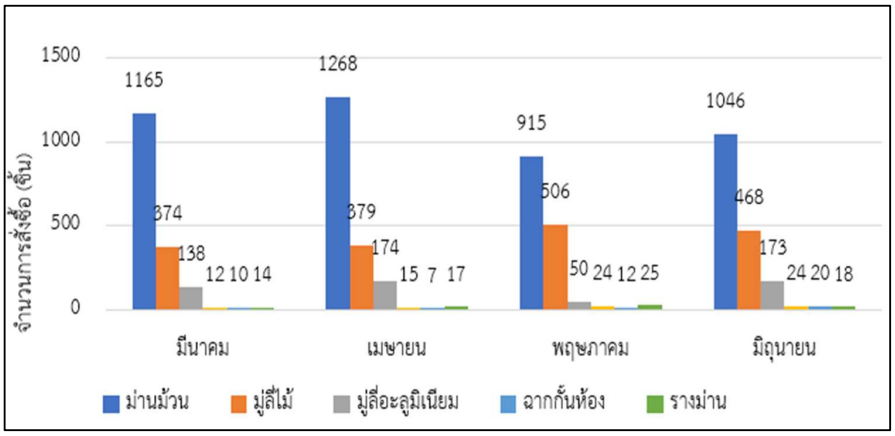
3.2.3 แบบประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ระบบการทำงานโปรแกรม

ผู้วิจัยจะทำการประเมินด้วยแบบสอบถามการประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งาน ว่ามีความพึงพอใจระดับใด โดยลักษณะการสอบถามจะเป็นคำถามที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และเป็นการให้คะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale โดยผู้ทำแบบสอบถามความพึงพอใจ คือ พนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำใบสั่งผลิตของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งประกอบด้วยแผนก Roller Blinds จำนวน 6 คน แผนก Curtains จำนวน 2 คน แผนก Wooden Blinds จำนวน 4 คน แผนก Aluminum Blinds จำนวน 3 คน แผนก Curtain Tape Sample Work จำนวน 2 คน รวมจำนวนทั้งสิ้น 17 คน

3.3 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

3.3.1 ศึกษาสภาพทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาที่ทำการศึกษามีรูปแบบการผลิตเป็นแบบสั่งผลิตตามคำสั่งซื้อของลูกค้า (Made to order) โดยนำข้อมูลการสั่งซื้อจากลูกค้าทุกรายมารวมกัน ลูกค้าทั้งหมดสั่งซื้อสินค้าชนิดใด จำนวนเท่าไร กำหนดส่งสินค้าเมื่อไร ข้อมูลต่างๆเหล่านี้จะนำมาพิจารณาเพื่อวางแผนการผลิต การทำใบสั่งผลิตออกมาและแจ้งกำหนดส่งให้กับลูกค้า แสดงดังรูปที่ 1 ส่วนการผลิตอีกรูปแบบ คือ การผลิตเพื่อสต๊อก (Made to stock) เนื่องจากธุรกิจผลิตและจำหน่าย ม่าน มู่ลี่ และอุปกรณ์รางม่านต่าง ๆ มีการพัฒนาและปรับปรุงอย่างต่อเนื่องในด้านการผลิต คุณภาพ ต้นทุนการผลิต และการส่งมอบ เพื่อที่จะตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า



รูปที่ 1 กราฟแสดงจำนวนการสั่งผลิตสินค้าแต่ละประเภทของบริษัทกรณีศึกษา

ปัจจุบันทางบริษัทมีการบันทึกข้อมูลเป็นแบบ Manual อาศัยการกรอกข้อมูลด้วยตนเอง โดยมีรายละเอียดของรายการวัสดุที่ไม่ชัดเจนว่าต้องใช้รายการวัสดุใด จำนวนเท่าใด ทำให้พนักงานเกิดความสับสนและผิดพลาดในการตัดชิ้นส่วนเกินจำนวนที่ต้องการผลิต ตัดผิดขนาดมาตรฐานของบริษัท และการเบิกจำนวนรายการวัสดุที่จะนำมาผลิตเกิดความผิดพลาด ซึ่งทำให้เกิดการเสียต้นทุนการผลิต และเสียเวลาในการผลิตโดยไม่จำเป็น

จากการศึกษาสภาพทั่วไปของบริษัทกรณีศึกษา พบประเด็นปัญหาที่ต้องการแก้ไขเนื่องจากส่งผลกระทบกับบริษัทในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาในเรื่องของ การสั่งผลิตที่มีความล่าช้า และเกิดการผิดพลาดในการผลิตสินค้า

โดยผู้จัดทำได้รวบรวมข้อมูลการเกิดความผิดพลาดของการผลิตย้อนหลังในช่วงเดือนมีนาคม-เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567 ดังแสดงในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

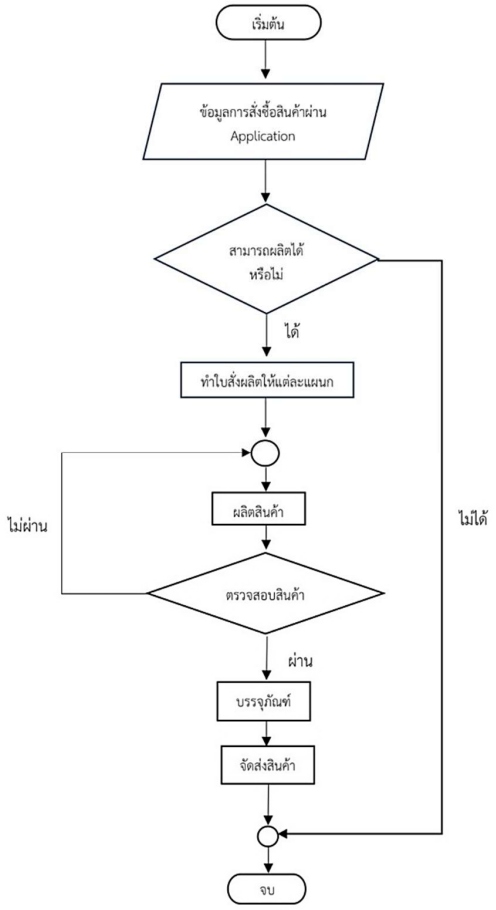
ตารางที่ 1 ข้อมูลการสั่งผลิตสินค้าประเภท ม่านม้วน มู่ลี่ไม้ และมู่ลี่อะลูมิเนียม ย้อนหลัง (หน่วย : ชิ้น) ในช่วงเดือนมีนาคม - เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567

ประเภท / เดือน	ม่านม้วน	มู่ลี่ไม้	มู่ลี่อะลูมิเนียม	รวม (ชิ้น)
มีนาคม	1,165	374	138	1,677
เมษายน	1,268	379	174	1,821
พฤษภาคม	915	506	50	1,471
มิถุนายน	1,046	468	173	1,687

ตารางที่ 2 ข้อมูลการเกิดความผิดพลาดของการผลิต ของสินค้าประเภท ม่านม้วน มู่ลี่ไม้ และมู่ลี่อะลูมิเนียม (หน่วย: ชิ้น) ย้อนหลัง ในช่วงเดือนมีนาคม - เดือนมิถุนายน พ.ศ.2567

จำนวนงานแก้ไข (ชิ้น)	ม่านม้วน	มู่ลี่ไม้	มู่ลี่อะลูมิเนียม	รวม	ข้อผิดพลาด (ร้อยละ)
มีนาคม	15	22	15	52	3.10
เมษายน	11	13	8	32	1.76
พฤษภาคม	11	20	3	34	2.31
มิถุนายน	11	40	5	56	3.32

จากตารางที่ 1 แสดงถึงข้อมูลการสั่งผลิตสินค้า 3 ประเภท ประกอบด้วย ม่านม้วน มู่ลี่ไม้ และมู่ลี่อะลูมิเนียม เนื่องจากสินค้าทั้ง 3 ประเภท มีจำนวนการสั่งซื้อที่มากสุดสามอันดับแรก และมีจำนวนการสั่งซื้อที่มากกว่าสินค้าประเภทอื่น ๆ ทั้งนี้ ปริมาณการสั่งซื้อที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้โอกาสในการเกิดข้อผิดพลาดหรือของเสียจากกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องได้รับการพิจารณาในการบริหารจัดการกระบวนการผลิตและเวลาในการสั่งผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงการสั่งผลิตสินค้าก่อนปรับปรุง

3.3.2 เก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ปัญหา

จากการศึกษาสภาพทั่วไปของบริษัท พบประเด็นปัญหาที่ต้องการแก้ไขคือ ปัญหาในเรื่องของการสั่งผลิตที่มีความล่าช้า และเกิดการผิดพลาดในการผลิตสินค้า โดยผู้จัดทำได้รวบรวมข้อมูลการเกิดความผิดพลาดของการผลิตย้อนหลังในช่วงเดือนมีนาคม - เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567 ของสินค้าประเภท ม่านม้วน มู่ลี่ไม้ และมู่ลี่อะลูมิเนียม พบว่า ในเดือนมีนาคม มีการสั่งผลิตสินค้าแสงรวมทั้งสิ้น 1,677 ชิ้น ได้เกิดความผิดพลาดของการผลิตที่ต้องแก้ไขถึง 52 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นจำนวนของเสียร้อยละ 3.10 ในเดือนเมษายน มีการสั่งผลิตสินค้ารวมทั้งสิ้น 1,821 ชิ้น ได้เกิดความผิดพลาดของการผลิตที่ต้องแก้ไขถึง 32 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นจำนวนของเสียร้อยละ 1.76 ในเดือนพฤษภาคม มีการสั่งผลิตสินค้ารวมทั้งสิ้น 1,471 ชิ้น ได้

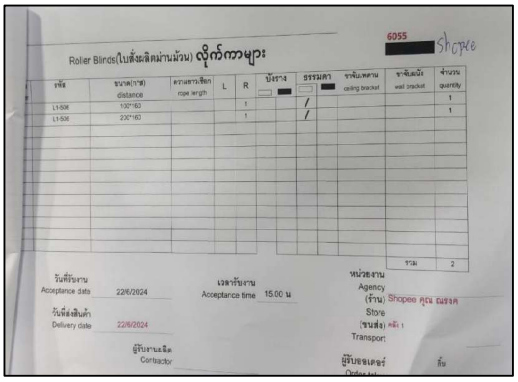
เกิดความผิดพลาดของการผลิตที่ต้องแก้ไขถึง 34 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นจำนวนของเสียร้อยละ 2.31 และในเดือนมิถุนายนมีการสั่งผลิตสินค้ารวมทั้งสิ้น 1,687 ชิ้น ได้เกิดความผิดพลาดของการผลิตที่ต้องแก้ไขถึง 56 ชิ้น ซึ่งคิดเป็นจำนวนของเสียร้อยละ 3.32 ดังแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 รวมถึงเวลาในการสั่งผลิตของสินค้าแต่ละประเภทดังแสดงในตารางที่ 3 เนื่องจากทางบริษัทขาดการนำระบบเข้ามาช่วยในการทำใบสั่งผลิต ดังแสดงในรูปที่ 2 แสดงแผนภาพการผลิตสินค้าก่อนการปรับปรุงและทางบริษัทมีการบันทึกข้อมูลเป็นแบบ Manual อาศัยการกรอกข้อมูลด้วยตนเอง ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งปัญหาเหล่านี้เป็นปัญหาหลักที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกปัญหาเหล่านี้มาวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาโดยใช้เทคนิค Why-Why Analysis และหาแนวทางการแก้ไข ตลอดจนการกำหนดการแก้ไขต่อไป

ตารางที่ 3 ตารางเวลาในการสั่งผลิตของสินค้าประเภทม่านม้วน มู่ลี่ไม้ และมู่ลี่อะลูมิเนียม

ประเภทสินค้า	เวลาในการสั่งผลิต (นาที)	เฉลี่ย (นาที)
ม่านม้วน	15-25	20
มู่ลี่ไม้	15-25	20
มู่ลี่อะลูมิเนียม	15-20	17.5

3.3.2.1 การเก็บข้อมูล

ปัญหาการสั่งผลิตที่มีความล่าช้า และเกิดความผิดพลาดในการผลิตสินค้า ของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้รวบรวมข้อมูลจากรายงานการบันทึกการสั่งผลิตของทางบริษัท โดยมีการบันทึกเป็นรายเดือน ซึ่งรายงานนี้มีข้อมูลความถี่ของจำนวนสินค้าที่มีการผลิตผิดพลาดในแต่ละเดือน แสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 เวลาในการสั่งผลิตของสินค้าแต่ละประเภท ดังแสดงตารางที่ 3 ข้อมูลรายการวัสดุ (Bill of material) และ ข้อมูลสำหรับใช้ในการคำนวณ ปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่ต้องการในแต่ละครั้ง ว่าควรจะสั่งซื้อในปริมาณเท่าไหร่จึงจะเหมาะสมกับความต้องการใช้งานและเกิดต้นทุนต่ำที่สุด



รูปที่ 3 ตัวอย่างใบสั่งผลิต ก่อนการปรับปรุง

3.3.2.2 การวิเคราะห์ปัญหา

จากข้อมูลความผิดพลาดของการผลิตสินค้าที่เกิดขึ้นและความล่าช้าในการสั่งผลิต ผู้วิจัยจึงได้มีการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เทคนิค Why-Why Analysis เพื่อให้ทราบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา และง่ายต่อการรวบรวม การวิเคราะห์ และแก้ไขปัญหา [8] ดังตารางที่ 4

จากตารางที่ 4 หลังจากที่ได้นำปัญหาที่ได้มาหาสาเหตุและวิธีการแก้ปัญหา โดยใช้วิธีวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เทคนิค Why-Why Analysis จะพบว่าเมื่อค้นหาต้นเหตุของปัญหา ปัญหามีสาเหตุปัจจัยเดียวกันและบางปัญหากลับเป็นสาเหตุของอีกปัญหา ดังนี้

ปัญหาที่ 1 ความผิดพลาดในการผลิตสินค้า แนวทางแก้ไขคือ นำ VBA มาทำรายการวัสดุเพื่อที่จะทำใบสั่งผลิตโดยมีข้อมูลรายละเอียดของรายการวัสดุที่ชัดเจนและมีข้อมูลจำนวนรายการสินค้าต่อคำสั่งซื้อของลูกค้าแสดงในใบสั่งผลิตด้วย

ปัญหาที่ 2 ความล่าช้าในการสั่งผลิต แนวทางแก้ไขคือ นำ VBA มาทำรายการวัสดุเพื่อที่จะทำใบสั่งผลิตโดยมีข้อมูลรายละเอียดของรายการวัสดุที่ชัดเจน และมีข้อมูลจำนวนรายการสินค้าต่อคำสั่งซื้อของลูกค้าแสดงในใบสั่งผลิตด้วย พร้อมอบรมพนักงานให้มีความชำนาญในการผลิตมากขึ้น

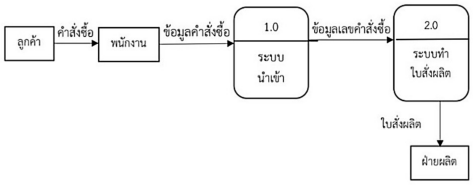
ตารางที่ 4 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาโดยใช้เทคนิค Why-Why Analysis

