

JOURNAL OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND

ENGINEERING

PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY



ISSN 3057 - 0093 (Print) ISSN 3057 - 0107 (Online)



วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

ปีที่ 7 ฉบับที่ 1

มกราคม - เมษายน ปี 2568





ข้อกำหนดมาตรฐาน วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

เพื่อให้วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีคุณภาพได้มาตรฐานทางกองบรรณาธิการจึงมีข้อกำหนดของวารสารดังต่อไปนี้

1. วัตถุประสงค์

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทรรศน์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์ สหวิทยาการ วิทยาศาสตร์ นวัตกรรมและการออกแบบ รวมถึงงานวิจัยที่มีการบูรณาการศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในสาขาที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตามบทความที่ส่งเข้ามาเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องเป็นบทความที่ไม่เคยเผยแพร่ในวารสารหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และจะต้องไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารหรือสิ่งพิมพ์อื่นๆ การละเมิดลิขสิทธิ์ถือเป็นการรับผิดชอบของผู้ส่งบทความโดยตรง

2. ครอบคลุมสาขาที่เกี่ยวข้อง

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

2.2 สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ และวิทยาศาสตร์ประยุกต์

2.3 สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และวิศวกรรม

3. การพิจารณาบทความ (Peer Review Process)

บทความที่ลงตีพิมพ์ในวารสารฯ จะต้องผ่านการพิจารณาให้ความเห็น ทบทวน และตรวจสอบวิพากษ์ วิจารณ์ ความถูกต้อง เหมาะสมทางวิชาการ จากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง จำนวนอย่างน้อย 3 ท่าน ต่อบทความในรูปแบบพิชยพิจารณา (Peer-Reviewed) ก่อนลงตีพิมพ์ และเป็นการประเมินแบบการปกปิดสองทาง (Double blinded)



ขั้นตอนการประเมินบทความมีกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ผู้เขียนส่งไฟล์บทความไปยังระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
2. กองบรรณาธิการดำเนินการแจ้งให้ผู้เขียนทราบ เมื่อกองบรรณาธิการได้รับไฟล์บทความเรียบร้อยแล้ว
3. กองบรรณาธิการดำเนินการตรวจสอบหัวข้อ บทคัดย่อ และเนื้อหาของบทความ รูปแบบการจัดพิมพ์บทความ ประเด็นทางจริยธรรม ตรวจสอบการคัดลอกบทความ (Plagiarism Checker) และความเหมาะสมและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของวารสาร รวมถึงประโยชน์ในเชิงทฤษฎี และเชิงปฏิบัติ ในเบื้องต้น
4. ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการจัดส่งบทความเพื่อทำการกลั่นกรองต่อไปโดย ส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความ ว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์หรือไม่ กระบวนการพิจารณากลั่นกรองนี้เป็นการประเมินแบบปกปิดสองทาง (Double blind review) กล่าวคือ จะไม่เปิดเผยชื่อผู้ส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิทราบ และจะไม่เปิดเผยชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้ผู้เขียนทราบ และกองบรรณาธิการจะไม่เปิดเผยทั้งชื่อผู้เขียนและชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้บุคคลอื่น ทราบด้วยเช่นกัน
5. เมื่อบทความได้รับการทบทวน ประเมิน วิจัยแล้ว จากผู้ทรงคุณวุฒิ และมีความเห็นอย่างไร กองบรรณาธิการจะ ดำเนินการดังต่อไปนี้

- กรณีมีความเห็นให้ ผู้เขียนแก้ไขบทความ (Revision Require) กองบรรณาธิการ จะจัดส่งผลการประเมิน รวมถึงคำแนะนำจากบรรณาธิการให้ผู้เขียน แก้ไขบทความ และเมื่อแก้ไขเสร็จแล้วให้ ส่งกลับคืนมายังบรรณาธิการ และพิจารณาใหม่อีกครั้งโดยอาจส่งให้ ผู้ทรงคุณวุฒิตรวจสอบผลการแก้ไข หรือ บรรณาธิการตรวจสอบ ด้วยตนเอง ซึ่งหากต้องมีการแก้ไขในรอบที่ สอง (round 2) ก็จะทำเนินการส่งกลับไปยังผู้เขียนให้แก้ไข และตรวจสอบผลการแก้ไข จนกว่าจะมีเนื้อหาบทความสมบูรณ์

- กรณีมีความเห็นให้ ปฏิเสธการรับตีพิมพ์ (Decline Submission) กองบรรณาธิการ จะส่งจดหมายแจ้งผลดังกล่าวให้ผู้เขียนรับทราบ พร้อมทั้งเหตุผลของการปฏิเสธการรับ

- กรณีมีความเห็นให้ ตอรับการตีพิมพ์ (Accept Submission) กองบรรณาธิการ จะแจ้งผู้เขียนให้ทราบ และดำเนินการส่งไฟล์บทความเข้าสู่ขั้นตอนการปรับแก้ไขต้นฉบับ การพิสูจน์อักษร และการจัดรูปแบบเอกสารตามเทมเพลตบทความของวารสาร ก่อนนำไปเผยแพร่ โดยฝ่ายจัดการวารสาร

ทั้งนี้ กิจกรรมการพิจารณาบทความทั้งหมด ต้องดำเนินการผ่านทางระบบวารสารอิเล็กทรอนิกส์ของวารสาร ภายในระบบเว็บไซต์ Thai Journal Online (ThaiJO) URL: <https://www.tci-thaijo.org> ซึ่งรับผิดชอบดูแลระบบโดยศูนย์ TCI และ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (National Electronics and Computer Technology Center; NECTEC) เพื่อให้การทำงานเป็นระบบวารสารของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเป็นไปตามมาตรฐานสากล

4. กำหนดออกเล่มวารสาร

กำหนดออกวารสาร: ปีละ 3 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 ระหว่างเดือน มกราคม – เมษายน ฉบับที่ 2 ระหว่างเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม และ ฉบับที่ 3 ระหว่างเดือน กันยายน-ธันวาคม

5. คำแนะนำสำหรับผู้ส่งบทความเพื่อตีพิมพ์

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

5.2 รูปแบบบทความที่ส่งกองบรรณาธิการเพื่อตีพิมพ์

6. จริยธรรมในการตีพิมพ์ผลงาน

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อ ตีพิมพ์เผยแพร่บทความวิจัย บทความวิชาการ และบทความปริทรรศน์ที่มีคุณภาพโดยผ่านการพิจารณาจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ เพื่อนำเสนอแนวคิด นวัตกรรม และผลงานวิจัยใหม่ทางด้านเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆ เช่น คอมพิวเตอร์ โลจิสติกส์ ไฟฟ้ากำลัง เครื่องกล โยธา อิเล็กทรอนิกส์ อุตสาหกรรม การผลิต การจัดการและโลจิสติกส์ เป็นต้น วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี นวัตกรรมเซรามิกส์ ออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และครุศาสตร์อุตสาหกรรม อีกทั้งยังรวมถึงงานวิจัยที่มีการบูรณาการศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมในสาขาอื่นๆ มี 3 กลุ่ม คือ ผู้นิพนธ์ (Author) บรรณาธิการ (Editor) และผู้ประเมินบทความ (Reviewer) ซึ่งได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในบทบาทและหน้าที่อย่างเคร่งครัด โดยมีรายละเอียดดังนี้



7. บทบาทและหน้าที่ของผู้นิพนธ์ (Duties of Authors)

1. ผู้นิพนธ์ต้องได้รับความเห็นชอบในการส่งบทความจากผู้ร่วมนิพนธ์ (ถ้ามี)
2. ผู้นิพนธ์ต้องรับผิดชอบเกี่ยวกับลิขสิทธิ์ของต้นฉบับในทุกกรณี
3. ผู้นิพนธ์ที่มีชื่อปรากฏในบทความทุกคน ต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง
4. ผู้นิพนธ์ ต้องรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน
5. ผู้นิพนธ์ต้องรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการทำวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูล หรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
6. ผู้นิพนธ์ต้องตรวจสอบจนมั่นใจว่ารายละเอียดทุกส่วนในบทความวิจัยที่จะตีพิมพ์ในวารสาร ถูกต้องและต้องเป็นไปตามหลักจริยธรรมสากลที่ได้รับการยอมรับ
7. ผู้นิพนธ์ต้องยอมรับคำวิจารณ์ และสามารถชี้แจงตอบกลับได้โดยมีข้อมูลสนับสนุนการวิจัยอย่างครบถ้วนสมบูรณ์
8. ผู้นิพนธ์ต้องอ้างอิงผลงานวิจัยของผู้อื่น หากมีการนำผลงานเหล่านั้นมาใช้ในผลงานของตัวเองจะต้องจัดทำรายการอ้างอิงท้ายบทความตามรูปแบบการเขียนเอกสารอ้างอิงใน “การเตรียมบทความ”
9. ผู้นิพนธ์ต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดใน “การเตรียมบทความ”

8. บทบาทและหน้าที่ของบรรณาธิการวารสาร (Duties of Editors)

1. บรรณาธิการวารสารมีหน้าที่พิจารณาคุณภาพของบทความ เพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร
2. บรรณาธิการวารสารต้องดำเนินการทุกอย่างเพื่อให้มั่นใจในคุณภาพของบทความที่ตีพิมพ์ เพื่อรับรองคุณภาพของงานวิจัยที่ตีพิมพ์ และตระหนักว่าวารสารมีวัตถุประสงค์และมาตรฐานที่ชัดเจน
3. บรรณาธิการวารสารต้องชี้แจง หรือให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการตรวจสอบประเมินบทความ (Peer review) อีกทั้งมีความพร้อมในการชี้แจงความเบี่ยงเบนต่าง ๆ จากกระบวนการตรวจสอบ
4. บรรณาธิการวารสารต้องดำเนินการเกี่ยวกับวารสารให้ได้ตามกำหนดการตีพิมพ์วารสารที่ระบุไว้
5. บรรณาธิการวารสารต้องตัดสินใจในการยอมรับหรือปฏิเสธบทความวิจัยเพื่อการตีพิมพ์
6. บรรณาธิการวารสารต้องมีช่องทางให้ผู้นิพนธ์อุทธรณ์ได้หากผู้นิพนธ์มีความคิดเห็นแตกต่างจากการตัดสินใจของบรรณาธิการ
7. บรรณาธิการวารสารต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์ และผู้ประเมินบทความแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ

8. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความเพราะความสงสัยหรือไม่แน่ใจ โดยจะต้องหาหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยนั้น ๆ ก่อน
9. บรรณาธิการวารสารต้องไม่เปลี่ยนแปลงการตัดสินใจในการตอบรับบทความที่ได้ปฏิเสธการตีพิมพ์ไปแล้ว
10. บรรณาธิการวารสารต้องพิจารณาตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น
11. กรณีที่มีการปรับเปลี่ยนบรรณาธิการวารสาร ผู้ที่เข้ามารับตำแหน่งใหม่ต้องไม่กลับคำตัดสินใจเกี่ยวกับบทความที่บรรณาธิการวารสารคนก่อนตอบปฏิเสธไปแล้ว ยกเว้นมีการพิสูจน์ได้อย่างเหมาะสมและชัดเจน
12. หากบรรณาธิการวารสารตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่นในกระบวนการประเมินบทความ บรรณาธิการวารสารต้องหยุดกระบวนการประเมิน และติดต่อผู้นิพนธ์หลักทันทีเพื่อขอคำชี้แจง เพื่อประกอบการ ตอบรับ หรือ ปฏิเสธ การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ
13. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์ที่อื่นมาแล้ว
14. บรรณาธิการวารสารต้องมีระบบในการจัดการที่ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความรวมทั้งกองบรรณาธิการ
15. บรรณาธิการวารสารต้องสนับสนุนเสรีภาพในการแสดงความคิดเห็น และคงไว้ซึ่งความถูกต้องของผลงานทางวิชาการ อีกทั้งปกป้องมาตรฐานของทรัพย์สินทางปัญญา

9. บทบาทและหน้าที่ของผู้ประเมินบทความ (Duties of Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความต้องได้รับระบบปกป้องข้อมูลส่วนตัวของผู้ประเมินบทความ ยกเว้นกรณีที่มีการประเมินบทความแบบเปิด ซึ่งได้แจ้งให้ผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความรับทราบล่วงหน้า
2. ผู้ประเมินบทความต้องได้รับระบบที่ทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าบทความที่ส่งเข้ามาทำการประเมิน ได้รับการปกปิดความลับในระหว่างขั้นตอนการพิจารณาประเมิน
3. ผู้ประเมินบทความ ต้องรักษาความลับและไม่เปิดเผยข้อมูลของบทความที่ส่งมาเพื่อพิจารณาแก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
4. หลังจากได้รับบทความจากบรรณาธิการวารสาร และผู้ประเมินบทความตระหนักว่าตัวเองอาจมีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้นิพนธ์เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่ทำให้ไม่สามารถให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะอย่างอิสระได้ ผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ
5. ผู้ประเมินบทความต้องรับทราบคำแนะนำในทุกประเด็นที่บรรณาธิการวารสารคาดหวัง และต้องรับทราบการปรับปรุงคำแนะนำที่ทันสมัยอยู่เสมอ ซึ่งสามารถอ้างอิง หรือเชื่อมโยงกับระเบียบดังกล่าว



6. ผู้ประเมินบทความ ควรประเมินบทความในสาขาวิชาที่ตนมีความเชี่ยวชาญ โดยพิจารณาความสำคัญของเนื้อหาในบทความที่จะมีต่อสาขาวิชานั้น ๆ คุณภาพของการวิเคราะห์ และความเข้มข้นของผลงาน
7. ผู้ประเมินบทความไม่ควรใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลรองรับมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินบทความวิจัย
8. หากผู้ประเมินบทความทราบว่ามีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือน หรือซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบด้วย

10. ลิขสิทธิ์และสิทธิ (Copyright and Right)

- วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม เป็นวารสารในรูปแบบเปิด (Open Access) ผู้ใช้ทั่วไปหรือระบบสารสนเทศของหน่วยงาน ฐานข้อมูลอัตโนมัติ ระบบห้องสมุดอัตโนมัติ สามารถเข้าถึง ดาวน์โหลด เอกสารไฟล์บทความบนเว็บไซต์วารสาร โดยไม่มีค่าใช้จ่ายแต่อย่างใด

- ข้อความภายในบทความที่ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ทั้งหมด รวมถึงรูปภาพประกอบ ตาราง เป็นลิขสิทธิ์ของวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม การนำเนื้อหา ข้อความหรือข้อคิดเห็น รูปภาพ ตาราง ของบทความไปจัดพิมพ์เผยแพร่ในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ ต้องได้รับอนุญาตจากกองบรรณาธิการวารสารอย่างเป็นทางการเป็นลายลักษณ์อักษร

- มหาวิทยาลัยฯ อนุญาตให้สามารถนำไฟล์บทความไปใช้ประโยชน์และเผยแพร่ต่อได้ โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไข สัญญาอนุญาตครีเอทีฟคอมมอน (Creative Commons License: CC) โดย ต้องแสดงที่มาจากวารสาร – ไม่ใช่เพื่อการค้า – ห้ามแก้ไขดัดแปลง, Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0)

- ข้อความที่ปรากฏในบทความในวารสารเป็นความคิดเห็นส่วนตัวของผู้เขียนแต่ละท่านไม่เกี่ยวข้องกับมหาวิทยาลัย และบุคลากร คณาจารย์ท่านอื่น ๆ ในมหาวิทยาลัยฯแต่อย่างใด ความรับผิดชอบองค์ประกอบทั้งหมดของบทความแต่ละเรื่องเป็นของผู้เขียนแต่ละท่าน หากมีความผิดพลาดใด ๆ ผู้เขียนแต่ละท่านจะรับผิดชอบบทความของตนเอง ตลอดจนความรับผิดชอบด้านเนื้อหาและการตรวจร่างบทความเป็นของผู้เขียน ไม่เกี่ยวข้องกับกองบรรณาธิการ

11. นโยบายจริยธรรมการทดลอง (Research Integrity Policy) ในงานวิจัย

บทความจากงานวิจัยที่ส่งเข้ามารับการตีพิมพ์และเกี่ยวข้องกับการทำวิจัยในมนุษย์ ต้องได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคนจากสถาบันที่ผ่านการรับรองจากสำนักงานมาตรฐานการวิจัยในคน สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ และเป็นไปตามมาตรฐานจริยธรรมและกฎหมายสากล สำหรับการทดลองในสัตว์ทดลองต้องผ่านการรับรองจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการใช้สัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ เช่นกัน และอยู่ภายใต้หลักพระราชบัญญัติสัตว์เพื่องานทางวิทยาศาสตร์ พ.ศ. 2558

นอกจากนี้วารสารคาดหวังให้ผู้เขียนเคารพสิทธิความเป็นส่วนตัว (privacy) ของผู้เข้าร่วมการวิจัย และได้รับความยินยอมที่จะนำข้อมูลมาเผยแพร่ก่อนที่จะส่งบทความมายังวารสาร สำหรับข้อมูลและเอกสารต่าง ๆ ผู้เขียนจะต้องส่งหลักฐาน แนบมาพร้อมกับบทความ หรือส่งมาภายหลังเมื่อบทความได้รับการรับพิจารณาตีพิมพ์และกองบรรณาธิการร้องขอไป โดยจัดส่งเป็นไฟล์หลักฐานผ่านระบบวารสารออนไลน์

12. นโยบายการจัดการผลประโยชน์ทับซ้อน (Conflict of Interest/Competing Interest Policy)

วารสารมีนโยบายที่จะหลีกเลี่ยงต่อการขัดกันของผลประโยชน์ ในกลุ่มกองบรรณาธิการ ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ ผู้เขียนทุกท่าน เพื่อให้การตีพิมพ์บทความมีความโปร่งใสทางวิชาการ ดังนั้นในกรณีที่ ฝ่ายใดฝ่ายหนึ่งมีความเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อบทความ ผู้เขียนหลัก (Corresponding Author) ต้องแจ้งให้กับบรรณาธิการทราบถึงเหตุความสัมพันธ์ดังกล่าว อย่างเป็นทางการ ลายลักษณ์อักษร หรือผ่านทาง การส่งข้อความผ่านระบบเว็บไซต์วารสาร

สำหรับผู้เขียน ต้องมีการใช้ข้อมูลในการเขียนงานวิจัยโดยไม่มีส่วนเกี่ยวข้องที่อาจทำให้เกิดความโน้มเอียงในงานวิจัย ในผลการศึกษา สรุปผล หรือ การอภิปรายผล โดยเฉพาะผลประโยชน์ทางตรงหรือทางอ้อมต่อการทำงานวิจัย

สำหรับผู้ทรงคุณวุฒิประเมินบทความ ควรให้ข้อมูลต่อบรรณาธิการผู้รับผิดชอบบทความ หากมีผลประโยชน์เกี่ยวข้องกับงานวิจัยหรือมีความเกี่ยวข้องอย่างใดอย่างหนึ่ง ให้แจ้งบรรณาธิการ เพื่อยืนยันความโปร่งใสต่อการประเมินบทความ ทั้งนี้การเกี่ยวข้องย่อมมีโอกาสเกิดขึ้นได้เสมอ บรรณาธิการจะเป็นผู้พิจารณาให้ความเห็นในการยอมรับต่อการประเมินบทความอีกครั้ง



บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม (Industrial Technology and Engineering Pibulsongkram Rajabhat University) Print ISSN : 2697-5062, E-ISSN : 2697-5629 ฉบับนี้เป็นปีที่ 7 ฉบับที่ 1 มีเนื้อหาที่เน้นด้านทางด้านเทคโนโลยี อุตสาหกรรมและวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยมีเนื้อหาครอบคลุมเกี่ยวข้องกับงานวิจัย ในสาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม วิศวกรรมศาสตร์สาขาต่างๆ โดยบทความทั้งหมดได้ผ่านการประเมิน โดยผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ (Peer Review) ในสาขานั้นๆ เพื่อให้ได้ผลงานที่มีคุณภาพก่อน การตีพิมพ์และสามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/psru-jite/issue/view/16508> ภายใต้ระบบ ThaiJo ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย

กองบรรณาธิการและคณะกรรมการจัดทำวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและ วิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาคุณภาพบทความ และ ผู้สนใจที่กรุณาช่วยกัน สนับสนุนและให้ความไว้วางใจผลงานของวารสารฉบับนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จากนักวิจัยที่ได้กรุณาเผยแพร่ผลงานใน วารสารนี้ กองบรรณาธิการหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับเกียรติ และความอนุเคราะห์จากท่านในโอกาสต่อไป

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริเดช กุลหิรัญบวร
บรรณาธิการ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
การออกแบบเทคนิครีบสำหรับประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมธีรวัฒน์ แสงภาค, ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง	1-17
การคัดเลือกทรายแม่น้ำสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องฟันทรายขนาดเล็ก: กรณีศึกษาพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยชวินทร มัยยะภักดี, มนต์รี วิมล	18-30
การจัดเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดส่งพัสดุด้วยโปรแกรม VRP SPREADSHEET SOLVER ของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งนริศรา นาคะเมฆ, รัตนศิริ ท้วมยัง, พันธวิวานนท์ จันทะคุณ, วรทัภพ ธภัทรสุวรรณ, ธัชชัย เทพกรณ์	31-50
การพัฒนาเครื่องทပ်แบนขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมในแนวนอนธนภรณ์ อินชูใจ, ชัชฤทธิ์ บุญมีโพธิ์, กฤษฏา อ้นอ้าย	51-60
การพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตากสรวิศ ใจเถิน, พิทักษ์ จันโอด, อภินันท์ ธรรมธีระศิษฏ์, เอกรัฐ ปัญญาเทพ	61-74
การออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปสำหรับต้นแบบบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญ้าคาสดศุภชัย อัครนรากุล, อติเรก ชัยนวกุล	75-88
การพัฒนาระบบจัดการคิวของโรงพยาบาลสำหรับหลายจุดบริการด้วยการเรียงลำดับแบบเข้าก่อน-ออกก่อนและตัวระบุเอกลักษณ์กรณีศึกษาโรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ในจังหวัดพิจิตรณัฐชนน ทองดี, นพดล สีสุข, วনারัตน์ จุฬพันธ์ทอง	89-100
การจัดเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการเข้ารับพัสดุที่บ้านลูกค้าและสาขาแฟรนไชส์ไปยังศูนย์รวมสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง	101-117



.....เนตรนภา จ้อยคลัง, วิลาวลัย สวนสิงห์, พัชรามร ทองทับ,
วรัทภาพ ธภัทรสุวรรณ, ธัชชัย เทพกรณ์



การออกแบบเทคนิคครีบบนสำหรับประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์พลาสติก
ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
DESIGN TECHNIQUES FOR RIBS TO ENHANCE THE EFFICIENCY
OF BIODEGRABLE PLASTIC PRODUCTS

ธีรวัฒน์ แสงภาศ, ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง*

Teerawat Sangkas, Supasit Manokruang*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50300

Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Mueang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*Corresponding author e-mail: supasit.m@rmutl.ac.th

วันที่เข้าระบบ 15 มีนาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 23 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 25 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์พลาสติกซ้อนและล้อม โดยการออกแบบเสริมครีบบน (Rib) ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) เพื่อประเมินความแข็งแรงก่อนการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ผลิตภัณฑ์พลาสติกซ้อนและล้อมออกแบบมีความหนา (T) 3 mm ความสูงครีบบน (h) 1.5 mm มุมเอียงของครีบบน (α) 0.5° รัศมีฐานของครีบบน (r) 1.5 mm ความหนา (t) 1.5 mm ผลการวิเคราะห์ FEA เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์กรณีศึกษาที่ 1 ไม่มีเสริมกรณีศึกษาที่ 2 มีครีบบนเสริม พบว่าผลิตภัณฑ์ซ้อนที่มีครีบบนเสริมมีค่าความเค้นสูงสุด (Max. Stress) ลดลง 50% ความเครียดสูงสุด (Max. Strain) ลดลง 68% และการกระจัดสูงสุด (Displacement) ลดลง 31% ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ล้อมที่มีครีบบนเสริมมีค่าความเค้นและความเครียดสูงสุดเพิ่มขึ้น 34% และ 80% ตามลำดับ แต่การกระจัดสูงสุดลดลง 13% การวิเคราะห์ FEA แสดงให้เห็นว่าการเสริมครีบบนช่วยกระจายแรงและลดความเสี่ยงต่อการเสียหายในบางบริเวณของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจทำให้เกิดการรวมตัวของความเค้นในบริเวณอื่น ดังนั้น การออกแบบครีบบนเสริมจึงต้องคำนึงถึงการกระจายแรงอย่างสมดุล การนำเทคนิคการเสริมครีบบนและการวิเคราะห์ FEA มาใช้ร่วมกันช่วยให้สามารถปรับปรุงการออกแบบผลิตภัณฑ์ ลดเวลาและต้นทุนในการผลิตแม่พิมพ์ และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้

คำสำคัญ: ครีบบนเสริม, ผลิตภัณฑ์พลาสติก, แม่พิมพ์พลาสติก, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, พลาสติกชีวภาพ

Abstract

This research focuses on enhancing the strength of plastic spoon and fork products through rib design in conjunction with Finite Element Analysis (FEA) to evaluate structural strength prior to injection mold production. The designed spoon and fork have a thickness (T) of 3 mm, rib height (h) of 1.5 mm, rib angle (α) of 0.5°, rib base radius (r) of 1.5 mm, and rib thickness (t) of 1.5 mm. FEA results compare two cases: Case 1 without reinforcement and Case 2 with reinforced ribs. The analysis revealed that the spoon with rib reinforcement exhibited a 50% reduction in maximum stress, a 68% reduction in maximum strain, and a 31% reduction in maximum displacement. In contrast, the fork with rib reinforcement showed increases in maximum stress and strain by 34% and 80%, respectively, while maximum displacement decreased by 13%. The FEA results indicate that rib reinforcement can help distribute forces more evenly and reduce the risk of failure in certain areas. However, it may also lead to stress concentration in other regions. Therefore, rib design must ensure balanced force distribution. Integrating rib reinforcement techniques with FEA can improve product design, shorten mold production time, reduce costs, and enhance manufacturing efficiency.

Keywords: Rib design, Plastic product, Plastic injection molding, Finite element analysis, Biodegradable plastic

1. บทนำ

อุตสาหกรรมแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกเป็นอุตสาหกรรมหลักของการผลิตชิ้นส่วนพลาสติกหลากหลายประเภท อาทิเช่น อุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้า และอุปกรณ์ทางการแพทย์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม อุตสาหกรรมนี้ต้องเผชิญกับความท้าทายกับการแข่งขันที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว การรักษาคุณภาพของทีมงานจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก

การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกมีหลากหลายเทคนิคที่ใช้ในการออกแบบ อาทิเช่น การทำมุมเอียง (Draft angle) ของผนัง การทำโค้ง (Radius) บริเวณขอบหรือสัน ของผลิตภัณฑ์ และการเสริมครีป (Rib) เป็นต้น (Jaiswal *et al.*, 2023) การออกแบบด้วยวิธีการครีป (Rib) เป็นเทคนิคสำคัญในการเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานให้กับผลิตภัณฑ์พลาสติก โดยไม่ต้องเพิ่มความหนาของผนังโดยรวม ซึ่งช่วยลดการใช้วัสดุและลดต้นทุนการผลิต ครีปทำหน้าที่กระจายแรงและลดการโก่งตัวของชิ้นงาน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงและทนทานมากขึ้น (Zhang, 2017 และ Kazmer, 2024)

ประเภทของครีบบีมีหลากหลาย เช่น ครีบตรง ครีบโค้ง และครีบไขว้ (Yoon *et al.*, 2018) ซึ่งแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน การออกแบบครีบที่ดีต้องคำนึงถึงขนาด ตำแหน่ง และรูปทรงที่เหมาะสม เพื่อป้องกันปัญหาการรอยยุบตัว (Sink mark) และการไหลของพลาสติก (Flow mark) ที่ไม่สมบูรณ์ (Ma *et al.*, 2021 และ Mourya *et al.*, 2023) การนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Finite Element Analysis) เข้ามามีส่วนร่วมพยากรณ์การออกแบบผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น การทดสอบการรับน้ำหนัก การรับแรง และการเสียหาย เป็นต้น เป็นการช่วยสนับสนุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้สามารถใช้งานตามวัตถุประสงค์ อีกทั้งยังลดเวลาในการทดสอบ เวลาการผลิตได้อีกทางด้วยเช่นกัน (Liu *et al.*, 2012 & Aksen *et al.*, 2020)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการนำเทคนิคการเสริมครีบ (Rib) เข้ามาเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อมจากวัสดุพลาสติกชีวภาพ (Biodegradable plastic) (Gorrepotu *et al.*, 2022) ที่สามารถย่อยสลายได้ ยังคำนึงถึงการใช้งานของผลิตภัณฑ์ โดยนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Analysis) เข้ามามีส่วนร่วมในการวิเคราะห์ความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม เพื่อช่วยการออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก ลดเวลาในการปรับแก้ไขของแม่พิมพ์ได้ด้วยเช่นกัน

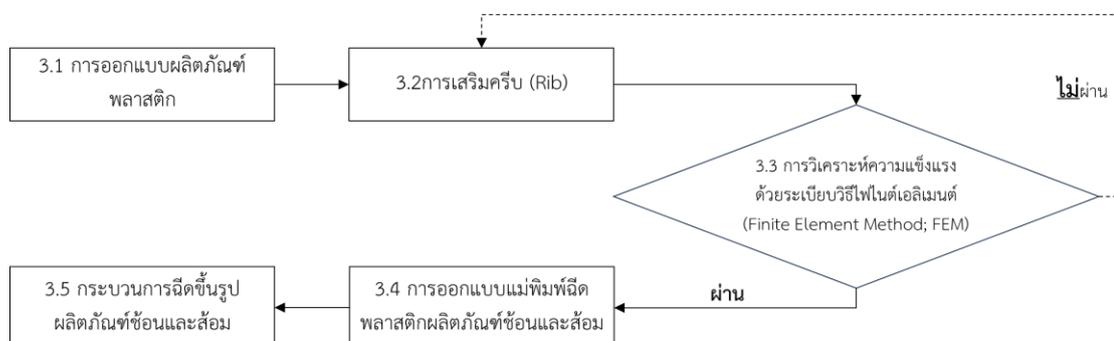
2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกช้อนและส้อมโดยการออกแบบเสริมครีบ (Rib) ร่วมกับการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.2 เพื่อเสริมความแข็งแรงผลิตภัณฑ์พลาสติกช้อนและส้อม

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

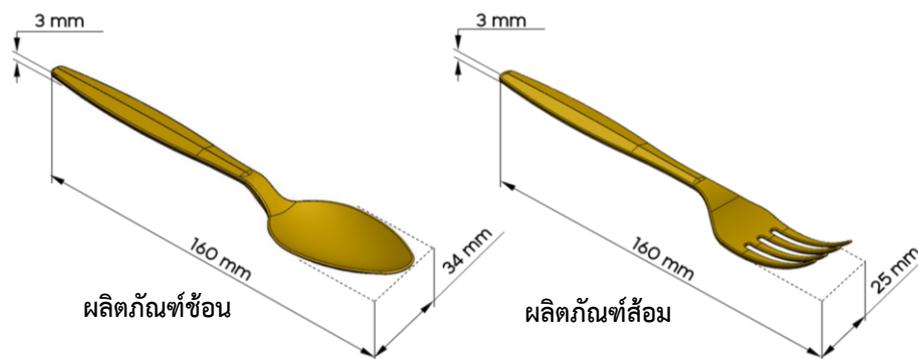
การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอน แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก

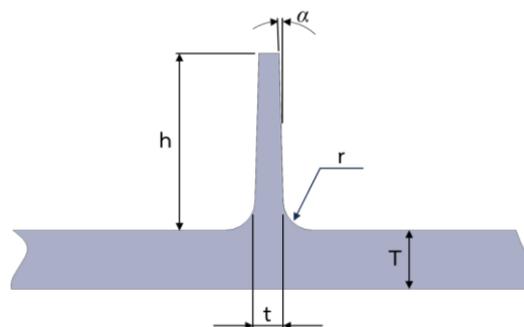
การออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติกเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงการใช้งานของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน สำหรับงานวิจัยนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการออกแบบคือ ช้อนและส้อม ด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer-aided design: CAD) ด้วยโปรแกรม Autodesk fusion 360 (Coward, 2019) ดังภาพที่ 2 แสดงขนาดของผลิตภัณฑ์ช้อน (กว้างxยาวxหนา) 34x160x3 mm และขนาดของผลิตภัณฑ์ส้อม (กว้างxยาวxหนา) 25x160x3 mm หน้าที่การทำงานต้องสามารถรับน้ำหนักของอาหาร และไม่เกิดการเสียหายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นการออกแบบต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของการรับน้ำหนักอาหาร จึงนำหลักการออกแบบครีป (Rib) (Zhang *et al.*, 2017) เข้ามามีส่วนช่วยในการออกแบบในครั้งนี้



ภาพที่ 2 ขนาดผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

3.2 การเสริมครีป (Rib)

การออกแบบเสริมครีป (Rib) เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบผลิตภัณฑ์พลาสติก มีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมความแข็งแรง การกระจายน้ำหนัก และลดการโก่งงอ (Warpage) (Yoon *et al.*, 2018) ให้กับผลิตภัณฑ์ โดยมีหลักการออกแบบดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 หลักการออกแบบขนาดของการเสริมครีป (Rib) (ที่มา: Rosato *et al.*, 2012)

เมื่อ ความหนาสูงสุดของผนังผลิตภัณฑ์ (T) มุมเอียง (α) คือ 0.5° รัศมีฐานของครีบริบ (r) คือ $0.5T$ ความหนา (t) คือ $\leq 0.5T$ และความสูง (h) ของครีบริบ คือ $\leq 3T$ เพื่อใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์

3.3 การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method; FEA)

การวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) (Lai *et al.*, 2018) ใช้เพื่อจำลองและประเมินความแข็งแรงของชิ้นและส้อมพลาสติกภายใต้เงื่อนไขการใช้งานต่างๆ โดยการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ กำหนดคุณสมบัติวัสดุ สร้างตาข่ายไฟไนต์เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยม กำหนดเงื่อนไขขอบเขต และวิเคราะห์การกระจายความเค้นและความเครียด เพื่อตรวจสอบว่าผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงเพียงพอต่อการใช้งานหรือไม่ ตามสมการที่ 1 (วีระยุทธ, 2559) การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ด้วยโปรแกรม Autodesk Fusion 360 (Land K., 2023) ในการทดสอบ ดังสมการที่ 1

$$[k]\{u\} = \{F\} \quad (1)$$

เมื่อ k คือ เมตริกซ์ความแข็งแรงของ Element

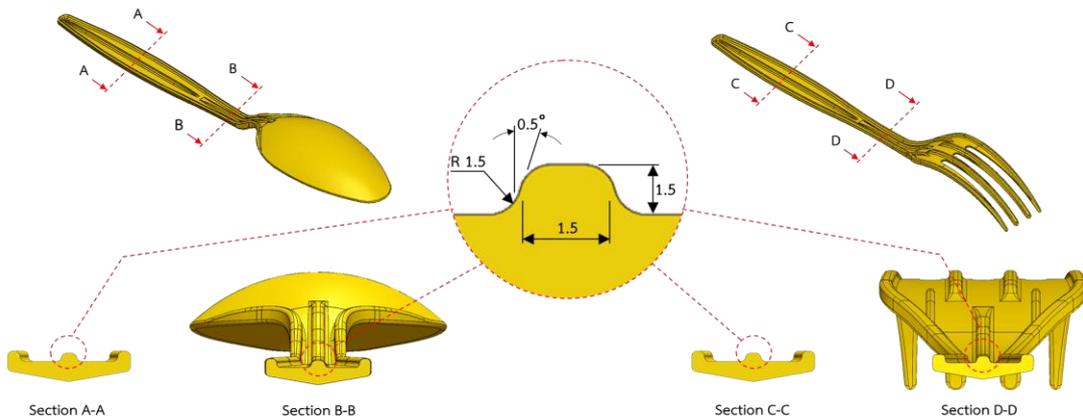
u คือ การเคลื่อนที่ของ Node

F คือ ค่าแรงที่กระทำต่อเอลิเมนต์ (Element)

สมการที่ได้อยู่ในรูปของตัวแปรของสมการเมตริกซ์ (Matrix) จากนั้นนำไปคำนวณจนได้ค่าการเคลื่อนที่ของ Node displacement ทำให้ได้ค่าของ ความเค้น (Stress) และความเครียด (Strain) ที่เกิดขึ้น

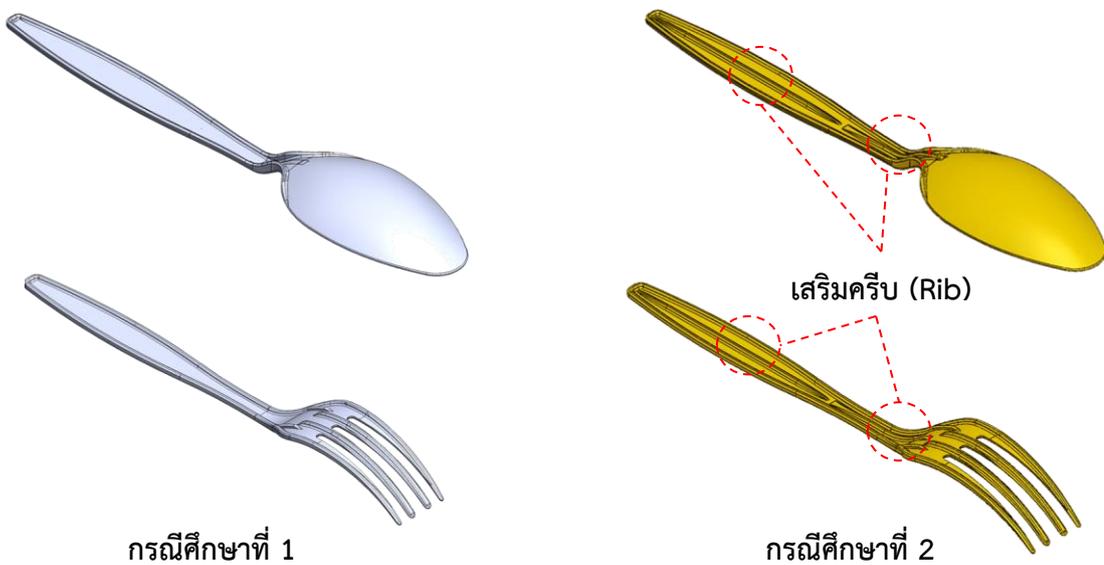
3.4 การเสริมครีบริบ (Rib) ร่วมกับผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อม

การนำหลักการเสริมครีบริบร่วมกับผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อม ตำแหน่งที่ทำการเสริมครีบริบอยู่บริเวณด้าม (Section A-A, C-C) เนื่องจากเป็นส่วนที่สัมผัสรับแรงจากผู้ใช้งาน และบริเวณดักอาหารรับน้ำหนักของอาหาร (Section B-B, D-D) ความหนาสูงสุดของผนังผลิตภัณฑ์ (T) คือ 3 mm ดังนั้นขนาดความสูงครีบริบ (h) คือ 1.5 mm มุมเอียง (α) คือ 0.5° รัศมีฐานของครีบริบ (r) คือ 1.5 mm ความหนา (t) คือ 1.5 mm แสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเสริมครีบริบ (Rib) ในผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม 2 กรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาที่ 1 ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อมไม่มีการเสริมครีบริบ (Rib) และกรณีศึกษาที่ 2 ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อมเสริมครีบริบ (Rib) แสดงดังภาพที่ 5



กรณีศึกษาที่ 1

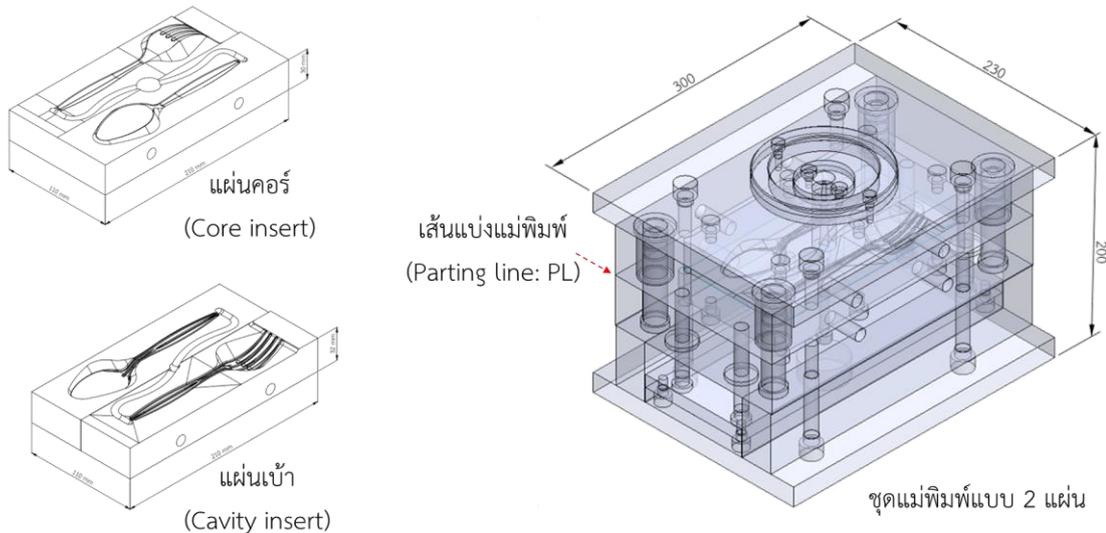
กรณีศึกษาที่ 2

ภาพที่ 5 กรณีศึกษาที่ 1 ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม ไม่มีการเสริมครีบริบ (Rib) และกรณีศึกษาที่ 2 ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม เสริมครีบริบ (Rib)

3.5 การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

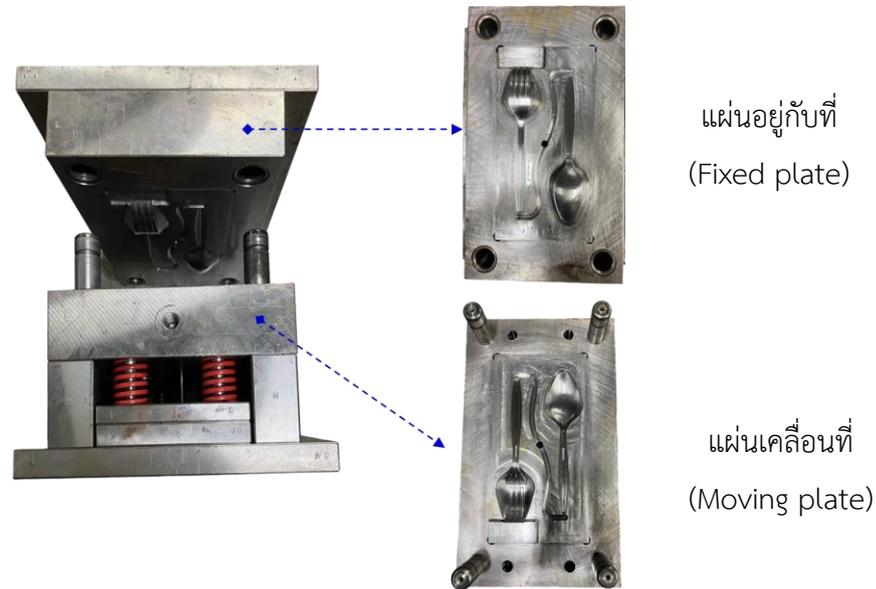
การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกประเภทแม่พิมพ์แบบ 2 แผ่น (2-Plate mould) (Moayyedian *et al.*, 2015 และ Yusof *et al.*, 2018) มีเส้นแบ่งแม่พิมพ์ (Parting line: PL) 1

แนวเปิดแม่พิมพ์ (Hou *et al.*, 2018) บริเวณขอบผลิตภัณฑ์ซ้อนและซ้อน การวางตำแหน่ง (Cavity layout) แบบ 2 เบ้า (Cavity) (Mahshid *et al.*, 2021) และตำแหน่งการวางผลิตภัณฑ์แบบสลับ เพื่อรักษาแรงดันปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) ให้มีความสมดุลในระหว่างกระบวนการฉีด (Xu *et al.*, 2021) และขนาดแม่พิมพ์ฉีด (กว้างxยาวxสูง) คือ 230x300x200 mm แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผ่นคอร์ (Core insert) แผ่นเบ้า (Cavity insert) และขนาดชุดแม่พิมพ์แบบ 2 แผ่น พร้อมแนวเส้นแบ่งแม่พิมพ์ (Parting line: PL)

แม่พิมพ์แบบ 2 แผ่นของผลิตภัณฑ์ซ้อนและซ้อน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) แผ่นอยู่กับที่ (Fixed plate) ทำหน้าที่รับน้ำพลาสติกจากหัวฉีด (Nozzle) ของเครื่องฉีดพลาสติก HYF-1000 ไม่มีการเคลื่อนที่ 2) แผ่นเคลื่อนที่ (Moving plate) ทำหน้าที่เคลื่อนที่ เปิด-ปิดแม่พิมพ์ เพื่อปลดผลิตภัณฑ์ซ้อนและซ้อนออกจากแม่พิมพ์ของแต่ละรอบการผลิต แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผ่นอยู่กับที่ (Fixed plate) และ แผ่นเคลื่อนที่ (Moving plate)
ของแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบ 2 แผ่น ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

