

JOURNAL OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND

ENGINEERING

PIBULSONGKRAM RAJABHAT UNIVERSITY



วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม



ISSN 2697-5602(Print)
ISSN 2697-5629 (Online)

ปีที่ 5 ฉบับที่ 3

กันยายน - ธันวาคม ปี2566



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 รวมถึงประโยชน์ในเชิงทฤษฎีและเชิงปฏิบัติ ในเบื้องต้น
4. ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นควรรับไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการจัดส่งบทความเพื่อทำการกลั่นกรองต่อไปโดย ส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง เพื่อตรวจสอบคุณภาพของบทความ ว่าอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์หรือไม่ กระบวนการพิจารณากลั่นกรองนี้เป็นการประเมินแบบปกปิดสองทาง (Double blind review) กล่าวคือ จะไม่เปิดเผยชื่อผู้ส่งบทความให้ผู้ทรงคุณวุฒิทราบ และจะไม่เปิดเผยชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้ผู้เขียนทราบ และกองบรรณาธิการจะไม่เปิดเผยทั้งชื่อผู้เขียนและชื่อผู้ทรงคุณวุฒิให้บุคคลอื่น ทราบด้วยเช่นกัน
5. เมื่อบทความได้รับการทบทวน ประเมิน วิจัยจากผู้ทรงคุณวุฒิ 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 และดำเนินการส่งไฟล์บทความเข้าสู่ขั้นตอนการปรับแก้ต้นฉบับ 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 : 2697-5602, E-ISSN : 2697-5629 ฉบับนี้เป็นปีที่ 5 ฉบับที่ 3 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

รองศาสตราจารย์ ดร.สนิท ปิ่นสกุล
บรรณาธิการ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
AN ANALYSIS OF SUGARCANE AND SUGAR SUPPLY CHAIN IN UTTARADIT PROVINCE A CASE STUDY: THAI IDENTITY SUGAR FACTORY CO., LTD.....Thanida Khanongnuch, Alongkorn Muangwai, Channarong Tantiwattanodom	239-256
WORK IMPROVEMENT OF FLASHER HF-1000 W PRODUCTION LINE A CASE STUDY: P.E. TECHNIQUE CO., LTD Thanida Khanongnuch, Alongkorn Muangwai, Channarong Tantiwattanodom	257-280
การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน: กรณีศึกษาเครื่องตัดแผ่นมูลี ของบริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัดฤดี นิยมรัตน์, ฉันทนา คำหอม, ศิริวรรณ ภูศรีฤทธิ์	281-297
การศึกษามาตรการลดความเร็วบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 กรณีศึกษา แยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน จังหวัดพิษณุโลกดลยฤทธิ์ เสถียรสุขจะ, ศุจินธร ทรงสิทธิเดช, วรณิกา ชันคำนันตะ	298-314
รถเข็นไฟฟ้าที่มีการควบคุมความเร็วในวงรอบปิดและระบบเบรก ด้วยไฟฟ้าแบบไดนามิกสันติภาพ โคตทะเล, อุดม เครือเทพ	315-327
การสันสะเทือนภายใต้การหมุนไม่สมดุลกับค่าเหมาะสมตัวดูดซับ ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคพุทธา จินคร้ว	328-346
การประยุกต์งานไม้ไผ่ขดบ้านท่าศาลาและงานไม้เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบ เฟอร์นิเจอร์ เสริมสร้างอัตลักษณ์ของ จ.เชียงใหม่เจษฎาพล กิตติพัฒน์วิทย์, ไชยเชิด ไชยนันท์, นภมิตร ศักดิ์สง่า, มนัสพันธ์ รินแสงปิ่น	347-356



การจัดชุดขนาดเฟอร์นิเจอร์การยศาสตร์สำนักงานตามความสัมพันธ์ของสัดส่วน 357-372
ร่างกายด้วยเทคนิคจัดกลุ่มแบบเคมีน
.....ปรีชาพล บุญส่ง, สุธนิตย์ พุทธพนม



AN ANALYSIS OF SUGARCANE AND SUGAR SUPPLY CHAIN IN UTTARADIT PROVINCE A CASE STUDY: THAI IDENTITY SUGAR FACTORY CO., LTD

Thanida Khanongnuch¹, Alongkorn Muangwai¹, Channarong Tantiwattanodom^{2*}

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

²Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University,
Chombueng, Ratchaburi, Thailand, 70150

*Corresponding author e-mail: cnr.tantiwat@gmail.com

Submitted: 11 August 2023

Revision received: 11 September 2023

Accepted: 12 September 2023

Abstract

This research aimed to analyze sugar cane and sugar supply chains in Uttaradit Province, a case study of Thai Identity Sugar Co., Ltd. It started with farmers processing sugarcane into various products and studied problems and obstacles in the supply chain system. It also presented a solution and development of sugarcane and sugar supply chains in Uttaradit Province. The study was divided using the value chain into primary and support activities. Besides, the analysis tools for quality management were the cause-and-effect diagram and SWOT analysis that helped to assess the potential of sugar cane and sugar supply chains in Uttaradit Province.

The above research results were known to the sugar production process from the beginning to the end products. It would help increase efficiency. Moreover, it was finding ways to improve the sugarcane and sugar supply chains of Uttaradit Province. It was helpful for sugarcane farmers to know the basics to improve and continuously increase efficiency within the cane and sugar supply chain in the future. It also increased the ability to compete in the market as well.