ปัญหา	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	แนวทางการแก้ไข
ความผิดพลาดในการผลิตสินค้า	พนักงานมีความสับสนเกี่ยวกับจำนวนในใบสั่งผลิต	ใบสั่งผลิตรายละเอียดของรายการวัสดุที่ไม่ชัดเจนว่าต้องใช้รายการวัสดุใดจำนวนเท่าใด	บริษัทมีการบันทึกข้อมูลเป็นแบบ Manual อาศัยการกรอกข้อมูลด้วยตัวเอง	-	นำ VBA มาทำรายการวัสดุเพื่อที่จะทำใบสั่งผลิตโดยมีข้อมูลรายละเอียดของรายการวัสดุที่ชัดเจน และมีข้อมูลจำนวนรายการสินค้าต่อคำสั่งซื้อของลูกค้า
ความล่าช้าในการสั่งผลิต	พนักงานทำการหยิบสินค้าผิดพลาด หยิบเกินจำนวน ทำให้ต้องทำการหยิบวัสดุใหม่เรื่อยๆ	พนักงานมีความสับสนเกี่ยวกับจำนวนรายการวัสดุในใบสั่งผลิต	ใบสั่งผลิตรายละเอียดของรายการวัสดุที่ไม่ชัดเจนว่าต้องใช้รายการวัสดุใดจำนวนเท่าใด	บริษัทมีการบันทึกข้อมูลเป็นแบบ Manual อาศัยการกรอกข้อมูลด้วยตัวเอง	นำ VBA มาทำรายการวัสดุเพื่อที่จะทำใบสั่งผลิตโดยมีข้อมูลรายละเอียดของรายการวัสดุที่ชัดเจน และมีข้อมูลจำนวนรายการสินค้าต่อคำสั่งซื้อของลูกค้า

3.4 นำเสนอแนวทางการแก้ไข

จากการวิเคราะห์ปัญหาและสาเหตุของปัญหาผู้วิจัยจึงได้นำเสนอ VBA เพื่อช่วยในการทำใบสั่งผลิตสินค้าเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยเริ่มจากการสร้างระบบฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยมีรายการวัสดุที่ใช้ในแต่ละรายการสินค้า และจำนวนวัสดุในแต่ละขนาดของผลิตภัณฑ์ และสร้างข้อกำหนดโดยรวมของใบสั่งผลิตให้อยู่ในรูปแบบเอกสารมาตรฐานการผลิต เพื่อชี้แจงให้หน่วยงาน หรือบุคคลที่เกี่ยวข้องได้ทราบถึงข้อมูลร่วมกันอย่างถูกต้อง และเพิ่มรายละเอียดข้อมูลผลิตภัณฑ์จากเดิม เพื่อทำให้พนักงานสามารถมั่นใจได้ว่าเป็นการสั่งผลิตที่ตรงกับความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นการลดความผิดพลาดของงาน และลดปัญหาการทำงานที่ซ้ำซ้อน จากนั้นทำการบันทึก และรวบรวมข้อมูลทั้งหมดไว้ในระบบฐานข้อมูลส่วนกลาง เมื่อมีการสั่งซื้อสินค้าจากลูกค้าพนักงานมีหน้าที่เพียงคีย์รหัสสินค้า และข้อมูลต่าง ๆ เช่น สีของวัสดุต่าง ๆ และขนาดสินค้า ให้ถูกต้องตามความต้องการของลูกค้าลงในระบบ จากนั้นระบบจะทำการประมวลผล คำนวณจำนวนวัสดุที่ต้องใช้ และทำการพิมพ์ใบสั่งผลิตสินค้า ซึ่งแผนภาพกระแสข้อมูลของระบบทำ

ใบสั่งผลิตทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 4 ดังนั้นจะได้ใบสั่งผลิตที่มีรายละเอียดที่ชัดเจน ถูกต้อง และมีรายละเอียดของจำนวนรายการวัสดุต่อคำสั่งซื้อของลูกค้าทุก ๆ คำสั่งซื้อ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถลดเวลาในการทำงาน เพิ่มความแม่นยำของการทำใบสั่งผลิต และลดข้อผิดพลาดที่เกิดจากพนักงาน จากเดิมกระบวนการทำใบสั่งผลิต พนักงานจะเป็นผู้คำนวณและเป็นการคำนวณเอง เป็นการใช้ VBA (Visual Basic for Applications) บน Excel เพื่อแก้ไขสาเหตุของปัญหาที่ได้จากการใช้เครื่องมือข้างต้นมาวิเคราะห์ และมีการใช้ VBA บน Excel ในการคำนวณผลรวมจำนวนรายการวัสดุที่ถูกใช้ในการผลิตแต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้า เมื่อถึงจุดสั่งซื้อที่กำหนด (Reorder Point) ทางบริษัทก็จะสามารถวางแผนการสั่งซื้อรายการวัสดุนั้นๆได้ โดยใช้วิธีการหาปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) ที่ช่วยกำหนดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่ต้องการในแต่ละครั้ง ว่าควรจะสั่งซื้อในปริมาณเท่าไหร่จึงจะเหมาะสมกับความต้องการใช้งานและเกิดต้นทุนต่ำที่สุด เพื่อที่จะทำให้บริษัทมีความสะดวกและง่ายต่อการสั่งผลิตสินค้าและสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสม รูปที่ 5 แสดงแผนภาพการสั่งผลิตสินค้าหลังใช้ระบบอัตโนมัติ

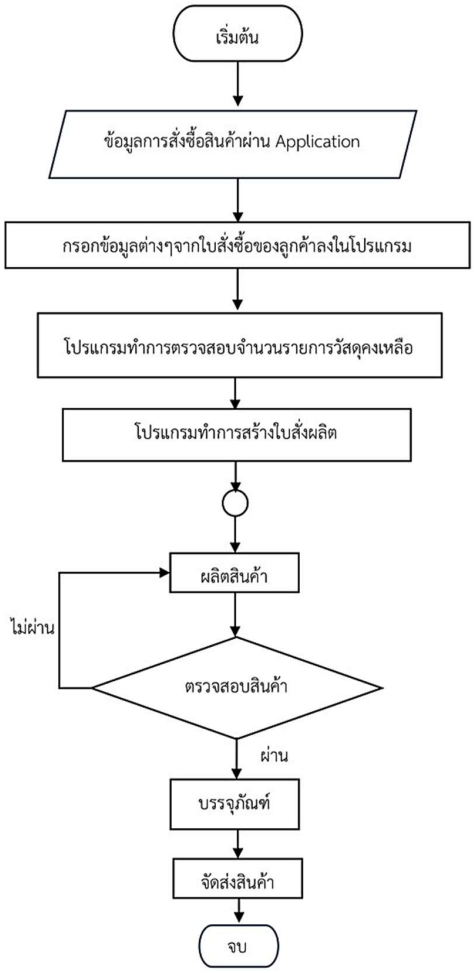


รูปที่ 4 แผนภาพกระแสข้อมูลระดับ Diagram 0 ของระบบการทำใบสั่งผลิต

3.5 ออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูลและระบบการทำงาน

นำข้อมูลที่วิเคราะห์ปัญหาด้วยหลักการ Why-Why Analysis มาประกอบในการออกแบบและพัฒนาฐานข้อมูล และระบบอัตโนมัติในการทำใบสั่งผลิต รวมถึงคำนวณจำนวนรายการวัสดุที่ถูกใช้ในการผลิตแต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้า ให้มีประสิทธิภาพโดยใช้ Visual Basic for Applications (VBA) บน Microsoft Excel [9]-[12] ซึ่งฐานข้อมูล และระบบการทำงานอัติโนมัติจะมาช่วยสนับสนุนการทำงานดังนี้

1. ลดขั้นตอนการทำงานที่ซ้ำซ้อน และการใช้ทรัพยากรให้คุ้มค่า
2. มีศูนย์กลางของข้อมูลที่ผู้เกี่ยวข้องสามารถใช้งานร่วมกันได้
3. การออกเอกสาร หรือทำใบสั่งผลิตที่ทำขึ้นมีความถูกต้อง และรวดเร็ว
4. ช่วยพัฒนาการวางแผนการสั่งซื้อวัสดุให้มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 5 แผนภาพแสดงการสั่งผลิตสินค้าหลังใช้ระบบอัตโนมัติ

3.5.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบฐานข้อมูล

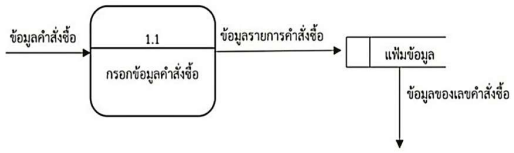
ผู้วิจัยได้สอบถามข้อมูลจากผู้จัดการฝ่ายผลิตบริษัทกรณีศึกษาเกี่ยวกับใบสั่งผลิตถึงส่วนต่างๆที่ประกอบในใบสั่งผลิต รวมถึงความต้องการของผู้ใช้งานใบสั่งผลิต จากนั้นทำการออกแบบฐานข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลที่จำเป็นสำหรับใช้ในกระบวนการทำใบสั่งผลิตรูปแบบการจัดเก็บใช้ในนามสกุลไฟล์ (.xlsm) ซึ่งหมายถึง สมุดงาน (Workbook) ที่เปิดใช้งานมาโครได้ เนื่องจากผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel ด้วย VBA เพื่อช่วยให้การทำงานให้สะดวก และรวดเร็วขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบฐานข้อมูลที่ได้จากการสอบถามและรวบรวมข้อมูลต่างๆจากผู้จัดการฝ่ายผลิตบริษัทกรณีศึกษา โดยมีข้อมูลต่าง ๆ ได้แก่ 1) ข้อมูลรายการสินค้า (Data Product Code) 2) ข้อมูลรายการวัสดุ (Data Material) 3) ข้อมูลรายการใช้วัสดุ (Bill of Material) 4) ข้อมูลการสั่งซื้อจากลูกค้า (Data Job Order) และ 5) ข้อมูลจุดสั่งซื้อ (Reorder Point)

จากนั้นทำการสร้างตารางเพื่อจัดเก็บข้อมูลเหล่านี้ เพื่อที่การทำงานของโปรแกรมสามารถเรียกใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลที่เตรียมไว้ได้อย่างอัตโนมัติ โดยผู้วิจัยจะสร้างตารางตามเงื่อนไขของระบบการจัดการข้อมูล คือ ตารางจะต้องไม่มีการประสานกัน และข้อมูลที่เป็นคีย์หลักจะต้องมีค่าไม่ซ้ำกัน เพื่อเวลาดึงข้อมูลมาใช้มีความรวดเร็วและไม่มีข้อผิดพลาด

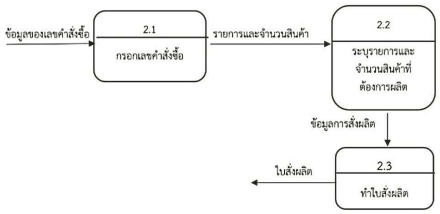
3.5.2 ขั้นตอนการสร้างระบบงานอัตโนมัติ

ผู้วิจัยทำการพัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel ด้วย VBA สร้างระบบงานอัตโนมัติ เพื่อการทำงานที่รวดเร็วและถูกต้อง ช่วยลดขั้นตอนการทำงาน โดยระบบงานอัตโนมัติที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้น โดยมีแผนภาพกระแสข้อมูลระดับ Diagram 0 ของระบบการทำใบสั่งผลิต ดังแสดงในรูปที่ 5 เริ่มจากการที่พนักงานทำการกรอก และเลือกข้อมูลตามการสั่งซื้อของลูกค้า โดยมีรายระเอียดข้อมูลที่ต้องกรอก ได้แก่ 1) ชื่อลูกค้า 2) รหัสสินค้า 3) ข้อมูลรายละเอียดสินค้าของสินค้าแต่ละประเภท เช่น บังรางหรือธรรมดา ขาจับเพดาน หรือขาจับผนัง 4) ขนาดสินค้า 5) จำนวนสินค้า 6) วันที่รับงาน วันที่ส่งสินค้า และเวลารับงาน และ 7) ผู้รับงานผลิต และผู้รับสินค้า ลงแฟ้มข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 6แผนภาพกระแสข้อมูล Child Diagram (Level-1) ของกระบวนการระบบนำเข้าข้อมูลสินค้า

จากนั้นทำการสร้างแบบฟอร์มใบสั่งผลิต ให้สามารถสั่งพิมพ์ใบงานได้ทันที โดยผู้วิจัยพัฒนาโปรแกรมการทำงานด้วย Marco เพื่อสั่งพิมพ์ใบสั่งผลิต ซึ่งหลังจากระบบทำการประมวณผลอัตโนมัติ จะแสดงผลข้อมูลในใบสั่งผลิต ได้แก่ 1) ชื่อลูกค้า 2) รหัสสินค้า 3) จำนวนรายการสินค้าที่ลูกค้าสั่ง 4) ชนิดสินค้า 5) รายละเอียดสินค้า เช่น สี ขนาด จำนวน 6) รายการวัสดุ และ จำนวนรายการวัสดุ (BOM) 7) วันที่รับงาน วันที่ส่งสินค้า และเวลารับงาน 8) ผู้รับงานผลิตและผู้รับสินค้า และ 9) เส้นทางการผลิตสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 7 แผนภาพกระแสข้อมูล Child Diagram (Level-1) ของกระบวนการระบบทำใบสั่งผลิต



รูปที่ 6 แผนภาพกระแสข้อมูล Child Diagram (Level-1) ของกระบวนการระบบนำเข้าข้อมูลสินค้า



รูปที่ 7 แผนภาพกระแสข้อมูล Child Diagram (Level-1) ของกระบวนการระบบทำใบสั่งผลิต

จากนั้นโปรแกรมจะทำการคำนวณผลรวมจำนวนรายการวัสดุที่ถูกใช้ในการผลิตแต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้าว่าถึงจุดสั่งซื้อหรือไม่ หากผลรวมจำนวนรายการวัสดุที่ถูกใช้

ในการผลิตถึงจุดสั่งซื้อที่กำหนด ทางโปรแกรมจะคำนวณปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) เพื่อช่วยกำหนดปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่ต้องการในแต่ละครั้ง ว่าควรจะสั่งซื้อในปริมาณเท่าไหร่จึงจะเหมาะสมกับความต้องการใช้งานและเกิดต้นทุนต่ำที่สุดเพื่อที่จะทำให้บริษัทมีความสะดวก ง่าย ต่อการสั่งผลิตสินค้าและสั่งซื้อสินค้าที่เหมาะสม

โดยทำการตรวจสอบความเหมาะสมการใช้แบบจำลอง การสั่งซื้อที่ประหหยัดจากคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน (Variability, VC) ดังสมการที่ 1 – 3 ซึ่งน้อยกว่า 0.5 สามารถใช้ EOQ ได้ [13]

$$VC = \frac{Est \cdot VarD}{(\bar{d}^2)} \quad (1)$$

$$\bar{d} = \frac{1}{n}(\sum d_t) \quad (2)$$

$$\mathrm{Est} \cdot \mathrm{VarD} = \frac{1}{\mathrm{n}} \times (\sum \mathrm{d}_t^2) - (\bar{\mathrm{d}})^2 \quad (3)$$