3.6 กระบวนการฉีดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

3.6.1 เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น HYF-1000

เครื่องฉีดพลาสติก รุ่น HYF-1000 แบบแนวนอน (Horizontal injection molding machine) ดังภาพที่ 8 มาใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตสินค้าหรือบรรจุภัณฑ์พลาสติกประเภทต่างๆ หลักการทำงานของเครื่องฉีดคือ นำเม็ดพลาสติกใส่ในกรวยวัสดุ (Hopper) จากนั้นเกลียวลำเลียงวัสดุผ่านอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) และเมื่อถึงอุณหภูมิหลอมเหลวของแต่ละวัสดุ ฉีดเข้าสู่แม่พิมพ์ (Kazmer, 2022) รายละเอียดของเครื่องฉีดพลาสติก HYF-1000 ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 8 เครื่องฉีดพลาสติกรุ่น รุ่น HYF-1000 (ที่มา: คู่มือเครื่องฉีดพลาสติก HYF-1000, 2557)

ตารางที่ 1 รายละเอียดของเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น HYF-1000

ระบบ	รายการ	ค่า	หน่วย
ระบบฉีด	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสกรู	35	mm
	ปริมาตรฉีดสูงสุด	160	cm ³
	แรงดันฉีดสูงสุด	1,835	kg/cm ²
	อัตราความเร็วฉีด	90	cm ³ /s
ระบบยัดแม่พิมพ์	ความเร็วรอบของสกรู	0-200	rpm
	ขนาดสูงสุดของแม่พิมพ์	360 x 315	mm
	แรงยัดแม่พิมพ์สูงสุด	100	Ton
	ระยะเปิดแม่พิมพ์สูงสุด	305	mm

ที่มา: คู่มือเครื่องฉีดพลาสติก HYF-1000, 2557

3.6.2 คุณสมบัติวัสดุสำหรับการทดลอง

วัสดุเป็นปัจจัยหลักของการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชิ้นงานและสีอม โดยการทดลองนี้เลือกใช้วัสดุพลาสติกชีวภาพ (Biodegradable material) มีส่วนประกอบระหว่างพอลิแลคติกแอซิด (Polylactic acid: PLA) (Taib *et al.*, 2023) และฟางข้าว (Singh *et al.*, 2024) โดยมีพารามิเตอร์ของการปรับฉีด แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุวัสดุพลาสติกชีวภาพ (Biodegradable material)

รายการ	ตัวย่อ	ค่า	หน่วย
1. ความหนาแน่น	ρ	1.25	g/cm ³
2. อุณหภูมิหลอมเหลว	T_m	185-180	°C
3. อุณหภูมิแม่พิมพ์	T_w	50-80	°C
4. อัตราการไหล		5.9-8.46	g/10min
5. อัตราการหดตัว		0.3	%

ที่มา: Farah *et al.*, 2016

3.6.3 ความดันฉีด (Injection pressure)

งานฉีดพลาสติกความดันฉีดเกิดจากต้นกำลังความดันกระบอกไฮดรอลิกส์และส่งผ่านความดันที่ปลายเกลียวหนอนของหัวฉีด (Nozzle) โดยความดันที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณ ดังสมการที่ 2 (ดำรง, 2536)

$$P_2 = \frac{P_1 \times A_1}{A_2} \quad (2)$$

เมื่อ	P_2	คือ	ความดันฉีดที่ปลายเกลียวหนอน (bar)
	P_1	คือ	ความดันของไฮดรอลิกส์ (bar)
	A_1	คือ	พื้นที่หน้าตัดของกระบอกสูบไฮดรอลิกส์ (cm ²)
	A_2	คือ	พื้นที่หน้าตัดของเกลียวหนอน (cm ²)

โดยที่ ความดันของกระบอกไฮดรอลิกส์ (P_1) คือ 120 bar ลูกสูบไฮดรอลิกส์เส้นผ่านศูนย์กลาง 12 cm พื้นที่หน้าตัดไฮดรอลิกส์ (A_1) คือ 113.10 cm² และเส้นผ่านศูนย์กลางเกลียวหนอน 3.5 cm พื้นที่หน้าตัดเกลียวหนอน (A_2) คือ 9.6 cm² ดังนั้น ความดันฉีดที่ปลายเกลียวหนอน (P_2) คือ 1,413.75 \approx 1,414 bar

3.5.4 แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force)

แรงปิดแม่พิมพ์มีส่วนสำคัญอย่างมากของกระบวนการฉีดพลาสติก เพื่อต้านแรงดันของพลาสติกที่เข้าสู่แม่พิมพ์ ถ้าแรงปิดแม่พิมพ์น้อยกว่าแรงดันที่เกิดขึ้นในแม่พิมพ์จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ เช่น การยุบตัว (Sink mark) และการเกิดครีบ (Flashing defect) เป็นต้น (Mourya *et al.*, 2023) ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์ สมการแรงปิดแม่พิมพ์แสดงในสมการที่ 3

$$F = P \times A \quad (3)$$

เมื่อ	F	คือ	แรงปิดแม่พิมพ์ (Ton)
	P	คือ	แรงดันฉีด (kgf/cm ²)
	A	คือ	พื้นที่ภาพฉายของผลิตภัณฑ์ (cm ²)

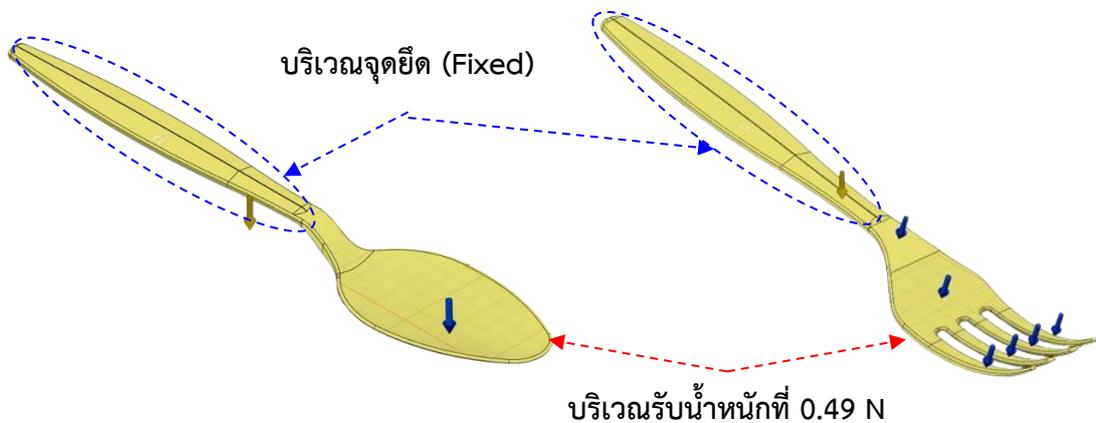
โดยค่าของแรงดันฉีด (P) ได้จากการเปิดตารางคุณสมบัติของวัสดุพอลิแลกติกแอซิด (PLA) มีค่า 703 kgf/cm² (Poszwa *et al.*, 2019) พื้นที่ภาพฉายของผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อม อีกทั้งรวมถึงพื้นที่ของทางวิ่ง (Runner) คือ 148.44 cm² ดังนั้นแรงปิดแม่พิมพ์ (F) คือ 847.44 \approx 848 Ton

และเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องฉีดพลาสติก รุ่น HYP-1000 โดย กำลังแรงดันฉีดของเครื่องอยู่ที่ $1,835 \text{ kg/cm}^2 \approx 1,799 \text{ bar}$ (เนื่องจาก $1.02 \text{ kg/cm}^2 = 1 \text{ bar}$)

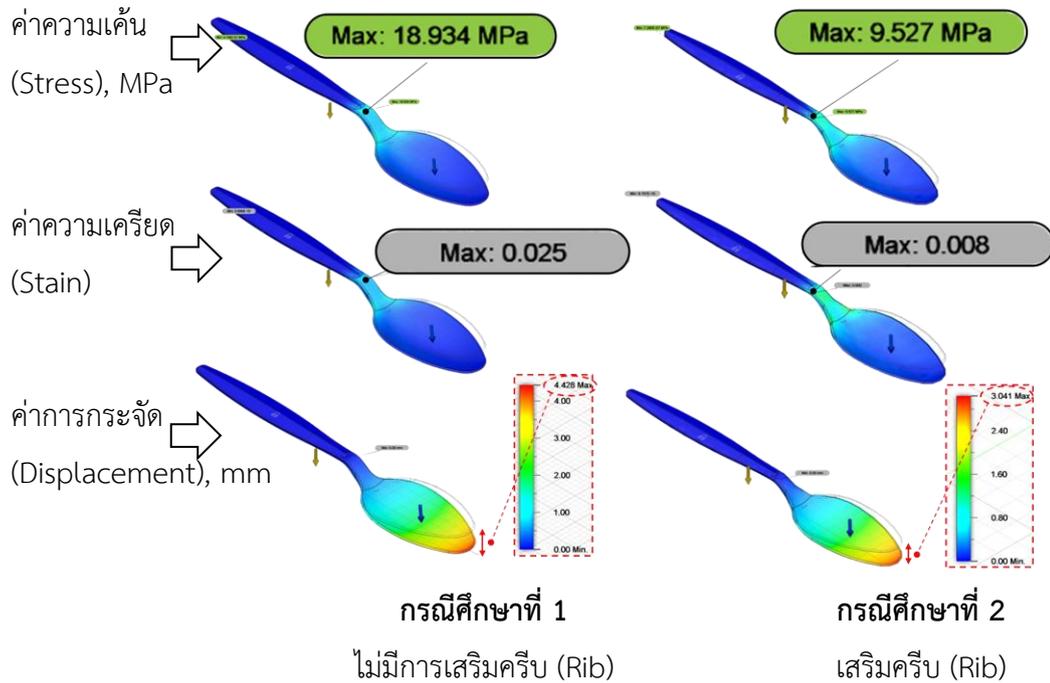
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ความแข็งแรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

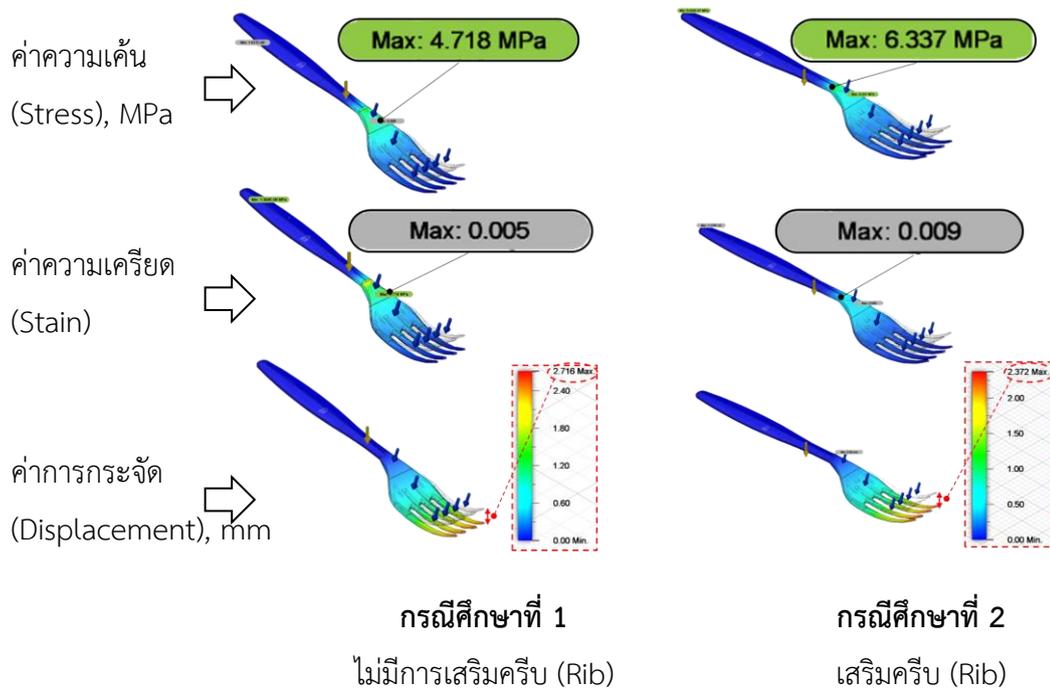
การหาน้ำหนักที่ทำการทดสอบอ้างอิงการทดสอบจริง โดยตัวอย่างการทดลองในการดักข้าวหุงสุก อยู่ที่ 10 g/ครั้ง ดังนั้นในการจำลองด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) น้ำหนักของอาหารอยู่ที่ 50 g/ครั้ง หรือ 0.49 N เนื่องจากมีการเผื่อค่าความปลอดภัย (Safety Factor) ที่ 5 เท่าของน้ำข้าวหุงสุก และกำหนดจุดยึด (Fixed) บริเวณด้านของผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม แสดงดังภาพที่ 9 ในภาพที่ 10-11 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) และผลการเปรียบเทียบ ค่าความเค้น (Stress) ค่าความเครียด (Strain) และค่าการกระจัด (Displacement) ของกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ตามตารางที่ 3



ภาพที่ 9 ตำแหน่งบริเวณจุดยึด (Fixed) และการรับน้ำหนักของอาหาร



ภาพที่ 10 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ของผลิตภัณฑ์ช้อน



ภาพที่ 11 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ของผลิตภัณฑ์ส้อม

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบกรณีศึกษาที่ 1 ผลิตรัศมีซี่งอนและส้อมไม่มีการเสริมครีบ (Rib) และกรณีศึกษาที่ 2 ผลิตรัศมีซี่งอนและส้อมเสริมครีบ (Rib) ของผลิตรัศมีซี่งอนและส้อม

กรณีสึกษา	กรณีสึกษาที่ 1		กรณีสึกษาที่ 2		ผลต่าง (กรณีสึกษาที่ 1- กรณีสึกษาที่ 2)			
	ซี่งอน	ส้อม	ซี่งอน	ส้อม	ซี่งอน	%	ส้อม	%
ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress), MPa	18.934	4.718	9.527	6.337	9.407	50%	1.619	-34%
ค่าความเครียด (Max. strain)	0.025	0.005	0.008	0.009	0.017	68%	0.004	-80%
ค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement), mm	4.428	2.716	3.041	2.372	1.387	31%	0.344	13%

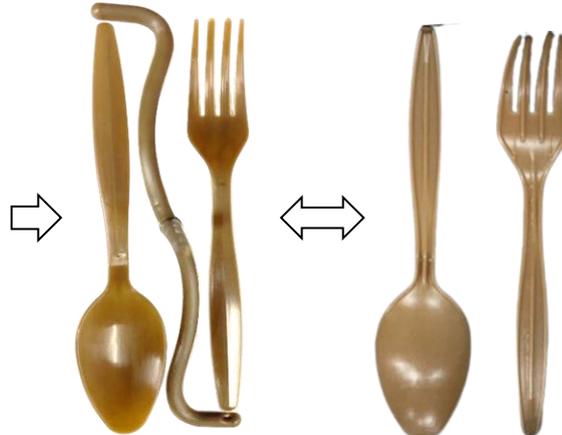
พบว่าค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) ของผลิตรัศมีซี่งอน ที่เกิดขึ้นของกรณีสึกษาที่ 1 อยู่ ที่ 18.934 MPa เปรียบเทียบกับ กรณีสึกษาที่ 2 อยู่ที่ 9.527 MPa มีผลต่าง คือ 9.407 MPa (50 %) ค่าความเครียดสูงสุด (Max. Strain) ของกรณีสึกษาที่ 1 อยู่ที่ 0.025 กรณีสึกษาที่ 2 อยู่ที่ 0.008 มีผลต่าง 0.017 (68 %) และ ค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) ของกรณีสึกษาที่ 1 อยู่ที่ 4.428 mm กรณีสึกษาที่ 2 อยู่ที่ 3.041 mm มีผลต่าง 1.387 mm (31%) ในส่วนผลของการ เปรียบเทียบผลิตรัศมีส้อม ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) ของกรณีสึกษาที่ 1 อยู่ที่ 4.718 MPa เปรียบเทียบกับ กรณีสึกษาที่ 2 อยู่ที่ 6.337 MPa มีผลต่าง คือ 1.619 MPa (-34 %) ค่าความเครียด สูงสุด (Max. strain) ของกรณีสึกษาที่ 1 อยู่ที่ 0.005 กรณีสึกษาที่ 2 อยู่ที่ 0.009 มีผลต่าง 0.004 (-80 %) และ ค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) ของกรณีสึกษาที่ 1 อยู่ที่ 2.716 mm กรณีสึกษาที่ 2 อยู่ที่ 2.372 mm มีผลต่าง 0.344 mm (13%)

4.3 แม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบ 2 แผ่น และพารามิเตอร์ปรับฉีดผลิตรัศมีซี่งอนและส้อม

กระบวนการปรับฉีดของผลิตรัศมีซี่งอนและส้อม แสดงต่างภาพที่ 12 และพารามิเตอร์ของ การปรับฉีดแสดงต่างตารางที่ 4



กระบวนการฉีด



ด้านหน้า

ด้านหลัง

ผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

ภาพที่ 12 กระบวนการฉีดของผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ของการปรับฉีดผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อม

รายการ	หน่วย	ค่าที่จากคำนวณ	ค่าใช้จริง	ผลต่าง (%)
1. ความดันฉีด	bar	1,414	1,500	6%
2. แรงปิดแม่พิมพ์	bar	848	850	0.2%
3. ปริมาณในการฉีด	g	18.5	20	8%
4. เวลาในการฉีด	sec	25	32	12%

ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นค่าที่ได้จากการคำนวณกับค่าที่ใช้ในการปรับฉีดงานของ ความดันฉีด (Injection pressure) เพิ่มขึ้น 6% แรงปิดแม่พิมพ์ (Clamping force) เพิ่มขึ้น 2% ปริมาณในการฉีด เพิ่มขึ้น 8% และเวลาในการฉีดเพิ่มขึ้น 12% โดยสาเหตุที่การปรับฉีดเพิ่มขึ้นเกิดขึ้นหลายปัจจัย อาทิเช่น ประสิทธิภาพเครื่องจักรที่ลดลง ความชื้นภายในโรงงาน และวัสดุในการทดลอง เป็นต้น ดังนั้นค่าที่ได้จากการคำนวณเป็นการเริ่มต้นของพารามิเตอร์ปรับฉีดเพื่อลดเวลาในส่วนงานนี้

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การออกแบบผลิตภัณฑ์ช้อนและส้อมนำเทคนิคการออกแบบเสริมครีป (Rib) เข้าช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์ บริเวณด้ามและคอของส่วนช้อนและส้อมที่มีการรับน้ำหนักของอาหาร ความหนาสูงสุดของผนังผลิตภัณฑ์ (T) คือ 3 mm ดังนั้นขนาดความสูงครีป (h) คือ 1.5 mm มุมเอียง (α) คือ 0.5° รัศมีฐานของครีป (r) คือ 1.5 mm ความหนา (t) คือ 1.5 mm และได้มีการนำ



ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) เข้ามามีส่วนร่วมในการทดสอบความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ เพื่อตรวจสอบความสามารถของชิ้นและส้อมไม่เกิดความเสียหายก่อนการผลิตแม่พิมพ์ฉีดพลาสติก โดยเปรียบเทียบการออกแบบผลิตภัณฑ์เป็น 2 กรณีศึกษา คือ กรณีศึกษาที่ 1 ผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อมไม่มีการเสริมครีป (Rib) และกรณีศึกษาที่ 2 ผลิตภัณฑ์ชิ้นและส้อมเสริมครีป (Rib) ผลที่ได้ คือ ผลิตภัณฑ์ชิ้น ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 18.934 MPa กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 9.527 MPa พบว่าค่าความเค้นสูงสุด ลดลง 50% ค่าความเครียดสูงสุด (Max. Strain) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 0.025 กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 0.008 พบว่าค่าความเครียดสูงสุด ลดลง 68% และค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 4.428 mm กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 3.041 พบว่าค่าความเครียดสูงสุด ลดลง 31% ผลิตภัณฑ์ส้อม ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 4.718 MPa กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 6.337 MPa พบว่า ค่าความเค้นสูงสุด เพิ่มขึ้น 34% ค่าความเครียดสูงสุด (Max. strain) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 0.005 กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 0.009 พบว่าค่าความเครียดสูงสุด เพิ่มขึ้น 80% และ ค่าการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) กรณีศึกษาที่ 1 อยู่ที่ 2.716 mm กรณีศึกษาที่ 2 อยู่ที่ 2.372 mm พบว่าค่าความเครียดสูงสุด ลดลง 13% สามารถสรุปได้ว่า เมื่อทำการเสริมครีป (Rib) ค่าความเค้นสูงสุด (Max. stress) ความเครียดสูงสุด (Max. strain) และระยะการกระจัดสูงสุด (Max. displacement) ลดลง เนื่องจากการกระจายแรง และความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์มากขึ้น เป็นผลของการเสริมครีปให้กับผลิตภัณฑ์

ดังนั้นการนำเทคนิคการเสริมครีป (Rib) เป็นเทคนิคช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับผลิตภัณฑ์พลาสติกที่มีข้อจำกัดด้านความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ ในขณะที่นำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEA) ช่วยให้สามารถจำลองพฤติกรรมการรับแรงของผลิตภัณฑ์และตรวจสอบจุดอ่อนก่อนการผลิตแม่พิมพ์จริง ซึ่งช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดความเสียหาย การแก้ไขปัญหาของแม่พิมพ์ และปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ สำหรับเครื่องมือในการทดลอง และทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

ดำรง ไชยธีรานวัฒน์ศิริ. (2536). การออกแบบแม่พิมพ์พลาสติก. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ ซีเอ็ดดูเคชั่น.
วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล. (2559). การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกด้วยเทคนิคการจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์. *Naresuan University Engineering Journal*, 11(1), 101-109.

- ศุภสิทธิ์ มะโนเครื่อง, อติเรก ชัยนวกุล และธีรวัฒน์ แสงภาศ. (2566). การออกแบบแม่พิมพ์ฉีดพลาสติกแบบแยกข้างด้วยคอมพิวเตอร์ช่วยในงานวิศวกรรม. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 5(2), 192-206.
- Aksen, T., Sener, B., & Firat M. (2020). Failure Prediction Capability of Generalized Plastic Work Criterion. **23rd International Conference on Material Forming**, 47, 1235-1240.
- Coward, C. (2019). A Beginner's Guide to 3D Modeling: **A Guide to Autodesk Fusion 360**.
- Farah, S., Anderson, D.G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications—A comprehensive review. **Advanced drug delivery reviews**, 107, 367-392.
- Hou, B., Huang, Z., Zhou, H., & Li, D. (2018). A hybrid approach for automatic parting curve generation in injection mold design. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 95, 3985-4001.
- Jaiswal, A.K., & Afzal, A. (2023). Design optimization of prismatic rib turbulators in a rectangular channel based on multi-objective criterion. **International Journal of Thermal Sciences**, 185, 108091.
- Kazmer, D.O. (2022). Injection mold design engineering. **Carl Hanser Verlag GmbH Co KG**.
- Kazmer, D.O. (2024). **Design of plastic parts**. In **Applied plastics engineering handbook**. William Andrew Publishing.
- Lai, J.Y., Wang, M.H., Song, P.P., Hsu, C.H., & Tsai, Y.C. (2018). Recognition and decomposition of rib features in thin-shell plastic parts for finite element analysis. **Computer-Aided Design and Applications**, 15(2), 264-279.
- Land, K.M. (2023). **Improving CAD Designs with Autodesk Fusion 360: A project-based guide to modelling effective parametric designs**. Packt Publishing Ltd.
- Liu, P.F., Zhang, B.J., & Zheng, J.Y. (2012). Finite element analysis of plastic collapse and crack behavior of steel pressure vessels and piping using XFEM. **Journal of failure analysis and prevention**, 12, 707-718.
- Ma, Z., Wei, W., Zu, Y., Huang, M., Zhou, P., Shi, X., & Liu, C. (2021). A novel and simple method to improve thermal imbalance and sink mark of gate region in injection



- molding. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, 127, 105498.
- Mahshid, R., Zhang, Y., Hansen, H. N., & Slocum, A. H. (2021). Effect of mold compliance on dimensional variations of precision molded components in multi-cavity injection molding. **Journal of Manufacturing Processes**, 67, 12-22.
- Md Yusof, M., & Abu Mansor, M. S. (2018). Alternative method to determine parting direction automatically for generating core and cavity of two-plate mold using B-rep of visibility map. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 96, 3109-3126.
- Moayyedean, M., Abhary, K., & Marian, R. (2015). New design feature of mold in injection molding for scrap reduction. **Procedia manufacturing**, 2, 241-245.
- Mourya, A., Nanda, A., Parashar, K., & Kumar, R. (2023). An explanatory study on defects in plastic molding parts caused by machine parameters in injection molding process. **Materials Today: Proceedings**, 78, 656-661.
- Rosato, D.V., & Rosato, M. G. (2012). **Injection molding handbook**. Springer Science & Business Media.
- Taib, N.A.A.B., Rahman, M.R., Huda, D., Kuok, K.K., Hamdan, S., Bakri, M.K.B., & Khan, A. (2023). A review on poly lactic acid (PLA) as a biodegradable polymer. **Polymer Bulletin**, 80(2), 1179-1213.
- Xu, Y., Liu, G., Dang, K., Fu, N., Jiao, X., Wang, J., & Yang, W. (2021). A novel strategy to determine the optimal clamping force based on the clamping force change during injection molding. **Polymer Engineering & Science**, 61(12), 3170-3178.
- Yoon, T.H., Park, H., Kim, J., Jung, B., Park, S., & Byun, J. (2018). Injection molding simulation of rib arrangement consideration for reducing side part warpage of baffle plate in fuel tank. **Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A**, 42(11), 1021-1028.
- Zhang, S., & Norato, J.A. (2017). Optimal design of panel reinforcements with ribs made of plates. **Journal of Mechanical Design**, 139(8), 081403.



การคัดเลือกทรายแม่น้ำสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงาน
ในเครื่องพ่นทรายขนาดเล็ก: กรณีศึกษาพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย
RIVER SAND SELECTION FOR WORKPIECE CLEANING
IN SMALL SANDBLASTING MACHINE:
A CASE STUDY OF NORTHERN REGION OF THAILAND

ชวินทร มัยยะภักดี¹, มนตรี วิมล^{2*}

Chavinthorn Maiyapakdee¹, Montri Wimol^{2*}

¹คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ประเทศไทย 12121

²คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

¹Faculty of Public Health, Thammasat University, Rangsit Campus, Khlong Luang, Pathum Thani, Thailand, 12121

²Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: montri.m@psru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 19 มีนาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 21 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 22 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกทรายแม่น้ำสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องพ่นทรายขนาดเล็กด้วยกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical hierarchy process; AHP) และเทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for order preference by similarity to ideal solution; TOPSIS) โดยวิธีการ AHP ถูกนำไปใช้ในการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ ดังนี้ 1) ขนาดของเม็ดทราย 2) รูปร่างของเม็ดทราย 3) ราคา 4) ความพร้อมของแหล่งทรัพยากร และ 5) ความยั่งยืน ตามลำดับ หลังจากนั้นวิธีการ TOPSIS ถูกนำมาใช้คัดเลือกทรายแม่น้ำที่เหมาะสมโดยทางเลือกของแหล่งทราย ได้แก่ ทรายแม่น้ำปิง ทรายแม่น้ำน่าน ทรายแม่น้ำวัง และทรายแม่น้ำยม ผลการวิเคราะห์ พบว่า ทรายแม่น้ำปิงมีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องพ่นทรายขนาดเล็ก รองลงมาคือ ทรายแม่น้ำน่าน ในขณะที่ทรายแม่น้ำวังและแม่น้ำยมมีเหมาะสมเท่ากัน ซึ่งผลของการศึกษานี้ ผู้วิจัยหวังว่าจะเป็นแนวทางในการคัดเลือกทรายแม่น้ำที่เหมาะสมสำหรับกรณีศึกษาอื่นต่อไป

คำสำคัญ: ทรายแม่น้ำ, กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์, เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ



Abstract

This research aimed to select suitable river sand for cleaning workpieces in a small sandblasting machine by applying the Analytical Hierarchy Process (AHP) and the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS). The AHP method was used to determine the weights of the decision criteria, namely: (1) sand grain size, (2) sand grain shape, (3) price, (4) resource availability, and (5) sustainability. Subsequently, the TOPSIS method was employed to select the most appropriate river sand. The evaluated sand sources included sand from the Ping, Nan, Wang, and Yom Rivers. The analysis results indicated that Ping River sand was the most suitable for cleaning workpieces in small sandblasting machines, followed by Nan River sand. Wang and Yom River sands were found to be equally suitable. The findings of this study are expected to serve as a guideline for selecting appropriate river sand in other case studies.

Keywords: River sand, Analytical hierarchy process, Technique for order preference by similarity to ideal solution

1. บทนำ

ในปัจจุบันการพ่นทราย (Sandblasting) ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในการทำความสะอาดผิวของชิ้นงานโลหะ การเตรียมผิวชิ้นงานสำหรับการพ่นสี การชุบผิวโลหะ การเชื่อม เป็นต้น (จุฑาทิพย์ และคณะ, 2564) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการพ่นทรายจะใช้ทรายทะเลเป็นเม็ดวัสดุขัด เนื่องจากมีคุณสมบัติเหมาะสมเนื่องจากมีรูปร่างกลม ขนาดของเม็ดทรายค่อนข้างละเอียดสม่ำเสมอ และมีสิ่งปนเปื้อนน้อย แต่อย่างไรก็ตามแหล่งทรายทะเลของประเทศไทยส่วนมากอยู่ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกและพื้นที่ภาคใต้ ดังนั้นจึงทำให้ผู้ประกอบการรายย่อยตามภูมิภาคอื่น ๆ มีต้นทุนการผลิตสูงขึ้นจากการสั่งซื้อและการขนส่ง เพื่อแก้ปัญหานี้ หากผู้ประกอบการสามารถมีทางเลือกในการใช้ทรายประเภทอื่น ๆ แทนการใช้ทรายทะเลเพียงอย่างเดียว อาจช่วยให้ต้นทุนการผลิตลดลง

แหล่งทรายในประเทศไทยมีการกระจายอยู่หลายพื้นที่ โดยทรายแม่น้ำเป็นแหล่งทรายท้องถิ่นที่ได้รับความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้าง อุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา เป็นต้น นอกจากนี้ ด้วยคุณสมบัติเม็ดทรายและขนาดรูปร่างสามารถนำมาใช้ในงานหล่อโลหะได้ (ตีเพชร, 2554) จึงเป็นผลให้ผู้วิจัยมีสมมติฐานว่าทรายแม่น้ำสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุขัดในการทำทำความสะอาดชิ้นงานสำหรับเครื่องพ่นทรายขนาดเล็กได้ แต่อย่างไรก็ตามการคัดเลือกทรายแม่น้ำนั้นเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน เนื่องจากมีเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาที่หลากหลาย เช่น คุณสมบัติทางกายภาพ คุณสมบัติ

เชิงกล คุณสมบัติทางเคมี ต้นทุนวัสดุ การจัดหาวัสดุ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เป็นต้น (Wimol, 2024) นอกจากนี้แต่ละเกณฑ์อาจส่งผลต่อการตัดสินใจในระดับที่แตกต่างกัน รวมถึงอาจประกอบด้วยเกณฑ์การตัดสินใจเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ด้วยเหตุนี้ การคัดเลือกวัสดุส่วนใหญ่จึงมักประยุกต์ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ (Multiple criteria decision making; MCDM) เข้ามาช่วยในการคัดเลือกวัสดุที่เหมาะสม (Emovon & Oghenyerowwho, 2020) เช่น Kiong *et al.* (2013) ใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical hierarchy process; AHP) เลือกวัสดุที่เหมาะสมในการผลิตสกรูเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด Anojkumar *et al.* (2014) ประยุกต์ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ในการแก้ปัญหาการเลือกวัสดุท่อในอุตสาหกรรมน้ำตาล Srivastawa *et al.* (2017) ประยุกต์ใช้วิธีการ Grey-TOPSIS เลือกวัสดุที่ดีที่สุดในการทำนสบู และ Wimol (2024) ใช้วิธีการ TOPSIS คัดเลือกวัสดุที่เหมาะสมสำหรับการทำไบโอมีดัตโคนในรถตัดอ้อย จากการทบทวนวรรณกรรมในช่วงต้น พบว่า เทคนิคการเรียงลำดับตามอุดมคติ (Technique for order preference by similarity to ideal solution; TOPSIS) เป็นวิธีการตัดสินใจที่มีขั้นตอนคำนวณที่ง่ายไม่ซับซ้อนภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจที่หลากหลาย อีกทั้งยังสามารถตัดสินใจได้ทั้งเกณฑ์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ (Meethom & Koothongsumrit, 2020) แต่อย่างไรก็ตาม ในการประยุกต์ใช้วิธีการ TOPSIS จำเป็นต้องกำหนดน้ำหนักของเกณฑ์ (ถวีนภาพ และปนิทัศน์, 2560) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว การผสมผสานวิธีการ AHP กับวิธีการ TOPSIS จะสามารถลดข้อบกพร่องนี้ได้

จากสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้น งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้วิธีการ AHP และ TOPSIS ในการคัดเลือกทรายแม่น้ำสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องพ่นทรายขนาดเล็ก โดยใช้แหล่งทรายในจังหวัดภาคเหนือมาเป็นกรณีศึกษา เนื่องจากในจังหวัดภาคเหนือมีแม่น้ำสำคัญหลายสายที่ไหลผ่าน ผลการศึกษาครั้งนี้จะเป็นแนวทางแก่ผู้ประกอบการในท้องถิ่นหรืออุตสาหกรรมขนาดเล็กเพื่อเลือกทรายแม่น้ำสำหรับใช้ในงานด้านอื่น ๆ รวมถึงสนับสนุนการใช้ทรัพยากรภายในท้องถิ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อคัดเลือกทรายแม่น้ำสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องพ่นทรายขนาดเล็กในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 กำหนดเกณฑ์และทางเลือกในการตัดสินใจ

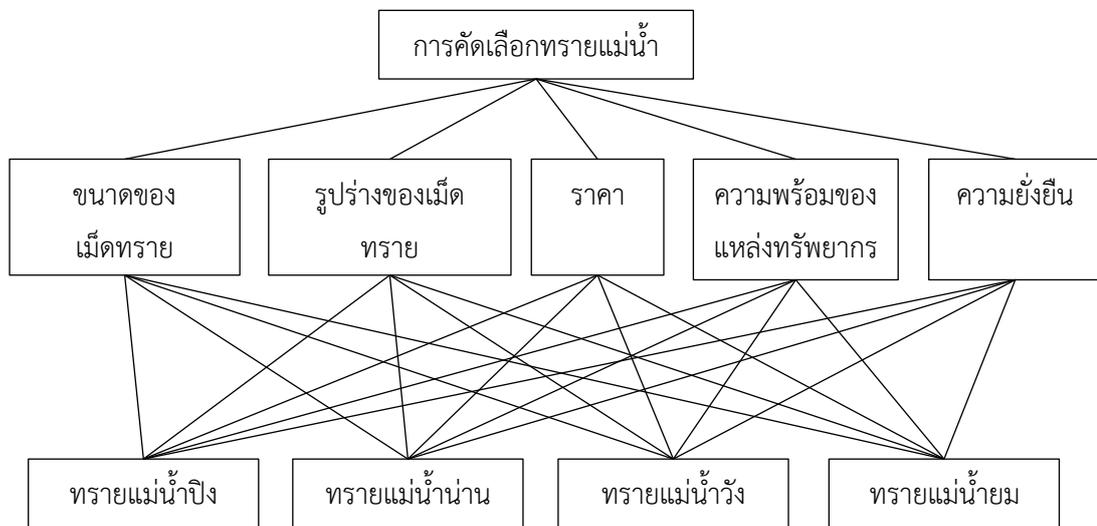
สำหรับงานวิจัยนี้ได้กำหนดเกณฑ์การตัดสินใจจากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่านที่มีประสบการณ์ในการพ่นทรายอย่างน้อย 5 ปี พบว่า ทรายแม่น้ำ

ที่นำมาใช้ในการพันทรายควรมีขนาดเล็ก เพื่อสามารถทำความสะอาดชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รูปร่างของเม็ดทรายควรมีรูปร่างที่ไม่กลมเกินไป และควรให้ความสำคัญกับความยั่งยืน โดยการใช้ทรัพยากรจากธรรมชาตินี้ต้องไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และไม่ก่อให้เกิดปัญหาอนาคต ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การตัดสินใจในการคัดเลือกทรายแม่น้ำ

เกณฑ์การตัดสินใจ	คำอธิบาย
ขนาดของเม็ดทราย (C1)	เส้นผ่านศูนย์กลางของเม็ดทรายแต่ละเม็ดที่วัดผ่านจำนวนช่องตาข่ายในตะแกรงสำหรับกรองทราย
รูปร่างของเม็ดทราย (C2)	ลักษณะทางกายภาพของเม็ดทรายแต่ละเม็ด
ราคา (C3)	ราคาโดยประมาณของทราย ณ ปัจจุบัน
ความพร้อมของแหล่งทรัพยากร (C4)	ความสามารถในการเข้าถึงและการจัดหาวัสดุ เพื่อนำมาใช้งาน
ความยั่งยืน (C5)	การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ โดยที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม หรือปัญหาในอนาคต

ในการพิจารณาเลือกทรายแหล่งทรายที่มีความเหมาะสม ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลที่สำคัญต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับแหล่งทรายในจังหวัดภาคเหนือ พบว่า แหล่งทรายขนาดใหญ่ของภาคเหนือ คือ ทรายแม่น้ำปิง (A1) แม่น้ำน่าน (A2) แม่น้ำวัง (A3) และแม่น้ำยม (A4) ซึ่งแหล่งทรายแม่น้ำปิงนั้นมีปริมาณการผลิตที่สูงที่สุดจากแหล่งทรายในจังหวัดภาคเหนือทั้งหมด โครงสร้างลำดับชั้นการตัดสินใจถูกสร้างขึ้นด้วยเกณฑ์การตัดสินใจและทางเลือก ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภาพลำดับชั้นการตัดสินใจในการคัดเลือกทรายแม่น้ำ

3.3 กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP)

AHP ได้รับการพัฒนาโดย Saaty (1977) ซึ่งเป็นวิธีการตัดสินใจที่มีเกณฑ์การตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ โดยช่วยให้สามารถประเมินและจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์และทางเลือกต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังสามารถบูรณาการเกณฑ์ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพในการตัดสินใจ ทำให้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลภายใต้บริบทที่มีซับซ้อน (Vidal *et al.*, 2011) ขั้นตอนต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับ AHP มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลด้วยแบบสอบถาม AHP

สร้างแบบสอบถามเพื่อรวบรวมข้อมูลสำหรับการเปรียบเทียบแบบรายคู่ จากนั้นผู้เชี่ยวชาญในด้านการพนทราย 3 ท่าน ถูกขอให้ตัดสินใจโดยใช้มาตราส่วนของ Saaty ดังแสดงในตารางที่ 2 เมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบรายคู่รวมถูกสร้างขึ้นจากการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric mean) เมทริกซ์รวมจะให้คำตอบโดยรวมเมื่อพิจารณาความคิดเห็นผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด ซึ่งจะช่วยให้บรรลุผลลัพธ์ที่ดีกว่าทั่วไปมากขึ้น (Karam *et al.*, 2021)

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ

ขั้นแรก เปลี่ยนเมทริกซ์ให้เป็นแบบปกติ (Normalization) เมทริกซ์รวม N จะถูกดำเนินการ โดยแต่ละ n_{ij} ของ N ถูกคำนวณดังต่อไปนี้

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^h a_{ij}} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, h\} \quad (1)$$

เมื่อ $\sum_{i=1}^h a_{ij}$ แสดงถึงผลรวมของคอลัมน์ j

ขั้นที่สอง น้ำหนักสัมพัทธ์ของเกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์หาได้ค่าเฉลี่ยของแถวในเมทริกซ์ปกติ น้ำหนักของเกณฑ์ i โดย w_i ถูกคำนวณดังนี้

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^h n_{ij}}{h} \quad \forall i \in \{1, \dots, h\} \quad (2)$$

หมายเหตุ $\sum_{j=1}^h w_i$ ต้องเท่ากับ 1

ตารางที่ 2 มาตรฐานของ Saaty

คำอธิบาย	ระดับของความสำคัญ
มีความสำคัญเท่ากัน	1
มีความสำคัญกว่า	3
มีความสำคัญมากกว่า	5
มีความสำคัญมากกว่ามาก	7
มีความสำคัญมากกว่าอย่างยิ่ง	9
ค่ากลางระหว่างระดับของความสำคัญที่อธิบายมาในข้างต้น	2, 4, 6, 8

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบความสอดคล้องของเมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบรายคู่

เพื่อหลีกเลี่ยงคำตอบที่ไม่สอดคล้องกันในแบบสอบถาม การทดสอบความสอดคล้องถูกทดสอบสำหรับแต่ละเมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบรายคู่ (A) Saaty (1990) ใช้ปัจจัยสามประการสำหรับการทดสอบความสอดคล้องกัน ได้แก่ ดัชนีความสอดคล้อง (CI) ดัชนีความสอดคล้องแบบสุ่ม (RCI) และอัตราส่วนความสอดคล้อง (CR) โดยเริ่มจากค่านวนค่า CI สำหรับแต่ละเมทริกซ์ ดังนี้

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - h}{h} \quad (3)$$

เมื่อ λ_{\max} คือ Eigenvalue สูงสุด โดย Eigenvalue คำนวนได้จากเมทริกซ์ A และเวกเตอร์นำหน้าของเกณฑ์การตัดสินใจ

จากนั้น CR จะถูกคำนวณ ดังนี้

$$CR = \frac{CI}{RCI} \quad (4)$$

เมื่อ RCI สามารถหาได้จากตารางที่ 3 โดยพิจารณาจากจำนวนเกณฑ์การตัดสินใจในเมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบรายคู่

สุดท้าย หาก $CR \leq 0.10$ นั่นคือ ระดับความไม่สอดคล้องจะถือว่ายอมรับได้ ถ้าไม่เป็นตามเงื่อนไข ระดับความสำคัญ a_{ij} ในเมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบรายคู่ควรถูกทบทวนอีกครั้ง เพื่อแก้ไขความไม่สอดคล้องกัน

ตารางที่ 3 ค่าดัชนีความสอดคล้องแบบสุ่มในเมทริกซ์

h	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RCI	0	0	0.52	0.89	1.11	1.25	1.35	1.40	1.45	1.49

3.4 เทคนิคเรียงลำดับตามอุดมคติ (TOPSIS)

TOPSIS ถูกพัฒนาโดย Hwang & Yoon (1981) เป็นหนึ่งในวิธีการ MCDM สำหรับแก้ปัญหาการตัดสินใจ วิธีการ TOPSIS จะพยายามระบุทางเลือกที่ดีที่สุด ที่มีระยะทางที่สั้นจากวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงบวกและระยะทางไกลที่สุดจากวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงลบ วิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงบวก ประกอบด้วยค่าที่ดีที่สุดที่สามารถบรรลุได้จากเกณฑ์การตัดสินใจ ในขณะที่วิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงลบ ประกอบด้วยค่าที่แย่ที่สุดทั้งหมดที่สามารถบรรลุได้จากเกณฑ์การตัดสินใจ (Wang, 2007) ซึ่งการขั้นตอนการคำนวณวิธีการ TOPSIS (วลัยลักษณ์, 2564) มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจที่เป็นมาตรฐานของเกณฑ์การตัดสินใจ ด้วยวิธีการปรับเรียงข้อมูลแบบเวกเตอร์ (Vector Normalization) ด้วยสมการที่ (5)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^j x_{ij}^2}}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, J; i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

เมื่อ x_{ij} และ r_{ij} เป็นค่าดั้งเดิม และค่าที่เป็นมาตรฐานของเมทริกซ์การตัดสินใจ ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเมทริกซ์การตัดสินใจแบบถ่วงน้ำหนักมาตรฐาน โดยการคูณน้ำหนัก w_j ของเกณฑ์การประเมินกับเมทริกซ์การตัดสินใจมาตรฐาน r_{ij} ดังนี้

$$v_{ij} = w_j \times r_{ij}, \quad j = 1, 2, 3, \dots, J; i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (6)$$

เมื่อ w_j คือน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจที่คำนวณได้จาก AHP

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงบวก (PIS) และวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงลบ (NIS) ด้วยสมการที่ (7) และ (8) ตามลำดับ

$$A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\} \text{ maximum values} \quad (7)$$



เมื่อ $v_i^* = \{\max(v_{ij}) \text{ if } j \in J; \min(v_{ij}) \text{ if } j \in J^-\}$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\} \text{ minimum values} \quad (8)$$

เมื่อ $v_i^- = \{\min(v_{ij}) \text{ if } j \in J; \max(v_{ij}) \text{ if } j \in J^-\}$

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณระยะห่างจากค่าอุดมคติเชิงแยกแยะของแต่ละทางเลือก โดยแยกคำนวณระยะทางที่สั้นจากวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงบวก (d_i^*) ด้วยสมการที่ (9) และระยะทางที่ไกลจากวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงลบ (d_i^-) ด้วยสมการที่ (10)

$$d_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (9)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (10)$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์เชิงเข้าใกล้ (Closeness Coefficient) กับวิธีแก้ปัญหาเชิงอุดมคติของแต่ละทางเลือก ดังนี้

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^* + d_i^-}, \quad j = 1, 2, \dots, J \quad (11)$$

สุดท้าย จัดลำดับทางเลือก โดยพิจารณาค่า CC_i จากมากที่สุดไปยังน้อยที่สุด

4. ผลการวิจัย

4.1 การหาค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจในเลือกทรายแม่น้ำ

