

วิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
และวิศวกรรมประยุกต์
Wittayasara: Integration Apply Engineering
and Industrial Technology

ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม – ธันวาคม 2568
Volume 18 No.2 July - December 2025

ISSN: 3027-8376 (Print)
ISSN: 3056-9559 (Online)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
119 ถ.ลำปาง-แม่ทะ ต.ชมพู อ.เมือง จ.ลำปาง 52100
โทรศัพท์ 0 5423 7352 ต่อ 1339
<http://www.itech.lpru.ac.th>

**คณะกรรมการและกองบรรณาธิการ วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง**

เจ้าของ ที่ปรึกษา	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อธิการบดี รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์พงษ์สวัสดิ์ อำนจกิตติกร รองศาสตราจารย์บุญชาติ เนติศักดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ อ้นยะลา รองศาสตราจารย์ธิดิมา คุณยศยิ่ง
บรรณาธิการผู้ก่อตั้ง บรรณาธิการ ผู้ช่วยบรรณาธิการ	

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก Peer Review)

ศ.เกียรติคุณ เสริมศักดิ์ นาคบัว	มหาวิทยาลัยศิลปากร	รศ. สุมาลี อุณหวนิชย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ศ.ดร. ก้องกิติ พุสสวัสดิ์	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	รศ. นิลวัฒน์ พัฒนพงษ์	มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
ศ.ดร. ตริตศ เหล่าศิริหงษ์ทอง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. ยืน ภูววรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ. วิชัย พฤกษ์ธาราธิกุล	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ศ.ดร. ธนารักษ์ อีระมั่นคง	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สมชาย ชื่นพัฒนาประณิธิ	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
ศ.ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	รศ. สมพงษ์ บุญเลิศ	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
ศ.ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ. สายัณห์ จันทวิรัช	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
ศ.ดร. สุพล อนันตา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	รศ. สุวิช บุตรสุวรรณ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ศ.ดร. วัฒนวงศ์ รัตนวราห	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี	รศ. आयुวัฒน์ สว่างผล	มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ศ.ดร. อภิรัฐ ศิริธราวัตร	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	ผศ.ดร. จิรพัฒน์ วาณิชวัฒนาโกศล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. กวิน สนิธิเพิ่มพูน	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	ผศ.ดร. นิวัตร พัฒนะ	มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
รศ.ดร. เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง	มหาวิทยาลัยบูรพา	ผศ.ดร. ศศิธร คนทน	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
รศ.ดร. ชิตชัย อนันตเศรษฐ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	ผศ.ดร. ศักดิพล เทียนเสมอ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รศ.ดร. ช่างโชติ พันธเวช	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ.ดร. สมชาย มณีวรรณ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
รศ.ดร. ดรณิ วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง	ผศ.ดร. สุธี วัฒนศิริเวช	มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
รศ.ดร. อีรศิลป์ ทุมวิภาต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลรัตนโกสินทร์		

กองบรรณาธิการ : (ผู้ทรงคุณวุฒิภายใน)

รศ.ดร. นกตล อุทัยภักขิ	มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์	รศ.ดร. กิตติศักดิ์ สมุทรารักษ์	
รศ.ดร. นิพนธ์ เกตุจ้อย	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	ศ. จำเนียร นันทิลก	
รศ.ดร. นพมณี โทบุญญานนท์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้	รศ.ดร. นันทะ บุตรน้อย	
รศ.ดร. นัฐพร ไชยญาติ	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้	รศ.ดร. อนิรุจน์ มะโนธรรม	
รศ.ดร. ปรงศักดิ์ อัมพพ	มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา	ผศ. พงษ์สวัสดิ์ อำนจกิตติกร	
รศ.ดร. พิระวุฒิ สุวรรณจันทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง	รศ. อธิมา คุณยศยิ่ง	
รศ.ดร. พงศ์ หรดาล	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร	รศ. ศิวข ลาวลัยดีกุล	
รศ.ดร. มนตรี ศิริปรัชญานันท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า	Mr. Richard Lawrence Mann	
รศ.ดร. วัฒนพงศ์ รักษ์วิเชียร	มหาวิทยาลัยพะเยา		
รศ.ดร. วิชัย แหวนเพชร	มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร		
รศ.ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ	มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	รศ. อธิมา คุณยศยิ่ง	ฝ่ายประสานงานทั่วไป
รศ.ดร. สรา อารณ	มหาวิทยาลัยมหิดล	ผศ.ดร. วศินวิโรตม์ เนติศักดิ์	ฝ่ายออกแบบงานศิลป์
รศ.ดร. อภิชาติ แจ้งบำรุง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	นางสาว รุ่งระวี ปวงปันวงศ์	ฝ่ายการเงิน
รศ.ดร. เอกรัฐ บุญเชียง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	นางสาว กมลชนก ถาแก้ว	ฝ่ายจัดเตรียมต้นฉบับ

วารสารวิชาการ “วิทยาสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” ISSN: 3027-8376 (Print)/ ISSN: 3056-9559 (Online) เป็นวารสารระดับชาติที่ทุกบทความได้รับการกลั่นกรองจากคณะกรรมการ และตรวจประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิ ซึ่งเป็นผู้ทรงคุณวุฒิภายใน และภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง อย่างน้อยบทความละ 3 ท่าน และไม่ได้อยู่ในสถาบันเดียวกันในการพิจารณาประเมินคุณภาพของบทความ โดยทำการพิจารณาให้คำแนะนำเพื่อปรับปรุงแก้ไขให้บทความมีเนื้อหาที่ถูกต้องและมีคุณภาพตามมาตรฐานสากล

วัตถุประสงค์ : เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัย และบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กำหนดออกวารสาร : ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และ ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม

เว็บไซต์วารสาร : <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/itech>

สารจาก อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

วารสารวิชาการ “วิทยสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ดำเนินการจัดพิมพ์เผยแพร่ต่อเนื่องจนก้าวเข้าสู่ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2568) นับเป็นอีกก้าวสำคัญของการขับเคลื่อนพันธกิจด้านวิชาการของคณะฯ และมหาวิทยาลัยในการส่งเสริมการผลิตองค์ความรู้ใหม่ การเผยแพร่ผลงานวิจัย และการสร้างพื้นที่ทางวิชาการที่เปิดกว้างสำหรับนักวิจัย นักศึกษา นักวิชาการ และผู้สนใจในสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วารสารฉบับนี้มุ่งเน้นการนำเสนอผลงานวิจัย บทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรมในหลากหลายสาขา อาทิ เทคโนโลยีวิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยให้ความสำคัญกับการบูรณาการองค์ความรู้สมัยใหม่เข้ากับบริบทของภูมิปัญญาท้องถิ่น การพัฒนาเชิงสร้างสรรค์ และการประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมและชุมชน เพื่อส่งเสริมการนำองค์ความรู้ไปใช้ประโยชน์ทั้งในระดับบุคคล องค์กร สังคม และท้องถิ่นอย่างแท้จริง

ในโอกาสนี้ คณะผู้จัดทำขอแสดงความขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่สละเวลาและความรู้ในการประเมินบทความอย่างละเอียด กองบรรณาธิการที่ร่วมกันวางแผน คัดเลือก และจัดการเนื้อหาทางวิชาการอย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงคณะทำงานผู้สนับสนุนที่มีส่วนสำคัญในการผลักดันให้กระบวนการจัดทำวารสารในทุกขั้นตอนดำเนินไปอย่างราบรื่นและมีคุณภาพหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้อ่านทุกท่าน ไม่ว่าจะเป็นนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา หรือผู้สนใจทั่วไป โดยจะสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้รับไปต่อยอดการเรียนรู้ การวิจัย การพัฒนาเทคโนโลยี และการขยายผลในด้านต่าง ๆ ได้อย่างมีคุณค่า คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมจะยังคงมุ่งมั่นพัฒนาวารสารให้มีคุณภาพสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ “วารสารวิทยาสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” เป็นเวทีทางวิชาการที่สร้างความรู้ใหม่และสร้างประโยชน์ต่อสังคมต่อไปอย่างยั่งยืน



รองศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์ สมุทธารักษ์

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

สารจาก บรรณาธิการ

วารสารวิชาการ “วิทยาสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์” ดำเนินการโดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพปาก ก้าวเข้าสู่ปีที่ 18 ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม – ธันวาคม 2568) โดยยังคงมุ่งมั่นในการทำหน้าที่เป็นสื่อกลางเพื่อเผยแพร่ และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ผ่านการตีพิมพ์ บทความวิจัย บทความวิชาการ สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการที่เกี่ยวข้อง เพื่อสนับสนุนการสร้างและพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ ที่สามารถบูรณาการ เข้ากับวิถีภูมิปัญญาท้องถิ่น และนำไปสู่การต่อยอดผลงานที่มีคุณค่าในเชิงวิชาการและเชิงปฏิบัติ

การเติบโตและการได้รับการยอมรับของวารสารเป็นแรงผลักดันสำคัญให้คณะทำงาน มีความมุ่งมั่นที่จะยกระดับคุณภาพวารสารอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านความเข้มข้นของกระบวนการ พิจารณาคำขอ การกลั่นกรองโดยผู้ทรงคุณวุฒิ การพัฒนามาตรฐานการจัดการวารสาร ตลอดจน การปรับปรุงแบบให้มีความทันสมัย สอดคล้องกับมาตรฐานวิชาการระดับชาติและนานาชาติ เพื่อให้วารสารเป็นแหล่งอ้างอิงที่เชื่อถือได้ และสามารถตอบสนองต่อความต้องการทางวิชาการ ของสังคมได้อย่างยั่งยืน

ท้ายนี้ ขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกฝ่าย ไม่ว่าจะเป็นผู้ทรงคุณวุฒิ กองบรรณาธิการ ผู้เขียน บทความ ตลอดจนบุคลากรที่มีส่วนร่วมในกระบวนการจัดทำวารสารที่ร่วมแรงร่วมใจกันผลักดัน ให้วารสารวิชาการของคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมสามารถดำเนินงานมาได้อย่างต่อเนื่อง และพร้อม จะก้าวสู่การพัฒนาในระดับที่สูงขึ้น เพื่อเป็นแหล่งสร้างสรรค์ความรู้และประโยชน์ต่อสังคมต่อไป อย่างยั่งยืน



ผู้ช่วยศาสตราจารย์จักรกฤษณ์ อันยะลา

บรรณาธิการ วารสารวิชาการ

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพปาก

สารบัญ

สารจากอธิการบดี

สารจากบรรณาธิการ

หน้า

การปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมังคุด กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชน แปรรูปบ้านปลายคลอง อำเภอเมืองจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี <i>เบญจมาศ เนติวรรักษา, อนุรักษ รอดบำรุง, วิทวัส สิงห์สังข์ และกฤติยาภรณ์ คุณสุข</i>	1
ตัวแบบห่วงโซ่อุปทานการดัดแปลงยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่: กรณีศึกษาพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย <i>พิมพ์ิกา สุภาวงศ์, จิรพัฒน์ วาณิชวัฒนะโกศล และศุทธิณี สวัสดิ์ชิตัง</i>	13
การประยุกต์ใช้ AppSheet เพื่อพัฒนาระบบการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ: กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร <i>วรเทพ ตริวิจิตร, เถลิง พลเจริญ, สมจินต์ อักษรธรรม และผ่องอำไพ แสนแสง</i>	29
การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติของน้ำดินหล่อจากดินเลนในบ่อดักตะกอนในเหมือง แม่เมาะ จังหวัดลำปาง เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก <i>สุชีวัน อินท่ง, พงษ์ชนะ ชูติมา, ชุมพล บุศบก และสุทธิเทพ รมยเวศม์</i>	41
การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานกระบวนการผลิตขนมหม้อแกง กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี <i>อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก, กังสดาล สกุลพงษ์มาลี, ปองพล รักการงาน และชลาลัย วงเวียน</i>	56
ภาคผนวก ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ	69

CONTENTS

Letters from the president

Letters from the Editors

Page

Improvement of the Production Process for Mangosteen-Based Products: 1

A Case Study of the Ban Plai Khlong Community Enterprise, Mueang District,
Chanthaburi Province

*Benjamas Netiworaruksa, Anurak Rodbumrung, Witawat Singsang
and Kritiyaporn Kunsook*

A Battery Electric Vehicle Modification Supply Chain Model: 13

A Case Study in Northern Part of Thailand

Pimpika Supawong, Jirapat Wanitwattanakosol and Suttinee Sawadsitng

Application of AppSheet for Improving Material Withdrawal and 29

Disbursement Process in a Metal Mold Department: A Case Study
of an Automotive Parts Manufacturing Company Krathum Baen District,
Samut Sakhon Province

Worathep Treewichit, Thaloeng Poljaroen, Somjin Aksorntham and Phongamphai Sensang

The preparation and property study of clay slip from sedimentation pond 41
muddy clay of Mae Moh mine for ceramic production

*Sucheewan Inthung, Pongchana chutima, Chumphol Busabok
and Suttitthep Rommayawes*

Ergonomic Risk Assessment of Workers in the Thai Custard Production 56

Process: A Case Study in Mueang District, Phetchaburi Province

*Alongkorn Chatmuangpak, Kangsadan Sakulpongmalee, Pongphol Rakkanrane,
and Chalalai Wongwian*

Appendix 69

Standard requirements for academic journals

การปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมังคุด

กรณีศึกษาวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลอง

อำเภอเมืองจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี

Improvement of the Production Process for Mangosteen-Based Products: A Case Study of the Ban Plai Khlong Community

Enterprise, Mueang District, Chanthaburi Province

เบญจมาศ เนติวรารุษา^{1*}, อนุรักษ์ รอดบำรุง², วิทวัส สิงห์สังข์³ และกฤติยาภรณ์ คุณสุข⁴

Benjamas Netiworaruksa^{1*}, Anurak Rodbumrung², Witawat Singsang³ and Kritiyaporn Kunsook⁴

^{1*,2,3,4}มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี 41 หมู่ 5 ตำบลท่าช้าง อำเภอเมืองจันทบุรี จังหวัดจันทบุรี 22000

โทร 08 1644 1880 E-mail: Benjamas.n@rbru.ac.th

^{1*,2,3,4}Rambhai Barni Rajabhat University 41 Moo 5, Tambon Tachang, Amphur Muang, Chanthaburi, 22000

Tel. +668 1644 1880 E-mail: Benjamas.n@rbru.ac.th

วันที่รับบทความ 30 กรกฎาคม 2568

Received: July. 30, 2025

วันที่รับแก้ไขบทความ 27 ตุลาคม 2568

Revised: Oct. 27, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 9 ธันวาคม 2568

Accepted: Dec. 9, 2025

บทคัดย่อ

กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลอง มีการแปรรูปผลิตภัณฑ์เกี่ยวกับมังคุดหลายชนิด ซึ่งในงานวิจัยนี้สนใจกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผามังคุด ซึ่งไม่สามารถผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดในช่วงเวลาที่มียอดสั่งซื้อสูงได้ เช่น ในช่วงเทศกาลปีใหม่หรือมหกรรมสินค้า OTOP เพื่อแก้ไขปัญหา งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผามังคุดและปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยใช้เครื่องมือแผนภูมิกระบวนการไหล, ECRS และ Tecnomatix Plant Simulation เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบกระบวนการผลิต เพื่อหาแนวทางการผลิตที่เหมาะสมที่สุดและจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยแผนผังก้างปลา พบว่าสาเหตุหลักที่กระบวนการผลิตล่าช้ามาจากการกวนที่ใช้แรงงานคนเป็นหลัก ดังนั้น จึงเสนอแนวคิดในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการนำเครื่องกวนมาใช้ทดแทนแรงงานคน จากการวิจัยโดยศึกษาการผลิตน้ำพริกเผามังคุด 1 ลีต จำนวน 200 กระปุก พบว่ากิจกรรมในกระบวนการผลิตไม่ลดลง แต่ลดเวลาในการผลิตลง 3.33 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 10.21 และลดแรงงานที่ใช้ในขั้นตอนการทำน้ำพริกเผามังคุดลงได้ 2 คน คิดเป็นร้อยละ 66.67 เป็นการประหยัดค่าจ้างแรงงานลงได้ 1,000 บาท ประสิทธิภาพการทำงานของแรงงานดีขึ้นร้อยละ 8.33 แรงงานลดความเหนื่อยและเมื่อยล้าจากกระบวนการกวน และเมื่อคำนวณจุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนพบว่าจะสามารถคืนทุนได้ภายใน 1 ปี

คำสำคัญ: ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมังคุด, กระบวนการผลิต, การปรับปรุง, แผนภูมิกระบวนการไหล, หลักการ ECRS

Abstract

The Ban Plai Khlong Community produces a variety of mangosteen-based products. This research focuses on the production process of mangosteen chili paste, which currently cannot meet market demand during high-order periods such as the New Year festival and OTOP product fairs. The objective of this study is to analyze and improve the production process of mangosteen chili paste using process flowcharts, the ECRS technique, and Tecnomatix Plant Simulation software to compare production scenarios and identify the most efficient process. Based on the fishbone diagram analysis, the main cause of production delays was found to be manual stirring. Therefore, an improvement was proposed by introducing a mechanical stirrer to replace manual labor. The study was conducted on a production batch of 200 jars of mangosteen chili paste. The results revealed that although the number of production activities remained unchanged, the total production time was reduced by 3.33 hours, representing a 10.21% decrease. Additionally, labor requirements during the stirring stage were reduced by two workers (66.67%), saving labor costs by 1,000 baht. Labor productivity increased by 8.33%, while workers experienced reduced fatigue and physical strain during stirring. The break-even analysis indicated that the investment in the new equipment could be recovered within one year.

Keywords: Mangosteen-Based Products, Production Process, Improvement, Flow Process Chart, ECRS

1. บทนำ

สืบเนื่องจากโครงการพลิกโฉมสถาบันอุดมศึกษา (Re-inventing University) ซึ่งสำนักงานปลัดกระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สป.อว.) ได้เริ่มดำเนินการนำร่องมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2563 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งดำเนินการแบ่งกลุ่มมหาวิทยาลัยในประเทศไทยออกเป็น 5 กลุ่ม ซึ่งมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีจัดอยู่ในกลุ่มที่ 3 มีพันธกิจหลักและยุทธศาสตร์ที่มุ่งสู่การพัฒนาชุมชนท้องถิ่น และชุมชนที่มีวัตถุประสงค์หรือประโยชน์ร่วมกัน การเป็นแหล่งเรียนรู้ ถ่ายทอดความรู้และเทคโนโลยีเพื่อสร้างความเข้มแข็งให้แก่ชุมชนและการให้ประชาชนมีโอกาสเรียนรู้ตลอดชีวิต อันจะนำไปสู่การพัฒนาที่ยั่งยืน ดังนั้น จึงจัดโครงการบริการวิชาการโดยคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ซึ่งได้ดำเนินโครงการเพื่อส่งเสริมการพัฒนาชุมชนในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี โดยเฉพาะการสนับสนุนกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่มีศักยภาพในการผลิตและแปรรูปผลไม้เมืองร้อน ซึ่งเป็นสินค้าสำคัญของพื้นที่ ผลไม้ส่งออกที่สำคัญของจังหวัดจันทบุรี ที่สร้างรายได้ให้แก่ประชาชนมีมากกว่า 10 ชนิด จังหวัดจันทบุรีจึงเป็นเป้าหมายในการจัดตั้งศูนย์จำหน่ายผลไม้สดและผลไม้แปรรูป มังคุดเป็นผลไม้ที่ได้รับสมญานามว่า “ราชินีแห่งผลไม้” (The Queen of fruits) (Sukthumsatit et al., 2023) เป็นผลไม้ที่มีการนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์มากที่สุด พื้นที่ปลูกมังคุดที่สำคัญในจันทบุรี ได้แก่ อำเภอมะขาม อำเภอท่าใหม่ อำเภอเขาคิชฌกูฏ อำเภอขลุง อำเภอเมือง

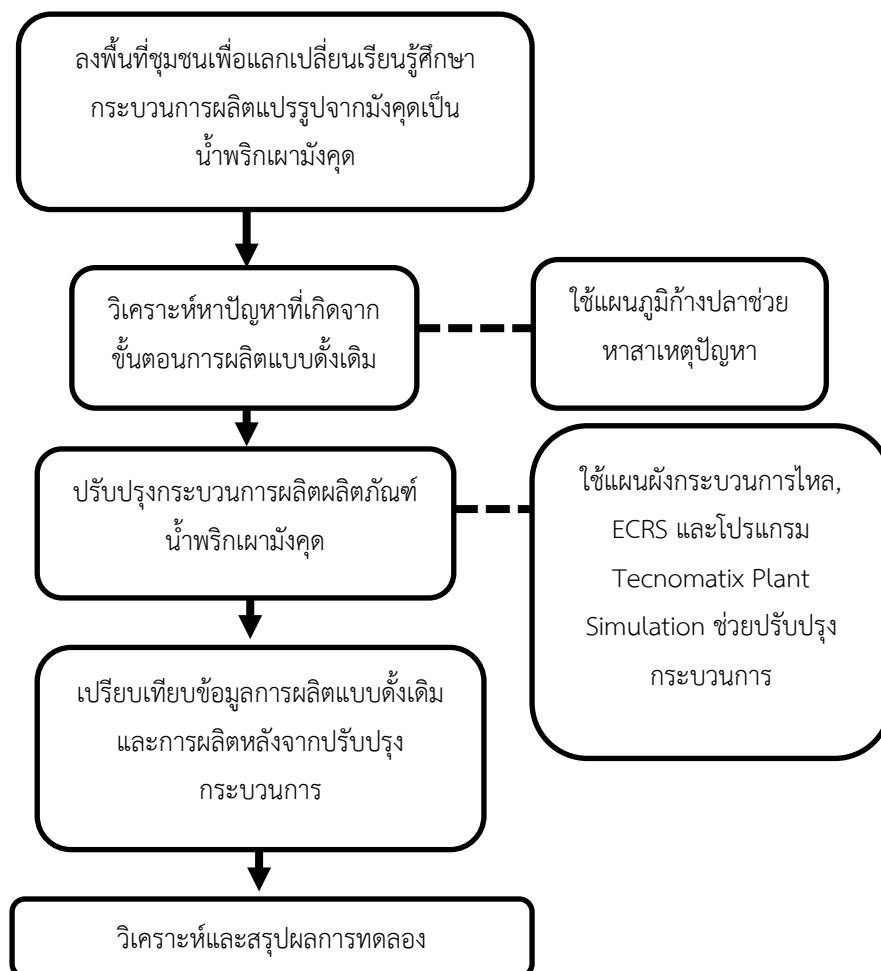
จันทบุรี เป็นต้น กลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่แปรรูปมังคุดในจังหวัดจันทบุรีมีหลายกลุ่ม กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลอง อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี เป็นหนึ่งในนั้น ที่มีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมแปรรูปผลไม้ของจังหวัด โดยได้ผลิตสินค้าหลากหลายภายใต้แบรนด์ "ผลาผล" ซึ่งมีชื่อเสียงในระดับท้องถิ่นและระดับภูมิภาค อย่างไรก็ตาม กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์หลักของชุมชน เช่น มังคุดกวน น้ำพริกเผามังคุด และซอสมังคุดผสมพริก ยังคงพึ่งพาวิธีการผลิตแบบดั้งเดิม ทำให้ต้องใช้แรงงานจำนวนมากใช้เวลานาน และไม่สามารถตอบสนองความต้องการของตลาดในช่วงเวลาที่มียอดสั่งซื้อสูง เช่น เทศกาลปีใหม่หรือมหกรรมสินค้า OTOP เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว นักวิจัยได้ริเริ่มการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยการนำความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้ โดยการนำเครื่องมือแผนผังก้างปลา มาระดมความคิดร่วมกันกับวิสาหกิจชุมชนว่าเหตุใดถึงผลิตสินค้าไม่ทันตามความต้องการของตลาด และแผนภูมิกระบวนการต่อเนื่องทำให้เราเห็นกระบวนการผลิตทั้งหมด เมื่อเห็นแล้วจึงนำหลัก ECRS มาช่วยปรับปรุงกระบวนการผลิตให้เหมาะสม และใช้โปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation มาช่วยวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของแรงงานคนด้วยเครื่องมือเหล่านี้จะช่วยวิเคราะห์กระบวนการผลิต วางแผน และปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูป โดยเน้นไปที่ผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผามังคุดซึ่งผลิตภัณฑ์นี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ขายดีของทางกลุ่มวิสาหกิจและมีวางจำหน่ายในห้างสรรพสินค้า ดังนั้นในช่วงเทศกาลปีใหม่หรือในงานมหกรรมสินค้า OTOP ยอดขายจะสูง ส่งผลให้กำลังการผลิตที่มีในปัจจุบันไม่เพียงพอ ทำให้ทางวิสาหกิจชุมชนขาดโอกาสในการสร้างรายได้ ซึ่งเป้าหมายในการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต เพิ่มประสิทธิภาพ ลดการใช้แรงงาน และยกระดับความสามารถในการแข่งขันของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในตลาด

การวิจัยนี้ช่วยส่งเสริมการพัฒนาท้องถิ่นและตอบสนองยุทธศาสตร์การพัฒนาที่ยั่งยืนของมหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี โดยมุ่งเน้นการเสริมสร้างความเข้มแข็งของชุมชน สร้างรายได้และยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชนในพื้นที่ นอกจากนี้ การวิจัยนี้ยังตอบสนองนโยบายของมหาวิทยาลัยที่ให้แต่ละคณะกำหนดเป้าหมายและผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญโดยโครงการนี้ตรงกับเป้าหมายและผลสัมฤทธิ์ที่สำคัญที่คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเลือกคือ O2 ศาสตร์มุ่งเน้น 6 ด้าน KR 2.2 นวัตกรรมด้านอาหารและผลไม้

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมังคุด (น้ำพริกเผามังคุด) แบบดั้งเดิม
- 2.2 เพื่อวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมังคุด โดยใช้แผนผังกระบวนการไหล, ECRS และ Tecnomatix Plant Simulation โดยเปรียบเทียบกระบวนการเพื่อหาแนวทางการผลิตที่เหมาะสมที่สุด
- 2.3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยดูที่จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุน

3. วิธีดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

ขอบเขตด้านพื้นที่ประชากร ได้แก่ สมาชิกวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลอง จำนวน 3 คน ที่มีประสบการณ์ในการผลิตน้ำพริกเผามังคุด และขอบเขตด้านเนื้อหาในการทำการศึกษา ได้แก่ การปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผามังคุด โดยใช้เครื่องมือในการจัดการ ได้แก่ ผังแสดงเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) แผนภูมิกระบวนการต่อเนื่อง (Flow Process Chart) หลักการ ECRS โปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation เป็นต้น

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยปฏิบัติตามภาพที่ 1 โดยแบ่งเป็นขั้นตอนหลัก ได้ดังต่อไปนี้

1) เก็บรวบรวมข้อมูล โดยในการเก็บข้อมูลจะมีการบันทึกการทำงานการผลิตน้ำพริกเผามังคุดตลอดสายการผลิต และมีการใช้นาฬิกาเพื่อจับเวลาในการทำงานในแต่ละขั้นตอนการผลิต โดยในแต่ละขั้นตอนจะมีการจับเวลา จำนวน 3 ครั้ง เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ย

2) วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาในกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม โดยใช้ผังก้างปลา จากนั้นจัดทำแผนผังกระบวนการไหลของกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผา เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

3) นำข้อมูลที่ได้จากแผนผังกระบวนการไหล และแผนภาพการไหล มาวิเคราะห์ใช้หลักการ ECRS มาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และใช้ข้อมูลจากโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation ที่จำลองสถานการณ์เพื่อยืนยันประสิทธิภาพการปรับปรุงกระบวนการผลิต

3.3 เครื่องมือที่ใช้ดำเนินงานวิจัย

1) แผนผังก้างปลา (Fish bone diagram) หรือแผนผังสาเหตุและผล (Cause and effect diagram) แผนผังก้างปลาจะมีการใช้เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา เป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ ซึ่งสิ่งสำคัญในการสร้างแผนผังก้างปลา คือการระดมความคิดร่วมกันทำเป็นกลุ่ม

2) แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow process chart) เป็นการใช้สัญลักษณ์ 5 ตัว เพื่อเรียงกระบวนการผลิต บันทึกขั้นตอนการทำงานตั้งแต่แรกเริ่มโดยการแปรรูปวัตถุดิบจนกระทั่งได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ การศึกษากระบวนการผลิตใช้การเก็บข้อมูลโดยการสังเกต และไปศึกษาการทำงานจากหน้างานการปฏิบัติจริง เพื่อนำมาออกแบบแผนภาพการไหลใช้ในการอธิบายกระบวนการนั้นได้อย่างชัดเจน (Wongwian et al., 2024)

3) หลักการ ECRS เป็นแนวคิดสำหรับการกำจัดความสูญเสีย โดยการพิจารณาขั้นตอนกระบวนการผลิต เพื่อให้เห็นแนวทางการปรับปรุงกระบวนการผลิต หลักการ ECRS ซึ่งประกอบไปด้วย

(1.1) การกำจัด (Eliminate) การพิจารณา การทำงานปัจจุบันและพยายามกำจัดความสูญเสียทั้ง 7 ประการที่พบออกไป

(1.2) การรวมกัน (Combine) คือ การพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น จากเดิมเคยทำ 5 ขั้นตอนก็รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกันทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากเดิม

(1.3) การจัดเรียงใหม่ (Rearrange) คือ การจัดเรียง ขั้นตอนการผลิตใหม่หรือสลับลำดับในการทำงานเพื่อลดการเคลื่อนที่หรือการรอคอย

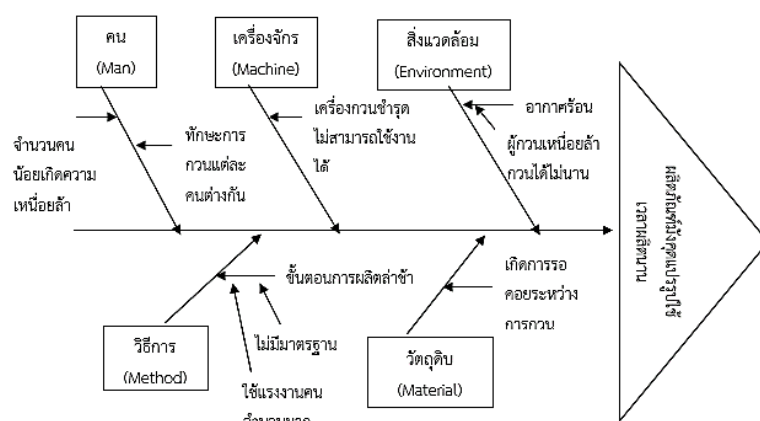
(1.4) การทำให้ง่าย (Simplify) หมายถึง การปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น

4) การใช้โปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation จำลองสถานการณ์ เพื่อเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของแรงงานในกระบวนการผลิต การจำลองสถานการณ์ (Simulation) จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์สภาพที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของกระบวนการผลิตได้ และช่วยหาแนวทางที่เหมาะสม ก่อนนำไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความผิดพลาด ช่วยให้ประหยัดทั้งค่าใช้จ่ายและเวลา (Chiangthong et al., 2022)

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์สาเหตุของกระบวนการผลิตแบบดั้งเดิม

จากภาพที่ 2 พบว่า ปัญหาหลักของกระบวนการผลิตแบบเดิม คือ กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์มังคุดแปรรูปเป็นน้ำพริกเผาซึ่งใช้เวลาในการผลิตนาน ปริมาณที่ได้ไม่เพียงพอในการจัดจำหน่ายในช่วงที่มีการสั่งซื้อเข้ามาเป็นจำนวนมาก เช่น เทศกาลปีใหม่ หรือช่วงมีงานแสดงมหกรรมสินค้า OTOP เป็นต้น ซึ่งสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดจากปัญหาดังนี้



ภาพที่ 2 แสดงแผนภูมิแกงปลาผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาซึ่ง

- 1) บุคลากร พนักงานมีทักษะและความเชี่ยวชาญในการทำงานที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประสบการณ์ในการกวน ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์อาจไม่ได้มาตรฐาน ต้องมีคนที่เคยกวนคอยกำกับงานอยู่ และจำนวนคนทีน้อยทำให้แรงงานทุกคนเกิดความเหนื่อยล้าในการทำผลิตภัณฑ์ในขั้นตอนนี้
 - 2) เครื่องจักร เครื่องกวนที่เคยใช้งานมีการเสื่อมสภาพไม่สามารถใช้งานได้
 - 3) สิ่งแวดล้อม เนื่องจากอากาศร้อน และการกวนต้องอยู่กับเตาไฟทำให้ผู้กวนเกิดความเหนื่อยล้าและเร็วกว่าปกติ
 - 4) วิธีการ ขั้นตอนการทำงานล่าช้า เนื่องจากยังไม่มีมาตรฐานในการผลิต ในการกวนแรงที่ใช้กวนไม่คงที่ ความสม่ำเสมอไม่มีเนื่องจากแรงงานคนแต่ละคนมีแรงต่างกัน และจำนวนคนที่รู้วิธีการกวนน้อยทำให้มีแรงงานน้อย
 - 5) วัตถุดิบ เกิดการรอคอยระหว่างการกวน เนื่องจากต้องใช้คนจำนวนมากมาช่วยกวน ทำให้กระบวนการอื่น ๆ ต้องหยุดชะงักเพื่อมาช่วยกันกวนผลิตภัณฑ์ให้เสร็จก่อน
- ซึ่งจะพบว่าสาเหตุหลักในส่วนของกระบวนการผลิตที่ล่าช้าเกิดมาจากกระบวนการกวน ซึ่งต้องใช้แรงงานคน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหาโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบเดิมโดยใช้เครื่องกวนเข้ามาช่วยในการผลิต

4.2 ผลการวิเคราะห์กระบวนการผลิต

จากการรวบรวมข้อมูลการทำผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาซึ่งใช้ในการกระบวนการผลิต เพื่อนำมาวิเคราะห์โดยใช้ตารางแผนภูมิกระบวนการไหลในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยแผนภูมิการไหล

ของการผลิตน้ำพริกเผามังคุดก่อนปรับปรุงแสดงดังตารางที่ 1 - 3 โดยในกระบวนการผลิตสามารถแบ่งขั้นตอนหลักออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

จากแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Process Chart) พบกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด 11 กิจกรรม ดังนี้ มีการปฏิบัติงาน 8 ครั้ง และมีการรอคอย 3 ครั้ง ใช้เวลาในกระบวนการทำงานทั้งสิ้น 69,361 วินาที