เมื่อ d_t = ปริมาณความต้องการในแต่ละช่วงเวลา

n = ช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา

ซึ่งหลังจากระบบทำการประมวณผลอัตโนมัติ จะแสดงผลข้อมูลในโปรแกรม ได้แก่ 1) ผลรวมจำนวนรายการวัสดุที่ถูกใช้ในการผลิตแต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้า 2) ปริมาณหรือจำนวนการสั่งซื้อสินค้าที่ประหยัด และ 3) ปริมาณรายการวัสดุที่คงเหลือ

3.6 เขียนคำสั่ง VBA ควบคุมการทำงานของโปรแกรมฐานข้อมูล

เมื่อออกแบบส่วนต่างๆ ของโปรแกรมฐานข้อมูลแล้ว จึงทำการเขียนคำสั่ง VBA เพื่อควบคุมการทำงานของโปรแกรม ดังนี้

1. เขียนคำสั่ง VBA เพื่อเชื่อมโยงระหว่างหน้าหลักกับฐานข้อมูล

2. สร้างฟอร์มเพิ่มข้อมูล และเขียนคำสั่ง VBA ในการบันทึกข้อมูลจากฟอร์มลงฐานข้อมูลบนโปรแกรม Microsoft Excel

3. สร้างฟอร์มแก้ไขข้อมูล และเขียนคำสั่ง VBA ในการแก้ไขข้อมูล

4. สร้างฟอร์มค้นหาข้อมูล และเขียนคำสั่ง VBA ในการค้นหาข้อมูล

จากนั้นนำโปรแกรมฐานข้อมูลที่ผ่านการเขียนคำสั่ง VBA ควบคุมการทำงานเรียบร้อยแล้ว ไปทำการทดสอบการใช้งานต่อไป

3.7 ติดตามประเมินผลและการปรับปรุง

ผู้วิจัยทำการนำผลที่ประเมินข้อมูลทางสถิติหลังจากการทดสอบการใช้งานโปรแกรม มาตรวจสอบว่าตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ นั่นคือ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในการสั่งผลิตสินค้า ลดการเกิดการสั่งผลิตสินค้าผิดพลาด ทำให้ช่วยลดต้นทุนที่เกิดจากความผิดพลาดในกระบวนการผลิต และสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในด้านการวางแผนการสั่งซื้อ

การประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานผ่าน Google Form [14] สำหรับประเมินความพึงพอใจ โดยลักษณะการสอบถามจะเป็นคำถามที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเป็นการให้คะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เกณฑ์การให้คะแนนระดับความพึงพอใจ

ระดับ	คะแนน
ความพึงพอใจมากที่สุด	5
ความพึงพอใจมาก	4
ความพึงพอใจปานกลาง	3
ความพึงพอใจน้อย	2
ความพึงพอใจน้อยที่สุด	1

โดยผู้ทำแบบสอบถามความพึงพอใจ คือ พนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำใบสั่งผลิตของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งประกอบด้วยซึ่งประกอบด้วย

1. แผนก Roller Blinds จำนวน 6 คน
2. แผนก Curtains จำนวน 2 คน
3. แผนก Wooden Blinds จำนวน 4 คน
4. แผนก Aluminum Blinds จำนวน 3 คน
5. แผนก Curtain Tape Sample Work จำนวน 2 คน รวมจำนวนทั้งสิ้น 17 คน

จากนั้นนำผลคะแนนที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย โดยมีเกณฑ์ในการแปลความหมายจากสูตร ดังนี้

ช่วงคะแนน = (คะแนนสูงสุด - คะแนนต่ำสุด) / จำนวนชั้น

ช่วงคะแนน = (5-1)/5 = 0.80

แบ่งคะแนนตามค่าเฉลี่ยออกเป็น 5 ระดับ โดยการแปรผลตามเกณฑ์คะแนนเฉลี่ยดังนี้

ช่วงคะแนนเฉลี่ย	ความหมาย
4.21 - 5.00	ความพึงพอใจมากที่สุด
3.41 - 4.20	ความพึงพอใจระดับมาก
2.61 - 3.40	ความพึงพอใจระดับปานกลาง
1.81 - 2.60	ความพึงพอใจระดับน้อย
1.00 - 1.80	ความพึงพอใจน้อยที่สุด

3.8 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการออกแบบพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลที่จำเป็นสำหรับใช้ในกระบวนการ และพัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel ด้วย VBA เพื่อสร้างระบบงานอัตโนมัติ เพื่อตอบสนองตามวัตถุประสงค์ และสร้างความพึงพอใจต่อผู้ใช้งานตามวัตถุประสงค์ หลังจากดำเนินงานทั้งหมดเสร็จสิ้น ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลที่รวบรวมได้มาวิเคราะห์เพื่อสร้างข้อสรุป

4. ผลการดำเนินงาน

4.1 การตรวจสอบแบบจำลองการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ)

จากตารางที่ 1 แทนค่าในสมการ (1) ถึง (3) เพื่อหาค่า VC ได้ค่า VC = 0.005 < 0.25 ดังนั้น สามารถใช้แบบจำลอง EOQ ได้

4.2 ผลการพัฒนาระบบฐานข้อมูล

ผู้วิจัยได้สอบถามข้อมูลจากผู้จัดการฝ่ายผลิตบริษัทกรณีศึกษาเกี่ยวกับใบสั่งผลิตถึงส่วนต่างๆที่ประกอบในใบสั่งผลิต รวมถึงความต้องการของผู้ใช้งานใบสั่งผลิต จากนั้นทำการออกแบบฐานข้อมูลเพื่อเก็บข้อมูลที่จำเป็นสำหรับใช้ในกระบวนการทำใบสั่งผลิตรูปแบบการจัดเก็บใช้ในนามสกุลไฟล์ (.xlsm) ซึ่งหมายถึง สมุดงาน (Workbook) ที่เปิดใช้งานมาโครได้ ผู้วิจัยได้ออกแบบ

ระบบฐานข้อมูลที่ได้จากการสอบถามและรวบรวมข้อมูลต่างๆจากผู้จัดการฝ่ายผลิตบริษัทกรณีศึกษา โดยมีข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลรายการสินค้า (Data Product Code) ข้อมูลรายการวัสดุ (Data Material) ข้อมูลรายการใช้วัสดุ (Bill of Material) ข้อมูลการสั่งซื้อจากลูกค้า (Data Job Order) และ ข้อมูลจุดสั่งซื้อ (Reorder Point) ดังแสดงในรูปที่ 8-11

Data Product Code | Data Material

รหัสม่านม่วน(ลูกค้า)	รหัสมุ่ลไม้(ลูกค้า)	SKU
-	-	รางบน Brown
L1-101(3.0m)	Black (N-010)	รางบน Black
L1-102(3.0m)	Maroon (Fs-017)	รางบน Dk Brown
L1-103(3.0m)	Brown (Fs-015)	รางบน Grey
L1-301(3.0m)	Light Teak (F-021)	รางบน White
L1-302(3.0m)	White Smoke (Fs-009)	รางบน Cream
L1-303(3.0m)	Ash Grey (Fs-004)	รางล่าง Black (N-010)
L3-301(3.0m)	White (N-001)	รางล่าง Maroon (Fs-017)
L3-302(3.0m)	DK Walnut (Y-020)	รางล่าง Brown (Fs-015)
L3-303(3.0m)	Rose Wood (Y-017)	รางล่าง Light Teak (F-021)
L4-301(3.0m)	Evening Oak (Y-014)	รางล่าง White Smoke (Fs-009)
L4-302(3.0m)	DK Cherry (Y-012)	รางล่าง Ash Grey (Fs-004)
L4-303(3.0m)	Zebrano (Y-013)	รางล่าง White (N-001)
F2001(3.0m)	Cherry (Y-018)	รางล่าง DK Walnut (Y-020)
F2002(3.0m)	Dark Grey (J-005)	รางล่าง Rose Wood (Y-017)
F2003(3.0m)	Grey (J-004)	รางล่าง Evening Oak (Y-014)
L1-505(3.0m)	Medium Grey (J-013)	รางล่าง DK Cherry (Y-012)

รูปที่ 8 หน้าต่างฐานข้อมูลแสดงรายละเอียดของ Data Product Code และ Data Material

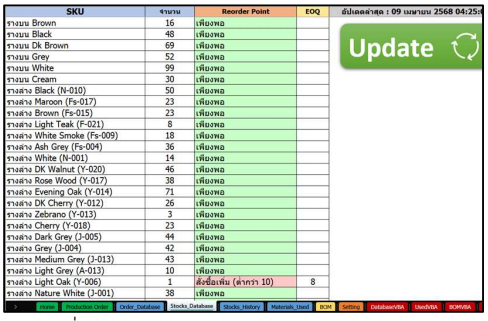
		BOM
	รางบน	1
ณ์เสริม > 4.แผนก QC	รางล่าง	1
	ผ้าม่าน	1
	แกนใน	1
	หัวเกียร์	1
	โซ่	1
	ตัวถ่วงโซ่	1
	ตัวต่อโซ่	1
	ขาจับ	1
	ไม้	1
นเกียร์ > 4.แผนกติดตั้งอุปกรณ์เสริม > 5.แผนก QC	รางบน	1
	รางล่าง	1
	แกน 6 เหลี่ยม	1
	หัวเกียร์	2
	เทปผ้า	2
	โซ่	2

รูปที่ 9 หน้าต่างฐานข้อมูลแสดงรายละเอียดของ Bill of Material ของรายการสินค้าประเภทต่างๆ

4.3 ผลการพัฒนาระบบงานอัตโนมัติ

โดยระบบงานอัตโนมัติที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นประกอบด้วย ระบบนำเข้าข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าดังแสดงในรูปที่ 12 และระบบการสร้างใบสั่งผลิต ดังแสดงในรูปที่ 13 เริ่มจากการที่พนักงานทำการกรอก และเลือกข้อมูล

ตามการสั่งซื้อของลูกค้า โดยมีรายละเอียดข้อมูลที่ต้องกรอกสำหรับระบบงานอัตโนมัติ คือ 1) ชื่อลูกค้า 2) รหัสสินค้า 3) ข้อมูลรายละเอียดสินค้าของสินค้าแต่ละประเภท เช่น บังรางหรือธรรมดา ขาจับเพดาน หรือขาจับผนัง 4) ขนาดสินค้า 5) จำนวนสินค้า 6) วันที่รับงาน วันที่ส่งสินค้า และเวลารับงาน และ 7) ผู้รับงานผลิต และผู้รับสินค้า



รูปที่ 10 หน้าต่างฐานข้อมูลแสดงรายละเอียดของ Reorder Point

ลำดับ	เลขคำสั่งซื้อ	ชื่องาน	ผลิตภัณฑ์	Order_Item	รหัสม่านม้วน	รหัสอลูมิเนียม	รหัสไม้	รหัสเทป	รหัสรางบน
1	112233		1 - ม่านม้วน	1	L1-102(3.0m)	-	-	-	-
2	112233		2 - มู่ลี่ไม้	2	-	-	Evening Oak	T-07	Brown
3	223344		2 - มู่ลี่ไม้	1	-	-	Zebrano	T-05	White
4	334455		1 - ม่านม้วน	1	9106 (2.5m)	-	-	T-01	-
5	334455		1 - ม่านม้วน	2	F143-4 (3.15m) Zebra- Grey	-	-	-	-
6	445566		3 - มู่ลี่อลูมิเนียม	1	-	9020-L	-	T-01	White
7	556677		2 - มู่ลี่ไม้	1	-	-	White Smoke (Fs-009)	T-05	Grey

รูปที่ 11 หน้าต่างฐานข้อมูลที่จัดเก็บข้อมูลการสั่งซื้อจากลูกค้าเมื่อมีการสั่งซื้อจากลูกค้าเข้ามา

รูปที่ 12 หน้าต่างการใช้งานระบบการนำเข้าข้อมูลการสั่งซื้อสินค้า เมื่อมีคำสั่งซื้อสินค้าจากลูกค้าเข้ามาทางMobile Application ของทางบริษัท

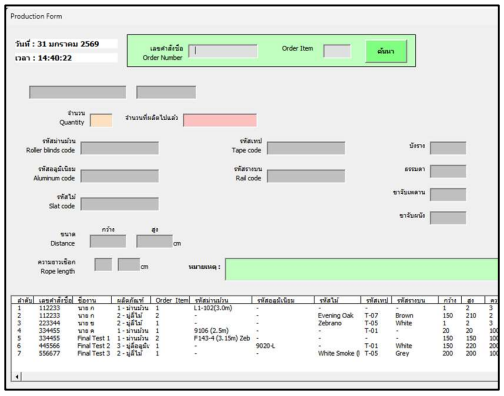
จากนั้นทำการสร้างแบบฟอร์มใบสั่งผลิต ให้สามารถสั่งพิมพ์ใบงานได้ทันที โดยผู้วิจัยพัฒนาโปรแกรมการทำงานด้วย Marco เพื่อสั่งพิมพ์ใบสั่งผลิต ซึ่งหลังจากระบบทำการประมวณผลอัตโนมัติจะแสดงผลข้อมูลในใบสั่งผลิต ได้แก่ 1) ชื่อลูกค้า 2) รหัสสินค้า 3)จำนวนรายการสินค้าที่ลูกค้าสั่ง 4) ชนิดสินค้า 5)รายละเอียดสินค้า เช่น สี ขนาด จำนวน 6)รายการวัสดุ และจำนวนรายการวัสดุ 7) วันที่รับงาน วันที่ส่งสินค้า และเวลารับงาน 8) ผู้รับงานผลิตและผู้รับสินค้า 9) เส้นทางการผลิตสินค้าดังแสดงในรูปที่ 14

ซึ่งหลังจากระบบทำการประมวณผลอัตโนมัติจะแสดงผลข้อมูลในโปรแกรม ดังนี้

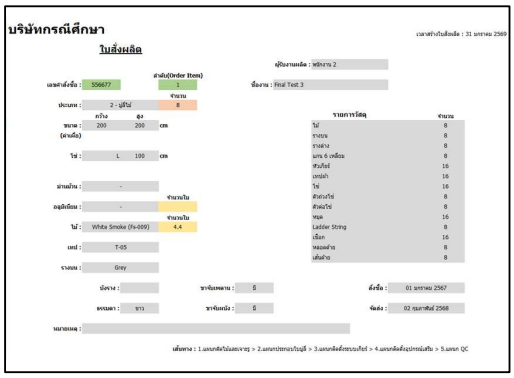
1. ผลรวมจำนวนรายการวัสดุที่ถูกใช้ในการผลิตแต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้า

2.ปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่ประหยัด (EOQ)