ผู้วิจัยนำแบบสอบถาม AHP ให้ผู้เชี่ยวชาญในการพนทราย จำนวน 3 ท่าน ที่มีประสบการณ์ในการพนทรายอย่างน้อย 5 ปี ได้แก่ ผู้ปฏิบัติงานในสถานประกอบการพนสี ชุบโลหะ และนักวิชาการด้านกรรมวิธีการผลิต ประเมินความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ ผลของการวิเคราะห์ AHP ถูกแสดงในตารางที่ 4-5 ตารางที่ 3 แสดงเมทริกซ์รวมจากการตัดสินใจของผู้เชี่ยวชาญ ตารางที่ 4 นำเสนอค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ และค่า CR ของเมทริกซ์รวม

ตารางที่ 4 เมทริกซ์รวมของการตัดสินใจแบบกลุ่ม

เกณฑ์	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	3.63	1.59	3.30	2.29
C2	0.28	1	0.48	0.38	1.00
C3	0.63	2.08	1	0.44	0.79
C4	0.30	2.62	2.29	1	2.62
C5	0.44	1.00	1.26	0.38	1

ตารางที่ 5 ค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจในเลือกทรายแม่น้ำ

เกณฑ์	ค่าน้ำหนักความสำคัญ
ขนาดของเม็ดทราย (C1)	0.39
รูปร่างของเม็ดทราย (C2)	0.09
ราคา (C3)	0.15
ความพร้อมของแหล่งทรัพยากร (C4)	0.25
ความยั่งยืน (C5)	0.13

Max. Eigenvalue (λ_{max}) = 5.288, CI = 0.072, RCI = 1.11, Consistency ratio CR = 0.064

4.2 การคัดเลือกทรายแม่น้ำทราย

หลังจากได้รับค่าน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ วิธีการ TOPSIS ถูกนำมาใช้เลือกทรายแม่น้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องฟ่นทรายขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้ให้ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ทำการประเมินทางเลือกในการตัดสินใจภายใต้เกณฑ์ต่างๆ จากนั้นสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจสำหรับทางเลือกต่าง ๆ ด้วยสมการที่ (5) และปรับเมทริกซ์การตัดสินใจให้เป็นมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 5 ใช้สมการที่ (6) คำนวณค่าน้ำหนักของคะแนนเชิงตัวเลข และสร้างเมทริกซ์การตัดสินใจมาตรฐานแบบถ่วงน้ำหนัก จากนั้นคำนวณหาค่าอุดมคติเชิงบวก (A^*) และค่าอุดมคติเชิงลบ (A^-) ด้วยสมการที่ (9) และ (10) ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 เมทริกซ์การตัดสินใจแบบปกติมาตรฐาน

เกณฑ์	แม่น้ำปิง (A1)	แม่น้ำน่าน (A2)	แม่น้ำวัง (A3)	แม่น้ำยม (A4)
C1	0.4682	0.5852	0.4682	0.4682
C2	0.4243	0.4243	0.5657	0.5657
C3	0.4829	0.4999	0.5084	0.5084
C4	0.6509	0.5208	0.3906	0.3906
C5	0.4193	0.5241	0.5241	0.5241

ตารางที่ 6 เมทริกซ์การตัดสินใจมาตรฐานแบบถ่วงน้ำหนัก

เกณฑ์	A1	A2	A3	A4	A*	A ⁻
C1	0.1826	0.2282	0.1826	0.1826	0.1826	0.2282
C2	0.0382	0.0382	0.0509	0.0509	0.0509	0.0382
C3	0.0724	0.0750	0.0763	0.0763	0.0724	0.0763
C4	0.1627	0.1302	0.0976	0.0976	0.1627	0.0976
C5	0.0545	0.0681	0.0681	0.0681	0.0681	0.0545

จากนั้นคำนวณหาระยะทางที่สั้นจากวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงบวก (d_i^*) และระยะทางที่ไกลจากวิธีแก้ปัญหาในอุดมคติเชิงลบ (d_i^-) ด้วยสมการที่ (9) และ (10) ตามลำดับ และใช้สมการที่ (8) คำนวณค่าสัมประสิทธิ์เชิงเข้าใกล้เพื่อจัดลำดับทรายแม่น้ำที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการจัดลำดับทรายแม่น้ำ

	แม่น้ำปิง (A1)	แม่น้ำน่าน (A2)	แม่น้ำวัง (A3)	แม่น้ำยม (A4)
d_i^*	0.0003	0.0033	0.0043	0.0043
d_i^-	0.0063	0.0147	0.0157	0.0157
CC_i	0.9479	0.8160	0.7870	0.7870
อันดับที่	1	2	3	3

เมื่อพิจารณาค่าคำนวณสัมประสิทธิ์เชิงเข้าใกล้วิธีแก้ปัญหาในอุดมคติ พบว่า ทรายแม่น้ำปิงมีความเหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องพ่นทรายขนาดเล็ก ($CC_1=0.9479$) รองลงมาทรายแม่น้ำน่าน ($CC_2=0.8160$) ในขณะที่ทรายแม่น้ำวังและแม่น้ำยมมีเหมาะสมเท่ากัน ($CC_3=0.7870$) ตามลำดับ

5. อภิปรายและสรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกทรายแม่น้ำสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องพ่นทรายขนาดเล็กด้วยประยุกต์ใช้วิธีการ AHP และ TOPSIS ผลการศึกษาพบว่า เกณฑ์การตัดสินใจที่สำคัญในการเลือกทรายแม่น้ำสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงาน ได้แก่ ขนาดของเม็ดทราย (C1) รูปร่างของเม็ดทราย (C2) ราคา (C3) ความพร้อมของแหล่งทรัพยากร (C4) และความยั่งยืน (C5) ทางเลือกแหล่งทราย ได้แก่ ทรายแม่น้ำปิง (A1) แม่น้ำน่าน (A2) แม่น้ำวัง (A3) และแม่น้ำยม (A4) และวิเคราะห์น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจโดย AHP พบว่า เกณฑ์การตัดสินใจด้านขนาดของเม็ดทราย มีค่าน้ำหนักความสำคัญสูงสุด ($C1=0.39$) รองลงมาความพร้อมของแหล่งทรัพยากร ($C4=0.24$) ราคา ($C3=0.15$) ความยั่งยืน ($C5=0.13$) และรูปร่างของเม็ดทราย ($C2=0.09$) จากนั้นจึงจัดลำดับทรายแม่น้ำที่เหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องพ่นทรายขนาดเล็กโดยใช้วิธีการ TOPSIS พบว่า ทรายแม่น้ำปิงมีความเหมาะสมที่สุด ($CC_1=0.9479$) เนื่องจากทรายแม่น้ำปิงขนาดเม็ดทรายที่ไม่เล็กและไม่ใหญ่เกินไป รูปร่างเม็ดทรายจะมีทั้งชนิดเม็ดเหลี่ยมมุมมน และเม็ดกลมผสมกัน อีกทั้งมีความพร้อมของแหล่งผลิตทรายอยู่ในหลายพื้นที่เช่น จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดลำพูน จังหวัดกำแพงเพชร จังหวัดตาก และจังหวัดนครสวรรค์ ในด้านราคาของทรายแม่น้ำปิงและทรายแม่น้ำน่านจะมีราคาใกล้เคียงกัน แต่หากมองในเชิงสิ่งแวดล้อมนี้อาจแปรผันตามการขนส่ง จึงทำให้ยากต่อการประมาณการ อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงความยั่งยืน แม่น้ำวังและแม่น้ำยม มีความยั่งยืนมากกว่า เนื่องมีการขุดทรายน้อยและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า เมื่อพิจารณาจากการจัดการทรัพยากรธรรมชาติ

การประยุกต์ใช้วิธีการ AHP และ TOPSIS ในการคัดเลือกทรายแม่น้ำสำหรับการทำความสะอาดชิ้นงานในเครื่องพ่นทรายขนาดเล็กสามารถนำมาใช้ในการตัดสินใจได้จริง ลดจุดบกพร่องเดิมของวิธีการ TOPSIS ในส่วนการกำหนดน้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์การตัดสินใจ นอกจากนี้ยังสามารถตัดสินใจได้ทั้งเกณฑ์เชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kiong *et al.* (2013), Anojkumar *et al.* (2014), Srivastawa *et al.* (2017) และ Wimol (2024) ที่ประยุกต์ใช้วิธีการตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์ในการเลือกวัสดุที่เหมาะสม สำหรับงานวิจัยในอนาคตอาจนำแนวคิดฟัซซีเซต (Fuzzy Set) มาใช้ร่วมกับ AHP และ TOPSIS เพื่อลดความคลุมเคลือในกระบวนการตัดสินใจ รวมถึงการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงทางเลือก เมื่อน้ำหนักความสำคัญหรือคะแนนการตัดสินใจเปลี่ยนแปลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้เชี่ยวชาญที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และขอบคุณสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมการผลิต คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงครามที่ให้ความสนับสนุนสถานที่สำหรับดำเนินการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- กวิณภพ ศรีวัฒนานุศาสตร์ และปณิตศัน สุริยธนาภาส. (2560). การคัดเลือกผู้จัดส่งวัตถุดิบโดยใช้วิธีการ TOPSIS และ ROC : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมร้านอาหาร. **วารสารและพัฒนา มจร.** 40(3), 385-403.
- จุฑาทิพย์ ทองเดชาสามารถ, ชัยนิกร กุลวงษ์ และกิตติศักดิ์ วรรณศรี. (2564). พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทำความสะอาดชิ้นงานด้วยเครื่องพ่นทรายอัตโนมัติขนาดเล็ก. **วารสารมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล**, 34(2), 87-97.
- ตีเพชร ไชยศล. (2554). การหล่อแบบเปลือกด้วยทรายแม่น้ำโขง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- วลัยลักษณ์ อัครีรวงศ์. (2564). การจัดลำดับประเทศที่เหมาะสมสำหรับการลงทุนในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. **วารสารพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**, 31(1), 71-81.
- Anojkumar, L., Ilangkumaran, M., & Sasirekha, V. (2014). Comparative analysis of MCDM methods for pipe material selection in sugar industry. **Expert systems with applications**, 41(6), 2964-2980.
- Emovon, I., & Oghenenyero who, O.S. (2020). Application of MCDM method in material selection for optimal design: A review. **Results in Materials**, 7, 100115.
- Hwang, C.L., & Yoon, K. (1981). **Multiple attribute decision-making: Methods and application**. New York: Springer.
- Karam, A., Hussein, M., & Reinau, K. H. (2021). Analysis of the barriers to implementing horizontal collaborative transport using a hybrid fuzzy Delphi-AHP approach. **Journal of cleaner production**, 321, 128943.
- Kiong, S.C., Lee, L.Y., Chong, S.H., Azlan, M.A., & Muhd Nor, N.H. (2013). Decision making with the analytical hierarchy process (AHP) for material selection in screw manufacturing for minimizing environmental impacts. **Applied Mechanics and Materials**, 315, 57-62.
- Meethom, W., & Koothongsumrit, N. (2020). An integrated potential assessment criteria and TOPSIS based decision support system for road freight transportation routing. **Applied Science and Engineering Progress**, 13(4), 312-326.
- Saaty, T.L. (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of mathematical psychology**, 15(3), 234-281.



Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process.

European Journal of Operational Research, 48, 9–26.

Srivastawa, A., Maity, S.R., & Pandey, K.M. (2017). Material selection of gear using grey TOPSIS and COPRAS-G method. **International Journal of Biotechnology and Biomedical Sciences**, 3(1), 34-38.

Vidal, L.A., Marle, F., & Bocquet, J.C. (2011). Using a Delphi process and the Analytic Hierarchy Process (AHP) to evaluate the complexity of projects. **Expert systems with applications**, 38(5), 5388-5405.

Wang, Y.J. (2008). Applying FMCDM to evaluate financial performance of domestic airlines in Taiwan. **Expert Systems with Applications**, 34(3), 1837-1845.

Wimol, M. (2024). Selection the suitable material for making base-cutter blades in sugarcane harvester using TOPSIS and ROC method. **Journal of Engineering and Innovation**, 17(1), 46-55.



การจัดเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดส่งพัสดุด้วยโปรแกรม
VRP SPREADSHEET SOLVER ของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง
THE APPROPRIATE ROUTING FOR PARCEL DELIVERY USING
VRP SPREADSHEET SOLVER PROGRAM FOR
A CASE STUDY COMPANY

นริศรา นาคะเมฆ¹, รัตนศิริ ท่วมยัง¹, พัฒนิวานนท์ จันทะคุณ¹,
วรัทเทพ ธภัทรสุวรรณ², ธัชชัย เทพภรณ์^{1*}

Naritsara Nakhamek¹, Rattanasiri Thuamyang¹, Phanthiwanon Jantakhun¹,
Warattapop Thapatsuwan², Thatchai Thepphakorn^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

²คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม ประเทศไทย 73140

¹Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

²Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus, Kamphaeng Saen,
Nakhon Pathom, Thailand, 73140

*Corresponding author e-mail: thatchai.t@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 31 มีนาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 28 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 28 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อจัดเส้นทางจัดส่งพัสดุที่เหมาะสมที่สุด จากปัญหาที่เกิดขึ้นในบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งคือ ปัญหาความล่าช้าในการส่งพัสดุให้กับลูกค้าในแต่ละวัน และลดปริมาณพัสดุที่ส่งไม่ทันตามกำหนดเงื่อนไขของบริษัท ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้รวมปัญหาและได้ทำการจัดเส้นทางจัดส่งพัสดุที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้โปรแกรม VRP spreadsheet solver ทำการจัดเส้นทางจัดส่งพัสดุในเขตอำเภอเมือง โดยเริ่มตั้งแต่ศูนย์กระจายพัสดุไปยังจุดพิกัดที่จะส่งให้กับลูกค้าในแต่ละจุด โดยวิเคราะห์จากข้อมูลยอดการจัดส่งพัสดุให้ลูกค้า 1 วัน โดยมีลูกค้าทั้งหมด 95 ราย มีรถยนต์กระบะตู้ทึบจำนวน 3 คันในการจัดส่งพัสดุ เพื่อนำมาเป็นตัวอย่างกรณีศึกษาการจัดเส้นทางจัดส่งพัสดุ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรม VRP spreadsheet solver ในการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด พบว่า ระยะเวลาในการขนส่งพัสดุที่สั้นลงใช้เวลาในการจัดส่งพัสดุของรถทั้ง 3 คันมีดังนี้ รถคันที่ 1 เดิมใช้เวลาในการจัดส่งพัสดุ 460 นาที แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม VRP spreadsheet solver ได้ 358 นาที ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 22.17 รถคันที่ 2 เดิมใช้เวลาในการจัดส่งพัสดุ 470 นาที แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม VRP spreadsheet solver ได้ 410 นาที ซึ่งลดลงคิด

เป็นร้อยละ 12.77 และรถคันที่ 3 เดิมใช้เวลา 480 นาที ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 100 เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม VRP spreadsheet solver ระบุควรใช้รถ 2 คันในการจัดส่งพัสดุ

คำสำคัญ: การจัดส่งพัสดุ, การจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด, ยานพาหนะแบบมีความจุ, กรอบเวลา

Abstract

This research aims to optimize parcel delivery routes to address delivery delays and reduce the number of late deliveries at a case study company. The researcher collected relevant data and used the VRP Spreadsheet Solver program to plan the most efficient delivery routes within Muang District, starting from the parcel distribution center to customer locations. The analysis was based on one day's delivery data, involving 95 customers and three covered pickup trucks. The VRP Spreadsheet Solver results showed that the delivery time was significantly reduced. For Vehicle 1, delivery time decreased from 460 minutes to 358 minutes, a reduction of 22.17%. For Vehicle 2, delivery time decreased from 470 minutes to 410 minutes, a reduction of 12.77%. Vehicle 3, which originally required 480 minutes, was eliminated from the operation, as the optimized solution indicated that only two vehicles were needed for delivery. These results demonstrate the effectiveness of using route optimization tools to improve delivery efficiency and reduce operational time.

Keywords: Parcel delivery, Optimal routing, Capacitate vehicle, Time windows

1. บทนำ

บริษัทกรณีสึกษาเป็นหนึ่งในผู้ให้บริการการขนส่งพัสดุในประเทศไทย โดยเข้ามาทำธุรกิจในปี พ.ศ. 2562 ซึ่งให้บริการเกี่ยวกับการขนส่งและโลจิสติกส์ครบวงจร โดยแบ่งเป็น 8 ธุรกิจย่อย เช่น การจัดส่งพัสดุ การให้บริการเกี่ยวกับ Supply chain เป็นต้น บริษัทกรณีสึกษาจะใช้กลยุทธ์แฟรนไชส์ทั้งหมดและมีการลงทุนมากกว่า 5,000 ล้านบาทในระยะเวลาที่ผ่านมา ทั้งด้านศูนย์บริการจัดการพัสดุและคลังสินค้า ผลการดำเนินกลยุทธ์ดังกล่าวทำให้บริษัทกรณีสึกษาเติบโตตามกระแส E-commerce ได้ในปัจจุบัน โดยบริษัทกรณีสึกษามีแผนระยะสั้นคือ ยกกระตือรือร้นการขนส่งทั่วประเทศให้ดีขึ้น พร้อมช่วยเหลือผู้ร่วมทำธุรกิจให้เติบโตในอุตสาหกรรมขนส่งได้เต็มรูปแบบผ่านการเป็นตัวกลางเชื่อมต่อการส่งสินค้าทั้งในประเทศและจากต่างประเทศ ส่วนแผนระยะยาวนั้น บริษัทต้องการนำธุรกิจอื่น ๆ เข้ามาทำการตลาดในประเทศไทยด้วยซึ่งจะอยู่ในทุกส่วนธุรกิจการขนส่ง การให้บริการรับและจัดส่งพัสดุแบบด่วนถึงที่ และให้บริการการรับส่งพัสดุแบบถึงหน้าบ้านลูกค้า

อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาที่ผ่านมามีบริษัทกรณีศึกษาดังกล่าวได้เกิดปัญหาความล่าช้าในการขนส่งพัสดุให้กับลูกค้า อันเนื่องมาจากพนักงานจัดส่งพัสดุเลือกเส้นทางการเดินทางไม่เหมาะสม การเลือกเส้นทางการจัดส่งพัสดุตามความเคยชินหรือตามประสบการณ์ของพนักงาน ทำให้เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้พัสดุถูกจัดส่งถึงมือลูกค้าล่าช้าและนำไปสู่การมีพัสดुक้างส่งทุกวัน อีกทั้งยังส่งผลให้การจัดส่งพัสดุไม่ได้ตามยอดจัดส่งที่บริษัทกำหนด นำไปสู่การทำให้เกิดต้นทุนในการขนส่งเพิ่มขึ้นเกินความจำเป็น และอาจทำให้ความน่าเชื่อถือของบริษัทจากลูกค้าลดลงในระยะยาวได้

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาจัดหาเส้นทางจัดส่งพัสดุหรือสินค้าที่เหมาะสมได้ประยุกต์ใช้วิธีการที่แตกต่างกันออกไป อาทิ แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็ม (กัญญาณัฐ และศิริกาญจน์, 2567) โปรแกรมพลวัต (อภิชาติ และคณะ, 2556) วิธีการเซพวิงอัลกอริทึม (นคร และคณะ, 2558) โปรแกรม VRP spreadsheet solver (VRP-SS) (ภุชงค์ และภณพงษ์, 2562) ซึ่งการประยุกต์ใช้โปรแกรม VRP-SS จะมีความสะดวก ง่าย รวดเร็วต่อการใช้งาน และเป็นโปรแกรมแบบโอเพ่นซอร์ส (Open source tool) (Günes, 2017) จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาปัญหาและปรับปรุงการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดส่งพัสดุ โดยจัดหาเส้นทางในการจัดส่งที่เหมาะสมในบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งด้วยโปรแกรม VRP-SS

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อจัดเส้นทางจัดส่งพัสดุที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม VRP-SS ของบริษัทกรณีศึกษา

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 แนวคิดทฤษฎีการขนส่งสินค้า (Transportation)

การขนส่ง คือ การเคลื่อนย้ายคน (People) สินค้า (Goods) หรือบริการ (Services) จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง และการขนส่งผลิตผลในประเทศไทยส่วนมากยังคงใช้ระบบการขนส่งด้วยรถธรรมดา และมีการขนส่งด้วยรถห้องเย็น ซึ่งสามารถปรับอุณหภูมิได้ตามต้องการ เช่น การขนส่งผลิตผลพืชสวนจากเชียงใหม่มายังกรุงเทพมหานคร ของมูลนิธิโครงการหลวง เป็นการขนส่งโดยใช้รถห้องเย็น (เกียรติพงษ์, 2557)

3.2 แนวคิดทฤษฎีการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle routing problem : VRP)

การจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าเป็นหนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการขนส่ง โดยเป็นกระบวนการที่จะกระจายสินค้าจากกลุ่มผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค หรือการสร้างเส้นทางโดยสารจากจุดต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางแบบกระจายสินค้าจะเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะในกลุ่มอุตสาหกรรม ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่ของกลุ่มอุตสาหกรรมจะมาจากการขนส่งเป็นหลัก กระบวนการขนส่งส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การจัดการให้ส่งสินค้าไปให้ถึงลูกค้าให้เร็วที่สุดตรงตามเวลา

ที่ตกลงกับลูกค้า (รวีโรจน์ และคณะ, 2564) สำหรับลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่งสามารถจำแนกได้หลายประเภทดังตารางที่ 3.1 (เครีอวัลย์, 2547)

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาการขนส่ง (Vehicle routing problem with time windows: VRPTW) จะเป็นการกำหนดการเดินทางของรถ $k \{1, 2, \dots, K\}$ ที่มีความจุสูงสุด Q ของรถแต่ละคัน โดยเดินทางขนส่งไปยังจุดขนส่งที่อยู่บนกราฟ G โดย $G = (V, A)$ เซต $V = \{0, 1, \dots, n\}$ เป็นเซตของจุดขนส่ง (Delivery points) มีจำนวน n ตำแหน่ง (รวม Depot ที่ Node 0) โดยกำหนดเซต $A = \{(i, j): i \in V, j \in V, i \neq j\}$ เป็นเซตของอาร์ค (Arcs)

กำหนดให้ c_{ijk} เป็นระยะทางการขนส่งจากจุดขนส่ง i ไป j โดยรถ k กำหนดให้ t_{ij} เป็นระยะเวลาการขนส่งจากจุดขนส่ง i ไป j ซึ่งแต่ละจุดขนส่ง i จะมีความต้องการของลูกค้า d_i โดยการเดินทางขนส่งจะต้องมาถึงจุดขนส่งก่อนเวลา b_i แต่ถ้ามาถึงก่อนเวลา a_i จะต้องรอคอยจนถึงเวลา a_i จึงจะเริ่มขนส่งในแต่ละตำแหน่ง แต่ละจุดจะมีเวลาการให้บริการเท่ากับ o_i และให้ s_{ik} เป็นระยะเวลาที่รถ k มาถึงจุดขนส่ง i ดังนั้น แบบจำลองสมการทางคณิตศาสตร์เบื้องต้นสำหรับปัญหา VRPTW สามารถแสดงได้ดังนี้ (นลินี, 2548)

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือก
1. จำนวนของยานพาหนะ (Fleet)	- จำนวน 1 คัน - จำนวนหลายคัน
2. ประเภทของยานพาหนะ (Vehicle type)	- ประเภทเดียวกันหมด - หลาย ๆ ประเภท - ใช้รถชนิดพิเศษ
3. โรงจอดรถ (Depot) หรือคลังสินค้า (Warehouse)	- จำนวน 1 แห่ง - จำนวนหลาย ๆ แห่ง
4. ความต้องการในการขนส่ง (Transport demand)	- ความต้องการที่แน่นอน (Deterministic) - ความต้องการที่ไม่แน่นอน (Stochastic)
5. จุดกำเนิดของความต้อการ (Demand location)	- ที่ตำแหน่ง (Node) หรือ (Point) - ที่เส้นทาง (Arc หรือ Route) - ที่ตำแหน่งและเส้นทาง (Mix)
6. ความสามารถในการบรรทุกของ (Vehicle capacity)	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน - ไม่จำกัด

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือก
7. เวลาในการขนส่งที่ยอมให้มากที่สุด (Maximum route times)	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน - ไม่จำกัด
8. เส้นทางเครือข่าย	- ไม่มีทิศทาง - มีทิศทาง - แบบผสม - แบบเรขาคณิต
9. การดำเนินงานของยานพาหนะ	- รับอย่างเดียว - ส่งอย่างเดียว - รับและส่ง

ดัชนี (Indices)

$i, j \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$: ดัชนีของจุด (รวม Depot ที่ Node 0)

$k \in \{1, 2, \dots, K\}$: ดัชนียานพาหนะ

n : จำนวนลูกค้า (ในที่นี้ $n = 95$)

พารามิเตอร์ (Parameters)

Q : ความจุสูงสุดของรถแต่ละคัน

d_i : ความต้องการของลูกค้าที่จุด i

c_{ijk} : ระยะทางหรือค่าขนส่งจาก i ไป j โดยรถ k

t_{ij} : เวลาในการเดินทางจากจุด i ไป j

a_i, b_i : เวลาที่เร็วที่สุดและช้าที่สุดที่สามารถให้บริการที่จุด i

o_i : เวลาที่ใช้ในการให้บริการที่จุด i

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$x_{ijk} \in \{0, 1\}$: มีค่า 1 ถ้ารถ k เดินทางจาก i ไป j ; 0 ถ้าไม่เดินทาง

s_{ik} : เวลาที่รถ k ไปถึงจุด i

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min} \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^n \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n c_{ijk} x_{ijk} \quad (1)$$

Subject to:

$$\sum_{i=1}^n d_i x_{ijk} \leq Q, \quad \forall k \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{0jk} = 1, \quad \forall k \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i0k} = 1, \quad \forall k \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n x_{ijk} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n x_{ijk} - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^n x_{jik} = 0 \quad \forall i, \forall k \quad (6)$$

$$s_{jk} \geq s_{ik} + t_{ij} + o_i - M(1 - x_{ijk}), \quad \forall i, \forall j, \forall k, i \neq j \quad (7)$$

$$a_i \leq s_{ik} \leq b_i, \quad \forall i, \forall k \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \quad s_{ik} \geq 0 \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (9)$$

สมการที่ (1) คือ สมการเป้าหมาย เพื่อหาระยะเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด สมการที่ (2) คือ การกำหนดความจุรวมไม่เกินกว่าความจุของรถ สมการที่ (3) คือ รถทุกคันต้องเริ่มออกจากจุดที่ 0 คือ คลังสินค้าเสมอ สมการที่ (4) คือ รถทุกคันที่ต้องกลับมาที่จุดที่ 0 คือ คลังสินค้าเสมอ สมการที่ (5) คือ แต่ละลูกค้าต้องได้รับการเยี่ยมเพียงครั้งเดียวเสมอ สมการที่ (6) คือ เส้นทางต้องมีความต่อเนื่อง (เข้า-ออก) สมการที่ (7) และ (8) จะเกี่ยวข้องกับกรอบเวลา (Time windows) คือ คือเวลาที่รถออกจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งไม่เกินกว่าเวลาจุดใหม่ และสมการที่ (9) คือ ตัวแปรตัดสินใจโดยค่า x_{ijk} ต้องเป็นค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น ในขณะที่ s_{ik} ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

3.3 แนวคิดทฤษฎีวิเคราะห์หาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด

เทคนิคการหาค่าตอบที่เหมาะสมสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การหาค่าตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีดั้งเดิม (Conventional optimization methods) ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าประสิทธิภาพสูงและได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) เสมอ และวิธีการหาค่าตอบแบบการประมาณ (Approximation optimization algorithm) คือวิธีการที่ใช้แก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก หรือมีข้อจำกัดในการคำนวณ ทำให้ไม่สามารถหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ในเวลาที่สมเหตุสมผล วิธีการหาค่าตอบแบบการประมาณจึงใช้หลักการค้นหาค่าตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่ยอมรับได้ (Dana, 2020)

3.4 แนวคิดทฤษฎีโปรแกรม VRP spreadsheet solver

การประยุกต์ใช้โปรแกรม Solver ซึ่งเป็น Add-in ใน Microsoft excel เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือในการค้นหาค่าตอบที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่ได้รับความนิยมสูงในปัจจุบัน (กัญญาณัฐ และศิริกาญจน์, 2567) สำหรับโปรแกรม VRP spreadsheet solver (Günes, 2017)

นั้นเป็นอีกหนึ่งโปรแกรม Add-in ที่สามารถช่วยในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางได้เป็นอย่างดี ได้เส้นทางที่สั้นที่สุดและเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าขององค์กรลดน้อยลง ซึ่ง VRP spreadsheet solver เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานบน Microsoft excel เพื่อการจัดเส้นทาง ประมวลผลหาจุดส่งสินค้า จุดกระจายสินค้า การจัดเส้นทางที่เกิดขึ้น ใช้สำหรับการจัดลำดับการขนส่งงานอย่างเป็นระบบ วางแผนงานขนส่งอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดการทำงานแบบ Manual ระบบสามารถประมวลเวลาการจัดส่งที่เหมาะสม วิเคราะห์ระยะทางจากเส้นทางจริง ภายใต้เงื่อนไขการตัดสินใจที่กำหนด ช่วยให้การขนส่งมีประสิทธิภาพสูงสุด ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ใช้เส้นทางสั้นที่สุด ใช้จำนวนรถน้อยที่สุด ใช้เวลาน้อยที่สุด และบริหารรถขนส่งได้อย่างคุ้มค่ามากที่สุด (ภุขงค์ และ ภาณุพงษ์, 2562)

3.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

นคร และคณะ (2558) ได้ศึกษาการจัดเส้นทางรถขนส่งโดยใช้เซฟวิงอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขายกรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม เนื่องจากธุรกิจน้ำดื่มได้มีบทบาทและมีความสำคัญในการดำรงชีวิตและสุขภาพ ความสะอาดสะดวกและปลอดภัยทำให้ความต้องการบริโภคน้ำดื่มได้เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรและรายได้ของครัวเรือน ความต้องการน้ำดื่มจากโรงงานผลิตน้ำดื่มมากยิ่งขึ้น แต่ทางบริษัทต้องการจัดเส้นทางรถเดินทางให้มีต้นทุนที่ต่ำและมีระยะทางที่สั้นในการเดินทางพร้อมทั้งตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้ จึงได้นำวิธีเซฟวิงอัลกอริทึม (Saving algorithm) มาใช้ในการจัดเส้นทางในการขนส่งน้ำดื่มไปยังผู้บริโภค ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่ดีจากวิธีการดังกล่าวในการจัดเส้นทาง

อภิชาติ และคณะ (2556) ได้ศึกษาการเลือกเส้นทางรถขนส่งสินค้าประเภทเทกองโดยใช้โปรแกรมพลวัต การศึกษานี้ได้นำข้อมูลต้นทุนการขนส่งรวมในอดีตมาทำการวิเคราะห์และปรับปรุงวิธีการเลือกเส้นทางรถขนส่งสินค้า โดยเริ่มตั้งแต่การขนส่งจากเรือบรรทุกสินค้าอยู่กลางอ่าวไทยจนถึงโรงงานของลูกค้า อย่างไรก็ตามปัญหาการขนส่งดังกล่าวจะมีลักษณะการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multimodal transport) โดยงานวิจัยนี้ได้นำวิธีโปรแกรมพลวัต (Dynamic programming) มาประยุกต์ใช้ในการเลือกเส้นทางรถขนส่งที่เหมาะสมที่สุด ผลการศึกษาพบว่าสามารถลดต้นทุนรวมในการขนส่งโดยเฉลี่ยร้อยละ 17 จากการเลือกเส้นทางรถขนส่งแบบเดิม

จิตาภา และกัญชลา (2560) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของปัญหาการรวมการขนส่งและปริมาณขนส่งที่เหมาะสมโดยใช้แบบจำลองสถานการณ์ เนื่องจากปัญหาของระบบปัจจุบันส่งผลให้มีเวลาสูญเสียไปเกิดขึ้นระหว่างการขนส่งกล่องบรรจุภัณฑ์ในแต่ละรอบ วิจัยนี้จึงได้จัดสมมูลขนส่งบรรจุภัณฑ์จากคลังสินค้าไปยังแผนกบรรจุภัณฑ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยใช้แนวคิดการใช้รถขนส่งให้เกิดประโยชน์สูงสุดร่วมกับโปรแกรมวิเคราะห์แบบจำลองสถานการณ์ เพื่อช่วยตัดสินใจกำหนดปริมาณการขนส่งบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม จากผลการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพกิจกรรมการไหล

พบว่า ในการขนส่งกล่องบรรจุภัณฑ์มีการบรรจุทุกกล่องบรรจุภัณฑ์ไม่เต็มคันซึ่งควรได้รับการแก้ไขเพื่อลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น

อำพล และคณะ (2552) ได้ศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัย รวมถึงความยืดหยุ่นของปัจจัยในการเลือกรูปแบบการขนส่งของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในจังหวัดสมุทรปราการและรูปแบบการขนส่งทางรถบรรทุกพร้อมกับเรือขนส่ง โดยพบว่า ความตรงต่อเวลาในการขนส่งมีอิทธิพลสูงสุด สำหรับการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการขนส่งและต้นทุนการเก็บรักษาสินค้านั้นจะมีผลทำให้ผู้จัดการโลจิสติกส์ในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์มีโอกาสจะไม่เลือกใช้รูปแบบการขนส่งเดิม แต่จะไปเลือกใช้รูปแบบการขนส่งอื่นแทน โดยต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าจะมีอิทธิพลมากและข้อมูลจากการพัฒนาแบบจำลองการตัดสินใจพบว่า ควรเลือกใช้รูปแบบการขนส่งของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในสถานการณ์จริงแบบหลายทางเลือก

4. วิธีดำเนินงานวิจัย

กระบวนการดำเนินการวิจัยจะเริ่มต้นจากการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 1 วัน ซึ่งเป็นวันที่มีปริมาณลูกค้ามากในสัปดาห์ โดยในช่วงเวลาที่ผ่านมาก่อเกิดปัญหาล่าช้าในการจัดส่งพัสดุอันเนื่องมาจากการที่พนักงานไม่ได้คำนึงถึงการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในแต่ละวัน ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมจะมีจำนวนลูกค้าทั้งหมดในหนึ่งวันเพื่อเป็นกรณีศึกษา จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการประยุกต์ใช้โปรแกรม VRP spreadsheet solver (Günes, 2017) ในการค้นหาคำตอบและตรวจสอบการหาผลลัพธ์ รวมถึงยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้

4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการพิจารณาระยะเวลาในการจัดส่งพัสดุใน 1 วันในช่วงเดือนสิงหาคม 2567 ซึ่งเป็นวันที่มีจำนวนลูกค้าที่มาก พบว่ามีจำนวนลูกค้าที่ต้องจัดส่งพัสดุกจำนวน 95 ราย ดังแสดงข้อมูลเบื้องต้นจากตารางที่ 4.1 โดยจะใช้ยานพาหนะในการขนส่งคือ รถกระบะตู้ทึบจำนวน 3 คัน

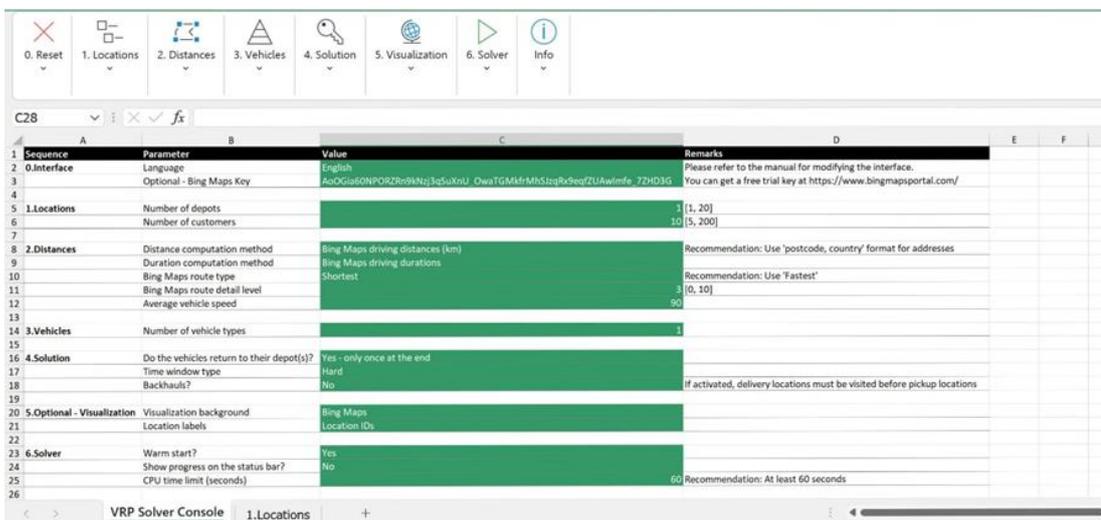
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลพิกัดละติจูดและลองจิจูดของลูกค้าที่จะต้องจัดส่งพัสดุ

ลำดับลูกค้า	พิกัดละติจูด	พิกัดลองจิจูด	ปริมาณสินค้าที่ต้องจัดส่ง (ชิ้น)
ลูกค้าคนที่ 1	16.800795	100.203855	1
ลูกค้าคนที่ 2	16.796095	100.197585	1
ลูกค้าคนที่ 3	16.7764366	100.2006714	1
ลูกค้าคนที่ 4	16.796684	100.286324	1

.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
ลูกค้าคนที่ 92	16.8223531	100.2389551	1
ลูกค้าคนที่ 93	16.7960592	100.2412353	1
ลูกค้าคนที่ 94	16.7996005	100.2634366	1
ลูกค้าคนที่ 95	16.8189634	100.2730878	1

4.2 การประยุกต์ใช้โปรแกรม VRP spreadsheet solver

เริ่มต้นการประยุกต์ใช้โดยการกำหนด Parameter ในโปรแกรม VRP spreadsheet solver ซึ่งจะเป็นการกำหนดจำนวนจุดเริ่มต้นของการขนส่ง (Number of depots) กำหนดค่าของจำนวนลูกค้า (Number of customers) กำหนดค่าความเร็วเฉลี่ยของรถ (Average vehicle speed) กำหนดจำนวนประเภทของยานพาหนะ (Number of vehicle types) เป็นต้น ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การกำหนด Parameter ในโปรแกรม VRP spreadsheet solver

จากนั้นกำหนดพิกัดที่อยู่ของ Depot กับที่อยู่ของลูกค้าในคอลัมน์ Address เพื่อที่หาพิกัดละติจูดและลองจิจูดของอยู่ของ Depot กับที่อยู่ของลูกค้า ต่อมากำหนดเวลาเริ่มออกส่งพัสดุ กำหนดจำนวนพัสดุที่จะต้องส่งให้กับลูกค้า กำหนดเวลาเลิกงาน และกำหนดจำนวนสินค้าที่ต้องจัดส่ง ดังภาพที่ 4.2

Location ID	Name	Address	Latitude (y)	Longitude (x)	Time window start	Time window end	Must be visited?	Service time	Pickup amount	Delivery amount	Profit
0	Depot		16.7944185	100.2537724	09:00	17:00	Starting location	0:00	95	0	0
1	Customer 1		16.8007950	100.2038550	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
2	Customer 10		16.7729186	100.1955945	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
3	Customer 11		16.7954270	100.2880750	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
4	Customer 12		16.7461130	100.2750990	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
5	Customer 13		16.9109802	100.4160004	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
6	Customer 14		16.8361203	100.2667380	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
7	Customer 15		16.8100123	100.2686951	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
8	Customer 16		16.8526420	100.2649416	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
9	Customer 17		16.7470680	100.2733050	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
10	Customer 18		16.7490329	100.2071284	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
11	Customer 19		16.8140907	100.2595902	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
12	Customer 2		16.79660950	100.1975350	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
13	Customer 20		16.8231391	100.2477030	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
14	Customer 21		16.7522212	100.1960999	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
15	Customer 22		16.7805413	100.2609560	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1
16	Customer 23		16.8064194	100.2217720	09:00	17:00	Must be visited	0:01	0	0	1

ภาพที่ 4.2 ผลตารางการกำหนดตำแหน่ง (Setup location worksheet)

จากนั้นโปรแกรมจะวิเคราะห์และเพิ่มข้อมูลระยะทางจากการจับคู่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจากการกำหนดพิกัดละติจูดและลองจิจูดในขั้นตอนก่อนหน้า ซึ่งจะมีการใช้ข้อมูลของระยะทางและระยะเวลาจากการคำนวณโดยใช้ความเร็วเฉลี่ยที่กำหนดไว้ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมในขั้นตอนถัดไป ดังภาพที่ 4.3

Method:	From	To	Distance	Duration
	Depot	Depot	0.00	0:00
	Depot	Customer 1	8.41	0:14
	Depot	Customer 10	9.26	0:15
	Depot	Customer 2	9.01	0:16
	Depot	Customer 3	4.99	0:14
	Depot	Customer 4	4.89	0:16
	Depot	Customer 5	14.10	0:30
	Depot	Customer 6	4.99	0:14
	Depot	Customer 7	4.99	0:14
	Depot	Customer 8	5.17	0:15
	Depot	Customer 9	4.89	0:16
	Customer 1	Depot	9.51	0:22
	Customer 1	Customer 1	0.00	0:00
	Customer 1	Customer 10	1.34	0:06
	Customer 1	Customer 2	5.73	0:10
	Customer 1	Customer 3	9.88	0:20
	Customer 1	Customer 4	10.99	0:23
	Customer 1	Customer 5	19.99	0:39
	Customer 1	Customer 6	9.88	0:20
	Customer 1	Customer 7	9.88	0:20

ภาพที่ 4.3 ตารางกำหนดระยะทาง (Distances spreadsheet)

ขั้นตอนต่อมาจะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับประเภทของรถที่ใช้จัดส่งพัสดุ เช่น กำหนดจำนวนค่าใช้จ่ายต่อครั้ง กำหนดระยะทางที่สามารถใช้ได้ไม่เกินที่ค่ากำหนดไว้ กำหนดเวลาเริ่มทำงานกับเวลาที่เลิกงาน เป็นต้น เพื่อที่จะได้ดำเนินการในขั้นตอนถัดไป ดังภาพที่ 4.4

1	Starting depot	Vehicle type	Capacity	Fixed cost per trip	Cost per unit distance	Duration multiplier	Distance limit	Work start time	Driving time limit	Working time limit	Return depot	Number of vehicles
2	Depot	V1	50	0.00	0.00	1.00	500.00	09:00	8.00	17:00	Depot	

ภาพที่ 4.4 ตารางทำการกำหนดยานพาหนะ (Vehicles spreadsheet)

ในขั้นตอนต่อมาจากภาพที่ 4.5 โปรแกรมจะทำการการแสดงผลเบื้องต้นของการ Setup solution ก่อนที่จะนำข้อมูลหลังจากการรันของโปรแกรม VRP spreadsheet solver มาใส่ในตาราง ดังภาพที่ 4.5 และจะทำการ Setup visualization แสดงตำแหน่งพิกัดของ Depot กับจุดที่อยู่ของลูกค้า โดยอ้างอิงจาก Bing maps เพื่อแสดงการระบุเส้นทางที่เหมาะสมต่อไป

1	Total net profit:											
2	0.00											
3	Vehicle:	V1	Stops:	0 Net profit: 0.00								
4	Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount		
5	0	Depot	0.00	0:00		09:00	0:00	0	0.00	0.00		
6	1											
7	2											
8	3											
9	4											
10	5											
11	6											
12	7											
13	8											
14	9											
15	10											
16	11											

ภาพที่ 4.5 ตารางทำการกำหนดคำตอบ (Solution spreadsheet)

4.3 ตรวจสอบผลลัพธ์และยืนยันความถูกต้อง

การตรวจสอบผลลัพธ์และยืนยันความถูกต้องนั้น เป็นขั้นตอนการตรวจสอบค้นหาความถูกต้องและความเรียบร้อยของโปรแกรม VRP spreadsheet solver ว่าได้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นมีการละเมิดเงื่อนไขใด ๆ หรือไม่ ซึ่งคำตอบที่ได้จะต้องเป็นไปตามข้อมูลและข้อจำกัดที่ได้ระบุไว้ เช่น ความ

จุในการบรรทุกสินค้าใน 1 รอบ การเดินทาง ต้องมีผลลัพธ์ออกมาไม่เกินความจุที่ได้กำหนดไว้ ระยะทางการเดินทางใน 1 วันต้องรวมแล้วไม่เกินระยะทางที่ได้ระบุไว้ เป็นต้น

5. ผลการวิจัย

สำหรับผลการทดลองการจัดเส้นทางจัดส่งพัสดุด้วยโปรแกรม VRP spreadsheet solver ได้แบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ การทดลองหาผลลัพธ์กรณีลูกค้า 10 รายและการหาผลลัพธ์กรณีลูกค้า 95 ราย โดยผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในการจัดส่งพัสดุนับจำนวน 1 วัน โดยใช้พาหนะในการจัดส่งพัสดุ 1 ชนิด คือ รถยนต์กระบะตู้ทึบจำนวน 3 คันที่มีความจุเท่ากันทุกคัน โดยใช้ความเร็วของรถจำกัดที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความจุไม่เกิน 50 ชั่ง มีเวลาในการทำงานกำหนดไว้ไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน รถยนต์เริ่มออกส่งพัสดุเวลา 09:00 น. – 17:00 น. โดยมีศูนย์รวมสินค้าเป็นจุดเริ่มต้นซึ่งมี 1 จุด จากนั้นนำข้อมูลที่อยู่ลูกค้าทั้งหมดมากำหนดพิกัดละติจูดและลองจิจูดในแต่ละกรณี โดยผลการทดลองในแต่ละกรณีที่ได้จากโปรแกรม VRP spreadsheet solver สามารถแสดงผลออกมาได้ดังต่อไปนี้