2) ขั้นตอนการทำน้ำพริกเผามังคุด

จากแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Process Chart) พบกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด 13 กิจกรรม ดังนี้ มีการปฏิบัติงาน 7 ครั้ง มีการขนย้าย 3 ครั้ง และมีการรอคอย 3 ครั้ง ใช้เวลาในกระบวนการทำงานทั้งสิ้น 20,388 วินาที

3) ขั้นตอนการบรรจุภาชนะ

จากแผนภูมิกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Process Chart) พบกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด 8 กิจกรรม ดังนี้ มีการปฏิบัติงาน 6 มีการขนย้าย 1 ครั้งและ มีการรอคอย 1 ครั้ง ใช้เวลาในกระบวนการทำงานทั้งสิ้น 27,691 วินาที จากแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตน้ำพริกเผามังคุดก่อนปรับปรุงรวมแล้วใช้เวลาทั้งหมด 117,440 วินาที หรือ 32.62 ชั่วโมง

ตารางที่ 1 แผนภูมิกระบวนการไหลแสดงขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบก่อนปรับปรุง

แผนภูมิกระบวนการไหล	กิจกรรม		ปัจจุบัน	ปรับปรุง	ลดลง			
กิจกรรม : ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	การดำเนินงาน	○	8	-	-			
	การขนส่ง	⇒	-	-	-			
	การรอคอย	D	3	-	-			
	การตรวจสอบ	□	-	-	-			
	การเก็บรักษา	▽	-	-	-			
	ระยะทาง (เมตร)		-	-	-			
	เวลา (วินาที)		69,361	-	-			
คำอธิบาย	ระยะทาง(เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					คน
			○	⇒	▽	□	D	
ปลอกหอมแดง 20 กิโลกรัม	-	21,600	●	⇒	▽	□	D	3
พริกหอมแดงไว้รอเจียวต่อจากกระเทียม	-	3,600	○	⇒	▽	□	●	1
เด็ดขั้วพริกแห้งคั่ว 4 กิโลกรัม	-	2,700	●	⇒	▽	□	D	3
นำพริกแห้งคั่วไปอบ	-	7,200	●	⇒	▽	□	D	1
นำกระเทียมมาป็น 15 กิโลกรัม	-	1,200	●	⇒	▽	□	D	1
นำกระเทียมมาเจียว	-	5,400	●	⇒	▽	□	D	1
ตักกระเทียมเจียวพักไว้ให้เย็น	-	12,600	○	⇒	▽	□	●	1
นำหอมแดงมาเจียว	-	10,800	●	⇒	▽	□	D	1
นำหอมเจียวมาพักไว้ให้เย็น	-	1,800	○	⇒	▽	□	●	1
นำพริกแห้งคั่ว กระเทียมเจียว หอมเจียวเทลงในเครื่องปั่น	-	511	●	⇒	▽	□	D	1
ปั่นส่วนผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน	-	1,950	●	⇒	▽	□	D	1

ตารางที่ 2 แผนภูมิกระบวนการไหลแสดงขั้นตอนการทำน้ำพริกเผามังคุดก่อนปรับปรุง

แผนภูมิกระบวนการไหล	กิจกรรม		ปัจจุบัน	ปรับปรุง	ลดลง			
กิจกรรม : ขั้นตอนการทำน้ำพริกเผามังคุด	การดำเนินงาน ○		7	-	-			
	การขนส่ง ➡		3	-	-			
	การรอคอย D		3	-	-			
วิธีทำงาน ปัจจุบัน/หลังปรับปรุง	การตรวจสอบ □		-	-	-			
	การเก็บรักษา ▽		-	-	-			
	ระยะทาง (เมตร)		-	-	-			
	เวลา (วินาที)		20,388	-	-			
คำอธิบาย	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					คน
			○	➡	▽	□	D	
ยกกระทะ เตาแก๊ส ซึ่งนึ่ง และวัตถุดิบในการทำ	-	738	○	➡	▽	□	D	3
น้ำพริกเผามังคุดมาวางบนโต๊ะที่เตรียมไว้	-	207	●	➡	▽	□	D	1
ซึ่งนึ่งมังคุด 15 กิโลกรัม	-	15	○	➡	▽	□	D	1
ยกน้ำมังคุดจากเครื่องซึ่งมาวางบนโต๊ะ	-	308	○	➡	▽	□	D	1
วางน้ำมังคุดพักไว้เพื่อซึ่งวัตถุดิบอื่น	-	15	●	➡	▽	□	D	1
ซึ่งน้ำตาล 2 กิโลกรัม	-	7	○	➡	▽	□	D	1
ยกน้ำตาลจากเครื่องซึ่งมาวางบนโต๊ะ	-	68	○	➡	▽	□	D	1
วางน้ำตาลพักไว้เพื่อรอการวน	-	10	●	➡	▽	□	D	1
เทน้ำตาลกับน้ำมังคุดลงในกระทะ	-	5,760	●	➡	▽	□	D	3
กวนน้ำตาลกับน้ำมังคุดจนเคี่ยวได้ที่	-	11,520	●	➡	▽	□	D	3
เปลี่ยนกระทะแล้วกวนน้ำตาลกับน้ำมังคุดส่วนที่เหลือ	-	816	●	➡	▽	□	D	1
จนเคี่ยวได้ที่ (กวนอีก 2 กระทะ)	-	324	●	➡	▽	□	D	1
เทส่วนผสมวัตถุดิบที่เตรียมไว้ใส่ลงในกระทะ(หอมเจียว	-	600	○	➡	▽	□	D	1
กระเทียมเจียว และพริกคั่วที่ปั่นแล้ว)	-							
ค่อย ๆ คนส่วนผสมให้เข้ากัน	-							
พักน้ำพริกเผามังคุดทิ้งไว้ 10 นาที ในกระทะเพื่อรอ	-							
บรรจุใส่ภาชนะบรรจุภัณฑ์	-							

ตารางที่ 3 แผนภูมิกระบวนการไหลแสดงขั้นตอนการบรรจุภาชนะก่อนปรับปรุง

แผนภูมิกระบวนการไหล	กิจกรรม		ปัจจุบัน	ปรับปรุง	ลดลง			
กิจกรรม : ขั้นตอนการบรรจุภาชนะ วิธีทำงาน : ปัจจุบัน/หลังปรับปรุง	การดำเนินงาน	○	6	-	-			
	การขนส่ง	⇒	1	-	-			
	การรอคอย	D	1	-	-			
	การตรวจสอบ	□	-	-	-			
	การเก็บรักษา	▽	-	-	-			
	ระยะทาง (เมตร)		-	-	-			
	เวลา (วินาที)		27,691	-	-			
คำอธิบาย	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					คน
			○	⇒	▽	□	D	
อบภาชนะบรรจุน้ำพริกเผามังคุดในซึ่ง	-	1,800	●	⇒	▽	□	D	1
ยกภาชนะจากซึ่งมาวางบนรถเข็น	-	10	○	⇒	▽	□	D	1
ตักน้ำพริกเผามังคุดใส่กระป๋องเพื่อเตรียมเทลงภาชนะ	-	27	●	⇒	▽	□	D	1
เทน้ำพริกเผามังคุดใส่ในภาชนะบรรจุขนาด 200 กรัม	-	132	●	⇒	▽	□	D	1
นำฝามาปิดภาชนะ	-	35	●	⇒	▽	□	D	1
เทน้ำพริกเผาลงภาชนะบรรจุจนกว่าจะหมด	-	6,937	●	⇒	▽	□	D	1
วางน้ำพริกเผามังคุดที่บรรจุในภาชนะทิ้งไว้ให้เย็น	-	11,070	○	⇒	▽	□	●	1
ติดสติ๊กเกอร์บนบรรจุภัณฑ์น้ำพริกเผามังคุด	-	7,680	●	⇒	▽	□	D	1

4.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยหลักการ ECRS

จากการรวบรวมข้อมูลการทำผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาเมืองมั่งคุด ปัญหาหลักคือ การใช้แรงงานคนในกระบวนการกวนน้ำพริกเผาเมืองมั่งคุด ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวโดยการปรับปรุงกระบวนการผลิตแบบเดิมโดยใช้เครื่องกวนเข้ามาช่วยในการผลิต การได้มาซึ่งเครื่องกวนมี 2 แนวทางคือ ซื้อเครื่องกวนใหม่ซึ่งราคาประมาณ 140,000 บาท หรือซ่อมบำรุงเครื่องกวนเดิมของวิสาหกิจชุมชนที่เสีย ซึ่งถ้าเราสามารถนำเครื่องกวนไปซ่อมและใช้เครื่องกวนในการทดแทนแรงงานคน น่าจะช่วยลดแรงงานคน ลดเวลาที่ใช้ในการผลิต และลดต้นทุนในการผลิตลงได้ ซึ่งจากการประเมินราคาซ่อมเครื่องกวนอยู่ที่ 31,460 บาท ดังนั้น แนวทางแก้ไขจะเน้นที่การซ่อมเครื่องกวนมาทดแทนแรงงานคน เพราะจะช่วยลดระยะเวลาต้นทุนถ้าเทียบกับการซื้อเครื่องกวนใหม่

ตารางที่ 4 แสดงแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผาเมืองมั่งคุด

ขั้นตอน	งานย่อย	หลักการ ECRS	แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว
1. ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ	ขั้นตอนการนำพริกแห้งคั่ว กระเทียมเจียว หอมเจียว เทลงในเครื่องปั่น	C	ขั้นตอนนี้สามารถทำรวมกับขั้นตอนการกวนน้ำตาลกับน้ำมั่งคุดจนเคี้ยวได้ที่ ของขั้นตอนการทำน้ำพริกเผาได้ เนื่องจากแรงงานคนไม่ได้ใช้กวน สามารถมาปั่นวัตถุดิบเพื่อเตรียมผสมกับน้ำมั่งคุดเคี้ยวกับน้ำตาลได้
2. ขั้นตอนการทำน้ำพริกเผา	ขั้นตอนการกวนน้ำตาลกับน้ำมั่งคุดจนเคี้ยวได้ที่	S	ขั้นตอนการกวนน้ำตาลกับน้ำมั่งคุดจนเคี้ยวได้ที่ ซึ่งกระบวนการนี้เดิมใช้แรงงานคนในกวน และกวนในกระทะทำให้ต้องกวนถึง 3 รอบ แนะนำให้ใช้เครื่องกวนขนาด 26 นิ้ว ซึ่งจะสามารถกวนได้ภายในครั้งเดียว ซึ่งเครื่องกวนมีการชำรุด ถ้าลงทุนในการซ่อมบำรุงน่าจะ เป็นเป็นประโยชน์และคุ้มค่าในระยะยาวไม่มากนัก
	ขั้นตอนเปลี่ยนกระทะแล้ว กวนน้ำตาลกับน้ำมั่งคุด ส่วนที่เหลือจนเคี้ยวได้ที่ (กวนอีก 2 กระทะ)	E	ขั้นตอนนี้สามารถตัดออกได้เมื่อเปลี่ยนมาใช้เครื่องกวน สามารถกวนวัตถุดิบทั้งหมดใน 1 ครั้งได้
3. ขั้นตอนการบรรจุภาชนะ	ขั้นตอนอบภาชนะบรรจุ น้ำพริกเผาเมืองมั่งคุดในซึ้ง	C	ขั้นตอนนี้สามารถทำรวมกับขั้นตอนการกวนน้ำตาลกับน้ำมั่งคุดจนเคี้ยวได้ที่ ของขั้นตอนการทำน้ำพริกเผาได้ เนื่องจากแรงงานคนไม่ได้ใช้กวน สามารถมาอบภาชนะเพื่อเตรียมบรรจุได้

จากแนวทางการแก้ไขตามหลัก ECRS (Wongsangnoi and Pianthong, 2023) ทำให้เมื่อมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตแล้วพบกิจกรรมต่าง ๆ ดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

พบกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด 9 กิจกรรม ดังนี้ มีการปฏิบัติงาน 6 ครั้ง และมีการรอคอย 3 ครั้ง ใช้เวลาในกระบวนการทำงานทั้งสิ้น 66,900 วินาที

2) ขั้นตอนการทำน้ำพริกเผาเมืองมั่งคุด

พบกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด 16 กิจกรรม ดังนี้ มีการปฏิบัติงาน 9 ครั้ง มีการขนย้าย 3 ครั้ง และมีการรอคอย 4 ครั้ง ใช้เวลาในกระบวนการทำงานทั้งสิ้น 12,664 วินาที นอกจากเวลาที่ใช้

ในกระบวนการผลิตลดลงแล้ว แรงงานที่ใช้ในการผลิตก็ลดลงด้วยจาก 3 คน เหลือแค่ 1 คน แรงงานที่ใช้ลดลงคิดเป็นร้อยละ 66.67 เมื่อแรงงานลดลงค่าจ้างหรือต้นทุนการผลิตก็ลดลงด้วย

3) ขั้นตอนการบรรจุภาชนะ

พบกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งหมด 7 กิจกรรม ดังนี้ มีการปฏิบัติงาน 5 ครั้ง มีการขนย้าย 1 ครั้ง และมีการรอคอย 1 ครั้ง ใช้เวลาในกระบวนการทำงานทั้งสิ้น 25,891 วินาที จากแผนภูมิการไหลของกระบวนการผลิตน้ำพริกเผามังคุดรวมแล้วใช้เวลาทั้งหมด 105,455 วินาที หรือ 29.29 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าเวลาในการผลิตลดลง 3.33 ชั่วโมง คิดเป็นการลดลงร้อยละ 10.21

นำโปรแกรม Tecnomatix Plant Simulation มาช่วยในการประเมินประสิทธิภาพการทำงานของคนงาน โดยทำโมเดลกระบวนการผลิตน้ำพริกเผามังคุดจำนวน 1 ล็อต 200 ขวด สำหรับจำนวนคนงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต จะเปรียบเทียบระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงจากการทดลองพบว่าก่อนปรับปรุงกระบวนการต้องใช้คนงานถึง 3 คน และประสิทธิภาพการทำงานรวมอยู่ที่ร้อยละ 64.60 ซึ่งมีปริมาณการว่างงานสูงถึงร้อยละ 35.39 แต่เมื่อนำเครื่องกวมาใช้ในการกระบวนการผลิตสามารถลดจำนวนแรงงานลงได้ 2 คน และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของพนักงาน 1 คน เป็นร้อยละ 69.98 ได้นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผามังคุดยังมีคุณภาพเพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้เครื่องกวทำให้มีความคงที่ในการกว และมีความสม่ำเสมอ น้ำพริกเผาจะไม่มีการติดกันกระแทกทำให้เกิดการไหม้ ซึ่งเหตุการณ์นี้สามารถเกิดขึ้นได้ในกรณีที่ใช้แรงงานคนในการกว ซึ่งหากเปรียบเทียบผลการศึกษาก่อนปรับปรุง และหลังปรับปรุงมีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบผลการศึกษาก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

หัวข้อ	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลการเปรียบเทียบ	ผลการเปรียบเทียบเป็นร้อยละ
1. ขั้นตอนการผลิต	32 ขั้นตอน	32 ขั้นตอน	เท่าเดิม	0
2. เวลาที่ใช้ในการผลิต	32.62 ชั่วโมง	29.29 ชั่วโมง	ลดลง 3.33 ชั่วโมง	ลดลงร้อยละ 10.21
3. แรงงานที่ใช้ในการผลิต (เฉพาะขั้นตอนการทำน้ำพริกเผามังคุด)	3 คน	1 คน	ลดลง 2 คน	ลดลงร้อยละ 66.67
4. ประสิทธิภาพในการทำงานของแรงงาน	64.60	69.98	เพิ่มขึ้น 5.38	เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.33
5. การว่างงานของแรงงาน	35.39	30.01	ลดลง 5.38	ลดลงร้อยละ 8.33
6. ค่าจ้างแรงงานในการผลิต (เฉพาะขั้นตอนการทำน้ำพริกเผามังคุด)	1,500 บาท	500 บาท	ลดลง 1,000 บาท	ลดลงร้อยละ 66.67

4.4 ผลการวิเคราะห์จุดคุ้มทุนและระยะเวลาคืนทุนในการซ่อมเครื่องกว

ประมาณการค่าใช้จ่ายในกรณีที่ซ่อมเครื่องกว ซึ่งมีค่าซ่อมอยู่ที่ 31,460 บาท และมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องกวปีละ 985 บาท คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการผลิตน้ำพริกเผามังคุด 1 ล็อต 200 กระปุก พบว่าต้นทุนในการผลิตมีราคา 10,529 บาท

ดังนั้น ใน 1 ปี จะมีต้นทุนในการผลิตน้ำพริกเผามังคุด 63,174 บาท การประมาณรายได้ในกรณีที่ใช้เครื่องกวนผลิตน้ำพริกเผามังคุด ในการผลิตน้ำพริกเผามังคุด 1 ลีต 200 กระปุก ซึ่งคิดต้นทุนการผลิตราคาขวดละ 52.65 บาท ซึ่งราคาขายสินค้าในท้องตลาดอยู่ที่ กระปุกละ 80 บาท ราคาขายส่งอยู่ที่ 70 บาท ดังนั้น ทางกลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านปลายคลองจะได้กำไรประมาณกระปุกละ 17.35 บาท ถ้าขายส่ง กรณีที่จัดจำหน่ายเองจะได้กำไรประมาณกระปุกละ 27.35 บาท ซึ่งระยะเวลาการขายน้ำพริกเผามังคุด 200 กระปุกใช้เวลา 2 เดือน ดังนั้นในระยะเวลา 1 ปี กลุ่มวิสาหกิจชุมชนบ้านปลายคลองได้กำไรจากการขายน้ำพริกเผามังคุดเท่ากับ 32,820 บาท การหาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาดังกล่าวใช้สมการ

$$\text{จุดคุ้มทุน (หน่วยขายที่คุ้มทุน)} = \text{ต้นทุนคงที่} / (\text{ราคาขายต่อหน่วย} - \text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย}) \quad (1)$$

$$\text{ระยะเวลาดังกล่าว} = \text{ต้นทุนการลงทุน} / \text{กระแสเงินสดสุทธิต่อปี} \quad (2)$$

สมการนี้ใช้กับกระแสเงินสดที่สม่ำเสมอเท่า ๆ กันทุกปี (Tophan et al., 2024) คำนวณหาจุดคุ้มทุนและระยะเวลาดังกล่าว โดยกำหนดให้ราคาผลิตภัณฑ์คงที่เท่ากับกระปุกละ 80 บาท เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ว่า จุดคุ้มทุน (หน่วยขายที่คุ้มทุน) คือ 99 กระปุกต่อเดือน จากการผลิตน้ำพริกเผามังคุดได้ลีตละ 200 กระปุก ขายได้นาน 2 เดือน โดยราคาขายน้ำพริกกระปุกละ 80 บาท ถ้าต้องการลงทุนซ่อมเครื่องกวนที่ประมาณราคาค่าซ่อมไว้ 31,460 บาท จะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งช่วยลดจำนวนแรงงาน ลดความเมื่อยล้าให้กับแรงงาน ลดต้นทุนในการผลิตลง จึงเหมาะสมที่จะซ่อมเครื่องกวนที่ชำรุดอยู่

5. สรุปผลการทดลอง

จากปัญหาการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผามังคุดไม่ทันต่อความต้องการของผู้บริโภค นำมาซึ่งการศึกษากระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์น้ำพริกเผามังคุด และปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยเน้นที่การลดแรงงานคนใช้เครื่องกวนเข้ามาทดแทน โดยเครื่องกวนได้จากการซ่อมบำรุงเครื่องเก่าที่ชำรุด ซึ่งการทดลองปรับปรุงกระบวนการผลิต พบว่า สามารถลดเวลาในการผลิตได้ 3.33 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 10.21 ลดจำนวนแรงงานที่ใช้ในขั้นตอนการกวนน้ำพริกเผามังคุดลงได้ 2 คน คิดเป็นร้อยละ 66.67 ประสิทธิภาพการทำงานรวมของแรงงานก่อนปรับปรุงอยู่ที่ร้อยละ 64.60 ซึ่งมีปริมาณการว่างงานสูงถึงร้อยละ 35.39 เมื่อปรับปรุงกระบวนการผลิตทำให้ประสิทธิภาพแรงงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.33 ดังนั้น การซ่อมเครื่องกวนเพื่อใช้แทนแรงงานคน จึงเหมาะสมที่จะทำ และวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลองต้องขายน้ำพริกเผามังคุดให้ได้ 99 กระปุกต่อเดือน จึงจะคุ้มทุน และจะสามารถคืนทุนค่าซ่อมเครื่องกวนได้ภายในระยะเวลา 1 ปี ซึ่งการซ่อมเครื่องกวนนอกจากจะส่งผลในการลดความเหนื่อยล้าของแรงงาน ประหยัดต้นทุนและเวลา ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ เครื่องกวนยังสามารถใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกด้วยจึงเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จะประสบความสำเร็จไม่ได้เลยหากปราศจากการสนับสนุนวิจัยจาก คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ประจำปีงบประมาณ 2568 รวมไปถึงการให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูล และกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์แปรรูปจากมังคุดของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแปรรูปบ้านปลายคลอง ตำบลคมบาง อำเภอมะนัง จังหวัดจันทบุรี

7. เอกสารอ้างอิง

- Chiangthong, R., Tresirichod, T. & Chienwattanasook, K. (2022). Application of tecnomatix plant simulation to improve the quality inspection process. *Journal of Liberal Arts and Service Industry*, 5(1), 383–395.
- Sukthumsatit, S., Poolsub, I. & Bunchau, P. (2023). The integration of mangosteen with the concept of zero waste by the creative innovation of new cuisines for community enterprises' income elevation in modern business paradigms. *Journal of MCU Social Science Review*, 12(1), 190–204.
- Tophan, W., Sumran, S., Supphunyakul, N. & Intharathakul, K. (2024). Economic viability analysis of processed dragon fruit products: A case study of dragon fruit kimchi and dragon fruit bread stick. *Journal of KMITL Business school*, 14(2), 185-203.
- Wongsangnoi, P. & Pianthong, N. (2023). Efficiency improvement in rubber sheet manufacturing process with lean technique. *Journal of Engineering and Innovation*, 16(2), 168-175.
- Wongwian, C., Chatmuangpak, A. & Kangsantia, S. (2024). Improving efficiency in the garment production process: case study of a garment factory. *Wittayasara: Integration Apply Engineering and Industrial Technology*, 17(1), 1–14.

ตัวแบบห่วงโซ่อุปทานการดัดแปลงยานยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่: กรณีศึกษาพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

A Battery Electric Vehicle Modification Supply Chain Model: A Case Study in Northern Part of Thailand

พิมพิกา สุภาวงศ์¹, จิรพัฒน์ วาณิชวัฒนาโกศล^{2*} และศุทธิณี สวัสดิ์ชิตัง³

Pimpika Supawong¹, Jirapat Wanitwattanakosol^{2*} and Suttinee Sawadsitng³

^{1,2*,3}วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถ.ห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

โทร 0 5392 0299 โทรสาร 0 5394 1803 E-mail: jirapat.w@cmu.ac.th

^{1,2*,3}College of Arts, Media and Technology Chiang Mai University

239 Huaykaew Rd., Suthep, Muang, Chiang Mai 50200

Tel. +66 5392 0299 Fax. +66 5394 1803 E-mail: jirapat.w@cmu.ac.th

วันที่รับบทความ 14 มีนาคม 2568

Received: Mar. 14, 2025

วันที่รับแก้ไขบทความ 5 สิงหาคม 2568

Revised: Aug. 5, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 8 สิงหาคม 2568

Accepted: Aug. 8, 2025

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอตัวแบบห่วงโซ่อุปทานการดัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่ในภาคเหนือของประเทศไทย โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้ดัดแปลง ศูนย์บริการรถยนต์ไฟฟ้า และคลังจัดเก็บวัสดุอุปกรณ์ ปัจจุบันอยู่ที่ยังคงให้บริการดัดแปลงมีเพียงอยู่ WPEV จังหวัดลำพูน ในขณะที่อื่น ๆ ส่วนใหญ่ได้ยกเลิกบริการหรือปิดกิจการ เนื่องจากมีต้นทุนโลจิสติกส์ที่สูง งานวิจัยนี้ได้ออกแบบห่วงโซ่อุปทานแบบรวมศูนย์ โดยใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการคำนวณหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม ข้อมูลที่ใช้ประกอบการศึกษาได้จากผู้ดัดแปลง และศูนย์บริการรถยนต์ไฟฟ้าใน 8 จังหวัดภาคเหนือ ผลการศึกษาพบว่าจุด GWM ซีซีซี ออโต้ เชียงใหม่ เป็นจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเป็นศูนย์กลางการกระจายวัสดุอุปกรณ์ โดยค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 325.0 บาท เป็นค่าที่น้อยที่สุด การคำนวณในครั้งนี้ได้กำหนดค่าใช้จ่ายของศูนย์กระจายสินค้าเป็นค่าตัวเลขสังเคราะห์ โดยกำหนดไว้ที่ 10.0 บาท ทั้งนี้เพื่อใช้ในการจำลองและวิเคราะห์เบื้องต้นซึ่งในความเป็นจริง ค่าใช้จ่ายดังกล่าวอาจสูงถึงหลักหมื่นหรือหลักแสนบาท ขึ้นอยู่กับบริบทและสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการออกแบบระบบที่สามารถลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์

คำสำคัญ: ห่วงโซ่อุปทาน, รถยนต์ไฟฟ้าแบตเตอรี่, รถยนต์สันดาปภายใน, ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม, ต้นทุนโลจิสติกส์

Abstract

This study aims to presents a supply chain model for converting internal combustion engine (ICE) vehicles into battery electric vehicles (BEVs) in Northern Thailand. Data were collected from conversion garages, EV service centers, and parts storage facilities. Currently, WPEV in Lamphun is the only remaining garage offering conversion services, as most others have ceased operations due to high logistics costs. This research proposed a centralized supply chain model utilizing a mathematical optimization

approach combined with a genetic algorithm to determine the optimal distribution center location. The data used in this study were collected from EV conversion garages and electric vehicle service centers in eight provinces of Northern Thailand. The findings indicate that GWM CCC Auto Chiang Mai is the most suitable location to serve as the central distribution hub for materials and equipment. The analysis yielded the lowest total cost of 325.0 Baht. The cost of setting up a distribution center is assigned a synthetic value of 10.0 Baht. This is done for the purpose of preliminary simulation and analysis. In reality, however, such costs may reach tens or even hundreds of thousands Baht, depending on the context and current economic conditions. It aligns with the design objective of minimizing logistics costs.

Keywords: Supply Chain, Battery Electric Vehicle, Internal Combustion Engine, Genetic Algorithm, Logistics Cost

1. บทนำ

ปัจจุบันแนวโน้มการใช้รถยนต์ไฟฟ้า (Electric Vehicle: EV) มีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะรถยนต์ไฟฟ้าประเภทแบตเตอรี่ (Battery Electric Vehicle: BEV) ซึ่งคาดการณ์ว่าจะมีส่วนแบ่งตลาดมากกว่าครึ่งภายในปี ค.ศ. 2040 (PeerPower, 2022) การเปลี่ยนแปลงนี้ได้รับแรงผลักดันจากหลายปัจจัย เช่น การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (SCB, 2023) การพัฒนาแบตเตอรี่ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น (Katchwattana, 2023) และการสนับสนุนจากภาครัฐในด้านเงินอุดหนุนและสิทธิประโยชน์ด้านภาษีสำหรับผู้ใช้ EV (Prachachat Business, 2024)

ปัจจุบันประเทศไทยยังคงมีจำนวนรถยนต์ที่ใช้เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine: ICE) จำนวนมาก โดยมีรถยนต์ ICE จดทะเบียนกว่า 40 ล้านคัน ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยคาร์บอนหลักของภาคขนส่ง (Vasantiaupapokagorn et al., 2023) ในขณะเดียวกันราคาของรถยนต์ไฟฟ้าใหม่ยังมีราคาผันผวน ทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจคือ EV Conversion หรือการดัดแปลงรถยนต์ใช้น้ำมันให้เป็นระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดขยะอุตสาหกรรมยานยนต์ และช่วยให้ผู้บริโภคสามารถเปลี่ยนมาใช้พลังงานสะอาดโดยไม่ต้องซื้อรถใหม่ (Katchwattana, 2023) อย่างไรก็ตาม การดัดแปลงรถยนต์ยังเผชิญกับข้อจำกัด เช่น วัสดุดัดแปลง EV คืออยู่ WPEV จังหวัดลำพูน มีความต้องการในการดัดแปลงประมาณ 10 คันต่อเดือน และยังคงมีข้อจำกัดด้านต้นทุนที่สูงและแหล่งจัดหาชิ้นส่วน (Prachachat Business, 2024) ซึ่งเป็นอุปสรรคที่ทำให้ไม่สามารถดัดแปลงรถยนต์ได้ในวงกว้าง หากได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐ จะส่งผลทำให้ต้นทุนที่ลดลง และจะช่วยให้การดัดแปลงได้รับความนิยมมากขึ้น (SCB, 2023) นอกจากนี้รถกระบะที่มีอายุเกิน 10 ปี มีจำนวนมากกว่า 4 ล้านคัน ซึ่งเป็นกลุ่มเป้าหมายที่สามารถนำมาดัดแปลงเป็น EV ได้ หากสามารถดัดแปลงรถกระบะเพียงร้อยละ 10 หรือประมาณ 400,000 คัน จะสามารถสร้างเม็ดเงินหมุนเวียนในประเทศกว่า 120,000 ล้านบาท และช่วยกระตุ้นการพัฒนาอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศ จากการสืบค้นข้อมูลพบว่าภาคเหนือเป็นพื้นที่ที่มีการจดทะเบียนรถกระบะเป็นอันดับสองรองจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (Transport Statistics Group, 2024)

ปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในปัจจุบันคือต้นทุนการดัดแปลง รวมถึงการขาดศูนย์กระจายชิ้นส่วนที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ต้นทุนการดัดแปลงเป็นต้นทุนที่มีความซับซ้อนจากปัจจัยที่หลากหลายในกระบวนการปรับเปลี่ยนระบบภายในรถยนต์ ส่วนต้นทุนการกระจายชิ้นส่วนเป็นต้นทุนที่สามารถจัดการและลดลงได้ผ่านการวางแผนระบบโลจิสติกส์อย่างเหมาะสม การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการนำเสนอตัวแบบ ห่วงโซ่อุปทานของ EV Conversion ในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย และการกำหนดตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับศูนย์กระจายชิ้นส่วนอุปกรณ์ ด้วยกระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นเทคนิคเชิงประมาณค่าที่มีความยืดหยุ่นและเหมาะสมกับปัญหาที่มีข้อจำกัดหลายด้าน และโครงสร้างคำตอบที่ซับซ้อน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดสรรทรัพยากร ลดต้นทุนโลจิสติกส์ และสนับสนุนการพัฒนาระบบการดัดแปลงยานยนต์ไฟฟ้าในระยะยาว ทั้งนี้ การเลือกใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) มีความเหมาะสมต่อปัญหาที่มีลักษณะซับซ้อนและมีพื้นที่คำตอบที่กว้าง เนื่องจาก GA เป็นเทคนิคการค้นหาแบบสุ่มเชิงวิวัฒนาการที่ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณ อีกทั้งยังสามารถจัดการกับข้อจำกัดได้หลากหลาย ซึ่งเหมาะกับปัญหาการจัดการโลจิสติกส์ที่มีความไม่แน่นอน เช่น ปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในเครือข่ายซัพพลายเชน (Kaur & Arora, 2021) ปัญหาการเลือกตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดในเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานจัดเป็นปัญหาการตัดสินใจเชิงพื้นที่ (spatial decision-making problem) ที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดหลายด้าน เช่น ความต้องการของแต่ละจุดการเดินทาง และงบประมาณ ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนเชิงคำนวณ (Computationally Complex Problem) และจัดอยู่ในกลุ่มปัญหา NP-hard (Murray & Church, 1996) จึงไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ด้วยวิธีการเชิงเส้นแบบทั่วไป (Linear Programming) ในเวลาจำกัด ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นต้องใช้เทคนิคเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการแบบ Metaheuristic ที่มีความยืดหยุ่นสูงและสามารถค้นหาคำตอบที่ใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัดของทรัพยากร แม้ในกรณีที่มีพื้นที่คำตอบขนาดใหญ่และไม่เป็นเชิงเส้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาห่วงโซ่อุปทานการดัดแปลงรถยนต์สันดาปภายใน เป็นรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน และออกแบบห่วงโซ่อุปทานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.2 เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ ด้วยการหาตำแหน่งที่ตั้งสำหรับแหล่งกระจายวัสดุอุปกรณ์ในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าให้เหมาะสม

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กำหนดขอบเขตของข้อมูล

การวิจัยนี้ศึกษาห่วงโซ่อุปทานการดัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในเป็นรถยนต์ไฟฟ้า และการหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม สำหรับแหล่งกระจายวัสดุอุปกรณ์ในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า เพื่อแก้ปัญหาความไม่แน่นอนของแหล่งที่มาวัสดุอุปกรณ์ที่นำมาใช้ดัดแปลง โดยมีองค์ประกอบของขอบเขตงานวิจัยคือ ระบบมีความสามารถในการหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับแหล่งกระจายวัสดุอุปกรณ์ในการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า ซึ่งกลุ่มประชากรในการวิจัยครั้งนี้คือ อุโมงค์รถยนต์ที่ให้บริการดัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้า BEV ในกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนบน 1

ประกอบไปด้วย จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดแม่ฮ่องสอน จังหวัดลำปาง จังหวัดลำพูน และกลุ่มจังหวัดภาคเหนือตอนบน 2 ประกอบด้วย จังหวัดเชียงราย จังหวัดน่าน จังหวัดพะเยา และจังหวัดแพร่ รวมทั้งหมด 8 จังหวัด ที่อยู่ในประเทศไทยระยะเวลาดำเนินงานวิจัยตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2567 ถึงเดือนมีนาคม 2568

3.2 ศึกษาห่วงโซ่อุปทาน

ผู้วิจัยศึกษาห่วงโซ่อุปทาน โดยเริ่มจากการศึกษารูปแบบห่วงโซ่อุปทานของการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าในปัจจุบัน สัมภาษณ์และเก็บข้อมูลทั้งหมดจำนวน 5 อยู่ ประกอบไปด้วย WPEV อู่รถไฟฟ้าลำพูน ECU Shop เชียงใหม่ อู่ M เจริญยนต์ ลำปาง อู่รถไฟฟ้าแม่สาย เชียงราย และ JP EV Conversion เชียงใหม่คำถามที่ใช้ เช่น จำนวนการดัดแปลง ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดัดแปลง ประเภทของรถที่นำมาดัดแปลง ระยะเวลาที่ใช้ในการดัดแปลง สัมภาษณ์เกี่ยวกับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ที่ใช้ดัดแปลง และการใช้งานหลังการดัดแปลง