3. ปริมาณรายการวัสดุที่คงเหลือ



รูปที่ 13 หน้าต่างการใช้ระบบการสร้างใบสั่งผลิตสินค้า



รูปที่ 14 ตัวอย่างใบสั่งผลิตที่ได้หลังจากระบบทำการประมวลผลอัตโนมัติ

4.4 ผลการทดสอบการใช้งานโปรแกรม

หลังจากที่ได้ใช้งานจริงของระบบการทำงานโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้น ส่งผลให้แต่ละแผนกในบริษัทกรณีศึกษาสามารถ ลดความผิดพลาดในการผลิต และเพิ่มประสิทธิภาพด้านเวลาในการสั่งผลิตสินค้าดีขึ้น ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลเพื่อมาเปรียบเทียบผลการดำเนินงานระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังการปรับปรุง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบผลดังตารางที่ 6-8 และกราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดก่อนและหลังการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 15

4.5 ประเมินผลหลังจากการทดสอบการใช้งานระบบฐานข้อมูลและระบบงานอัติโนมัติสำหรับกระบวนสั่งผลิตสำหรับบริษัทกรณีศึกษา

การประเมินความพึงพอใจจากผู้ใช้งานผ่าน Google Form สำหรับประเมินความพึงพอใจ โดยลักษณะการสอบถามจะเป็นคำถามที่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ และเป็นการให้คะแนนแบบมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (Rating Scale) โดยผู้ทำแบบสอบถามความพึงพอใจ คือ พนักงานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำใบสั่งผลิตของบริษัทกรณีศึกษาจำนวนทั้งสิ้น 17 คน

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการใช้ระบบการทำงานโปรแกรม คะแนนที่ออกมาทั้งหมดที่แสดงดังตารางที่ 9 จะเห็นได้ว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยแก้ปัญหาภายในบริษัทกรณีศึกษาได้เป็นอย่างดี ซึ่งค่าเฉลี่ยในแต่ละหัวข้อมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ 4.2 คะแนน ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้งานมีความพึงพอใจต่อการพัฒนาระบบฐานข้อมูลและระบบอัตโนมัติที่เราสร้างขึ้นสำหรับกระบวนการสั่งผลิตภายในบริษัทกรณีศึกษาอยู่ในระดับมาก

ตารางที่ 6 เวลาในการสั่งผลิตเฉลี่ย ก่อนและหลังการปรับปรุงของม่านแต่ละประเภท

ประเภทสินค้า	ก่อนปรับปรุงเฉลี่ย(นาที)	หลังปรับปรุงเฉลี่ย (นาที)	ลดลงเฉลี่ย (นาที)	คิดเป็น (%)
ม่านม้วน	20	14.5	5.5	27.5%
มู่ลี่ไม้	20	13.5	6.5	32.5%
มู่ลี่อะลูมิเนียม	17.5	13	4	22.85%

ตารางที่ 7 ข้อมูลการเกิดความผิดพลาด (หน่วย:ชิ้น) ก่อนการปรับปรุง (ข้อมูลเดือนมีนาคม-เดือนมิถุนายน พ.ศ. 2567)

รายละเอียด	จำนวนการสั่งผลิตสินค้า	จำนวนความผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
มีนาคม	1,677	52	3.10%
เมษายน	1,821	32	1.76%
พฤษภาคม	1,471	34	2.31%
มิถุนายน	1,687	60	3.32%
รวม	6,656	178	2.67%

ตารางที่ 8 ข้อมูลการเกิดความผิดพลาดของหลังการปรับปรุง (ข้อมูลเดือนกรกฎาคม - เดือนกันยายน พ.ศ. 2568)

รายละเอียด	จำนวนการสั่งผลิตสินค้า (ชิ้น)	จำนวนความผิดพลาด (ชิ้น)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด
กรกฎาคม	1,207	12	0.99
สิงหาคม	1,456	9	0.62
กันยายน	1,567	5	0.32
รวม	4,230	26	0.61

รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดก่อนและหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 9 ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบฐานข้อมูลระบบงานอัติโนมัติในกระบวนสั่งผลิตสำหรับบริษัทกรณีศึกษา

ลำดับที่	รายการ	$\bar{x}$	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ด้านรูปแบบ		**4.19**	**0.58**	**มาก**
1	การจัดวางองค์ประกอบต่างๆของโปรแกรมสามารถใช้งานได้ง่าย	4.29	0.47	มากที่สุด
2	การออกแบบหน้าต่างมีความสวยงามและเหมาะสม	4.06	0.66	มาก
ด้านขั้นตอนการใช้งาน		**4.18**	**0.75**	**มาก**
3	ความสะดวกในการกรอกรายละเอียด	4.35	0.70	มากที่สุด
4	ความสะดวกในการเพิ่มหรือแก้ไขรายการผลิตภัณฑ์	4.12	0.70	มาก
5	ความสะดวกในการค้นหาใบรายการสั่งซื้อ	4.18	0.73	มาก
6	คำแนะนำในคู่มือง่ายต่อการใช้งาน	4.06	0.90	มาก
ด้านการทำงานของโปรแกรม		**4.24**	**0.68**	**มากที่สุด**
7	ใบสั่งผลิตมีรายละเอียดที่ชัดเจนมากขึ้น	4.29	0.59	มากที่สุด
8	ข้อมูลมีการจัดการอย่างเป็นระบบ	4.29	0.69	มากที่สุด
9	การใช้งานโปรแกรมมีความความรวดเร็ว	4.12	0.78	มาก
รวม		**4.20**	**0.70**	**มาก**

5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบทำรายการวัสดุเพื่อทำใบสั่งผลิตโดย Microsoft Visual Basic for Applications (VBA) บน Microsoft Excel ภายในบริษัทกรณีศึกษาทางผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการสั่งผลิตของบริษัทกรณีศึกษาพบว่า บริษัทกรณีศึกษามีการสั่งผลิตที่มีความล่าช้า และเกิดการผิดพลาดในการผลิตสินค้า เนื่องจากทางบริษัทขาดการนำระบบเข้ามาช่วยในการทำใบสั่งผลิต ทางบริษัทมีการบันทึกข้อมูลเป็นแบบ Manual อาศัยการกรอกข้อมูลและคำนวณจำนวนวัสดุด้วยตนเอง

โดยมีรายละเอียดของรายการวัสดุที่ไม่ชัดเจน ทำให้พนักงานเกิดความสับสนและผิดพลาดในการตัดชิ้นส่วนไม้อะลูมิเนียม แผ่นผ้าม่านต่าง ๆ เกินจำนวนที่ต้องการผลิต ตัดผิดขนาดมาตรฐานของบริษัท มีการเบิกจำนวนรายการวัสดุที่จะนำมาผลิตเกิดความผิดพลาด ซึ่งทำให้เกิดการเสียต้นทุนการผลิต รวมถึงเสียเวลาในการผลิตโดยไม่จำเป็น อีกทั้งทางบริษัทไม่มีระบบช่วยในการวางแผนการสั่งซื้อ

วัสดุ ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงกับทางบริษัทกรณีศึกษาในเรื่องของ ต้นทุนต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต

ความพึงพอใจของลูกค้า การตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าด้านความรวดเร็วในการส่งมอบสินค้าและความถูกต้อง ผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงกระบวนการสั่งผลิตโดยการพัฒนาระบบฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลที่จำเป็นสำหรับกระบวนการสั่งผลิตและพัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel ด้วย VBA ในการสร้างระบบงานอัตโนมัติเพื่อสร้างใบสั่งออกมา เพื่อลดผิดพลาดในการผลิตสินค้า การเบิกจำนวนวัสดุ และเพิ่มประสิทธิภาพในด้านเวลาในการสั่งผลิต

หลังจากได้นำระบบการทำงานโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเข้ามาใช้งาน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการทำงานดีขึ้น โดยสรุปผลได้ดังนี้

1. ความผิดพลาดในการผลิตสินค้า ลดลง 63.67% ซึ่งข้อมูลก่อนการปรับปรุงพบความผิดพลาดเฉลี่ย 2.67% หลังจากปรับปรุงระบบและเริ่มใช้งานเดือนกุมภาพันธ์-วันที่15 มีนาคม พ.ศ.2568 พบความผิดพลาดเฉลี่ย 0.94% สำหรับการพัฒนาระบบในครั้งนี้ยังไม่สามารถแก้ไขความผิดพลาดในการสั่งผลิตสินค้าให้เป็น 0% ได้ โดยพบว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ คือ พนักงานกรอกข้อมูลรหัสสินค้าของลูกค้าผิด ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเป็นความผิดพลาดที่เกิดจากตัวพนักงานหรือตัวบุคคลอยู่ แนวทางการแก้ไขปัญหาคือต้องมีการอบรมหรือทบทวนขั้นตอนการใช้ระบบอยู่เสมอเพื่อให้พนักงานมีความเข้าใจและลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น

2. ประสิทธิภาพด้านเวลาในการสั่งผลิต

2.1 ม่านม้วน มีเวลาในการสั่งผลิตลดลงเฉลี่ย 5.5 นาที ทำให้ประสิทธิภาพในด้านเวลาเพิ่มขึ้น 27.5%

2.2 มู่ลี่ไม้ มีเวลาในการสั่งผลิตลดลงเฉลี่ย 6.5 นาที ทำให้ประสิทธิภาพในด้านเวลาเพิ่มขึ้น 32.5%

2.3 มู่ลี่อะลูมิเนียม มีเวลาในการสั่งผลิตลดลง 4 นาที ทำให้ประสิทธิภาพในด้านเวลาเพิ่มขึ้น 22.85%

3. ระบบฐานข้อมูลและระบบงานอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นได้ถูกประเมินจากตัวแทน 6 แผนก จำนวน 17 คน โดยผลการประเมินความพึงพอใจพบว่า ผู้ใช้งานมีความพึงพอใจระดับมาก โดยมีคะแนนเฉลี่ยรวม เท่ากับ 4.2 คะแนน โดยอ้างอิงจากตารางที่ 9

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการใช้งานโปรแกรม Microsoft Excel ต้องมีการประมวลที่กับชุดข้อมูลและการเขียนสูตรไว้เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลกับไฟล์งานต่างเป็นจำนวนมาก อาจจะส่งผลให้ระบบการประมวลผลมีความล่าช้า ดังนั้นจำเป็นต้องมีการเลือกใช้คอมพิวเตอร์ที่มีการรองรับในเรื่องของการประมวลผลข้อมูล เพื่อให้การทำงานราบรื่นและรวดเร็ว

2. ปัจจุบันผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบทำรายการวัสดุเพื่อทำใบสั่งผลิตโดย Microsoft Visual Basic for Applications (VBA) บน Microsoft Excel ภายในบริษัทกรณีศึกษา เนื่องด้วยในการพัฒนาและปรับปรุงในครั้งนี้ มีการรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นและได้มีการจัดเก็บข้อมูลลงในระบบฐานข้อมูลแล้ว ควรจะมีการพัฒนาในงานส่วนอื่นๆ เช่น ระบบการตัดสต็อกสินค้าที่มีสินค้าสำเร็จรูปรวมอยู่ด้วย ระบบการเบิก-จ่ายสินค้าและวัตถุดิบ เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การพัฒนาระบบทำรายการวัสดุเพื่อทำใบสั่งผลิตโดยใช้วีบีเอบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล กรณีศึกษา สินค้าม่านและมู่ลี่” ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติชัย อธิกุลรัตน์ ซึ่งเป็นผู้มอบความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ เสนอแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนได้ให้ความกรุณาตรวจทานแก้ไขงานวิจัยนี้เพื่อความถูกต้องและสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ ขอขอบพระคุณ ประธาน ผู้จัดการ และพนักงานทุกท่านของบริษัทกรณีศึกษาที่คอยช่วยเหลือสนับสนุน มอบความรู้ และข้อมูลในการทำงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] C. Upathon, N. Chittamanonkul and W. Talthoop, “Raw material demand: A case

study of P.E. Technic Co., Ltd.," M.S. thesis, Naresuan Univ., Phitsanulok, Thailand, 2016.

[2] J. Soda, "Analysis of optimal order quantity for a retail construction materials store: A case study of ABC Co., Ltd.," M.S. thesis, Dhurakij Pundit Univ., Bangkok, Thailand, 2019.

[3] R. Jaiyasit and W. Saengphan, "Production planning and job tracking framework: A case study of M.E.D. Engineering Ltd. Partnership," M.S. thesis, Naresuan Univ., Phitsanulok, Thailand, 2010.

[4] C. Khumthanom, "Optimal order quantity of main raw materials: A case study of a billet and construction steel manufacturing company," M.S. thesis, Burapha Univ., Chonburi, Thailand, 2021.

[5] K. Athikulrat, W. Jitrakman, C. Kamwonmai and K. Rattanabuangam, "An appropriate raw material purchasing system model of Max Kiosk (PN-516) production process: A case study of exhibition parts manufacturing company," *Engineering Journal of Siam University*, vol.19, no.2, pp. 46–58, 2018.

[6] F. Saithep, S. Detpreechapol, S. Poosri and K. Athikulrat, "Development of transportation notification and online report: A case study of Tharathong Metal Co., Ltd.," *SEJ*, vol.19, no.2, pp. 82–96, 2024.

[7] C. Tongjiw, "Enhancing production ordering efficiency: A case study of an EPE foam packaging manufacturing plant," M.S. thesis, Burapha Univ., Chonburi, Thailand, 2016.

[8] S. Nataphan, *Quality Control*. Bangkok, Thailand: SE-EDUCATION, 2023.

[9] A. Suthidee, "Process improvement in the logistics of planning department using automation tools: VBA and Power Query," M.S. thesis, Burapha Univ., Chonburi, Thailand, 2021.

[10] P. Thamrongwut, "Development of production sequencing method using VBA in Microsoft Excel," M.S. thesis, Naresuan Univ., Phitsanulok, Thailand, 2017.

[11] N. Boonwat and T. Thamjom, "Production scheduling program based on order priority," M.S. thesis, Naresuan Univ., Phitsanulok, Thailand, 2014.

[12] K. Saengtarn, "Development of an inventory management platform for automotive spare parts business in Thailand," M.S. thesis, Naresuan Univ., Phitsanulok, Thailand, 2021.

[13] P. Yomchinda, "Customer satisfaction with the use of herbal products for weight control: A case study of Herbalife brand in Mueang District, Chiang Mai Province," M.S. thesis, Chiang Mai Univ., Chiang Mai, Thailand, 2013.

[14] E. A. Silver, D. F. Pyke, and R. Peterson, *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*, 3rd ed. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2006.

[15] B. Srisa-ard and B. Nilkaew, *Introduction to Research*, 6th ed. Mahasarakham, Thailand: Srinakharinwirot Univ., 1992.