5.1 การทดลองหาผลลัพธ์กรณีลูกค้า 10 ราย

ผลการทดลองใช้โปรแกรม VRP spreadsheet solver ในการจัดเส้นทางจัดส่งพัสดุให้กับลูกค้า ในกรณีทดสอบลูกค้า 10 ราย โดยผลลัพธ์นั้นพบว่าใช้รถจำนวน 1 คันในการจัดส่งพัสดุ โดยมีรายละเอียดผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

3	Vehicle:	V1	Stops:	11	Net profit:	0.00				
4	Stop count	Location Name	Distance travell	Driving tim	Arrival tim	Departure tim	Working tim	Profit collect	Pickup amour	Delivery amount
5	0	Depot	0.00	0:00		09:00	0:00	0	0.00	0.00
6	1	Customer 5	14.10	0:30	09:30	09:31	0:31	0	0.00	1.00
7	2	Customer 8	26.21	0:54	09:55	09:56	0:56	0	0.00	1.00
8	3	Customer 3	26.38	0:55	09:57	09:58	0:58	0	0.00	1.00
9	4	Customer 6	26.38	0:55	09:58	09:59	0:59	0	0.00	1.00
10	5	Customer 7	26.38	0:55	09:59	10:00	1:00	0	0.00	1.00
11	6	Customer 1	35.12	1:09	10:14	10:15	1:15	0	0.00	1.00
12	7	Customer 10	36.46	1:15	10:21	10:22	1:22	0	0.00	1.00
13	8	Customer 2	40.82	1:28	10:35	10:36	1:36	0	0.00	1.00
14	9	Customer 9	47.41	1:41	10:49	10:50	1:50	0	0.00	1.00
15	10	Customer 4	47.41	1:41	10:50	10:51	1:51	0	0.00	1.00
16	11	Depot	52.31	1:58	11:08		2:08	0	10.00	0.00
17										

ภาพที่ 5.1 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของรถกระบะตู้ทึบคันที่ 1

จากภาพที่ 5.1 แสดงผลลัพธ์การหาเส้นทางจัดส่งพัสดุกรณีลูกค้า 10 รายของรถคันที่ 1 โดยมีจุดที่ต้องจัดส่งพัสดุทั้งหมด 10 จุด โดยเริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 09:00 น. และกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 11:08 น. ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 2 ชั่วโมง 8 นาที และมีระยะทางรวมในการขนส่งทั้งหมด 130.45 กิโลเมตร อย่างไรก็ตามผลลัพธ์เส้นทางที่ได้

จากการประมวลโปรแกรม VRP spreadsheet solver นั้นจะใช้รถหนึ่งคันในการจัดส่งพัสดุ จึงไม่มีเวลาและเส้นทางของรถคันที่ 2 และคันที่ 3 ในการเดินทาง

5.2 การหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมกรณีลูกค้า 95 ราย

สำหรับผลการทดลองในการจัดเส้นทางจัดส่งพัสดุให้กับลูกค้ากรณีลูกค้า 95 ราย โดยใช้โปรแกรม VRP spreadsheet solver ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นพบว่า จะใช้รถขนส่งจำนวน 2 คันในการจัดส่ง โดยมีรายละเอียดผลลัพธ์มีดังต่อไปนี้

จากภาพที่ 5.2 แสดงผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางกรณีลูกค้า 95 ราย โดยรถคันที่ 1 จะมีจุดที่ต้องจัดส่งพัสดุทั้งหมด 46 จุด โดยเริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 09:00 น. และกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 14:58 น. ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 5 ชั่วโมง 58 นาที และมีระยะทางรวมทั้งหมด 130.45 กิโลเมตร

3	Vehicle:	V1	Stops:	47	Net profit:	0.00						
4	Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount		
5	0	Depot	0.00	0:00		09:00	0:00	0	0.00	0.00		0.00
6	1	Customer 6	5.27	0:13	09:13	09:14	0:14	0	0.00	1.00		1.00
7	2	Customer 22	9.11	0:23	09:24	09:25	0:25	0	0.00	1.00		1.00
8	3	Customer 4	13.73	0:36	09:38	09:39	0:39	0	0.00	1.00		1.00
9	4	Customer 11	14.06	0:38	09:41	09:42	0:42	0	0.00	1.00		1.00
10	5	Customer 39	14.19	0:39	09:43	09:44	0:44	0	0.00	1.00		1.00
11	6	Customer 76	14.53	0:41	09:46	09:47	0:47	0	0.00	1.00		1.00
12	7	Customer 67	15.03	0:42	09:48	09:49	0:49	0	0.00	1.00		1.00
13	8	Customer 89	17.83	0:51	09:58	09:59	0:59	0	0.00	1.00		1.00
14	9	Customer 33	18.13	0:53	10:01	10:02	1:02	0	0.00	1.00		1.00
15	10	Customer 57	27.36	1:05	10:14	10:15	1:15	0	0.00	1.00		1.00
16	11	Customer 77	39.80	1:14	10:24	10:25	1:25	0	0.00	1.00		1.00
17	12	Customer 13	49.73	1:31	10:42	10:43	1:43	0	0.00	1.00		1.00
18	13	Customer 75	59.78	2:19	11:31	11:32	2:32	0	0.00	1.00		1.00
19	14	Customer 95	73.48	2:37	11:50	11:51	2:51	0	0.00	1.00		1.00
20	15	Customer 87	74.58	2:41	11:55	11:56	2:56	0	0.00	1.00		1.00
21	16	Customer 53	75.23	2:44	11:59	12:00	3:00	0	0.00	1.00		1.00
22	17	Customer 81	79.01	2:57	12:13	12:14	3:14	0	0.00	1.00		1.00
23	18	Customer 25	79.63	3:01	12:18	12:19	3:19	0	0.00	1.00		1.00
24	19	Customer 60	82.39	3:06	12:24	12:25	3:25	0	0.00	1.00		1.00
25	20	Customer 37	84.02	3:09	12:28	12:29	3:29	0	0.00	1.00		1.00
26	21	Customer 31	86.34	3:15	12:35	12:36	3:36	0	0.00	1.00		1.00
27	22	Customer 16	86.62	3:15	12:36	12:37	3:37	0	0.00	1.00		1.00
28	23	Customer 47	88.57	3:19	12:41	12:42	3:42	0	0.00	1.00		1.00
29	24	Customer 14	88.68	3:19	12:42	12:43	3:43	0	0.00	1.00		1.00
30	25	Customer 84	93.66	3:38	13:02	13:03	4:03	0	0.00	1.00		1.00
31	26	Customer 55	94.59	3:41	13:06	13:07	4:07	0	0.00	1.00		1.00
32	27	Customer 86	95.26	3:43	13:09	13:10	4:10	0	0.00	1.00		1.00
33	28	Customer 24	95.36	3:43	13:10	13:11	4:11	0	0.00	1.00		1.00
34	29	Customer 80	96.53	3:47	13:15	13:16	4:16	0	0.00	1.00		1.00
35	30	Customer 32	98.13	3:50	13:19	13:20	4:20	0	0.00	1.00		1.00
36	31	Customer 43	99.38	3:52	13:22	13:23	4:23	0	0.00	1.00		1.00
37	32	Customer 74	102.13	3:56	13:27	13:28	4:28	0	0.00	1.00		1.00
38	33	Customer 46	105.39	4:04	13:36	13:37	4:37	0	0.00	1.00		1.00
39	34	Customer 92	106.74	4:10	13:43	13:44	4:44	0	0.00	1.00		1.00
40	35	Customer 90	108.90	4:16	13:50	13:51	4:51	0	0.00	1.00		1.00
41	36	Customer 23	111.05	4:22	13:57	13:58	4:58	0	0.00	1.00		1.00
42	37	Customer 26	112.31	4:24	14:00	14:01	5:01	0	0.00	1.00		1.00
43	38	Customer 20	115.69	4:30	14:07	14:08	5:08	0	0.00	1.00		1.00
44	39	Customer 82	117.75	4:36	14:14	14:15	5:15	0	0.00	1.00		1.00
45	40	Customer 30	119.96	4:42	14:21	14:22	5:22	0	0.00	1.00		1.00
46	41	Customer 61	123.99	4:52	14:32	14:33	5:33	0	0.00	1.00		1.00
47	42	Customer 19	124.12	4:54	14:35	14:36	5:36	0	0.00	1.00		1.00
48	43	Customer 71	124.83	4:57	14:39	14:40	5:40	0	0.00	1.00		1.00
49	44	Customer 70	125.26	4:59	14:42	14:43	5:43	0	0.00	1.00		1.00
50	45	Customer 51	125.87	5:02	14:46	14:47	5:47	0	0.00	1.00		1.00
51	46	Customer 93	128.42	5:06	14:51	14:52	5:52	0	0.00	1.00		1.00
52	47	Depot	130.45	5:12	14:58		5:58	0	95.00	0.00		0.00

ภาพที่ 5.2 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของรถกระบะตู้ทึบคันที่ 1

จากภาพที่ 5.3 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางกรณีลูกค้า 95 ราย ของรถคันที่ 2 โดยมีจุดที่ต้องจัดส่งพัสดุทั้งหมด 49 จุด โดยเริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 09:00 น. และกลับมาถึงศูนย์กระจายสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 15:50 น. ใช้ระยะเวลาทั้งหมด 6 ชั่วโมง 50 นาที มีระยะทางรวมทั้งหมด 130.45 กิโลเมตร ซึ่งผลลัพธ์เส้นทางที่ได้จากการประมวลโปรแกรม VRP spreadsheet solver จะใช้รถสองคันในการจัดส่ง จึงไม่มีเวลาและเส้นทางในการใช้รถคันที่ 3 สำหรับรายละเอียดของผลลัพธ์ที่เป็นเส้นทางของรถแต่ละคันสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.4

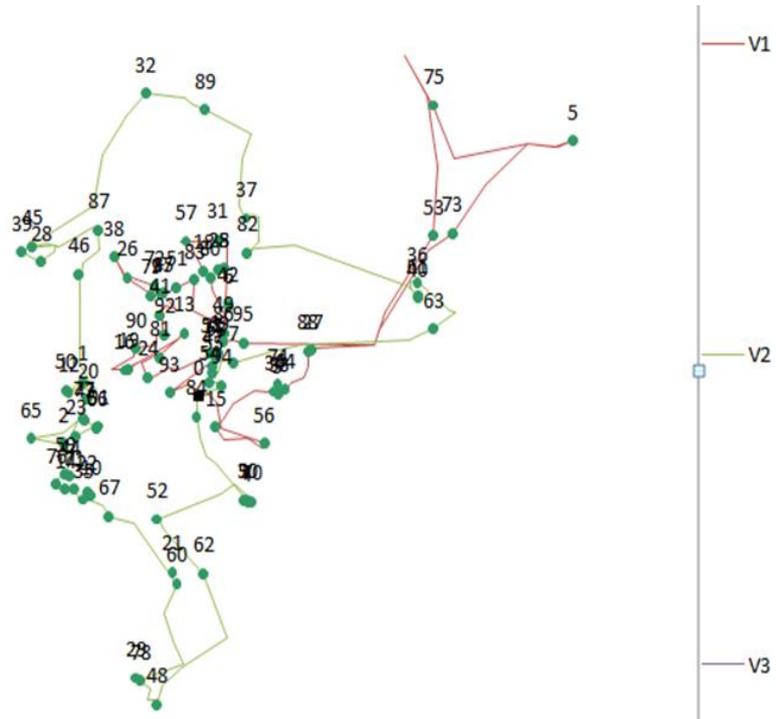
5.3 การเปรียบเทียบด้านระยะเวลาที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุ

สำหรับผลการทดลองในด้านการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุจากบริษัทกรณีศึกษา ไปยังลูกค้าทั้งหมด 95 ราย ด้วยโปรแกรม VRP spreadsheet solver (VRP-SS) เปรียบเทียบกับระยะเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุจากข้อมูลจริงที่ได้จากการเก็บรวบรวม (Time Window) พบว่าระบบเดิมจะใช้เวลาในการจัดส่งพัสดุให้กับลูกค้าตั้งแต่เวลา 09:00 น.- 17:00 น. คิดเป็นเวลาการทำงานเท่ากับ 8 ชั่วโมง (หรือ 480 นาที) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบระยะเวลาที่แตกต่างกันได้ดังตารางที่ 5.1 อธิบายได้ว่า ระบบเดิมมีรถจัดส่งพัสดุนับจำนวน 3 คันและระยะเวลาของรถแต่ละคันจะมีกรอบเวลา 8 ชั่วโมง (หรือ 460 นาที) ในการจัดส่งพัสดุให้แล้วเสร็จในแต่ละวัน ซึ่งระยะเวลาจัดส่งพัสดุที่ได้จากคำตอบโดยการใช้โปรแกรม VRP-SS พบว่า รถคันที่ 1 จะใช้เวลา 5 ชั่วโมง 58 นาที (หรือ 358 นาที) ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 25.42 สำหรับรถคันที่ 2 จะใช้เวลา 6 ชั่วโมง 50 นาที (หรือ 410 นาที) ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 14.58 และรถคันที่ 3 ไม่ถูกเลือกใช้งานเนื่องจากโปรแกรมประมวลผลออกมาว่าควรใช้รถ 2 คันในการจัดส่งพัสดุ ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 100

Vehicle:	V2	Stops:	50 Net profit:			0.00					
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount		
0	Depot	0.00	0:00		09:00	0:00	0	0.00	0.00	0.00	
1	Customer 85	1.11	0:05	09:05	09:06	0:06	0	0.00	1.00	1.00	
2	Customer 12	7.63	0:23	09:24	09:25	0:25	0	0.00	1.00	1.00	
3	Customer 17	8.08	0:25	09:27	09:28	0:28	0	0.00	1.00	1.00	
4	Customer 36	8.27	0:26	09:29	09:30	0:30	0	0.00	1.00	1.00	
5	Customer 72	8.52	0:27	09:31	09:32	0:32	0	0.00	1.00	1.00	
6	Customer 36	16.06	0:39	09:44	09:45	0:45	0	0.00	1.00	1.00	
7	Customer 65	19.71	0:42	09:48	09:49	0:49	0	0.00	1.00	1.00	
8	Customer 52	31.22	1:08	10:15	10:16	1:16	0	0.00	1.00	1.00	
9	Customer 35	33.55	1:16	10:24	10:25	1:25	0	0.00	1.00	1.00	
10	Customer 8	33.79	1:16	10:25	10:26	1:26	0	0.00	1.00	1.00	
11	Customer 63	41.87	1:46	10:56	10:57	1:57	0	0.00	1.00	1.00	
12	Customer 28	42.60	1:46	10:59	11:00	2:00	0	0.00	1.00	1.00	
13	Customer 7	47.46	1:59	11:11	11:12	2:12	0	0.00	1.00	1.00	
14	Customer 29	49.75	2:06	11:19	11:20	2:20	0	0.00	1.00	1.00	
15	Customer 18	50.23	2:08	11:22	11:23	2:23	0	0.00	1.00	1.00	
16	Customer 40	50.76	2:11	11:26	11:27	2:27	0	0.00	1.00	1.00	
17	Customer 73	51.48	2:14	11:30	11:31	2:31	0	0.00	1.00	1.00	
18	Customer 21	52.08	2:17	11:34	11:35	2:35	0	0.00	1.00	1.00	
19	Customer 78	52.76	2:20	11:38	11:39	2:39	0	0.00	1.00	1.00	
20	Customer 62	53.72	2:23	11:42	11:43	2:43	0	0.00	1.00	1.00	
21	Customer 49	54.06	2:24	11:44	11:45	2:45	0	0.00	1.00	1.00	
22	Customer 10	56.32	2:31	11:52	11:53	2:53	0	0.00	1.00	1.00	
23	Customer 68	58.36	2:34	11:56	11:57	2:57	0	0.00	1.00	1.00	
24	Customer 79	61.45	2:37	12:00	12:01	3:01	0	0.00	1.00	1.00	
25	Customer 46	61.57	2:37	12:01	12:02	3:02	0	0.00	1.00	1.00	
26	Customer 91	62.30	2:40	12:05	12:06	3:06	0	0.00	1.00	1.00	
27	Customer 69	62.60	2:42	12:08	12:09	3:09	0	0.00	1.00	1.00	
28	Customer 3	63.89	2:48	12:15	12:16	3:16	0	0.00	1.00	1.00	
29	Customer 27	66.82	2:55	12:23	12:24	3:24	0	0.00	1.00	1.00	
30	Customer 54	69.30	3:00	12:29	12:30	3:30	0	0.00	1.00	1.00	
31	Customer 2	69.52	3:01	12:31	12:32	3:32	0	0.00	1.00	1.00	
32	Customer 1	71.95	3:07	12:38	12:39	3:39	0	0.00	1.00	1.00	
33	Customer 30	78.27	3:14	12:46	12:47	3:47	0	0.00	1.00	1.00	
34	Customer 88	81.50	3:18	12:51	12:52	3:52	0	0.00	1.00	1.00	
35	Customer 5	85.10	3:27	13:01	13:02	4:02	0	0.00	1.00	1.00	
36	Customer 34	87.75	3:34	13:09	13:10	4:10	0	0.00	1.00	1.00	
37	Customer 44	89.24	3:42	13:18	13:19	4:19	0	0.00	1.00	1.00	
38	Customer 38	102.75	4:19	13:56	13:57	4:57	0	0.00	1.00	1.00	
39	Customer 9	106.32	4:31	14:09	14:10	5:10	0	0.00	1.00	1.00	
40	Customer 42	114.56	4:52	14:31	14:32	5:32	0	0.00	1.00	1.00	
41	Customer 83	117.76	5:00	14:40	14:41	5:41	0	0.00	1.00	1.00	
42	Customer 64	127.02	5:16	14:57	14:58	5:58	0	0.00	1.00	1.00	
43	Customer 45	127.44	5:17	14:59	15:00	6:00	0	0.00	1.00	1.00	
44	Customer 41	130.81	5:27	15:10	15:11	6:11	0	0.00	1.00	1.00	
45	Customer 66	134.51	5:31	15:15	15:16	6:16	0	0.00	1.00	1.00	
46	Customer 13	144.34	5:42	15:27	15:28	6:28	0	0.00	1.00	1.00	
47	Customer 39	145.98	5:47	15:33	15:34	6:34	0	0.00	1.00	1.00	
48	Customer 38	146.79	5:51	15:38	15:39	6:39	0	0.00	1.00	1.00	
49	Customer 94	147.49	5:55	15:43	15:44	6:44	0	0.00	1.00	1.00	
50	Depot	148.89	6:01	15:50		6:50	0	55.00	0.00	0.00	

ภาพที่ 5.3 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของรถกระบะตู้ทึบคันที่ 2

นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบในด้านความแตกต่างระหว่าง ระยะเวลาที่พนักงานขับรถแต่ละคันใช้ในการจัดส่งพัสดุที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริง กับ ระยะเวลาใหม่ของรถแต่ละคันที่ได้จากผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS แสดงดังตารางที่ 5.2 ซึ่งอธิบายได้ว่า ระยะเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุของรถทั้ง 3 คันจะอยู่ระหว่าง 460-480 นาที เมื่อนำมาเปรียบเทียบเวลาของรถแต่ละคันที่ได้จากผลลัพธ์จากโปรแกรม VRP-SS จะพบว่า รถคันที่ 1 ระยะเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุคือ 7 ชั่วโมง 40 นาที (หรือ 460 นาที) แต่ระยะเวลาจากโปรแกรม VRP-SS ได้ 5 ชั่วโมง 58 นาที (หรือ 358 นาที) ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 22.17 ส่วนรถคันที่ 2 ระยะเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุคือ 7 ชั่วโมง 50 นาที (หรือ 470 นาที) แต่ระยะเวลาจากโปรแกรม VRP-SS ได้ 410 นาที ซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 12.77 และรถคันที่ 3 เดิมถูกใช้งานซึ่งระยะเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุคือ 480 นาที แต่เนื่องจากโปรแกรม VRP-SS ประมวลผลออกมาว่าควรใช้รถ 2 คันในการจัดส่งพัสดุ จึงทำให้รถคันที่ 3 ไม่ถูกเลือกใช้งานซึ่งลดลงคิดเป็นร้อยละ 100



ภาพที่ 5.4 ผลลัพธ์เส้นทางการจัดส่งพัสดุของยานพาหนะ 3 คัน



ตารางที่ 5.1 เปรียบเทียบระยะเวลาจัดส่งพัสดุที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS กับกรอบเวลาเดิม

ยานพาหนะ ขนส่ง	วิธีการ	เวลา (นาที)	ร้อยละของเวลา ที่ลดลง
รถกระบะตู้ทึบ คันที่ 1	กรอบเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุ (Time window)	480	25.42
	ระยะเวลาการจัดส่งพัสดุของคำตอบจากโปรแกรม VRP-SS	358	
รถกระบะตู้ทึบ คันที่ 2	กรอบเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุ (Time window)	480	14.58
	ระยะเวลาการจัดส่งพัสดุของคำตอบจากโปรแกรม VRP-SS	410	
รถกระบะตู้ทึบ คันที่ 3	กรอบเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุ (Time window)	480	100
	ระยะเวลาการจัดส่งพัสดุของคำตอบจากโปรแกรม VRP-SS	0.00*	

*หมายเหตุ: เนื่องจากโปรแกรมประมวลผลควรใช้รถ 2 คัน จึงไม่มีเวลาการจัดส่งของรถกระบะตู้ทึบคันที่ 3

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบระยะเวลาจัดส่งที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS กับระยะเวลาเดิม

ยานพาหนะ ขนส่ง	วิธีการ	เวลา (นาที)	ร้อยละของเวลา ที่ลดลง
รถกระบะตู้ทึบ คันที่ 1	ระยะเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุ	460	22.17
	ระยะเวลาการจัดส่งพัสดุของคำตอบจากโปรแกรม VRP-SS	358	
รถกระบะตู้ทึบ คันที่ 2	ระยะเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุ	470	12.77
	ระยะเวลาการจัดส่งพัสดุของคำตอบจากโปรแกรม VRP-SS	410	
รถกระบะตู้ทึบ คันที่ 3	ระยะเวลาเดิมที่ใช้ในการจัดส่งพัสดุ	480	100
	ระยะเวลาการจัดส่งพัสดุของคำตอบจากโปรแกรม VRP-SS	0.00*	

*หมายเหตุ: เนื่องจากโปรแกรมประมวลผลควรใช้รถ 2 คัน จึงไม่มีเวลาการจัดส่งของรถกระบะตู้ทึบคันที่ 3

6. สรุปผลและการอภิปรายผล

บริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งพบกับปัญหาการส่งพัสดุไม่ได้ตามเงื่อนไขที่บริษัทกำหนด ทำให้มีพัสดुक้างส่งในโกดังสินค้าในแต่ละวัน ซึ่งการจัดเส้นทางในการจัดส่งพัสดุที่ดีนั้น สามารถลดระยะทางและลดต้นทุนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ ลดปริมาณพัสดुक้างส่ง รวมไปถึงพัสดุที่จัดส่งไม่ทันตาม

กำหนดเวลา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาปัญหาและนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมมาทำการประยุกต์ใช้กับโปรแกรม VRP spreadsheet solver (VRP-SS) ในการแก้ปัญหา เพื่อค้นหาเส้นทางในการจัดส่งพัสดุที่เหมาะสมโดยมีข้อมูลลูกค้า 95 รายในการทดสอบ โดยจะใช้รถกระบะตู้ทึบ 3 คันที่มีความจุและความเร็วเท่ากันในการจัดส่งพัสดุ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้มีดังนี้

รถยนต์กระบะตู้ทึบคันที่ 1 จัดส่งพัสดุทั้งหมด 46 จุด มีระยะทางทั้งหมด 130.45 กิโลเมตร ระยะเวลาในการจัดส่งและกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้ารวมทั้งหมด 5 ชั่วโมง 58 นาที เริ่มจัดส่งตั้งแต่เวลา 09:00 น. - 14:58 น. ซึ่งผลการเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทำงานที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS กับ Time window โดยคิดเป็นร้อยละของระยะเวลาที่ลดลงเท่ากับ 25.42 และเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทำงานที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS กับข้อมูลจริงจากการเก็บข้อมูลโดยคิดเป็นร้อยละของระยะเวลาที่ลดลงเท่ากับ 22.17

สำหรับรถกระบะตู้ทึบคันที่ 2 จัดส่งพัสดุทั้งหมด 49 จุด มีระยะทางทั้งหมด 140.89 กิโลเมตร ระยะเวลาในการจัดส่งและกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้ารวมทั้งหมด 6 ชั่วโมง 50 นาที เริ่มจัดส่งตั้งแต่เวลา 09:00 น. - 15:50 น. ซึ่งผลการเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทำงานที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS กับ Time window โดยคิดร้อยละของระยะเวลาที่ลดลงเท่ากับ 14.58 และเปรียบเทียบกับระยะเวลาการทำงานที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS กับข้อมูลจริงจากการเก็บข้อมูลโดยคิดเป็นร้อยละของระยะเวลาที่ลดลงเท่ากับ 12.77 นอกจากนี้ยังพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS จะไม่มีการใช้รถคันที่ 3 ในการจัดส่งพัสดุ ดังนั้นเมื่อคิดระยะเวลาที่ลดลงจึงเท่ากับร้อยละ 100

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยนี้นอกเหนือจากสามารถประยุกต์ใช้โปรแกรม VRP-SS กับสถานการณ์ที่เกี่ยวกับการขนส่งหรือโลจิสติกส์ด้านอื่น ๆ ที่มีปัญหาในลักษณะเดียวกันได้แล้ว ยังสามารถพิจารณาขอบเขตปัญหาเพิ่มเติมในด้านการพิจารณาเข้ารับพัสดুর่วมกับการจัดส่งพัสดุ การพิจารณาเงื่อนไขเพิ่มเติมด้านความสมดุลและความเท่าเทียมของรถจัดส่งพัสดุ รวมไปถึงการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ของโปรแกรมดังกล่าวกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการสมัยใหม่อื่น ๆ เช่น วิธีการในกลุ่ม Metaheuristics เป็นต้น

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ประพันธ์ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยส่วนหนึ่งจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประเภททุน Fundamental fund ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568

8. เอกสารอ้างอิง

- กัญญาณัฐ น่วมอิม และศิริกาญจน์ จันทร์สมบัติ. (2567). แบบจำลองเชิงเส้นผสมจำนวนเต็มสำหรับการวางแผนการจัดหาวัตถุดิบในการผลิตอาหารสัตว์. **วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 6(1), 125-135.
- เกียรติพงษ์ อุดมชนะธีระ. (2557). **การจัดการขนส่ง (Transportation Management)**. สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2567. ค้นจาก <http://www.iok2u.com>
- เครือวัลย์ จำปาเงิน. (2547). **การพัฒนาาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้า เพื่อการบริโภคตู้ร้านค้าปลีกในสถานบริการน้ำมัน ในจังหวัดนนทบุรี**. (วิทยานิพนธ์อักษรศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- จิตาภา ชมชื่น และกัญชลา สุตตาชาติ. (2560). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของปัญหาการร่วมการขนส่งและปริมาณขนส่งที่เหมาะสม โดยใช้แบบจำลองสถานการณ์. **วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน**, 5(2), 1-10.
- นคร ไชยวงศ์ศักดิ์, ประเวช อนันต์เอื้อ, นิเวศ จินะบุญเรือง, เสกสรรค์ วินยางค์กุล, ขวัญเรือน สนิมรงค์, ธนากร จักรแก้ว, วุฒิชัย ใจบาล และณัฐวุฒิ ศรีสว่าง. (2558). การจัดเส้นทางรถขนส่งโดยใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม. **วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน**, 3(1), 51-61.
- นลินี อุดมสมบัติมีชัย. (2548). **การประยุกต์วิธีศึกษาสำนึกสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ภุชงค์ เวฬุวัน และภณพงษ์ ศรีมงคล. (2562). **การเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยการใช้โปรแกรม VRP กรณีศึกษา ศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดขอนแก่น**. เอกสารนำเสนอในที่ประชุม การประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติมหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ครั้งที่ 1, มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์.
- รวีโรจน์ ป่องทรัพย์. (2564). **การจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ กรณีศึกษาบริษัทขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์**. (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.



- อภิชาติ มณีงาม, กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ และอภินันทนา อุดมศักดิ์กุล. (2556). การเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าประเภทเทกองโดยใช้โปรแกรมพลวัต. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, 1(1), 52-62.
- อำพล นววงศ์เถียร, สุรัตน์ จันทองปาน, ภาณุฉะณี วุฒิภักดาตฺร, สิทธิชัย ฝรั่งทอง, ธิปัตย์ โสติวรณณ์ และชญัญญาณี ป้อมสา. (2559). การวิเคราะห์ปัจจัยและความยืดหยุ่นของปัจจัยในการเลือกรูปแบบการขนส่งของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในจังหวัดสมุทรปราการ. *วารสารพัฒนบริหารศาสตร์*, 56(1), 109-135.
- Dana, M.U., Shanty, K.D., Abdul, W., & Imam, S. (2020). The vehicle routing problem for perishable goods: A systematic review. *Cogent Engineering*, 7(1), Article 1816148.
- Günes, E. (2017). An open-source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. *Computers and Operations Research*, 84, 62-72.



การพัฒนาเครื่องทาบแบนขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมในแนวนอน

DEVELOPMENT OF HORIZONTAL FLATTENING MACHINE FOR PLASTIC WATER BOTTLES AND ALUMINUM CANS

ธนภรณ์ อินชอุใจ, ชัชชฤทธิ์ บุญมีโพธิ์, กฤษณา อ้นอ้าย*

Thanaporn Inchoojai, Chatchalit Boonmeepo, Kritsada On-ai*

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: Kritsada.O@psru.ac.th

วันที่ชำระ 4 เมษายน 2568

วันที่แก้ไขบทความ 29 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 29 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องทาบแบนขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอะลูมิเนียมในแนวนอนแบบไม่ใช้พลังงานไฟฟ้า โดยขวดน้ำพลาสติก (PET) ขนาด 330 และ 600 มิลลิลิตร และกระป๋องอะลูมิเนียมขนาด 245 325 และ 490 มิลลิลิตร โดยอาศัยแรงเหยียบ จากผลการทดสอบพบว่าปริมาตรของขวดน้ำจะมีค่าลดลงเหลือร้อยละ 54.24 และ 58.32 ตามลำดับ เนื่องจากขวดพลาสติกมีความยืดหยุ่นจึงทำให้ขวดน้ำเกิดการคืนตัวหลังจากถูกทาบแบน สำหรับกระป๋องอะลูมิเนียมขนาด 245 325 และ 490 มิลลิลิตร หลังถูกทาบแบนจะมีขนาดลดลงเหลือร้อยละ 24.79 30.73 และ 29.19 ตามลำดับ เนื่องจากกระป๋องอะลูมิเนียมเสียรูปได้ง่ายกว่าขวดน้ำพลาสติก จากคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ดังนั้นการทาบแบนขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอะลูมิเนียมในแนวนอนมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการแบนทาบในแนวตั้ง

คำสำคัญ: ขวดน้ำพลาสติก, กระป๋องอะลูมิเนียม, การทาบแบน, การรีไซเคิล, แนวนอน

Abstract

This article aims to study the design and construction of a non-electric, horizontally operated compaction device for flattening plastic water bottles and aluminum cans. The tested containers included polyethylene terephthalate (PET) water bottles with volumes of 330 mL and 600 mL, and aluminum cans with volumes of 245 mL, 325 mL, and 490 mL. The device operated using foot-applied force. Test results showed that the volumes of the plastic bottles were reduced to 54.24% and 58.32% of their original sizes, respectively. Due to the elasticity of plastic, the bottles exhibited a partial rebound after compression. In contrast, the aluminum cans were reduced to 24.79%, 30.73%, and 29.19%, respectively, as aluminum is more easily deformed due to its physical properties. Therefore, horizontal compaction proved to be nearly as effective as conventional vertical compression.

Keywords: Plastics water bottle, Aluminum can, Flattening, Recycle, Horizontal

1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2566 ประเทศไทยมีขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 26.95 ล้านตัน หรือประมาณ 73,840 ตัน/วัน เฉลี่ย 1.12 กิโลกรัม/คน/วัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2565 ประมาณ 1.25 ล้านตัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2566) โดยมีขยะที่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ประมาณ 9.31 ล้านตัน เช่น แผ่นหลังคาพลาสติก (วรุตม์ และภัทรนันท์, 2557) ส่วนผสมในเชือก อวน และท่อนโพน (ศุภรา และคณะ, 2562) ในแหล่งที่พักอาศัย สถานศึกษา และห้างสรรพสินค้าจะพบขวดน้ำและกระป๋องอลูมิเนียมในถังขยะเป็นจำนวนมาก เพราะคนส่วนใหญ่บริโภคเครื่องดื่มผ่านภาชนะบรรจุและทิ้งลงถังขยะ ทำให้ขยะเหล่านี้มีขนาดของบรรจุภัณฑ์เท่าเดิม จึงทำให้ปริมาตรของการบรรจุขยะและถังขยะลดลงก่อให้เกิดการล้นเปลืองถังขยะเพิ่มขึ้น ซึ่งร้อยละ 80 เกิดจากการใช้ขวดพลาสติกขนาดเล็ก (Becerril-Arreola & Bucklin, 2021) เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้ทำการลดขนาดจะมีช่องว่างของอากาศเป็นจำนวนมากจึงทำให้พื้นที่การจัดเก็บขยะเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการลดปริมาณก่อนทิ้ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2564) การลดขนาดขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมสามารถทำได้โดยการใช้ระบบไฮดรอลิกในการอัดที่ละมากๆ เพื่อใช้ในการขนส่งไปยังแหล่งรีไซเคิล ซึ่งต้องใช้พลังงานไฟฟ้าและมีราคาสูง ใส่ขยะได้ทุกแนวการวางตัว (พงษ์ธร, 2562) การใช้ระบบนิวเมติกกระป๋องอลูมิเนียมในแนวตั้งที่ละกระป๋องต้องอาศัยอุปกรณ์มากมายในการติดตั้ง ซึ่งต้องมีการดูแลรักษาอยู่ตลอดเวลาและสิ้นเปลืองพลังงาน (ปิยมณ, 2561 และ กุศล, 2558) การอัดกระป๋องอลูมิเนียมโดยใช้กลไกข้อต่อเดี่ยว (Single slider crank) ใช้พื้นที่ในการติดตั้งในแนวยาวมาก เนื่องจากข้อจำกัดในการออกแบบของ

กลไก (Nnanna *et al.*, 2021) การทับแบนขยะเหล่านี้โดยไม่อาศัยพลังงานไฟฟ้าจะทำให้ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน และไม่ต้องกลัวอันตรายจากกระแสไฟฟ้า และช่วยลดขนาดของขยะในครัวเรือนได้อย่างทั่วถึง เนื่องจากไม่ต้องบำรุงรักษามาก และใช้ระบบทางกลมาช่วยในการทำงาน ในงานวิจัยนี้ให้ความสนใจกับเครื่องทับแบนทางกลที่ไม่ใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและส่งเสริมให้ประชาชนให้ความสนใจในการคัดแยกขยะก่อนทิ้ง ซึ่งเครื่องทับแบนจะอาศัยน้ำหนักจากการเหยียบเท้าซึ่งอาจทำให้มีแรงกดน้อยกว่าระบบไฮดรอลิกและนิวเมติก จึงต้องเปลี่ยนทิศทางการวางตัวของขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมให้อยู่ในแนวนอน ซึ่งจะทำให้ระยะในการทับแบนลดลงและทำให้เสียรูปได้ง่าย

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการออกแบบและสร้างเครื่องลดขนาดขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมในแนวนอน โดยไม่ใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อลดพื้นที่ในการจัดเก็บขยะก่อนเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล และจุดประกายให้ประชาชนหันมาใส่ใจคัดแยกขยะก่อนทิ้งลงถังขยะ

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- เพื่อศึกษาขนาดของขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมหลังการทับแบนในแนวนอน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการทดสอบจะใช้ขวดน้ำดื่มพลาสติกประเภท Polyethylene terephthalate (PET) ที่มีขนาด 330 และ 600 มิลลิเมตร และกระป๋องเครื่องดื่มอลูมิเนียมขนาด 245 325 และ 490 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2 เพื่อหาปริมาณที่ลดลงหลังการทับแบนในแนวนอน แรงเหยียบที่ใช้ในการทดสอบเป็นการใช้เท้าข้างหนึ่งในการเหยียบ โดยผู้ทดสอบเป็นผู้หญิงมีน้ำหนักประมาณ 45 กิโลกรัม วัตต์แรงที่ใช้ในการเหยียบได้ค่าเฉลี่ยประมาณ 25 กิโลกรัม จึงใช้เป็นตัวแปรควบคุมในการทดลอง หลักการเครื่องทับแบนขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมแบบไม่ใช้พลังงานไฟฟ้า จะอาศัยน้ำหนักจากเท้าข้างใดข้างหนึ่งของคนเหยียบ โดยจะบรรจุขวดน้ำหรือกระป๋องในช่องบรรจุ ดังแสดงในภาพที่ 3 และ 4 หมายเลข (1) ซึ่งจะเป็นช่องใส่วางตัวในแนวเฉียงเพื่อทำให้วัสดุเคลื่อนลงมาตามแรงโน้มถ่วงซึ่งจะมีแผ่นเหล็กเล็กๆ กั้นไว้ เมื่อใช้เท้าเหยียบบริเวณหมายเลข (2) จะทำให้แท่นเหยียบเคลื่อนที่ลงมาด้านล่างเพื่อประกบกัน ทำให้แรงกดส่งถ่ายไปยังตัวส่งกำลังซึ่งจะทำให้หมายเลข (3) เกิดการเคลื่อนที่ลงมาตามระยะในการเหยียบ โดยใช้เหยียบจนแท่นเหยียบถึงตำแหน่งล่างสุด แล้วจึงปล่อยแท่นเหยียบ สปริงในหมายเลข (4) ที่ยึดตามระยะทางของแรงกดก่อนหน้า จะดึงให้แท่นเหยียบเคลื่อนที่กลับมาในตำแหน่งเดิม ทำให้เครื่องเหยียบอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานอีกครั้ง



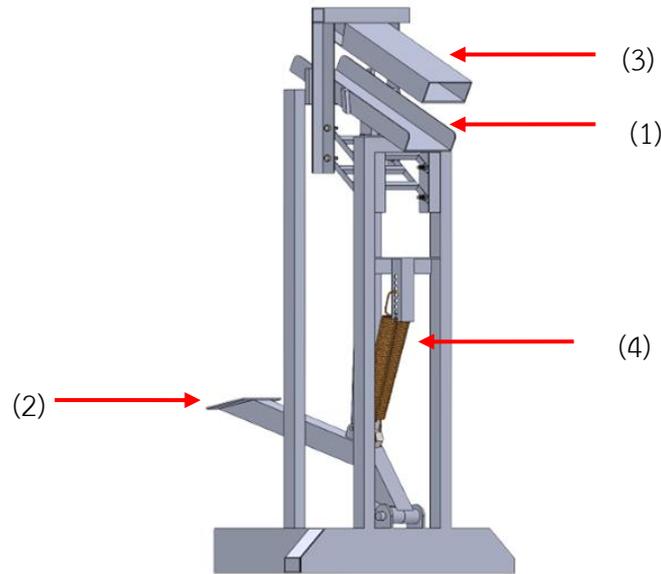
ภาพที่ 1 ขวดน้ำพลาสติก ขนาด 330 และ 600 มิลลิลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 2 กระป๋องเครื่องดื่มอลูมิเนียม ขนาด 245 325 และ 490 มิลลิลิตร ตามลำดับ

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมขวดน้ำและกระป๋องอลูมิเนียมตามขนาดที่ต้องการ สำหรับขวดน้ำให้เปิดฝาออกเพื่อลดแรงดันจากอากาศภายในขวดน้ำ
2. วางขวดน้ำหรือกระป๋องในแนวตำแหน่งกดทับในแนวนอน โดยใส่วัตถุจากด้านบนเพื่อให้วัตถุอยู่ในกำลังที่กำหนดไว้
3. วางแท็บแบนแทนเหยียบและออกแรงกดเพื่อให้แผ่นทับแบนเคลื่อนที่ลงมาทับขวดน้ำหรือกระป๋องอลูมิเนียม การทดสอบแสดงในภาพที่ 4
4. รูปทรงกระบอกของขวดน้ำและกระป๋องอลูมิเนียมจะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งพื้นที่หน้าตัดวงกลมจะเปลี่ยนแปลงไป การวัดรูปทรงหลังการทับแบนจะวัดความสูงจากด้านล่างจนถึงด้านบน วัดความแบนในด้านพื้นที่หน้าตัดเดิมก่อนทับแบน และวัดความกว้างในแนวของเส้นผ่าศูนย์กลางเดิมก่อนการทับแบน โดยใช้ไม้บรรทัด (ความแม่นยำ ± 1 มิลลิเมตร) ด้านละ 4 ตำแหน่ง ในระยะที่ห่างกันอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากขวดน้ำและกระป๋องอลูมิเนียมหลังทับแบนจะมีรูปทรงที่ไม่แน่นอน แล้วนำค่ามาเฉลี่ยเพื่อหาปริมาตรหลังการทับแบน



ภาพที่ 3 การออกแบบเครื่องทับแบนขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียม



ภาพที่ 4 การทดสอบการทับแบนขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียม

4. ผลการวิจัย

การทดสอบจะเป็นการวิเคราะห์ปริมาณที่ลดลงหลังการทับแทนโดยจะแยกวิเคราะห์เป็นการทับแบนเฉพาะขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียม เนื่องจากวัสดุทั้งสองมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แตกต่างกัน ลักษณะขวดน้ำและกระป๋องหลังการทับแบนแสดงในภาพที่ 5 และภาพที่ 6 ตามลำดับ



(ก)



(ข)

ภาพที่ 5 ลักษณะของขวดน้ำหลังการทับแบน (ก) 330 มิลลิลิตร (ข) 600 มิลลิลิตร



(ก)



(ข)



(ค)

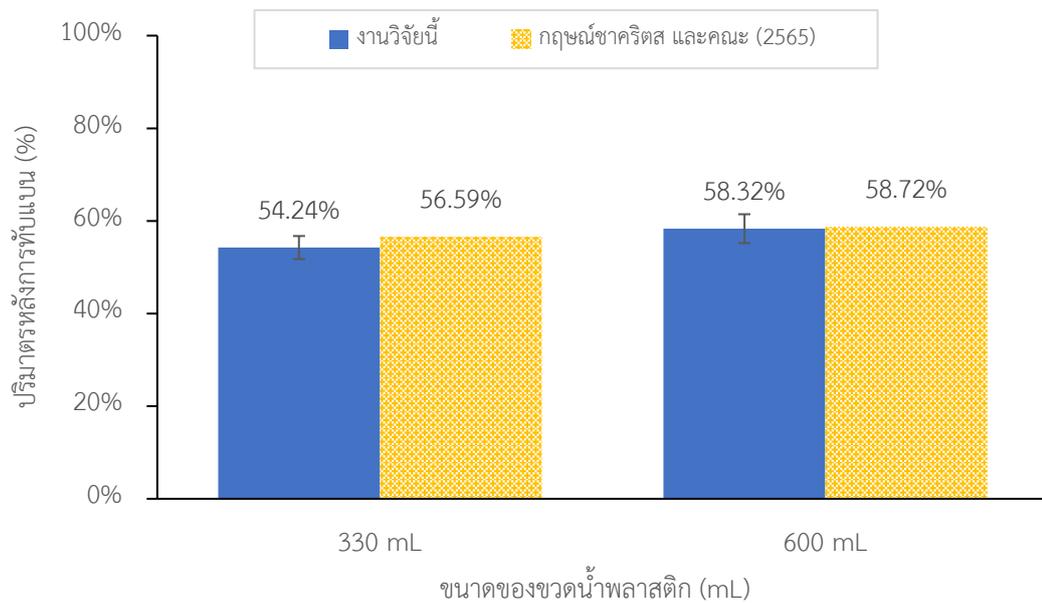
ภาพที่ 6 ลักษณะของกระป๋องอลูมิเนียมหลังการทับแบน