3.3 ออกแบบห่วงโซ่อุปทาน

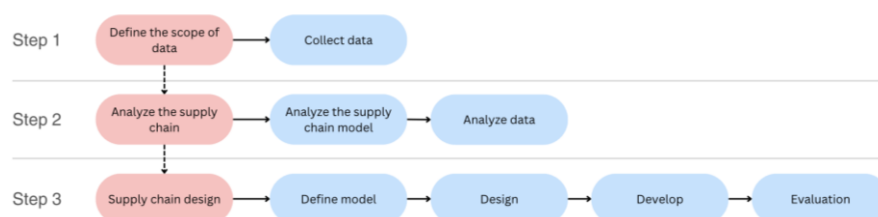
การออกแบบห่วงโซ่อุปทานของการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า โดยทำการกำหนดรูปแบบห่วงโซ่อุปทาน แบ่งออกเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ออกแบบแบบจำลองการเพิ่มประสิทธิภาพ (Optimization Model) โดยการออกแบบตาราง ระยะทางของอู่ดัดแปลงรถยนต์ และศูนย์กระจายสินค้า เป็นตารางของระยะทางที่ใช้ในโมเดล

2) พัฒนาระบบโมเดลการหาค่าที่ดีที่สุดเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของจุดกระจายวัสดุอุปกรณ์ตามเงื่อนไขที่ได้วิเคราะห์และรวบรวม

3) ดำเนินการทดสอบโดยใช้ข้อมูลจริงที่เก็บรวบรวมผ่านตัวแก้ปัญหา (Optimization Solver) เพื่อแก้ปัญหาผ่านกระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) ซึ่งช่วยค้นหาค่าที่ดีที่สุดโดยจำลองกระบวนการคัดเลือกและวิวัฒนาการทางพันธุกรรม เพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (Bajpai & Kumar, 2019) งานวิจัยนี้เลือกใช้กระบวนการขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เนื่องจากมีความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดปัญหาที่ซับซ้อนและมีพื้นที่คำตอบกว้าง โดยไม่ต้องพึ่งการคำนวณแบบเชิงอนุพันธ์ นอกจากนี้มีความยืดหยุ่นสูงในการจัดการกับข้อจำกัดต่าง ๆ ทำให้เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาเชิงเพิ่มประสิทธิภาพที่ซับซ้อน

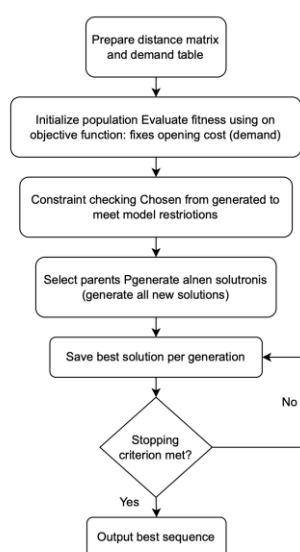
จากระเบียบวิธีวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยสามารถสรุปเป็นกรอบแนวคิด (Conceptual Framework) สำหรับการทำวิจัยนี้ได้ทั้งหมด 3 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการกำหนดขอบเขตของข้อมูลและการเก็บข้อมูล ขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการวิเคราะห์และเลือกใช้โมเดล และขั้นตอนที่ 3 เป็นกระบวนการออกแบบและพัฒนาโมเดล ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบแนวคิด (Conceptual Framework)

(3.1) ขั้นตอนการออกแบบวิธี (Algorithm)

ขั้นตอนเริ่มจากการกำหนดขนาดของประชากรและสร้างประชากรเริ่มต้นแบบสุ่ม จากนั้นทำการประเมินค่าความสามารถ (Fitness) ของแต่ละคำตอบ โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการคำนวณต้นทุนรวมของระบบ ต่อมาทำการคัดเลือกพ่อแม่ที่มีค่าความสามารถสูงเพื่อนำมาผสมพันธุ์ (Crossover) และกลายพันธุ์ (Mutation) เพื่อสร้างประชากรรุ่นใหม่กระบวนการจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่องจนกว่าจะถึงเกณฑ์หยุด เช่น จำนวนรอบสูงสุด หรือไม่มีการพัฒนาของคำตอบอีกต่อไป สุดท้ายจะแสดงผลลัพธ์ของลำดับคำตอบที่ให้ค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ซึ่งใช้ในการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ผังลำดับขั้นของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่ใช้สำหรับหาตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม

(3.2) การทดสอบค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ผู้วิจัยได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ของ GA โดยใช้ค่าเบื้องต้น ดังนี้

- จำนวนรุ่น (Generations): กำหนดเป็น 20 รุ่น ซึ่งพบว่าหลังจากการหาคำตอบ 20 รุ่น ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีแนวโน้มคงที่ โดยไม่ต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากเกินไป
- ขนาดประชากร: สุ่มเริ่มต้นจากผู้ให้ สามารถกำหนดจำนวนชุดตัวเลขได้โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 20 – 50 ลำดับ เพื่อให้มีความหลากหลายของคำตอบมากพอสำหรับการสำรวจพื้นที่คำตอบในปัญหาด้านโลจิสติกส์เชิงพื้นที่ อย่างไรก็ตาม หากใช้ขนาดประชากรเพียง 20 ลำดับ อาจได้ผลลัพธ์เร็วเกินไปแต่มีแนวโน้มติดอยู่ในคำตอบเฉพาะจุด (local optimum) ขณะที่การเพิ่มขนาดประชากรเป็น 50 ลำดับ แม้จะเพิ่มความหลากหลาย แต่กลับใช้เวลาคำนวณนานกว่ามากจากการทดลองประมวลผลพบว่า ขนาดประชากรที่เหมาะสมกับลักษณะของปัญหานี้คือ 40 ลำดับ ซึ่งให้ความสมดุลระหว่างประสิทธิภาพและเวลาในการคำนวณ

- อัตราการสืบพันธุ์ (Reproduction): เลือก 10 ชุด ที่ดีที่สุดจาก 50 ชุด ในแต่ละรุ่น เพื่อให้แน่ใจว่าคำตอบที่มีประสิทธิภาพจะได้รับการถ่ายทอดต่อ ขณะเดียวกันยังคงไว้ซึ่งความหลากหลายในการสร้างประชากรรุ่นถัดไป

(3.3) วิธีการทำ Reproduction, Crossover และ Mutation

- Reproduction: ผู้วิจัยใช้การเลือก 10 ลำดับที่มีค่า Objective ต่ำสุดจากประชากรทั้งหมดในแต่ละรุ่นเพื่อเป็นพ่อแม่ สำหรับสร้างรุ่นถัดไป ซึ่งช่วยรักษาความได้เปรียบของโซลูชันที่ดีไว้ในกระบวนการวิวัฒนาการ

- Crossover: ใช้กระบวนการ Random Regeneration แทนการตัดและผสมลำดับแบบทั่วไป โดยระบบจะสุ่มสร้างชุดข้อมูลใหม่ทั้งหมดภายใต้ข้อจำกัดของแบบจำลอง ซึ่งเหมาะกับปัญหาที่ลำดับข้อมูลต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขเชิงโครงสร้าง เช่น ความต้องการรายวันหรือข้อจำกัดการจัดเส้นทาง

- Mutation: ดำเนินการโดยสุ่มเปลี่ยนตำแหน่งขององค์ประกอบภายในเมทริกซ์การเดินทาง โดยยังคงรักษาเงื่อนไขของแบบจำลองทั้งหมดไว้ เพื่อป้องกันไม่ให้โซลูชันติดอยู่ในค่าที่ไม่เหมาะสม (Local Optimum) และช่วยเพิ่มความหลากหลายของประชากร

(3.4) การตั้งโจทย์และสมมติฐานของปัญหา

กำหนดโจทย์ปัญหา: หาตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้า 1 จุดจาก 5 จุดที่มีอยู่ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการกระจายสินค้าต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของระยะทางความต้องการและจำนวนวัน

(3.5) สมมติฐานของแบบจำลอง

1. มีศูนย์กระจายสินค้าได้เพียงจุดเดียวในระบบ (X มีค่าได้แค่ 1 จาก 5)
2. ความต้องการในแต่ละวันถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า (กำหนดเป็น demand)
3. การเดินทางและการขนส่งสามารถคำนวณได้จากระยะ Euclidean ที่กำหนดไว้ในเมทริกซ์
4. ค่าใช้จ่ายในการเปิดศูนย์กระจายสินค้าเป็นค่าคงที่ 10 บาท

(3.6) ขนาดของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ใช้ตัวอย่างที่มีจุดบริการทั้งหมด 5 จุด (V0 ถึง V4) และศูนย์กระจายสินค้า 5 จุด (W0 ถึง W4) ทดลองในช่วงเวลา 5 วัน ($t = 0$ ถึง 4) ทำให้ขนาดของลำดับข้อมูลคือ 110 ตัวต่อชุด

(3.7) พารามิเตอร์ของ GA

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของ GA

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนรุ่น (Generations)	20
จำนวนพ่อแม่ที่คัดเลือก	10
ขนาดประชากรที่สุ่มในแต่ละรอบ	40
ค่าใช้จ่ายในการเปิดคลัง	10
ความยาวของลำดับข้อมูล	110

(3.8) ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการประมวลผล

ผู้วิจัยดำเนินการพัฒนาโปรแกรมและการประมวลผลทั้งหมดด้วยภาษา Python โดยใช้ไลบรารีพื้นฐานในการจัดการเมทริกซ์ การสุ่มข้อมูล และการประเมินฟังก์ชันวัตถุประสงค์ รวมถึงการบันทึกผลลัพธ์ในรูปแบบตารางสำหรับการวิเคราะห์เปรียบเทียบในแต่ละรุ่นของการคำนวณ

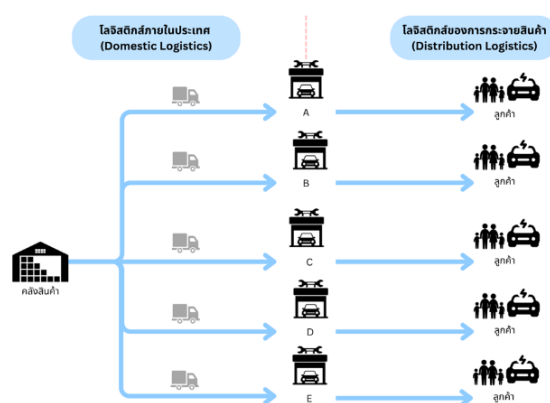
4. ผลการวิจัย

4.1 ศึกษาห่วงโซ่อุปทาน

จากการเก็บข้อมูลพบว่าผู้ที่ให้บริการตัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในให้เป็นรถยนต์ไฟฟ้าภายใน 8 จังหวัดภาคเหนือ ณ ปัจจุบันเหลือเพียง 1 แหล่งเท่านั้นคือ อู่ WPEV ลำพูน มีการกำหนดเป็นจุด A อื่น ๆ ที่ได้เก็บข้อมูลมานั้นจะเป็นกรณีที่ยกเลิกตัดแปลงแต่ยังสามารถที่จะรับซ่อมบำรุงอยู่มี 1 แหล่งคือ อู่ M เจริญยนต์ ลำปาง มีการกำหนดเป็นจุด B และบางอู่ก็ทำการปิดกิจการถาวรไปทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจที่จะเลือกผู้ที่ทำการซ่อมบำรุงมาเป็นข้อมูลในการทำวิจัยด้วยเช่นกัน นอกจากนั้นผู้วิจัยทำการหาข้อมูลของจำนวนศูนย์บริการรถยนต์ไฟฟ้าในภาคเหนือ 8 จังหวัด พบว่าจังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีจำนวนศูนย์บริการรถยนต์ไฟฟ้ามากที่สุด จึงทำการเลือกมาเป็นอู่และศูนย์กระจายสินค้าจำนวน 3 แหล่ง คือ BYD North Star Chiang Mai สำนักงานใหญ่มหิตล มีการกำหนด เป็นจุด C, Deepal เจริญอโต้เซลล์ เชียงใหม่ มีการกำหนดเป็นจุด D และ GWM ซีซีซี ออโต้ เชียงใหม่ มีการกำหนดเป็นจุด E

4.2 ออกแบบห่วงโซ่อุปทาน

ออกแบบห่วงโซ่อุปทานในรูปแบบใหม่เป็นรูปแบบการรวมศูนย์ (Centralized) โดยที่มีศูนย์กระจายสินค้าอยู่จุดใดจุดหนึ่ง เนื่องจากรูปแบบแบบรวมศูนย์สามารถลดต้นทุนรวมได้มากกว่ามีการใช้คลังกลางที่เหมาะสมเชิงพื้นที่ และลดจำนวนเที่ยวขนส่งที่ซ้ำซ้อน เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการดำเนินงานในรูปแบบปัจจุบัน สำหรับการออกแบบวิธีการเลือกตำแหน่งที่ตั้งจุดกระจายวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การออกแบบห่วงโซ่อุปทานในรูปแบบใหม่เป็นรูปแบบการรวมศูนย์ (Centralized)

1) ออกแบบแบบจำลองของการเพิ่มประสิทธิภาพ

(1.1) กำหนดคู่แทนด้วย V ซึ่ง V_0 แทนจุด A, V_1 แทนจุด B, V_2 แทนจุด C, V_3 แทนจุด D และ V_4 แทนจุด E

(1.2) กำหนดสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ของศูนย์กระจายสินค้า ทั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่เดียวกันกับอู่แทนด้วย W ซึ่ง $W_0 - W_4$ แทนด้วยจุด $A - E$ ตามลำดับ

(1.3) ระยะทางระหว่างแต่ละสถานที่แทนด้วย X_{ij} โดย i และ j เป็นสถานที่ เช่น $X_{V_1W_1}$ แทนระยะทางจากอู่ V_1 ไปที่คลัง W_1 โดยแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 1

(1.4) กำหนดความต้องการในการสั่งสินค้าในแต่ละครั้งแทนด้วย t และความต้องการของแต่ละอู่แทนด้วย V โดยแสดงตัวอย่างอยู่ในตารางที่ 2

เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองแบบรวมศูนย์ (Centralized) กับแบบไม่รวมศูนย์ (Decentralized) ผู้วิจัยได้คำนวณค่าใช้จ่ายรวมของระบบแบบไม่รวมศูนย์โดยใช้ข้อมูลระยะทางจริงจากตารางที่ 2 และความต้องการจากตารางที่ 3 (ช่วงเวลา $t = 0$ ถึง $t = 4$) ในระบบแบบไม่รวมศูนย์นี้ อู่ตัดแปลงแต่ละแห่ง (V_0-V_1) จะส่งวัสดุจากศูนย์บริการที่อยู่ใกล้ที่สุดในชุด W_0-W_4 ดังนี้

ตารางที่ 2 ระยะทางของอู่และศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดต่าง ๆ ที่ใช้ในโมเดล

Distance	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	W_0	W_1	W_2	W_3	W_4
V_0	0.0	59.0	53.4	52.7	41.4	0.0	59.0	53.4	52.7	41.4
V_1	59.0	0.0	100.0	99.4	88.1	59.0	0.0	100.0	99.4	88.1
V_2	53.4	100.0	0.0	1.7	13.4	53.4	100.0	0.0	1.7	13.4
V_3	52.7	99.4	1.7	0.0	14.6	52.7	99.4	1.7	0.0	14.6
V_4	41.4	88.1	13.4	14.6	0.0	41.4	88.1	13.4	14.6	0.0
W_0	0.0	59.0	53.4	52.7	41.4	0.0	59.0	53.4	52.7	41.4
W_1	59.0	0.0	100.0	99.4	88.1	59.0	0.0	100.0	99.4	88.1
W_2	53.4	100.0	0.0	1.7	13.4	53.4	100.0	0.0	1.7	13.4
W_3	52.7	99.4	1.7	0.0	14.6	52.7	99.4	1.7	0.0	14.6
W_4	41.4	88.1	13.4	14.6	0.0	41.4	88.1	13.4	14.6	0.0

ตารางที่ 3 ตัวอย่างการสั่งซื้อแบตเตอรี่หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการตัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้าตามความต้องการในแต่ละครั้ง โดยไม่ระบุว่าเป็นการสั่งซื้อชิ้นส่วนใด มีการกำหนด (0 : ไม่มีการสั่งซื้อ) และ (1 : มีการสั่งซื้อ) ของแต่ละอู่

Demand	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4
$t = 0$	1	0	0	1	1
$t = 1$	0	1	1	0	0
$t = 2$	1	1	0	1	0
$t = 3$	0	0	1	1	1
$t = 4$	1	0	1	0	1

- อู่ $V_0 \rightarrow W_4$ ระยะทางไป-กลับ = $41.4 \times 2 = 82.8$ กม.
- อู่ $V_1 \rightarrow W_0$ ระยะทางไป-กลับ = $59.0 \times 2 = 118.0$ กม.
- อู่ $V_2 \rightarrow W_3$ ระยะทางไป-กลับ = $1.7 \times 2 = 3.4$ กม.
- อู่ $V_3 \rightarrow W_2$ ระยะทางไป-กลับ = $1.7 \times 2 = 3.4$ กม.

- อยู่ V4 → W2 ระยะทางไป-กลับ = $13.4 \times 2 = 26.8$ กม.

โดยใช้ข้อมูล Demand จากตารางที่ 3 (ช่วงเวลา $t = 0$ ถึง $t = 4$) จะได้:

- V0 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 0, 3, 4$ รวม 3 วัน → $3 \times 82.8 = 248.4$ บาท
- V1 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 1, 2$ รวม 2 วัน → $2 \times 118.0 = 236.0$ บาท
- V2 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 0, 1, 3$ รวม 3 วัน → $3 \times 3.4 = 10.2$ บาท
- V3 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 2, 3, 4$ รวม 3 วัน → $3 \times 3.4 = 10.2$ บาท
- V4 มีคำสั่งซื้อในวันที่ $t = 0, 2, 4$ รวม 3 วัน → $3 \times 26.8 = 80.4$ บาท

ต้นทุนขนส่งรวม = $248.4 + 236.0 + 10.2 + 10.2 + 80.4 = 585.2$ บาท

และค่าใช้จ่ายในการเปิดคลัง (Fixed Opening Cost) แห่งละ 10 บาท สำหรับศูนย์ที่ถูกใช้งานจริง ได้แก่ W0, W2, W3, W4 → $4 \times 10 = 40.0$ บาท

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายรวมของระบบแบบไม่รวมศูนย์คือ $585.2 + 40.0 = 625.2$ บาท

2) พัฒนาระบบเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของจุดกระจายวัสดุอุปกรณ์

(2.1) ขั้นตอนวิธี (Algorithm) อัลกอริทึมทางพันธุกรรมสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพ

Pseudocode: Genetic Algorithm for Optimization

Input: Population size N, Number of generations G, Distance Matrix D

Output: Best sequence with minimum objective value

1. Initialize population with N random sequences
2. FOR generation $g = 1$ TO G DO
3. Evaluate fitness for each sequence
4. Select top k sequences as parents
5. FOR each offspring DO
6. Perform crossover and mutation to generate a new sequence
7. Validate the new sequence against constraints
8. Calculate objective value if sequence is valid
9. END FOR
10. Replace the current population with the new population
11. END FOR
12. Return the sequence with the minimum objective value

อัลกอริทึมนี้ใช้ GA ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยเริ่มจากการสุ่มสร้างประชากร และใช้กระบวนการวิวัฒนาการ (Evolution) ได้แก่ การเลือกพ่อแม่ การสร้างลูก และการกลายพันธุ์ เพื่อปรับปรุงคำตอบในแต่ละรุ่นจนได้คำตอบที่ดีที่สุด ด้วยการใช้โครงสร้างลำดับชั้นของโค้ด ดังนี้

Pseudocode รูปแบบโครงสร้างลำดับชั้น (Structured Hierarchical Pseudo Code)

START

1. กำหนดค่า **Distance Matrix** (10x10) สำหรับใช้คำนวณระยะทาง
2. **Function:** generate_random_sequences()

- สร้างชุดตัวเลขแบบสุ่มตามจำนวนและโครงสร้างที่กำหนด
 - สุ่มค่า X และกำหนด Demand ตาม Time (t)
 - กำหนดค่าในเมทริกซ์ (V, W)
 - คำนวณเป็นลิสต์ของชุดตัวเลข
3. **Function:** validate_sequences()
- ตรวจสอบเงื่อนไขต่าง ๆ:
 - เงื่อนไข 1: $\sum_j V_{ij} + \sum_d W_{id} * X_d = Dt \quad \forall i$
 - เงื่อนไข 2-3: $\sum_i V_{ij} + \sum_d W_{dj} * X_d = Dt \quad \forall j$
 - เงื่อนไข 4: ไม่มี Subtour
 - คืนค่า **True** ถ้าผ่านทุกเงื่อนไข, **False** ถ้าไม่ผ่าน
4. **Function:** calculate_objective()
- คำนวณค่า Objective Function ตามสูตร:
 - Term 1: ค่าใช้จ่ายจากการเลือก X
 - Term 2: ค่าใช้จ่ายจาก V_{ijt}
 - Term 3: ค่าใช้จ่ายจาก W_{idt}
 - Term 4: ค่าใช้จ่ายจาก W_{dit}
 - คืนค่า **Objective Value**
5. **Function:** perform_genetic_algorithm()
- ใช้ Genetic Algorithm เพื่อหาชุดที่ดีที่สุด:
 - คัดเลือก 10 ชุดที่ดีที่สุดจาก Objective Value ต่ำสุด
 - สร้าง 40 ชุดใหม่โดยสุ่มและตรวจสอบเงื่อนไข
 - คัดเลือก 40 ชุดที่ดีที่สุดในแต่ละรอบ
 - ทำซ้ำ **num_generations** ครั้ง
 - คืนค่าชุดที่ดีที่สุดจากทุก Generation
6. **Function:** save_results_to_csv()
- บันทึกชุดตัวเลขที่ผ่านเงื่อนไขลงไฟล์ CSV
7. **Main Program**
- รับค่าจำนวนชุดที่ต้องการสุ่มจากผู้ใช้
 - เรียกใช้ **generate_random_sequences()** เพื่อสร้างข้อมูล
 - ตรวจสอบแต่ละชุดด้วย **validate_sequences()**
 - คำนวณค่า Objective Function
 - ดำเนินการ **perform_genetic_algorithm()** เพื่อหาชุดที่ดีที่สุด
 - แสดงผลลัพธ์และบันทึกไฟล์ CSV

END

จากโค้ดนี้ใช้ GA เพื่อสร้างและคัดเลือกคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยการสุ่มสร้างชุดตัวเลข ตรวจสอบความถูกต้อง คำนวณค่า Objective Value และปรับปรุงคำตอบในแต่ละรุ่นก่อนบันทึกผลลัพธ์

3) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

Objective Function ในบริบทของ GA ใช้เพื่อวัดประสิทธิภาพของคำตอบ (sequence) แต่ละชุด โดยเป้าหมายของการ Optimization คือการลดค่า Objective Value ให้ต่ำที่สุด เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ภายใต้ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง โดยมีองค์ประกอบดังนี้

(3.1) ตัวแปรการตัดสินใจ (Decision Variables)

- X_d : ตัวแปร Binary ที่ระบุว่ามีการเลือกใช้อู่ d หรือไม่ ($X_d = 1$ หมายถึงเลือกใช้อู่, $X_d = 0$ หมายถึงไม่ได้เลือกใช้อู่)
- V_{ijt} : ปริมาณการเดินทางหรือเชื่อมต่อระหว่างอู่ i และ j ในช่วงเวลา t
- W_{idt} : ปริมาณการเดินทางจากอู่ i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า d ในช่วงเวลา t
- W_{dit} : ปริมาณการเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้า d กลับมายังอู่ i ในช่วงเวลา t

(3.2) ค่าต้นทุน (Cost Parameters)

- C_d : ค่าใช้จ่ายคงที่ในการตั้งอู่ d
- C_{ij} : ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางระหว่างอู่ i และ j
- C_{id} : ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางจากอู่ i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า d
- C_{di} : ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้า d กลับมายังอู่ i

(3.3) Distance Matrix (D)

เป็นตารางหรือเมทริกซ์ที่ใช้เก็บระยะทางหรือค่าต้นทุนการเดินทางระหว่างทุกจุดในปัญหา เช่น อู่ (Depots) และศูนย์กระจายสินค้า (Warehouses)

- ระยะทาง C_{ij} แสดงระยะระหว่างอู่ i และ j
- ระยะทาง C_{id} แสดงระยะทางจากอู่ i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า d
- ระยะทาง C_{di} แสดงระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้า d กลับมายังอู่ i

(3.4) สมการของ Objective Function

สามารถเขียนสมการของ Objective Function ได้ดังนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายรวม} = \underbrace{\sum_d C_d \cdot X_d}_{\text{ค่าใช้จ่ายในการตั้งอู่}} + \underbrace{\sum_t \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot V_{ijt}}_{\text{ค่าเดินทางระหว่างอู่}} + \underbrace{\sum_t \sum_i \sum_d C_{id} \cdot W_{idt}}_{\text{ค่าเดินทางจากอู่ไปคลังสินค้า}} + \underbrace{\sum_t \sum_d \sum_i C_{di} \cdot W_{dit}}_{\text{ค่าเดินทางคลังสินค้าไปอู่}}$$

คำอธิบายแต่ละส่วนของสมการ

1. ค่าใช้จ่ายในการตั้งอู่ ($\sum_d C_d \cdot X_d$)
 - คำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการตั้งอู่แต่ละแห่ง
 - หากเลือกใช้อู่ ($X_d = 1$) ค่าใช้จ่ายของอู่ (C_d) จะถูกรวมในต้นทุนรวม
 - ถ้าไม่ได้เลือก ($X_d = 0$) ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้จะไม่นำมาคำนวณ
2. ค่าเดินทางระหว่างอู่ ($\sum_t \sum_i \sum_j C_{ij} \cdot V_{ijt}$)
 - คำนวณค่าใช้จ่ายจากการเดินทางระหว่างอู่ i และ j
 - C_{ij} คือค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางระหว่างอู่สองแห่ง

- V_{ijt} คือจำนวนครั้งหรือปริมาณการเดินทางระหว่างอยู่ i และ j ในช่วงเวลา t
- 3. ค่าเดินทางจากอยู่ไปศูนย์กระจายสินค้า ($\sum_t \sum_i \sum_d C_{id} \cdot W_{idt}$)
 - ค่าใช้จ่ายจากการขนส่งสินค้าจากอยู่ i ไปยังศูนย์กระจายสินค้า d
 - C_{id} คือค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางระหว่างอยู่และศูนย์กระจายสินค้า
 - W_{idt} คือปริมาณการขนส่งระหว่างจุดทั้งสอง ในช่วงเวลา t
- 4. ค่าเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปอยู่ ($\sum_t \sum_d \sum_i C_{di} \cdot W_{dit}$)
 - ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า d กลับมายังอยู่ i
 - C_{di} คือค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้าและอยู่
 - W_{dit} คือปริมาณการขนส่งระหว่างจุดทั้งสอง ในช่วงเวลา t

เป้าหมายของ Objective Function คือใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นในระบบ โดยเป้าหมายคือ การเลือกอยู่และเส้นทางการขนส่งที่ลดต้นทุนรวมให้ต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ความต้องการสินค้า ระยะทาง และทรัพยากรที่มีอยู่

3) ตัวอย่างการแก้ปัญหา

เริ่มจากการสุ่มตำแหน่งที่ตั้งของอยู่ V จำนวน 5 จุด และตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า W จำนวน 3 จุด หลังจากนั้นมีการคำนวณเมตริกซ์ระยะทางแบบ Euclidean และได้กำหนดความต้องการสินค้าของแต่ละอยู่ V ในเวลา 5 วันคือ $t=0$ ถึง $t=4$ โดย t หรือ Time หมายถึงความต้องการ Demand ในแต่ละวัน ซึ่งมีการนำข้อมูลสังเคราะห์จากตารางที่ 2 มาใช้โดยที่ระบบต้องการหาจุดไหนควรที่จะตั้งเป็นศูนย์กระจายสินค้า เพื่อลดต้นทุนรวมและตอบสนองความต้องการแต่ละวันหลังจากผ่านกระบวนการทั้งหมดแล้วมีการแสดงผลผังภาพที่ 3

หลังจากที่ผ่านกระบวนการแก้ปัญหาจะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่ได้คือ W_1 และการเดินทางของแต่ละวันจะแตกต่างกันไปตาม Demand เช่น Demand Vector $t=0$: $[1, 0, 0, 1, 1]$ (V_0, V_3, V_4 มีความต้องการ) และ $t=1$: $[0, 1, 1, 0, 0]$ (V_1, V_2 มีความต้องการ) โดยมีเส้นทางดังนี้

- $t=0$: $W_1 \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 \rightarrow V_0 \rightarrow W_1$
- $t=1$: $W_1 \rightarrow V_1 \rightarrow V_2 \rightarrow W_1$

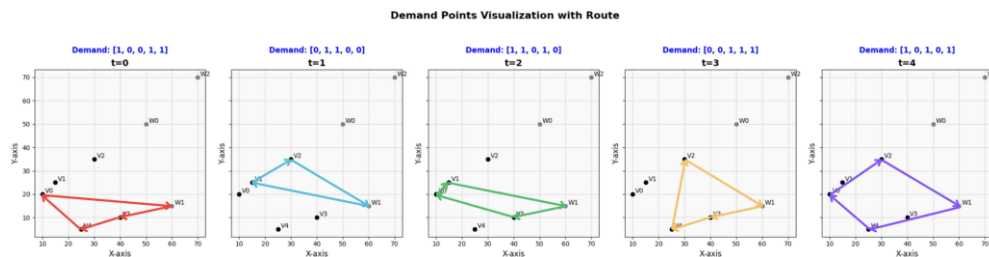
4) ผลลัพธ์แบบจำลอง Results Model

เริ่มจากการกำหนดระยะทางตำแหน่งที่ตั้งของอยู่และศูนย์กระจายสินค้าโดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 1 ที่ตั้งของอยู่ V จำนวน 5 จุด และตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า W จำนวน 5 จุด หลังจากนั้นมีการกำหนดความต้องการสินค้าของแต่ละอยู่ V ในเวลา 5 วันคือ $t=0$ ถึง $t=4$ ซึ่งมีการนำข้อมูลสังเคราะห์จากตารางที่ 2 มาใช้โดยที่ระบบต้องการหาจุดไหนควรที่จะตั้งเป็นศูนย์กระจายสินค้า หลังจากผ่านกระบวนการทั้งหมดแล้วมีการแสดงผลผังของค่าใช้จ่ายรวมดังตารางที่ 4 และแสดงผลผังของตำแหน่งที่ตั้งผังภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการประมวลผลในแต่ละรอบของการคำนวณ (20 รุ่น) จะขึ้นอยู่กับจำนวนชุดข้อมูลที่ผู้ใช้กำหนดไว้ในขั้นตอนเริ่มต้นของโปรแกรม หากกำหนดจำนวนชุดเริ่มต้นประมาณ 20 – 50 ชุด จะใช้เวลาประมวลผลเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 5 – 15 วินาที ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ของค่าใช้จ่ายรวมและลำดับตัวเลขที่ได้จากการหาตำแหน่งที่ตั้งและค่าที่ดีที่สุดของแต่ละ Generation ในกระบวนการ GA โดยลำดับตัวเลขมีความยาว 110 ลำดับ

Type	Objective Value	Sequence
Overall Best	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
Best Sequence Per Generation		
Generation 1	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
Generation 2	339.6	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
Generation 3	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
Generation 4	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]
⋮	⋮	⋮
Generation 20	325.0	[0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....]