Srinakharinwirot University Engineering Journal (2026) 22(1), 93-104 วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569

การปรับปรุงสายการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคของลีนและจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์

Supercomputer Production Line Improvement by Lean Techniques and Computer Simulation

ภนิตา พรประเสริฐภัทรา, กัญฏิณิษฐ์ ยิ่งวุฒิวรกุล, วรรณวิภา ชวาลสันตติ, บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์*
หน่วยวิจัยทางด้านการวิจัยดำเนินงานและสถิติอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
99 หมู่ 18 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120
Panita Pornprasertpattra Kuntinid Yingwuttiworakul Wanwipa Chavansantati
Busaba Pruksaphanrat*
Industrial Statistics and Operational Research Unit (ISO-RU), Faculty of Engineering,
Thammasat School of Engineering, Thammasat University.
99 Moo 18, Phaholyothin Rd., Klong Nueng, Khlong Luang, Pathumthani 12120
*Corresponding author Email: lbusaba@engr.tu.ac.th
(Received: May 30, 2025; Revised: October 2, 2025 ; Accepted: February 19, 2026)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการปรับปรุงสายการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A ซึ่งเป็นสายการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ประกอบไปด้วยสถานีงานจำนวน 18 สถานีงาน ทำการผลิตชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปร่วมกัน โดยในสายการผลิตพบความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย วัสดุคงคลัง และการเคลื่อนย้าย ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงสายการผลิตด้วยเทคนิคของลีนคือการติดตั้งที่รวดเร็ว คัมบัง และการจัดผังแบบเซลล์ที่นำหลักการการจัดผังโรงงานโดยวิธีคราฟท์มาช่วยวิเคราะห์การจัดผังสถานีงาน การปรับปรุงวิธีการการป้อนชิ้นส่วนด้วยหลักการการติดตั้งที่รวดเร็วสามารถกำจัดความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย โดยออกแบบกล่องสำหรับการป้อนชิ้นส่วนที่บรรจุชิ้นส่วนที่สามารถประกอบงานได้หนึ่งหน่วยพอดี มีการเตรียมไว้ล่วงหน้าตามขนาดของคัมบังในการเคลื่อนย้ายและกำหนดการป้อนกล่องบรรจุชิ้นส่วนเข้าที่แต่ละสถานีโดยตรง ทำให้สามารถลดความสูญเปล่าจากวัสดุคงคลังลงได้คิดเป็น 14.87% ส่วนผังสายการผลิตที่วิเคราะห์โดยการจัดผังโรงงานโดยวิธีคราฟท์ สามารถลดระยะทางการเคลื่อนที่ลงได้ 216.8 เมตร คิดเป็น 26% ผลจากการศึกษาพบว่าโดยรวมสายการผลิตหลังการปรับปรุงสามารถผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A ได้เพิ่มขึ้น 20 ชิ้นต่อเดือน มีค่าอัตราผลผลิตเพิ่มขึ้น 33% ค่าประสิทธิภาพของสายการผลิตหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้น 191% ค่าอรรถประโยชน์ของสถานีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 12%

คำสำคัญ: การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ การผลิตแบบลีน การปรับปรุงสายการผลิต การจัดผังโรงงานโดยวิธีคราฟท์

ABSTRACT

This research presents an approach to improving the production line of the supercomputer Model A, which is a new product line consisting of 18 workstations used for producing both components

and finished products. The production line was found to have waste arising from waiting, inventory, and transportation. Therefore, lean techniques were applied to improve the line, including quick setup, kanban, and cellular layout design using the Computerized Relative Allocation Facilities Technique (CRAFT) to analyze and optimize the workstation layout. The improvement of the parts feeding method using the quick setup principle eliminated waste caused by waiting. A parts feeding box was designed to contain exactly the number of parts needed to assemble one unit, prepared in advance according to the kanban size and scheduled to be delivered directly to each workstation. This reduced inventory waste by 14.87%. The production layout analyzed by CRAFT reduced movement distance by 216.8 meters, equivalent to 26%. As a result of the study, the improved production line was able to produce 20 more supercomputer Model A units per month, with a 33% increase in output rate. The overall production line efficiency increased by 191%, and the average workstation utilization improved by 12%.

Keyword: Computer simulation, lean production, production line Improvement, Computerized Relative Allocation Facilities Technique (CRAFT).

1. บทนำ

ปัจจุบันเป็นยุคของข้อมูลข่าวสารที่มีการส่งต่ออย่างรวดเร็ว ทำให้มีการแข่งขันที่จะนำเสนอข้อมูลเป็นที่แรก จึงเกิดความต้องการที่จะหาตัวช่วยในการดำเนินงานที่สามารถประมวลผลและนำเสนอข้อมูลให้ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำที่สุด ก่อให้เกิดการพัฒนาซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ (Supercomputer) ที่ถูกนำมาใช้เพื่อการประมวลผลและการคำนวณเลขหลายล้านตัวภายในเวลาอันรวดเร็วด้วยความแม่นยำสูง ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ถูกนำมาใช้ในงานหลายๆ งาน เช่น การพยากรณ์อากาศ งานประมวลผลภาพทางการแพทย์ ด้านการทหาร และวิศวกรรมเคมีภัณฑ์ปิโตรเลียม

สำหรับโรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่มีความเชี่ยวชาญในการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และเป็นที่รู้จักทางด้านความสามารถในการผลิต จัดการผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนและมีมาตรฐานสูง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมที่ต้องการความแม่นยำและความน่าเชื่อถือ ทางโรงงานจึงมีแนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางการผลิตให้มีคุณภาพและตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้เกิดความพึงพอใจสูงสุด โดยเฉพาะสายการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์

จากการศึกษาสายการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นสายการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ ประกอบไปด้วยสถานีงานจำนวน 18 สถานีงาน ทำการผลิตชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปร่วมกัน จากการสังเกตพบว่ามีความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย [1]-[3] เนื่องจากการป้อนชิ้นส่วนที่ไม่มีระบบระเบียบ ป้อนชิ้นงานครั้งละจำนวนมาก ทำให้เกิดความสูญเปล่าในเรื่องของวัสดุคงคลัง และไม่มีการจัดเตรียมวัสดุอย่างเป็นระบบทำให้พนักงานต้องเดินหาชิ้นส่วนที่ต้องการเอง ซึ่งระยะทางระหว่างพื้นที่เก็บของและสถานีงานมีระยะทางค่อนข้างมาก มีการเดินหลายรอบ ต้องใช้เวลานานในการหาชิ้นส่วนและนับชิ้นส่วนให้ครบตามจำนวนที่ต้องการ ทำให้เกิดความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายเนื่องจากการจัดวางสถานีงานที่ไม่เหมาะสม [1]-[3]

จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคที่สามารถช่วยลดความสูญเปล่าในเรื่องของการรอคอยคือ หลักการการติดตั้งที่รวดเร็ว จากงานวิจัยเรื่องการลดเวลาปรับตั้งในกระบวนการผลิตกล่องถาดพับได้ชนิดสี่มุมด้วยเทคนิคการ

ปรับตั้งเครื่องจักรอย่างรวดเร็วได้ถูกนำมาปรับตั้งเครื่องจักรโดยทำการเปลี่ยนกิจกรรมการปรับตั้งบนตัวเครื่องจักร มาสู่กิจกรรมการปรับตั้งนอกเครื่องจักร ซึ่งผลลัพธ์หลังจากการปรับปรุงงาน สามารถลดเวลาการปรับตั้งเครื่องลงคิดเป็นร้อยละ 40 ของเวลาการปรับตั้งที่ลดลง [4] นอกจากนั้นเทคนิคคัมบังก็เป็นเทคนิคที่สามารถช่วยลดความสูญเปล่าในเรื่องการจัดการวัสดุคงคลังได้ จากงานวิจัยที่ผ่านมีมีการประยุกต์ใช้การผลิตแบบดึง [5] เพื่อลดปริมาณวัตถุดิบคงคลัง และใช้ระบบการผลิตแบบดึงเพื่อควบคุมปริมาณการสั่งซื้อและรอบการส่งมอบวัตถุดิบโดยใช้การจำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรม Arena มาช่วยแสดงผลซึ่งพบว่าแนวทางในการปรับลดรอบในการจัดส่งวัตถุดิบดังกล่าวสามารถลดปริมาณวัตถุดิบคงคลังได้ถึง 63.32% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบการผลิตปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง ส่วนเทคนิคที่สามารถช่วยลดความสูญเปล่าในเรื่องของการเคลื่อนย้ายพบว่ามีการใช้เทคนิค CRAFT (Computerized Relative Allocation Facilities Technique) ในการปรับปรุงและสามารถแก้ปัญหาการจัดผังโรงงานกรณีศึกษาได้ [6]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการทำการวิเคราะห์และปรับปรุงสายการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A เพื่อลดความสูญเปล่าของกระบวนการ โดยใช้เทคนิคต่างๆ ของการผลิตแบบลีน (Lean Production) [1]-[3] การจัดผังโรงงาน [7], และการจำลองสถานการณ์ [8]-[9] เพื่อปรับปรุงกระบวนการและแสดงผลการปรับปรุงของสายสายการผลิต

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตแบบลีน (Lean production)

การผลิตแบบลีนเป็นการผลิตที่เน้นลดความสูญเปล่าของกระบวนการประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก คือ ทรัพยากรที่ปรับเปลี่ยนได้ง่าย การจัดผังโรงงานแบบเซลล์ ระบบการผลิตแบบดึง การควบคุมด้วยคัมบัง การผลิตที่ขนาดล็อตเล็กๆ การติดตั้งที่รวดเร็ว การจัดระดับการผลิตให้คงที่ คุณภาพ ณ จุดกำเนิด การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา และโครงข่ายผู้ส่งมอบ [1]-[3] โดยในงานวิจัยนี้จะใช้การติดตั้งที่รวดเร็ว การควบคุมด้วยคัมบัง และการจัดผังแบบเซลล์เพื่อลดเวลารอคอยในการผลิต ปริมาณสินค้าคงคลังและการเคลื่อนย้าย

2.2 การจัดผังโรงงานโดยวิธีคราฟท์

การจัดผังโรงงานโดยวิธีคราฟท์ (Computerized Relative Allocation Facilities Technique, CRAFT) [4], [7]-[8] เป็นวิธีการคำนวณเพื่อช่วยในการออกแบบผังโรงงาน โดยวิธีสับเปลี่ยนตำแหน่งของแผนกให้ได้รูปแบบผังโรงงานหลายๆ แบบขึ้นมาเพื่อหารูปแบบผังโรงงานที่ค่าใช้จ่ายต่ำสุด สมการเป้าหมาย คือการลดค่าใช้จ่ายโดยรวมของการจัดวางผัง ตามสมการ (1)

$$\text{Minimize } C = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=i+1}^{n} f_{ij}c_{ij}d_{ij} \quad (1)$$

เมื่อ

C คือค่าให้จ่ายโดยรวมของการเคลื่อนที่ในผังโรงงาน

f_{ij} คือความถี่ของการไหลจากสถานี i ไปสถานี j (ครั้ง)

c_{ij} คือค่าใช้จ่ายของการไหลจากสถานี i ไปสถานี j

d_{ij} คือระยะทางระหว่างสถานี i ไปสถานี j โดยวัดจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของแต่ละสถานี

2.3 การจำลองสถานการณ์ (Simulation)

การจำลองสถานการณ์ [8] คือ การนำเสนอวิธีการและการประยุกต์โดยเลียนแบบพฤติกรรมจริงของระบบด้วยโปรแกรมที่หมาะสมบนคอมพิวเตอร์ การจำลองสถานการณ์ถูกนำมาใช้ในด้านวิทยาศาสตร์ อุตสาหกรรม ภาคบริการ หรือแล้วแต่จะประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาเชิงระบบ

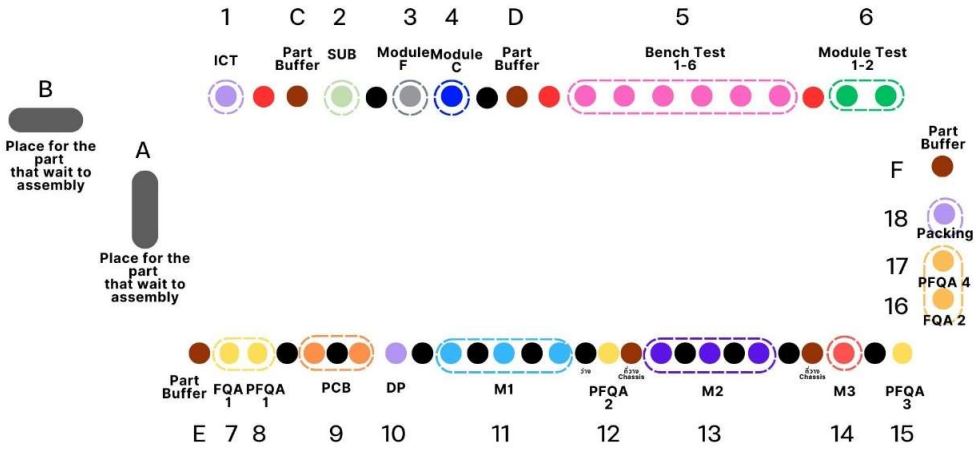
3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษาคือ ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A มีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 เก็บข้อมูลผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A

1) ในการศึกษาสายการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A โดยส่วนประกอบของหน่วยประมวลผลซุปเปอร์

คอมพิวเตอร์ 1 ตัว ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 1 ชิ้นส่วน คือ โครงหลักและชิ้นส่วนย่อย 6 ชิ้นส่วน ได้แก่ Module C, Module F, PCB I, PCB D, PCB Z, PCB M โดยชิ้นส่วนย่อยจะต้องทำการประกอบและผ่านการตรวจสอบคุณภาพก่อน จากนั้นจึงจะนำชิ้นส่วนย่อยมาประกอบเข้ากันกับชิ้นส่วนหลักสายการผลิตประกอบด้วย 18 สถานีงานดังแสดงในผังสถานีงานก่อนปรับปรุง ในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ภาพแสดงผังสถานีการทำงาน