(ก) 245 มิลลิลิตร (ข) 325 มิลลิลิตร (ค) 490 มิลลิลิตร

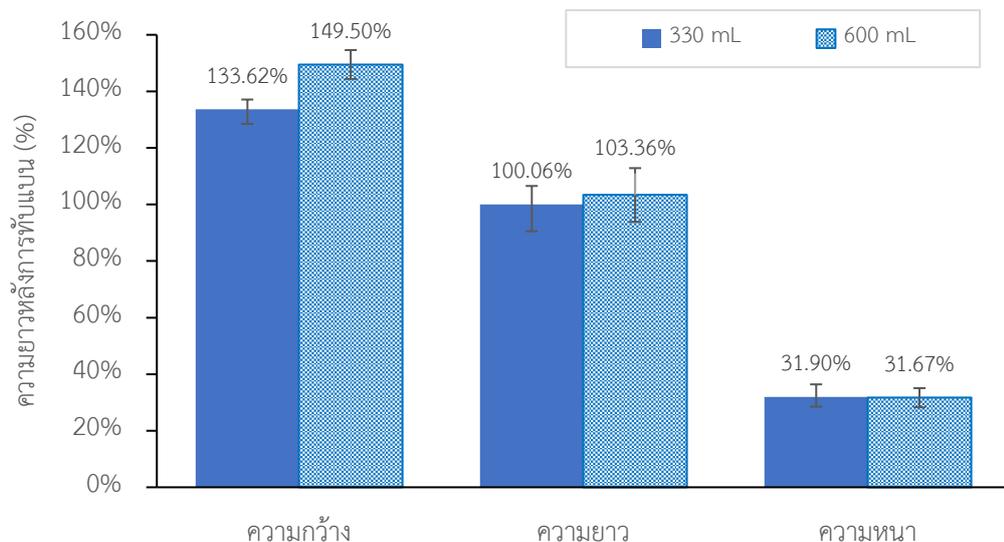
4.1 ผลการทับแบนขวดน้ำพลาสติก

การทับแบนขวดน้ำพลาสติกประเภท PET โดยใช้เครื่องทับแบนที่ใช้แรงกดจากการเหยียบพบว่าขวดน้ำขนาด 330 และ 600 มิลลิลิตร จะมีปริมาตรลดลงเหลือร้อยละ 54.24 และ 58.32 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 6 โดยการทับแบนจะทำให้ขวดน้ำแบนและกว้างขึ้น ซึ่งความกว้างของขวดน้ำขนาด 330 มิลลิลิตร จะเพิ่มร้อยละ 133.62 ของความกว้างเดิม และความแบนจะมีขนาดร้อยละ 31.90 เช่นเดียวกับขวดน้ำขนาด 600 มิลลิลิตร ซึ่งมีความกว้างเพิ่มขึ้นร้อยละ 149.50 และความแบนร้อยละ 31.67 ดังแสดงในภาพที่ 7 เนื่องจากขวดน้ำพลาสติกมีความยืดหยุ่นเพราะพอลิเมอร์ทำ

ให้วัสดุสามารถดูดซับแรงกด และผ่อนแรงออกมาเมื่อตัวกดทับยกตัวขึ้น จึงทำให้ขวดน้ำบางส่วนเกิดการคืนตัว ร้อยละการยุบตัวของขวดน้ำทั้งสองขนาดแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ แนวโน้มของการทดลองนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ กฤษณ์ชาคริตส และคณะ (2565) ซึ่งได้ทำการอัดขวดน้ำพลาสติกในแนวยาวโดยใช้มอเตอร์หมุนเพลาคือเหียงเพื่อส่งแรงอัดมายังกระบอกอัดขวดน้ำ ดังนั้นการอัดขวดน้ำในแนวนอนหรือแนวตั้งจะทำให้ขวดน้ำพลาสติกมีส่วนการยุบตัวที่ใกล้เคียงกัน



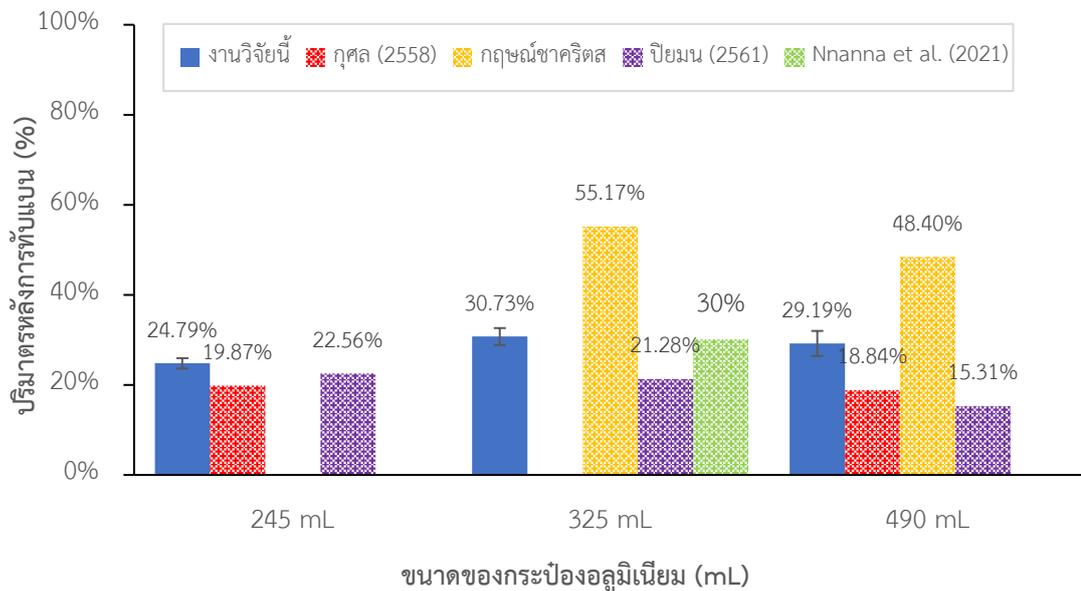
ภาพที่ 6 ปริมาตรของขวดน้ำพลาสติกหลังการทับแบน



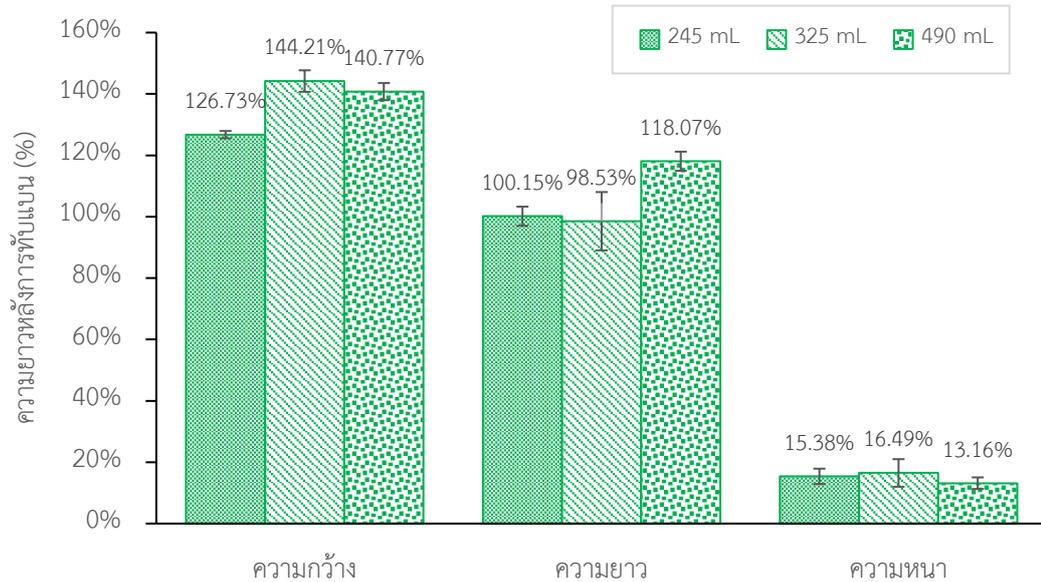
ภาพที่ 7 ความยาวในมิติต่างๆ ของขวดน้ำพลาสติกหลังการทับแบน

4.2 ผลการทับแบนกระป๋องอลูมิเนียม

การทับแบนกระป๋องอลูมิเนียมขนาด 245 325 และ 490 มิลลิลิตร พบว่าปริมาตรของกระป๋องอลูมิเนียมจะลดลงเหลือร้อยละ 24.79 30.73 และ 29.19 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 8 โดยความกว้างจะเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 126.73 144.21 และ 140.77 ตามลำดับ และความแบนจะเท่ากับร้อยละ 15.38 16.49 และ 13.16 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งมีสัดส่วนการยุบตัวมากกว่าขวดพลาสติก เนื่องจากกระป๋องอลูมิเนียมมีจุดคราก (Yield strength) ประมาณ 40-55 เมกะปาสคาล (SAE International, 2020) ซึ่งน้อยกว่าขวดน้ำ PET ที่มีค่าประมาณ 55-75 เมกะปาสคาล (Omran *et al.*, 2016) การทับแบนในแนวนอนไม่มีผลต่อขนาดความจุของกระป๋องอลูมิเนียม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ กุศล (2558) ซึ่งใช้ระบบนิวเมติกส์ที่มีแรงอัด 6 บาร์ แต่แตกต่างกับงานวิจัยของ กฤษณ์ชาคริตส และคณะ (2565) และ ปิยมณ (2561) เพราะเมื่อความจุของกระป๋องมีขนาดเพิ่มขึ้น ร้อยละการยุบตัวจะมีเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระป๋องมีความสูงเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะการยุบตัวมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นตาม เมื่อกระป๋องมีขนาดบรรจุตั้งแต่ 325 มิลลิลิตร ขึ้นไป



ภาพที่ 8 ปริมาตรของกระป๋องเครื่องดื่มอลูมิเนียมหลังการทับแบน



ภาพที่ 9 ความยาวในมิติต่างๆ ของกระป๋องเครื่องดื่มออลูมิเนียมหลังการบำบัด

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การพัฒนาเครื่องบำบัดขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมในแนวนอน โดยใช้ขวดน้ำพลาสติกประเภท PET ขนาด 330 และ 600 มิลลิลิตร สามารถลดปริมาตรของขวดน้ำเหลือเพียงร้อยละ 54.24 และ 58.32 ตามลำดับ สำหรับกระป๋องอลูมิเนียมขนาด 245 325 และ 490 มิลลิลิตร สามารถลดปริมาตรของกระป๋องให้เหลือร้อยละ 24.79 30.73 และ 29.19 ตามลำดับ เนื่องจากกระป๋องอลูมิเนียมเสียรูปได้ง่ายกว่าขวดน้ำพลาสติกจากคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ ผลงานวิจัยการบำบัดขวดน้ำพลาสติกและกระป๋องอลูมิเนียมในแนวนอนมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการบำบัดในแนวตั้งที่ใช้ระบบไฮดรอลิกและระบบนิวเมติกเป็นกลไกการทำงาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนจากจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
ปีงบประมาณ 2565 รหัสโครงการ RDI-2-65-33

7. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2567). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2566. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ.
กฤษณชาติกรตส ณ วัฒนประเสริฐ, กุสุมา ผลาพรหม, อภิสิทธิ์ อุปกิจ, สุทัศน์ ดอนภูมา, สีนีนาดสงวนศรี, พัฒนพงษ์ สุทยานาง และวิศ เดชะรินทร์. (2565). การพัฒนาเครื่องอัดขวด

- พลาสติกและกระป๋องเหลือใช้ของชุมชนระบบกึ่งอัตโนมัติ. วารสารวิชาการเทคสตร์ I-TECH, 17(2), 106-114.
- กุศล สมุทรศรีรินทร์. (2558). **เครื่องอัดกระป๋องอลูมิเนียม**. (รายงานวิจัย). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- ณิชา บูลสิงค์. (2558). **การบริหารจัดการขยะ : กรณีจังหวัดสงขลาและกรุงเทพมหานคร**. กรุงเทพฯ: สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร.
- ปิยมน พัวพงศกร. (2561). **การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับลดขนาดกระป๋องอลูมิเนียมแบบอัตโนมัติ**. (รายงานผลการวิจัย). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- พงษ์ธร วิจิตรกุล. (2562). **การสร้างเครื่องอัดขยะโดยอาศัยกระบวนการที่มีส่วนร่วมของชุมชนเพื่อแก้ปัญหา พื้นที่จัดเก็บขยะในชุมชนจังหวัดน่าน**. งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 11, 11-12 กรกฎาคม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, นครปฐม.
- วรุฒม์ รัตนภักดี และ ภัทธนนท์ ทักชนัน. (2557). **แผ่นหลังคาพลาสติกกรีซเคลเพื่อการป้องกันความร้อน**. Built Environment Research Associates Conference, 88-95.
- ศุภรา อรุณศรีมรกต, ปิติวรรณ สมไทย และ ภารดี พันธุภากร. (2562). **การศึกษากระบวนการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษขยะขวดน้ำพลาสติกและกระบวนการสร้างพื้นผิวโดยผสมผสานกับเศษวัสดุแห เชือก อวน และ ฟันโม่**. วารสารศิลปกรรมบูรพา, 90-103.
- สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี. (2564) **แผนปฏิบัติการลดและคัดแยกขยะมูลฝอย**. (แผนปฏิบัติการ). กรุงเทพฯ: สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี
- Becerril-Arreola, R., & Bucklin, R.E. (2021). **Beverage bottle capacity, packaging efficiency, and the potential for plastic waste reduction**. (Scientific Reports). Doi: 10.1038/s41598-021-82983-x
- Nnanna, I., Otuu, J.B., & Nnachi, B.O. (2021). Design and Fabrication of a Portable Electrically Powered Aluminium Can Crushing Machine. **Journal of Science, Engineering Development, Environment & Technology**, 2(1), 29-38.
- Omran, E., Menezes, P.L. & Rohatgi, P.K. (2016). State of the art on tribological behavior of polymer matrix composites reinforced with natural fibers in the green materials world. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 19(2), 717-736. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2015.10.007>
- SAE International. (2020). **Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS) Handbook - 14**. Retrieved from <https://www.sae.org/publications/books/content/b-989/?src=b-986>



การพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิง
วัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก
DEVELOPMENT OF DIGITAL GAME ON ROBLOX PLATFORM TO
PROMOTE CULTURAL TOURISM AT WAT THAI WATTHANARAM
MAESOT DISTRICT TAK PROVINCE

สรวิศ ไจเถิน, พัททพงษ์ จันโอด, อภินันท์ ธรรมธีระศิษฏ์*, เอกกรัฐ ปัญญาเทพ

Sorrawit Jaithoen, Phitakpong Janaod, Apinan Thamteerasit*, Eakkarath Panyathep

โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แม่สอด อ.แม่สอด จ.ตาก ประเทศไทย 63110

Computer Technology Program, Kamphang Phet Rajabhat University, Maesot, Tak, Thailand, 63110

*Corresponding author e-mail: aphinan_t@kpru.ac.th

วันที่เข้ารับ 8 เมษายน 2568

วันที่แก้ไขบทความ 25 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 25 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก 2) เพื่อทดสอบประสิทธิภาพเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก 3) ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก การวิจัยนี้เป็นการวิจัยและพัฒนา กลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย ได้แก่ ผู้ใช้งาน จำนวน 30 คน เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ เกมดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก แบบประเมินประสิทธิภาพ และแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล คือ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า ผลการทดสอบประสิทธิภาพเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.46, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.33) ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 4.54, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.58)

คำสำคัญ: เกมดิจิทัล, การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม, โรบล็อทซ์

Abstract

This research aimed to: 1) design and develop a digital game on the Roblox platform to promote cultural tourism at Wat Thai Wattanaram, Mae Sot District, Tak Province; 2) evaluate the effectiveness of the digital game on the Roblox platform in promoting cultural tourism at Wat Thai Wattanaram, Mae Sot District, Tak Province; and 3) assess user satisfaction with the digital game on the Roblox platform for promoting cultural tourism at Wat Thai Wattanaram, Mae Sot District, Tak Province. This study adopted a research and development approach. The sample group consisted of 30 participants. The research instruments included the digital game for promoting cultural tourism at Wat Thai Wattanaram, Mae Sot District, Tak Province, an efficiency evaluation form, and a user satisfaction questionnaire. Data analysis was conducted using mean and standard deviation.

The results showed that the overall efficiency of the digital game was rated at a high level (mean = 4.46, S.D. = 0.33). The user satisfaction evaluation of the digital game on the Roblox platform for promoting cultural tourism at Wat Thai Wattanaram, Mae Sot District, Tak Province, was rated at the highest level (mean = 4.54, S.D. = 0.58).

Keywords: Digital game, Cultural tourism, Roblox

1. บทนำ

การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมเป็นรูปแบบการท่องเที่ยวที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการอนุรักษ์และเผยแพร่มรดกทางวัฒนธรรมของประเทศ โดยมุ่งเน้นให้นักท่องเที่ยวได้ศึกษา เรียนรู้ และได้รับประสบการณ์ตรงกับวัฒนธรรมในหลากหลายรูปแบบ เช่น การเข้าร่วมประเพณีท้องถิ่น การสัมผัสวิถีชีวิตชุมชน หรือการเยี่ยมชมโบราณสถานที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์ การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมได้แตกต่างออกไปจากการท่องเที่ยวรูปแบบดั้งเดิม ด้วยการผสมผสานองค์ประกอบหรือทรัพยากรต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ทั้งทรัพยากรทางสังคม สิ่งแวดล้อม และธุรกิจ เกิดเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่ตอบสนองความต้องการของนักท่องเที่ยวที่มีต่อรูปแบบการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (ชิตาวีร์, 2562) ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมได้รับความนิยมนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการท่องเที่ยวตามวัดวาอารามต่าง ๆ ซึ่งเป็นสถานที่รวบรวมศิลปะ วัฒนธรรม และประวัติศาสตร์อันทรงคุณค่าของประเทศไทย วัดในประเทศไทยไม่เพียงเป็นสถานที่ประกอบพิธีกรรมทางศาสนาเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งรวม

งานศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมที่สะท้อนให้เห็นถึงภูมิปัญญา ความเชื่อ และรากฐานทางวัฒนธรรมของคนในท้องถิ่นนั้น ๆ (กล้า, 2558)

วัดไทยวัฒนารามตั้งอยู่ในอำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นวัดที่มีความสำคัญทางประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมของภูมิภาค วัดแห่งนี้มีสถาปัตยกรรมและศิลปกรรมที่โดดเด่น รวมถึงเป็นศูนย์กลางประเพณีและพิธีกรรมสำคัญของชุมชนด้วยที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ชายแดนไทย-เมียนมา ทำให้วัดไทยวัฒนารามมีลักษณะเฉพาะที่ผสมผสานระหว่างศิลปะล้านนาและศิลปะพม่า ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการแลกเปลี่ยนทางวัฒนธรรมในพื้นที่ชายแดนแต่อย่างไรก็ตาม วัดแห่งนี้ยังไม่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายในกลุ่มนักท่องเที่ยวทั่วไป โดยเฉพาะกลุ่มนักท่องเที่ยวรุ่นใหม่ การที่แหล่งท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมอย่างวัดไทยวัฒนารามยังไม่เป็นที่รู้จักในวงกว้าง อาจเนื่องมาจากการนำเสนอข้อมูลและประสบการณ์การท่องเที่ยวของวัดไทยต่าง ๆ ยังเป็นรูปแบบการนำเสนอแบบดั้งเดิมที่ไม่สามารถดึงดูดความสนใจของนักท่องเที่ยวรุ่นใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันซึ่งเป็นยุคสมัยแห่งเทคโนโลยีดิจิทัล เทคโนโลยีมีบทบาทสำคัญต่อชีวิตประจำวันของผู้คนเป็นอย่างมาก ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีดิจิทัลส่งผลให้อุตสาหกรรมเกมดิจิทัลในปัจจุบันมีการพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งทำให้เกิดโอกาสในการนำเสนอข้อมูลและประสบการณ์การท่องเที่ยวรูปแบบใหม่ ๆ ที่น่าสนใจและมีปฏิสัมพันธ์มากขึ้น (ณัฐกมล, 2562) เกมดิจิทัลในแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์ (Roblox) เป็นเกมออนไลน์ที่ได้รับความนิยมอย่างสูง มีผู้ใช้งานกว่า 150 ล้านคนทั่วโลก โดยเฉพาะในกลุ่มเยาวชนและวัยรุ่น นอกจากนี้แพลตฟอร์มโรบล็อทซ์ยังเปิดโอกาสให้นักพัฒนาสามารถสร้างเนื้อหาและประสบการณ์เสมือนจริงได้อย่างหลากหลาย (พิศณู, 2567) ทำให้เป็นช่องทางที่มีศักยภาพในการเผยแพร่วัฒนธรรมและส่งเสริมการท่องเที่ยว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของวัดไทยวัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญในการอนุรักษ์และเผยแพร่วัฒนธรรมไทยผ่านการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับประวัติศาสตร์ ศิลปะ และวัฒนธรรมของวัดให้แก่ผู้เล่นเกมทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ การพัฒนาเกมนี้จะเป็นการบูรณาการระหว่างเทคโนโลยีดิจิทัลและการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด Digital cultural tourism ที่กำลังได้รับความนิยมในระดับนานาชาติ อีกทั้งยังเป็นการตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลในการส่งเสริมอุตสาหกรรมสร้างสรรค์และการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของวัดไทยวัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก เป็นการวิจัยแบบวิจัยและพัฒนา (Research and development) มีวิธีดำเนินงานวิจัยดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

3.1.1 ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ผู้ที่สนใจการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและผู้ที่มีประสบการณ์ในการเล่นเกมนในแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์ โดยเฉพาะกลุ่มเยาวชนและนักเรียน นักศึกษา

3.1.2 กลุ่มตัวอย่าง ประกอบด้วย

1) กลุ่มผู้ทดลองใช้งาน จำนวน 30 คน ซึ่งคัดเลือกโดยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive sampling)

2) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน ที่มีความเชี่ยวชาญในด้านเทคโนโลยีการศึกษา การพัฒนาเกม และศิลปวัฒนธรรม เพื่อใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของเกม

3.2 เครื่องมือและวิธีการสร้างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 เกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ใช้แนวทางในการพัฒนาตามหลักการของ ADDIE Model ซึ่งประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ (Analysis) การออกแบบ (Design) การพัฒนา (Development) การนำไปใช้ (Implementation) และการประเมินผล (Evaluation) เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบและพัฒนาเกมดิจิทัลเพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมบนแพลตฟอร์ม โรบล็อทซ์ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

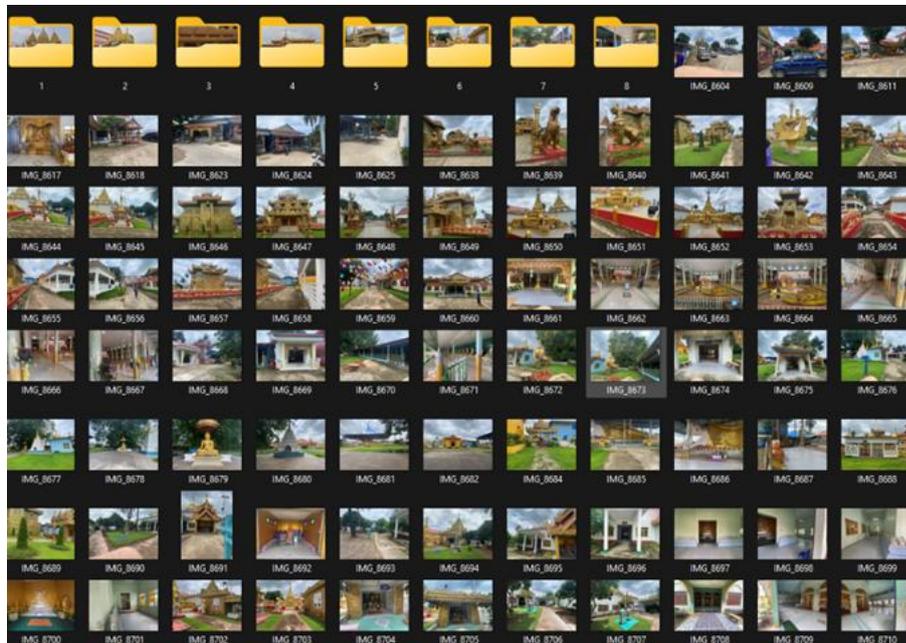
1) การวิเคราะห์

ผู้วิจัยดำเนินการศึกษาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับสถานที่ท่องเที่ยวเป้าหมาย คือ วัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ทั้งในด้านประวัติศาสตร์ วัฒนธรรม และลักษณะทางสถาปัตยกรรมที่สำคัญ จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญด้านประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมและลงสำรวจพื้นที่จริงแล้วทำการวิเคราะห์เนื้อหาทางวัฒนธรรมที่สะท้อนเอกลักษณ์และคุณค่าของวัดไทยพัฒนา

รามสำหรับบูรณาการลงในเกม รวมถึงวิเคราะห์พฤติกรรมและความสนใจของกลุ่มเป้าหมายซึ่งเป็นผู้ใช้งานแพลตฟอร์มโซเชียลมีเดียเพื่อนำมาประกอบการออกแบบเนื้อหาและกิจกรรมในเกม

2) การออกแบบ

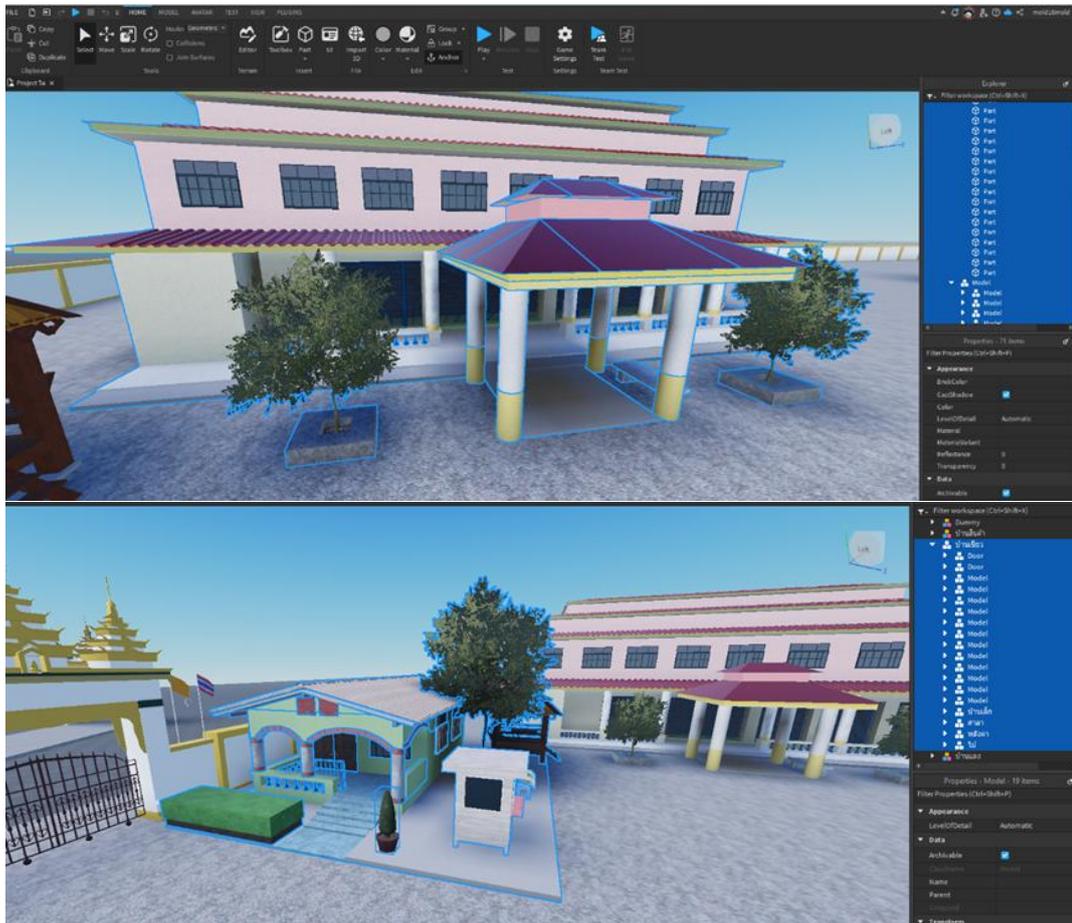
ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยดำเนินการวางแผนและออกแบบเนื้อหาเกมให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการเรียนรู้และส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมและมุ่งเน้นสร้างประสบการณ์การเรียนรู้แบบโต้ตอบผ่านการสำรวจพื้นที่สถานที่จำลองแบบสามมิติ โดยกำหนดลำดับกิจกรรมในเกม โครงสร้างเกม (Game map) รูปแบบการโต้ตอบ ตลอดจนการออกแบบอินเทอร์เฟซที่เหมาะสมกับผู้ใช้กลุ่มเป้าหมายและ



ภาพที่ 1 ข้อมูลภาพถ่ายจากการลงสำรวจพื้นที่สถานที่จริง

3) การพัฒนา

ผู้วิจัยดำเนินการสร้างแบบจำลองสามมิติของวัดไทยวัฒนารามและสภาพแวดล้อมโดยรอบวัดทั้งในด้านภูมิประเทศ พืชพรรณ และบรรยากาศ โดยใช้โปรแกรม Blender เพื่อสร้างโมเดลที่มีความละเอียดและสมจริงและพัฒนาระบบการทำงานต่าง ๆ ของเกม ได้แก่ ระบบควบคุมตัวละคร (Character control system) ระบบภารกิจ (Quest system) ระบบการให้ข้อมูล (Information system) ระบบการมีปฏิสัมพันธ์กับวัตถุ (Object interaction system) และระบบติดตามความก้าวหน้า (Progress tracking system) ด้วยภาษา Lua ผ่านโปรแกรม Roblox Studio



ภาพที่ 2 การสร้างโมเดลด้วยโปรแกรม Roblox Studio

4) การนำไปใช้

ผู้วิจัยดำเนินการทดสอบเกมในเบื้องต้นเพื่อเป็นการตรวจสอบข้อผิดพลาดทางเทคนิคและการทำงานของระบบต่าง ๆ ในเกม ปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่พบจากการทดสอบในเบื้องต้นและดำเนินการให้ผู้เชี่ยวชาญด้านการพัฒนาเกมและด้านวัฒนธรรมทดลองเล่นและประเมินคุณภาพของเกมแล้วทำการปรับปรุงเกมตามข้อเสนอแนะของผู้เชี่ยวชาญ แล้วจึงนำเกมที่พัฒนาขึ้นไปเผยแพร่ให้กับกลุ่มตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยผู้ใช้งานจำนวน 30 คน ได้ทดลองใช้งานจริง โดยมีการให้คำแนะนำและควบคุมการใช้งานเบื้องต้น เพื่อให้การใช้งานเกมเป็นไปอย่างเหมาะสมและสามารถเก็บข้อมูลได้ตามวัตถุประสงค์

5) การประเมินผล

งานวิจัยนี้มีการประเมินผล 2 ด้านได้แก่ 1) การประเมินประสิทธิภาพของเกม การประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญใช้แบบประเมินประสิทธิภาพที่ออกแบบขึ้นตามหลักเกณฑ์การออกแบบเกมและการเรียนรู้ 2) การประเมินความพึงพอใจโดยผู้ใช้ โดยใช้แบบประเมินความพึงพอใจ



ต่อมีต่อเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอมะสออด จังหวัดตาก

3.2.2 แบบประเมินประสิทธิภาพเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอมะสออด จังหวัดตาก

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการสร้างแบบประเมินประสิทธิภาพของเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอมะสออด จังหวัดตาก มีขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวิจัยดังนี้

1) ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ผู้วิจัยได้ศึกษาหลักการออกแบบเกมเพื่อการเรียนรู้ แนวทางการประเมินประสิทธิภาพสื่อดิจิทัล การเรียนรู้เชิงวัฒนธรรม และเกณฑ์การประเมินคุณภาพของเกมและสื่อการเรียนรู้เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดประเด็นที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพ

2) ออกแบบเครื่องมือประเมินประสิทธิภาพ แบบประเมินประสิทธิภาพของเกมดิจิทัลที่พัฒนาขึ้นถูกออกแบบให้มีลักษณะเป็นแบบสอบถามที่ใช้มาตราส่วนประเมินแบบลิเคิร์ต 5 ระดับ (Likert scale) ประกอบด้วยรายการประเมินทั้งหมด 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านเนื้อหาและความถูกต้อง 2) ด้านการออกแบบและการใช้งาน 3) ด้านการส่งเสริมการเรียนรู้และการท่องเที่ยว

3) ตรวจสอบความตรงของเนื้อหา ผู้วิจัยได้นำแบบประเมินฉบับร่างเสนอให้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 คน ที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษา การพัฒนาเกม ศิลปวัฒนธรรม ทำการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหา (Content validity) โดยใช้แบบประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง (Index of item-objective congruence: IOC)

4) ปรับปรุงแก้ไขและจัดทำแบบประเมินฉบับสมบูรณ์แล้วนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

3.2.3 แบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่อเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอมะสออด จังหวัดตาก

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือวิจัยคือ แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ ที่มีต่อเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อใช้วัดความพึงพอใจและความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่างที่ทดลองใช้งานเกม มีขั้นตอนการสร้างเครื่องมือวิจัยดังนี้

1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาเกมดิจิทัลและการประเมินประสบการณ์ของผู้ใช้งาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบประเด็นและหัวข้อประเมินที่เหมาะสม

2) ออกแบบแบบประเมินความพึงพอใจ แบบประเมินมีลักษณะเป็นแบบสอบถามชนิดมาตราส่วนประมาณค่าแบบ ลิเคิร์ต 5 ระดับ (Likert scale) โดยแบ่งออกเป็น 4 ด้านหลัก ประกอบด้วย 1) ด้านเนื้อหา 2) ด้านการออกแบบเกม 3) ด้านการใช้งาน 4) ความพึงพอใจโดยรวม

3) ตรวจสอบความตรงของเนื้อหา ผู้วิจัยนำแบบประเมินฉบับร่างเสนอต่อผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 3 คน ที่มีความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีการศึกษา การพัฒนาเกม และการวัดผล ประเมินผล ทำการตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยใช้แบบประเมินค่าดัชนีความสอดคล้อง IOC

4) ปรับปรุงแก้ไขและจัดทำแบบประเมินฉบับสมบูรณ์แล้วนำไปใช้จริงกับกลุ่มตัวอย่าง ในการวิจัย

3.3 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยนี้ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยโดยใช้แนวทางการพัฒนาตามกระบวนการ ADDIE model ผู้วิจัยได้ดำเนินการพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม วัดไทยวัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก มีผลการวิจัยตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

4.1 ผลการออกแบบและพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของวัดไทยวัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ผู้วิจัยได้ออกแบบและพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์โดยใช้แนวทางการพัฒนาตาม ADDIE model ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การวิเคราะห์ การออกแบบ การพัฒนา การนำไปใช้ และการประเมินผล เพื่อให้ได้เกมที่มีเนื้อหาเกี่ยวกับวัดไทยวัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก โดยมุ่งเน้นการถ่ายทอดข้อมูลเชิงวัฒนธรรมอย่างถูกต้อง มีรูปแบบการเล่นที่สนุก เข้าใจง่าย และสามารถส่งเสริมการเรียนรู้ผ่านการเล่นมีส่วนร่วมในเกม



ภาพที่ 3 โมเดลสถานที่ต่าง ๆ ของวัดภายในเกม



ภาพที่ 4 โมเดลสถานที่ต่าง ๆ ของวัดภายในเกมแบบมุมมองสูง



ภาพที่ 5 การทำภารกิจต่าง ๆ ภายในเกม

4.2 2. ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ตารางที่ 1 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
ด้านเนื้อหาและความถูกต้อง	4.45	0.58	มาก
1. ความถูกต้องและความสมจริงของข้อมูลเกี่ยวกับวัดไทยพัฒนาราม	4.73	0.47	มากที่สุด
2. การจัดวางองค์ประกอบ (Layout) ของสภาพแวดล้อมภายในเกม	4.64	0.50	มากที่สุด
3. ความสมจริงของโมเดล 3 มิติของสถาปัตยกรรมและศิลปกรรมภายในวัด	4.36	0.81	มาก
4. ความสอดคล้องของธีมและบรรยากาศกับสถานที่จริง	4.27	0.65	มาก
5. การนำเสนอข้อมูลทางประวัติศาสตร์และวัฒนธรรมของวัด	4.27	0.47	มาก
ด้านการออกแบบและการใช้งาน	4.55	0.56	มากที่สุด
6. ความสวยงามของกราฟิกและแสงเงาภายในเกม	4.55	0.64	มากที่สุด
7. ความสร้างสรรค์ในการออกแบบฉาก สภาพแวดล้อม และตัวละคร	4.73	0.47	มากที่สุด
8. ความน่าสนใจของกลไกการเล่นเกม	4.55	0.52	มาก
9. ความเหมาะสมของเสียงประกอบและดนตรีพื้นหลัง	4.55	0.52	มากที่สุด
10. ความท้าทายและความสนุกสนานของภารกิจ (Missions) ภายในเกม	4.36	0.67	มากที่สุด
ด้านการส่งเสริมการเรียนรู้และการท่องเที่ยว	4.29	0.60	มาก
11. การกระตุ้นความสนใจในการท่องเที่ยว	4.36	0.50	มาก
12. การส่งเสริมความเข้าใจในวัฒนธรรมท้องถิ่น	4.18	0.75	มาก
13. การสร้างแรงจูงใจในการเรียนรู้ประวัติศาสตร์และวัฒนธรรม	4.27	0.65	มาก
14. ความเหมาะสมของกิจกรรมการเรียนรู้ในเกม	4.18	0.60	มาก
15. ประโยชน์ที่ได้รับจากการเล่นเกมต่อการท่องเที่ยวจริง	4.45	0.52	มาก
รวม	4.46	0.56	มาก

จากตารางที่ 1 พบว่า ประสิทธิภาพจากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญในภาพรวมมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย = 4.46, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.33) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านการออกแบบและการใช้งานมีค่าเฉลี่ยสูงสุด (ค่าเฉลี่ย = 4.55, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.16) รองลงมาคือ ด้านเนื้อหา (ค่าเฉลี่ย = 4.45, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.32) ด้านการส่งเสริมการเรียนรู้และการท่องเที่ยว (ค่าเฉลี่ย = 4.29, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.28) และด้านการออกแบบเกม (ค่าเฉลี่ย = 4.41, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.17) ตามลำดับ

4.2.3 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของวัดไทยวัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

ตารางที่ 2 ผลการประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมของวัดไทยวัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ย	S.D.	แปลผล
ด้านเนื้อหา	4.51	0.59	มากที่สุด
1. ความถูกต้องของข้อมูลเกี่ยวกับวัดไทยวัฒนาราม	4.73	0.45	มากที่สุด
2. ความครบถ้วนของเนื้อหาเกี่ยวกับประวัติและความสำคัญของวัด	4.63	0.49	มากที่สุด
3. ความเหมาะสมของข้อมูลด้านสถาปัตยกรรมและศิลปกรรมของวัด	4.50	0.63	มากที่สุด
4. ความน่าสนใจของการนำเสนอเนื้อหาเชิงวัฒนธรรม	4.43	0.68	มาก
5. ประโยชน์ของเนื้อหาในการส่งเสริมการเรียนรู้เชิงวัฒนธรรม	4.27	0.69	มาก
ด้านการออกแบบ	4.60	0.55	มากที่สุด
6. ความสมจริงของการจำลองสถาปัตยกรรมและศิลปกรรมของวัด	4.70	0.47	มากที่สุด
7. ความเหมาะสมของการใช้สีและแสงในเกม	4.63	0.49	มากที่สุด
8. ความชัดเจนของสัญลักษณ์และปุ่มต่าง ๆ ในเกม	4.60	0.56	มากที่สุด
9. ความสวยงามของกราฟิกและโมเดล 3 มิติของวัด	4.57	0.68	มากที่สุด
10. ความเหมาะสมของการออกแบบตัวละครในเกม	4.53	0.57	มากที่สุด
ด้านการใช้งาน	4.60	0.53	มากที่สุด
11. ความเสถียรของระบบและการทำงานของเกม	4.83	0.38	มากที่สุด
12. ความสะดวกในการควบคุมตัวละครและการสำรวจพื้นที่	4.60	0.50	มากที่สุด
13. ความง่ายในการเล่นและเรียนรู้วิธีการใช้งานเกม	4.53	0.57	มากที่สุด
14. ความลื่นไหลของการดำเนินเกมและการโหลด	4.57	0.50	มากที่สุด
15. ประสิทธิภาพของระบบการให้คำแนะนำและช่วยเหลือ	4.50	0.68	มากที่สุด
ด้านความพึงพอใจโดยรวม	4.44	0.66	มาก
16. ความพึงพอใจต่อประสบการณ์การท่องเที่ยวเสมือนจริง	4.53	0.57	มากที่สุด
17. ความพึงพอใจต่อความบันเทิงที่ได้รับจากการเล่นเกม	4.50	0.63	มากที่สุด
18. ความพึงพอใจต่อการเรียนรู้วัฒนธรรมผ่านเกม	4.47	0.63	มาก
19. ความพึงพอใจต่อการกระตุ้นให้เกิดความสนใจในการท่องเที่ยววัดไทยวัฒนาราม	4.43	0.73	มาก
20. ความพึงพอใจต่อประโยชน์ที่ได้รับจากเกม	4.27	0.74	มาก
รวม	4.54	0.58	มากที่สุด

จากตารางที่ 2 พบว่า ผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์ในภาพรวมอยู่ในระดับมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย = 4.54, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.58) เมื่อพิจารณารายด้านพบว่า ด้านการออกแบบ (ค่าเฉลี่ย = 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.55) และด้านการใช้งาน (ค่าเฉลี่ย = 4.60, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.53) มีค่าเฉลี่ยสูงสุด รองลงมาคือ ด้านเนื้อหา (ค่าเฉลี่ย = 4.51, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.59) และด้านความพึงพอใจโดยรวม (ค่าเฉลี่ย = 4.44, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน = 0.66) ตามลำดับ

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเกมดิจิทัลแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก ผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ 1) เกมที่พัฒนาขึ้นมีเนื้อหาถูกต้อง เหมาะสมกับบริบททางวัฒนธรรม มีความน่าสนใจและสามารถใช้งานได้จริง 2) การประเมินประสิทธิภาพของเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์เพื่อส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมวัดไทยพัฒนาราม อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก จากผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 คน พบว่าเกมมีประสิทธิภาพในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยรวม = 4.46) 3) การประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน จำนวน 30 คน มีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (ค่าเฉลี่ยรวม = 4.54) โดยผู้ใช้มีความคิดเห็นเชิงบวกต่อรูปแบบการนำเสนอและเนื้อหาภายในเกม

จากการพัฒนาเกมดิจิทัลบนแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์พบว่า เกมสามารถตอบสนองวัตถุประสงค์ในการถ่ายทอดข้อมูลวัฒนธรรมเกี่ยวกับวัดไทยพัฒนารามได้อย่างมีประสิทธิภาพ การประเมินจากผู้เชี่ยวชาญสะท้อนให้เห็นว่าเกมมีความถูกต้องของเนื้อหา มีความน่าสนใจในด้านกราฟิก และสามารถใช้งานได้อย่างราบรื่น ทั้งยังส่งเสริมการเรียนรู้ได้ดี ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (อนุรักษ์, 2567) ที่ระบุว่า การใช้เกมเป็นสื่อการเรียนรู้สามารถเพิ่มแรงจูงใจให้กับผู้เรียน และช่วยให้จดจำเนื้อหาได้ยาวนานขึ้น นอกจากนี้ผลการประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ใช้อย่างแสดงให้เห็นว่า เกมได้รับการตอบรับในเชิงบวก โดยผู้เล่นรู้สึกสนุก เพลิดเพลิน และมีความสนใจในวัฒนธรรมท้องถิ่นมากยิ่งขึ้น สิ่งนี้แสดงถึงศักยภาพของแพลตฟอร์มโรบล็อทซ์ในการเป็นช่องทางส่งเสริมการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรม โดยเฉพาะกับกลุ่มเยาวชนที่มีความคุ้นเคยกับเทคโนโลยีดิจิทัล

6. เอกสารอ้างอิง

- ชิดาวิรุ สุขคร. (2562). การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมในประเทศไทย. วารสารเพื่อการพัฒนาการท่องเที่ยวสู่ความยั่งยืน, 1(2), 1-7.
- ณัฐกมล ฤงสุวรรณ. (2562). การใช้สื่อดิจิทัลคอนเทนต์กับการส่งเสริมประสบการณ์เพื่อสร้างแรงบันดาลใจในการท่องเที่ยว. วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. 5(2),



189-200. Doi: 10.14456/jmsnpur.2018.31

พระครูโสภิตปัญญญากร และพระครูโอภาสนนทกิตติ. (2558). บทบาทของวัดในฐานะเป็นแหล่งเรียนรู้
วัฒนธรรม. **วารสารครุศาสตร์ปริทรรศน์**, 2(3), 80-86.

พิศณุ ชัยจิตวณิชกุล, จักราวุธ เหลี่ยมจัตรัส, สุทธิศานต์ แสงสว่าง และปณวรรต คงธนกุลบวร.

(2567) การพัฒนาเกมการศึกษาในรูปแบบจักรวาลนอกรีตโดยใช้ Roblox เพื่อส่งเสริมการเรียนรู้
เรื่องเลขยกกำลังสำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1. **วารสารครุศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏ
อุดรธานี**. 6(1), 29-45.

อนุรักษ์ พาสวรรค์, ไพรสันต์ สุวรรณศรี และพิมพ์ชนก สุวรรณศรี . (2567). การเกมสถานการณ์

จำลองห้องเทียวยววิถีสว่าง. **วารสารและเทคโนโลยีสู่ชุมชน**. 2(4), 17-29.