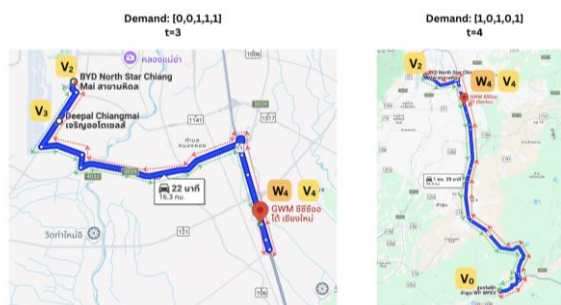
จากตารางที่ 4 พบว่าค่าใน Generation ที่ 2 เพิ่มขึ้นจากรุ่นก่อนหน้านี้ สาเหตุเกิดจากลำดับที่สุ่มในรุ่นนั้นบางส่วนไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าเดิมได้ หรือมีการกลายพันธุ์ในตำแหน่งที่ไม่ก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตาม ใน Generation ถัดมา ระบบสามารถกลับมาให้คำตอบที่ดีกว่าเดิมได้ แสดงให้เห็นถึงลักษณะการแกว่งของคำตอบในกระบวนการเรียนรู้ของอัลกอริทึม โดยในแต่ละ Generation จะมีการเลือกลำดับที่ดีที่สุด 1 ลำดับ จากค่า Objective ที่ต่ำที่สุด และค่าที่ดีที่สุดที่ถูกเลือกใน Overall Best คือ 325.0



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการแก้ปัญหา



ภาพที่ 5 ผลลัพธ์แบบจำลอง Results Model วันที่ 1 2 และ 3



ภาพที่ 6 ผลลัพธ์แบบจำลอง Results Model วันที่ 4 และ 5

หลังจากที่ผ่านกระบวนการแก้ปัญหาผ่านระบบแล้วพบว่า ค่าใช้จ่ายรวม = 325.0 บาท เป็นค่าที่น้อยที่สุด แต่ยังไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดในเชิงคณิตศาสตร์ (Global Optimum) อย่างแน่นอน เนื่องจากอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีประมาณค่า และไม่มีการพิสูจน์เชิงวิเคราะห์ ดังนั้นคำตอบจึงถือเป็นคำตอบที่เหมาะสมมากที่สุดเท่าที่ระบบสามารถหาได้ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมจาก Sequence = [0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0,.....] ทั้งหมด 110 ลำดับ โดย 5 ลำดับแรกเป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของการเปิดศูนย์กระจายสินค้าคือ W_4 และมีเส้นทางการเดินทางของแต่ละวันจะแตกต่างกันไปตาม Demand ของแต่ละพื้นที่ การประมวลผลในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลจำลองขนาดเล็กเพื่อทดสอบแนวคิดเบื้องต้น หากต้องการนำแบบจำลองไปใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ เช่น มีอยู่หรือศูนย์กระจายสินค้าหลายสิบแห่ง อาจต้องปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการปรับแก้สมการและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ GA และหรือการประยุกต์ใช้ GA รูปแบบต่าง ๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้น

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองเปรียบเทียบต้นทุนรวมของระบบแบบรวมศูนย์และแบบไม่รวมศูนย์ โดยแบบไม่รวมศูนย์กำหนดให้แต่ละอู่ตัดแปลงจับคู่กับศูนย์บริการที่อยู่ใกล้ที่สุด ผลการคำนวณพบว่าระบบแบบไม่รวมศูนย์มีค่าใช้จ่ายรวม 625.2 บาท ซึ่งสูงกว่าระบบแบบรวมศูนย์ที่มีค่าใช้จ่ายรวม 325.0 บาท แสดงให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของแนวทางแบบรวมศูนย์ ทั้งในด้านต้นทุนรวมและความเป็นระบบในการจัดการ ซึ่งผลการเปรียบเทียบนี้สนับสนุนความเหมาะสมของแนวทางที่ผู้วิจัยเลือกใช้เมื่อเทียบกับทางเลือกทั่วไปในบริบทปัจจุบัน

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลตามวัตถุประสงค์

จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่ 8 จังหวัดภาคเหนือ พบว่าอู่ที่ยังให้บริการตัดแปลงรถยนต์สันดาปภายในเป็นรถยนต์ไฟฟ้า EV Conversion มีเพียง 1 แห่ง ที่ยังดำเนินงาน คืออู่ WPEV จังหวัดลำพูน ขณะที่อู่หลายแห่งหยุดให้บริการหรือเปลี่ยนไปทำเฉพาะการซ่อมบำรุง ระบบห่วงโซ่อุปทานในปัจจุบันยังมีข้อจำกัดด้าน ต้นทุน การเข้าถึงแหล่งชิ้นส่วน และความไม่แน่นอนของช่องทางจัดจำหน่าย จึงพัฒนาโมเดลที่มีประสิทธิภาพเพื่อรองรับการขยายตัวของอุตสาหกรรม EV Conversion

งานวิจัยได้ออกแบบ ห่วงโซ่อุปทานแบบรวมศูนย์และใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมที่สุดจากจุดที่เป็นไปได้ 5 แห่งในภาคเหนือ ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่า GWM ซีซีซี ออโต้ เชียงใหม่ (W4) เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด โดยให้ค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 325.0 บาท ซึ่งน้อยที่สุด ซึ่งประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการเปิดศูนย์กระจายสินค้า และค่าใช้จ่ายจากการเดินทางทั้งหมดภายในระบบ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการลดต้นทุนโลจิสติกส์และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดส่งวัสดุ จากการทดลองเชิงตัวเลข พบว่าอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่ใช้ในงานวิจัยสามารถลดค่าใช้จ่ายรวมลงได้ โดยการตั้งค่าที่ใช้คือ จำนวนรุ่น 20 รุ่น เลือกพ่อแม่ 10 ลำดับ และสุ่มประชากรใหม่ 40 ลำดับต่อรุ่น และใช้การสุ่มลำดับใหม่แบบสุ่มเต็มรูปแบบแทนการผสมพันธุ์แบบดั้งเดิม ทั้งนี้ไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในเชิงคณิตศาสตร์ เนื่องจาก GA เป็นวิธีประมาณค่า โครงสร้างของโครโมโซมสามารถแปลความหมายได้เป็นตำแหน่งคลังที่ถูกเลือก ความต้องการรายวันและการจัดเส้นทางในแต่ละวัน

แนวทางการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมในการหาทำเลที่ตั้งและออกแบบเครือข่ายห่วงโซ่อุปทานที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ สอดคล้องกับทิศทางของงานวิจัยร่วมสมัยหลายฉบับ เช่น การวางแผนเครือข่ายซัพพลายเชนของผลิตภัณฑ์เกษตรโดยใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมที่ได้รับการปรับปรุง ซึ่งสามารถลดต้นทุนรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Zhao & Xie, 2023) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาแนวทางการจัดสรรสถานพยาบาลโดยใช้วิธีการสองขั้นตอนร่วมกับอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการและความเท่าเทียมในการเข้าถึง (Salami et al., 2023) งานวิจัยเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความเหมาะสมของการใช้แนวทางเชิงพันธุกรรมกับปัญหาเชิงพื้นที่และการจัดการโลจิสติกส์ที่ซับซ้อน

5.2 อภิปรายผลตามวัตถุประสงค์

แบบจำลองห่วงโซ่อุปทานแบบรวมศูนย์ที่พัฒนาขึ้นในการศึกษานี้ โดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ และเพิ่มประสิทธิภาพในการกระจายวัสดุอุปกรณ์เพื่อการดัดแปลงรถยนต์ไฟฟ้า โดยเฉพาะการวิเคราะห์หาตำแหน่งศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมที่สุด การใช้ GA ในการเพิ่มประสิทธิภาพของห่วงโซ่อุปทานเป็นแนวทางที่ได้รับการยอมรับทางวิชาการ โดยเฉพาะในบริบทของอุตสาหกรรมการผลิตและกระจายสินค้าอัจฉริยะ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถของ GA ในการจัดการกับข้อจำกัดเชิงระบบและการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อนสูง (Tarigan et al., 2021) ขณะเดียวกัน แนวโน้มของอุตสาหกรรม EV ในประเทศไทยก็อยู่ในช่วงขยายตัว โดยมีทั้งการสนับสนุนจากภาครัฐและภาคเอกชน โดยเฉพาะในกลุ่มธุรกิจที่ดัดแปลงรถยนต์มือสองให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งพบว่าได้รับความสนใจจากผู้บริโภคที่ต้องการเปลี่ยนผ่านสู่ยานยนต์สะอาดในราคาที่เข้าถึงได้ (Puchong et al., 2023) ค่าคำตอบต่ำสุดที่ได้จากแบบจำลองคือ 325.0 บาท ซึ่งเป็นค่า Objective ต่ำที่สุด จากการทดลองและถูกระบุเป็น ค่าที่ดีที่สุดโดยรวม (Overall Best) ตามข้อมูลในตารางที่ 4 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของแนวทางที่เลือกใช้ ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบต้นทุนรวมระหว่างระบบแบบรวมศูนย์และแบบไม่รวมศูนย์พบว่าระบบแบบไม่รวมศูนย์มีค่าใช้จ่ายรวม 625.2 บาท ซึ่งสูงกว่าระบบแบบรวมศูนย์อย่างมีนัยสำคัญสะท้อนให้เห็นถึงข้อได้เปรียบของแนวทางแบบรวมศูนย์ในบริบทของแบบจำลองนี้ อย่างไรก็ตาม เพื่อยืนยันความมีประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนออย่างรอบด้าน ควรมีการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการคำนวณอื่นเพิ่มเติมในอนาคต งานวิจัยฉบับนี้ยังไม่ได้ดำเนินการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธีการอื่น ๆ แต่แนวทางนี้สามารถขยายผลได้ในอนาคต โดยการนำวิธีการอื่นมาเปรียบเทียบ เช่น การใช้ Linear Programming, Heuristic Methods หรือ Metaheuristic อื่น ๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณทุนค่าธรรมเนียมการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา วิทยาลัยศิลปะ สื่อ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่มอบทุนสนับสนุนสำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Bajpai, P., & Kumar, M. (2019). Genetic Algorithm – an Approach to Solve Global Optimization Problems, *Indian Journal of Computer Science and Engineering*, 1(3), 199-206.
- Katchwattana, P. (2023). *EV Conversion Industry: An Opportunity for SMEs*. [Online],

- Available: <https://www.salika.co/2023/08/15/ev-conversion-industry-thai-sme-opportunity/>. access on October 22, 2023. (in Thai)
- Kaur, H., & Arora, A. (2021). *A Review of Genetic Algorithm Applications for Supply Chain Optimization Problems*. *Materials Today: Proceedings*, 46(9), 4403–4407. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.712>
- Murray, A. T., & Church, R. L. (1996). *An overview of location modeling research: Progress and prospects*. *The Professional Geographer*, 48(4), 489–499. <https://doi.org/10.1111/j.0033-0124.1996.00489.x>
- PeerPower. (2022). *5 Factors Influencing EV Trends & 5 Investment Opportunities*. [Online], Available: <https://www.peerpower.co.th/blog/ev-and-investment>. access on October 21, 2023. (in Thai)
- Prachachat Business. (2024). *Support for Converting Oil Vehicles to EVs, Pilot Program of 400,000 Vehicles, Assisting ‘Mechanics and Garages’ During the Transition Period*. [Online], Available: <https://www.prachachat.net/economy/news-1471282>. access on January 22, 2024. (in Thai)
- Puchong, P., & TISTR Research Team. (2023). *The Potential of Thailand in Advancing the Classic Car EV Conversion Industry: A Transition Strategy*. *World Electric Vehicle Journal*, 16(3), 122.
- Salami, A., Afshar-Nadjafi, B., & Amiri, M. (2023). *A Two-Stage Optimization Approach for Healthcare Facility Location-Allocation Problems With Service Delivering Based on Genetic Algorithm*. *International Journal of Public Health*, 68, 1605015.
- SCB. (2023). *Advantages of Electric Vehicles: A New Ideal Choice for Eco-Conscious Drivers*. [Online], Available: <https://www.scb.co.th/th/personal-banking/stories/home-car/electric-vehicle.html>. access on October 21, 2023. (in Thai)
- Tarigan, M., Gaol, F. L., Warnars, H. L. H. S., Soewito, B., & Matsuo, T. (2021). *Supply chain optimization using genetic algorithm in industry manufacture: A systematic literature review*. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99(16), 4141–4152.
- Transport Statistics Group. (2024). *The Total Number of Registered Vehicles as of December 31, 2023*. [Online], Available: <https://web.dlt.go.th/statistics/>. access on January 22, 2024. (in Thai)
- Vasantiaupapokagorn, N., Chitwattanakorn, T., & Bunyapo, K. (2023). *The trend and legal of electric vehicle conversion business in Thailand*, *Journal of Social Science and Cultural*, 7(5), 199–210. (in Thai)
- Zhao, L., & Xie, J. (2023). *Optimization of the supply chain network planning problem using an improved genetic algorithm*. *International Journal for Simulation and Multidisciplinary Design Optimization*, 14, 6.

การประยุกต์ใช้ AppSheet เพื่อพัฒนาระบบการเบิก-จ่ายวัสดุ แผนกแม่พิมพ์โลหะ: กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร

Application of AppSheet for Improving the Material Withdrawal
and Disbursement Process in a Metal Mold Department: A Case

Study of an Automotive Parts Manufacturing Company,

Krathum Baen District, Samut Sakhon Province

วรเทพ ตรีวิจิตร^{1*}, เถลิง พลเจริญ², สมจินต์ อักษรธรรม³ และผ่องอำไพ แสนแสง⁴

Worathep Treewichit^{1*}, Thaloeng Poljaroen², Somjin Aksorntham³ and Phongamphai Sensang⁴

^{1*,2,3}คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี

248 เพชรเกษม 110 เขตหนองแขม กรุงเทพฯ 10160 โทร 0 2809 0823 โทรสาร 0 2809 0823

⁴มหาวิทยาลัยธนบุรี วิทยาเขตภาคเหนือ จังหวัดลำพูน

197 หมู่ 8 ตำบลบ้านธิ อำเภอบ้านธิ จังหวัดลำพูน 51180 โทร 053 982999 โทรสาร 0 5398 2999

E-mail: worathep_rru@hotmail.com

^{1*,2,3}Faculty of Engineering, Thonburi University

248 Petkasem 110, NongKhaem District, Bangkok, 10160 Tel. +66 2809 0823 Fax. +66 2809 0823

⁴Thonburi University, Northern Campus (Lamphun Province)

197 Moo 8, Ban Thi Sub-district, Ban Thi District, Lamphun Province 51180 Tel. +66 53 982999 Fax. +66 53 982999

วันที่รับบทความ 8 ตุลาคม 2568

Received: Oct. 8, 2025

วันที่รับแก้ไขบทความ 15 ธันวาคม 2568

Revised: Dec. 15, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 16 ธันวาคม 2568

Accepted: Dec. 16, 2025

บทคัดย่อ

วิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อประยุกต์ใช้ AppSheet ในการพัฒนาระบบการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ และ 2) เพื่อหาประสิทธิภาพขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะจากการศึกษาข้อมูล พบว่า ระบบการเบิก-จ่ายวัสดุไม่มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังกระบวนการไหลและการใช้หลักการทำไทม์ – ทำไม โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AppSheet ในการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ ผลการวิจัย 1) การประยุกต์ใช้โปรแกรม AppSheet สามารถพัฒนาระบบการเบิก-จ่ายวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ 2) การหาประสิทธิภาพขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ ก่อนการปรับปรุงมี 8 ขั้นตอน ใช้เวลา 1,295 วินาที และหลังการปรับปรุง โดยใช้โปรแกรม AppSheet มี 7 ขั้นตอน ใช้เวลา 605 วินาที ลดลง 1 ขั้นตอน คิดเป็นร้อยละ 12.50 และสามารถลดเวลาการเบิก-จ่ายวัสดุ 690 วินาที คิดเป็นร้อยละ 53.28

คำสำคัญ: การเบิก-จ่ายวัสดุ, ชิ้นส่วนยานยนต์, การเพิ่มประสิทธิภาพ

Abstract

This research aimed to: 1) apply AppSheet to develop a material requisition and dispensing system for a metal mold department; and 2) determine the efficiency of the material requisition and dispensing process in the metal mold department. Data analysis revealed an inefficient material requisition and dispensing system. The researchers analyzed the causes using process flow diagrams and the "why-why" principle, applying AppSheet to the material requisition and dispensing system. The results showed that: 1) the application of AppSheet effectively improved the efficiency of the material requisition and dispensing system; and 2) the efficiency of the material requisition and dispensing process in the metal mold department was reduced. Before improvement, the system consisted of 8 steps taking 1,295 seconds. After improvement using AppSheet, the process was reduced to 7 steps taking 605 seconds, a decrease of 1 step or 12.50%, resulting in a 690 second reduction in material requisition and dispensing time, or a 53.28% reduction.

Keywords: Material Disbursement, Automotive Part, Optimization

1. บทนำ

ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยทำหน้าที่จัดหาชิ้นส่วนให้แก่ผู้ประกอบการรถยนต์ในปริมาณที่เหมาะสมและตรงเวลา เพื่อรักษาห่วงโซ่อุปทาน คิววันท์ วรโชติปัญญารัตน์ และจิราวรรณ เนียมสกุล (2564) (Worachotepanyaratana & Niemsakul, 2021) ในปัจจุบันเทคโนโลยีดิจิทัลได้เข้ามามีบทบาทสำคัญและเชื่อมโยงเข้ากับชีวิตประจำวันและกระบวนการทำงานขององค์กรอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Widianto et al., 2022) การพัฒนาและประยุกต์ใช้เทคโนโลยี จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน และเสริมสร้างความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ (Kraus et al., 2021) การเปลี่ยนผ่านจากการบันทึกข้อมูลในรูปแบบสมุด หรือเอกสารแบบเดิมไปสู่การใช้งานแอปพลิเคชันดิจิทัลจะส่งผลให้ระบบการทำงานขององค์กรมีความคล่องตัวมากยิ่งขึ้น ลดความซ้ำซ้อนและเพิ่มความถูกต้องของข้อมูล (Dina et al., 2020) หนึ่งในเครื่องมือที่ได้รับความนิยม คือ AppSheet ซึ่งเป็นแพลตฟอร์มพัฒนาแอปพลิเคชันแบบไม่ต้องเขียนโค้ด โดยสามารถเชื่อมต่อกับแหล่งข้อมูล เช่น Google Drive, DropBox, Office 365 และฐานข้อมูลบนคลาวด์อื่น ๆ อีกทั้งยังรองรับการแชร์ข้อมูลออนไลน์และการทำงานร่วมกันของผู้ใช้งานแบบเรียลไทม์ ซึ่งส่งผลให้กระบวนการทำงานที่เคยเป็นแบบแมนนวลเปลี่ยนผ่านสู่ระบบดิจิทัลได้อย่างมีประสิทธิภาพ (AppSheet, n.d.)

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้รับจ้างผลิต (Original Equipment Manufacturer : OEM) ชิ้นส่วนยานยนต์ให้กับลูกค้าภายในประเทศ ได้แก่ ชิ้นส่วนปั้มน้ำมัน ชิ้นส่วนโช้คอัพ และชิ้นส่วนคอมเพรสเซอร์แอร์ และผลิตตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งกระบวนการเบิก-จ่ายวัสดุในแผนกแม่พิมพ์โลหะเป็นกระบวนการสนับสนุนที่มีความสำคัญต่อระบบการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เนื่องจากความล่าช้าหรือความผิดพลาดในกระบวนการดังกล่าวสามารถก่อให้เกิดการหยุดเครื่องจักร

(Machine Downtime) การผลิตล่าช้า ซึ่งแผนกแม่พิมพ์โลหะดูแลรับผิดชอบเครื่องจักร 15 เครื่อง จากการเก็บข้อมูลระบบกระบวนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะเป็นการบันทึกด้วยมือ (Manual) ผู้วิจัยพบปัญหา ได้แก่ ขาดระบบการเบิก-จ่ายวัสดุ พนักงานเขียนเบิกข้อมูลผิด การบันทึกขาดความต่อเนื่อง ข้อมูลไม่เป็นปัจจุบันและคำนวณจำนวนคงเหลือผิด จึงต้องสั่งซื้อวัสดุเกินความจำเป็น เกิดต้นทุนเพิ่มขึ้นและไม่สามารถสนับสนุนเป้าหมายประสิทธิภาพของเครื่องจักรร้อยละ 76 จากเป้าหมายการทำงานของเครื่องจักรไม่น้อยกว่าร้อยละ 85 ซึ่งหากบริษัทส่งสินค้าไม่ตรงต่อความต้องการของลูกค้าจะส่งผลต่อการเกิดค่าปรับต่อคำสั่งซื้อ และอาจจะยกเลิกคำสั่งซื้อต่อไป อย่างไรก็ตามงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการปรับปรุงกระบวนการผลิตหลัก ขณะที่กระบวนการสนับสนุน เช่น การเบิก-จ่ายวัสดุ ยังได้รับความสนใจค่อนข้างจำกัด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจการประยุกต์ใช้ AppSheet เพื่อพัฒนาระบบการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ: กรณีศึกษาบริษัทผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีดิจิทัลเพื่อยกระดับกระบวนการเบิก-จ่ายวัสดุให้การทำงานเชื่อมโยงกับระบบการผลิตโดยรวม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางการแข่งขัน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อประยุกต์ใช้ AppSheet ในการพัฒนาระบบการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ
- 2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขอบเขตของงานวิจัย

1) ศึกษาบริษัทตัวอย่างผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ได้แก่ ชิ้นส่วนปั้มน้ำมัน ชิ้นส่วนโช้คอัพ และชิ้นส่วนคอมเพรสเซอร์แอร์ และผลิตชิ้นส่วนตามความต้องการของลูกค้า อำเภอกะทู้มณฑลจังหวัดสมุทรสาคร โดยกระบวนการคลังวัสดุ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

(1) การสั่งซื้อ หลังจากการนับวัสดุคงเหลือในแต่ละเดือน จะมีการสั่งซื้อชิ้นส่วนที่ขาดตามจำนวนที่ต้องการ

(2) การรับเข้าคลัง ผู้รับผิดชอบจะต้องตรวจสอบบอเดอร์ เช่น รายการที่ทำการสั่งซื้อและสินค้าตรงตามจำนวนหรือตรงตามรายการหรือไม่

(3) การเบิก-จ่ายวัสดุ เป็นการทำงานแบบเขียนเบิก-จ่ายด้วยมือไม่มีการควบคุมและดูแลอย่างเคร่งครัด โดยพนักงานบันทึกข้อมูลการเบิก - จ่ายชิ้นส่วนลงในกระดาษ

(4) การนับสต็อก พนักงานที่รับผิดชอบตรวจนับวัสดุคงเหลือมีจำนวนเท่าไรและพิจารณาจากจำนวนจะต้องสั่งซื้อมาเพิ่มหรือไม่ ซึ่งขาดระบบการควบคุมการทำงาน

2) ศึกษาขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ มีพนักงาน จำนวน 15 คน ซึ่งการศึกษาและเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ถึง ตุลาคม 2567 ระยะเวลา 4 เดือน

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ผู้วิจัยได้ใช้กรอบแนวคิด Input-Process-Output (IPO) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์และผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมและเทคโนโลยีดิจิทัล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ปัจจัยนำเข้า (Input)

- ข้อมูลพื้นฐานกระบวนการเบิก-จ่ายวัสดุก่อนการปรับปรุง
- บุคลากรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ หัวหน้างานและพนักงาน
- เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ การประยุกต์ใช้โปรแกรม AppSheet แอปพลิเคชันแบบไม่ต้องเขียนโค้ด ซึ่งสามารถเข้าถึงไฟล์งานผ่านการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตทุกที่ทุกเวลา (Hassan et al., 2023) ผู้วิจัยได้นำมาประยุกต์ใช้ในการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน วรเทพ ตริวิจิตร และคณะ (2568) (Treewichit et al., 2025)

2) กระบวนการ (Process)

การวิจัยมุ่งเน้นการปรับปรุงระบบการเบิก-จ่ายวัสดุ โดยใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมดังนี้

- แผนภูมิกระบวนการไหล (Flow Process Chart) กำหนดมาตรฐานสัญลักษณ์ 5 สัญลักษณ์ ได้แก่ การปฏิบัติการ การขนส่ง การตรวจสอบ การล่าช้า และการเก็บ เป็นต้น (Fabria et al., 2020; Rattanapunya, 2024) ผู้วิจัยได้นำมาศึกษาขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะก่อนและหลังปรับปรุง

- Why-Why Analysis เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของปัญหาโดยการตั้งคำถามว่า “ทำไม” ซึ่งการแก้ปัญหาที่รากเหง้าเป็นการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพ เฉลิมศักดิ์ ถาวรรัตน์ และสุวิทย์ บุญชูจรัส (2563) (Thavornwat & Boonchujarud, 2020) ผู้วิจัยได้นำมาวิเคราะห์หาสาเหตุจากระบบการเบิก-จ่ายวัสดุที่มีประสิทธิภาพ

- การฝึกทักษะและการมีส่วนร่วมของหัวหน้างานและพนักงาน ในการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมวิเคราะห์ และแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบได้อย่างถูกต้อง

3) ผลลัพธ์ (Output)

- ระบบการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะผ่านโปรแกรม AppSheet
- กระบวนการเบิก-จ่ายวัสดุมีขั้นตอนลดลง มีความถูกต้อง รวดเร็ว ข้อมูลแบบเรียลไทม์ และตรวจสอบย้อนหลังได้
- ประสิทธิภาพการทำงานของแผนกแม่พิมพ์โลหะเพิ่มขึ้น และลดความผิดพลาดจากการทำงานแบบแมนนวล

3.3 ศึกษาสภาพกระบวนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ (ก่อนปรับปรุง)

1) ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาการทำงาน ตัวอย่างแสดงดังรูป

พนักงานจะต้องมาเขียนเบิกวัสดุลงในแบบฟอร์มที่กำหนด แสดงดังภาพที่ 1 และ 2



ภาพที่ 1 ตัวอย่างการเขียนเบิกวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ

ใบบันทึกการเบิกจ่ายอุปกรณ์						
วันที่	รายการ	ขนาด	จำนวน	ยี่ห้อ	คงเหลือ	ผู้เบิก
21/07/67	PIN	๘ ๒๐x 100mm	๒๐-93	-2	20	จก
	R000	1/๖๐	11A 1/16"	-5	11	จก
	สกรู	1/๘x๑๐	"	-5	11	จก
	สกรูขนาดเล็ก	เล็ก	"	-5	11	จก
	"	ยาว	"	-5	11	จก
	ท่อโพลีเอทิลีน	1/๒"	๖๖	-1	11	จก
	"	๓/๘"	๖๖	-1	11	จก
21/07/67	สกรูขนาดเล็ก	เล็ก	๒๖-5๖๖	-5	๕๖๖	จก
	"	เล็ก	"	-5	"	"
	สกรู	๒๖-๖	"	-5	"	"
	"	๒๖-๖	"	-5	"	"
	super Stone	๓๖๖	"	-1	"	"
	"	๒๖๖	"	-1	"	"
	โกลีน	๖๖๖	"	-10	"	"
	ตะแกรง	"	"	-2	"	"
1/08/67	PIN	๘ ๒๐x1๐๐	๒๐-913	-2	๒๐-913	จก
3/8/67	PIN	๘ ๒๖๖x๒๖๐	๒๖-๖๖๐	-1	๒๖-๖๖๐	จก
๑1/9/67	PIN	๘ ๒๖๖x๑๐๐	๒๖-๖๖๖	-1	๒๖-๖๖๖	จก
๑5/9/67	PIN	๘ 1/๖ x๑๐๐	๒๖-๖๖๖/1	-4	๒๖-๖๖๖/1	จก
	PIN	๘ ๑๖ x ๑๐๐	๒๖-๖๖๖	-1	๒๖-๖๖๖	จก
	PIN	๘ ๑๖ x ๑๐๐	๒๖-๖๖๐	-1	๒๖-๖๖๐	จก
7/๑๐/67	PIN	๘ 1/๖ x๑๐๐	๒๖-๖๖๐	-4	๒๖-๖๖๐	จก
	สกรู	๒๖-๖	๒๖-๖๖๖	-5	๒๖-๖๖๖	จก
	สกรูขนาดเล็ก	เล็ก	"	-5	"	จก
	สกรูขนาดเล็ก	๒๖-๖	"	-5	"	จก

ภาพที่ 2 ตัวอย่างใบบันทึกการเบิก

2) การหาประสิทธิภาพขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ

ผู้วิจัย หัวหน้างาน พนักงานร่วมกันจับเวลาการทำงานขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุ และนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย เดือนกรกฎาคม ถึง สิงหาคม 2567 จำนวน 30 ครั้ง ซึ่งดำเนินการเก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนเขียนเบิกวัสดุถึงพนักงานบันทึกการรายการวัสดุคงเหลือ รวม 8 ขั้นตอน ดังนี้

ตารางที่ 1 ขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ (ก่อนการปรับปรุง)

FLOW PROCESS CHART										
ชื่อกระบวนการ (Subject Charted) : การเบิก-จ่ายวัสดุผลิตแม่พิมพ์			ผลสรุป							
Process: กระบวนการเบิก-จ่าย			สัญลักษณ์		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ลดลง	
Check By: พนักงาน			○ ➡ ▭ ▭ △	การปฏิบัติการ		5		-		-
คำอธิบาย				การเคลื่อนย้าย		1		-		-
				การรอคอย		-		-		-
				การตรวจสอบ		2		-		-
				การจัดเก็บ		-		-		-
			รวม		8		-		-	
สถานะ (Method) : ก่อนปรับปรุง			หน้าที่ (Sheet No) : 1 to 1							
คำอธิบายการทำงาน			ระยะ (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์				หมายเหตุ	
1. เขียนเบิกวัสดุ			0	300	●	➡	▭	▭	△	
2. พนักงานตรวจสอบรายการเบิก			0	90	○	➡	▭	■	△	
3. พนักงานเดินไปยังจุดเก็บวัสดุ			15	30	○	➡	▭	▭	△	
4. พนักงานค้นหาวัดุดตามรายการ			0	195	●	➡	▭	▭	△	
5. พนักงานหยิบวัสดุ			0	60	●	➡	▭	▭	△	
6. ตรวจสอบรายการวัสดุ			0	180	○	➡	▭	■	△	
7. ผู้เบิกรับวัสดุ			0	20	●	➡	▭	▭	△	
8. พนักงานบันทึกรายการวัสดุคงเหลือ			0	420	●	➡	▭	▭	△	
รวม			15	1,295	5	1	-	2	-	

ตารางที่ 1 ก่อนการปรับปรุง แสดงขั้นตอนการทำงาน 8 ขั้นตอน ซึ่งใช้เวลาในการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ ทั้งหมด 1,295 วินาที ระยะทางรวม 15 เมตร โดยมีขั้นตอนการปฏิบัติการ 5 ขั้นตอน เวลา 995 วินาที, การเคลื่อนย้าย 1 ขั้นตอน เวลา 30 วินาที และการตรวจสอบ 2 ขั้นตอน เวลา 270 วินาที และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรร้อยละ 76

3.4 การวิเคราะห์หาสาเหตุโดยใช้แผนภูมิ Why – Why Analysis

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์หาสาเหตุการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ

ปัญหา	Why	Why	ผลกระทบต่อการผลิต (Impact)	Action
ระบบการเบิก-จ่ายวัสดุไม่มีประสิทธิภาพ	การเบิก-จ่ายวัสดุใช้วิธีการบันทึกด้วยมือ (Manual)	-ข้อมูลไม่เป็นปัจจุบัน -ขาดระบบสารสนเทศที่เชื่อมโยงข้อมูลแบบเรียลไทม์	-กระทบกับแผนการผลิตโดยรวม -เสี่ยงต่อการหยุดเครื่องจักร	การประยุกต์ใช้ AppSheet ในการพัฒนาระบบการเบิก-จ่ายวัสดุ

ผู้วิจัยพัฒนาการทำงานกับหัวหน้างาน และพนักงาน โดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AppSheet เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ซึ่งข้อดี ต้นทุนต่ำ การใช้งานข้ามแพลตฟอร์มรองรับทั้ง iOS, Android และ Web การเชื่อมต่อข้อมูลสะดวกสามารถทำงานร่วมกับ Google Sheets, Excel และฐานข้อมูลอื่น ๆ ได้ รองรับการทำงานร่วมกัน (Collaboration) ใช้งานได้พร้อมกัน ข้อมูลการทำงานเป็นแบบเรียลไทม์ และพีเจอรอัตโนมัติ (Automation) แจ้งเตือน ส่งอีเมล หรือสร้างรายงานได้หลายรูปแบบ ข้อด้อย พนักงานจะต้องใช้เวลาเรียนรู้ระบบการใช้โปรแกรม และประสิทธิภาพการทำงานขึ้นอยู่กับฐานข้อมูล หากข้อมูลอยู่ใน Google Sheets ที่มีคอลัมน์ (Column) จำนวนมาก อาจจะทำให้การทำงานและการประมวลผลช้าลงได้

3.5 การพัฒนาขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ

ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดในการพัฒนาขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะของบริษัทตัวอย่าง เพื่อควบคุมการใช้วัสดุ การตรวจสอบสต็อกคงเหลือแบบเรียลไทม์ และการจัดทำรายงานการเบิก-จ่ายวัสดุได้อัตโนมัติ เป็นต้น โดยการใช้โปรแกรม AppSheet ดังนี้

1) หน้าโปรแกรมการเข้าใช้งานการเบิก-จ่ายวัสดุ



ภาพที่ 3 หน้าโปรแกรมการเข้าใช้งานการเบิก-จ่ายวัสดุ

2) หน้าเมนูการใช้งานผ่านสมาร์ทโฟน (Smartphone)

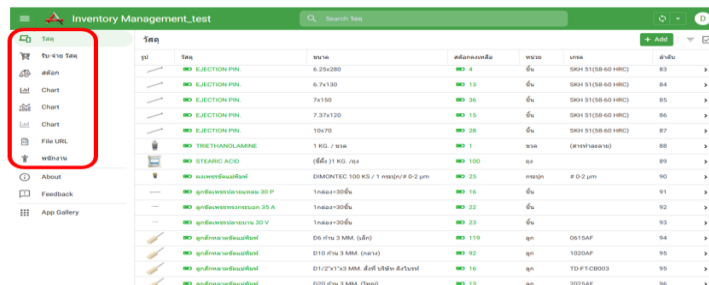
พนักงานใช้งานผ่านสมาร์ทโฟนสำหรับการเบิก-จ่ายวัสดุ ดังภาพที่ 4

รูป	วัสดุ	ขนาด	สต็อกคงเหลือ	หน่วย	เกรด
	EJECTION PIN.	7.37x120	15	ชิ้น	SKH 51 (58-60 HR
	EJECTION PIN.	10x70	28	ชิ้น	SKH 51 (58-60 HR
	TRIETHANOLAMINE	1 KG. / ขวด	1	ขวด	(สารทำลาย)
	STEARIC ACID	(สีส้ม) 1 KG. / ถุง	100	ถุง	
	ผงเพชรเม็ดพิมพ์	DIMONTEC 100 KS / 1 ...	25	กระปุก	# 0-2 µm
	ลูกบิดเพชรปลายแหลม 30 P	1กลอง=30ชิ้น	16	ชิ้น	
	ลูกบิดเพชรทรงกระบอก 35 A	1กลอง=30ชิ้น	22	ชิ้น	
	ลูกบิดเพชรปลายบาน 30 V	1กลอง=30ชิ้น	23	ชิ้น	

ภาพที่ 4 หน้าเมนูการใช้งานผ่านสมาร์ทโฟน (Smartphone)

3) หน้าเมนูการใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

พนักงานใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลสำหรับการเบิก-จ่ายวัสดุ ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 หน้าเมนูการใช้งานผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)

4) หน้าเมนูรายการวัสดุทั้งหมด

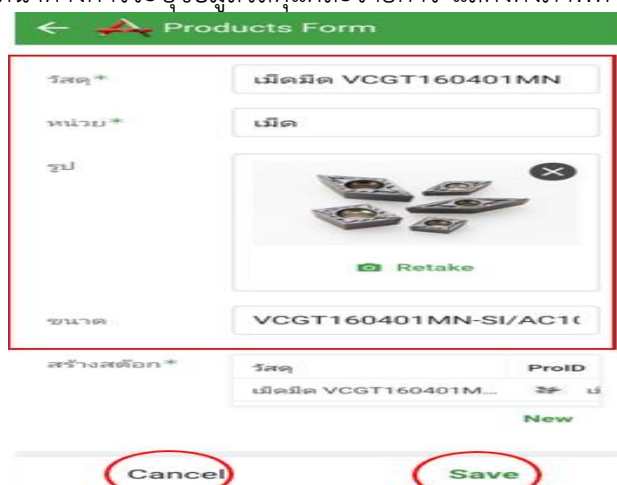
หน้าเมนูแสดงรายการวัสดุที่มีอยู่ทั้งหมดในระบบของแผนก แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 หน้าเมนูรายการวัสดุทั้งหมด

6) การระบุข้อมูลวัสดุ

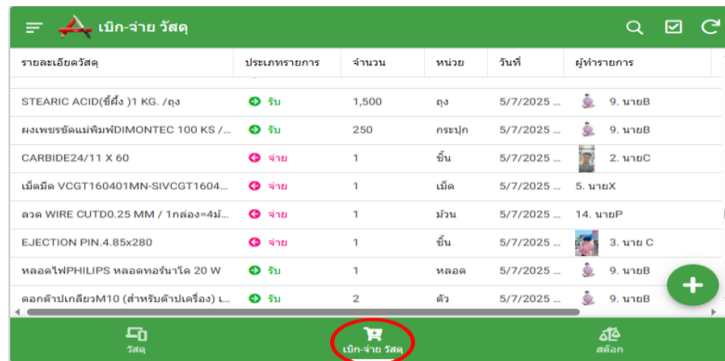
หน้าต่างการระบุข้อมูลวัสดุแต่ละรายการ แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การระบุข้อมูลวัสดุ