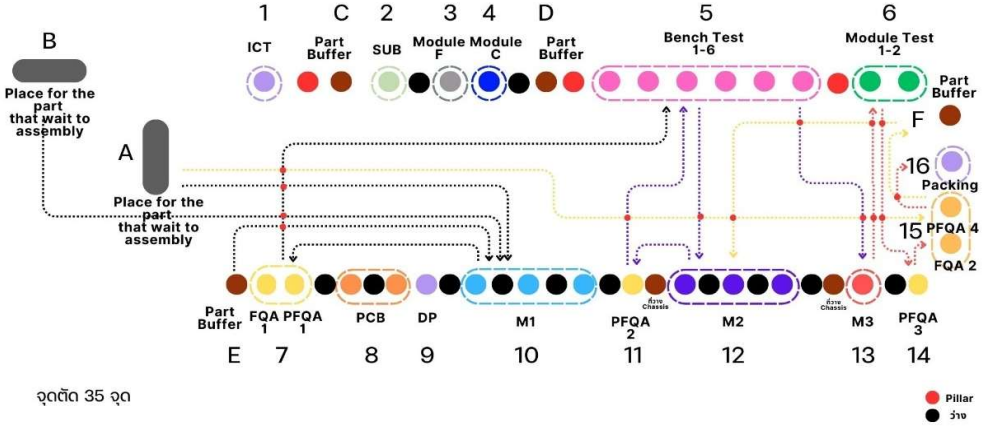
จากสายการผลิตของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A มีการดำเนินงานแบ่งเป็นการประกอบชิ้นส่วนหลักและการประกอบชิ้นส่วนย่อยรูปแสดงการไหลของชิ้นส่วนหลักและชิ้นส่วนย่อยแสดงดังรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ โดยชิ้นส่วนย่อย 6 ชิ้นส่วนจะทำการประกอบที่สถานีงานหมายเลข 1, 2, 3, 4, 9 ทำการตรวจสอบคุณภาพที่สถานีหมายเลข 7, 8, 16,17 ชิ้นส่วนจะถูกนำไปวางรอในจุดที่กำหนดคือจุด A, E, D, F เพื่อรอนำไปประกอบในโครงหลัก (Chassis) โดยมีการผลิตไว้ล่วงหน้าเพื่อให้ทันต่อการประกอบชิ้นส่วนหลัก จากนั้นประกอบชิ้นส่วนหลัก ทำการแกะโครงหลักออกเพื่อทำการประกอบ PCB M, PCB Z, PCB 1, PCB D และสายไฟเบื้องต้นที่สถานีหมายเลข 11 และส่งไปที่สถานีตรวจสอบคุณภาพที่สถานีหมายเลข 8 จากนั้นส่งทำการทดสอบระบบครั้งที่ 1 ที่สถานีหมายเลข 5 แล้วส่งต่อไปที่สถานี M2 หมายเลข 13 เพื่อประกอบ Heatsink, Module C และ Module F จากนั้นส่งไปที่สถานีตรวจสอบคุณภาพหมายเลข 12 แล้วส่งทำการทดสอบระบบครั้งที่ 2 ที่สถานีหมายเลข 5 ที่ว่างอยู่ จากนั้นไปที่สถานี M3 หมายเลข 14 เพื่อทำการประกอบปิดโครงหลักและทำการทดสอบระบบครั้งสุดท้ายที่สถานีหมายเลข 6 เมื่อทำการทดสอบเสร็จแล้ว จะทำการทดสอบคุณภาพด้วยพนักงานประจำสายการผลิต 1 ครั้งที่สถานีหมายเลข 15 ต่อด้วยเจ้าหน้าที่จากฝ่าย QA ตรวจสอบอีก 1 ครั้งที่สถานีหมายเลข 16 จึงจะทำการบรรจุสินค้าลงกล่องที่สถานีหมายเลข 18

2) ทำการศึกษาเวลาการปฏิบัติงานในแต่ละกระบวนการตามหลักการศึกษางาน (work study) [10] เพื่อกำหนดเป็นเวลามาตรฐานและนำเวลานี้ไปวิเคราะห์ปัญหาของกระบวนการต่อไป

3.2 วิเคราะห์ปัญหาของสายการผลิตและหาแนวทางในการปรับปรุงการผลิต

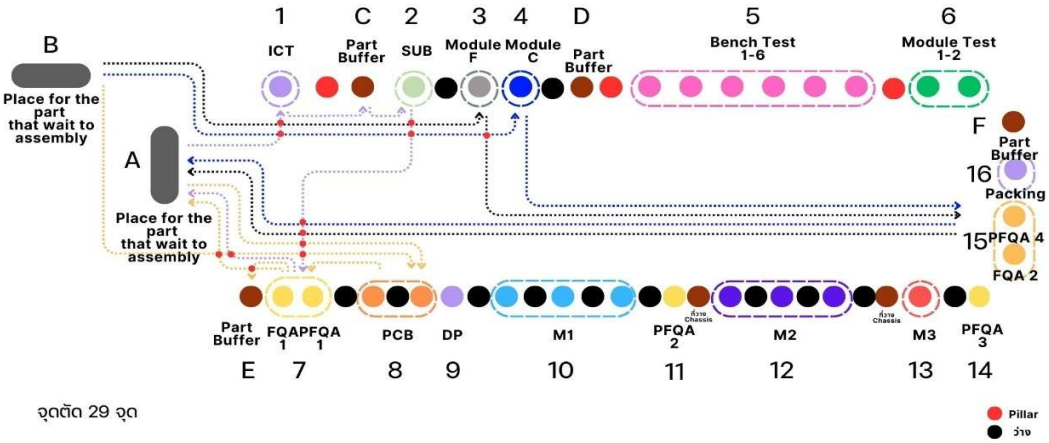
ในปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีชั่วโมงการทำงานคือ 7 ชั่วโมง/กะ 3 กะต่อวัน ก่อนการปรับปรุงกระบวนการมีเวลาการทำงาน (processing time) แสดงในตารางที่ 1 โดยรอบเวลา (cycle time) คือ 66,198.77 วินาที หลังจากทำการวิเคราะห์สายการผลิตพบว่าสายการผลิตมี

ความสูญเปล่าเกิดขึ้น ได้แก่ความสูญเปล่าที่เกิดจาก การรอคอย วัสดุคงคลัง และการเคลื่อนย้าย ดังนั้นจึงพิจารณาการปรับปรุงการป้อนชิ้นงาน กำหนดขนาดการป้อนและจัดผังสถานีงานใหม่



รูปที่ 2 ภาพแสดงการไหลของชิ้นส่วนหลัก

original sub



รูปที่ 3 ภาพแสดงการไหลของชิ้นส่วนย่อย

3.2.1 ความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย

เกิดจากการป้อนชิ้นส่วนที่ไม่มีระบบระเบียบมีการป้อนชิ้นงานครั้งละจำนวนมาก ไม่มีการแบ่งจ่ายไปตามสถานีทำการปรับปรุงตามหลักการการติดตั้งที่รวดเร็ว โดยออกแบบกล่องสำหรับป้อนชิ้นส่วนโดยทำการบรรจุชิ้นส่วนที่ใช้ประกอบได้ 1 ตัวต่อ 1 กล่อง และมีการเตรียมชิ้นส่วนไว้ล่วงหน้าก่อนการผลิตทำให้สามารถกำจัดเวลาในการหาชิ้นส่วนด้วยกล่องบรรจุชิ้นส่วนแสดงดังรูปที่ 4

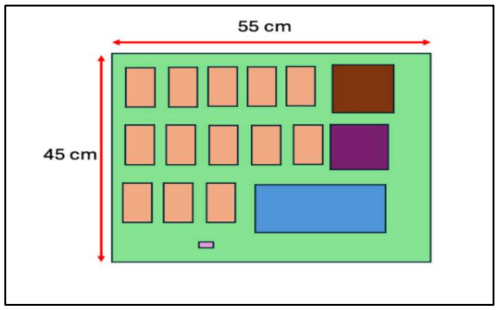
3.2.2 ความสูญเปล่าที่เกิดจากวัสดุคงคลัง

การป้อนชิ้นส่วนที่ไม่มีระบบระเบียบ การป้อนชิ้นงานครั้งละจำนวนมากไม่มีการแบ่งจ่ายไปตามสถานีทำให้เกิดความสูญเปล่าของวัสดุคงคลังจากข้อมูลในอดีตของการผลิตจริง 1 เดือนพบข้อมูลวัสดุคงคลังเฉลี่ยตามตารางที่ 2 สามารถปรับปรุงได้โดยการจัดระเบียบการป้อนชิ้นงานใหม่จากเดิมป้อนรวมกันที่หน้าสายการผลิตเป็นป้อนเข้าแต่ละสถานีโดยตรงตามขนาดกล่องสำหรับ

ป้อนชิ้นงาน โดยกำหนดจำนวนช่องใส่วัตุถดิบตามจำนวนที่ต้องผลิตใน 1 วัน

ตารางที่ 1 รอบเวลาการทำงานของสายการผลิตของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A

สถานีงาน	เวลามาตรฐาน (วินาที)
ICT	173.8
Station Sub	305.04
Module F	1441.08
Module C	2182.15
Bench test	17400
Module test	66198.77
FQA1	2091.81
PFQA1	3040.79
Station PCB	1295.9
M1	7907.01
PFQA2	1351.19
M2	8220.26
M3	914.77
PFQA3	539.86
FQA2	2527.67
PFQA4	1668.7
Packing	1321.36



รูปที่ 4 กล่องสำหรับป้อนชิ้นงาน

ตารางที่ 2 ตารางแสดงผลวัสดุคงคลังก่อนการปรับปรุง

จุดกองงาน	ค่าเฉลี่ย WIP
A	581.05
B	283.94
C	67.23
D	25.47
E	210.43
F	1,272.88
รวม	2,441

3.2.3 ความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนย้าย

เกิดจากการจัดวางสถานีงานที่ไม่เหมาะสมทำให้การไหลของงานกลับไปกลับมา และเกิดระยะทางการเดินระหว่างสถานีค่อนข้างมาก ดังปรากฏตามตารางที่ 3 โดยสถานีที่เกิดระยะทางการเดินจะเป็นสถานีที่มีการใช้แผงวงจรในการประกอบเท่านั้น เนื่องจากแผงวงจรมีความจำเป็นจะต้องวางแยกกับสถานีอื่นๆ โดยมีจุดวางพักที่กำหนดไว้ด้วยเหตุผลด้านความปลอดภัยและคุณภาพของแผงวงจร ส่วนสถานีที่ไม่มีการใช้แผงวงจรในการประกอบก็จะไม่มีการเคลื่อนที่เกิดขึ้น โดยความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายสามารถปรับปรุงได้โดยการจัดผังสถานีงานใหม่ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้หลักการของ CRAFT ในการวิเคราะห์เพื่อหาผังสถานีงานที่ทำให้เกิดระยะทางการเคลื่อนที่ที่น้อยที่สุด ทำการวิเคราะห์โดยใช้ Excel Solver และใช้วิธีการ Evolutionary ช่วยในการแก้ไขปัญหามีสมการเป้าหมายดังนี้

Min Total Distance = $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=i+1}^{n} f_{ij}d_{ij}$ (2)

มีเงื่อนไข $i \neq j$ เมื่อ i , j = 1,2,3,...,19

f_{ij} คือความถี่ของการไหลจากสถานี i ไปสถานี j (ครั้ง) วัดจากขั้นตอนการทำงานว่ามีรอบการเคลื่อนที่ระหว่างสถานีมากน้อยเท่าใด

d_{ij} คือระยะทางระหว่างสถานี i ไปสถานี j โดยวัดจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของแต่ละสถานี

ในโมเดลมีการเพิ่มจุดวางอีก 1 ตำแหน่งรวมตำแหน่งทั้งหมดเป็น 19 สถานี จากการใช้วิธี CRAFT ในการปรับปรุงช่วยให้สามารถลดระยะทางการเคลื่อนที่จาก 826.2 เมตร เหลือ 609.4 เมตร

ตารางที่ 3 ตารางแสดงระยะทางการเดินก่อนปรับปรุง

Station	module	ระยะทางรวม (m)
3	Module F	75
4	Module C	64
9	PCB D	25.2
	PCB I	25.6
	PCB M	42
2	PCB Z	48.5
11	M1	298.6
13	M2	157.3
14	M3	90
รวม		826.2

3.3 ตัวชี้วัดของสายการผลิตก่อนปรับปรุง

ในการวิเคราะห์จะทำการหาอัตราผลผลิตด้านแรงงาน (Labor Productivity) โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$\text{อัตราผลผลิต} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้ต่อวัน}}{\text{เวลาในการผลิตต่อวัน } \mathbf{X} \text{ จำนวนพนักงาน}} \quad (3)$$

การคำนวณค่าอัตราผลผลิตด้านแรงงาน โดยจำนวนชิ้นงานที่ได้จากสายการผลิต คือ 5 ชิ้น/วัน ใช้เวลาในการทำงานต่อวันคือ 21 ชั่วโมง หรือ 75,600 วินาที มีจำนวนพนักงาน 16 คน ต่อ สามารถคำนวณอัตราผลผลิตได้โดย

$$\text{อัตราผลผลิต (Productivity)} = \frac{\mathbf{5} \text{ ชิ้นต่อวัน}}{\mathbf{21} \text{ ชั่วโมง} \times \mathbf{16} \text{ คน}} =$$

0.015 ชิ้น / ชั่วโมง / คน

อรรถประโยชน์ (%Utilization) ก่อนการปรับปรุงคำนวณจากสมการที่ 4

$$\text{อรรถประโยชน์} = \frac{\mathbf{Output}}{\boldsymbol{Input}} \times 100 \quad (4)$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าการใช้อรรถประโยชน์ของสถานี M1 มีเวลามาตรฐานในการทำงานเท่ากับ 7,907.01 วินาทีต่อชิ้น และสามารถผลิตสินค้าได้ 5 ชิ้นต่อวัน โดยเวลาที่ใช้ในการทำงานอยู่ที่ 21 ชั่วโมง หรือ 75600 วินาที สามารถคำนวณค่าการใช้อรรถประโยชน์ของสถานีได้โดย

$$\text{อรรถประโยชน์} = \frac{\mathbf{7907.01 \times 5 \times 100}}{\mathbf{75600}} = 52.30\ \%$$

สามารถสรุปค่าเฉลี่ยอรรถประโยชน์ของสถานีงานต่างๆ ได้เป็น 26.56%

การคำนวณประสิทธิภาพ (Efficiency) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$\text{ประสิทธิภาพ (E)} = \frac{\sum_{i=1}^{j} t}{nCa} \quad (5)$$

โดย t คือเวลาของงานย่อย, j คือจำนวนงานย่อยทั้งหมด, n คือจำนวนสถานีงาน ,Ca คือรอบเวลาในการทำงาน (เวลามากที่สุดที่ใช้ในสายการผลิตชิ้นงานแต่ละชิ้น)

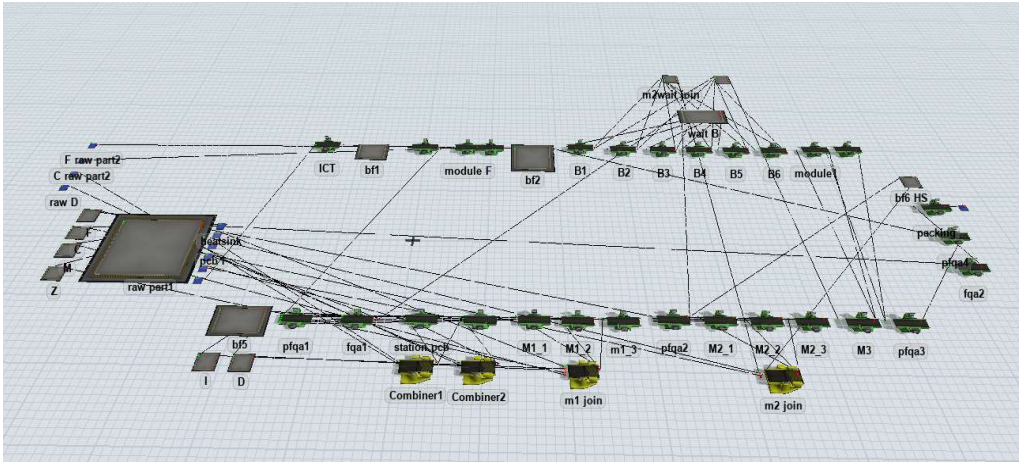
ดังนั้นการคำนวณค่าประสิทธิภาพสายการผลิตคือ E=(173.80+305.04+3040.8+3040.8+1441.08+2182.15+1668.7+1295.9+7907.01+8220.26+1351.19+914.77+539.86+2900+2758.28 +1321.36+1668.7) x100/ (17 * 8220.26) = 29.53 %