Doi: <http://doi.org/10.57260/stc.2024.758>



การออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปสำหรับ
ต้นแบบบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญ้าคาสด
DESIGN AND DEVELOPMENT OF A COMPRESSION MOLD FOR EGG
PACKAGING MADE FROM FRESH COGON GRASS

ศุภชัย อัครนรากุล, อดิเรก ชัยนวกุล*

Supachai Aukaranarakul, Adirake Chainawakul*

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50300
Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

*Corresponding author e-mail: adirake@rmutl.ac.th

วันที่เข้าระบบ 31 มีนาคม 2568

วันที่แก้ไขบทความ 22 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 28 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการกดอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากหญ้าคาสด รวมถึงศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดังกล่าว ได้แก่ แรงกด อุณหภูมิ และระยะเวลาในการขึ้นรูป โดยใช้กรณีศึกษาต้นแบบบรรจุภัณฑ์ไข่สด การทดลองดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันเพื่อตรวจสอบสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ จากผลการศึกษา พบว่าการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 10 นาที ให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด โดยแม่พิมพ์ที่พัฒนาขึ้นสามารถผลิตชิ้นงานในรูปแบบแผ่นที่มีขนาด 190 × 190 × 2 มิลลิเมตร ได้อย่างเสถียร แรงกดที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการขึ้นรูปอยู่ที่ 190 กิโลกรัมแรง และสามารถปลดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ผลการทดสอบความสามารถในการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ไข่สดที่ผลิตขึ้น พบว่ามีค่าเฉลี่ย 79.92 กิโลกรัมแรง ซึ่งสูงกว่าบรรจุภัณฑ์ไข่สดที่ผลิตจากกระดาษและพลาสติกที่มีจำหน่ายในท้องตลาดอยู่ที่ 54.38 และ 819.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของหญ้าคาสดในฐานะวัสดุทดแทนสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์เชิงพาณิชย์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชีวภาพในอนาคต

คำสำคัญ: แม่พิมพ์อัดขึ้นรูป, วัสดุทดแทน, ผลิตภัณฑ์ชีวภาพ, บรรจุภัณฑ์ไข่, หญ้าคาสด

Abstract

This research aims to design and develop a compression mold for forming products from fresh cogon grass, with a focus on key process parameters: compression force, temperature, and molding time. A case study was conducted using a prototype for fresh egg packaging. Experiments were carried out under varying conditions to determine the optimal settings for product formation. The results revealed that molding at 120°C for 10 minutes yielded the best outcomes. The developed mold consistently produced stable sheets with dimensions of 190 × 190 × 2 mm. The optimal compression force was 190 kilogram-force, allowing for effective compaction and easy demolding. Additionally, the molded egg packaging demonstrated an average load-bearing capacity of 79.92 kilogram-force significantly higher than that of conventional paper and plastic egg packaging, by 54.38% and 819.64%, respectively. These findings demonstrate the potential of fresh cogon grass as a sustainable alternative material for commercial packaging, and offer a promising direction for the development of eco-friendly bio-molding technologies.

Keywords: Compressive mold, Sustainable alternative material, Biobased packaging, Egg packaging, Fresh Cogon grass

1. บทนำ

ปัจจุบันกระแสความตื่นตัวด้านการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้ส่งผลให้เกิดการวิจัยและพัฒนาในด้านวัสดุทางเลือกที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ซึ่งถือเป็นหนึ่งในภาคส่วนที่ก่อให้เกิดขยะพลาสติกจำนวนมาก (Kumar *et al.* 2024) บรรจุภัณฑ์ใหม่เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย แต่ปัจจุบันยังคงผลิตจากวัสดุสังเคราะห์ที่ย่อยสลายได้ยากหรือวัสดุที่ต้องใช้พลังงานสูงในการผลิต เช่น เยื่อกระดาษ (Emilien *et al.*, 2024)

หญ้าคา (*Imperata cylindrica*) เป็นพืชที่มีอยู่ทั่วไปในประเทศไทยและภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีคุณสมบัติเด่นคือการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่หลากหลาย และมีเส้นใยที่แข็งแรง ซึ่งทำให้หญ้ามักถูกมองว่าเป็นวัสดุทางเลือกสำหรับบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Khalid *et al.*, 2021 และ Zainulabidin *et al.*, 2016) การนำหญ้ามามาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์ใหม่ไม่เพียงช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับพืชท้องถิ่นที่มักถูกมองว่าเป็นวัชพืช และยังสามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรในชุมชน (Cheng *et al.* 2024)



อย่างไรก็ตาม การพัฒนาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปที่เหมาะสมสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญ้าคาสดยังคงเป็นความท้าทายทางด้านวิศวกรรม เนื่องจากจำเป็นต้องพิจารณาหลายปัจจัย ทั้งคุณสมบัติทางกายภาพของหญ้าคา พารามิเตอร์ในกระบวนการขึ้นรูป และความต้องการด้านการใช้งานของบรรจุภัณฑ์ไข่ (Sullyfaizura *et al.*, 2020) การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นไปที่การออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปสำหรับบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญ้าคาสด โดยใช้กระบวนการออกแบบทางวิศวกรรม การจำลองทางคอมพิวเตอร์ และการทดสอบเชิงทดลอง เพื่อให้ได้แม่พิมพ์ที่มีประสิทธิภาพสามารถผลิตบรรจุภัณฑ์ไข่ที่มีความแข็งแรง ให้การป้องกันที่เพียงพอ และสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ผลจากการศึกษานี้จะเป็นพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตบรรจุภัณฑ์จากวัสดุธรรมชาติ และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรท้องถิ่นอย่างยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy) และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development goals) ขององค์การสหประชาชาติ (Cheng *et al.* 2024)

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการกดอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากหญ้าคาสด

2.2 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกดอัด ได้แก่ แรงกด อุณหภูมิ และระยะเวลาการขึ้นรูป โดยใช้กรณีศึกษาบรรจุภัณฑ์ไข่สด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ได้ดำเนินการตามกระบวนการที่มีการวางแผนอย่างรอบคอบเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการกดอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากหญ้าคาสด รวมถึงการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดังกล่าว เช่น แรงกด อุณหภูมิ และระยะเวลาในการขึ้นรูป โดยใช้กรณีศึกษาบรรจุภัณฑ์ไข่สด การดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็นขั้นตอนดังนี้:

3.1 การทบทวนวรรณกรรม

แนวโน้มของอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ทั่วโลกกำลังมุ่งไปสู่การใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งรวมถึงวัสดุที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (Biodegradable) หรือวัสดุรีไซเคิลได้ (Recyclable) ประเทศไทยเองก็กำลังเผชิญกับปัญหาขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ทำให้ภาครัฐและเอกชนเริ่มให้ความสำคัญกับการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนมากขึ้น (Viriya *et al.*, 2024)

บรรจุภัณฑ์ไข่เป็นส่วนสำคัญในอุตสาหกรรมอาหาร โดยปกติแล้วบรรจุภัณฑ์ไข่ผลิตจากพลาสติกหรือเยื่อกระดาษรีไซเคิล ซึ่งแม้จะมีข้อดีด้านความแข็งแรงและป้องกันแรงกระแทกได้ดี แต่พลาสติกก่อให้เกิดขยะที่ย่อยสลายยาก ในขณะที่กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษใช้พลังงานสูงและ

สร้างของเสียจากกระบวนการผลิต (Nathalie & Henrik, 2022) แนวโน้มในปัจจุบันจึงมุ่งเน้นไปที่การใช้วัสดุชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ และหญ้าคา (*Imperata cylindrica*) ถือเป็นวัตถุดิบที่น่าสนใจ เนื่องจากมีปริมาณมากในธรรมชาติ เจริญเติบโตได้รวดเร็ว และให้เส้นใยที่มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับใช้ในกระบวนการขึ้นรูปเป็นบรรจุภัณฑ์ (Katherine *et al.*, 2022) ประเทศไทยเป็นหนึ่งในประเทศที่มีการบริโภคไข่ในปริมาณสูง ส่งผลให้มีการใช้บรรจุภัณฑ์ไข่เป็นจำนวนมาก การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ การใช้วัสดุจากธรรมชาติหรือวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จะช่วยลดการพึ่งพาวัสดุที่ยั่งยืนและลดปริมาณขยะพลาสติกในระยะยาว (Hussain *et al.* 2024) รัฐบาลไทยได้ออกมาตรการหลายประการเพื่อสนับสนุนบรรจุภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น นโยบายลดการใช้พลาสติกแบบใช้ครั้งเดียว การให้สิทธิพิเศษทางภาษีแก่ผู้ประกอบการที่ผลิตบรรจุภัณฑ์จากวัสดุยั่งยืน และการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม ยังจำเป็นต้องมีการบังคับใช้กฎหมายและมาตรฐานที่ชัดเจนเพื่อกระตุ้นให้ภาคธุรกิจและผู้บริโภคหันมาใช้บรรจุภัณฑ์ที่ยั่งยืนมากขึ้น

Nath *et al.* (2024) ศึกษาเกี่ยวกับวัสดุที่สามารถใช้แทนพลาสติกและโฟมสำหรับบรรจุภัณฑ์ไข่ เช่น เยื่อกระดาษรีไซเคิล ไบโอฟลาสติก และวัสดุจากเส้นใยธรรมชาติ เช่น เส้นใยปาล์ม เส้นใยมะพร้าว หรือกากกาแฟ ซึ่งวัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติในการปกป้องสินค้าได้ดี และสามารถย่อยสลายได้ในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ไข่ที่ยั่งยืนในประเทศไทยเป็นสิ่งสำคัญเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และตอบสนองต่อความต้องการของผู้บริโภคที่ให้ความสำคัญกับความยั่งยืน การวิจัยและพัฒนาวัสดุทดแทน การสนับสนุนจากภาครัฐ และการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้บริโภค ล้วนเป็นปัจจัยที่สำคัญในการขับเคลื่อนอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ให้เติบโตในทิศทางที่ยั่งยืนมากขึ้น (Romprasert *et al.* 2024) หนึ่งในนั้นคือวัสดุหญ้าคาซึ่งเป็นพืชที่มีเส้นใยเซลลูโลสสูง และเมื่อนำมาแปรรูปสามารถใช้แทนเยื่อกระดาษได้ การศึกษาของ Zainulabidin *et al.* (2016) พบว่าเส้นใยหญ้าคามีโครงสร้างที่ช่วยให้วัสดุมีความเหนียวและยืดหยุ่นสูง ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตบรรจุภัณฑ์ นอกจากนี้ งานวิจัยของ Liu *et al.* (2023) ได้ทดลองใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในการบำบัดเส้นใยฝ้าย เพื่อขจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส พบว่าวิธีนี้สามารถเพิ่มความแข็งแรงของเส้นใยและช่วยให้เส้นใยสามารถผสมเข้ากับสารยึดเกาะได้ดีขึ้น

แม่พิมพ์อัด (Compression mold) เป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ไข่จากวัสดุยั่งยืน เช่น เยื่อกระดาษ หรือวัสดุชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ การออกแบบแม่พิมพ์อัดที่เหมาะสมจะช่วยให้ได้บรรจุภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง คงทน และสอดคล้องกับมาตรฐานอุตสาหกรรม นอกจากนี้ การพัฒนาแม่พิมพ์อัดที่มีประสิทธิภาพจะช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดของเสีย และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการขึ้นรูป (Elfaleh *et al.*, 2023 และ Sutcu *et al.* 2024) แม่พิมพ์อัด

กตัญญูใช้ชิ้นรูปวัสดุให้เป็นรูปทรงบรรจุภัณฑ์ โดยควบคุมแรงอัดและอุณหภูมิที่เหมาะสม (Kandar *et al.* 2016) เพื่อให้วัสดุสามารถเซ็ตตัวและขึ้นรูปได้อย่างสมบูรณ์ ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ได้แก่ แรงอัด อุณหภูมิ เวลาในการขึ้นรูป และโครงสร้างของแม่พิมพ์ ซึ่งมีผลต่อความหนาแน่นและความแข็งแรงของบรรจุภัณฑ์ (Katherine *et al.*, 2022) ได้ทดสอบนำเยื่อกระดาษหรือวัสดุชีวภาพมาผสมกับน้ำและสารเติมแต่ง เช่น สารเชื่อมประสาน และสารปรับปรุงคุณสมบัติ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของผลิตภัณฑ์ วัสดุที่ใช้ต้องมีความสามารถในการเติมเข้าสู่แม่พิมพ์และกระจายตัวได้ดี ในขณะที่ Didone *et al.* (2017) ได้ศึกษาการลดความชื้นของบรรจุภัณฑ์ที่ขึ้นรูปแล้วผ่านกระบวนการอบแห้ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของโครงสร้างและลดการเสีรูปของผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องควบคุมอย่างแม่นยำ

3.2 การออกแบบแม่พิมพ์กดอัด

การออกแบบชุดแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการกดอัดขึ้นรูปจะคำนึงถึงขนาดและรูปทรงของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยในกรณีศึกษานี้คือบรรจุภัณฑ์ไข่สด ซึ่งต้องคำนึงถึงลักษณะทางกลและคุณสมบัติของวัสดุหุ้มพลาสติก รวมถึงการคำนวณแรงกดที่เหมาะสมในกระบวนการและการออกแบบส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์ เช่น ขนาดสกรู ขนาดสลัก และตำแหน่งการเจาะรูสำหรับยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานอย่างมีแบบแผน และมีการทำงานอย่างเป็นขั้นตอนรวมถึงการเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในการผลิตชุดแม่พิมพ์ ดังแสดงใน ภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการวางแผนการดำเนินงาน

จากการศึกษารวบรวมข้อมูล ทำการออกแบบต้นแบบบรรจุภัณฑ์จากหญ้าคา ซึ่งในที่นี้ได้เลือกออกแบบบรรจุภัณฑ์ใช้สด เนื่องจากมีการใช้งานเป็นจำนวนมากดังได้กล่าวมาแล้วในบทนำ โดยต้นแบบบรรจุภัณฑ์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ต้นแบบบรรจุภัณฑ์ใช้สด

จากนั้น ทำการหาปริมาตรของชิ้นงานต้นแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ (Computer aided design: CAD) แล้วพิจารณาคุณสมบัติและขนาดของเครื่องอัดที่ใช้ในการทดลองแล้ว จากนั้นจึงทำการคำนวณเพื่อหาแรงกดอัดขึ้นรูปชิ้นงาน โดยต้องพิจารณาจากแรงกดอัดของเครื่องกดอัดและแรงกดอัดขึ้นรูปชิ้นงานจริง ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) เพื่อใช้ในการออกแบบแม่พิมพ์ต่อไป

$$F_m = 1.5 (F) \quad (1)$$

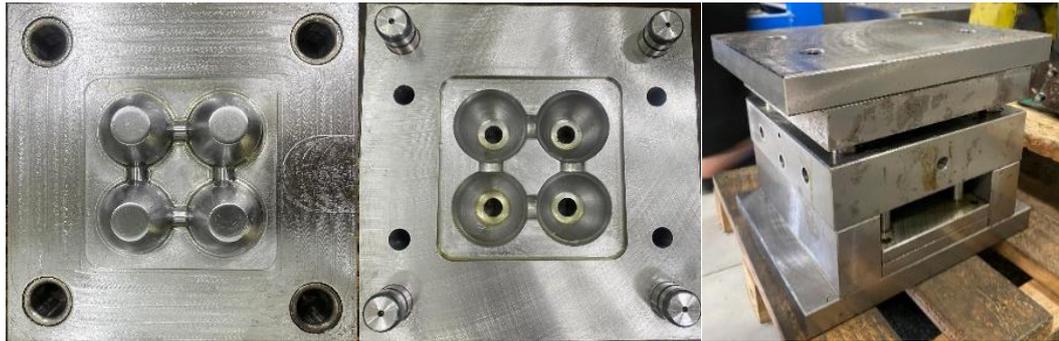
เมื่อ F_m คือ แรงกดอัดของเครื่องกดอัด และ F คือ แรงกดอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

$$F = \sigma \times A \quad (2)$$

เมื่อ F คือ แรงที่กดอัดขึ้นรูปชิ้นงาน σ คือ ความเค้น และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน

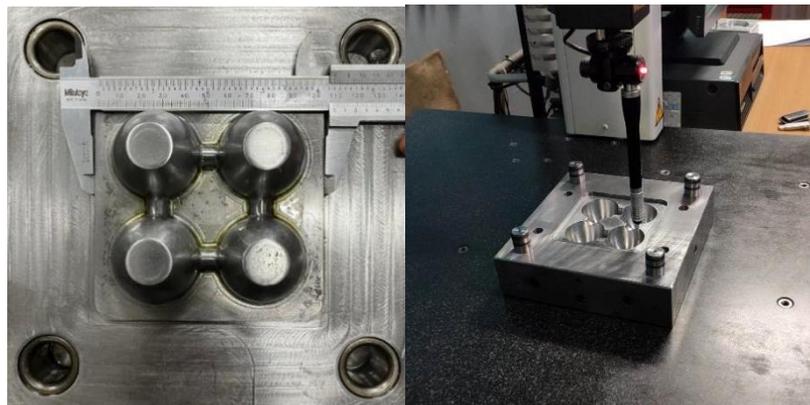
จากการคำนวณข้างต้น สามารถนำผลการคำนวณมาออกแบบแม่พิมพ์ตามแบบชิ้นงานต้นแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบและผลิต (Computer aided design and manufacturing: CAD/CAM) จากนั้นตรวจสอบความถูกต้องแล้วขึ้นรูปแม่พิมพ์ด้วยเครื่องจักรกลซีเอ็นซี (Computer numerical control: CNC) จากนั้นทำการประกอบชิ้นส่วนแม่พิมพ์ฝั่งตัวผู้ (Core) ตัวเมีย (Cavity) และชิ้นส่วนมาตรฐานต่างๆ เข้าด้วยกัน ก่อนทำการตรวจสอบและปรับประกอบ (Inspection and fitting) ต่อไป เนื่องจากชิ้นงานบรรจุภัณฑ์เป็นวัสดุธรรมชาติ และการขึ้น

รูปชิ้นงานต้องใช้ความร้อนในการขึ้นรูปพร้อมกับแรงกดอัด ดังนั้น วัสดุที่ใช้จึงต้องมีความแข็งแรงทนแรงเสียดสี ความร้อน และแรงกดอัดได้มาก ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เหล็ก S50C มาใช้ในการสร้างชุดแม่พิมพ์ เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทานเหมาะสมกับการในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ แม่พิมพ์ที่ได้จากการออกแบบและผลิตสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ไข่สดต้นแบบจากหญาคา

หลังจากผลิตแม่พิมพ์แล้วขั้นตอนต่อมาเป็นการตรวจสอบขนาดและความถูกต้องของแม่พิมพ์ตามพิคัดที่ออกแบบด้วยเครื่องมือวัดขนาด ซึ่งประกอบไปด้วย เวอร์เนียคาลิเปอร์ (Vernier caliper) และเครื่องวัดขนาดระบบพิคัด (Coordinate measuring machine: CMM) ดังแสดงในภาพที่ 4 จากการตรวจสอบพบว่าชิ้นส่วนแม่พิมพ์ชุดนี้มีขนาดและความถูกต้องอยู่ในพิคัดทั้งหมด จากนั้นจึงทำการปรับประกอบแม่พิมพ์ก่อนทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานต่อไป



ภาพที่ 4 การวัดและตรวจสอบขนาดแม่พิมพ์

3.3 การเตรียมวัสดุธรรมชาติสำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงาน

ในขั้นตอนนี้จะทำการเตรียมวัสดุหญาคาสดให้เหมาะสมสำหรับการนำมาผลิตบรรจุภัณฑ์ไข่สด โดยพิจารณาจากคุณสมบัติต่างๆ เช่น ความทนทาน ความยืดหยุ่น และความสามารถในการรับ

น้ำหนัก รวมถึงกระบวนการเตรียมวัสดุให้พร้อมสำหรับการใช้ในการกดอัดขึ้นรูป ตามอัตราส่วนผสมระหว่างหญ้าคา น้ำ และโซดาไฟ จากนั้นตากให้แห้ง การเตรียมวัสดุหญ้าคาแสดงได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การเตรียมวัสดุหญ้าคา

4. การทดลองอัดและหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม

ขั้นตอนในการกดอัด อันดับแรกทำการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องกดอัด (Compression machine) และติดตั้งชุดฮีตเตอร์ทำความร้อน (Heater) เข้ากับแม่พิมพ์ทั้งชุดแม่พิมพ์ตัวผู้และตัวเมีย จากนั้นตรวจสอบระยะเปิดปิดและการทำงานของแม่พิมพ์ ทำการทดสอบอัดขึ้นรูป (Screening) เพื่อให้ได้ชิ้นงานจากวัสดุที่เตรียมจากหญ้าคาสด น้ำ และโซดาไฟ ตามอัตราส่วน 400 : 2,100 : 60 กรัม ตามลำดับ เมื่อได้หญ้าคาจากการเตรียมเรียบร้อยแล้วทำการทดสอบอัด พบว่าหญ้าคาแห้งที่น้ำหนัก 70 กรัม แรงกดอัดที่ 190 กิโลกรัมแรง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที สามารถขึ้นรูปชิ้นงานได้เต็มเข้าแม่พิมพ์และค่อนข้างหนาแน่นตรงตามขนาดชิ้นงานที่ออกแบบไว้ แล้วจึงนำผลการทดสอบอัดไปทำการทดลองต่อไป การการติดตั้งแม่พิมพ์และทดลองอัดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6

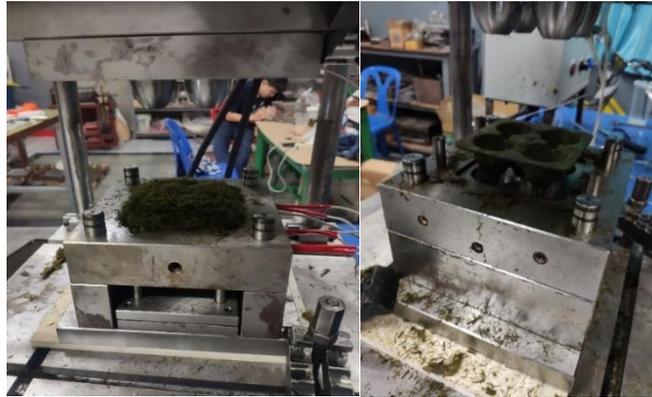


ภาพที่ 6 การติดตั้งแม่พิมพ์และทดลองอัด

สำหรับกระบวนการทดลองในงานวิจัยนี้ จะดำเนินการภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การปรับอุณหภูมิ ระยะเวลา และตาราง 1 ควร แสดงการออกแบบการทดลองทั้งหมดและผลการทดสอบของแต่ละการทดลอง เช่น แรงในการกดขึ้นงานมีการออกแบบไว้ใช้แรงเท่าใดบ้าง และผลการทดสอบควรแสดงให้เห็นถึงค่าของการรับน้ำหนักและน้ำหนักหน้าคาแห่ง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากข้อมูลทั้งหมดแล้วจะทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดตามที่ได้รายงานไว้แรงกด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 และการทดลองอัดขึ้นรูปขึ้นงานบรรจุภัณฑ์ใช้จากหน้าคาแสดงได้ดังภาพที่ 7

ตารางที่ 1 การออกแบบการทดลอง

แรงในการกดขึ้นงาน	เวลาในการกดขึ้นงาน (นาที)	อุณหภูมิในการกดขึ้นงาน (องศาเซลเซียส)		
190	5	80	100	120
	10			
	15			



ภาพที่ 7 การทดลองอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญ้าคา

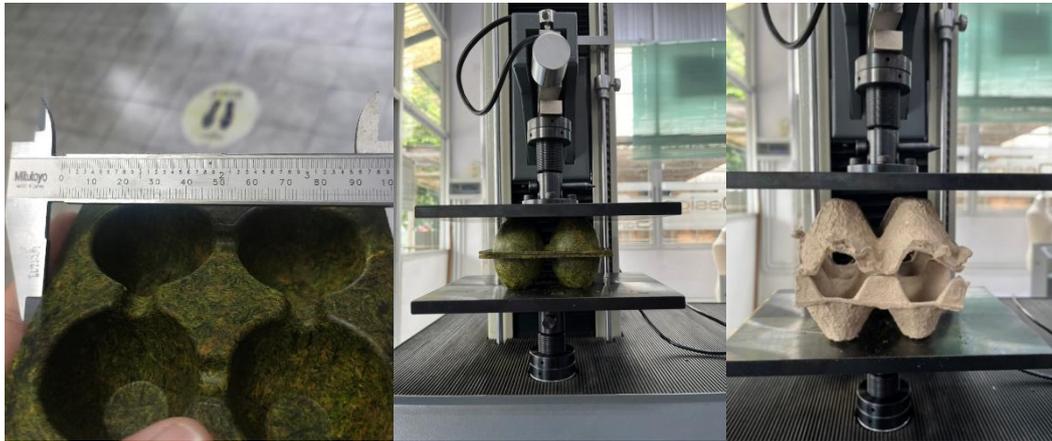
เนื่องจากผลที่ได้จากการทดสอบอัด (Screening) ว่าชิ้นงานสามารถอัดขึ้นรูปได้ค่อนข้างดีด้วย พารามิเตอร์ต่อไปนี้ ได้แก่ หญ้าคาแห้งที่น้ำหนัก 70 กรัม แรงกดอัดที่ 190 กิโลกรัมแรง อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที ดังนั้น การออกแบบการทดลอง (Experimental design) จึงใช้วิธีการอย่างง่ายโดยการแปรผันเวลาและอุณหภูมิกัดอัดชิ้นงาน โดยกำหนดให้แรงกดอัดคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากมีผลต่อความรูปร่างชิ้นงานซึ่งเป็นไปตามตารางที่ 1 ในการดำเนินการทดลองพบว่า อุณหภูมิกัดอัดที่ 120 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 10 นาที ได้ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์จากวัสดุหญ้าคาสดในแง่ของรูปร่างและความสมบูรณ์ของชิ้นงาน (ดังภาพที่ 8) เป็นไปตามแบบที่ออกแบบไว้ เนื่องจากบรรจุภัณฑ์นี้มีการรับน้ำหนัก แรง และการกันกระแทก ดังนั้นจึงนำชิ้นงานที่ได้จากการทดลองอัดด้วยพารามิเตอร์ที่แปรผันไปทำการทดสอบคุณสมบัติทางกล (Mechanical properties) ต่อไป



ภาพที่ 8 ผลการทดลองกดอัดบรรจุภัณฑ์ไข่ไก่จากวัสดุหญ้าคาที่เหมาะสมที่สุด

5. การทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการขึ้นรูป เช่น ความสามารถในการรับน้ำหนัก โดยการทดสอบบรรจุภัณฑ์ไข่สดที่ผลิตจากวัสดุหญาอากาศ และเปรียบเทียบกับบรรจุภัณฑ์ไข่สดที่ผลิตจากวัสดุอื่น เช่น กระดาษและพลาสติกในท้องตลาด ผลการทดสอบพบว่าบรรจุภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุหญาอากาศมีความสามารถในการรับน้ำหนักสูงกว่าผลิตภัณฑ์จากวัสดุอื่นๆ โดยแบ่งเป็นการตรวจสอบวัดขนาดชิ้นงาน (Dimension measurement) ตามจุดวัด และพิกัดตรวจสอบ และการทดสอบการรับน้ำหนักด้วยเครื่องทดสอบ (Material testing equipment) ดังแสดงในภาพที่ 9 โดยการทดสอบนี้มีการเปรียบเทียบกับผลจากการทดสอบบรรจุภัณฑ์ไข่จากกระดาษและพลาสติกด้วย



ภาพที่ 9 การตรวจสอบขนาดและทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์

6. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการทดสอบ พบว่า ขนาดชิ้นงานที่ขึ้นรูปได้อยู่ในพิกัดทั้งหมด ส่วนค่าที่ได้จากการทดสอบรับน้ำหนักของชิ้นงานบรรจุภัณฑ์ไข่จากหญาอากาศ ทั้งแบบประกบคู่และแบบชิ้นเดียว มีค่าการรับน้ำหนักมากกว่าบรรจุภัณฑ์ไข่จากกระดาษและบรรจุภัณฑ์ไข่จากพลาสติก โดยค่าการรับน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ไข่แบบประกบคู่มีค่าการรับน้ำหนักได้ดีที่สุด มีค่าเฉลี่ยของค่าแรงรับน้ำหนักสูงสุด 79.92 กิโลกรัมแรง และค่าการรับน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ไข่แบบชิ้นเดียว มีค่าเฉลี่ยของค่าแรงรับน้ำหนักสูงสุด 78.78 กิโลกรัมแรง และค่าการรับน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ไข่แบบกระดาษมีค่าเฉลี่ยค่าแรงรับน้ำหนักสูงสุด 51.76 กิโลกรัมแรง และค่าการรับน้ำหนักบรรจุภัณฑ์ไข่แบบพลาสติกมีค่าเฉลี่ยของค่าแรงรับน้ำหนักสูงสุด 8.69 กิโลกรัมแรง และค่าพารามิเตอร์กอดอัดที่ดีที่สุดคือการใช้อุณหภูมิ กอดอัดที่ 120 องศาเซลเซียส เวลา กอดอัด 10 นาที และใช้แรงกอดอัด 190 กิโลกรัมแรง เนื่องจากเป็นชุดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สามารถขึ้นรูปของชิ้นงานได้สมบูรณ์ที่สุด จึงเหมาะสำหรับขึ้นรูปต้นแบบและต่อยอดต่อไป



ภาพที่ 10 บรรจุภัณฑ์ไข่ไก่จากวัสดุหญาคาจากแม่พิมพ์กดอัด

7. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณหลักสูตรวิศวกรรมแม่พิมพ์และเครื่องมือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา สำหรับการสนับสนุนด้านสถานที่และเครื่องมือในการดำเนินงานวิจัยมา ณ ที่นี้

8. เอกสารอ้างอิง

- Cheng, J., Gao, R., Zhu, Y., & Lin, Q. (2024). Applications of biodegradable materials in food packaging: A review. *Alexandria Engineering Journal*, 91, 70-83.
- Cheng, Z., Li, J., He, G., Su, M., Xial, N., Zhang, X., Zhong, L., Wang, H., Zhong, Y., Chen, Q., Chen, Y., & Lui, M. (2024). Biodegradable packaging paper derived from chitosan-based composite barrier coating for agricultural products preservation. *International Journal of Biological Macromolecules*, 280(4), 136-148.
- Didone, M., Saxena, P., Brihuis-Meijer, E., Tosello, G., Bissacco, G., Mcaloone, T.C., Pigosso, D.C.A., & Howard, T. (2017). Moulded Pulp Manufacturing: Overview and Prospects for the Process Technology. *Packaging Technology and Science*, 30(6), 231-249.
- Elfaleh, I., Abbassi, F., Habibi, M., Ahmad, F., Guedri, M., Nasri, M., & Garnier, C. (2023). A comprehensive review of natural fibers and their composites: An eco-friendly alternative to conventional materials. *Results in Engineering*, 19, 1-31.
- Emilien, F., Pescheux-Sergienko, J., Mujica, R., Rey, C., & Bras, J. (2024). Novel technologies for producing tridimensional cellulosic materials for packaging: A review. *Carbohydrate Polymers*, 342, 1-20.

- Hussain, S., Akhter, R., & Maktedar, S.S. (2024). Advancements in sustainable food packaging: from eco-friendly materials to innovative technologies, **Sustainable Food Technology**, 2(5), 1297-1364.
- Kandar, M.I., & Akil, H.M. (2016). Application of Design of Experiment (DoE) for Parameters Optimization in Compression Moulding for Flax Reinforced Biocomposites. **International Procedia Chemistry**, 19(2016), 1-17.
- Katherine, E.S., Zhou, C., Rojas, O., Nkeuwa, W.N., Dai, C. (2022). Moulded pulp fibers for disposable food packaging: A state-of-the-art review. **Food Packaging and Shelf Life**, 33, 1-18.
- Khalid, F.E., Ahmad, S.A., Zakaria, N.N., Shaharuddin, N.A., Sabri, S., Azmi, A.A., Khalil, K.A., (2021). Application of Cogon Grass (*Imperata cylindrica*) as Biosorbent in Diesel-Filter System for Oil Spill Removal. **Agronomy**, 11(11), 1-16.
- Kumar, S., Dubey, N., Kumar, V., Choi, I., Jeon, J., & Kim, M. (2024). Combating micro/nano plastic pollution with bioplastic: Sustainable food packaging, challenges, and future perspectives. **Environmental Pollution**, 363(1), 345-356.
- Liu, Y., Ma, S., Wang, F., & Wang, L. (2023). Advances in Research of Molded Pulp for Food Packaging. **Journal of Renewable Materials**, 11(11), 3831-3846.
- Nathalie, S. & Henrik, P. (2022). Industrial packaging and its impact on sustainability and circular economy: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, 333, 1-13.
- Nath, D., Misra, M., Al-Daoud. F., & Mohanty, A.K. (2024). Studies on poly (butylene succinate) and poly (butylene succinate-co-adipate)-based biodegradable plastics for sustainable flexible packaging and agricultural applications: a comprehensive review. **RSC Sustainability**, 3(3), 78-92.
- Romprasert, S., Srihachai, A., Tanamee, D., & Wiriyaipinit, S. (2024). Thai Consumers' Perceptions of Sustainable Food Packaging. **Advances in Social Sciences Research Journal**, 11(12), 154-172.
- Sullyfaizura, B.M.R., Suzillawati, A., Wahid, S.A. (2020). Design and development mini compression molding for teaching and learning. **Education and Social Sciences Review**, 1(2), 48-53.



- Sutcu, M., Faisal, M.S., Danish, A., Erdogmus, E., Gencel, O., & Ozbakkaloglu, T. (2024). Preparation and performance evaluation of waste tuff-modified bricks for sustainable built environment: Effect of firing temperature and molding pressure. **Construction and Building Materials**, 420, 1-14.
- Viriya, H., Saengchut, P., Kongritti, N. (2024). Forecasting of plastic packaging waste in Thailand using economic index data application. *Science, Engineering and Health Studies (SEHS)*, 18(2024), 1-7.
- Zainulabidin, M.H., Kassim, A.S.M., Aripin, A.M., Ishak, N. (2016). Potential of cogon grass (*Imperata cylindrica*) as an alternative fibre in paper-based industry. **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**, 11(4), 2681-2686.



การพัฒนาาระบบจัดการคิวของโรงพยาบาลสำหรับหลายจุดบริการ
ด้วยการเรียงลำดับแบบเข้าก่อน-ออกก่อนและตัวระบุเอกลักษณ์
กรณีศึกษาโรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ในจังหวัดพิจิตร
DEVELOPMENT OF HOSPITAL QUEUE MANAGEMENT SYSTEM FOR
MULTIPLE SERVICE POINTS USING FIFO AND UNIQUE IDENTIFIER:
A CASE STUDY OF LARGE COMMUNITY HOSPITAL IN PHICHIT

ณัฐชนน ทองดี, นพดล สีสุข, วณารัตน์ จุฬพันธ์ทอง*

Nutchanon Thongdee, Noppadon Sisuk, Wanarat Juraphanthong*

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: wanarat.j@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 1 เมษายน 2568

วันที่แก้ไขบทความ 29 เมษายน 2568

วันที่ตอบรับบทความ 30 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาาระบบจัดการคิวเข้ารับบริการในโรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการบริการที่มีหลายจุดบริการ ซึ่งระบบเดิมมีปัญหาการจัดลำดับการเข้ารับบริการ และข้อมูลระหว่างจุดบริการที่ไม่สอดคล้องกัน ทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการ และเกิดความสับสนเกี่ยวกับสถานะคิวของผู้รับบริการ การพัฒนาาระบบจัดการคิวนี้ใช้หลักการเรียงลำดับแบบเข้าก่อน-ออกก่อน (First-In First-Out: FIFO) และตัวระบุเอกลักษณ์ (Unique Identifier: UID) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการลำดับและความไม่สอดคล้องกันของข้อมูล ผลการศึกษาพบว่าระบบที่พัฒนาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคิว โดยลดเวลาจุดซักประวัติลงร้อยละ 50 และจุดหน้าห้องตรวจลงร้อยละ 11 นอกจากนี้ผลการสำรวจความพึงพอใจของบุคลากรผู้ใช้ระบบ พบว่าผู้ใช้ร้อยละ 78.33 มีความพึงพอใจในระดับสูงที่สุดในด้านการจัดการคิว ความง่ายในการใช้งาน และรูปแบบการแสดงผล ดังนั้นระบบที่พัฒนาจึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคิว และความพึงพอใจของผู้ใช้ระบบ ส่งผลให้กระบวนการทำงานของบุคลากรมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความล่าช้า และทำให้การให้บริการเป็นระบบระเบียบมากขึ้น

คำสำคัญ: การเรียงลำดับแบบเข้าก่อน-ออกก่อน, ตัวระบุเอกลักษณ์, ระบบจัดการคิว, บริการของโรงพยาบาล

Abstract

This research focuses on the development of a queue management system for a large community hospital to enhance service efficiency across multiple service points. The existing system encountered issues in service order sequencing and data inconsistencies between service stations, resulting in delays and confusion regarding patient queue status. The newly developed system applies the First-In, First-Out (FIFO) principle and utilizes unique identifiers (UIDs) to improve queue sequencing and ensure data consistency. The findings revealed that the new system significantly improved queue management efficiency reducing waiting time at the history-taking point by 50% and at the examination room by 11%. In addition, a user satisfaction survey showed that 78.33% of hospital staff rated their satisfaction at the highest level in terms of queue management, ease of use, and display design. Therefore, the developed system can enhance the efficiency of queue management, reduce service delays, and improve the overall organization of hospital service workflows.

Keywords: FIFO, UID, Queue management system, Hospital service

1. บทนำ

ระบบจัดการคิวของการเข้ารับบริการในโรงพยาบาล เป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานพยาบาลขนาดใหญ่ที่มีผู้เข้ารับบริการจำนวนมาก การพัฒนาระบบบริหารจัดการลำดับในการเข้ารับบริการให้มีประสิทธิภาพ มีความถูกต้อง ใช้งานได้ง่าย และรวดเร็ว จะช่วยให้กระบวนการทำงานของบุคลากรทางการแพทย์มีความราบรื่นมากขึ้น รวมถึงลดความสับสนของคิวสำหรับผู้รับบริการ ซึ่งเป็นการปรับปรุงประสบการณ์การใช้งานของผู้ให้และผู้รับบริการ และเพิ่มความพึงพอใจให้กับทั้งบุคลากรทางการแพทย์ ผู้รับบริการ และบุคลากรที่เกี่ยวข้อง โดยมีข้อเสนอแนะจากงานวิจัยก่อนหน้าดังนี้

Hassan *et al.* (2022) ศึกษาและประเมินระบบจัดการคิวที่มีอิทธิพลต่อความพึงพอใจของผู้รับบริการในคลินิกผู้ป่วยนอก ที่มีผู้มารับบริการประมาณ 1,800 คนต่อเดือน โดยผลการศึกษาพบว่าการจัดการคิวในด้านคุณภาพการบริการ เวลารอคิว และสภาพแวดล้อมการรอคิว มีความสัมพันธ์เชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญกับความพึงพอใจของผู้รับบริการ ต่อมา Naufal *et al.* (2023) ได้นำเสนอระบบจัดการคิวผู้รับบริการในศูนย์สุขภาพชุมชน ซึ่งพัฒนาเพื่อใช้บนเว็บแอปพลิเคชัน โดยได้ใช้วิธีการเรียงลำดับแบบเข้าก่อน-ออกก่อน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพระบบจัดการคิวเดิมที่มีอยู่ ผลการพัฒนายังพบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงาน การจัดสรรทรัพยากร และลดระยะเวลาของ



ผู้รับบริการได้ นอกจากนี้ Kusumastiwani *et al.* (2024) นำเสนอระบบจัดการคิวแบบออนไลน์ในโรงพยาบาลทันตกรรม เพื่อปรับปรุงคุณภาพการบริการและเพิ่มความพึงพอใจของผู้รับบริการ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อใช้ระบบจัดการคิวที่พัฒนาขึ้น ผู้รับบริการมีเวลารอเฉลี่ยลดลงจาก 112.32 นาที เป็น 21.33 นาทีจากระบบเดิม และผู้รับบริการร้อยละ 92.32 มีความพึงพอใจต่อระบบ

โรงพยาบาลกรณีศึกษา เป็นโรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ในจังหวัดพิจิตร ที่มีผู้รับบริการทางการแพทย์ในแผนกผู้ป่วยนอกเฉลี่ย 80 คนต่อวัน มีจุดบริการสำคัญ 3 จุด ได้แก่ จุดซักประวัติ จุดหน้าห้องตรวจ และจุดรับยา ซึ่งในระบบเดิม บุคลากรประจำจุดบริการประสบปัญหาการใช้งานระบบการจัดลำดับการเข้ารับบริการ และความที่ไม่สอดคล้องกันของข้อมูลระหว่างจุดบริการ ทำให้เกิดความล่าช้าในกระบวนการลงทะเบียนและเรียกคิว ซึ่งเป็นการเพิ่มเวลารอคอยและความสับสนสถานะคิวของผู้รับบริการ

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงได้มีแนวคิดการพัฒนาระบบจัดการคิวของโรงพยาบาลที่รองรับการบริการที่มีหลายจุดบริการ โดยใช้หลักการเรียงลำดับแบบเข้าก่อน-ออกก่อน และตัวระบุเอกลักษณ์ เพื่อแก้ปัญหาในการจัดลำดับ และความไม่สอดคล้องกันของข้อมูล นอกจากนี้ยังเสริมแนวคิดในการออกแบบและปรับปรุงหน้าจอการทำงานให้บุคลากรสามารถใช้งานได้ง่ายและสะดวกขึ้นอีกด้วย

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อพัฒนาระบบจัดการคิวของโรงพยาบาลสำหรับหลายจุดบริการโดยใช้หลักการเรียงลำดับแบบเข้าก่อน-ออกก่อน และตัวระบุเอกลักษณ์

2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบที่พัฒนาในการลดระยะเวลาของกระบวนการในการเข้ารับบริการแบบหลายจุด

2.3 เพื่อสำรวจความพึงพอใจของบุคลากรทางการแพทย์ต่อการใช้งานระบบที่พัฒนา

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีดำเนินงานวิจัยออกเป็น 5 ส่วน โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัยนี้ คือ บุคลากรทางการแพทย์ของโรงพยาบาลกรณีศึกษา ซึ่งเป็นโรงพยาบาลชุมชนขนาดใหญ่ในจังหวัดพิจิตร ที่ประจำจุดให้บริการ 3 จุด ได้แก่ จุดซักประวัติ จุดหน้าห้องตรวจ และจุดรับยา จำนวน 10 คน ซึ่งเป็นผู้ใช้งานหลักของระบบ

3.2 การศึกษาปัญหาของระบบเดิมและวิเคราะห์ความต้องการของผู้ใช้

ในกระบวนการนี้ ผู้วิจัยใช้การสัมภาษณ์บุคลากรทางการแพทย์ในแต่ละจุดบริการเพื่อศึกษาปัญหาของระบบเดิม ซึ่งได้ข้อมูลสรุปปัญหาหลักดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลสรุปปัญหาของระบบเดิมจากการสัมภาษณ์

จุดบริการ	ปัญหาของระบบเดิม
จุดซักประวัติ	<ul style="list-style-type: none">- ต้องพิมพ์ชื่อผู้รับบริการเองทุกครั้งเพื่อเรียกคิว- จุดบริการซักประวัติ ไม่มีการแบ่งประเภทของผู้รับบริการ
จุดหน้าห้องตรวจ	<ul style="list-style-type: none">- หน้าจอแสดงข้อมูลเพื่อเรียกคิว มีสถานะการบริการปะปนกัน- เลขคิวไม่ตรงกับจุดซักประวัติ
จุดรับยา	<ul style="list-style-type: none">- เลขคิวไม่ตรงกับจุดหน้าห้องตรวจ

จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองใช้ระบบเดิม พบว่าปัญหาแรกคือ จุดบริการทั้ง 3 จุด ใช้ระบบเรียกคิวที่เป็นอิสระต่อกัน สร้างหมายเลขคิวของจุดตนเอง ดังนั้นทำให้จุดบริการหน้าห้องตรวจและจุดรับยา ต้องใส่ข้อมูลหรือค้นหาหมายเลขผู้รับบริการ (QN) ทุกครั้งที่เรียกคิว ทำให้เกิดความไม่สะดวกในการใช้งานของบุคลากร นอกจากนี้ยังทำให้เกิดการสับสนเลขคิวของผู้ที่มาใช้บริการ ปัญหาถัดมาคือ หน้าจอแสดงข้อมูลเพื่อเรียกคิวจุดหน้าห้องตรวจ ที่มีสถานะการบริการที่ปะปนกัน กล่าวคือ ผู้รับบริการที่รอเรียกคิวและที่กำลังตรวจ มีลำดับที่ปะปนกัน ทำให้บุคลากรต้องใช้เวลาเพิ่มเติมในการค้นหาข้อมูลเพื่อเรียกคิว ปัญหาสุดท้ายคือ ที่จุดซักประวัติไม่ได้แบ่งประเภทผู้มารับบริการ ทำให้สูญเสียเวลาในการบริหารจัดการคิวเพื่อที่จะส่งต่อไปยังจุดอื่นค่อนข้างมาก นอกจากนี้จุดนี้ไม่มีปุ่มเรียกคิว ต้องพิมพ์ชื่อทุกครั้งที่จะเรียกคิว ซึ่งใช้งานยากและใช้เวลานานขึ้นในกระบวนการ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบจัดการคิวเดิมของโรงพยาบาล ส่งผลต่อมูลค่าความเสียหายในเชิงเวลา โดยเมื่อประเมินจากจำนวนผู้ป่วยนอกที่เข้ารับบริการเฉลี่ย 80 คนต่อวัน เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในกระบวนการจัดการและเรียกคิวผู้มารับบริการ 1 คน ในแต่ละจุดบริการ พบว่าระบบเดิมใช้เวลาเฉลี่ยที่จุดซักประวัติ 4 นาที จุดหน้าห้องตรวจ 10 นาที และจุดรับยา 7 นาที จำนวนบุคลากรที่ให้บริการแต่ละจุด ณ ช่วงเวลาหนึ่งๆ ที่จุดซักประวัติ 3 คน จุดหน้าห้องตรวจ 2 คน และจุดรับยา 1 คน ทำให้เกิดมูลค่าความเสียหายในเชิงเวลาสำหรับบุคลากรทางการแพทย์ โดยวิเคราะห์และสรุปแบบรายวัน ดังตารางที่ 2 แสดงเวลาที่สูญเสียจากกระบวนการต่อบุคลากร ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ไปในกระบวนการจัดการคิว ณ จุดบริการนั้นๆ ใน 1 วัน ต่อบุคลากร 1 คน