7) การเบิกจ่ายวัสดุ

หน้าตาการเบิกจ่ายวัสดุ แสดงดังภาพที่ 8



รายละเอียดวัสดุ	ประเภทรายการ	จำนวน	หน่วย	วันที่	ผู้ทำการ
STEARIC ACID(สีฟ้า) 1 KG./ถุง	รับ	1,500	ถุง	5/7/2025 ...	9. นายB
ผงเพชรขัดแม่พิมพ์(DIMONTEC 100 KS / ...	รับ	250	กระป๋อง	5/7/2025 ...	9. นายB
CARBIDE24/11 X 60	จ่าย	1	ชิ้น	5/7/2025 ...	2. นายC
เม็ดธัด VCGT160401MN-SIVCGT1604...	จ่าย	1	เม็ด	5/7/2025 ...	5. นายX
ลวด WIRE CUTD0.25 MM / 1กล่อง=43ม...	จ่าย	1	ม้วน	5/7/2025 ...	14. นายP
EJECTION PIN.4.85x280	จ่าย	1	ชิ้น	5/7/2025 ...	3. นาย C
หลอดไฟPHILIPS หลอดหลอดรั้ว 20 W	รับ	1	หลอด	5/7/2025 ...	9. นายB
ดอกตัดแปะสัวยM10 (สำหรับตัดแปะเครื่อง) L...	รับ	2	ตัว	5/7/2025 ...	9. นายB

ภาพที่ 8 การเบิกจ่ายวัสดุ

8) แสดงจำนวนวัสดุคงเหลือ

หน้าตาแสดงจำนวนวัสดุคงเหลือ แสดงดังภาพที่ 9



วัสดุและขนาด	คงเหลือ	MIN	MAX	รับ	จ่าย
EJECTION PIN.1x100	0.00	3.00	10.00	0.00	0.00
EJECTION PIN.1.15x200	17.00	10.00	40.00	17.00	0.00
EJECTION PIN.1.25x200	19.00	6.00	40.00	19.00	0.00
EJECTION PIN.1.5x150	20.00	15.00	40.00	22.00	2.00
EJECTION PIN.1.5x200	5.00	12.00	40.00	21.00	16.00
EJECTION PIN.1.55x200	19.00	12.00	40.00	19.00	0.00
EJECTION PIN.1.6x200	13.00	8.00	40.00	17.00	4.00
EJECTION PIN.1.63x280	3.00	2.00	5.00	5.00	2.00
EJECTION PIN.1.65x180	35.00	6.00	40.00	35.00	0.00

ภาพที่ 9 แสดงจำนวนวัสดุคงเหลือ

4. ผลการวิจัย

4.1 การพัฒนาระบบการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ โดยใช้โปรแกรม AppSheet

ผู้วิจัยได้พัฒนาการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะโดยการประยุกต์ใช้โปรแกรม AppSheet ซึ่งสามารถใช้งานผ่านสมาร์ทโฟน (Smartphone) และผ่านคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) เป็นการพัฒนาระบบการเชิงระบบผ่านเทคโนโลยีดิจิทัล โดยสามารถให้ข้อมูลที่ถูกต้องอย่างรวดเร็ว เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการทำงานแบบเดิมเป็นการบันทึกด้วยมือ (Manual)

4.2 ประสิทธิภาพขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ (หลังการปรับปรุง)

ผู้วิจัย หัวหน้างาน พนักงานร่วมกันจับเวลาการทำงานขั้นตอนการเบิก-จ่ายและนำข้อมูลมาหาค่าเฉลี่ย เดือนกันยายน ถึง ตุลาคม 2567 จำนวน 30 ครั้ง ดังนี้

ตารางที่ 3 ขั้นตอนการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ (หลังการปรับปรุง)

FLOW PROCESS CHART									
ชื่อกระบวนการ (Subject Charted) : การเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ		ผลสรุป							
Process: กระบวนการเบิก-จ่าย		สัญลักษณ์		ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง		ลดลง	
Check By: พนักงาน		○ การปฏิบัติการ ➡ การเคลื่อนย้าย □ การรอคอย □ การตรวจสอบ △ การจัดเก็บ		5		4		1	
คำอธิบาย				1		1		-	
				-		-		-	
				2		2		-	
				-		-		-	
		รวม		8		7		1	
สถานะ (Method) : ก่อนและหลังการปรับปรุง		หน้าที่ (Sheet No) : 1 to 1							
คำอธิบายการทำงาน		ระยะ (เมตร)	เวลา (วินาที)	สัญลักษณ์					หมายเหตุ
1.	เบิกวัสดุผ่านโปรแกรม AppSheet	0	60	●	➡	□	□	△	
2.	พนักงานตรวจสอบรายการเบิก	0	60	○	➡	□	■	△	
3.	พนักงานเดินไปยังจุดเก็บวัสดุ	15	30	○	➡	□	□	△	
4.	พนักงานค้นหาวัสดุตามรายการ	0	195	●	➡	□	□	△	
5.	พนักงานหยิบวัสดุ	0	60	●	➡	□	□	△	
6.	ตรวจสอบรายการวัสดุ	0	180	○	➡	□	■	△	
7.	ผู้เบิกรับวัสดุ	0	20	●	➡	□	□	△	
รวม		15	605	4	1	-	2	-	

จากตารางที่ 3 หลังการปรับปรุง โดยใช้โปรแกรม AppSheet มีขั้นตอนการทำงานลดลงเหลือ 7 ขั้นตอน และใช้เวลาการเบิก-จ่ายวัสดุแผนกแม่พิมพ์โลหะ ทั้งหมด 605 วินาที ระยะทาง 15 เมตร ซึ่งมีขั้นตอนการปฏิบัติการ 4 ขั้นตอน ใช้เวลา 335 วินาที การเคลื่อนย้าย 1 ขั้นตอน ใช้เวลา 30 วินาที และการตรวจสอบ 2 ขั้นตอน ใช้เวลา 240 วินาที และสามารถสนับสนุนประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรได้ร้อยละ 85

5. อภิปรายผล

บริษัทตัวอย่างเป็นผู้รับจ้างผลิต (Original Equipment Manufacturer : OEM) ซึ่งแผนกแม่พิมพ์โลหะมีหน้าที่สนับสนุนการผลิตชิ้นส่วนให้ได้ตามเป้าหมายของบริษัท จากวัตถุประสงค์ที่ 1 ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้โปรแกรม AppSheet แบบไม่ต้องเขียนโค้ด (No-code platform) ซึ่งสามารถพัฒนากระบวนการเบิก-จ่ายวัสดุจากระบบบันทึกด้วยมือไปสู่กระบวนการดิจิทัลที่มีการจัดการข้อมูลแบบศูนย์กลางและแบบเรียลไทม์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย AppSheet ไม่ได้เป็นเพียงการเปลี่ยนเครื่องมือในการบันทึกข้อมูล แต่เป็นการยกระดับกระบวนการสนับสนุนการผลิต (Supporting Process) ให้สามารถเชื่อมโยงข้อมูลการเบิก-จ่ายวัสดุและข้อมูลคงคลัง

เข้ากับการดำเนินงานของระบบการผลิตโดยรวม และสอดคล้องกับแนวคิด (AppSheet, n.d.) AppSheet สามารถสร้างผลลัพธ์แบบเรียลไทม์และแม่นยำให้แก่ผู้ใช้งาน ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และช่วยเปลี่ยนการทำงานแบบแมนนวลให้เป็นแบบดิจิทัล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (Hassan et al., 2023) การปรับตัวให้เข้ากับเทคโนโลยีที่ทันสมัยจะช่วยหลีกเลี่ยงข้อผิดพลาดที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานด้วยสมุดบันทึกที่มีการบันทึกจำนวนมากและงานที่ซ้ำซ้อน ซึ่งการใช้งานผ่านแอปพลิเคชันจึงถูกสร้างขึ้นโดยใช้ AppSheet ซึ่งช่วยให้สามารถวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และลดข้อผิดพลาดจากการเขียนข้อมูลผิดพลาดได้ ซึ่งช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน (Dina et al., 2020) ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงแอปพลิเคชันผ่านอุปกรณ์ เช่น สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล สามารถใช้งานได้ทุกที่ทุกเวลาและการตัดสินใจการทำงานที่ดีขึ้น (Widianto et al., 2022) เทคโนโลยีได้สร้างผลกระทบในช่วงศตวรรษนี้และในทศวรรษหน้าจะมีแอปพลิเคชันแพลตฟอร์มต้นทุนต่ำ ดังนั้นการสร้างแอปพลิเคชันระบบอัตโนมัติมีความสำคัญอย่างยิ่งกับภาคอุตสาหกรรม และวัตถุประสงค์ที่ 2 สามารถลดขั้นตอนการทำงานและเวลาการเบิก-จ่ายวัสดุ หลังการปรับปรุง แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการประยุกต์ใช้โปรแกรม AppSheet สามารถลดขั้นตอนที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (Non-Value Added Activities) ได้ ซึ่งการลดเวลาการเบิก-จ่ายวัสดุมากกว่าร้อยละ 50 ไม่ได้สะท้อนเพียงประสิทธิภาพของกระบวนการในระดับหน่วยงานเท่านั้น แต่ยังส่งผลทางอ้อมต่อระบบการผลิตโดยรวม เนื่องจากการจัดหาวัสดุที่รวดเร็วและถูกต้องช่วยลดความเสี่ยงของการหยุดเครื่องจักร และสนับสนุนความสามารถขององค์กรในการรักษาระดับประสิทธิภาพการผลิตให้ได้ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้ สอดคล้องกับงานวิจัย วรเทพ ตรีวิจิตร และคณะ (2568) (Treewichit et al., 2025) การใช้โปรแกรม AppSheet หลังการปรับปรุงเวลาลดลง 2.14 นาที ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 21.08 และสอดคล้องกับงานวิจัย เฉลิมศักดิ์ ถาวรรัตน์ และสุวิทย์ บุญชูจรัส (2563) (Thavornwat & Boonchujarud, 2020) โปรแกรม Microsoft Excel ช่วยสร้างระบบบันทึกการรับเข้า การเบิกจ่าย การรับคืนวัสดุดิบ ประสิทธิภาพการทำงานเพิ่มขึ้น และสอดคล้องกับงานวิจัย สุจิต รัตนปัญญา (2567) (Rattanapunya, 2024) การพัฒนาระบบเบิกจ่ายวัสดุและผลิตภัณฑ์สนับสนุนทางการแพทย์สามารถลดความสูญเสียจากความล่าช้าได้ 5 เท่า จึงควรมีการพัฒนาศักยภาพบุคลากรทางด้านเทคโนโลยีเพื่อรองรับการพัฒนาในอนาคต

6. ข้อเสนอแนะการวิจัย

6.1 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ บริษัทควรให้ความสำคัญกับการพัฒนากระบวนการสนับสนุนการผลิตควบคู่กับกระบวนการผลิตหลักและควรพัฒนาศักยภาพพนักงานด้านเทคโนโลยีดิจิทัล

6.2 ข้อเสนอแนะการวิจัยในอนาคต ควรศึกษาการเชื่อมโยงระบบการเบิก-จ่ายวัสดุกับระบบวางแผนการผลิต (MRP หรือ ERP) และการวิเคราะห์เชิงปริมาณด้านต้นทุนและประสิทธิภาพการผลิตในระดับองค์กร

7. เอกสารอ้างอิง

- AppSheet. (n.d.). *Google AppSheet | Build apps with no code*.
<https://www.appsheet.com/>.
- Dina, M., Widya, R., Bhummyamka, S. & Bambang, D. (2020). Warehouse management system for smart digital order picking systems. *International Journal of New Media Technology*, 6(2), 74–80.
- Fabria, M., Ramalhinho, H., Oliver, M. & Muñoz, J. C. (2020). Internal logistics flow simulation: A case study in automotive industry. *Journal of Simulation*, 16(2), 204-216.
- Hassan, M. K., Rusli, M. H. M. & Salleh, N. A. M. (2023). Development of an order processing system using Google Sheets and Appsheet for a Malaysian automotive SME factory warehouse. *Journal of Mechanical Engineering (JMEchE)*, 20(3), 63–81.
- Kraus, S., Jones, P., Kailer, N., Weinmann, A., Chaparro-Banegas, N. & Roig-Tierno, N. (2021). Digital transformation: An overview of the current state of the art of research. *SAGE Open*, 11(3), 1–21.
- Rattanapanya, S. (2024). The Development of Disbursement Process for Medical Support Equipment: Chaiphum Hospital. *Chaiphum Medical Journal*, 43(Supplement), 46-58. (in Thai)
- Thavornwat, C. & Boonchujarud, S. (2020). Process Improvement of Raw Materials Storage with Industrial Engineering Techniques. *Rajamangala University of Technology Thanyaburi Engineering Journal*, 21(2), 104–111. (in Thai)
- Treewichit, W., Poljaroen, T. & Srisawat, Y. (2025). Enhancing efficiency in powdered pigment raw material warehouse management using the AppSheet program: a case study of a plastic industry company. *Journal of Engineering and Innovation*, 18(2), 33-44. (in Thai)
- Widianto, M. H., Sanjaya, B., Aurellia, V. & Chrysanthia, S. A. (2022). Implementation mobile smart farming monitoring system with low-cost platform using Blynk. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 100(9), 2723–2745.
- Worachotepanyaratana, S. & Niemsakul, J. (2021). Demand Forecasting and Inventory Management: A Case Study of Automotive Parts Manufacturing Company. *Sripatum Chonburi Academic Journal*, 17(3), 155-166. (in Thai)

การเตรียมและการศึกษาคุณสมบัติของน้ำดินหล่อจากดินเลนในบ่อดักตะกอน ในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก

The preparation and property study of clay slip from sedimentation pond muddy clay of Mae Moh mine for ceramic production

สุชีวัน อินทุง^{1*}, พงษ์ชนะ ชุตินา², ชุมพล บุศบก³ และสุทธิเทพ รอมยเวศม์⁴

Sucheewan Inthung^{1*}, Pongchana chutima², Chumphol Busabok³ and Suttitthep Rommayawes⁴

^{1,2}คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 202 ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

โทร 0832060531 E-mail Sucheewan_nab@cmru.ac.th

³สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย 35 หมู่ 3 เทคโนโลยีธานี ถนนเลียบคลองห้า ตำบลคลองห้า อำเภอลองหลวง
จังหวัดปทุมธานี 12120

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

^{1,2*}Faculty of science and Technology Chiang Mai Rajabhat University

202 Chang Puak road., Tambon Chang Puak , Maung, Chiangmai 50300

³Thailand Institute of Scientific and Technological Research

35 Technopolis, Tambon Khlong Ha, Amphoe Khlong Luang, Pathum Thani 12120

⁴Faculty of Engineering, Chiang Mai University, 239 Huay Kaew Road, Suthep, Mueang, Chiang Mai 50200, Thailand.

วันที่รับบทความ 11 พฤศจิกายน 2568

Received: Nov. 11, 2025

วันที่รับแก้ไขบทความ 20 ธันวาคม 2568

Revised: Dec. 20, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 22 ธันวาคม 2568

Accepted: Dec. 22, 2025

บทคัดย่อ

การพัฒนาบน้ำดินหล่อเพื่อทดลองผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยใช้ดินเลนจากบ่อดักตะกอน
ในเหมืองแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ผสมกับดินขาวลำปางในอัตราส่วนดินเลนร้อยละ 30 และดินขาว
ลำปางร้อยละ 70 และใช้สารโซเดียมซิลิเกตเป็นสารช่วยกระจายตัวปริมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก
จากผลการวิเคราะห์ดินเลนด้วย XRD พบว่า ดินเลนประกอบด้วยแร่ควอตซ์ มัสโคไวต์ และกาเลสินต์
และมีส่วนประกอบทางเคมีเป็น SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O , P_2O_5 และ SO_3
หลังจากเตรียมน้ำดินแล้ว จึงทำการทดสอบน้ำสลิตดินพบว่า มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.67
มีอัตราการไหลตัว 15 วินาทีต่อปริมาตร 300 มิลลิเมตร จากนั้นทำการหล่อขึ้นรูปเป็นชิ้นงานแท่งทดสอบ
แล้วเผาที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C เพื่อทดสอบความทนไฟ พบว่า ชิ้นงานสามารถทนไฟ
ได้ถึง 1250 °C มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 23.53 MPa มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.47 และหดตัวหลัง
เผาร้อยละ 10 จากนั้นทำการทดลองขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถ้วยขนาดเล็กที่มีลวดลายที่ผิวภายนอก
โดยหลังการขึ้นรูปแล้วทำการเผาปิ้งที่อุณหภูมิ 750 °C จากนั้นทำการเคลือบใส แล้วนำไปเผาที่
อุณหภูมิ 1250 °C พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อเนียน มีสีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ รูปทรงมาตรฐาน
ไม่มีการบิดเบี้ยว

คำสำคัญ: ดินเลน, น้ำสลิตดิน, ผลิตภัณฑ์เซรามิก

Abstract

The aim of this study was to analyze the development of clay slip for trial ceramic production using mud from the settling pond at the Mae Moh mine in Lampang Province mixed with Lampang white clay in a ratio of 30% muddy clay and 70% Lampang white clay, using sodium silicate as the dispersing agent (0.2% by weight). The result of XRD analysis showed the muddy clay was composed of quartz, muscovite, and kaolinite and had a chemical composition of SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O , P_2O_5 and SO_3 . After preparing the clay slip, slip tests were performed. The clay slip was found to have a specific gravity of 1.67 m/s^3 , with a flow rate of 15 seconds per volume of 300 milliliters. Next it was molded into test pieces and fired at temperatures of 1100, 1200 and 1250 °C to test for fire resistance. It was found that the pieces showed fire resistance up to 1250 °C and had strength of 23.53 MPa. The pieces had a water absorption of 2.47% and shrinkage after burning of 10%. Then experiments were carried out to form a small cup product with patterns on the outside surface. After shaping, the biscuits were fired at 750 °C, followed by a clear glaze and fired again at 1250°C. The resulting product was found to have a smooth texture, light brown color, even surface, standard shape, and no distortions.

Keywords: Muddy Clay, Clay Slip, Ceramic Production

1. บทนำ

จากปัญหาปริมาณดินเลนในบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่ จังหวัดลำปาง ที่เป็นผลจากกระบวนการทำเหมืองแร่ลิกไนต์ที่มีปริมาณสะสมมากถึงประมาณปีละ 1 แสนลูกบาศก์เมตร ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เหมืองแม่เมาะปี 2562 ส่งผลให้เกิดปัญหาในการจัดการดินตะกอนเหล่านี้ ทั้งงบประมาณที่ค่อนข้างสูง และต้องใช้เวลาอันจะทำให้การตัดสินใจออกทั้งบ่อ จากการวิจัยที่ผ่านมาได้มีการนำดินเลนมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกพบว่า ดินเลนสามารถนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกชนิดเอร์ทเทินแวร์หรือเทอราคอตต้าได้ โดยใช้การขึ้นรูปแบบจิกเกอร์ และแป้นหมุนเผาที่อุณหภูมิ 1100 °C (Inthung et al., 2022) แต่เนื่องจากการนำเอาดินเลนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะขึ้นมานั้นต้องใช้ต้นทุนในการใช้เครื่องจักรใหญ่ในการขุดเจาะ ซึ่งจะเหมือนกับการทำเหมืองดิน ดังนั้นการจะนำเอาดินเลนมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกอาจจะต้องผลิตในปริมาณมากในระดับโรงงานอุตสาหกรรมจึงจะมีโอกาสที่จะคุ้มทุน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทดลองนำดินเลนจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะมาผลิตเป็นน้ำดินหล่อ เพื่อให้สามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกได้ปริมาณมากและรวดเร็ว โดยได้นำดินเลนจากบ่อดักตะกอนในบ่อดักตะกอนที่มีความลึกประมาณ 15 เมตร มีพื้นที่ของบ่อเท่ากับ 42,890 ตร.ม. ข้อมูลล่าสุดปี 2563 ของ กฟผ.

กระบวนการในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก โดยใช้วิธีการเตรียมน้ำสลิตดินทำได้โดยการเตรียมวัตถุดิบผงเซรามิก สารตัวเติมต่าง ๆ ในกรณีนี้คือ ดินขาวลำปาง และสารช่วยการกระจายตัว

แล้วเติมน้ำในปริมาณที่เหมาะสม แล้วนำมาปั่นรวมกันให้เป็นน้ำดิน จากนั้นจึงนำน้ำดินเทลงในแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์ (Goswami et al., 2022) (Ajiboye. et al., 2023) รอยน้ำถูกดูดเข้าไปในปูนปลาสเตอร์ด้วยระบบกลไกของ capillary action จนเหลือแต่ชั้นของดินที่อาจจะแยกตามขนาดของอนุภาคได้ เช่น กรณีของการวิจัยการเตรียมน้ำดินจากเถ้าลอย (fly ash) ที่พบว่า อนุภาคขนาดใหญ่จะอยู่ชั้นล่างสุด และอนุภาคขนาดเล็กละเอียดจะอยู่ชั้นบน จากนั้นปล่อยให้ดินแห้งจึงทำการแกะดินที่เกาะอยู่ที่โมลออกมาเป็นรูปร่างของโมลนั้น ๆ (Goswami et al., 2022) ปกติดินที่นำมาทำเป็นน้ำสลিপจะมีส่วนผสมดินขาว และดินเหนียวผสมกันในอัตราส่วนต่าง ๆ เช่น การวิจัยการเตรียมน้ำดินหล่อจากดินเผาด่านเกวียน ใช้ดินเหนียวร้อยละ 40 ดินขาวและดินทรายร้อยละ 60 (Duangkhachon et al., 2021)

เนื่องจากดินเหนียวมีอนุภาคที่เล็กละเอียดตกตะกอนได้ยากซึ่งส่งผลต่อค่าความหนืดและอัตราการไหลตัวของน้ำดิน ดังนั้นจึงมักจะเติมดินขาวหรือดินทรายที่มีเม็ดอนุภาคขนาดใหญ่กว่าลงไปเพื่อปรับคุณสมบัติของน้ำดินหล่อให้เหมาะสม (Ajiboye et al., 2023) อีกทั้งดินขาวยังมีส่วนช่วยให้เนื้อดินมีจุดศูนย์กลางขึ้นส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง และสามารถเผาเคลือบที่อุณหภูมิสูงได้เพื่อความสวยงาม ใช้งานง่าย และที่สำคัญปลอดภัยต่อผู้บริโภค

แม้แต่การเตรียมเนื้อดินปั้นก็มักจะเติมดินขาวหรือดินทรายเข้าไปในดินเหนียวเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกล เชิงความร้อนของเนื้อดิน และเพื่อให้สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ตัวอย่างเช่น การเตรียมเนื้อดินปั้นของชุมชนบ้านมะยิง ได้นำดินเหนียวทุ่งน้ำเค็ม ผสมกับดินทราย และขี้เถ้าแกลบในอัตราส่วน 70 : 20 : 10 เพื่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก (Mahmeen and Kaewdee., 2023)

หรือการเตรียมผลิตภัณฑ์สโตนแวร์จากดินเหนียวหรือดินพื้นบ้านก็มักจะใช้ดินขาวและทรายเป็นตัวเติมเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความทนไฟ ซึ่งจะเห็นได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา เช่น การใช้ดินขาวร้อยละ 10 ดินบ้านทุ่งหลวงร้อยละ 60 และทรายร้อยละ 30 ได้ผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ที่มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 2.7 ค่าความแข็งแรง 25.5 MPa มีการหดตัวร้อยละ 9.5 (Phongsaksri and Krutson., 2025)

หรือการศึกษาการใช้ดินขาวร้อยละ 30 และหินเขี้ยวหนูมานร้อยละ 40 ผสมกับดินบัวระเหวร้อยละ 30 พบว่า สามารถเผาได้ที่อุณหภูมิ 1200 °C เนื้อดินมีความแข็งแรงถึง 42.74 MPa มีการหดตัวร้อยละ 11 และไม่มี การดูดซึมน้ำเลย จากเดิมดินหนองระเหวสามารถเผาได้ที่อุณหภูมิแค่ 900 °C มีการดูดซึมน้ำร้อยละ 12.16 มีค่าความแข็งแรง 28.03 MPa มีค่าการหดตัวที่ร้อยละ 9 โดยได้ศึกษาการขึ้นรูปทั้ง 3 รูปแบบ คือ การกด การใช้แป้นหมุน และการหล่อหน้าดิน (Pinthong, 2022) หรือการใช้ดินด่านเกวียนร้อยละ 40 ดินขาวลำปางร้อยละ 20 ทรายด่านเกวียนร้อยละ 40 ในการหล่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิก สามารถเผาที่อุณหภูมิสูง 1200 °C (Duangkhachon, 2021)

กระบวนการเตรียมน้ำดินหล่อจากดินเลนถ้าทำได้ก็จะเป็นประโยชน์ต่อโรงงานเซรามิก เพราะเป็นการเพิ่มแหล่งวัตถุดิบที่อยู่ในพื้นที่ โดยเฉพาะจังหวัดลำปาง และเชียงใหม่ที่มีจำนวนโรงงานเซรามิกจำนวนมาก และเพื่อช่วยนำดินที่เหลือทิ้งจากกระบวนการทำเหมือนลิกไนต์ปริมาณมากเหล่านี้ได้กลับมาใช้ประโยชน์ ทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) มีทางเลือกที่จะนำดินมาลงทุน แทนที่จะต้องเสียงบประมาณจำนวนมากเพื่อกำจัดดินตะกอนที่เต็มบ่อดักตะกอนเหล่านี้ออกไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 ต้องการพัฒนาเนื้อดินเลนจากเนื้อดินเอร์ทเทินแวร์เป็นเนื้อดินสโตนแวร์ โดยการขึ้นรูปแบบน้ำดินหล่อ

2.2 เพื่อพัฒนาต่อยอดให้ดินเลนที่เหลือทิ้งจากบ่อดักตะกอนในเหมืองแม่เมาะจังหวัดลำปางสามารถผลิตได้ในโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เก็บตัวอย่างและเตรียมตัวอย่างดินเลน

1) ทำการเก็บตัวอย่างดินเลนจากบ่อดักตะกอนด้านตะวันออกเฉียงใต้ซึ่งเป็นบ่อที่ 2 ในเหมืองแม่เมาะ ซึ่งมีพื้นที่บ่อ 42,890 ตร.ม. และลึก 15 เมตร โดยทำการสูบน้ำตัวอย่างรอบ ๆ บ่อทั้งหมด 10 จุด โดยเปิดหน้าดินลงไป 1 เมตร เพื่อเก็บตัวอย่างดินเลน

2) เตรียมดินตัวอย่างโดยนำตัวอย่างดินเลนแช่น้ำไว้ 1 - 2 วัน แล้วนำไปปั่นในถังปั่นให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 100, 200 และ 325 เมช จากนั้นอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อเก็บดินไว้ เพื่อวิเคราะห์และทดสอบต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 วิเคราะห์และทดสอบดินเลน

1) นำตัวอย่างดินเลนมาวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่และเชิงเคมีก่อนเผาด้วยเครื่องรังสีเอกซเรย์แบบเลี้ยวเบน (XRD) ยี่ห้อ Bruker รุ่น D8 advance และเครื่องรังสีเอกซเรย์แบบฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ยี่ห้อ Bruker รุ่น S8 Tiger ตามลำดับ

2) การเตรียมน้ำดินหล่อดินเลนโดยจะใช้ดินเลนอัตราส่วนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ผสมดินขาวร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก และสารช่วยกระจายตัวได้แก่ โซเดียมซิลิเกตร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปแล้วน้ำดินที่ตี ควรมีปริมาณน้ำน้อยที่สุดพอที่จะทำให้การไหลตัวของน้ำดินเหมาะสมต่อการหล่อแบบ โดยทั่วไปจะใช้ปริมาณน้ำประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก (Thiamsorn, 2012) จากนั้นผสมให้เข้ากันในถังปั่น

3) ทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะโดยวิธีไฮโดรมิเตอร์

4) ทดสอบอัตราการไหลตัวโดยใช้ถ้วยฟอร์ดปริมาตร 300 มิลลิตร แล้วจับเวลาการไหลตัวของน้ำดินจนหมดถ้วยได้ 15 วินาที

5) จากนั้นทำการเทน้ำสลิดินลงในโมลต์ทดสอบขนาด ยาว 10 ซม. กว้าง 2 ซม.หนา 1 ซม. แล้วตากแห้ง จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C แล้วจึงทำการทดสอบการหดตัวก่อนเผา คำนวณร้อยละการหดตัวตามสมการที่ 1 (Thiamsorn, 2012)

$$\text{ร้อยละการหดตัว} = \frac{(\text{ความยาวเริ่มต้น} - \text{ความยาวหลังอบหรือหลังเผา})}{(\text{ความยาวเริ่มต้น})} \times 100 \quad (1)$$

6) ทดสอบความทนไฟโดยทำการเผาแท่งทดสอบดินเลนที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C เป็นเวลา 30 นาที ในเตาไฟฟ้าแบบออกซิเดชัน

7) วิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่และเชิงเคมีหลังเผา

8) การทดสอบการหดตัวหลังเผาที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C เนื่องจากดินเลนที่ไม่มีวัตถุบดอื่นผสมสามารถทนความร้อนได้ที่อุณหภูมิ 1100 °C (Inthung et al., 2022) แต่ในการทดลองนี้ได้เติมดินขาวลำปางลงไป เพื่อช่วยในการขึ้นรูปเป็นน้ำดินหล่อ และดินขาวลำปางยังช่วยเรื่องของความความแข็งแรง และความทนไฟ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงทดลองเผาที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นที่ 1200 และ 1250 °C จากนั้นวัดค่าความยาวหลังอบ 110 °C และวัดค่าความยาวหลังเผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ แล้วคำนวณตามสูตรที่ 1

9) ทดสอบการดูดซึมน้ำ หลังการเผา โดยนำแท่งทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C ทั้งหมด 3 แท่ง มาชั่งน้ำหนักแห้ง (กรัม) บันทึกข้อมูล จากนั้นนำแท่งทดสอบไปต้มในน้ำเดือด 5 ชั่วโมง แล้วแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำแท่งทดสอบที่อมน้ำไปชั่งอีกครั้ง นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาร้อยละของการดูดซึมน้ำ (The Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry, 2019)

$$\text{ร้อยละการดูดซึมน้ำ} = \frac{(\text{น้ำหนักที่อมน้ำ} - \text{น้ำหนักแห้ง})}{(\text{น้ำหนักแห้ง})} \times 100 \quad (2)$$

10) ทดสอบมอดูลัสของการแตกหัก (Modulus of rupture, MOR) ด้วยเครื่องวัด MOR รุ่น (Instron 2400) ตามมาตรฐาน (JSA-JISR1632) โดยนำแท่งทดสอบดินเลนที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100, 1200 และ 1250 °C ทั้งหมดจำนวน 3 แท่ง ไปทดสอบหาค่าความแข็งแรงดัดโค้ง ตามสูตรที่ 3

$$\text{MOR} = \frac{3LD}{2bd^2} \quad (3)$$

โดย L = ค่าน้ำหนักแรงกด

D = ระยะห่างของลิ่มที่รองรับแผ่นทดสอบ

b = ความกว้างของแผ่นทดสอบ

d = ความหนาของแผ่นทดสอบ

11) วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและสีของเนื้อดินหลังเผา

ขั้นตอนที่ 3 ทดสอบการขึ้นรูปน้ำดินหล่อ

1) นำน้ำดินหล่อที่เตรียมได้จากข้อ 2 ขั้นตอนที่ 2 มาทำการหล่อน้ำดินลงในโม่หลนพลาสติก รูปถ้วย

2) ทิ้งไว้จนกระทั่งได้ความหนาของแผ่นสลิตดิน 1 ซม. จากนั้นเทน้ำดินที่เหลือออก แล้วทิ้งไว้ 30 นาที จึงแกะดินออกจากโม่

3) นำผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหล่อน้ำดินทิ้งไว้ให้แห้ง 3 วัน จากนั้นนำไปเผาปิสกิตที่อุณหภูมิ 750 °C ในเตาไฟฟ้าแบบออกซิเดชั่น

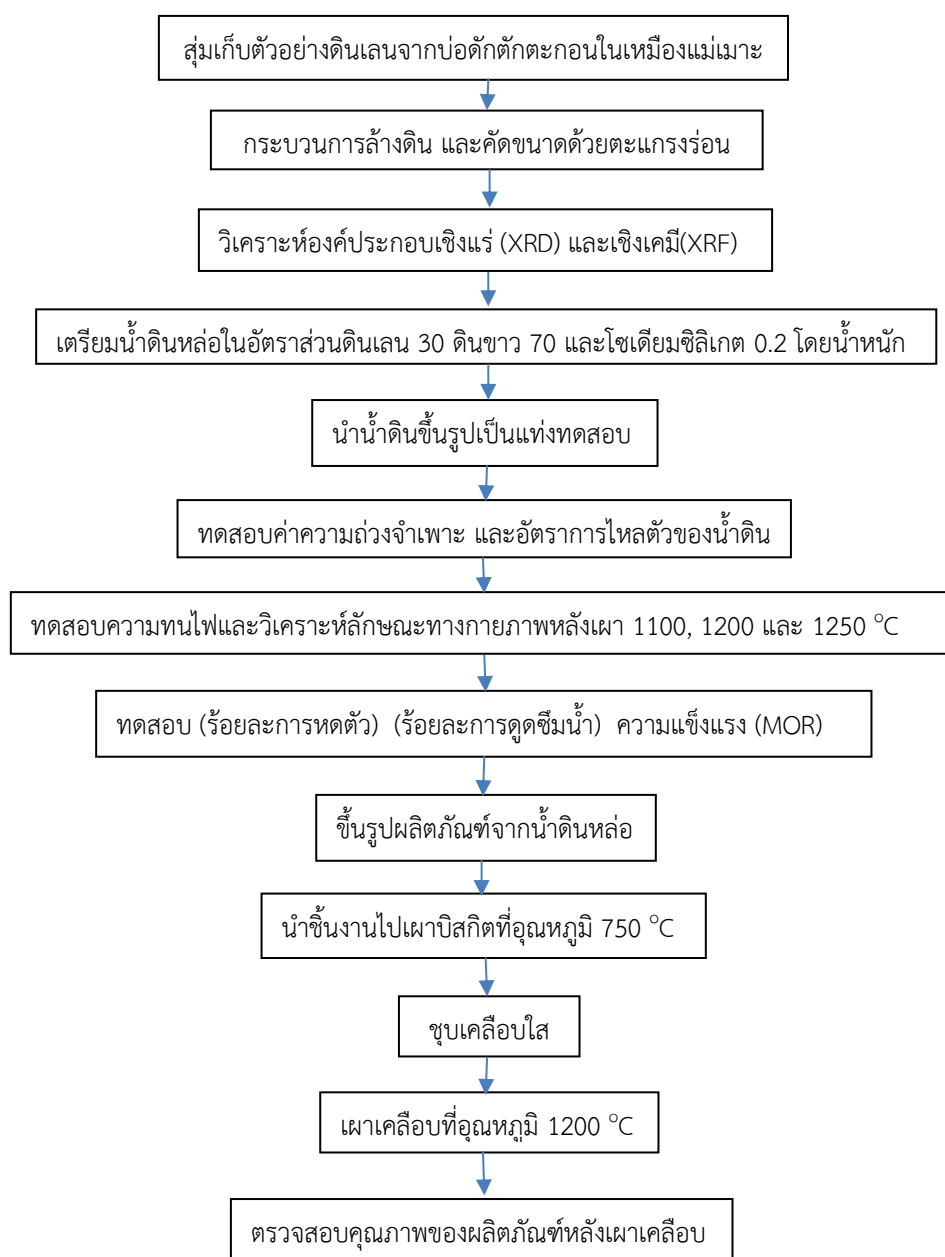
4) วิเคราะห์ชิ้นงานหลังเผาปิสกิต เช่น รูปทรง ตำหนิ รอยร้าว ลักษณะของผิวความเรียบเนียน จากนั้นนำชิ้นงานที่ผ่านการเผาปิสกิตไปชุบเคลือบสีแบบเคลือบสำเร็จ