3.4 สร้างแบบจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ผลก่อนและหลังปรับปรุง

การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ของสายการผลิตใช้โปรแกรม Flexsim ต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลเวลาในแต่ละกระบวนการตามหลักการศึกษางานและนำข้อมูลไปทดสอบทางด้านสถิติเพื่อหาการแจกแจงที่เหมาะสมโดยใช้โปรแกรม Expertfit [11] ตัวอย่างข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4 ทำการจำลองระบบก่อนปรับปรุง (แบบจำลองที่ 1) แบบจำลองแสดงได้ดังรูปที่ 5

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ข้อมูลของซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A

สถานี	Module	เวลามาตรฐาน (วินาที/ชิ้น)	ความเป็นอิสระต่อกัน P-value	ความเป็นหนึ่งเดียวกัน P-value	ความเหมาะสมของการแจกแจง	พารามิเตอร์
M1		7907.01	1	0.733	Johnson bounded	Johnsonbounded (5627.035061, 9049.843859, -1.276427, 1.711326)
M2		8220.26	0.168	0.883	Loglogistic	Loglogistic (7114.673796, 1041.093025, 4.879665)
M3		914.77	0.168	0.732	Weibull	Weibull (0.000000, 924.620452, 51.560003)
Packing		1321.36	0.646	0.925	Beta	Beta (1185.532633, 1553.100152, 4.427267, 7.553892)
ICT	PCB Z	173.8	0.646	0.925	Johnson bounded	Johnsonbounded (163.475819, 186.008065, 0.251106, 1.332682)
Station Sub	PCB Z	305.04	0.067	0.981	Beta	Beta (288.979245, 322.170834, 1.547306, 1.657742)
Module F	Module F	1441.08	0.168	0.920	Beta	Beta (1416.044184, 1477.783851, 6.383292, 9.370464)
Module C	Module C	2182.15	0.168	0.901	Inverse gaussian	Inversegaussian (1423.616419, 758.538581, 23131.667192)
Station PCB	PCB M	1078.8	0.358	0.802	Beta	Beta (971.506368, 1124.763718, 6.886647, 2.934510)
PFQA 1	PCB Z	220.72	0.168	0.764	Beta	Beta (206.956961, 236.445686, 1.224725, 1.395466)



รูปที่ 5 แผนผังการจำลองสถานการณ์ก่อนการปรับปรุง แบบจำลองที่ 1

การทดสอบการจำลองสถานการแบ่งเป็น

1. การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification) โดยตรวจสอบจากภาพเคลื่อนไหว ตรวจสอบข้อผิดพลาดจากการเขียนโปรแกรม (Trace and debug) และจากจำนวนที่ผลิตได้เทียบกับผลการจำลองพบว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำกว่า 1.64% [12,13] ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

จำนวนเดือน	จำนวนชิ้นงาน		ผลต่าง	
	ข้อมูลการผลิตจริง	แบบจำลอง	ชิ้น	เปอร์เซ็นต์
1	122	120	-2	-1.64%
2	244	240	-4	-1.64%
3	366	365	-1	-0.27%
4	488	487	-1	-0.20%
5	610	611	+1	0.00%
6	732	734	+2	0.27%

2. ทำการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Validation) โดยเปรียบเทียบกับการผลิตจริงที่อยู่ที่ 732 ชิ้นต่อ 6 เดือนกับระบบที่จำลองสถานการณ์โดยใช้ t-test รันโปรแกรมจำนวน 12 รอบ (ได้จากการคำนวณด้วยความเชื่อมั่น 95%) จากการจำลองสถานการณ์ 6 เดือน พบว่าจำนวนสินค้าที่ผลิตได้คือ $\bar{x}$ = 734 ชิ้นมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น s = 230.11 ทำการทดสอบสมมุติฐานโดยใช้สมการที่ 6 โดยมีสมมุติฐานคือ

H_0 : μ = 732 ชิ้นต่อ 6 เดือน

H_1 : μ ≠ 732 ชิ้นต่อ 6 เดือน

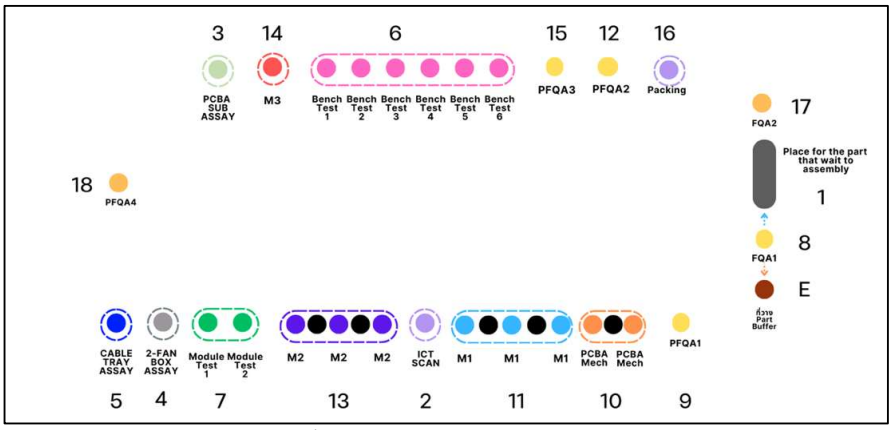
จาก
$$t_0 = \frac{\bar{x}-\mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (6)$$

$$t_0 = \frac{734-732}{\frac{230.11}{\sqrt{12}}} = 0.021289$$

$$t_{Critical} = t_{\frac{\alpha}{2},n-1} = t_{0.025,11}$$

$$t_{Critical} = 2.20099$$

จากการทดสอบพบว่าได้ช่วงความเชื่อมั่นคือ -2.20099 ≤ 0.021289 ≤ 2.20099 ซึ่งยอมรับสมมุติฐานหลักแสดงว่าค่าเฉลี่ยของระบบจริงไม่แตกต่างจากระบบที่จำลองอย่างมีระดับนัยสำคัญ หลังจากนั้นจำลองระบบที่ทำการปรับปรุงดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ภาพแสดงผังสถานีหลังการปรับปรุง

4. ผลงานการวิจัย

การปรับปรุงโดยใช้หลักการของการติดตั้งที่รวดเร็ว โดยการออกแบบกล่องสำหรับการป้อนชิ้นส่วนใหม่ ทำให้ช่วยลดเวลาในการหาชิ้นส่วนและการนับชิ้นส่วนลงได้โดยเดิมเวลาที่เพิ่มมูลคือ 31% ไม่เพิ่มมูลค่า 69% ปรับปรุงเป็นเวลาที่เพิ่มมูลค่า 57% ไม่เพิ่มมูลค่า 43% ลดเวลาที่ไม่เพิ่มมูลค่าลง 26%

การกำหนดขนาดคัมบังโดยเปลี่ยนจากการป้อนชิ้นส่วนรวมกันที่หน้าสายการผลิตเป็นป้อนเข้าแต่ละสถานีในจำนวนที่ต้องผลิตในแต่ละวันช่วยลดปริมาณ WIP ในกระบวนการส่งผลให้เกิดการลดปริมาณ WIP จากเดิม 2,441 ชิ้นต่อวันเป็น 2,078 ชิ้นต่อวัน ลดลง 14.87%

การปรับปรุงความสูญเปล่าที่เกิดจากการเคลื่อนย้ายและจัดผังแบบเซลล์โดยปรับปรุงตำแหน่งสถานีด้วยหลักการของ CRAFT วิเคราะห์ผ่าน Excel Solver ได้เป็นผังสถานีงานใหม่ ดังรูปที่ 4 ผังสถานีงานใหม่สามารถลดระยะทางการเคลื่อนที่จาก 826.2 เมตร เหลือ 609.4 เมตร คิดเป็น 26%

ผลการจำลองสถานการณ์สายการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A ที่ใช้เวลาในการจำลองสถานการณ์ทั้งสิ้น 6 เดือนและสามารถเปรียบเทียบตัวชี้วัดของแต่ละแนวทางหลังการปรับปรุงได้ผลดังตารางที่ 6 จากการนำผลการปรับปรุงของแบบจำลองทั้ง 2 แบบ

จากผลการจำลองสถานการณ์แนวทางการปรับปรุงให้สายการผลิตมีอัตราผลผลิตเพิ่มขึ้น 33%จากสายการผลิตก่อนการปรับปรุง ให้ค่าอรรถประโยชน์ของสถานีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 12% และให้ค่าประสิทธิภาพของสายการผลิตหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้น 191% ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงในงานวิจัยนี้จึงมีความเหมาะสมในการปรับปรุงสายผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์ของแบบจำลองสถานการณ์รายเดือนแบบสะสม

ปริมาณที่ผลิตได้จากแบบจำลองก่อนปรับปรุง (ชิ้น)	ปริมาณที่ผลิตจากแบบจำลองหลังปรับปรุง (ชิ้น)	ความแตกต่างหลัง-ก่อนปรับปรุง (ชิ้น)
120	140	20
240	285	45
365	430	65
487	563	76
610	706	96
734	860	126

5. สรุปและอภิปายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัญหาของสายการผลิตผลิตภัณฑ์ซุปเปอร์คอมพิวเตอร์รุ่น A เป็นสายการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ ประกอบไปด้วยสถานีงานจำนวน 18 สถานีงาน ทำการผลิตชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปร่วมกัน โดยในสายการผลิตพบความสูญเปล่าที่เกิดจากการรอคอย วัสดุคงคลัง และการเคลื่อนย้าย ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงสายการผลิต โดยใช้หลักการของลีนประกอบไปด้วยการติดตั้งที่รวดเร็วทำการออกแบบกล่องสำหรับการป้อนชิ้นส่วน การควบคุมด้วยคัมบังปรับปรุงวิธีการป้อนชิ้นส่วนเป็นการป้อนเข้าแต่ละสถานีโดยตรงตามปริมาณที่ได้คำนวณไว้ และการจัดผังแบบเซลล์โดยในการจัดผังได้ใช้หลักการของ CRAFT มาคำนวณหาตำแหน่งสถานีงานที่เหมาะสมเพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ จากการจำลองสถานการณ์ก่อนและหลังการปรับปรุง ได้แสดงให้เห็นว่าแนวทางการปรับปรุงสามารถเพิ่มอัตราผลผลิตให้สายการผลิตได้โดยเฉลี่ย 20 ชิ้นต่อเดือน มีค่าอัตราผลผลิตเพิ่มขึ้น 33% ค่าประสิทธิภาพของสายการผลิตหลังการปรับปรุงเพิ่มขึ้น 191% ค่าอรรถประโยชน์ของสถานีเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 12%

งานวิจัยในอนาคตสามารถประยุกต์ใช้หลักการของลีนในการวิเคราะห์ปัญหาต่างๆในสายการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นๆ ในโรงงานได้ นอกจากนั้นการพิจารณาคำนวณหาตำแหน่งสถานีงานด้วยวิธีการอื่นๆ สามารถนำมาเปรียบเทียบเพื่อปรับปรุงผังสายการผลิตเพิ่มเติมได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] N. Buakaew, *Introduction to Lean Manufacturing*. Bangkok, Thailand: Technology Promotion Association (Thailand –Japan), 2004.

[2] J. P. Womack and D. T. Jones, *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*, 2nd ed. New York, NY, USA: Simon & Schuster, 2003.

[3] S. Panigrahi, K. K. Al Ghafri, W. R. Al Alyani, M. W. A. Khan, T. Al Madhagy and A. Khan, “Lean manufacturing practices for operational and business performance: A PLS-SEM modeling analysis,” *International Journal of Engineering Business Management*, vol. 15, pp. 1–16, 2023.

[4] P. Boonma, S. Theerathammakorn, and S. Chianrabutra, “Setup time reduction of four-corner folding paperboard box process by quick changeover technique,” *Journal of King Mongkut’s University of Technology North Bangkok*, vol. 33, no. 1, pp. 4–11, 2023.

[5] N. Khongudomkiat, C. Khompatraporn, C. Jaturanonda and T. Wuttipornpun, “Raw materials reduction by pull production system and simulation,” *MUT Journal of Business Administration*, vol. 9, no. 2, pp. 12–20, 2012.

[6] V. A. Deshpande and I. K. Chopade, “Facility layout design by CRAFT technique,” in *Proc. National Conf. Computational Method in Mechanical Engineering*, Hyderabad, India, 2005, pp. 108–113.

[7] S. Trisat, *Plant Layout and Design*, 19th ed. Bangkok, Thailand: Technology Promotion Association (Thailand–Japan), 2007. (In Thai)

[8] B. Pruksaphanrat, *Simulation Using ProModel*. Bangkok, Thailand: Thammasat University Printing House, 2019.

[9] B. Phruksaphanrat and S. Duangburong, “Lean techniques and simulation-based optimization for improving wood plastic

composite manufacturing," *Songklanakarin Journal of Science and Technology*, vol. 41, no. 3, pp. 559–566, 2019.

[10] A. F. O. Pertivi and R. D. Astuti, "Increased line efficiency by improved work methods with the ECRS concept in a washing machine production: A case study," *Journal of Systems Management and Industry*, vol. 4, no. 1, pp. 13–29, Jul. 2020.

[11] M. Beaverstock, A. Greenwood and W. Nordgren, *Applied Simulation: Modeling and Analysis Using FlexSim*, 5th ed. USA: BookBaby, 2018.

[12] K. Kongcharoen, P. Suksamai and B. Phruksaphanrat, "Computer simulation for enhancing gear production line with flow smoothing," *Srinakharinwirot University Engineering Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 16–27, 2025. (In Thai)

[13] B. Phruksaphanrat, I. Wipuseree and P. Benjaphongwattana, "Internal logistics simulation based on AGV system in assembly section of an automotive manufacturer," *Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*, vol. 32, no. 2, pp. 355–365, 2022.