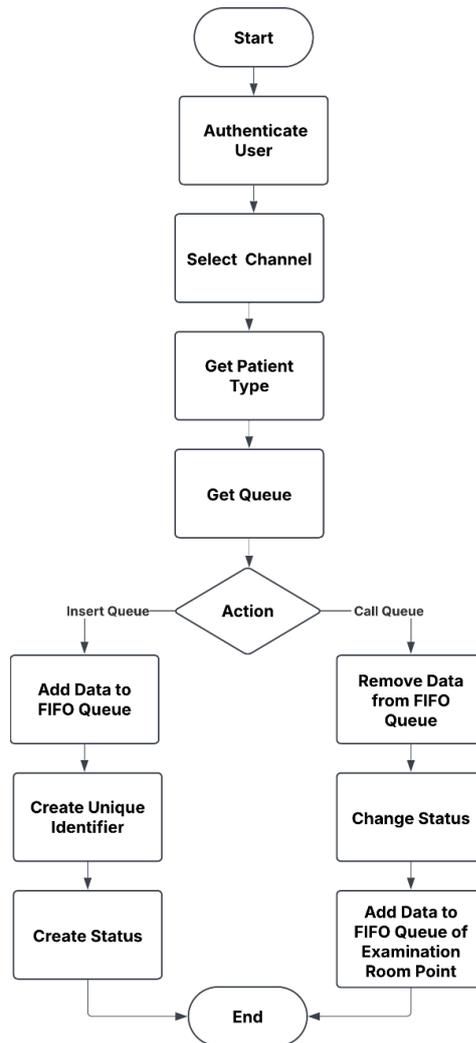
ตารางที่ 2 มูลค่าความเสียหายในเชิงเวลาของกระบวนการจัดการคิวเดิม

จุดบริการ	การคำนวณ	เวลาที่สูญเสียจากกระบวนการต่อบุคลากร
จุดซักประวัติ	(4 นาที x 80 คน) / 3 คน	1.77 ชั่วโมง
จุดหน้าห้องตรวจ	(10 นาที x 80 คน) / 2 คน	6.67 ชั่วโมง
จุดรับยา	(7 นาที x 80 คน) / 1 คน	9.33 ชั่วโมง

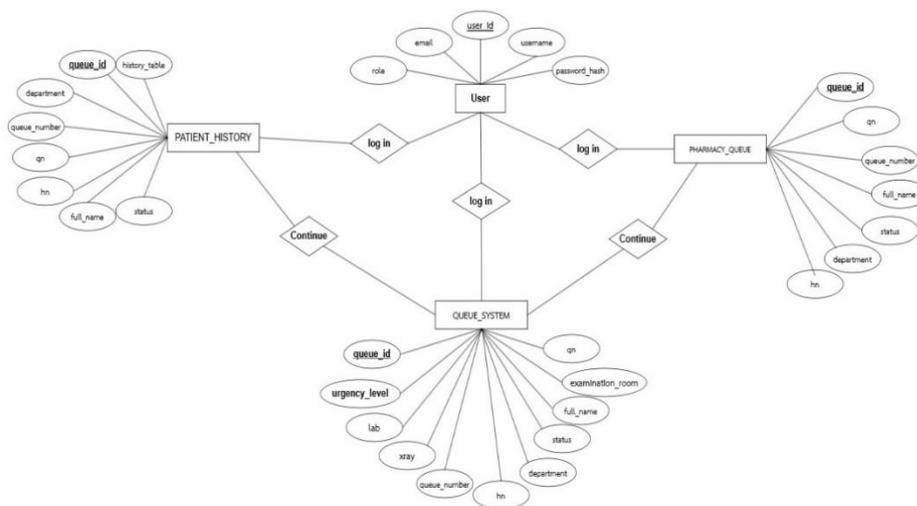
3.3 การออกแบบระบบจัดการคิว

การออกแบบลำดับเข้ารับบริการ ใช้หลักการเรียงลำดับแบบเข้าก่อน-ออกก่อน (FIFO) (Robert & Kevin, 2014) เป็นแนวคิดหลัก โดยผู้ที่ลงทะเบียนเพื่อเข้ารับบริการก่อน จะมีสิทธิ์เข้ารับบริการก่อน ซึ่งใช้ในการออกแบบการทำงานของระบบคิวทั้งจุดชั่งประวัติ จุดหน้าห้องตรวจ และจุดรับยา ทั้งนี้ยังผสมผสานหลักการ FIFO กับการแบ่งประเภทการบริการในจุดชั่งประวัติ เพื่อจัดลำดับผู้มารับบริการแต่ละประเภท เช่น ผู้รับบริการทั่วไป ผู้รับบริการแบบนัดหมาย เป็นต้น การแบ่งสถานะการบริการในจุดหน้าห้องตรวจ เช่น รอเรียก กำลังตรวจ เป็นต้น รวมถึงออกแบบเพื่อรองรับการให้บริการตามระดับความสำคัญ หรือความเร่งด่วนของผู้มารับบริการด้วย ตัวอย่างเช่น ระบบการจัดการคิว จุดชั่งประวัติแสดงดัง แผนภาพที่ 1 โดยเริ่มต้นที่บุคลากรเข้าสู่ระบบเพื่อยืนยันตัวตน และเลือกโต๊ะบริการที่ต้องการ จากนั้นระบบจะดึงข้อมูลประเภทผู้มารับบริการและข้อมูลคิวผู้มารับบริการในจุดชั่งประวัตินี้สามารถดำเนินการได้ 2 แบบ ได้แก่ การเพิ่มคิวและการเรียกคิว โดยส่วนแรกคือการเพิ่มคิว จะเป็นการเพิ่มข้อมูลโดยใช้หลักการ FIFO และสร้าง UID หรือตัวระบุเอกลักษณ์เพื่อเชื่อมต่อข้อมูลไปยังจุดบริการถัดไป และสร้างสถานะ “รอเรียก” ส่วนที่สองคือการเรียกคิว เมื่อบุคลากรกดปุ่มเรียกคิว ข้อมูลจะถูกลบออกจากคิวผู้มารับบริการ และเปลี่ยนสถานะเป็น “เสร็จสิ้น”

ตัวระบุเอกลักษณ์ (Kleppmann, 2017) นำมาใช้ในการออกแบบการเชื่อมต่อข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลมีความสอดคล้องกันในแต่ละจุดบริการ โดยได้ออกแบบฐานข้อมูล ดังภาพที่ 2 ซึ่งแสดงแผนภาพความสัมพันธ์ของข้อมูลระบบจัดการคิวของโรงพยาบาล ที่สามารถแสดงเลขคิว (Queue_number) ที่ตรงกัน ทั้ง 3 จุดบริการ โดยใช้รหัสคิว (Queue_id) ซึ่งตารางที่ 3 เป็นตัวอย่างตารางข้อมูลของจุดชั่งประวัติ



ภาพที่ 1 แผนผังการทำงานของระบบจัดการคิว จุดซักประวัติ



ภาพที่ 2 แผนภาพความสัมพันธ์ของข้อมูลระบบจัดการคิว

ตารางที่ 3 ตารางข้อมูลของจุดซักประวัติ

Patient_history	
Name	Type
History_id	int
Queue_id	int
Department	varchar
Queue_number	int
Qn	varchar
Hn	varchar
Id_card	varchar
Full_name	varchar
Status	varchar
History_table	varchar
Arrival_time	datetime
Completion_time	datetime

ผู้วิจัยยังออกแบบและปรับปรุงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User interface) และประสบการณ์ของผู้ใช้ (User experience) โดยใช้สีและรูปแบบตัวอักษรที่ช่วยแสดงผลข้อมูลคิวได้ชัดเจนขึ้น การแสดงผลแยกตามสถานะบริการ การปรับปรุงการใช้งานให้ไม่ซับซ้อน มีจำนวนขั้นตอนในการเรียกคิวที่ไม่มากจนเกินไป การใช้สัญลักษณ์ช่วยสื่อความหมาย ซึ่งการปรับปรุงทั้งสองส่วนนี้จะช่วยให้บุคลากรสามารถใช้งานระบบได้ง่ายและสะดวกมากขึ้น

3.4 การพัฒนาระบบจัดการคิวและการทดสอบการใช้งาน

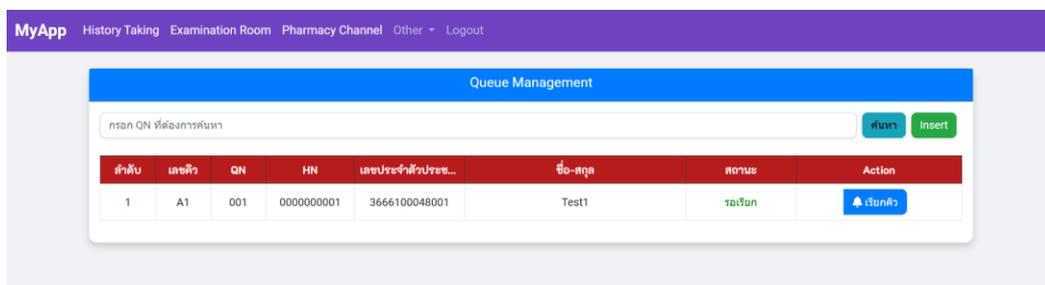
ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบตามที่ได้ออกแบบในขั้นตอนก่อนหน้า โดยพัฒนาเป็นเว็บแอปพลิเคชันเพื่อสามารถแสดงผลแบบเรียลไทม์ โดยใช้ภาษา PHP และฐานข้อมูล MySQL ในการจัดการข้อมูลตามหลัก CRUD (Kleppmann, 2017) ซึ่งช่วยให้การจัดการข้อมูลมีความรวดเร็วและแม่นยำ โดยตัวอย่างหน้าจอระบบจัดการคิวและหน้าจอแสดงคิว ของ 3 จุดบริการ ได้แก่จุดซักประวัติ จุดหน้าห้องตรวจ และจุดรับยา แสดงดังภาพที่ 3 ถึง ภาพที่ 8 ตามลำดับ

การใช้งานระบบจัดการคิวจุดซักประวัติ ลำดับคิวจะแสดงตามลำดับการลงทะเบียน ซึ่งสามารถกดปุ่มเรียกคิวได้เลย ไม่ต้องพิมพ์ชื่อเองเพื่อเรียกคิว นอกจากนี้สามารถเลือกประเภทผู้มารับบริการได้ ดังเช่น ในภาพที่ 3 ซึ่งเป็นโต๊ะบริการที่ 1 สำหรับผู้รับบริการทั่วไป ระบบจัดการคิวจะแสดงเฉพาะเลขคิวที่มีรหัสหน้าด้วย A เท่านั้น ซึ่งเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในการจัดการคิวให้กับ

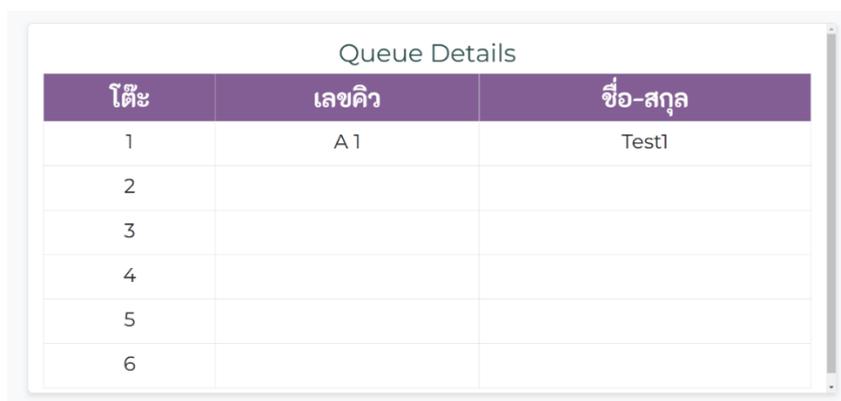
บุคลากร เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเดิมไม่มีการแบ่งประเภทผู้รับบริการ โดยภาพที่ 4 คือหน้าจอแสดงคิวจุดซักประวัติ ซึ่งแสดงเลขคิวของผู้มารับบริการ

การใช้งานจุดหน้าห้องตรวจ เมื่อข้อมูลผู้รับบริการถูกส่งต่อมาจากจุดซักประวัติ จะเรียงลำดับตามการประทับเวลา (Timestamp) โดยอัตโนมัติ บุคลากรสามารถกดปุ่มเพื่อเรียกเข้าห้องตรวจได้ทันที เช่น ในภาพที่ 5 เมื่อกดปุ่ม Room1 ผู้รับบริการเลขคิว AZ4 ที่มีสถานะ “รอเรียก” จะถูกจัดเพื่อเรียกคิวเข้าห้องตรวจ Room1 นั่นเอง โดยในระบบเดิมข้อมูลที่ส่งมาจะไม่มีลำดับคิวตามการประทับเวลา ไม่แยกสถานะบริการ บุคลากรต้องดูลำดับเองหรือใช้การค้นหาจากหมายเลขผู้รับบริการ (QN) ซึ่งภาพที่ 6 คือหน้าจอแสดงคิว จุดหน้าห้องตรวจ ซึ่งแสดงเลขคิวของผู้มารับบริการที่ตรงกันกับจุดซักประวัติ

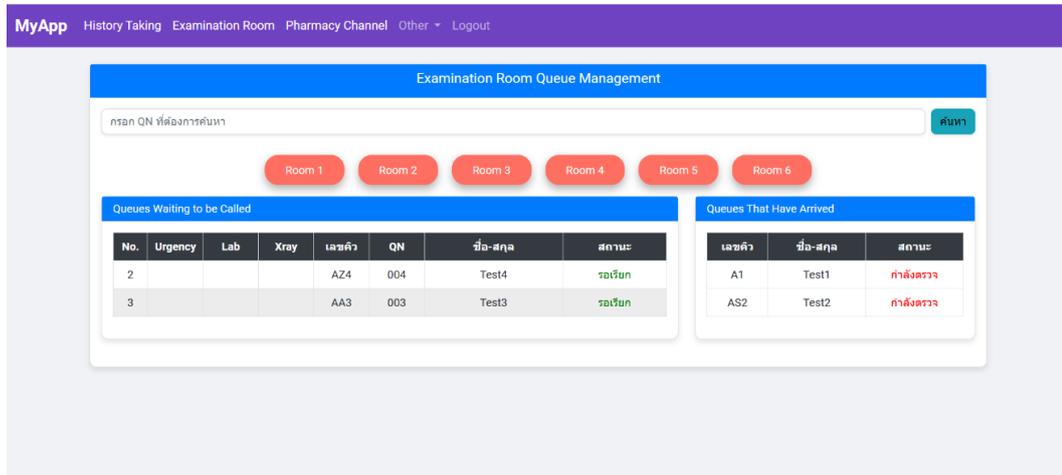
การใช้งานจุดรับยา เมื่อผู้รับบริการชำระเงินและลงทะเบียนจุดรับยาเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจะเรียงลำดับตามการประทับเวลาเช่นกัน โดยบุคลากรสามารถกดปุ่มเรียกคิวเพื่อเรียกรับยาได้ทันที อย่างไรก็ตาม ในการดำเนินการจริง แม้จะดำเนินการจัดยาตามลำดับ แต่มีหลายกรณีที่เสร็จสิ้นก่อนลำดับก่อนหน้า ดังนั้นจึงต้องมีปุ่มเรียกคิว หรือใช้การค้นหาจากหมายเลขผู้รับบริการ (QN) ดังเช่นภาพที่ 7 กดเลือกช่องบริการ 7_1 และกดปุ่มเรียกคิว และภาพที่ 8 แสดงเลขคิวของผู้มารับบริการ ณ จุดรับยา ซึ่งตรงกันกับทั้งสองจุดบริการก่อนหน้า



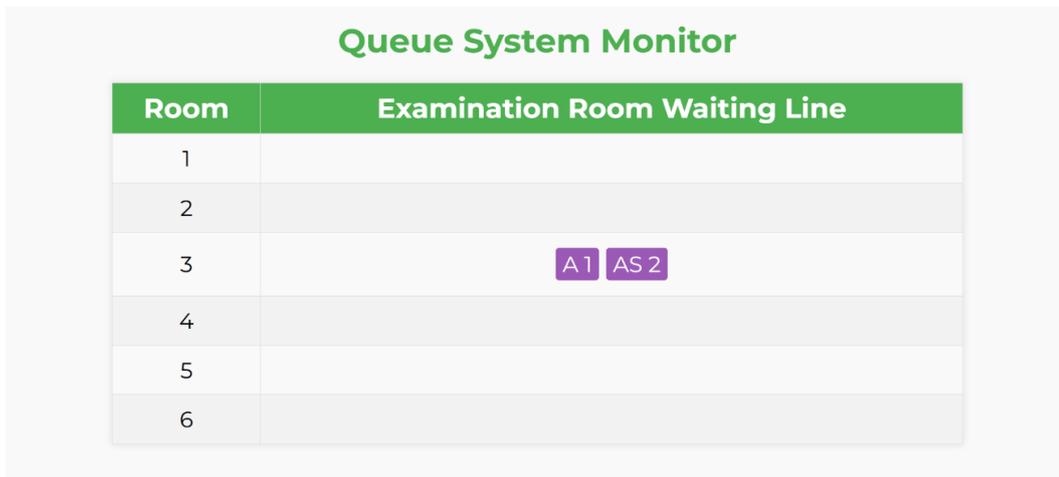
ภาพที่ 3 หน้าจอระบบจัดการคิว จุดซักประวัติ ของบุคลากรทางการแพทย์



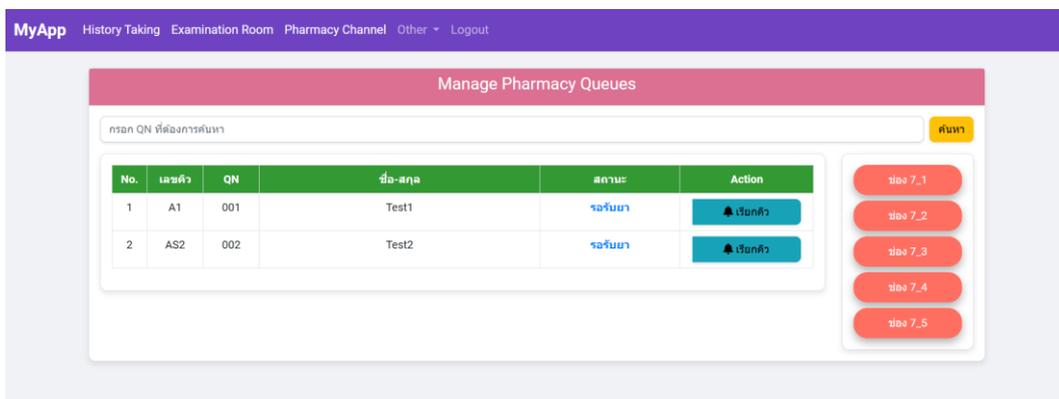
ภาพที่ 4 หน้าจอแสดงคิว จุดซักประวัติ ของผู้มารับบริการ



ภาพที่ 5 หน้าจอระบบจัดการคิว จุดหน้าห้องตรวจ ของบุคลากรทางการแพทย์



ภาพที่ 6 หน้าจอแสดงคิว จุดหน้าห้องตรวจ ของผู้มารับบริการ



ภาพที่ 7 หน้าจอระบบจัดการคิว จุดรับยา ของบุคลากรทางการแพทย์

ช่อง	เลขคิว	ชื่อ-สกุล
7_1	A1	Test1
7_2		
7_3		
7_4		
7_5		

ภาพที่ 8 หน้าจอแสดงคิว จุดรับยา ของผู้มารับบริการ

หลังจากการพัฒนาระบบเสร็จสิ้น ระบบติดตั้งอยู่บนสภาพแวดล้อมการพัฒนาของนักพัฒนา และถูกทดสอบโดยกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ บุคลากรทางการแพทย์ของโรงพยาบาลกรณีศึกษา ที่ประจำจุดให้บริการ จำนวน 10 คน ใช้ระยะเวลาทดสอบ 14 วัน โดยทดสอบการทำงานหลักคือ การใช้งาน การจัดการคิวทั้ง 3 จุดบริการ รวมถึงการทดสอบการตรวจสอบสิทธิ์การเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้ตามสิทธิ์ที่กำหนด

3.5 การประเมินความพึงพอใจในการใช้งานระบบ

หลังจากการทดสอบการใช้งานระบบเสร็จสิ้น ได้มีการจัดทำแบบสำรวจความพึงพอใจเพื่อประเมินผลการใช้งานใน 3 ด้านหลัก ได้แก่ 1) การจัดการคิว 2) ความง่ายในการใช้งาน และ 3) รูปแบบการแสดงผล โดยการประเมินความพึงพอใจจะใช้แบบสำรวจในรูปแบบ 5 ระดับ

4. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการทดสอบและประเมินผลระบบที่พัฒนาพบว่า ช่วยลดเวลาในกระบวนการจัดการและเรียกคิว ในจุดซักประวัติจาก 4 นาที เหลือ 2 นาที จุดหน้าห้องตรวจจาก 10 นาที เหลือ 9 นาที ส่วนจุดรับยาสามารถลดลงเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญ โดยผลกระทบเชิงมูลค่าที่เกิดขึ้นจากการลดระยะเวลาในกระบวนการแสดงตารางที่ 4

โดยในจุดซักประวัติสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงเวลาต่อบุคลากรจากระบบเดิมร้อยละ 50 เนื่องจากมีการปรับปรุงระบบจัดการคิวที่แตกต่างไปจากระบบเดิมอย่างมาก ทั้งการจัดลำดับตามการประทับเวลาและประเภทผู้รับบริการ และการใช้ปุ่มเรียกคิวที่ระบบเดิมไม่มี ในจุดหน้าห้องตรวจสามารถเพิ่มประสิทธิภาพเชิงเวลาต่อบุคลากรจากระบบเดิมร้อยละ 11 เนื่องจากมีการจัดลำดับตามการประทับเวลา แยกการแสดงผลตามสถานะผู้รับบริการ การใช้เลขคิวที่ตรงกับจุดซัก ทำให้บุคลากร

จัดการคิวได้เร็วขึ้น ไม่ต้องใช้การใส่ข้อมูลหรือค้นหาข้อมูลทุกครั้งที่เราเรียกคิว การเพิ่มประสิทธิภาพนี้ทำให้บุคลากรสามารถใช้เวลาที่มีเพิ่มขึ้นในการเตรียมให้บริการในส่วนอื่นๆ นอกจากนี้ยังทำให้ผู้มารับบริการได้รับการจัดการคิวที่รวดเร็วขึ้นด้วย

ตารางที่ 4 มูลค่าที่เกิดขึ้นในเชิงเวลา จากการลดเวลาในกระบวนการจัดการคิวของระบบที่พัฒนา

จุดบริการ	การคำนวณ	เวลาที่สูญเสียจากกระบวนการต่อบุคลากร	ประสิทธิภาพ
จุดซักประวัติ	(2 นาที x 80 คน) / 3 คน	0.88 ชั่วโมง	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 50
จุดหน้าห้องตรวจ	(9 นาที x 80 คน) / 2 คน	6.00 ชั่วโมง	เพิ่มขึ้น ร้อยละ 11
จุดรับยา	(7 นาที x 80 คน) / 1 คน	9.33 ชั่วโมง	-

ส่วนจุดรับยา ประสิทธิภาพเชิงเวลาต่อบุคลากรต่อบุคลากรคงที่ เนื่องจากไม่ได้มีการปรับปรุงกระบวนการจากระบบเดิมมากนัก และจากการวิเคราะห์กระบวนการจริงของจุดรับยา ยังไม่พบวิธีการที่ช่วยให้กระบวนการจัดการคิวของบุคลากรใช้เวลาลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตามการทำให้ผู้รับบริการมีความสะดวกขึ้น เช่น ผู้ใช้สามารถทราบลำดับคิวปัจจุบันและเวลาโดยประมาณในการรอคอย จากที่ใดก็ได้โดยไม่ต้องอยู่ ณ จุดบริการนั้น เป็นต้น แม้ไม่ได้ช่วยลดระยะเวลาจัดการคิว แต่ช่วยให้ผู้รับบริการสามารถวางแผนการใช้เวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ประสบการณ์การรับบริการดีขึ้น จึงเป็นงานที่ผู้วิจัยกำลังศึกษาและจะพัฒนาต่อไปในอนาคต ซึ่งอาจรวมถึงการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ และการวิเคราะห์ข้อมูล มาใช้ในระบบด้วย

การประเมินความพึงพอใจจากบุคลากรผู้ใช้งานระบบทั้ง 3 จุดบริการ จำนวน 10 คน พบว่าในด้านการจัดการคิว ซึ่งได้แก่การลดเวลา การจัดการอย่างเป็นระบบ และความถูกต้องของข้อมูล ผู้ใช้ร้อยละ 80 ให้คะแนนความพึงพอใจระดับสูงที่สุด ด้านความง่ายในการใช้งาน ผู้ใช้ร้อยละ 70 ให้คะแนนความพึงพอใจระดับสูงที่สุด ด้านรูปแบบการแสดงผล ผู้ใช้ร้อยละ 85 ให้คะแนนความพึงพอใจระดับสูงที่สุด ดังนั้นโดยเฉลี่ยแล้ว ระบบได้รับความพึงพอใจในระดับสูงที่สุดจากผู้ใช้ร้อยละ 78.33 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้ส่วนใหญ่ได้เป็นอย่างดี

5. สรุปผล

ระบบการจัดการคิวสำหรับหลายจุดบริการ ด้วยการเรียงลำดับแบบเข้าก่อน-ออกก่อนและตัวระบุเอกลักษณ์ที่พัฒนาขึ้นนี้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการคิว โดยลดเวลาที่ใช้ในจุดซักประวัติและหน้าห้องตรวจ ทำให้บุคลากรมีเวลาเพิ่มขึ้นในการเตรียมให้บริการในส่วนอื่น นอกจากนี้

ระบบยังได้รับความพึงพอใจในระดับสูงที่สุดจากผู้ใช้งานระบบใน 3 ด้าน ได้แก่ การจัดการคิว ความง่ายในการใช้งาน และรูปแบบการแสดงผล ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้การให้บริการจัดการคิวของคุณภาพ มีความราบรื่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ระบบนี้สามารถนำไปใช้กับโรงพยาบาลชุมชนทั้งขนาดใหญ่ และขนาดกลาง ที่มีผู้มารับบริการจำนวนมาก และประสบปัญหาในการจัดการคิวได้

สำหรับการพัฒนาในอนาคตคือ การเชื่อมต่อข้อมูลจากระบบจัดการคิวเดิม เพื่อให้ผู้รับบริการสามารถทราบลำดับคิวและเวลาโดยประมาณในการรอคอยจากที่ใดก็ได้ แม้จะไม่ได้ลดระยะเวลาการจัดการคิวโดยตรง แต่ช่วยให้ผู้รับบริการสามารถวางแผนการใช้เวลา ซึ่งช่วยมีประสบการณ์การรับบริการที่ดีขึ้นนั่นเอง

6. เอกสารอ้างอิง

- Hassan, H.A., Ibrahim, S., Abd EL Salam, M., & Badran, F.M.M. (2022). Queue Management system and its relation with Patient Satisfaction of Outpatient Clinics. *Egyptian Journal of Nursing and Health Sciences*, 3(1), 225–245. Doi: 10.21608/ejnhs.2023.327887
- Kleppmann, M. (2017). *Designing Data-Intensive Applications: The Big Ideas Behind Reliable, Scalable, and Maintainable Systems* (1st ed.). U.S.A.: O'Reilly Media.
- Kusumastiw, R.P.O., Aristyanto, R., & Yunisa, F. (2024). Analysis of the Effectiveness of Online-Based Patient Queue Management System Innovation: A Study at UMY Dental Hospital. *Community Medicine and Education Journal*, 5(2), 491-499. Retrieved from <https://doi.org/10.37275/cmej.v5i2.557>
- Naufal, M., Marjito, M., & Komarudin, K. (2023). Implementation Of a Web-Based Queuing System in Hospital Polyclinic Services Using the FIFO Method: Case Study of Karangpawitan Community Health Center. *Informatics Management, Engineering and Information System Journal*, 1(2), 112-118. Retrieved from <https://doi.org/10.56447/imeisj.v1i2.246>
- Robert, S., & Kevin, W. (2014). *Algorithms: Part I* (4th ed.). U.S.A.: Addison-Wesley Professional.



การจัดเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการเข้ารับพัสดุที่บ้านลูกค้าและสาขา
แฟรนไชส์ไปยังศูนย์รวมสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่ง
THE APPROPRIATE ROUTING FOR RECEIVING PARCELS FROM
CUSTOMER HOMES AND FRANCHISE BRANCHES TO PRODUCT
COLLECTION CENTER FOR A CASE STUDY COMPANY

เนตรนภา จุ้ยคลัง¹, วิลาวลัย สวนสิงห์¹, พัทชรภร ทองทับ¹,
วรัทภพ ธภัทรสุวรรณ², ธัชชัย เทพภรณ์^{1*}

Netnapha Juiklang¹, Wilawan Suansing¹, Phatcharaphon Thongtub¹,
Warattapop Thapatsuwana², Thatchai Thepphakorn^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

²คณะศิลปศาสตร์และวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม ประเทศไทย 73140

¹Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

²Faculty of Liberal Arts and Science, Kasetsart University Kamphaeng Saen Campus,
Kamphaeng Saen, Nakhon Pathom, Thailand, 73140

*Corresponding author e-mail: thatchai.t@psru.ac.th

วันที่เข้าระบบ 6 เมษายน 2568

วันที่แก้ไขบทความ 30 เมษายน 2568

วันที่ออกรับบทความ 30 เมษายน 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการจัดเส้นทางเข้ารับพัสดุจากบ้านลูกค้าและสาขาแฟรนไชส์ไปยังศูนย์รวมสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งโดยใช้โปรแกรม VRP spreadsheet solver เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง ลดระยะเวลาและระยะทางที่ใช้ในการเข้ารับพัสดุ การดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย การเก็บข้อมูลจากวันปฏิบัติงานที่มีลูกค้าจำนวนมากที่สุด รวม 41 ราย ใช้รถกระบะตู้ทึบ 3 คัน ภายใต้ข้อจำกัดกรอบเวลาทำงาน 6 ชั่วโมง และความจุพัสดุสูงสุด 500 ชิ้นต่อคัน ข้อมูลพิกัดและข้อกำหนดต่าง ๆ ถูกนำมาใช้ในกระบวนการวิเคราะห์และวางแผนเส้นทางการเดินทาง ผลการวิจัยพบว่าในกรณีศึกษาจริง รถคันที่ 1, 2 และ 3 ใช้ระยะทางรวม 15.86 กิโลเมตร, 29.60 กิโลเมตร และ 120.26 กิโลเมตร ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการเข้ารับพัสดุจากโปรแกรมกับกรอบเวลาเดิม พบว่าสามารถลดระยะเวลาได้สูงสุดถึงร้อยละ 51.11 และเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง สามารถลดระยะเวลาได้ถึงร้อยละ 41.33 การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า การประยุกต์ใช้เครื่องมือวิเคราะห์เส้นทางสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการดำเนินงาน ลดต้นทุน และลดความเสี่ยงจากการล่าช้าในการขนส่งได้อย่างมีนัยสำคัญ อันเป็นแนวทางที่สามารถประยุกต์ใช้ในธุรกิจโลจิสติกส์ขนาดกลางและขนาดย่อมต่อไปได้

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางยานพาหนะที่เหมาะสม, การเข้ารับพัสดุ, กรอบเวลา, การปรับปรุงประสิทธิภาพ, ยานพาหนะแบบมีความจุ

Abstract

This research aimed to optimize parcel pickup routes from customer residences and franchise branches to the product consolidation center of a selected company, using the VRP Spreadsheet Solver to improve transportation efficiency by reducing both travel time and distance. The study was conducted using data collected on the company's busiest operational day, involving 41 customers. Three covered pickup trucks were deployed, each with a maximum capacity of 500 parcels and operating within a 6-hour time window. Customer coordinates and operational constraints were incorporated into the route planning and analysis. The results revealed that Vehicles 1, 2, and 3 traveled a total distance of 15.86 km, 29.60 km, and 120.26 km, respectively. Compared to the original time window schedule, the optimized routes reduced working time by up to 51.11%. When compared to actual operational data, a time reduction of 41.33% was achieved. These findings demonstrate that applying route optimization tools can significantly enhance operational efficiency, reduce transportation costs, and mitigate risks associated with delivery delays offering a practical solution for small and medium-sized logistics enterprises.

Keywords: Vehicle routing optimization, Parcel pickup, Time window, Efficiency improvement, Capacitated vehicle

1. บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกการค้าขายได้เชื่อมโยงกันโดยระบบขนส่งที่ทันสมัย อีกทั้งยังสามารถเชื่อมต่อได้โดยง่ายผ่านระบบโลจิสติกส์ระหว่างประเทศ (International logistics services) โดยความสำคัญของระบบการขนส่งระหว่างประเทศนั้นจะเป็นระบบที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการกระจายสินค้า รวมถึงการให้บริการของธุรกิจนำเข้าและส่งออกภายในประเทศได้เป็นอย่างดี ย่อมส่งผลให้ประเทศมีทรัพยากรและทักษะการผลิตที่สูงขึ้น สามารถลดต้นทุนค่าเสียโอกาสในการผลิตลง ทำให้เศรษฐกิจในประเทศที่ทำการส่งออกเติบโตมากขึ้นและเกิดการใช้ทรัพยากรการผลิตอย่างคุ้มค่า จนนำไปสู่การกำหนดอำนาจการต่อรองทางการค้าได้อีกด้วย เช่นเดียวกับกับระบบเศรษฐกิจไทยที่มีการเติบโตจากภาคการส่งออกเป็นหลักเมื่อเทียบสัดส่วนกับผลิตภัณฑ์มวลรวมของประเทศ (GDP) ด้านอื่น ๆ อีกทั้ง



ในปัจจุบันการค้าระหว่างประเทศยังคงได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยมีการช่วยเหลือในสิทธิประโยชน์เชิงพาณิชย์ ไม่ว่าจะเป็น เขตการค้าเสรี การลดภาษีนำเข้าวัตถุดิบ เป็นต้น ซึ่งมีการคาดการณ์ว่าการส่งออกของประเทศไทยจะมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น 2.5% และจะมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นจากการฟื้นตัวของเศรษฐกิจโลก (มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2567)

การขนส่งของประเทศไทยย่อมมีความสำคัญต่อทุกภาคธุรกิจ เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่มีส่วนในการเชื่อมโยงและสนับสนุนกิจกรรมอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการผลิต การจัดหาวัสดุคงคลัง กระบวนการจัดซื้อ การจัดการสินค้าคงคลัง รวมไปถึงการให้บริการลูกค้า จึงกล่าวได้ว่า การขนส่งมีความสำคัญต่อการขายและการจัดจำหน่ายเป็นอย่างมาก เพราะเป็นส่วนช่วยเพิ่มคุณค่าของสินค้าและบริการ โดยการขนส่งที่มีประสิทธิภาพต้องสามารถรับและส่งมอบสินค้าให้ตรงเวลา สินค้าหรือวัตถุดิบอยู่ในสภาพดี ต้นทุนเหมาะสม นอกจากนี้การขนส่งที่มีประสิทธิภาพยังถือเป็นการสร้างภาพลักษณ์ที่ดีแก่บริษัทได้อีกทางหนึ่งด้วย

จังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดที่อยู่ในศูนย์กลางของภาคเหนือตอนล่างที่มีการเชื่อมโยงระหว่างภาคเหนือ ภาคกลาง และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ อีกทั้งยังอยู่ในแนวเส้นทาง North-South economic corridor (NSEC) และ East-West economic corridor (EWEC) ที่สามารถเชื่อมต่อไปยังประเทศเมียนมา สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เวียดนาม และประเทศจีนตอนใต้ โดยพิษณุโลกเป็นเมืองที่มีระบบการขนส่งที่หลากหลายรูปแบบ และยังสามารถเชื่อมโยงเส้นทางระหว่างภูมิภาคได้ (ชฎาพร, 2562) โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริษัทกรณีศึกษา ได้เล็งเห็นถึงความเชื่อมโยงนี้จึงทำการจัดตั้งเป็นบริษัทขนส่งแบบเน็คเคย์ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution center: DC) เป็นการบริการจัดส่งสินค้าที่จำเป็นต้องจัดส่งภายในวันต่อวัน เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีบริการรับส่งด่วนถึงที่ (Door to door express service) สำหรับให้บริการการเข้ารับพัสดุถึงหน้าบ้าน

อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาที่ผ่านมา บริษัทกรณีศึกษาได้เกิดปัญหาล่าช้าในการเข้ารับพัสดุและขนถ่ายพัสดุ อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนและไม่ได้คำนึงถึงการเลือกเส้นทางเข้ารับพัสดุที่เหมาะสมในแต่ละวัน โดยพนักงานขับรถตามความเคยชินเป็นหลัก จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดระยะเวลาในการเข้ารับพัสดุและการขนส่งพัสดुरับเข้าไปยังศูนย์รวมสินค้านั้นไม่เหมาะสม มีปัญหาด้านต้นทุนการขนส่งตามมา เกิดความเสี่ยงในการเข้าไปถึงคลังสินคาล่าช้าไม่ทันเวลาตามที่กำหนด มีความเสี่ยงในด้านการเสียค่าปรับล่าช้าโดยไม่จำเป็น รวมถึงพัสดุจะถูกจัดส่งถึงมือลูกค้าล่าช้าอีกด้วย ซึ่งอาจจะทำให้เครดิตของบริษัทเสียหายจากการขนส่งที่ล่าช้า

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ศึกษาปัญหาและจัดเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับการเข้ารับพัสดุบ้านลูกค้าและแพนโซส์ไปยังศูนย์รวมสินค้า กรณีศึกษาบริษัทกรณีศึกษาแห่งหนึ่งด้วยโปรแกรม VRP spreadsheet solver เพื่อลดเวลาหรือระยะเวลาในการเข้ารับพัสดุให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น



2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อจัดเส้นทางที่เหมาะสมในการเข้ารับพัสดุที่บ้านลูกค้าและสาขาแฟรนไชส์ไปยังศูนย์รวมสินค้าด้วยโปรแกรม VRP spreadsheet solver

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 แนวคิดการเข้ารับสินค้า (Receiving)

สำหรับแนวคิดทฤษฎีการเข้ารับสินค้านั้น มีหลักการและแนวคิดที่หลากหลาย โดยมีข้อมูลดังต่อไปนี้ (สุณิสสา และคณะ, 2562)

1) การรับสินค้า (Receiving) การรับสินค้าเป็นขั้นตอนที่กระทำต่อเนื่องมาจากการจัดซื้อซึ่งถูกจัดทำเป็นฐานข้อมูลการสั่งซื้อ

2) การเก็บสินค้า (Put-away) ฐานข้อมูลจะมีการตรวจสอบขนาดของพื้นที่และชั้นเก็บของต่าง ๆ ว่ามีขนาดและน้ำหนักเท่าไร เพียงพอต่อสินค้าที่จะนำมาเก็บหรือไม่ และจำแนกประเภทของสินค้าไปเก็บไว้ในพื้นที่ที่เหมาะสมหรือตามเงื่อนไขที่ต้องการแล้วทำการบันทึกลงในระบบฐานข้อมูลในระบบการควบคุมสินค้าคงคลัง

3) การย้ายสินค้า (Order picking) ความถูกต้องของสินค้าที่ต้องย้ายมีระดับความสำคัญมากกว่าความเร็วในการย้ายสินค้า เนื่องจากเป็นการนำสินค้าออกจากที่เก็บเพื่อการจัดส่ง เจ้าหน้าที่คลังสินค้าจะต้องออกไปหยิบสินค้าที่กำหนดไว้ตามคำสั่งซื้อจากใบสั่งสินค้าจากลูกค้า สินค้าอาจอยู่กระจัดกระจายในพื้นที่ต่าง ๆ ในคลังเก็บสินค้าหลังจากหยิบแล้วจะนำกลับมาที่จุดรับของหรือจุดส่งของ

4) การตรวจสอบยอดสินค้า (Cycle count) ผู้ใช้ในคลังสินค้าสามารถทำการตรวจนับสินค้าเฉพาะบางส่วนหรือตามที่ต้องการ ภายในเวลาที่กำหนด หรือสามารถตรวจนับในขณะที่กำลังปฏิบัติงานอยู่ ซึ่งจะทำการตรวจนับสินค้ามีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

5) การควบคุมสินค้าคงคลัง (Inventory control) ถือได้ว่าเป็นหัวใจในการบริหารจัดการคลังสินค้าโดยการทำงานเชื่อมต่อกับระบบ อื่น ๆ ควบคุมและตรวจเช็คการไหลเวียนของสินค้าภายในคลัง

3.1.2. ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem: VRP) มีเป้าหมายสำคัญคือการออกแบบกลุ่มของยานพาหนะทุกคันให้มีการเดินทางโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์การกระจายสินค้า ยานพาหนะวิ่งไปตามเส้นทางที่จะส่งสินค้าโดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น เวลาที่ใช้ ระยะทางในการเดินทางและจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการเดินทาง

(เกียรติพงษ์, 2557) ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสาธารณะจัดเป็นปัญหาการขนส่งอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) แต่ในการเดินทางใน 1 รอบนั้นไม่จำเป็นต้องเดินทางครบทุกจุดหมาย โดยเป็นการจัดเส้นทางในการขนส่งโดยหาจำนวนพาหนะที่ใช้ให้เหมาะสมกับปริมาณสินค้า พร้อมทั้งหาเส้นทางในการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม ภายใต้ข้อกำหนดในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดโดยปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (เกียรติพงษ์, 2557)

3.1.3. แนวคิดทฤษฎีวิธีหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมสามารถแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ การหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีดั้งเดิม (Conventional optimization methods) ซึ่งจะประกอบด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์หลากหลายรูปแบบ เช่น Linear programming, Integer programming, Branch and bound, Simplex methods เป็นต้น และวิธีการหาคำตอบแบบการประมาณ (Approximation optimization algorithm) เช่น Genetic algorithm, Ant colony optimization, Tabu search, Large neighborhood search เป็นต้น (Dana *et al*, 2020) ซึ่งวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมทั้ง 2 ประเภทหลายวิธีการถูกพัฒนาขึ้นโดยประยุกต์ใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซลอยู่บ่อยครั้ง อันเนื่องมาจากการใช้งานที่ง่ายและการเข้าถึงการใช้งานได้ง่าย เช่น วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (รัตนดิยากร และบุญทรัพย์, 2567) วิธี Large neighbourhood search (Sreerag & Venkatesan, 2025 และ Wenbo *et al.*, 2021) วิธี Memetic algorithm (David, 2016) เป็นต้น

3.1.4. แนวคิดโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver

โปรแกรม VRP Spreadsheet Solver จัดเป็นหนึ่งใน Add-in โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาในปี 2017 (Günes, 2017) ซึ่งต้องใช้งานร่วมกับไมโครซอฟท์เอ็กเซลสำหรับช่วยในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (VRP) โดยอาศัยหลักการค้นหาคำตอบแบบวิธีการค้นหาคำตอบข้างเคียงขนาดใหญ่ (Large neighborhood search: LNS) (Günes, 2017) โดยผลลัพธ์นั้นทำให้ได้รับเส้นทางที่สั้นลง ช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาในการเข้ารับสินค้าให้กับทางบริษัทกรณีศึกษาที่ได้จากผลลัพธ์ที่เหมาะสมในการหาคำตอบจากโปรแกรม ทั้งนี้โปรแกรมเป็นเพียงแค่การวิเคราะห์การวางแผนในการจัดเส้นทางเท่านั้น ไม่สามารถตอบสนองปัญหาเฉพาะหน้าที่อาจเกิดขึ้นได้ในระหว่างการเข้ารับพัสดุ (เพ็ญศิริ และคณะ, 2564)

3.1.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิริชัย (2564) ได้ศึกษาและแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีกรอบเวลาโดยการใช้การค้นหาคำตอบที่ปรับเปลี่ยนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial bee colony optimization: ABCO) เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (VRP) เป็นปัญหาที่ได้รับความนิยมในธุรกิจการขนส่งและโลจิสติกส์ อีกทั้งความยากในการแก้ปัญหาจะขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อจำกัด โดยปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่พิจารณากรอบเวลาในการรับส่งสินค้า (VRP with time windows:

VRPTW) จัดเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยจำนวนมาก ซึ่งวัตถุประสงค์ของปัญหา VRPTW ต้องการระบุเส้นทางให้กับยานพาหนะโดยต้องการระยะทางในการขนส่งที่สั้นที่สุด สำหรับผลการประยุกต์ใช้วิธีการอาณานิคมผึ้งที่เชื่อมร่วมกับวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบปรับเปลี่ยน (Adaptive local search in ABCO) ในการแก้ปัญหา VRPTW ในงานวิจัยนี้ได้ผลลัพธ์ในการแก้ปัญหาที่น่าพอใจ