5) แล้วนำไปเผาเคลือบสีอีกครั้งที่อุณหภูมิ 1200 °C การเลือกเคลือบสีเพื่อต้องการดูลักษณะของเคลือบ ดูการรานตัวของเนื้อเซรามิก การหลอมละลายของเคลือบ และการเลือกที่

อุณหภูมิ 1200 °C เนื่องจากเป็นเคลือบสำเร็จที่ใช้เผาที่อุณหภูมิ 1200 °C และจากการทดสอบเนื้อดินเลนแล้วสามารถทนความร้อนได้ถึง 1250 °C การเลือกเผาเคลือบที่อุณหภูมิสูงอีกทางหนึ่งเพื่อความปลอดภัยกับผู้บริโภค และเพื่อป้องกันการการหลอมละลายของเคลือบและการปนเปื้อนจากการใช้งาน

6) จากนั้นจึงวิเคราะห์คุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หลังเผาเคลือบ ได้แก่ ลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ รอยร้าว และลวดลายที่ผิวของผลิตภัณฑ์หลังเผา

7) สรุปขั้นตอนการทดลองทั้งหมดในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนกระบวนการทดลอง

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของดินเลนพบว่า ดินเลนประกอบด้วย SiO_2 ร้อยละ 54.99 Al_2O_3 ร้อยละ 19.57 CaO ร้อยละ 16.54 Fe_2O_3 ร้อยละ 6.46 K_2O ร้อยละ 2.46 MgO ร้อยละ 1.47 Na_2O ร้อยละ 0.42 P_2O_5 ร้อยละ 0.13 SO_3 ร้อยละ 0.7 และ CO_2 ร้อยละ 9.61 และไม่พบโลหะหนักที่เกินมาตรฐานเช่น แคดเมียม (Cd) และ ตะกั่ว (Pb) (Pollution Control Department, 2021)

4.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของดินเลนพบว่า ดินเลนประกอบด้วยแร่ควอตซ์ มัสโคไวต์ เกลินไนต์ แคลไซต์ และแร่เฮมาไทต์

4.3 ผลการทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำสลิดดินเลนมีค่าเท่ากับ 1.67 และมีค่าการไหลตัว 15 วินาทีต่อ 300 มิลลิตร

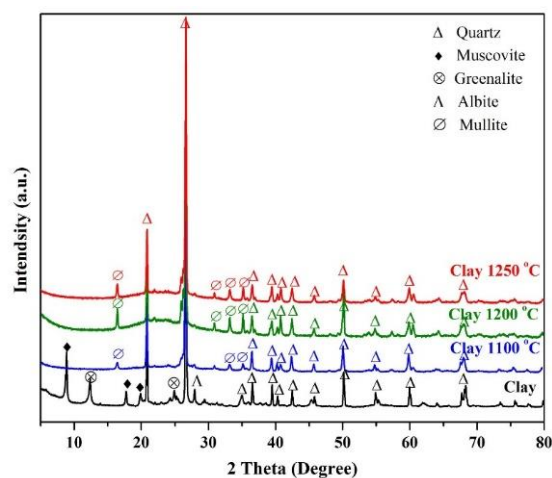
4.4 ผลการทดสอบการหดตัวก่อนและหลังเผาของขึ้นทดสอบ

ตารางที่ 1 ค่าการหดตัวของขึ้นงาน

ตัวอย่าง	ร้อยละการหดตัวหลังเผา	SD
1. ก่อนเผา	5.61	0.56
2. เผา 1100 (°C)	7.37	0.83
3. เผา 1200 (°C)	8.84	1.02
4. เผา 1250 (°C)	10.00	0.35

จากผลการทดสอบการหดตัวหลังเผาพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการหดตัวจะมากขึ้นจากการเผา 1100 1200 และ 1250 °C พบค่าการหดตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 5 - 10 โดยมีค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน หรือค่าการกระจายข้อมูลอยู่ในช่วง 0.35 - 1.02 ซึ่งถือว่า เป็นค่าที่ต่ำ โดยเฉพาะร้อยละของการหดตัวที่อุณหภูมิ 1250 °C มีค่าอยู่ที่ 0.35 แสดงให้เห็นว่า ค่าที่ได้จากการทดลองขึ้นงานทั้งหมด 3 แห่ง มีค่าที่ใกล้เคียงกันมากและจำนวนแห่งในการทดสอบก็เป็นไปตามมาตรฐาน

และจากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ของแท่งทดสอบก่อนและหลังเผาด้วย XRD จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าการหดตัวของเนื้อในช่วงแรกเกิดจากการสูญเสียน้ำในเนื้อดิน และค่าการหดตัวหลังเผาเกิดจากโครงสร้างของเนื้อดินเกิดการเปลี่ยนแปลงเช่น การเกิดเฟสซิลิเกต (Inthung et al., 2022) ดังแสดงในภาพที่ 2 และยิ่งเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็จะทำให้การหดตัวยิ่งสูงขึ้นเนื่องจากน้ำที่อยู่ผิวดินและน้ำในโครงสร้าง และสารอินทรีย์ที่ถูกเผาไหม้จะระเหยออกไปจากโครงสร้างของเนื้อดิน ทำให้อนุภาคของเนื้อดินเข้ามาใกล้ชิดกันมากยิ่งขึ้นจึงทำให้เกิดการหดตัวที่สูงขึ้น ประโยชน์ของการทดสอบค่าการหดตัวเพื่อให้สามารถคาดเดาขนาดของผลิตภัณฑ์หลังเผาได้อย่างแม่นยำ และรูปทรงที่ไม่บิดเบี้ยวหรือเปลี่ยนแปลงหลังเผา โดยปกติค่าของการหดตัวของเนื้อดินที่ขึ้นรูปแบบหล่อ เช่น สุขภัณฑ์จะมีการหดตัวแบบแห้งอยู่ที่ร้อยละ 10 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการหดตัว ได้แก่ ชนิดของดิน ขนาดและความละเอียด และสารอินทรีย์ที่อยู่ในดิน (Inthung et al., 2022)



ภาพที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบเชิงแร่ด้วย XRD ก่อนและหลังเผา

4.5 ผลการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดโค้ง

สำหรับการทดสอบค่าความแข็งแรงดัดโค้งนั้นในกระบวนการผลิตเซรามิกในโรงงาน จะทำการทดสอบ 2 ครั้ง คือ การทดสอบก่อนเผา และทดสอบหลังเผา การทดสอบความแข็งแรงก่อนเผาก็เพื่อให้ทราบถึงความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์เมื่อถูกหีบจับ เพื่อนำไปเข้าเตาเผาหรือต้องผ่านกระบวนการตกแต่งแล้วจะไม่เกิดความเสียหายในเบื้องต้น สำหรับค่าความแข็งแรงหลังเผานั้นเป็นผลมาจากหลายปัจจัย เช่น ความละเอียดของอนุภาคของดินและความเหนียว ซึ่งเมื่อแห้งจะยึดเกาะกันแน่นทำให้เพิ่มความแข็งแรง และอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือ กระบวนการซินเตอร์ริง (sintering) ซึ่งเป็นกระบวนการในการหลอมเม็ดอนุภาคเข้าหากันในกระบวนการเผา ซึ่งเมื่อมาดูโครงสร้างทางจุลภาคหลังเผาของดินเลนพบว่า จากผล XRD พบเฟสมัลไลต์หลังเผาตั้งแต่อุณหภูมิ 1100 °C และยิ่งเผาอุณหภูมิสูงขึ้นเฟสมัลไลต์ยิ่งเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ได้ค่าความแข็งแรงที่อุณหภูมิ 1250 °C มีค่าความแข็งแรงสูงที่สุดอยู่ที่ 23.53 MPa และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ซึ่งถือว่าเป็นค่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ไม่สูง และจำนวนในการทดสอบแบ่งตัวอย่าง 3 แห่ง เป็นไปตามมาตรฐานของการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับคุณสมบัติของเนื้อดินปั้นสโตนแวร์จากงานวิจัยที่ผ่านมา มีค่าความแข็งแรงอยู่ในช่วง 19 - 28 MPa (Phongsaksri and Krutson, 2025)

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบความแข็งแรงดัดโค้ง

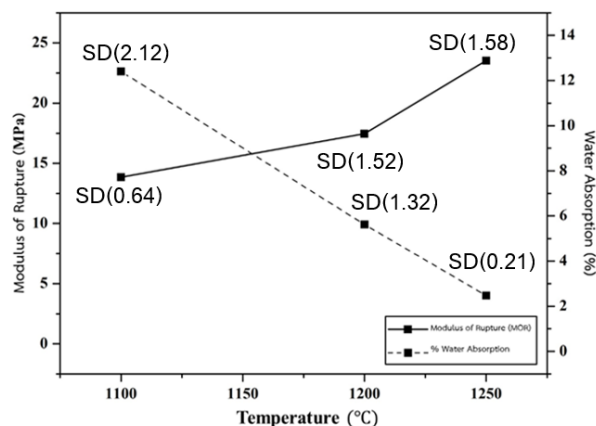
ตัวอย่าง	ค่าความแข็งแรงดัดโค้ง (MPa)	SD
1. ก่อนเผา	1.04	0.22
2. เผา 1100 (°C)	13.85	0.64
3. เผา 1200 (°C)	17.45	1.52
4. เผา 1250 (°C)	23.53	1.58

4.6 ผลการทดสอบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบร้อยละการดูดซึมน้ำ

ตัวอย่าง (°C)	ร้อยละ การดูดซึมน้ำ	SD
1. เเผา 1100	12.40	2.12
2. เเผา 1200	5.62	1.32
3. เเผา 1250	2.47	0.21

การดูดซึมน้ำสำหรับชิ้นงานเซรามิกจะขึ้นอยู่กับปริมาณรูพรุนในเนื้อเซรามิก โดยรูพรุนในเนื้อของเซรามิกเกิดจากหลายกระบวนการ เช่น การสลายตัวของสารอินทรีย์และน้ำในเนื้อดิน หรือ กระบวนการซินเตอร์ริง (sintering) หรือเกิดจากการสลายตัวของวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมในเนื้อดิน ที่เกิดปฏิกิริยาในขณะที่ทำการเผาได้ จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิการเผาสูงขึ้นปริมาณของการดูดซึมน้ำจะเริ่มลดลง เนื่องจากรูพรุนเริ่มลดลง และยังเผาจนถึงจุดสุดท้ายก็ยิ่งทำให้รูพรุนเล็กลงทำให้การดูดซึมน้ำลดลง (Inthung et al., 2022) และปริมาณของการดูดซึมน้ำหรือความชื้นในเนื้อเซรามิกดินเลนเผาที่อุณหภูมิ 1250 °C มีค่าร้อยละ 2.47 และมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.21 ซึ่งถือว่าเป็นค่าการกระจายตัวของข้อมูลที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าแท่งทดสอบที่นำมาทดสอบมีค่าการทดสอบที่ใกล้เคียงกัน และตามมาตรฐานการทดสอบการดูดซึมน้ำของผลิตภัณฑ์โตนแวร์ใช้แท่งทดสอบ 3 แท่ง (มอก.เอส) และค่าที่ได้ต่ำกว่าร้อยละ 3 ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติของเนื้อเซรามิกสโตนแวร์ (Phongsaksri and Krutson, 2025; The Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. 2019) ซึ่งต่ำกว่าค่าการดูดซึมน้ำที่อุณหภูมิอื่น ๆ จึงส่งผลต่อค่าของความแข็งแรงของเนื้อเซรามิกหลังเผาที่สูงกว่าเนื้อดินเลนที่เผาที่อุณหภูมิที่ต่ำกว่า ดังแสดงในภาพที่ 3 จะเห็นว่ายิ่งเผาที่อุณหภูมิสูงมากขึ้น รูพรุนก็เริ่มลดลง แต่ค่าความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่า MOR และร้อยละการดูดซึมน้ำของตัวอย่างชิ้นงานเผา 1100, 1200 และ 1250 °C

4.7 ผลการทดสอบความทนไฟและลักษณะทางกายภาพหลังการเผา

ผลค่าความทนไฟของชิ้นงานเซรามิกจะสามารถบ่งบอกถึงจุดสุกตัวของเนื้อดิน และสภาพการคงตัวของผลิตภัณฑ์ ที่จะไม่มีการบิดเบี้ยวจากการหลอมละลาย หรือการผิดรูปใด ๆ หลังเผา โดยสาเหตุหนึ่งที่จะทำให้ค่าการสุกตัวของเนื้อดินต่ำคือ เนื้อดินมีสารช่วยหลอมในปริมาณสูง ได้แก่ เฟลด์สปาร์ หรือสารออกไซด์จำพวก แคลเซียม โซเดียม โพแทสเซียม และมีปริมาณเหล็กออกไซด์สูง เนื้อดินที่มีแร่ธาตุเจือปนอยู่มากจะทำให้ค่าการสุกตัวของเนื้อดินต่ำกว่าดินบริสุทธิ์ เช่น ดินตะกอนหรือดินขาวบ้านมักจะมีปริมาณของเหล็กออกไซด์ และสารช่วยหลอมสูงจึงทำให้ค่าความทนไฟต่ำ จากผลการทดสอบค่าความทนไฟดังแสดงในตารางที่ 4 พบว่า ดินเลนผสมดินขาว ในอัตราส่วนร้อยละ 30 มีความทนไฟที่อุณหภูมิ 1250 °C จากเดิมดินเลนร้อยละ 100 สามารถทนไฟได้แค่ 1100 °C (Inthung et al., 2022) จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่า แท่งทดสอบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 1100 - 1250 °C มีรูปทรงที่ดี ไม่มีการหลอมละลาย แสดงให้เห็นว่าดินขาวเป็นตัวช่วยให้ดินเลนมีการสุกตัวที่สูงขึ้น

ตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพหลังเผา

ตัวอย่าง	ลักษณะทางกายภาพหลังเผา
1. ก่อนเผา	สีน้ำตาลอ่อน
2. เผา 1100 °C	สีน้ำตาล ผิวเรียบ ไม่บิดเบี้ยว
3. เผา 1200 °C	สีเทา ผิวขรุขระเล็กน้อย รูปทรงไม่บิดเบี้ยว
4. เผา 1250 °C	สีเทาเข้ม ผิวเรียบ รูปทรงไม่บิดเบี้ยวไม่แอ่น

จากตารางที่ 4 ลักษณะทางกายภาพหลังเผาของแท่งทดสอบแสดงให้เห็นถึง ปริมาณสารเจือปนในเนื้อดินที่ทำให้ดินเกิดสี เช่น ตัวอย่างที่นำมาทดสอบมีสารเจือปนจำพวก เหล็กออกไซด์ค่อนข้างสูงถึงร้อยละ 6.46 ซึ่งเมื่อเผาแล้วก็จะทำให้ได้แท่งทดสอบที่มีสีน้ำตาล ยิ่งเมื่อเผาที่อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้นสีจะยิ่งเข้มขึ้นจนเป็นสีน้ำตาลเข้ม หรือสีดำ คล้ำได้ เนื้อดินตัวอย่างเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1200 - 1250 °C จะให้สีออกเทาถึงเทาดำดังแสดงในตารางที่ 4 และมีผิวค่อนข้างเรียบ รูปทรงไม่บิดเบี้ยวตามรายละเอียดในตารางที่ 5 (Inthung et al., 2022)

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบการทนไฟ

ตัวอย่าง	แท่งทดสอบ
1. ก่อนเผา	
2. เผา 1100	
3. เผา 1200	
4. เผา 1250	

4.8 ผลการทดลองการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยน้ำดินหล่อหรือน้ำสลิปดิน

ผลการทดลองการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกด้วยน้ำสลิปดินเลนพบว่า ดินเลนร้อยละ 67 (Inthung et al., 2022) ทำให้เมื่อทำเป็นน้ำดินหล่อแล้ว จะเกิดการอุดตันในโมลปูนพลาสติก ทำให้ปูนพลาสติกไม่สามารถจะดูดซึมน้ำได้ แต่เมื่อนำดินเลน มาผสมกับดินขาวที่มีอนุภาคขนาดใหญ่แล้วนำมาเตรียมเป็นน้ำดินหล่อพบว่า น้ำดินหล่อดินเลน สามารถนำมาหล่อขึ้นรูปผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ ดังแสดงในภาพที่ 4 และเมื่อแกะเอาโมลออกจะได้ ผลิตภัณฑ์เซรามิกตามที่แสดงในภาพที่ 5 ซึ่งจะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์เซรามิกที่ได้มีความแข็งแรง มีผิวเรียบ และสามารถเห็นลวดลายด้านข้างคมชัด รูปทรงไม่มีการบิดเบี้ยว ถอดแบบง่าย แสดงให้เห็นว่า น้ำดินที่เตรียมได้มีคุณสมบัติที่เหมาะสมที่จะนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกดินเลนได้ดี และผลการ ทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เซรามิกโดยน้ำสลิปดินจากดินเลนในภาพที่ 5 หลังจากทีปล่อยให้แห้งแล้วนำผลิตภัณฑ์ไปเผาปิสกิตที่อุณหภูมิ 750 °C เป็นเวลา 30 นาที ก็พบว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้ มีสีน้ำตาลอ่อน แข็งแรงดี ผิวเนื้อค่อนข้างเรียบเนียน เห็นลวดลายคมชัด ไม่มีรอยแตกร้าวใด ๆ ตามภาพที่ 6 จากนั้นนำเอาผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการเผาปิสกิตไปชุบน้ำเคลือบขาวใสแล้วนำไปเผาที่ อุณหภูมิ 1250 °C พบว่า เคลือบที่ได้มีความมันวาว สีขาวใส ไม่มีตำหนิ ในภาพที่ 7



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4 (ก) การเติมน้ำดินหล่อในโมลปูนพลาสติก และ (ข) การเทน้ำดินหล่อออกจากโมลปูนพลาสติก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 (ก) การแกะพิมพ์ปูนพลาสติกออกจากโมล และ (ข) ชิ้นงานที่แกะออกจากพิมพ์ปูนพลาสติก



ภาพที่ 6 ผลิตภัณฑ์หลังเผาปัสกิต ที่อุณหภูมิ 750 °C ที่มีสีน้ำตาลอ่อน ผิวเรียบ มีลวดลายคมชัด และมีความแข็งแรง รูปทรงสมมาตรและไม่มีการบิดเบี้ยว



ภาพที่ 7 การทดลองเผาเคลือบขาวใส่ให้กับผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เซรามิกทั้งขนาดเล็ก

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 จากการทดลองเตรียมน้ำสลัดจากดินเลนที่มีขนาดอนุภาคส่วนใหญ่เล็กกว่า 352 เมช จะเตรียมโดยใช้การผสมดินเลนกับดินขาวลำปางในอัตราส่วนดินเลนร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก ดินขาวลำปางร้อยละ 70 โดยน้ำหนัก ซึ่งโดยทั่วไปในการเตรียมน้ำดินหล่อจากดินที่มีขนาดอนุภาคที่ละเอียด เช่น ดินบอลเคย์ หรือดินตะกอนมักจะเติมแร่จำพวกควอตซ์ ซิลิกา ดินขาว หรือดินเกลินที่มีอนุภาคใหญ่เข้าไป หรือเพิ่มการไหลตัวของน้ำดินวัตถุดิบนั้นเป็นตัวช่วยให้ความเหนียว และความแข็งแรงของน้ำดินหล่อ เฟลด์สปาร์เป็นตัวช่วยหลอมและควบคุมความหนืดในกระบวนการขึ้นเตาเรียง และควอตซ์เป็นตัวช่วยควบคุมการหดตัว และความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของขนาดและรูปร่างของวัสดุ (Bernasconi et al., 2023) และการเติมสารโซเดียมซิลิเกตเพื่อช่วยกระจายตัวส่วนใหญ่ จะใช้ในปริมาณร้อยละ 0.1 - 0.5 โดยน้ำหนัก (Duangkhachon et al., 2021) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสม และผลิตภัณฑ์ที่จะขึ้นรูป เช่น ผลิตภัณฑ์เซรามิก หรือสุขภัณฑ์ สำหรับการทดลองนี้ใช้ร้อยละ 0.2 โซเดียมซิลิเกต ในการเตรียมน้ำดินหล่อ

5.2 นำน้ำสลัดดินเลนมาทดลองขึ้นรูปแท่งทดสอบคุณสมบัติพบว่า แท่งทดสอบดินเลนมีค่าการดูดซึมน้ำต่ำกว่าร้อยละ 3 สามารถทนไฟได้ถึง 1250 °C ซึ่งถือว่าเป็นคุณสมบัติของเนื้อดินสโตนแวร์ (The Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry, 2019) หรือสำหรับการเผาเนื้อดินพอร์ซเลนสโตนแวร์ในโรงงานอุตสาหกรรมจะเผาช่วงอุณหภูมิ 1180 - 1220 °C โดยใช้เวลาในการเผาแช่ที่อุณหภูมิสูงสุด 40 - 70 นาที และเวลาในการเผาแช่จะส่งผลต่อการเกิดของเฟสซิลิกา ซึ่งจะส่งผลต่อความแข็งแรงของเนื้อเซรามิก (Conte et al., 2025) หรือการศึกษาการใช้แคลเซียมคาร์บอเนตที่เหลือทิ้งจากเหมืองหินปูนมาเป็นตัวช่วยหลอมในการผลิตกระเบื้องพอร์ซเลนสโตนแวร์ในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้อุณหภูมิในการเผา 1150 - 1230 °C พบว่า

การเติมแคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 4 - 8 ส่งผลต่อเวลาในกระบวนการขึ้นเตาจริงที่ช้าลง และ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นลดลง (Fantini et al., 2026) มีค่าความแข็งแรงดัดโค้ง 23.53 MPa และสามารถจะนำมาขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีเนื้อผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียบเนียน มีความแข็งแรงดี เมื่อนำมาทดลองเผาปิสกิตแล้วเคลือบชนิดเคลือบใสที่อุณหภูมิ 1200 °C เพื่อดูการร้าว และการหลอมตัวของเคลือบ พบว่า ไม่พบการร้าว และการหลอมของเคลือบ และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยดินเลนที่ผ่านมา โดยใช้วัตถุดิบดินเลนเพียงชนิดเดียวในการขึ้นรูปแบบแป้นหมุนพบว่า ดินเลนสามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์เซรามิกได้ แต่เนื้อดินมีคุณสมบัติเป็นเอิร์ทเทินแวร์คือ สามารถทนไฟได้ที่อุณหภูมิ 1100 °C มีการหดตัวร้อยละ 4.54 มีค่าการดูดซึมน้ำร้อยละ 1.4 และมีค่าความแข็งแรง 13.38 MPa (Inthung et al., 2022) ดังนั้นงานวิจัยนี้ถือเป็นการพัฒนาเนื้อดินเลนจากเนื้อดินเอิร์ทเทินแวร์เป็นเนื้อดินสโตนแวร์ได้ โดยการเติมดินขาวล่าปาง และขึ้นรูปด้วยการหล่อน้ำดิน จึงมีโอกาที่จะพัฒนาต่อระดับโรงงานอุตสาหกรรมเซรามิกในอนาคต

สำหรับข้อเสียของการนำเอาดินเลนที่เหลือทิ้งจากบ่อตกตะกอนไปใช้คือ ความไม่เสถียรของคุณภาพของดิน เนื่องจากดินเลนหรือดินตะกอนที่เกิดจากกระบวนการทำเหมืองลิกไนต์หลังจากเปิดหน้าดินเพื่อนำแร่ลิกไนต์ออกมาจะเหลือดินจำนวนมาก เมื่อฝนตกก็จะเกิดการชะล้างเอาดินเหล่านี้จากทุกส่วนพื้นที่ และทุกความลึกของบ่อเหมืองลงมาสะสมอยู่ในบ่อตกตะกอน และด้วยพื้นที่ของบ่อเหมืองแม่เมาะมีพื้นที่เป็นบริเวณที่กว้าง 25 ตารางกิโลเมตร มีแหล่งดินทั้งหมด 6 แหล่ง ข้อมูลจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเหมืองแม่เมาะ ปี 2568 ดังนั้นการสะสมของชั้นดินตะกอนหรือดินเลนแต่ละชั้นจึงมีความไม่แน่นอนว่า ดินตะกอนเหล่านั้นมาจากการเปิดหน้าเหมืองในบริเวณใด และความลึกเท่าไร หรือมาจากดินแหล่งใด ดังนั้นจึงส่งผลต่อความเสถียรของคุณภาพดินตะกอนเหล่านี้ อย่างแน่นอน ดังนั้นเมื่อจะมีการใช้งานควรจะมีการวิเคราะห์ และทดสอบดินก่อนการใช้งานทุกครั้ง เพื่อให้ได้ดินที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งในอนาคตอาจจะใช้ดินจากแหล่งดินที่เหลือทิ้งในเหมืองแม่เมาะแทนดินเลนจากบ่อตกตะกอน เพื่อให้เกิดความเสถียรของคุณภาพของดินเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เซรามิกจากดินที่เหลือทิ้งจากกระบวนการทำเหมืองลิกไนต์ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

5.3 ในส่วนของการคิดต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกสโตนแวร์ที่ทำจากวัตถุดิบดินเลนเปรียบเทียบกับการผลิตผลิตภัณฑ์สโตนแวร์ด้วยดินชนิดอื่น ๆ พบว่า จากงานวิจัยที่ผ่านมาการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิกสโตนแวร์ส่วนใหญ่จะใช้ดินเหนียวหรือดินพื้นบ้านร้อยละ 30 - 60 ผสมดินขาวร้อยละ 10 - 50 และทรายร้อยละ 20 - 30 โดยน้ำหนัก (Phongsaksri, J., & Krutson, W., 2025; Duangkhaichon et al., 2021; Pinthong, 2022) ในขณะที่การผลิตสโตนแวร์ด้วยดินเลนใช้วัตถุดิบ 2 ชนิด ได้แก่ ดินเลนร้อยละ 30 และดินขาวร้อยละ 70 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการใช้ดินและวัตถุดิบอื่น ๆ ไม่แตกต่างกัน สำหรับปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ค่าแรงงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิต และค่าใช้จ่ายในการผลิต เช่น ค่าเครื่องจักร ค่าการดูแลบำรุงรักษาเครื่องจักรต่าง ๆ (Upradit et al., 2021) ดินเลนต้องใช้เครื่องจักรในการขุดเปิดหน้าดินเช่นเดียวกับการทำเหมืองดินทั่วไป หรือแม้แต่การซื้อดินสำเร็จมาใช้อีกจะถูกคิดรวมส่วนนี้เข้าไปอยู่แล้ว ดังนั้นค่าของการลงทุนจึงไม่แตกต่างกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) เหมืองแม่เมาะที่สนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ที่สนับสนุนการทำงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Ajiboye, T.O., Sawunyama, L., Ravele, M. P., Rasheed-Adeleke, A.A., Seheri N. H., Onwudiwe, D.C., & Mhlanga, S.D. (2023). *Synthesis approaches to ceramic membranes, their composites, and application in the removal of tetracycline from water*. Environmental Advances. 12. 1-17.
- Bernasconi, A., Pellegrino, L., Vergani, F., Campanale, F., Marian, M. N., Galimberti, L., Perotti, M., Viti, C., & Capitani, G., (2023). *Recycle detoxified cement asbestos slates in the production of ceramic sanitary wares*. Ceramics International. 49. (2). 1836-1845.
- Conte. S., Molinari, C., Ardit, M., Giodano, D., Dondi, M., & Zanelli, C., (2025). *Vitrification paths in porcelain stoneware: Dependence on bulk chemical composition and effect on sintering behaviour*. Ceramics International. 51. (36777-36789)
- Duangkhachon, K., Kamonin, O., Tathaisong, D., Yeenang, C., & Luangnam, C. (2021). Value Adding for Dan Kwian Village Pottery Products Innovation to Souvenir from identity of Nakhonratchasima Tourist Attraction (Khorat Geopark). *Journal of Industrial Technology, Lampang Rajabhat University*. 14(1). 1-12. (in thai).
- Fantini, R., Conte. S., Molinari, C., Zanelli, C., Dondi, M., Bernini, M., Gualtieri, F. A., & Arletti, R. (2026). *Volorizing carbonate-rich mine wast in porcelain stoneware production*. Ceramics International. 52. 735-747.
- Goswami, K. P., Pakshirajan, K., & Pugazhenth, G. Process intensification through waste fly ash conversion and application as ceramic membranes: A review. (2022). Science of the Total Environment. 808. 1-8.
- Inthung, S., chutima, P. & wannagon, A. (2022). Study on Properties of Clayed Soil from Sediment Trapping Sump of Mae Moh Mine for Use in Ceramic Works, *Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal*, 15 (1), 50-62. (in thai).
- Mahmeen, S., & Kaewdee, C. (2023). The Design and Development of Terra Cotta for the Pottery Community: A case Study of Ban Ma Ying Community. *Academic Journal of Industrial Technology Innovation*. 1(3). 11-24. (in thai).

- Phongsaksri, J., & Krutson, W. (2025). Development of Stoneware Products Component from Ban Thung Luang Clay, Sukhothai. *Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University Journal*. 7(2). 131-149. (in thai).
- Pinthong, N., (2022). Development of suitable ceramic clay for pottery making from Nong Bua Rawe colored clay minerals. *Journal of Fine and Applied Arts, Khon Kaen University*. 14 (1), 1–20. (in thai).
- Pollution Control Department, Ministry of Natural Resources and Environment. (2021). *Announcement of the National Environment Board on Soil Quality Standards 2021*. [on line]. Available: <https://pcd.go.th/law/>. access on November 13, 2015. (in thai).
- The Thai Industrial Standards Institute, Ministry of Industry. (2019). *Industrial Standard S: Stoneware*. <https://tisi.go.th>. Retrieved December 18, 2025. (in thai).
- Thiamsorn, W. (2012). *Ceramics for Construction and Ceramics for Technical Applications*. Odeon Store Publishing. (in thai).
- Upadit, A., Heprakon, A., Charupathphokin, P., & Wichinak, C. (2021). Cost and Return of Ceramic Pots of Ban Pa Ya Group, Tombon Bohaeo, Amphoe Maueng, Lampang Province. *Journal of Legal Entity Management and Local Innovation*. 7(7). 29-40. (in thai).

การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานกระบวนการผลิต ขนมหม้อแกง กรณีศึกษา อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี Ergonomic Risk Assessment of Workers in the Thai Custard Production Process: A Case Study in Mueang District, Phetchaburi Province

อลงกรณ์ ฉัตรเมืองปัก¹, กังสดาล สกุลพงษ์มาลี², ปองพล รักการงาน³ และชลาลัย วงเวียน^{4*}
Alongkorn Chatmuangpak¹, Kangsadan Sakulpongmalee², Pongphol Rakkanrane³,
and Chalalai Wongwian^{4*}

^{1,4*}สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ต.นาวัง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000 โทร 09 6942 9455 E-mail: chalalai.won@mail.pbru.ac.th
^{2,3}สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ต.นาวัง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000

^{1,4*}Industrial Engineering Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat
University 38 Moo 8 Na Wung Sub District, Mueang District, Phetchaburi, 76000
Tel. +669 6942 9455 E-mail: chalalai.won@mail.pbru.ac.th

^{2,3}Energy Engineering Program, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Phetchaburi Rajabhat University
38 Moo 8 Na Wung Sub District, Mueang District, Phetchaburi, 76000

วันที่รับบทความ 2 เมษายน 2568
Received: Apr. 2, 2025

วันที่รับแก้ไขบทความ 27 กรกฎาคม 2568
Revised: July. 27, 2025

วันที่ตอบรับบทความ 8 สิงหาคม 2568
Accepted: Aug. 8, 2025

บทคัดย่อ

ขนมหม้อแกงเมืองเพชรเป็นผลิตภัณฑ์จากภูมิปัญญาท้องถิ่นที่มีรสชาติเป็นเอกลักษณ์
อันเกิดจากคุณภาพของวัตถุดิบและกระบวนการผลิตขนมหม้อแกง (Thai Custard Production
Process) ที่สืบทอดกันมาโดยแรงงานในชุมชน การพัฒนาสินค้าให้มีความยั่งยืนจึงควรคำนึงถึงความ
ปลอดภัยของแรงงาน โดยเฉพาะความเสี่ยงทางการยศาสตร์จากท่าทางในการทำงาน งานวิจัยนี้
มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของท่าทางการผลิตขนมหม้อแกง โดยเฉพาะ
ท่าทางการเทขนมลงถาดพิมพ์ ซึ่งเป็นงานที่ต้องทำซ้ำเป็นเวลานานและอาจส่งผลต่อสุขภาพระบบ
กล้ามเนื้อและกระดูกของพนักงาน การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) โดยมีขอบเขต
พื้นที่ศึกษาในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี ครอบคลุมโรงงานผลิตขนมหม้อแกงจำนวน 24 แห่ง
ประชากรคือพนักงานกระบวนการผลิตทั้งหมด 62 คน กลุ่มตัวอย่างคัดเลือกโดยใช้การสุ่มแบบง่าย
ร่วมกับการสมัครใจตามเกณฑ์การคัดเลือกและคัดออกที่กำหนด โดยคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง
ตามสูตรของ Krejcie และ Morgan ได้จำนวน 38 คน เครื่องมือวิจัยประกอบด้วยแบบสอบถามข้อมูล
ทั่วไปที่มีค่าดัชนีความสอดคล้อง (IOC) เท่ากับ 0.8 และแบบประเมินท่าทางการทำงาน ได้แก่
แบบประเมินท่าทางร่างกายส่วนบน RULA (Rapid Upper Limb Assessment) และแบบประเมิน
ท่าทางร่างกายทั้งลำตัว REBA (Rapid Entire Body Assessment) จำนวน 10 คน ผลการศึกษา
พบว่า กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง (ร้อยละ 73.68) อายุเฉลี่ย 40.18 ปี (S.D.=11.72) และมี
อายุงานเฉลี่ย 7.16 ปี (S.D.=6.85) การประเมินท่าทางการเทขนมหม้อแกงด้วย RULA พบว่าร้อยละ 70

อยู่ในระดับความเสี่ยงที่ควรเฝ้าระวังและปรับปรุง (คะแนน 3 – 4) ส่วนการประเมินด้วย REBA พบว่า ร้อยละ 50 อยู่ในระดับที่ควรได้รับการปรับปรุง (คะแนน 4 – 7) สะท้อนให้เห็นถึงความจำเป็นในการวิเคราะห์เพิ่มเติมและปรับปรุงท่าทางการทำงานเพื่อความปลอดภัยของแรงงานในกระบวนการผลิตขนมหม้อแกง

คำสำคัญ: การยศาสตร์, การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์, แบบประเมินท่าทางร่างกายส่วนบน RULA, แบบประเมินท่าทางร่างกายทั้งลำตัว REBA, กระบวนการผลิตขนมหม้อแกง

Abstract

Phetchaburi Custard Pudding is a product of local wisdom. It has a unique taste from the quality of raw materials. The production process is passed down from generation to generation. Reducing the risk of work-related injuries of employees is a part of product development. This research aims to assess the ergonomic risk of Phetchaburi Custard Pudding production postures. It is survey research by defining the area in Mueang District, Phetchaburi Province. The sample group consisted of employees in the Phetchaburi Custard Pudding production process using the random sampling and volunteering principles. The research instruments were questionnaires for collecting general data with an index of Item-Objective Congruence (IOC) of 0.8, RULA (Rapid Upper Limb Assessment) and REBA (Rapid Entire Body Assessment). The results of the general data research found that 73.68 percent were female, with an average age of 40.18 years (S.D. = 11.72), and an average working experience of 7.16 years (S.D. = 6.85). The results of the ergonomic risk assessment of the Khanom Mo Kaeng pouring posture of 10 people, with the results of RULA (Rapid Upper Limb Assessment) having a final score of 3 - 4, which is at risk level 2, should be further studied, monitored, and improved, accounting for 70 percent, and REBA (Rapid Entire Body Assessment) having a final score of 4 - 7, level 3: should be further analyzed and should be improved, accounting for 50 percent, which both methods have risks and should be further analyzed and improved as well.