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reader)

ต้นฉบับบทความวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569 ได้รับการตรวจสอบแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้

ลำดับ	รายนามผู้ทรง	สังกัด
1.	อาจารย์ ดร.มนัส แป้งใส	ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2.	รองศาสตราจารย์ ดร.มาโนช สรรพกิจทิพากร	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
3.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์ นุ่มทอง	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
4.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วุฒินันท์ นุ่นแก้ว	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
5.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สราวุฒิ สิริเกษมสุข	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล - ระบบราง คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
6.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกชัย อยู่ประเสริฐชัย	ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
7.	รองศาสตราจารย์ ดร.ปรีดา ไชยมหาวัน	สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา
8.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรพงศ์ บริรักษ์	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย
9.	รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษฎางค์ ศุกระมูล	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
10.	รองศาสตราจารย์ ดร.ทศพล เกียรติเจริญผล	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
11.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ จันทร์ทอง	ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
12.	รองศาสตราจารย์ ดร.วนัฐณพงษ์ คงแก้ว	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
13.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์วรินทร์ เกียรตินุกูล	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
14.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย เตชะวัชราภัยกุล	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

รายนามผู้ทรงคุณวุฒิ (Reader)

ต้นฉบับบทความวิจัยที่ตีพิมพ์วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2569 ได้รับการตรวจสอบแก้ไขจากผู้ทรงคุณวุฒิดังรายนามต่อไปนี้

ลำดับ	รายนามผู้ทรง	สังกัด
15.	รองศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุท เกษมเศรษฐ์	สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
16.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสภา แซ่เฮ้ง	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
17.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลียว เกตุแก้ว	สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ศูนย์สุพรรณบุรี คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณ
18.	รองศาสตราจารย์ ดร.นันทิยา ชัยบุตร	ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
19.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โกวิทย์ พลหาญ	ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
20.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิฐภัทร ตันประดิฐ	สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ
21.	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความลงตีพิมพ์
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เป็นวารสารในศูนย์ข้อมูลดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai – Journal Citation Index Centre: TCI) กลุ่มที่ 2 พ.ศ. 2563-2567 เลขมาตรฐานสากลประจำวารสาร 2774-0269 (Online) เพื่อเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการ ด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีวิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมชีวการแพทย์ และสาขาใกล้เคียงอื่นๆ ทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ เป็นภาษาอังกฤษหรือภาษาไทยที่มีบทคัดย่อภาษาอังกฤษ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จึงกำหนดให้จัดทำโครงการจัดทำวารสารทางวิชาการขึ้น โดยจัดพิมพ์เป็นประจำทุกปี วารสารตีพิมพ์ 2 ครั้งต่อปี (ทุก 6 เดือน) ในเดือน มิถุนายน และ ธันวาคม ฉบับที่ 1 ช่วงเดือนมกราคม – มิถุนายน ฉบับที่ 2 ช่วงเดือนกรกฎาคม – ธันวาคม ซึ่งบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ทุกบทความจะผ่านการทบทวนโดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 คนต่อบทความ (Peer-review) และประเมินบทความในลักษณะเป็นผู้ทรงคุณวุฒิที่ประเมินบทความไม่ทราบชื่อผู้แต่งและผู้แต่งไม่ทราบชื่อผู้ทรงคุณวุฒิ หรือ Double Blinded review และสงวนสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พุทธศักราช 2521 และเผยแพร่แบบออนไลน์ทั่วประเทศ

1. การเตรียมต้นฉบับ

1) เป็นบทความวิจัย หรือบทความวิชาการ ที่มีความยาวไม่ควรน้อยกว่า 7 หน้า และไม่ควรเกิน 10 หน้า กระดาษ A4 พิมพ์ห่างจากขอบกระดาษด้านซ้าย 1.25 นิ้ว ด้านอื่น ๆ 1 นิ้ว
2) เป็นบทความที่ไม่ได้อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของสื่อสิ่งพิมพ์อื่น ๆ และไม่เคยได้รับการตีพิมพ์ในวารสารใด ๆ มาก่อน
3) ต้องไม่มีการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น ไม่มีการลอกเลียน หรือตัดทอนผลงานวิจัยของผู้อื่นโดยที่ไม่ได้รับอนุญาตและมีการอ้างอิงที่เหมาะสม
4) ชนิดและขนาดตัวอักษร ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun New ซึ่งขนาดตัวอักษร มีรายละเอียดดังนี้
   6.1) ชื่อบทความ ใช้ตัวอักษรขนาด 18 pt. ตัวหนา
   6.2) ชื่อ-สกุลผู้เขียนบทความ ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ
   6.3) หัวข้อหลัก ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวหนา
   6.4) หัวข้อรอง ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวเอียง
   6.5) เนื้อเรื่องในหัวข้อหลักและหัวข้อรอง ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ
   6.6) เนื้อเรื่องในตาราง ใช้ตัวอักษรขนาด 14 pt. ตัวปกติ

รูปแบบการเขียนบทความ ควรมีหัวข้อเรื่องเรียงตามลำดับดังต่อไปนี้

ชื่อเรื่อง ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยมีข้อความที่กระชับ ได้ใจความ และบ่งบอกบทความได้อย่างชัดเจน

ชื่อผู้เขียน ให้ระบุชื่อ นามสกุล ตำแหน่ง หน่วยงานและที่อยู่ของผู้เขียนทุกคน โดยหากบทความเป็นภาษาไทยให้ระบุชื่อผู้เขียนเฉพาะภาษาไทยเท่านั้น

บทคัดย่อ บทคัดย่อต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

คำสำคัญ (Keyword) คำสืบค้นที่เกี่ยวข้องกับบทความ ต้องมีทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ

บทนำ กล่าวถึงความสำคัญของปัญหาและภูมิหลังของการวิจัย รวมไปถึงวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ตัวเนื้อหา อธิบายถึงอุปกรณ์ หรือวิธีการที่ใช้ในการวิจัย บรรยายผล และวิจารณ์ผล สามารถแตกออกเป็นหลายหัวข้อได้

สรุป บรรยายถึงบทสรุปของงานวิจัย

กิตติกรรมประกาศ ขอบคุณทุนสนับสนุน หรือบุคคล (ถ้ามี)

เอกสารอ้างอิง ให้เขียนเอกสารอ้างอิงโดยใช้วิธีเรียงตามลำดับก่อนหลังที่พบในบทความ ในรูปแบบตัวเลขในวงเล็บเหลี่ยม สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายการเอกสารอ้างอิง ใช้รูปแบบ IEEE ดังรายละเอียดและตัวอย่างในไฟล์แม่แบบ (template) ซึ่งดาวน์โหลดได้ที่ http://eng.swu.ac.th/re.html

2. วิธีการส่งบทความ

1) ส่งต้นฉบับบทความ ไฟล์ Microsoft Word และ pdf พร้อมแนบไฟล์สแกนแบบเสนอผลงานวิชาการเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
2) ส่งไฟล์ต้นฉบับทางออนไลน์ที่ https://www.tci-thaijo.org/index.php/sej/login
3) ดูข้อมูลวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒเพิ่มเติม และดาวน์โหลดแบบฟอร์มประกอบการส่งบทความ ได้ที่ http://eng.swu.ac.th/re.html

3. ขั้นตอนการประเมินบทความ

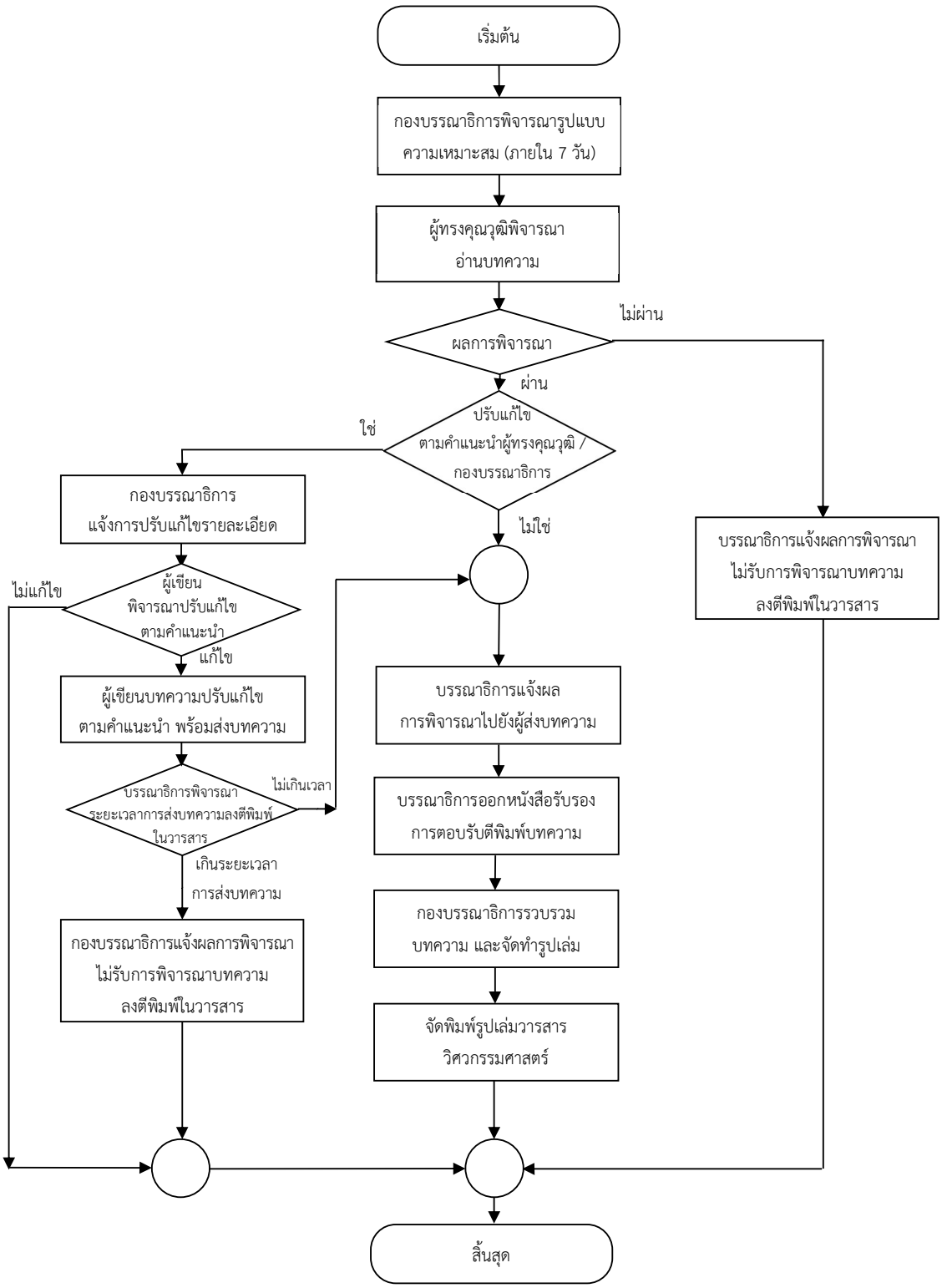
การประเมินบทความวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มีขั้นตอนดังนี้

1) การทบทวนโดยผู้รู้เสมอกัน (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อยสองคนในสาขาที่เกี่ยวข้องแบบอำพรางฝ่ายเดียว (double-blind)
2) การเขียนตอบข้อซักถามและการแก้ไขปรับปรุงต้นฉบับตามข้อคิดเห็น (comments) ของผู้ทรงคุณวุฒิโดยผู้เขียน และการพิจารณาอีกครั้งโดยผู้ทรงคุณวุฒิคนเดิม หากผู้ทรงคุณวุฒิได้แจ้งความประสงค์ขอพิจารณาอีกครั้งไว้
3) การประชุมกองบรรณาธิการเพื่อพิจารณาผลการทบทวนโดยผู้รู้เสมอกันจากผู้ทรงคุณวุฒิ และการแก้ไขปรับปรุงต้นฉบับ เพื่อตัดสินใจว่าจะตอบรับหรือไม่ในขั้นสุดท้าย
4) สำหรับบทความที่ได้รับการตอบรับ กองบรรณาธิการจะพิจารณาความถูกต้องของรูปแบบเพื่อแจ้งผู้เขียนแก้ไข
5) บรรณาธิการออกหนังสือรับรองการเผยแพร่ให้ผู้เขียน โดยมอบไว้กับผู้เขียนหลัก

4. การเก็บค่าธรรมเนียม

การชำระค่าธรรมเนียมหน้าสำหรับวารสารนี้ไม่ใช่เงื่อนไขสำหรับการตีพิมพ์

ขั้นตอนการพิจารณาผลงานเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

Srinakharinwirot University Engineering Journal

Vol. 22 No.1 (January - June 2026)

ISSN : 2774 - 0269 (Online)

บทความวิจัย

- การพัฒนาหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติสำหรับอุตสาหกรรม 4.0 ด้วย ROS 2 และ LabVIEW
  Development of an Autonomous Mobile Robot for Industry 4.0 Based on ROS 2 and LabVIEW
  กังวานไกล ผิผ่วนนอก1 ธนยศ อริสริยวงศ์

- ตำแหน่งติดตั้งสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าในอาคารที่เหมาะสมเพื่อป้องกันและลดความเสี่ยงจากอัคคีภัย
  The Appropriate Location for Installation of Electric Vehicle Charging Stations in Buildings to Prevent and Reduce Fire Risks
  วันทนีย์ มิ่งมา วีรวุฒิ กนกบรรณกร ปานจิต ดำรงกุลกำจร

- การออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design เพื่อการศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการสึกหรอของเครื่องมือตัดเคลือบ TiAlN ในการกัดเหล็กกล้า SKD61
  A 2^3 Factorial Design for Studying Parameters Affecting the Wear of TiAlN-Coated Cutting Tools in SKD61 Steel Milling
  เกริกชัย มีหนู* สมชาย โพธิ์พยอม

- กำลังและความคงทนของคอนกรีตที่ใช้การแทนที่ทรายด้วยมวลรวมเศษขยะพลาสติก
  Strength and Durability of Concrete Using Sand Replacement with Plastic Waste Aggregate
  อัญชนา กิจจานนท์ ลีน่า ปรัก ทวีชัย สำราญวานิช

- การเพิ่มผลผลิตในวิธีการปอกมะพร้าวของผู้ประกอบการค้าส่งมะพร้าวแห้ง
  Productivity Improvement in Coconut Peeling for Dried Coconut Wholesaler
  วีรชัย มัฏฐารักษ์ เสรี หนูหลง พิเชษฐ์ รัตนบุญทวี

- เครื่องบำบัดรักษาด้วยการพ่นลมเย็นราคาประหยัด
  A Cost-effective Cryotherapy Machine Using Cold Air Spraying
  ภาณุศักดิ์ มูลศรี นพรัตน์ อมัติรัตน์* อภิเดช บุญเจือ ธวัชชัย จารุวงศ์วิทยา สัญชัย รำเพยพัด

- การพัฒนาระบบทำรายการวัสดุเพื่อทำใบสั่งผลิตโดยใช้วีบีเอบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล กรณีศึกษา สินค้าม่านและมู่ลี่
  Development of a Bill of Materials System for Production Order Management Using VBA in Microsoft Excel
  : A Case Study of Curtain and Venetian blinds Products
  ชุติมน เตียสกุล บัณฑิตา จันทรกลั่น พุทธกร จันทร์ไพร กิตติชัย อธิกุลรัตน์

- การปรับปรุงสายการผลิตซุปเปอร์คอมพิวเตอร์ด้วยเทคนิคของลีนและจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์
  Supercomputer Production Line Improvement by Lean Techniques and Computer Simulation
  ภนิตา พรประเสริฐภัทรา, กัญฏิณิษฐ์ ยิ่งวุฒิวรกุล, วรรณวิภา ชวาลสันตติ, บุษบา พฤกษาพันธุ์รัตน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
เลขที่ 63 หมู่ 7 ถนนรังสิต - นครนายก อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก 26120
โทร 0 2649 5000 ต่อ 27560
http://eng.swu.ac.th