ปารณัท และสรารุช (2564) ได้มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงระบบการขนส่งแบบมิลค์รัน (Milk run) สำหรับโรงงานประกอบรถยนต์ที่ใช้ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-time) โดยมีเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งที่เกิดขึ้นจากการรับชิ้นส่วนจากผู้ผลิต 35 รายในจังหวัดระยองและชลบุรีไปยังโรงงานประกอบรถยนต์ในนิคมอุตสาหกรรมแหลมฉบัง จังหวัดชลบุรี โดยเริ่มต้นจากการนำข้อมูลความต้องการชิ้นส่วนรายวันมาใช้ในการคำนวณปริมาณสินค้าที่ต้องขนส่ง และออกแบบเส้นทางขนส่งโดยใช้หลักการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (VRP) โดยมีการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving algorithm) และวิธีแบบเมต้าฮิวริสติกส์ด้วยโปรแกรม VRP spreadsheet solver เพื่อเปรียบเทียบและวิเคราะห์หาเส้นทางขนส่งที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่า วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดสามารถลดต้นทุนการขนส่งจาก 21,859,083 บาทต่อปี เหลือ 12,769,159 บาทต่อปี ลดลง 9,089,924 บาทต่อปี หรือลดลง 41.58% ในขณะที่วิธีแบบเมต้าฮิวริสติกส์ด้วยโปรแกรม VRP spreadsheet solver สามารถลดต้นทุนการขนส่งเหลือ 11,962,011 บาทต่อปี ลดลง 9,897,072 บาทต่อปี หรือลดลง 45.28%

ชิตชณู และ วีรยา (2565) ได้ศึกษาการปรับปรุงกระบวนการรับและตรวจนับสินค้าขาเข้าของบริษัท ดีพลัส อินเทอร์เน็ต จำกัด ซึ่งปัญหาที่พบบ่อยคือ ความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากการรอคอยสินค้าที่รอการเคลื่อนย้าย รวมถึงสินค้าที่รอการตรวจนับในส่วนของการรับและการตรวจนับสินค้า อันเนื่องมาจากมีพื้นที่ในการตรวจนับสินค้าไม่เพียงพอ อีกทั้งขั้นตอนการนับสินค้าใช้ระยะเวลานาน จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บเวลาการทำงานทั้ง 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการรับสินค้าและขั้นตอนการตรวจนับสินค้า จากนั้นได้นำหลักการลดความสูญเปล่าด้วย ECRS และแนวคิด 5ส. มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงกระบวนการ ซึ่งผลการศึกษาวิจัยพบว่า ในส่วนของสภาพพื้นที่หน้างานจะมีสภาพที่ง่ายต่อการทำงานมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

วารุณอร และคณะ (2567) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการกำหนดเส้นทางที่พิจารณาความจุรถหลายขนาดและมีการรับและส่งสินค้าในการจัดการขนส่ง เพื่อลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ให้กับบริษัทโลจิสติกส์แห่งหนึ่งในการรับชิ้นส่วนยานยนต์จากโรงงานผู้ผลิตชิ้นส่วนไปส่งยังโรงงานอุตสาหกรรมยานยนต์ โดยแนวทางแก้ปัญหาจะมี 3 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 จัดกลุ่มจุดรับสินค้าที่มีจุดส่งสินค้าเดียวกันและมีช่วงเวลาเข้ารับเดียวกัน โดยแนวทางที่ 2 จะจัดกลุ่มจุดรับสินค้าที่มีจุดส่งสินค้าเดียวกันและมีช่วงเวลาเข้ารับใกล้เคียงกัน และสุดท้ายเป็นแนวทางที่ 3 คือ จัดกลุ่มจุดรับสินค้าที่มีจุดส่งสินค้าใกล้เคียงกันและมีช่วงเวลาเข้ารับใกล้เคียงกัน ผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบข้างเคียง

ขนาดใหญ่ (LNS) ผ่านทางโปรแกรม VRP spreadsheet solver พบว่า แนวทางที่ 3 สามารถลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ของบริษัทได้มากถึงร้อยละ 58.52 และประสิทธิภาพการใช้ความจุรถเฉลี่ยเพิ่มขึ้นร้อยละ 34.53

3.2 ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในบริษัทกรณีศึกษา

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษา มีบริการเข้ารับพัสดุด้วยรถบรรทุก โดยมีการเข้ารับพัสดุถึงหน้าบ้านลูกค้า อย่างไรก็ตามในช่วงเวลาที่ผ่านมาได้เกิดปัญหาล่าช้าในการเข้ารับพัสดุและขนถ่ายพัสดุ อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของพนักงานขับรถในการเลือกใช้เส้นทาง โดยพนักงานขับรถปฏิบัติตามความเคยชิน ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมในแต่ละวัน จึงเป็นสาเหตุหลักทำให้การขนส่งไปยังศูนย์รวมสินค้ามีปัญหา เกิดความเสี่ยงในการเข้าไปถึงคลังสินค้าล่าช้าไม่ทันเวลาตามที่กำหนด จึงทำให้มีปัญหาในเรื่องค่าปรับล่าช้าตามมาและพัสดุอาจจะจัดส่งถึงมือลูกค้าล่าช้าอีกด้วย ซึ่งจะทำให้เครดิตของบริษัทเสียหายจากการขนส่งที่ล่าช้าได้ในภายหลัง

3.3 เก็บรวบรวมข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษา

3.3.1 ข้อมูลและที่อยู่ของลูกค้าที่จะต้องเข้ารับพัสดุ เนื่องจากข้อจำกัดด้านความลับของข้อมูลลูกค้าและข้อจำกัดด้านเวลา ในงานวิจัยนี้จึงมีการพิจารณาระยะเวลาในการเข้ารับพัสดุจำนวน 1 วัน ในช่วงเดือนกันยายน 2567 เนื่องจากเป็นวันที่มีปริมาณลูกค้าค่อนข้างมากในเดือนดังกล่าว สำหรับตัวอย่างข้อมูลตำแหน่งของลูกค้าในการเข้ารับพัสดุแสดงดังตารางที่ 3.1

3.3.2 ยานพาหนะที่ใช้มีข้อมูลรายละเอียดเบื้องต้นดังนี้ รถกระบะตู้ทึบประเภทรถกระบะตอนเดียวจำนวน 3 คัน สำหรับเชื้อเพลิงจะใช้น้ำมันประเภทเชื้อเพลิงดีเซล กำหนดความเร็วจำกัด 90 กิโลเมตร/ชั่วโมงในการเดินทาง สำหรับความจุของยานพาหนะจะเท่ากันที่ความจุ 500 ชิ้น/คัน

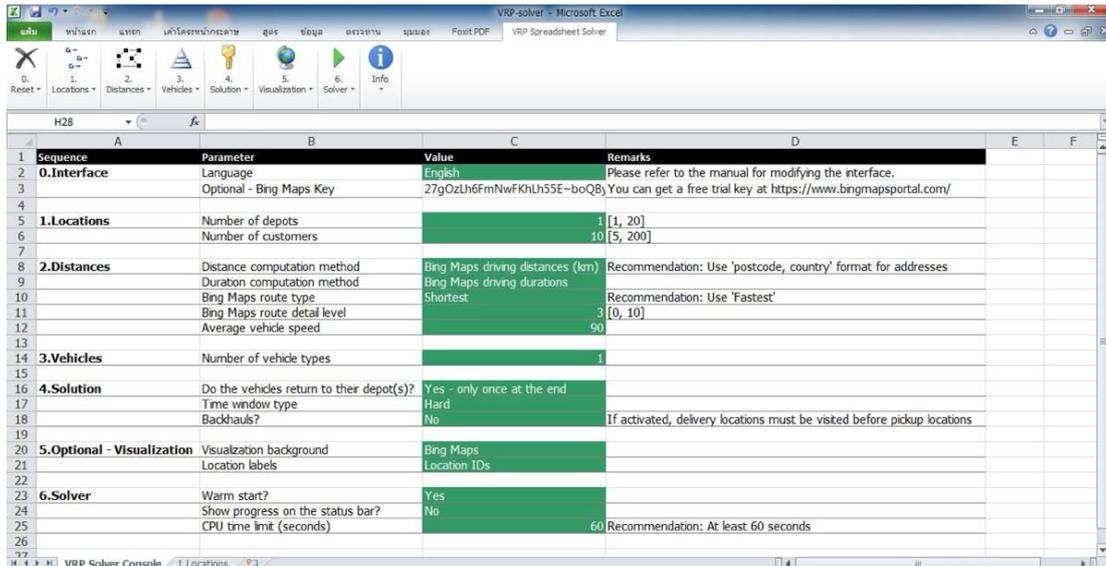
ตารางที่ 3.1 ตารางข้อมูลที่อยู่ของลูกค้าในการเข้ารับพัสดุ

ลูกค้า	พิกัดละติจูด	พิกัดลองจิจูด	ปริมาณสินค้า (ชิ้น)
1	16.7961420	100.2875640	32
2	16.7675242	100.2695209	5
3	16.7970999	100.2587427	44
4	16.8503373	100.2661178	1
⋮	⋮	⋮	⋮
38	16.8236450	100.2619530	4
39	16.8524284	100.2654866	1
40	16.7959399	100.2608414	4
41	16.8437050	100.2446220	6
		รวมทั้งหมด	1,115

3.4 การประยุกต์ใช้โปรแกรม VRP spreadsheet solver

งานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม VRP spreadsheet solver (Günes, 2017) ในการแก้ปัญหาการเข้ารับพัสดุ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

3.4.1 การกำหนด Parameter ในโปรแกรม VRP spreadsheet solver ดังภาพที่ 3.1



Sequence	Parameter	Value	Remarks
0.Interface			
2	Language	English	Please refer to the manual for modifying the interface.
3	Optional - Bing Maps Key	27gOzLh6FmNwFKhLh5SE~boQBj	You can get a free trial key at https://www.bingmapsportal.com/
1.Locations			
5	Number of depots	1	[1, 20]
6	Number of customers	10	[5, 200]
2.Distances			
8	Distance computation method	Bing Maps driving distances (km)	Recommendation: Use 'postcode, country' format for addresses
9	Duration computation method	Bing Maps driving durations	
10	Bing Maps route type	Shortest	Recommendation: Use 'Fastest'
11	Bing Maps route detail level	3	[0, 10]
12	Average vehicle speed	90	
3.Vehicles			
14	Number of vehicle types	1	
4.Solution			
16	Do the vehicles return to their depot(s)?	Yes - only once at the end	
17	Time window type	Hard	
18	Backhauls?	No	If activated, delivery locations must be visited before pickup locations
5.Optional - Visualization			
20	Visualization background	Bing Maps	
21	Location labels	Location IDs	
6.Solver			
23	Warm start?	Yes	
24	Show progress on the status bar?	No	
25	CPU time limit (seconds)	60	Recommendation: At least 60 seconds

ภาพที่ 3.1 การกำหนด Parameter

จากภาพที่ 3.1 จะแสดงหน้าข้อมูลควบคุม VRP spreadsheet solver เป็นซึ่งจะกำหนดรูปแบบการทำงานจำนวน จุดรับส่ง ระยะเวลาการวิเคราะห์ข้อมูลของโปรแกรมโดยโดยจะมีระยะเวลาที่เหมาะสมแนะนำอยู่กับจำนวนของข้อมูล โดยจะนำข้อมูลที่ต้องการได้แก่ จำนวนลูกค้า ความเร็วเฉลี่ยของรถ จำนวนชนิดของรถรับที่เข้ารับพัสดุ เป็นต้น

3.4.2. การ Setup worksheet

เมื่อทำการกำหนด Parameter เรียบร้อยแล้ว จากนั้นทางโปรแกรมจะทำการ Setup location worksheet ดังภาพที่ 3.2 ซึ่งจะแสดงผลตามที่เราได้ระบุไว้ในหน้า VRP solver console โดยในขั้นตอนนี้เราจะต้องระบุข้อมูล ดังนี้ 1. ระบุที่อยู่ของลูกค้าทั้งหมด (Address) (แนะนำให้กรอกข้อมูลเป็นภาษาอังกฤษ) 2. ระบุเวลาเริ่มต้นการทำงาน (Time window start) 3. ระบุเวลาสิ้นสุดการทำงาน (Time window end) 4. ระบุระยะเวลาการทำงานในแต่ละพื้นที่ (Service time) 5. ระบุจำนวนพัสดุที่เข้ารับในแต่ละพื้นที่ (Pickup amount) 6. ระบุจำนวนพัสดุที่จัดส่งในแต่ละพื้นที่ (Delivery amount) ถ้ามี 7. ระบุกำไร (Profit) ถ้ามี

Location Name	Address	Latitude (y)	Longitude (x)	Time window start	Time window end	Must be visited	Service time	Pickup amount	Delivery amount	Profit
0 Depot		16.8144288	100.2391794	13:00	19:00	Starting location		0	0	0
1 Customer 1		16.8365005	100.2406633	13:00	19:00	Must be visited	0:16	32	0	0
2 Customer 10		16.8449588	100.2349223	13:00	19:00	Must be visited	0:00	1	0	0
3 Customer 2		16.8248100	100.2585831	13:00	19:00	Must be visited	2:15	451	0	0
4 Customer 3		16.8365235	100.2406298	13:00	19:00	Must be visited	0:13	44	0	0
5 Customer 4		16.7468410	100.2038031	13:00	19:00	Must be visited	0:00	1	0	0
6 Customer 5		16.8248520	100.4286041	13:00	19:00	Must be visited	0:18	60	0	0
7 Customer 6		16.8583065	100.2726541	13:00	19:00	Must be visited	0:08	28	0	0
8 Customer 7		16.7673861	100.2670500	13:00	19:00	Must be visited	0:25	85	0	0
9 Customer 8		16.7567965	100.1938831	13:00	19:00	Must be visited	0:10	35	0	0
10 Customer 9		16.9373007	100.4586726	13:00	19:00	Must be visited	0:01	5	0	0

ภาพที่ 3.2 การจัดเตรียมตารางการกำหนดตำแหน่ง (Setup Location Worksheet)

จากนั้นโปรแกรมจะทำการจับคู่ว่าควรจะเดินทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งจะใช้ระยะทางเท่าไร และใช้ระยะเวลาเท่าไร จากการคำนวณโดยใช้ความเร็วตามที่ได้กำหนดไว้ และนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในขั้นตอนต่อไป ดังภาพที่ 3.3

Method:	Bing Maps driving distances (km) / Bing Maps driving durations									
From	To	Distance	Duration							
Depot	Depot	0.00	0:00							
Depot	Customer 1	7.12	0:20							
Depot	Customer 10	6.38	0:14							
Depot	Customer 2	7.12	0:20							
Depot	Customer 3	9.51	0:20							
Depot	Customer 4	24.92	0:34							
Depot	Customer 5	10.42	0:22							
Depot	Customer 6	8.12	0:22							
Depot	Customer 7	9.22	0:20							
Depot	Customer 8	49.07	2:28							
Depot	Customer 9	9.18	0:24							
Customer 1	Depot	8.02	0:28							
Customer 1	Customer 1	0.00	0:00							
Customer 1	Customer 10	3.47	0:05							

ภาพที่ 3.3 ตารางแสดงผลระยะทางจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง (Distances worksheet)

ต่อมาจะเป็นการ Setup vehicles worksheet ดังภาพที่ 3.4 โดยในขั้นตอนนี้จะแสดงจำนวนประเภทของยานพาหนะ (Vehicles type) ตามที่เราได้ระบุข้อมูลไว้ในหน้า VRP solver console ดังภาพที่ 3.4 โดยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้ 1. ระบุความจุในการบรรทุกสินค้าสูงสุด ใน 1 รอบการเดินทาง (Capacity) 2. ระบุต้นทุนคงที่ต่อ 1 รอบการเดินทาง (Fixed cost per trip) ถ้ามี 3. ระบุต้นทุนต่อหน่วย (Cost per unit distance) ถ้ามี 4. ระบุการจำกัดระยะทางใน 1 วัน (Distance limit) 5. ระบุเวลาเริ่มต้นการทำงาน (Work start time) 6. ระบุการจำกัดระยะเวลาในการขับรถใน

1 วัน (Driving time limit) 7. ระบุเวลาสิ้นสุดการทำงาน (Working time limit) 8. ระบุจำนวนยานพาหนะ (Number of vehicles)

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	M
1	Vehicle type	Capacity	Fixed cost per trip	Cost per unit distance	Duration multiplier	Distance limit	Work start time	Driving time limit	Working time limit	Return depot	Number of vehicles
2	T1	500	0.00	0.00	1.00	560.00	13:00	6:00	19:00	Depot	3
3											

ภาพที่ 3.4 การจัดเตรียมตารางกำหนดยานพาหนะ (Vehicles worksheet)

จากนั้นจะทำการแสดงข้อมูลเบื้องต้นของการ Setup Solution ก่อนที่จะทำการรันโปรแกรมไปในอีกขั้นตอนแล้วจะแสดงข้อมูลที่แท้จริงออกมาหลังจากรันโปรแกรมในขั้นตอนสุดท้าย ดังภาพที่ 3.5 และจะทำการแสดงผล Visualization ซึ่งจะแสดงผลจุดพิกัด Depot และจุดพิกัดของลูกค้าทั้งหมด โดยจะอ้างอิงมาจาก Bing Map ซึ่งจุดสีดำคือ จุด Depot หรือตำแหน่งที่ตั้งของศูนย์รวมสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา จุดสีเขียว คือ ตำแหน่งที่ตั้งบ้านลูกค้า ก่อนที่จะกำหนดเส้นทางว่าควรไปที่ตำแหน่งใดก่อน และไล่ตามลำดับจนครบทุกตำแหน่งหลังจากทำการรันโปรแกรมในขั้นตอนสุดท้าย

3.5 ตรวจสอบการหาผลลัพธ์และยืนยันความถูกต้อง

การตรวจสอบผลลัพธ์และยืนยันความถูกต้องเป็นการตรวจสอบหาความถูกต้องและความเรียบร้อยของโปรแกรมหลังจากดำเนินการรันแล้ว ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะต้องเป็นไปตามข้อมูลและข้อจำกัดที่ได้ระบุไว้ เช่น ความจุในการบรรทุกสินค้าใน 1 รอบการเดินทาง ต้องมีผลลัพธ์ออกมาไม่เกินความจุที่ได้กำหนดไว้ ระยะทางการเดินทางใน 1 วันต้องรวมแล้วไม่เกินระยะทางที่ได้ระบุไว้ เป็นต้น

	A	B	D	E	F	G	H	I	J	K	P
1	Total net profit:	0.00									
2											
3	Vehicle:	V1	Stops:	0	Net profit:	0.00					
4	Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount	
5	0	Depot	0.00	0:00		13:00	0:00	0	0.00	0.00	
6	1										
7	2										
8	3										
9	4										
10	5										
11	6										
12	7										
13	8										
14	9										
15	10										
16	11										

ภาพที่ 3.5 ตารางแสดงผลเฉลย (Solution worksheet)

4. ผลการวิจัย

สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการจัดเส้นทางรถเข้ารับพัสดุที่บ้านลูกค้าและสาขาแฟรนไชส์ด้วยโปรแกรม VRP spreadsheet solver โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีทดสอบสำหรับลูกค้าจำนวน 10 ราย และกรณีปัญหาจริงลูกค้าจำนวน 41 ราย โดยผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลในการเข้ารับพัสดุ 1 วัน โดยใช้พาหนะในการเข้ารับพัสดุ 1 ประเภท คือ รถยนต์กระบะตู้ทึบจำนวน 3 คัน เวลาในการทำงาน 6 ชั่วโมง (Time windows) เริ่มออกส่งพัสดุเวลา 13:00 - 19:00 น. โดยมีศูนย์รวมสินค้าเป็นจุดเริ่มต้นซึ่งมี 1 จุด โดยรถทุกคันจะใช้ความเร็วของรถจำกัดที่ 90 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีความจุไม่เกิน 500 ชิ้น/คัน จากนั้นนำข้อมูลที่อยู่ลูกค้าทั้งหมดมากำหนดพิกัดพิกัดละติจูดและลองจิจูด โดยในแต่ละกรณีเมื่อทำการทดสอบด้วยโปรแกรม VRP spreadsheet solver สามารถแสดงผลออกมาได้ดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบโปรแกรม VRP spreadsheet solver กรณีลูกค้า 10 ราย

สำหรับผลการรันโปรแกรมในกรณีลูกค้า 10 รายมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ผลลัพธ์ของรถกระบะตู้ทึบคันที่ 1 พบว่ามีลำดับการวิ่งจำนวน 3 ราย ดังภาพที่ 4.1 โดยวิ่งจากจุด 5 → 6 → 9 เริ่มต้นจากศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 13:00 น. กลับศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 18:50 น. ระยะเวลารวม 5 ชั่วโมง 50 นาที ระยะทางรวม 125.80 กิโลเมตร และมีการเข้ารับสินค้าจำนวน 93 ชิ้น

ผลลัพธ์ของรถกระบะตู้ทึบ คันที่ 2 พบว่ามีลำดับการวิ่งจำนวน 6 ราย ดังภาพที่ 4.2 โดยวิ่งจากจุด 8 → 4 → 7 → 1 → 3 → 10 เริ่มต้นจากศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 13:00 น. กลับศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 15:19 น. ระยะเวลารวม 2 ชั่วโมง 19 นาที ระยะทางรวม 38.71 กิโลเมตร และมีการเข้ารับสินค้าจำนวน 198 ชิ้น

ผลลัพธ์ของรถกระบะตู้ทึบคันที่ 3 พบว่ามีลำดับการวิ่งจำนวน 1 ราย ดังภาพที่ 4.3 ได้แก่ จุดที่ 2 เริ่มต้นจากศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 13:00 น. กลับศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีศึกษา เวลา 15:36 น. ระยะเวลารวม 2 ชั่วโมง 36 นาที ระยะทางรวม 6.61 กิโลเมตร และมีการเข้ารับสินค้าจำนวน 451 ชิ้น

Vehicle:	V1	Stops:	4	Net profit:	0.00					
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount	
0	Depot	0.00	0:00		13:00	0:00	0	0.00	0.00	
1	Customer 5	22.72	0:34	13:34	13:52	0:52	0	60.00	0.00	
2	Customer 6	41.22	0:52	14:10	14:18	1:18	0	28.00	0.00	
3	Customer 9	79.86	2:58	16:24	16:26	3:26	0	5.00	0.00	
4	Depot	125.80	5:22	18:50		5:50	0	0.00	0.00	
5										
6										
7										

ภาพที่ 4.1 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของรถยนต์กระบะคันที่ 1 กรณีตัวอย่างลูกค้าจำนวน 10 ราย

Vehicle:	V2	Stops:	7	Net profit:	0.00				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount
0	Depot	0.00	0:00		13:00	0:00	0	0.00	0.00
1	Customer 8	9.43	0:12	13:12	13:22	0:22	0	35.00	0.00
2	Customer 4	11.64	0:18	13:28	13:29	0:29	0	1.00	0.00
3	Customer 7	22.34	0:37	13:48	14:14	1:14	0	85.00	0.00
4	Customer 1	31.71	0:59	14:36	14:52	1:52	0	32.00	0.00
5	Customer 3	31.72	0:59	14:52	15:05	2:05	0	44.00	0.00
6	Customer 10	33.78	1:03	15:09	15:10	2:10	0	1.00	0.00
7	Depot	38.71	1:12	15:19		2:19	0	0.00	0.00
8									
9									

ภาพที่ 4.2 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของรถยนต์กระบะคันที่ 2 กรณีตัวอย่างลูกค้าจำนวน 10 ราย

Vehicle:	V3	Stops:	2	Net profit:	0.00				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount
0	Depot	0.00	0:00		13:00	0:00	0	0.00	0.00
1	Customer 2	3.42	0:13	13:13	15:28	2:28	0	451.00	0.00
2	Depot	6.61	0:21	15:36		2:36	0	0.00	0.00
3									
4									
5									

ภาพที่ 4.3 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของรถยนต์กระบะคันที่ 3 กรณีตัวอย่างลูกค้าจำนวน 10 ราย

4.2 การทดสอบด้วยโปรแกรม VRP spreadsheet solver กรณีลูกค้า 41 ราย

สำหรับการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมในการจัดเส้นทางที่เหมาะสมในการเข้ารับพัสดุที่บ้านลูกค้าและแฟรนไชส์จำนวน 41 ราย โดยใช้รถกระบะตู้ทึบจำนวน 3 คันในการเข้ารับพัสดุซึ่งผลลัพธ์มีดังต่อไปนี้

ผลลัพธ์ของรถกระบะตู้ทึบคันที่ 1 พบว่า มีลำดับการวิ่งจำนวน 4 ราย ดังภาพที่ 4.4 โดยวิ่งจาก จุด 9 → 13 → 14 → 27 เริ่มต้นจากศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีสึกษา เวลา 13:00 น. กลับศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีสึกษา เวลา 15:56 น. ระยะเวลารวมทั้งหมดในการเข้ารับพัสดุ 2 ชั่วโมง 56 นาที ระยะทางรวมทั้งหมด 15.86 กิโลเมตร และมีการเข้ารับสินค้าจำนวน 472 ชิ้น

ผลลัพธ์ของรถกระบะตู้ทึบ คันที่ 2 พบว่ามีลำดับการวิ่งจำนวน 20 ราย ดังภาพที่ 4.5 โดยวิ่งจาก จุด 28 → 23 → 17 → 3 → 40 → 29 → 26 → 10 → 11 → 30 → 36 → 38 → 35 → 25 → 20 → 41 → 16 → 31 → 37 → 32 เริ่มต้นจากศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีสึกษา เวลา 13:00 น. กลับศูนย์รวมสินค้าบริษัทกรณีสึกษา เวลา 16:24 น. ระยะเวลารวมทั้งหมดในการเข้ารับพัสดุ 3 ชั่วโมง 24 นาที ระยะทางรวมทั้งหมด 29.60 กิโลเมตร และมีการเข้ารับสินค้าจำนวน 342 ชิ้น

Vehicle:	V1	Stops:	5	Net profit:	0.00				
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount
0	Depot	0.00	0:00		13:00	0:00	0	0.00	0.00
1	Customer 9	2.26	0:04	13:04	15:19	2:19	0	451.00	0.00
2	Customer 13	7.18	0:10	15:25	15:26	2:26	0	4.00	0.00
3	Customer 14	9.86	0:19	15:35	15:36	2:36	0	2.00	0.00
4	Customer 27	13.66	0:29	15:46	15:50	2:50	0	15.00	0.00
5	Depot	15.86	0:35	15:56		2:56	0	0.00	0.00
6									

ภาพที่ 4.4 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของรถยนต์กระบะตู้ทึบคันที่ 1

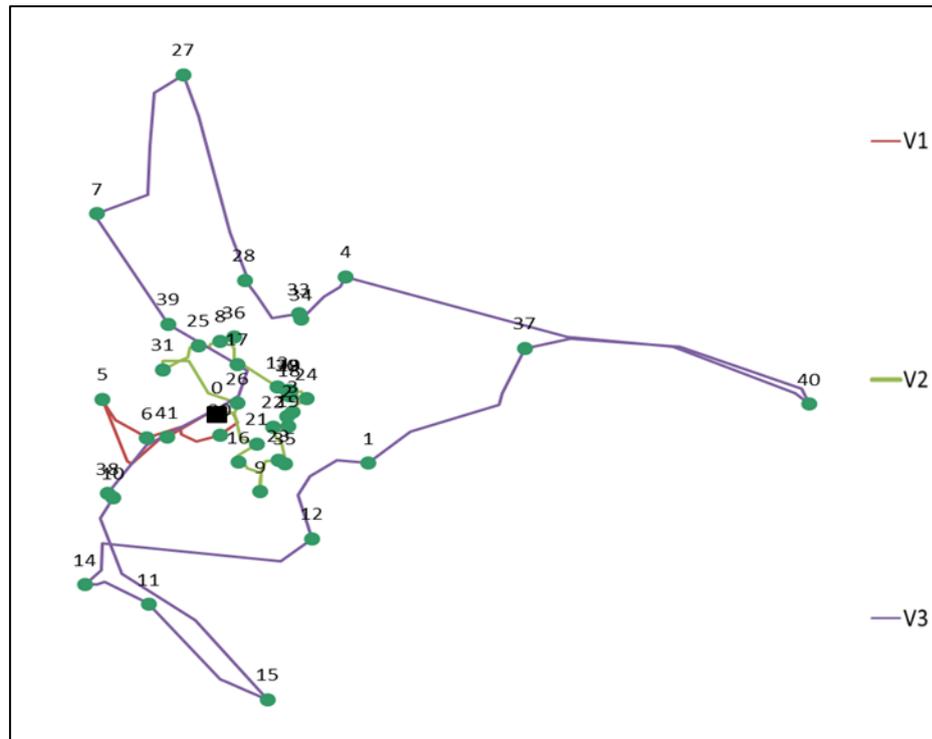
Vehicle:	V2	Stops:	21	Net profit:	0.00					
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount	
0	Depot	0.00	0:00		13:00	0:00	0	0.00	0.00	
1	Customer 28	2.81	0:10	13:10	13:14	0:14	0	13.00	0.00	
2	Customer 23	3.93	0:12	13:16	13:18	0:18	0	7.00	0.00	
3	Customer 17	6.11	0:21	13:27	13:30	0:30	0	11.00	0.00	
4	Customer 3	7.92	0:28	13:37	13:50	0:50	0	44.00	0.00	
5	Customer 40	8.31	0:30	13:52	13:53	0:53	0	4.00	0.00	
6	Customer 29	10.18	0:38	14:01	14:02	1:02	0	2.00	0.00	
7	Customer 26	10.91	0:40	14:04	14:06	1:06	0	6.00	0.00	
8	Customer 10	11.72	0:43	14:09	14:09	1:09	0	1.00	0.00	
9	Customer 11	12.23	0:45	14:11	14:12	1:12	0	1.00	0.00	
10	Customer 30	13.22	0:49	14:16	14:18	1:18	0	8.00	0.00	
11	Customer 36	14.42	0:54	14:23	14:24	1:24	0	3.00	0.00	
12	Customer 38	14.44	0:54	14:24	14:26	1:26	0	6.00	0.00	
13	Customer 35	14.62	0:55	14:27	14:28	1:28	0	5.00	0.00	
14	Customer 25	15.67	0:59	14:32	14:34	1:34	0	8.00	0.00	
15	Customer 20	16.28	1:00	14:35	14:36	1:36	0	4.00	0.00	
16	Customer 41	19.55	1:10	14:46	14:48	1:48	0	6.00	0.00	
17	Customer 16	20.11	1:12	14:50	14:50	1:50	0	1.00	0.00	
18	Customer 31	21.55	1:16	14:54	14:57	1:57	0	9.00	0.00	
19	Customer 37	23.95	1:25	15:06	15:07	2:07	0	3.00	0.00	
20	Customer 32	28.46	1:38	15:20	16:20	3:20	0	200.00	0.00	
21	Depot	29.60	1:42	16:24		3:24	0	0.00	0.00	
22										

ภาพที่ 4.5 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของรถยนต์กระบะตู้ทึบคันที่ 2

ผลลัพธ์ของรถกระบะตู้ทึบคันที่ 3 พบว่ามีลำดับการวิ่งจำนวน 17 ราย ดังภาพที่ 4.6 โดยวิ่งจาก จุด 6 → 18 → 22 → 19 → 21 → 2 → 1 → 5 → 8 → 12 → 4 → 39 → 34 → 33 → 15 → 7 → 24 เริ่มต้นจากศูนย์รวมสินค้าบริษัททฤษฎีศึกษา เวลา 13:00 น. กลับศูนย์รวมสินค้าบริษัททฤษฎีศึกษา เวลา 18:47 น. และระยะเวลารวมทั้งหมดในการเข้ารับพัสดุ 5 ชั่วโมง 47 นาที ระยะทางรวมทั้งหมด 120.26 กิโลเมตร และมีการเข้ารับสินค้าจำนวน 301 ชิ้น ซึ่งภาพผลลัพธ์สุดท้ายของเส้นทางในการเข้ารับพัสดุดังกล่าวมีจำนวน 41 รายแสดงดังภาพที่ 4.7

Vehicle:	V3	Stops:	18	Net profit:	0.00					
Stop count	Location Name	Distance travelled	Driving time	Arrival time	Departure time	Working time	Profit collected	Pickup amount	Delivery amount	
0	Depot	0.00	0:00		13:00	0:00	0	0.00	0.00	
1	Customer 6	5.41	0:07	13:07	13:15	0:15	0	28.00	0.00	
2	Customer 18	5.68	0:08	13:16	13:18	0:18	0	7.00	0.00	
3	Customer 22	17.64	1:05	14:15	14:17	1:17	0	6.00	0.00	
4	Customer 19	23.91	1:23	14:35	14:38	1:38	0	10.00	0.00	
5	Customer 21	26.78	1:30	14:45	14:46	1:46	0	3.00	0.00	
6	Customer 2	37.64	1:51	15:07	15:08	2:08	0	5.00	0.00	
7	Customer 1	44.07	2:10	15:27	15:36	2:36	0	32.00	0.00	
8	Customer 5	52.94	2:27	15:53	16:11	3:11	0	60.00	0.00	
9	Customer 8	65.56	2:46	16:30	16:40	3:40	0	35.00	0.00	
10	Customer 12	83.64	3:04	16:58	16:59	3:59	0	3.00	0.00	
11	Customer 4	86.24	3:09	17:04	17:04	4:04	0	1.00	0.00	
12	Customer 39	86.52	3:09	17:04	17:04	4:04	0	1.00	0.00	
13	Customer 34	90.08	3:14	17:09	17:11	4:11	0	6.00	0.00	
14	Customer 33	99.46	3:23	17:20	17:21	4:21	0	2.00	0.00	
15	Customer 15	109.26	4:03	18:01	18:05	5:05	0	13.00	0.00	
16	Customer 7	114.62	4:10	18:12	18:37	5:37	0	85.00	0.00	
17	Customer 24	117.52	4:13	18:40	18:41	5:41	0	4.00	0.00	
18	Depot	120.26	4:19	18:47		5:47	0	0.00	0.00	
19										

ภาพที่ 4.6 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของรถยนต์กระบะตู้ทึบคันที่ 3



ภาพที่ 4.7 ผลลัพธ์เส้นทางการเข้ารับพัสดุลูกค้าจำนวน 41 รายโดยรถกระบะตู้ทึบ 3 คัน

4.3 การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้

ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วย 2 กรณี กรณีแรกจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่าง ผลลัพธ์ระหว่างกรอบเวลาเดิม (Time window: TW) กับระยะเวลาที่ได้จากโปรแกรม VRP spreadsheet solver (VRP-SS) ส่วนกรณีที่สอง จะเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่าง เวลาข้อมูลจริงที่ได้จากการเก็บรวบรวม กับเวลาที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS

ผลการเปรียบเทียบกรณีแรก ระยะเวลาในการเข้ารับพัสดุจากบ้านลูกค้าและแฟรนไชส์ในกรณีลูกค้าจำนวน 41 ราย ซึ่งจากข้อมูลเดิมที่ได้จากการเก็บรวบรวมจะใช้เวลาในการเข้ารับพัสดุตั้งแต่ 13:00 น. ถึง 19:00 น. เป็นกรอบเวลาเดิมทำงานเท่ากับ 6 ชั่วโมง (TW) ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างกรอบเวลาเดิม TW กับระยะเวลาที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS พบว่า รถคันที่ 1 ใช้ระยะเวลา TW ในการเข้ารับพัสดุ 360 นาที แต่ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS จะใช้ระยะเวลาในการเข้ารับพัสดุเพียง 176 นาที ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของระยะเวลาการทำงานเท่ากับ 51.11% สำหรับรถคันที่ 2 ใช้ระยะเวลา TW ในการเข้ารับพัสดุ 360 นาที แต่ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS จะใช้ระยะเวลาในการเข้ารับพัสดุเพียง 204 นาที ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของระยะเวลาการทำงานเท่ากับ 43.33% และรถคันที่ 3 ใช้ระยะเวลา TW ในการเข้ารับพัสดุ 360 นาทีแต่จะข้อมูล

ที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS จะใช้ระยะเวลาในการเข้ารับพัสดุเพียง 347 นาที ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของระยะเวลาการทำงานเท่ากับ 3.61%

ผลการเปรียบเทียบกรณีสอง ซึ่งสามารถเปรียบเทียบระยะเวลาการเข้ารับพัสดุที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS กับข้อมูลจริงจากการเก็บข้อมูลจากรถทั้ง 3 คัน เมื่อนำข้อมูลจากโปรแกรม VRP-SS มาเปรียบเทียบกับข้อมูลดิบ (เวลาที่ใช้ในการเข้ารับพัสดุเดิม) ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า รถคันที่ 1 ใช้ระยะเวลาเดิม 300 นาที แต่เวลาที่ใช้ในการเข้ารับพัสดุจากโปรแกรม VRP-SS จะใช้เวลาเพียง 176 นาที ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของระยะเวลาการเข้ารับเท่ากับ 41.33% สำหรับรถคันที่ 2 ใช้ระยะเวลาเดิม 330 นาที แต่เวลาที่ใช้ในการเข้ารับพัสดุจากโปรแกรม VRP-SS จะใช้เวลาเพียง 204 นาที ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของระยะเวลาการเข้ารับเท่ากับ 38.18% และรถคันที่ 3 ใช้ระยะเวลาเดิม 360 นาที แต่เวลาที่ใช้ในการเข้ารับพัสดุจากโปรแกรม VRP-SS จะใช้เวลาเพียง 347 นาที ซึ่งคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การลดลงของระยะเวลาการเข้ารับเท่ากับ 3.61%

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

ปัญหาจากปัญหาความล่าช้าในการเข้ารับพัสดุของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเกิดจากการขาดการวางแผนเส้นทางที่เหมาะสมในแต่ละวันโดยพนักงานขับรถอาศัยความเคยชินในการเลือกเส้นทางทำให้เกิดความเสี่ยงในการส่งมอบพัสดุไม่ทันตามกำหนดเวลา ก่อให้เกิดต้นทุนแฝงจากค่าปรับล่าช้า และส่งผลกระทบต่อภาพลักษณ์ของบริษัท งานวิจัยนี้จึงได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม VRP-SS เพื่อวางแผนการจัดเส้นทางเข้ารับพัสดุอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการศึกษาครอบคลุมการเก็บข้อมูลลูกค้า 41 รายในวันที่มีปริมาณลูกค้ามากที่สุดในสัปดาห์ การวางแผนใช้รถกระบะตู้ทึบจำนวน 3 คัน ภายใต้กรอบเวลาการทำงาน 6 ชั่วโมง และข้อจำกัดด้านความจุพัสดุ

ผลการทดลองในสองกรณีศึกษา ได้แก่ กรณีตัวอย่างลูกค้า 10 ราย และกรณีลูกค้าจำนวน 41 ราย พบว่า โปรแกรม VRP-SS สามารถช่วยลดระยะเวลาการทำงานได้อย่างมีนัยสำคัญ สำหรับกรณีลูกค้าจำนวน 41 ราย รถคันที่ 1, 2 และ 3 มีระยะทางรวมในการเข้ารับพัสดุเท่ากับ 15.86 กิโลเมตร, 29.60 กิโลเมตร และ 120.26 กิโลเมตร ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาการทำงานจากผลลัพธ์ของโปรแกรมกับกรอบเวลาเดิม พบว่าลดลงได้สูงสุดถึงร้อยละ 51.11 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง พบว่าสามารถลดระยะเวลาได้สูงถึงร้อยละ 41.33 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการวางแผนเส้นทางอย่างเหมาะสมด้วยเทคโนโลยีสามารถลดต้นทุนเวลาในการดำเนินงานได้อย่างชัดเจนรวมทั้งช่วยลดความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับการส่งพัสดุล่าช้า นอกจากนี้ผลการศึกษานี้ยังมีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ปารณัท และสราวุธ (2564) และ วารุณอร และคณะ (2567) ที่พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม VRP-SS สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเส้นทางขนส่งพัสดุหรือสินค้าได้มากกว่า 40%

สำหรับข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ บริษัทควรนำโปรแกรม VRP spreadsheet solver หรือซอฟต์แวร์วางแผนเส้นทางที่มีความสามารถใกล้เคียงกัน มาใช้ในการวางแผนการเข้ารับพัสดุในแต่ละวันอย่างเป็นระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน ลดต้นทุนการขนส่ง และยกระดับคุณภาพการให้บริการ นอกจากนี้ ควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติมจากหลายช่วงเวลา เพื่อพัฒนาระบบวางแผนเส้นทางให้มีความยืดหยุ่นสูงขึ้น และรองรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณลูกค้าในแต่ละวันได้อย่างเหมาะสม อีกทั้ง การนำเทคโนโลยีการติดตามยานพาหนะ (GPS Tracking) และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์มาใช้ร่วมกับการวางแผนเส้นทาง จะช่วยให้สามารถปรับเปลี่ยนแผนการเข้ารับพัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานการณ์จริง นอกจากนี้ บริษัทควรกำหนดนโยบายในการบูรณาการระบบวางแผนเส้นทางเข้ากับกระบวนการดำเนินงานอย่างเป็นทางการ และจัดฝึกอบรมพนักงานให้มีความรู้และทักษะในการใช้เทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้ประโยชน์จากระบบอย่างเต็มประสิทธิภาพ และสนับสนุนการพัฒนาธุรกิจอย่างยั่งยืน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้ประพันธ์บรรณกิจขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยส่วนหนึ่งจากมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ประเภททุน Fundamental Fund ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2568 สัญญาทุนเลขที่ RDI-1-68-23

7. เอกสารอ้างอิง

เกียรติพงษ์ อุดมชนะธีระ. (2557). **การจัดเส้นทางและตารางเวลาในการขนส่ง (Routing And Transportation Scheduling)**. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2567. ค้นจาก <http://www.iok2u.com>

ชฎาพร กานอินทร์. (2562). **พิษณุโลกกับบทบาทการเชื่อมโยงอาเซียน**. (การค้นคว้าอิสระรัฐศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยรามคำแหง, กรุงเทพฯ.

ชิตษณู ภักดีวานิช, และวีรยา ยิ่งยง. (2565). การปรับปรุงกระบวนการรับและการตรวจนับสินค้าขาเข้ากรณีศึกษา บริษัท ดีพลัส อินเทอร์เน็ต จำกัด จังหวัดสมุทรปราการ. **วารสารพัฒนาธุรกิจและอุตสาหกรรม**, 2(1), 4-15.

นัยน์ภักดิ์ รักเสมอวงศ์, เพ็ญศิริ วงชารี และภาณุพงษ์ ศรีมุงคกุล. (2564). การจัดเส้นทางเดินรถบรรทุกสำหรับการขนส่งสินค้าด้วยโปรแกรม VRP Spreadsheet Solver กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วน เอส.วี รุ่งเรืองขนส่ง จำกัด. **บทหนึ่งในหนังสือ การประชุมวิชาการทางธุรกิจและนวัตกรรมทางการจัดการ ระดับชาติ ประจำปี 2564 ครั้งที่ 8**, 460-467.

- ปารณัท กัญวิมล และสรารุช จันทร์สุวรรณ. (2564). การศึกษาเพื่อจัดเส้นทางเดินรถขนส่งรูปแบบ มิลค์รันและการจัดการกำหนดการรับสินค้า กรณีศึกษา การส่งชิ้นส่วนโรงงานประกอบรถยนต์ แบบทันเวลาพอดี ABC. **วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน**, 9(2), 1-11.
- รัตนติยากร มีรัตน์ และบุญทรัพย์ พานิชการ. (2567). การหาคำตอบที่ดีที่สุดของที่ตั้งศูนย์กระจาย สินค้าผักและผลไม้จังหวัดอุตรดิตถ์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. **วารสารวิชาการ เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม**, 6(1), 110-124.
- วารุณอร บุรณ์เจริญ, จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน และรุ่งรัตน์ ภิษฐ์เพ็ญ. (2567). การวิเคราะห์และพัฒนา แนวทางการขนส่งเพื่อลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์ด้วยวิธีการค้นหาเส้นทางคำตอบข้างเคียงขนาดใหญ่. **วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน**, 12(2), 41-52.
- ศิริชัย ยศวังใจ. (2564). การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีกรอบเวลาโดยการใช้การค้นหา เฉพาะที่ปรับเปลี่ยนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยอาณานิคมผึ้งเทียม. **วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.**, 14(4), 161-171.
- สุนิสา เจริญสิริวิไล และศุภชาติ เอี่ยมรัตนกุล. (2562). การเลือกใช้บริการระบบบริหารจัดการ คลังสินค้า. **วารสารรัชต์ภาคย์**, 13(30), 45-56.
- หอการค้าไทยและสภาหอการค้าแห่งประเทศไทย. (2567). **10 สินค้าส่งออกไทย ดาวเด่น-ดาวรุ่ง.** สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2567. ค้นจาก <https://shorturl.asia/3fWzB>.
- Dana, M.U., Shanty, K.D., Abdul, W., & Imam, S. (2020). The vehicle routing problem for perishable goods: A systematic review. **Cogent Engineering**, 1-24.
- David, A.W. (2016). Evolutionary memetic algorithms supported by metaheuristic profiling effectively applied to the optimization of discrete routing problems. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, 35, 997-1014.
- Günes, E. (2017). An open-source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problems. **Computers and Operations Research**, 84, 62-72.
- Sreerag, R.S., & Prasanna, V.S. (2025). Vehicle routing model with backhauling for distribution of fresh vegetables among small retail channels: a case study in Kerala, India. **OPSEARCH**, Article number 119712. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s12597-025-00909-x>
- Wenbo, C., Corinne, H.M., & Kellie, S. (2021). Improving food bank operations through vehicle routing and service gap mapping. **IISE Annual Conference and Expo 2021**, 322-327.