Keywords: Ergonomics, Ergonomic Risk Assessment, Rapid Upper Limb Assessment (RULA), Rapid Entire Body Assessment (REBA), Thai Custard Production Process

1. บทนำ

จังหวัดเพชรบุรีได้รับเลือกจาก UNESCO ประกาศให้เป็นหนึ่งในเครือข่ายเมืองสร้างสรรค์โลก (UNESCO Creative Cities Network) ประจำปี พ.ศ. 2564 ในสาขาเมืองสร้างสรรค์ด้านวิทยาการอาหาร ขนมหม้อแกงเป็นขนมหวานที่ขึ้นชื่อ และมีความเป็นเอกลักษณ์ของเมืองเพชรบุรีที่มีความหอมและหวานมันจากน้ำตาลโตนด กะทิและไข่ (Noisamran & Nanthasukon, 2024) โดยขนมหม้อแกงเมืองเพชร (Phetchaburi Custard Pudding) เป็นสินค้าเด่นหรือเป็นสิ่งปั่งชี้ทางภูมิศาสตร์หรือ GI

(Geographical Indication) ของจังหวัดเพชรบุรี ขนหม้อแกงที่ผลิตขึ้นในพื้นที่จังหวัดเพชรบุรี เป็นการผลิตด้วยกรรมวิธีพิเศษตามภูมิปัญญาของคนเมืองเพชรบุรี โดยใช้น้ำตาลโตนดเมืองเพชรเป็นส่วนผสมสำคัญ ขนหม้อแกงเมืองเพชรจึงมีรสชาติหวานกลมกล่อมและเป็นเอกลักษณ์เฉพาะได้ชื่อว่าเป็นขนมประจำจังหวัดเพชรบุรี ขนหม้อแกงเมืองเพชรเป็นขนมที่ขึ้นชื่อของจังหวัดเพชรบุรี และรู้จักกันแพร่หลาย (Sirisakbanjong et al., 2024) ในปัจจุบันธุรกิจผลิตขนหม้อแกงเป็นธุรกิจครัวเรือนถูกสืบทอดจากรุ่นสู่รุ่น และจากการสำรวจพบว่ากระบวนการผลิตขนหม้อแกงในอำเภอเมืองจังหวัดเพชรบุรี ยังคงเป็นการผลิตด้วยวิธีดั้งเดิมโดยใช้แรงงานคนทั้งหมด โดยพนักงานกระบวนการผลิตต้องนั่งหรือยืนทำงานในท่าทางที่มีความจำกัดตลอดทั้งวัน โดยลักษณะเฉพาะของการผลิตขนหม้อแกงตามภูมิปัญญาท้องถิ่น ได้แก่ 1) การใช้วัตถุดิบท้องถิ่นคุณภาพสูง วัตถุดิบที่หาได้ในพื้นที่เพชรบุรี และมีผลต่อรสชาติที่เป็นเอกลักษณ์ของขนหม้อแกง 2) ใช้แรงงานคนในการกวนขนมด้วยมือ การเทขนมลงถาดพิมพ์ต้องอาศัยความชำนาญ 3) การถ่ายทอดองค์ความรู้จากรุ่นสู่รุ่น คือ ไม่มีการใช้คู่มือหรือสูตรตายตัว แต่ใช้ประสบการณ์และการสังเกต เช่น การดูความข้นของเนื้อขนม หรือการฟังเสียงขณะอบ และ 4) ลักษณะงานที่ทำซ้ำและใช้แรงกาย เช่น การกวนขนมเป็นเวลานาน การยกหม้อหนัก การเทขนมลงถาด ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสี่ยงทางการยศาสตร์ เช่น ปวดหลัง ปวดไหล่ หรืออาการกล้ามเนื้ออักเสบ โดยพฤติกรรมดังกล่าวอาจส่งผลต่อความเมื่อยล้าจนก่อให้เกิดปัญหาด้านกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูก (Department of Disease Control, 2017) จากการรายงานของสำนักงานประกันสังคมเกี่ยวกับสถานการณ์ การประสบอันตรายหรือเจ็บป่วยเนื่องจากการทำงาน ปี 2563 - 2567 พบว่าการเจ็บป่วยจากโรคระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูกที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานสูงสุด (Social Security Office, 2023) ซึ่งปัญหาทางสุขภาพนี้พบในกลุ่มพนักงานทำขนมหม้อแกงในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรีเช่นกัน ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหาด้านความเสี่ยงทางการยศาสตร์และผลกระทบต่อสุขภาพจากการทำงานในการทำขนมหม้อแกง ขณะเดียวกันในพื้นที่ยังไม่มีรายงานการศึกษาในเรื่องนี้ ทำให้ไม่มีข้อมูลที่จะนำมาวางแผนเพื่อป้องกันปัญหาได้ การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญในวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงจากท่าทางการทำงานในพนักงานกระบวนการผลิตขนหม้อแกงเมืองเพชร รวบรวมข้อมูลดำเนินการโดยการสอบถามเพื่อเก็บข้อมูลทั่วไป ใช้แบบประเมินทางด้านการยศาสตร์เบื้องต้น ได้แก่ แบบประเมินความเสี่ยง RULA (Rapid Upper Limb Assessment) และแบบประเมินความเสี่ยง REBA (Rapid Entire Body Assessment) โดยเน้นที่การระบุความเสี่ยงทางด้านการยศาสตร์ เพื่อเสนอแนะในการปรับปรุงสภาพการทำงาน ซึ่งอาจรวมถึงการปรับเปลี่ยนท่าทางการทำงาน การใช้เครื่องมือที่เหมาะสม หรือการปรับปรุงกระบวนการทำงาน เพื่อป้องกันปัญหาสุขภาพในระยะยาวและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของพนักงาน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์พนักงานกระบวนการผลิตขนหม้อแกงในท่าทางการเทขนมหม้อแกง กรณีศึกษา พื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี

2.2 เพื่อเสนอแนะแนวทางการแก้ไขท่าทางการทำงานให้สอดคล้องทางหลักการยศาสตร์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงสำรวจ (Survey Research) มีขอบเขตเชิงพื้นที่ในการศึกษาอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี โดยมีโรงงานหรือธุรกิจทำขนมหม้อแกงที่ศึกษาจำนวน 24 แห่ง การกำหนดประชากรของการวิจัย จึงอิงจากจำนวนพนักงานในโรงงานผลิตขนมหม้อแกงที่มีอยู่จริงในพื้นที่ศึกษา จะได้ประชากรคือพนักงานกระบวนการผลิตขนมหม้อแกงทั้งหมด 62 คน คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามเกณฑ์การคัดเลือกและคัดออกดังนี้

ตารางที่ 1 เกณฑ์การคัดเลือกและคัดออก

เกณฑ์การคัดเลือกผู้ร่วมวิจัย/อาสาสมัครวิจัย (Inclusion criteria)	เกณฑ์การคัดออกผู้ร่วมวิจัย/อาสาสมัครวิจัย (Exclusion criteria)
มีอายุ 18 ขึ้นไป	มีโรคประจำตัวที่เป็นสาเหตุให้เกิดอาการความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก ได้แก่ โรคหมอนรองกระดูกทับเส้นประสาท หรือข้อเสื่อม โรคพาร์กินสัน หรือโรคปลายประสาทอักเสบ เป็นต้น
เป็นพนักงานที่มีหน้าที่เกี่ยวกับการทำขนมหม้อแกง	มีประวัติได้รับอุบัติเหตุหรือการบาดเจ็บที่ส่งผลต่ออาการความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกโดยฉกหรือฉาดัด หรือ ได้แก่ กระดูกหักที่ยังไม่หายดี หรือเคยฉกฉาดัดข้อเข่า/ข้อไหล่
มีการทำงานในโรงงานต่อเนื่องไม่ต่ำกว่า 6 เดือน ยินยอมและเต็มใจให้ความร่วมมือ	มีร่างกายที่ไม่สมบูรณ์หรือเป็นผู้ทุพพลภาพ

หมายเหตุ แนวทางของกรมควบคุมโรค (2560) ที่ใช้ระยะเวลาการทำงานต่อเนื่อง 6 เดือนขึ้นไปเป็นเกณฑ์ในการประเมินความเสี่ยงทางกายศาสตร์ (Department of Disease Control, 2017)

ซึ่งงานวิจัยนี้คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (Sample Size) ใช้สูตรการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง Krejcie และ Morgan (Krejcie & Morgan, 1970) ในกรณีที่ประชากรมีขนาดเล็กและทราบจำนวนประชากร ดังนี้

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

$$n = \frac{3.841(62)0.5(1-0.5)}{0.1^2(62-1) + 3.841(0.5)(1-0.5)} = 37.91 \approx 38$$

โดยที่ N = ขนาดของประชากร

n = ขนาดของข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

e = ระดับความคาดเคลื่อนของการสุ่มตัวอย่างที่ยอมรับได้ เท่ากับ 0.1

x^2 = ค่าไคสแควร์ที่ df เท่ากับ 1 และระดับความเชื่อมั่น 95%

จะได้ $x^2 = 3.841$

p = ค่าสัดส่วนของระดับความเสี่ยงระดับกลาง โดยกำหนดให้ เท่ากับ 0.5

ดังนั้น ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษา (Sample Size) ในงานวิจัยนี้ไม่น้อยกว่า 38 คน กลุ่มตัวอย่างคัดเลือกโดยใช้การสุ่มแบบง่ายจากรายชื่อพนักงานในโรงงานผลิตขนมหม้อแกง ที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์การคัดเลือก และความสมัครใจเข้าร่วมการวิจัย ผู้วิจัยสัมภาษณ์ผู้ตอบโดยตรง (Face-To-Face Interview) จะได้ตัวอย่างของการวิจัยในครั้งนี้ เป็น 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่มที่ให้ข้อมูลทั่วไปผ่านแบบสอบถาม (38 คน)
- กลุ่มที่ได้รับการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยแบบประเมิน RULA และ REBA (10 คน) ซึ่งเป็นผู้ที่ปฏิบัติงานในท่าทางการเทนมลงถาดพิมพ์โดยตรง การเลือกกลุ่มย่อย 10 คน สำหรับการประเมินเชิงลึกนั้น เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยที่มุ่งเน้นการวิเคราะห์ท่าทางที่มีความเสี่ยงสูงและพบได้บ่อยในหลายโรงงาน ซึ่งการเทนมลงถาดพิมพ์เป็นกิจกรรมที่มีลักษณะการทำงานซ้ำ ๆ และมีผลกระทบต่อระบบกล้ามเนื้อและกระดูกอย่างชัดเจน

3.2 เครื่องมือในการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตที่จะศึกษาการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของท่าทางการทำงานที่มีความเสี่ยงที่สุด ด้วยการใช้แบบสอบถามเพื่อการวิจัย สมมติฐานของการวิจัยคือ ท่าทางการทำงานของพนักงานในกระบวนการผลิตขนมหม้อแกง โดยเฉพาะท่าทางการเทนมลงถาดพิมพ์ มีระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์อยู่ในระดับสูง และจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์ โดยแบบสอบถามมีทั้งหมด 2 ตอน ประกอบด้วย

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

การตรวจสอบความตรงตามเนื้อหาของเครื่องมือวิจัย (Content Validity) หมายถึง การพิจารณาว่าเนื้อหาในคำถาม/ข้อสอบวัดได้ตรงกับสิ่งที่ต้องการวัดหรือวัดได้ตรงกับจุดมุ่งหมายที่ต้องการวัดหรือไม่ โดยพิจารณาความสอดคล้องระหว่างเนื้อหาในคำถามกับนิยามเชิงปฏิบัติการ/แนวคิด หรือแนวคิดทฤษฎีของตัวแปร

การคำนวณความตรงของเนื้อหา โดยคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Indexes of Item-Objective Congruence: IOC) ใช้สูตรการคำนวณ (Rovinelli and Hambleton, 1977)

$$\text{สูตรคำนวณ IOC} = \frac{\text{คะแนนรวม}}{\text{จำนวนผู้เชี่ยวชาญ}} = \frac{\sum R}{N} \quad (2)$$

เกณฑ์คุณภาพ คือ 0.50 ขึ้นไป

ซึ่งผลความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิของแบบสอบถามเพื่อการวิจัยนี้ การคำนวณความตรงของเนื้อหา โดยคำนวณค่าดัชนีความสอดคล้อง (Indexes of Item-Objective Congruence: IOC) = 0.80 แปลผลได้ว่าสอดคล้องกับวัตถุประสงค์การวิจัย และ โดยใช้สูตรสัมประสิทธิ์แอลฟา (Cronbach's Alpha) ได้ค่าความเชื่อมั่นของแบบสอบถามทั้งฉบับ เท่ากับ 0.92 แสดงว่าแบบสอบถามมีความเชื่อมั่นในระดับดีมาก

ตอนที่ 2 การแบบประเมินท่าทางร่างกายส่วนบนโดยวิธี RULA (และแบบประเมินท่าทางร่างกายทั้งลำตัวโดยวิธี REBA เป็นการวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงของท่าทางการทำงานที่อาจไม่ถูกต้องตามหลักการของการยศาสตร์ (Trakul el at., 2021) มักนำไปสู่ความผิดปกติของระบบ

กล้ามเนื้อและกระดูก (Musculoskeletal Disorders หรือ MSDs) ซึ่งการกวนขม ยกดของหนัก หรือเทของลงถาดเป็นเวลานาน ต้องใช้แรงกายหรือเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ มักเกิดอาการบาดเจ็บจากการใช้ งานซ้ำ ๆ (Repetitive Strain Injuries หรือ RSIs) โดยรูปแบบการบาดเจ็บแบบนี้เกิดจากการทำงาน ซ้ำ ๆ หรือการใช้ท่าทางที่ไม่เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์ (Ergonomics) การประเมินความเสี่ยง จะทำให้ทราบถึงระดับความเสี่ยงของท่าทางการทำงานที่อาจจะไม่เหมาะสม หรือใช้แรงมากเกินไป ทำงานที่ต้องทำซ้ำ ๆ และการนั่งหรือยืนทำงานเป็นเวลานาน ใช้สำหรับการออกแบบสถานที่ทำงาน โดยเน้นผู้ใช้เป็นหลัก (User-Centered Design) เป็นการปรับงานให้เหมาะสมกับผู้ปฏิบัติงาน (Chinsompol et al., 2024)

โดยการการแบบประเมินท่าทางร่างกายส่วนบนโดยวิธี RULA เป็นการประเมินความ เสี่ยงต่อปัญหาการบาดเจ็บของร่างกายที่อาจเกิดจากการทำงาน (Hignett & McAtamney, 2000) โดยแยกพิจารณาตำแหน่งและการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เป็นกลุ่ม 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม A ประกอบด้วย แขนท่อนบน แขนท่อนล่าง ข้อมือ และการบิดข้อมือ และกลุ่ม B ประกอบด้วย คอ ลำตัว และขา ท่าทางการเคลื่อนไหวในแต่ละกลุ่มจะถูกประเมินและให้คะแนนสำหรับแต่ละช่วง ของการเคลื่อนที่ แล้วปรับค่าคะแนนท่าทางด้วยภาระของการใช้กล้ามเนื้อและโหลดที่ต้องรองรับ ในการเคลื่อนที่เป็นคะแนนรวม และแปลผลระดับความเสี่ยงเป็น 4 ความเสี่ยงตามคะแนนรวม คือระดับ 1: คะแนน 1 - 2 หมายถึง ยอมรับได้ ระดับ 2: คะแนน 3 - 4 หมายถึง งานนั้นควรมี การศึกษาเพิ่มเติม ควรมีการเฝ้าระวังและปรับปรุง ระดับ 3: คะแนน 5 - 6 หมายถึง งานนั้นเริ่มมี ปัญหาควรศึกษาเพิ่มเติมและควรปรับปรุง และระดับ 4: มีคะแนน 7 หมายถึง งานนั้นปัญหา ทางการยศาสตร์และควรปรับปรุงทันที และแบบประเมินท่าทางร่างกายทั้งลำตัวโดยวิธี REBA (Rapid Entire Body Assessment) (McAtamney & Corlett, 2004) มีการประเมินเป็น 2 กลุ่ม หลักคือ กลุ่ม A ประกอบด้วย การประเมินคอ ลำตัว และขา และกลุ่ม B ประกอบด้วย การประเมิน ส่วนแขนและข้อมือ โดยทำการประเมินทั้งหมด 6 ขั้นตอน ขั้นตอนการประเมินด้วยวิธี REBA ในส่วน ขั้นตอนที่ 6 ขั้นตอนตอนสุดท้ายนั้นจะเป็นการนำค่าคะแนนความรุนแรงรวมทั้งหมดจากขั้นตอนที่ 1 ถึงขั้นตอนที่ 5 มาประเมินความเสี่ยง โดยเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างและแปลผลความเสี่ยงเป็น 5 ความเสี่ยงตามคะแนนรวม คือ ระดับ 1: คะแนน 1 หมายถึง ความเสี่ยงน้อยมาก ระดับ 2: คะแนน 2 - 3 หมายถึง ความเสี่ยงน้อย ยังไม่ต้องการปรับปรุง ระดับ 3: คะแนน 4 - 7 หมายถึง ความเสี่ยง ปานกลาง ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและควรได้รับการปรับปรุง ระดับ 4: คะแนน 8 - 10 หมายถึง ความเสี่ยงสูงควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและควรปรับปรุง ระดับ 5: คะแนน >11 หมายถึง ความเสี่ยงสูง มาก ควรปรับปรุงทันที

3.3 การประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูล

ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) เพื่ออธิบาย ลักษณะทั่วไปของกลุ่มตัวอย่าง อธิบายท่าทางการทำงานโดยใช้วิธีการประเมินการยศาสตร์ท่าทาง ในการทำงาน โดยใช้ค่าสถิติร้อยละ (Percentage) ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ มีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

- 1) สำรวจพื้นที่ วางแผนการวิจัย และศึกษาปัญหา พบว่าท่าทางที่ควรประเมินตามหลักการยศาสตร์ คือ ท่าทางของการเทนมหม้อแกงลงถาดพิมพ์ (จากการสัมภาษณ์ผู้ปฏิบัติงาน และจากการสังเกตของผู้ประเมิน)
- 2) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง โดยรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่สามารถบ่งชี้ปัญหาหรืออาการความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูกจากการทำงาน
- 3) ออกแบบแบบสอบถามเพื่อการวิจัย และส่งแบบสอบถามเพื่อการวิจัยให้ผู้ทรงคุณวุฒิ ประเมินดัชนีความสอดคล้องของเครื่องมือวิจัย (IOC) และให้คำแนะนำ และนำแบบสอบถามไปทดลองใช้เพื่อหาค่าความเชื่อมั่นของข้อมูล โดยนำแบบสอบถามที่ปรับปรุงไปทดลองใช้ (Try Out) กับกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน เพื่อหาค่าความเชื่อมั่น (Reliability)
- 4) ส่งโครงร่างการวิจัยขอรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ ต่อคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
- 5) ลงพื้นที่สำรวจและบันทึกสภาพงานจริง จะต้องเดินสำรวจข้อมูลในสภาพจริง ทำการบันทึกโดยใช้เทคนิคต่าง ๆ เช่น วิดีโอ หรือแบบประเมิน และเครื่องมือวัดต่าง ๆ
- 6) ดำเนินการประเมินความเสี่ยงโดยใช้แบบสอบถาม เพื่อการวิจัยวิเคราะห์ข้อมูล และวางแผนการประเมิน ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อหาสาเหตุ โดยพิจารณาจากภาระงาน และปัจจัยเสี่ยงและระดับความรุนแรง
- 7) สรุปและแปลผลการประเมินความเสี่ยง เสนอวิธีการแก้ไข ประยุกต์ใช้และติดตามผล

3.5 จริยธรรมการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้รับความเห็นชอบให้ดำเนินการวิจัยจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เลขที่โครงการที่ ECPB_R 21/2567 วันที่ 30 ตุลาคม 2567 เลขที่ใบรับรอง 27/2567

4. ผลการวิจัย

4.1 ข้อมูลส่วนบุคคลและภาวะด้านสุขภาพ

กลุ่มตัวอย่างเป็นพนักงานกระบวนการผลิตนมหม้อแกงในอำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรี จำนวน 38 คน เป็นเพศหญิง ร้อยละ 73.68 และเป็นเพศชาย ร้อยละ 26.32 มีอายุเฉลี่ย เท่ากับ 40.18 ปี (S.D. = 11.72) อายุงานเฉลี่ย เท่ากับ 7.16 ปี (S.D. = 6.85) ส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาอยู่ในระดับระดับมัธยมศึกษา ร้อยละ 50.00 ระดับประถม ร้อยละ 28.95 และระดับปริญญาตรี ร้อยละ 21.05 ตามลำดับ พนักงานมีจำนวนการลาหยุดงานโดยเฉลี่ย 1.29 วัน (S.D. = 0.60) พนักงานทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 8.66 ชั่วโมงต่อวัน (S.D. = 1.08) ส่วนใหญ่มีโรคประจำตัวร้อยละ 71.05 และไม่มีโรคประจำตัวคิดเป็นร้อยละ 28.95 ตามลำดับ จากการศึกษาสามารถสรุปหน้าที่ในการทำงานได้แก่ 1) งานทำสุกหรืองานหน้าเตา ร้อยละ 39.47 2) ข่ายหรือขนส่ง ร้อยละ 18.42 3) งานเตรียมวัตถุดิบและแต่งหน้า ปิดฝาและบรรจุ ร้อยละ 15.79 และ 4) งานสนับสนุนหรืออื่น ๆ ร้อยละ 10.53 ตามลำดับ

โรคความผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและโครงสร้างกระดูก พบว่า ไม่มี คิดเป็นร้อยละ 92.11 และมีโรค คิดเป็นร้อยละ 7.89 โดยความผิดปกติไม่มีผลกระทบต่องาน ด้านการมองเห็น พบว่า ไม่มีปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการมองเห็นร้อยละ 52.63 มีปัญหาคิดเป็นร้อยละ 47.37 ได้แก่ สายตาสั้น และตาเป็นต้อ และด้านการเจ็บปวด พบว่า ไม่มีอาการเจ็บปวด คิดเป็นร้อยละ 26.32 และมีอาการเจ็บปวด คิดเป็นร้อยละ 73.68 โดยตำแหน่งของอาการบาดเจ็บที่เกิดเนื่องจากการทำงาน ได้แก่ อาการปวดหลัง ปวดต้นคอ และปวดข้อมือ เป็นต้น

4.2 การประเมินความเสี่ยงของท่าทางการทำงาน ด้วยแบบประเมิน RULA และ REBA

งานวิจัยนี้ พิจารณางานที่อาจก่อให้เกิดความเสี่ยง โดยเลือกท่าทางการเทขนมหม้อแกง ดังภาพที่ 1 แสดงให้เห็นพนักงานในโรงงานหรือครัวอุตสาหกรรมกำลัง เทส่วนผสมลงในถาดพิมพ์ขนม มีท่าทางที่อาจเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บหรือความไม่สะดวกในการทำงาน มีการโน้มตัวไปข้างหน้า มีการใช้แขนและข้อมือซ้ำ ๆ ยืนในท่าเดิมนาน ๆ และมีการยกหรือถือภาชนะขนาดใหญ่ ซึ่งงานวิจัยนี้จะช่วยให้สามารถระบุท่าทางที่อาจเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บหรือความไม่สะดวกในการทำงาน และสามารถนำผลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงท่าทางการทำงานเพื่อความปลอดภัย และสุขภาพของพนักงานได้ดียิ่งขึ้น



ภาพที่ 1 ท่าทางการเทของพนักงาน

ตารางที่ 1 ระดับความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ จากการประเมินการยศาสตร์ด้วยวิธี RULA (n=10)

ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานเทขนมหม้อแกง	จำนวน	ร้อยละ
ระดับ 1: ยอมรับได้	0	0
ระดับ 2: ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เฝ้าระวังและปรับปรุง	7	70
ระดับ 3: เริ่มมีปัญหาควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและควรปรับปรุง	3	30
ระดับ 4: มีปัญหาทางการยศาสตร์และควรปรับปรุงทันที	0	0

จากตารางที่ 1 ผลการใช้แบบประเมินการยศาสตร์ท่าทางในการทำงานด้วยวิธี RULA ประเมินในกลุ่มพนักงานกระบวนการผลิตขนมหม้อแกง ส่วนใหญ่มีคะแนนเท่ากับ 3 - 4 อยู่ในระดับความเสี่ยงที่ระดับ 2 ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม เฝ้าระวังและปรับปรุง คิดเป็นร้อยละ 70 และมีคะแนนเท่ากับ 6 อยู่ในระดับความเสี่ยงที่ระดับ 3 หมายถึง เริ่มมีปัญหาควรมีการศึกษาเพิ่มเติมและควรปรับปรุง คิดเป็นร้อยละ 30

ตารางที่ 2 ระดับความเสี่ยงด้านการยศาสตร์ จากการประเมินการยศาสตร์ด้วยวิธี REBA (n=10)

ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานเทคนหม้อแกง	จำนวน	ร้อยละ
ระดับ 1: ยอมรับได้ ความเสี่ยงน้อยมาก	0	0
ระดับ 2: ยังไม่ต้องการปรับปรุง	1	10
ระดับ 3: ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและควรได้รับการปรับปรุง	5	50
ระดับ 4: ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและควรปรับปรุง	4	40
ระดับ 5: ควรปรับปรุงทันที	0	0

จากตารางที่ 2 ผลการใช้แบบประเมินการยศาสตร์ท่าทางในการทำงานด้วยวิธี REBA ประเมินในกลุ่มพนักงานกระบวนการผลิตขนมหม้อแกง ส่วนใหญ่มีคะแนน เท่ากับ 4 - 7 ระดับ 3: ความเสี่ยงปานกลาง ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและควรได้รับการปรับปรุง คิดเป็นร้อยละ 50 และมีคะแนน เท่ากับ 8 - 10 อยู่ในระดับความเสี่ยงที่ระดับ 4 ความเสี่ยงสูง ควรวิเคราะห์เพิ่มเติมและควรปรับปรุง คิดเป็นร้อยละ 40 และคะแนน เท่ากับ 2 - 3 อยู่ในระดับความเสี่ยงที่ระดับ 2: ความเสี่ยงน้อย ยังไม่ต้องการปรับปรุง คิดเป็นร้อยละ 10

4.3 การออกแบบงาน ปรับปรุงท่าทางการทำงาน และจัดสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสม

จากผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานในท่าทางการเทคนหม้อแกง พบว่าเป็นงานที่มีความเสี่ยงสูง โดยเฉพาะบริเวณ คอ แขนส่วนบน แขนส่วนล่าง และขา ซึ่งเป็นจุดที่มีคะแนนความเสี่ยงสูงจากการประเมินด้วยแบบ RULA และ REBA สอดคล้องกับข้อมูลจากแบบสอบถามที่พบว่า พนักงานมีอาการบาดเจ็บและความรู้สึกปวดเมื่อยกล้ามเนื้อจากการทำงาน (Chinsompol et al., 2024) เพื่อแก้ไขและลดความเสี่ยงดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการปรับปรุงที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในสถานประกอบการ ดังภาพที่ 2 รายละเอียดดังนี้

1) การปรับปรุงท่าทางการทำงาน ปรับมุมการยืนให้เหมาะสมกับสรีระของผู้ปฏิบัติงาน ปรับท่าทางการยกให้ถูกต้องตามหลักการยศาสตร์

2) อบรมให้พนักงานเข้าใจหลักการยศาสตร์ สาธิตวิธีการทำงานที่ปลอดภัยตามขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI) และติดตั้งป้ายแนะนำในพื้นที่ปฏิบัติงานเพื่อให้พนักงานสามารถปฏิบัติตามได้อย่างต่อเนื่อง

การประเมินความเหมาะสมของขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI) ที่สร้างขึ้น จากหัวหน้างานและจากผู้ปฏิบัติงานในด้านความชัดเจนของขั้นตอน ท่าทางที่เหมาะสม การใช้อุปกรณ์ช่วย สภาพแวดล้อมการทำงาน การส่งเสริมสุขภาพ และการปรับปรุงต่อเนื่อง ได้คะแนนความพึงพอใจเฉลี่ย 4.58 (S.D.=0.62)

WORK INSTRUCTION		DOC NO.	PAGE
เรื่อง : การเทส่วนผสมขนมหม้อแกง		ID NO.	
		RUN NO.	
จุดประสงค์ (PURPOSE) เพื่อให้การเทขนมลงภาชนะเป็นไปอย่างถูกต้องและปลอดภัย โดยรักษาท่าทางของร่างกายเพื่อลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บ			
ขั้นตอน STEP	ขั้นตอนการปฏิบัติงาน PROCESS	รูปภาพประกอบ DRAWING / SKETCH	อุปกรณ์ EQUIPMENT
1	ตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ปฏิบัติงานให้ครบถ้วน	 	1. หมวกกันน็อก 5.ถุงมือ 2. ผ้ากันเปื้อน 3. ถังใส่ส่วนผสมน้ำขนม 4. ภาชนะใส่ส่วนผสมขนมแบบมีด้านจับ
2	สวมหมวกกันน็อก ใส่ผ้ากันเปื้อน และใส่ถุงมือ		
3	ยืนตัวตรงหันหน้าเข้าหาภาชนะ ด้านหน้าด้านซ้าย ยืนเท้าซ้ายนำหน้าเล็กน้อย		
4	จับด้านของภาชนะตักให้มั่นคงด้วยฝ่ามือ ด้านหลังสัมผัสกับภาชนะแบบพอดี		
5	เทส่วนผสมโดยเริ่มจากภาชนะด้านในสุดของภาชนะด้านที่ถนัด		
6	ท่าทางและเท้าถูกต้อง เทส่วนผสมให้พอดีกับระยะที่ต้องการ เท บิดข้อมือเล็กน้อยเพื่อเทส่วนผสมลงภาชนะ		
7	การเทส่วนผสมลงภาชนะที่ถนัดให้สามารถพับข้อศอกได้ และในการเทที่มีส่วนผสมลงภาชนะที่ถนัดในสุดสามารถเอียงตัวไปด้านหน้าได้เล็กน้อยไม่เกิน 20 องศา เมื่อปฏิบัติงานเสร็จแล้ว ต้องจัดเก็บอุปกรณ์เข้าที่ และทำความสะอาดพื้นที่ปฏิบัติงาน หมายเหตุ ปฏิบัติตามขั้นตอนนี้ทุกครั้งเมื่อเทส่วนผสมลงภาชนะเพื่อลดความเสี่ยงจากการบาดเจ็บ และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน		
วันที่รับปรุง ORG. DATE	วันที่ปรับปรุง REV. DATE	วันที่การเปลี่ยนแปลง REVISION NO	ผู้อนุมัติ APPROVED BY
			ผู้ทบทวน REVIEWED BY
			ผู้จัดทำ PREPARED BY

ภาพที่ 2 ขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work Instruction: WI)

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ ศึกษาข้อมูลส่วนบุคคลและภาวะด้านสุขภาพของพนักงานกระบวนการผลิตขนมหม้อแกงทั้งหมด สามารถแบ่งหน้าที่การทำงานออกได้เป็น 4 ส่วนงาน 1) งานทำสุกหรืองานหน้าเตา 2) งานขายหรือขนส่ง 3) งานเตรียมวัตถุดิบ แต่งหน้า ปิดฝาและบรรจุ และ 4) งานสนับสนุนหรืออื่น ๆ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า พนักงานที่ปฏิบัติงานในตำแหน่งที่ต้องใช้แรงมาก เช่น การยกหรือเคลื่อนย้ายวัตถุดิบ จะมีอาการเจ็บปวดโดยเฉพาะในส่วนของหลังและแขน ส่วนพนักงานที่ปฏิบัติงานในตำแหน่งที่ต้องทำงานซ้ำ ๆ เช่น การเทขนมลงภาชนะ หรือการจัดเรียงภาชนะ มีความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บจากการใช้งานกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะบริเวณข้อมือและไหล่ ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ รพีพรรณ ตันนงศ์และคณะ (2566) (Tanon et al, 2023) ที่สรุปว่าท่าทางการทำงานที่กล้ามเนื้อเกร็ง มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติของระบบโครงร่างกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสุขภาพกล้ามเนื้อและกระดูกของผู้ปฏิบัติงาน แต่ความถี่ในการยกเทไม่มีความสัมพันธ์กับความผิดปกติทางระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ

การศึกษาและวิเคราะห์ระดับความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานในท่าทางการเทขนมหม้อแกง ผลการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของพนักงานในท่าทางการเทขนมหม้อแกงด้วยแบบประเมิน RULA (Rapid Upper Limb Assessment) สะท้อนให้เห็นว่า ท่าทางการเทขนมลงภาชนะเป็นกิจกรรมที่มีความเสี่ยงต่อระบบกล้ามเนื้อและกระดูก โดยเฉพาะบริเวณแขนไหล่ และหลังส่วนบน ลักษณะงานดังกล่าวมีการเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ และใช้แรงในท่าทางที่ไม่เหมาะสมเป็นเวลานาน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดของ RSIs (Repetitive Strain Injuries) และ MSDs (Musculoskeletal Disorders) ที่พบในงานวิจัยด้านการยศาสตร์หลายฉบับ เช่น Tanon et al. (2023) และ Songchum et al. (2024) และการที่ไม่มีผู้ใดอยู่ในระดับความเสี่ยงต่ำ (ระดับ 1) แสดงให้เห็นว่า ทุกคนที่ทำงานในท่าทางนี้มีความเสี่ยงในระดับที่ควรได้รับการดูแลหรือปรับปรุง ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญที่สามารถนำไปใช้ในการออกแบบงานใหม่ หรือปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสมกับสรีระ

ของผู้ปฏิบัติงาน จากการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ด้วยแบบประเมิน REBA (Rapid Entire Body Assessment) สะท้อนให้เห็นว่า ท่าทางการทำงานในกระบวนการเทحنมหม้อแกมมีผลกระทบต่อทั้งร่างกายไม่เฉพาะส่วนบน โดยเฉพาะการยืนในท่าเดิมนาน ๆ การโน้มตัว และการใช้แรงในการยกภาชนะขนาดใหญ่ ล้วนเป็นปัจจัยที่เพิ่มความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก การที่มีพนักงานถึง ร้อยละ 90 อยู่ในระดับที่ควรปรับปรุงหรือรีบปรับปรุง แสดงถึงความจำเป็นเร่งด่วนในการออกแบบงานใหม่หรือปรับปรุงสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสมตามหลักการยศาสตร์ เพื่อป้องกันปัญหาสุขภาพในระยะยาว และส่งเสริมคุณภาพชีวิตของแรงงานในอุตสาหกรรมขนมหม้อแกม

และในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยเลือกใช้แบบประเมิน RULA และ REBA เพื่อวิเคราะห์ความเสี่ยงทางการยศาสตร์ของท่าทางการเทحنมลงถาดพิมพ์ เพื่อให้การวิเคราะห์ครอบคลุมและสะท้อนความเสี่ยงได้อย่างแม่นยำ ผลการประเมินจาก REBA ยัง สอดคล้องกับผลจาก RULA ซึ่งช่วยยืนยันความแม่นยำของการวิเคราะห์ และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการวางแผนการปรับปรุงงานอย่างเป็นระบบ โดยเฉพาะในท่าทางที่มีการเคลื่อนไหวซ้ำ ๆ การโน้มตัว และการใช้แรงในการยกภาชนะขนาดใหญ่ การที่แบบประเมินทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกัน ยังได้รับการสนับสนุนจากงานวิจัยของ วรพล สงชุม และคณะ (2567) (Songchum et al. (2024); Korkmaz & Ünver (2024) and Sianturi et al. (2025)) ซึ่งพบว่า RULA และ REBA สามารถใช้ร่วมกันในการประเมินความเสี่ยงทางการยศาสตร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถใช้แทนกันได้ ในบางกรณี

จากการวิจัยนี้ จึงสามารถนำผลการประเมินไปใช้เป็นพื้นฐานในการออกแบบงานปรับปรุงท่าทางการทำงาน และจัดสภาพแวดล้อมการทำงานให้เหมาะสม ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ ส่งเสริมสุขภาพของพนักงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานในระยะยาว

5.2 ข้อเสนอแนะการวิจัย

1. ควรขยายการศึกษาครอบคลุม ตำแหน่งงานอื่น ๆ ในกระบวนการผลิตขนมหม้อแกม เช่น งานกวน งานบรรจุ หรืองานขนส่ง เพื่อให้ได้ภาพรวมของความเสี่ยงทางการยศาสตร์ทั้งระบบ
2. ควรใช้เครื่องมือประเมินเพิ่มเติม เช่น OWAS หรือ QEC เพื่อเปรียบเทียบผล และเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์
3. ควรศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอาการเจ็บป่วยกับระดับความเสี่ยง เพื่อใช้ในการวางแผนการป้องกันเชิงลึก

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี จากงานมูลฐาน (Fundamental Fund) ผ่านกองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัย และนวัตกรรม (กองทุนส่งเสริม ววน.) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2567 ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมให้ความอนุเคราะห์ครุภัณฑ์ในการวิจัย ขอขอบคุณผู้ประกอบการผลิตขนมหม้อแกม อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบุรีทุกแห่ง และพนักงานที่ปฏิบัติงานในกระบวนการผลิตขนมหม้อแกมทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูลในงานวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งขอขอบคุณนางสาวเพ็ญพิชชา ไยเมือง และนายธีรณัย พันธดี

นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการในการลงพื้นที่เก็บข้อมูล และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ช่วยในการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือให้งานวิจัยนี้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- Chinsompol, S., Poonkasem, N., & Kokkrathok, N. (2024). Ergonomic risk assessment in lecturer at one of the higher education institutes in Nakhon Ratchasima. *Primary health care journal (Northeastern Edition)*, 39(3), 79-91. (inThai)
- Department of Disease Control. (2017). *Guidelines for providing occupational health services to community workers in ergonomics*. Bureau of Occupational and Environmental Diseases, Ministry of Public Health. (inThai)
- Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). *Rapid entire body assessment (REBA)*. *Applied ergonomics*, 31(2), 201-205.
- Korkmaz, Ö. A., & Ünver, M. (2024). The ergonomic posture assessment by comparing REBA with RULA & OWAS: A case study in a gas springs factory. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 42(5), 1581-1603.
- Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). *Determining sample size for research activities*. *Educational and psychological measurement*, 30(3), 607-610.
- McAtamney, L., & Corlett, N. (2004). *Rapid upper limb assessment (RULA)*. In *handbook of human factors and ergonomics methods*, 86-96. CRC Press.
- Noisamran, A., & Nanthasukon, S. (2024). Product development of crispy baked banana custard cake. *Walailak journal of research and development under royal patronage, science and technology*, 19(1), 125-138. (inThai)
- Rovinelli R. J., Hambleton R. K. (1977). On the use of content specialists in the assessment of criterion-referenced test item validity. *Dutch journal for educational research*, 2, 49-60.
- Sianturi, G., Riyanto, A., Syafei, M. Y., & Kurniawan, D. (2025). *Ergonomic risk analysis of warehouse workers in the textile industry using rapid upper limb body assessment (RULA) and rapid entire body assessment (REBA)*. In AIP Conference Proceedings 3200(1). AIP Publishing.
- Sirisakbanjong, T., Uthaina, L., & Chongsathitthavorn, C. (2024). Analysis of legal measures on trade secrets in Thailand, comparing with foreign laws: A case study of the product Khanom Mor Kaeng from Phetchaburi. *University of the Thai Chamber of Commerce Journal Humanities and Social Sciences*, 44(3), 22-37. (inThai)

- Songchum, W., Tuprakai, S., Preemanot, P., Inyim, N., Suwan Hong, K., & Chantakot, W. (2024). Ergonomic risk assessment of musculoskeletal disorders among employees working in a plastic automotive parts manufacturing plant. *Journal of environmental education, Medicine and Health*, 9(3), 153-159. (inThai)
- Tanon, R., Rattanasalanon, J., Sri-ngam, T., Klinmali, T., Wongmitthae, P., Boonprem, P., Kittipayak, P., Meepradit, P. & Patipat, P. (2023). *Factors associated with musculoskeletal disorders among the garbage collectors of the district in Mueang Chonburi*, Chonburi province. *Safety & Environment review*. 32(2), 36-45. (inThai)
- Trakul, P., Phuanantanon, P., Sujirarat, D., Chaikittiporn, Ch., & Kongtaweelert, A. (2021). *Musculoskeletal disorders and related factors in ceramic production workers of a large factory in Lampang province*. 41(1), 152-161. (inThai)

ภาคผนวก

ข้อกำหนดมาตรฐานวารสารวิชาการ วารสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง

เพื่อให้วารสารวิชาการวารสารบูรณาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรมประยุกต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐานทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. วัตถุประสงค์ของวารสารวิชาการ เพื่อเผยแพร่และประชาสัมพันธ์ผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม โดยทำการตีพิมพ์บทความวิจัยและบทความวิชาการทั่วไป สิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งบทความที่ส่งมาตีพิมพ์ในวารสารจะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่น ๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้ส่งบทความโดยตรง

2. ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.2 สาขาวิชาเทคโนโลยี เน้น เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและนวัตกรรม ได้แก่ เทคโนโลยีไฟฟ้า เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีพลังงาน/พลังงานทดแทน เทคโนโลยีก่อสร้าง/โยธา เทคโนโลยีการผลิต มาตรฐานวิทยา วิศวกรรมซอฟต์แวร์ เทคโนโลยีเซรามิก การบริหารจัดการอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. กำหนดออกวารสาร

วารสารมีกำหนดออกปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – มิถุนายน และฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน กรกฎาคม – ธันวาคม ด้วยระบบ Online: ThaiJo

4. การพิจารณาบทความ

4.1 การพิจารณาบทความ เลือกผู้ทรงคุณวุฒิจากกองบรรณาธิการตรงตามสาขาวิชาในพิจารณา 3 คน ต่อ 1 บทความ

4.2 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก 3 คน

4.3 กรณีบทความมาจากบุคลากรภายนอกมหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง กองบรรณาธิการพิจารณานำส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิภายในและหรือภายนอก โดยไม่เกี่ยวข้องกับเจ้าของบทความ 3 คน

4.4 กรณีผู้ส่งบทความ แก้ไขไม่เป็นไปตามกำหนดเวลา ที่กองบรรณาธิการแจ้งกองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์พิจารณา ยกเลิก กระบวนการเพื่อการตีพิมพ์

5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

5.1 วิธีส่งบทความ เจ้าของบทความสามารถศึกษาข้อมูลเพิ่มเติม และส่งต้นฉบับบทความ ในรูปแบบไฟล์ word และรูปแบบไฟล์ PDF ได้ที่ระบบออนไลน์ของวารสารวิชาการ <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/Itech>

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

ชื่อเรื่อง (ภาษาไทย)

ชื่อเรื่อง (English)

ชื่อ นามสกุล^{1*}, ชื่อ นามสกุล² และ ชื่อ นามสกุล³ (ภาษาไทย)

ชื่อ นามสกุล^{1*}, ชื่อ นามสกุล² และ ชื่อ นามสกุล³ (ภาษาอังกฤษ)

^{1*} ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxxx โทรสารxxxxxx E-mail: YYYYYY

² ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์

³ ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาไทย)

^{1*} ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ โทรxxxxxx โทรสารxxxxxx E-mail: YYYYYY

² ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์

³ ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ (ภาษาอังกฤษ)

วันที่รับบทความ XXXXXXXXXX

Received: XXXXXXXXXX

วันที่รับแก้ไขบทความ XXXXXXXXXX

Revised: XXXXXXXXXX

วันที่ตอบรับบทความ XXXXXXXXXX

Accepted: XXXXXXXXXX

บทคัดย่อ

บทความงานวิจัยต้องประกอบด้วยบทคัดย่อที่ระบุถึงความสำคัญของเรื่อง วัตถุประสงค์ วิธีการศึกษา ผลการศึกษาและบทสรุป ในกรณีที่ต้นฉบับเป็นภาษาไทย ให้ผู้นิพนธ์เขียนบทคัดย่อทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ความยาวไม่เกิน 300 คำ ระบุคำสำคัญของเรื่อง (keywords) จำนวนไม่เกิน 5 คำ

คำสำคัญ: รูปแบบบทความ, ขนาดตัวอักษร, รูปแบบตัวอักษร

Abstract

An article of research to composes with abstract to specify importance of subject, object, method to study, result and summary. Both Thai and English abstracts are required. The length of each should not exceed 300 words. Also, the keywords should not be used more than 5 words.

Keywords: submission procedure, manuscript format, font size, font style, blank line

1. บทนำ

เอกสารฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อเป็นคู่มือในการเขียนบทความฉบับเต็มสำหรับผู้ที่มีความประสงค์ในการส่งบทความเข้าตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพและเพื่อให้การจัดทำเอกสารเป็นไปอย่างรวดเร็ว ผู้ที่ส่งบทความควรพิมพ์บทความตามรูปแบบและแนวทางที่กำหนดอย่างเคร่งครัด

2. เนื้อหาบทความ

วารสารฉบับเต็มควรประกอบด้วย ชื่อบทความ ชื่อและที่อยู่ของผู้เขียนบทความ บทคัดย่อ คำสำคัญ วัตถุประสงค์ เนื้อหาโดยสมบูรณ์ของบทความ กิตติกรรมประกาศ และเอกสารอ้างอิง โดยในส่วนของเนื้อหาของบทความ สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อหลัก หัวข้อย่อย และอาจแบ่งถึงหัวข้อย่อยลงมา ทั้งนี้ตัวอักษรทั้งหมดที่ใช้ในการพิมพ์ทุกส่วนให้ใช้ตัวอักษรแบบ TH SarababunPSK ขนาด 16 ตัวหนาทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ระยะระหว่างบรรทัดเป็นแบบบรรทัดเดี่ยว (Single Space) และแต่ละหน้าไม่ต้องมีการเติมหมายเลขหน้า

2.1 ขนาดและการตั้งค่าหน้ากระดาษ

ขนาดของกระดาษที่ใช้ในการพิมพ์กำหนดให้มีขนาดมาตรฐาน A4 (8¼ × 11¼ นิ้ว)

โดยกำหนดการตั้งค่าหน้ากระดาษดังนี้

ริมขอบกระดาษด้านบน	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านล่าง	1	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านซ้าย	1.5	นิ้ว
ริมขอบกระดาษด้านขวา	1	นิ้ว

ความยาวโดยรวมของบทความไม่ควรเกิน 12 หน้ากระดาษ

2.2 ชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียน

ในการพิมพ์ชื่อบทความให้พิมพ์ทั้งชื่อภาษาไทยและภาษาอังกฤษโดยใช้ตัวอักษรขนาด 20 พอยต์ พิมพ์เป็นตัวหนา โดยแต่ละคำในชื่อภาษาอังกฤษให้พิมพ์อักษรตัวแรกเป็นตัวพิมพ์ใหญ่ (ยกเว้น คำนำหน้านาม: articles, คำสันธาน: coordinate conjunctions และ คำบุพบท: prepositions นอกจากคำเหล่านี้จะถูกใช้นำชื่อเรื่อง) สำหรับชื่อผู้เขียนบทความให้ใช้ตัวอักษรขนาด 14 พอยต์ ในขณะที่ส่วนของที่อยู่ให้ใช้ตัวอักษรขนาด 12 พอยต์ โดยที่อยู่ควรประกอบไปด้วย

สำหรับบุคลากรภายใน มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ตำแหน่งทางวิชาการ สาขาวิชาที่สังกัด เบอร์โทรศัพท์เคลื่อนที่ และ E-mail ที่สามารถติดต่อได้ กรณีผู้เขียนมากกว่าหนึ่ง สามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนั้นควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจันทน์ (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียด ผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ และ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

สำหรับบุคลากร ภายนอก มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ชื่อของหน่วยงาน เลขที่อยู่ เขต/ตำบล แขวง/อำเภอ จังหวัด และรหัสไปรษณีย์ ซึ่งสามารถระบุที่อยู่ของผู้เขียนแต่ละคนโดยอาศัยตัวเลขที่พิมพ์แบบยกสูง (Superscript) ไว้หลังชื่อของผู้เขียนนั้น นอกจากนี้ควรมีการระบุชื่อผู้ติดต่อ (Corresponding author) โดยการพิมพ์เครื่องหมายดอกจัน (*) ไว้หลังชื่อ เฉพาะบรรทัดสุดท้ายของรายละเอียดผู้ติดต่อให้ระบุ เบอร์โทรศัพท์ เบอร์โทรสารและ e-mail ของผู้ติดต่อ ทั้งชื่อบทความและรายละเอียดของผู้เขียนให้พิมพ์ไว้กลางหน้ากระดาษ

3. บทคัดย่อและคำสำคัญ

การพิมพ์บทคัดย่อและคำสำคัญให้พิมพ์ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ โดยใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ และจัดรูปแบบอยู่ตรงกึ่งกลางของหน้ากระดาษ โดยให้พิมพ์ชื่อหัวข้อ “บทคัดย่อ” และ “Abstract” เป็นแบบตัวหนา

4. เนื้อหาของบทความ

บทความวิจัยควรประกอบด้วย บทนำ (Introduction) บอกความสำคัญหรือที่มาของปัญหา นำไปสู่การศึกษา วัตถุประสงค์ วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย (Materials and Method) กล่าวถึงรายละเอียด การวิเคราะห์และการทดลองที่กระชับและชัดเจน ผลการทดลอง (Results) บอกผลที่พบอย่างชัดเจน สมบูรณ์ และมีรายละเอียดครบถ้วน สรุปและอภิปรายผล (Discussion and Conclusion) อาจเขียนรวมกับผลการทดลองได้ เป็นการประเมิน การตีความ และการวิเคราะห์ ในแง่มุมต่าง ๆ ของผลที่ได้ว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์หรือไม่ มีความสอดคล้องหรือขัดแย้งกับผลงานผู้อื่นอย่างไร ต้องมีการอ้างหลักการหรือทฤษฎีมาสนับสนุนหรือการหักล้างอย่างเป็นเหตุเป็นผล และอาจมีข้อเสนอแนะที่จะนำผลวิจัยไปใช้ประโยชน์

ส่วนของเนื้อหาบทความ กำหนดตัวอักษรที่ใช้ในเนื้อหาให้มีขนาด 16 พอยต์ รวมถึงไม่ต้องการเว้นบรรทัดระหว่างย่อหน้า (ไม่ต้องเคาะบรรทัดเมื่อขึ้นย่อหน้าใหม่) สำหรับรูปแบบตัวอักษรที่ใช้ในการพิมพ์หัวข้อกำหนดดังนี้

4.1 หัวข้อหลัก

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อหลัก และให้พิมพ์ไว้ชิดริมซ้ายของคอลัมน์

4.2 หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา

กำหนดให้ใช้ตัวอักษรขนาด 16 พอยต์ ตัวหนา ในการพิมพ์หัวข้อย่อยและหัวข้อย่อยรองลงมา และให้พิมพ์ห่างจากริมซ้ายของคอลัมน์ 0.5 นิ้ว

5. รูปภาพ ตาราง และสมการ

5.1 รูปภาพและตาราง

การนำเสนอรูปภาพและตารางสามารถนำเสนอต่อจากข้อความที่กล่าวถึงหรืออาจนำเสนอภายหลังจากจบหัวข้อหรือนำเสนอในหน้าใหม่ ขนาดของรูปภาพและตารางไม่ควรเกินกรอบของการตั้งค่าน้ำกระดาษที่กำหนดไว้ในหัวข้อ 2.1

ทั้งรูปภาพและตารางจะต้องมีคำอธิบายโดยคำอธิบายของรูปภาพให้พิมพ์ไว้ใต้รูปภาพ และอยู่ชิดซ้ายของหน้ากระดาษ หากรูปภาพใดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนให้มีการระบุคำอธิบายของแต่ละส่วนโดยอาศัยตัวอักษรภาษาไทยในวงเล็บเรียงตามลำดับเช่น (ก) และ (ข) ส่วนคำอธิบายตารางให้พิมพ์ไว้เหนือตารางและชิดริมซ้ายของกระดาษ โดยการเรียงลำดับรูปภาพและตารางให้แยกการเรียงลำดับออกจากกัน

ตารางข้อมูลที่น่าลงตีพิมพ์ ต้องพิมพ์ด้วย word เพื่อความคมชัดของตาราง เช่น

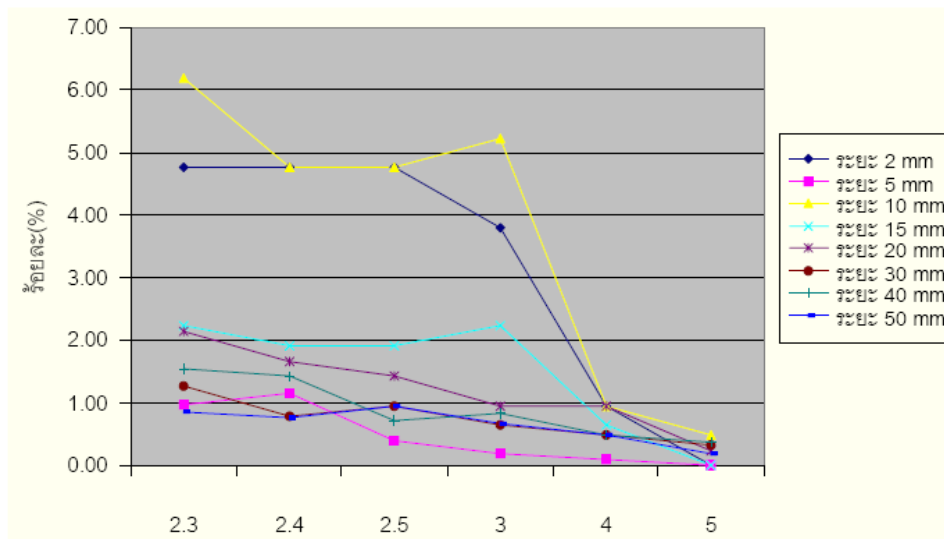
ตารางที่ 1 ตารางที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้อำนาจ
1)กระเบื้องดินเผาที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1)กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้อำนาจรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2)ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2)กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพัก มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้อำนาจอาจจะลื่นเมื่อใช้งาน
	3)เนื่องจากความไม่แข็งแรงของกระเบื้องดินเผา เมื่อผ่านการใช้งาน หรือมีวัตถุตกกระทบ ทำให้กระเบื้องดินเผาแตก กะเทาะ หรือบิ่น ซึ่ง แสดงถึงความไม่ทนทานแข็งแรง

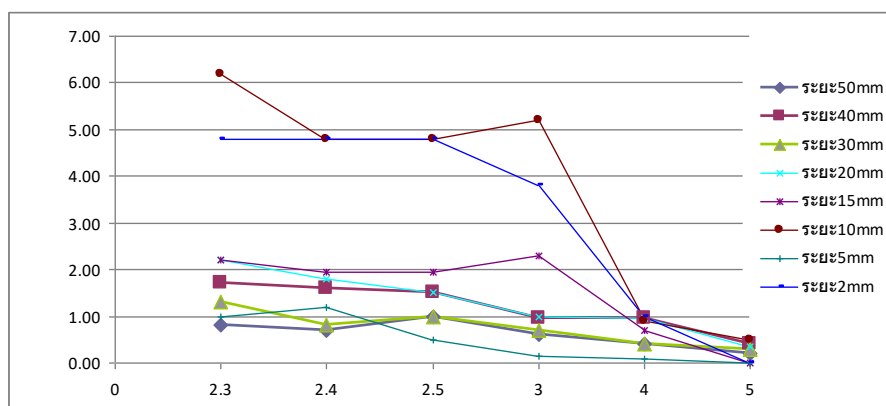
ตารางที่ 2 ตารางที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

ผู้ออกแบบ	ผู้อำนาจ
1) กระเบื้องดินเผาที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่เหมาะสมสวยงาม	1) กระเบื้องดินเผาที่มีขนาดที่ไม่เท่ากันตามลักษณะเฉพาะตัวของวัสดุ ผู้อำนาจรู้สึกถึงความไม่เรียบร้อยไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว
2) ข้อดีของกระเบื้องดินเผา คือ ติดตั้งยากเนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของขนาดและความหนาของแผ่นกระเบื้องดินเผา	2) กระเบื้องดินเผาที่ใช้ปูพื้นบันไดและชานพักมีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ผู้อำนาจอาจจะลื่น เมื่อใช้งาน

รูปภาพที่นำลงตีพิมพ์ ควรเลือกภาพที่เหมาะสมและคมชัดที่สุด

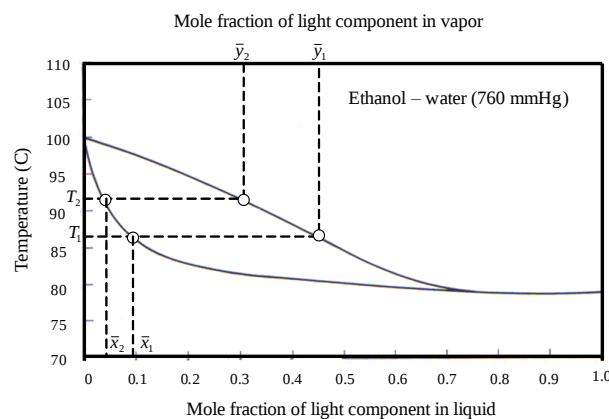


ภาพที่ 1 ภาพที่ไม่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์



ภาพที่ 2 ภาพที่เหมาะสมในการนำลงตีพิมพ์

การระบุหมายเลขลำดับรูปภาพและตารางในบทความให้ระบุเป็นรูปที่และตารางที่ เช่น ภาพที่ 1, ภาพที่ 1 - 3, ตารางที่ 1, ตารางที่ 1 - 3 เป็นต้น



ภาพที่ 1 แผนภาพสมดุลของของผสมไอ - ของเหลวที่มี 2 องค์ประกอบภายใต้สภาวะความดันคงที่

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในแต่ละภาคเศรษฐกิจ ๆ ของประเทศไทย (หน่วย: ล้านลิตร)

ภาคเศรษฐกิจ	ปี	
	2545	2546
1. เกษตรกรรม	3,509	3,827
2. เหมืองแร่	19	26
3. อุตสาหกรรม	4,821	4,937
4. ไฟฟ้า	703	757
5. การก่อสร้าง	169	172
6. ที่พักอาศัยและการพาณิชย์	2,729	2,792
7. คมนาคมขนส่ง	23,980	25,475
Total	35,930	37,986

5.2 สมการ

การเขียนสมการให้เขียนไว้กลางคอลัมน์และมีการระบุลำดับของสมการโดยใช้ตัวเลขที่พิมพ์อยู่ในวงเล็บ เช่น (1), (2) เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี)

หากต้องการเขียนกิตติกรรมประกาศเพื่อขอบคุณบุคคลหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถเขียนได้ โดยให้อยู่หลังเนื้อหาหลักของบทความและก่อนเอกสารอ้างอิง เช่น

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้เอื้อเฟื้อเอกสารและข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานการจัดประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 24

7. การอ้างอิง

ให้รวบรวมรายชื่อสิ่งพิมพ์และวัสดุความรู้ต่าง ๆ ที่ใช้เป็นหลักฐานหรือเอกสารอ้างอิงในการศึกษาแทรกไว้ในเนื้อหาและท้ายบทความ โดยระบุเป็น 2 ภาษา คือ ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ การอ้างอิงในเนื้อหา เป็นการวงเล็บระบุแหล่งที่มาอย่างกว้าง ๆ แทรกอยู่ในเนื้อหา ของบทความวิชาการ ส่วนรายละเอียดที่สมบูรณ์ของแหล่งข้อมูลจะแสดงใน “เอกสารอ้างอิง” ในส่วนท้ายของบทความวิชาการ การอ้างอิงในเนื้อหาและท้ายบทความให้เป็นระบบ APA 7th

7.1 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงในเนื้อหา

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่งคนแรก และผู้แต่งคนที่สอง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่งคนแรก และคณะ, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(ผู้แต่ง, ปีที่พิมพ์, ไม่มีเลขหน้า)

(หน่วยงาน, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

(นามแฝง, ปีที่พิมพ์, หน้า เลขหน้าที่อ้างอิง)

7.2 การลงรายละเอียดของการอ้างอิงท้ายบทความ

ให้อ้างอิงรายการลำดับตามอักษรตัวแรกของผู้แต่ง ตามการเรียงลำดับตัวอักษรของ พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน สำหรับรูปแบบการพิมพ์รายชื่อเอกสารอ้างอิงจากแหล่งต่าง ๆ กำหนดให้มีรูปแบบดังตัวอย่างต่อไปนี้

(1) บทความจากวารสาร (Journal)

Waszkiewics, S.D., Tierney, M.J. and Scott, H.S. (2009). Development of coated, annular fins for adsorption chillers, *Applied Thermal Engineering*, vol.29 (11-12), August 2009, pp. 2222 – 2227.

จักรกฤษณ์ นรมิตผดุงการ และ ทวี สอนมาลี. (2519). ความสามารถในการเงินของเทศบาล กรณีของเทศบาลนครกรุงเทพ ก่อนเปลี่ยนแปลงเป็นกรุงเทพมหานคร, *วารสารพัฒนา บริหารศาสตร์*, 16, เมษายน 2519, หน้า 231 – 254.

(2) บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

Kato, S. and Widiyanto, A. (2001). Environmental Impact Assessment of Various Power Generation Systems, *paper presented in the Tri-University International Joint Seminar & Symposium 2001*, Chiang Mai, Thailand.

มารุต บุรพา, ญัฐนี วรยศ และทองเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. (2551). โมเดลอย่างง่ายของการทำ น้ำร้อนแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพความร้อนเสริม, *การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทน ผู้ชุมชนแห่งประเทศไทย*, มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

(3) รายงานทางวิชาการ / รายงานวิจัย

Division of Technical Services and Planning. (2003). *Chiang Mai City Municipality. Annual Report.*

จุฬาร ชาติช่วงนรินทร์, นลินี ตันธุนิตย์ และปัทมา เพ็ชรสิงห์. (2529). รายงานการวิจัยเรื่อง ประวัติศาสตร์หมู่บ้านคำม่วง, โครงการวิจัยระบบการทำฟาร์ม มหาวิทยาลัยขอนแก่น. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น. หน้า 54 – 57.

พรพิมล เกลิมพลาณาภ. (3535). พฤติกรรมการแสวงหาข่าวสารและการใช้เทคโนโลยีการสื่อสารของบริษัทธุรกิจเอกชนที่มียอดขายสูงสุดของประเทศไทย. วิทยานิพนธ์วารสารศาสตร์ มหาวิทยาลัย คณาวารสารศาสตร์และสื่อสารมวลชน. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

(4) หนังสือ

Myers, R.H. and Montgomery, D.C. (1995). *Response Surface Methodology: Process and product optimization using designed experiments*, New York: John Wiley & Sons.

Goswami, Y.D., Kreith, F. and Kreider, J.F. (1999). *Principles of Solar Engineering*, 2nd edition. ISBN: 1-56032-714-6, Philadelphia: Taylor & Francis,

วิบูล วิจารณ์ และกนกนาถ ชูปัญญา. (2525). *เคมีคลินิก*. กรุงเทพฯ: โครงการตำราศิริราช คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล.

(5) วิทยานิพนธ์

สุรจิตร ทิบัว. (2538). การศึกษาสภาพการใช้แหล่งชุมชนประกอบการสอนวิชาสังคมศึกษา ในระดับมัธยมศึกษาตอนต้น สังกัดกรมสามัญศึกษา ของจังหวัดขอนแก่น. วิทยานิพนธ์ ศษ.ม. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

Herbert-Cheshire, L. (1997). *Living by the sea*. Unpublished honours thesis, Central Queensland University, Rockhampton, QLD, Australia.

(6) เว็บไซต์

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. (2554). “คู่มือการศึกษาปีการศึกษา 2554”. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.psu.ac.th/handbook/> สืบค้นเมื่อ 3 ธันวาคม 2554.

Brown, H. (1994). “Citing computer references”. [online], Available: <http://neal.ctstateu.edu/history/cite.html>. access on April 3, 1995.

(7) การสัมภาษณ์

ดิลก บุญเรืองรอด. (2543, กรกฎาคม 14). อธิการบดี, สถาบันราชภัฏสวนสุนันทา. สัมภาษณ์.

ตัวอย่างการอ้างอิงในเนื้อหา

(สุวิมล ตีรากานันท์, 2553) (Tirakanan, 2011)

ตัวอย่างการแปลเอกสารอ้างอิงภาษาไทยเป็นภาษาอังกฤษ

1.1 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นหนังสือ

สุวิมล ตีรากานันท์. (2553). *การวิเคราะห์ตัวแปรพหุในงานวิจัยทางสังคมศาสตร์*. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Tirakanan, S. (2011). *Multivariate variables analysis in social science research*. Bangkok: Chaulalongkorn University Printing House. (in Thai)

1.2 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงที่เป็นบทความ

ปาน จินดาพล. (2557). การเป็นเจ้าของกิจการกับทัศนคติต่อความเสี่ยง. *วารสารนักบริหาร*, 34(1), 130-135.

Jindapon, P. (2014). Entrepreneurship and risk attitudes. *Executive Journal*, 34(1), 130-135. (in Thai)

สุวรรณ ลัคนวณิช. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างบุคคล พฤติกรรมการใช้ชีวิต และผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของ นักศึกษาที่ใช้ชีวิตในที่พักเอกชน ย่านรังสิต จังหวัดปทุมธานี. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16.

Luckanavanich, S. (2014). Personal relationship, living behaviors, and academic achievement of university students in the private residence, rangsit area, Pathumthani. *BU Academic Review*, 13(1), 13-16. (in Thai).

1.3 ตัวอย่างเอกสารอ้างอิงข้อมูลจากเว็บไซต์

การท่องเที่ยวแห่งประเทศไทย. (2556). สถานการณ์การท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวชาวต่างประเทศฯ ในปี 2555. [ออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php สืบค้นเมื่อ 9 กุมภาพันธ์ 2557.

Tourism Authority of Thailand. (2013). *Inbound foreign tourists situation in 2012*. [online], Available: http://www.2tat.or.th/stat/web/statistic_tst.php. access on February 9, 2014. (in Thai)

ท่านสามารถดาวน์โหลดรูปแบบบทความได้ที่ <http://www.journal.itech.lpru.ac.th>
หรือ ติดต่อสอบถามที่ **ผู้ประสานงาน** : รองศาสตราจารย์ธิติมา คุณยศยิ่ง โทร 0 5423 7399 ต่อ 1339
Tel.: 08 5525 1919 **E-mail:** journalitech@gmail.com / journalitech@hitmail.com

ปรับปรุงเมื่อ 19 ธันวาคม 2567