Keywords: Sugarcane and sugar supply chain, Value chain, Quality management



1. Introduction

The supply chain concept is a competitive advantage strategy, especially in business operations, such as increasing trade competitiveness. Because of the trade competition, entrepreneurs have to adjust their strategies to be superior to their competitors and meet the increasing customer demands. The effects that will follow after adjusting strategies and responding to customer needs are management, logistics, and transportation costs. Inventory Management and increasing costs of various management are not only the cost impact, but many other factors affect entrepreneurs, such as internal quality management and corporate credibility. Therefore, in the current competitive situation, operators need to increase their work efficiency, equivalent to the same industry or different industries domestically and internationally.

The attributes of the cane and sugar industry in Thailand are primarily medium and large industries. Likewise, the cane and sugar industry in Uttaradit province studied in this research is considered significant. The study found that the sugar cane and sugar industry in Uttaradit province tended to expand continuously. Because small farmers prefer to grow more sugarcane throughout the year and have serious support from the government, this research has foreseen the importance of studying ways to improve the sugarcane and sugar supply chains in Uttaradit Province to increase operational efficiency, reduce costs, and reduce losses within the supply chain, and lastly, to lead to sustainable development in the future.

2. Research Objectives

To study the supply chain of sugarcane and sugar industry with a case study in Uttaradit Province.

3. Research Methodology

In this research, a case study of sugar cane and sugar cane supply chains in Uttaradit Province was studied to identify supply chain problems and find solutions by using analytical principles and tools. The details are as follows:



3.1 Study basic information and structure of sugar cane and sugar supply chain in Uttaradit Province

To conduct a study on the sources and importance of data collection related to research in order to obtain information and structure of the supply chain with the following sub-steps:

3.1.1 Conduct liaison with relevant parties and make a detailed presentation of the research objectives, scope, and expected benefits.

3.1.2 Conduct preliminary interviews with people involved in the supply chain, studying additional document information and summarizing the supply chain structure as a diagram for further study.

3.1.3 Study information, concepts, principles, and related theories domestically and internationally.

3.2 Study and research the current situation of sugarcane and sugar supply chains

After studying the preliminary information on cane and sugar supply chains, the next step was to study the activities of each unit in the supply chain, from breeding preparation, preparation of the planting area, maintenance, harvesting, and collecting data on various activities of the agency from interviews and questionnaires. However, gathering information from collected documents can be done from both memos and work documents collected by the following:

3.2.1 Surveying the actual processes of each activity in the work units, from sugarcane breeding, planting area preparation, and harvesting including trading sugarcane.

3.2.2 Interviewing the concerned people in each activity about activities or procedures, such as planting area preparation, maintenance, harvesting, etc.

3.3 Make the application of relevant principles and theories

3.3.1 Record all activities to analyze the activity types by applying the Value Chain Analysis (VCA) principle. This principle identifies the primary activities and support activities necessary to operate towards the industry's ultimate benefit: the expected profit.

3.3.2 Assess the activities by using the SWOT analysis. It is the analysis of the strengths and weaknesses of the organization to evaluate the main problems that threaten the operation of the sugarcane and sugar business. The main problems will come from weaknesses and obstacles within the supply chain.

3.3.3 Use cause and effect diagrams. This chart is one of the industry's most widely used quality management tools. The objective is to find the causes that make problems that can be modified to make work more productive and also solve problems on the spot, including knowing the root cause from the hidden actual situation.

3.4 Analyze the problems of the cane and sugar supply chain for the solutions

From the collection of case studies and survey data, the research team used for the analysis. The processes started with finding sugarcane needs, procuring varieties, planting, harvesting, trading, transportation, processing into sugar products, quality inspection, and sugar distribution. The information mentioned above was analyzed into various issues and found ways to solve problems within the sugar cane and sugar supply chains in Uttaradit Province.

3.5 Summary and presentation of recommendations

3.5.1 Summarize the results of the study of the supply chain system, identify problems, find ways to solve the problems of the supply chain, and consider improving activities in the supply chain.

3.5.2 Propose guidelines for improving the supply chain system and further research in the future.

4. Results

This section presents details of the study of the current situation of sugar cane and sugar supply chains in Uttaradit Province, including a case study of Thai Identity Sugar Co., Ltd. In order to understand the sugarcane and sugar supply chain system, value chain analysis, SWOT analysis, and cause-and-effect tree analysis were used, and the details were shown as follows:

4.1 Cane and Sugar Supply Chain: A Case Study

It was found from the study that the upstream to the downstream of the supply chain were sugar cane farmers in Uttaradit Province. Before farmers plant sugar cane, they contact the factory's promotion unit to enter a contract to deliver the products obtained to the plant. In the work of the plant's promotion unit, it could have the consult for plantation to the harvest, including the sugar product sent to the factory. In addition, the promotion unit would be responsible for recruiting new sugarcane farmers to persuade them to enter into contracts with the factory to deliver their products to the factory. From the above steps, when planting until harvesting, produce would be transported using ten-wheel trucks or trailers depending on the amount of product. All processes are done under the contract. The sugar products of these processes would be sent and exported to the food and beverage industry abroad. Transportation of sugar to various food and beverage factories would be transported by ten-wheel trucks or trailers. Vehicle usage depends on the amount of sugar in each round. For the transportation of sugar to foreign countries, the factory would transport sugar to the port. The cane and sugar supply chain is shown in Figure 1.

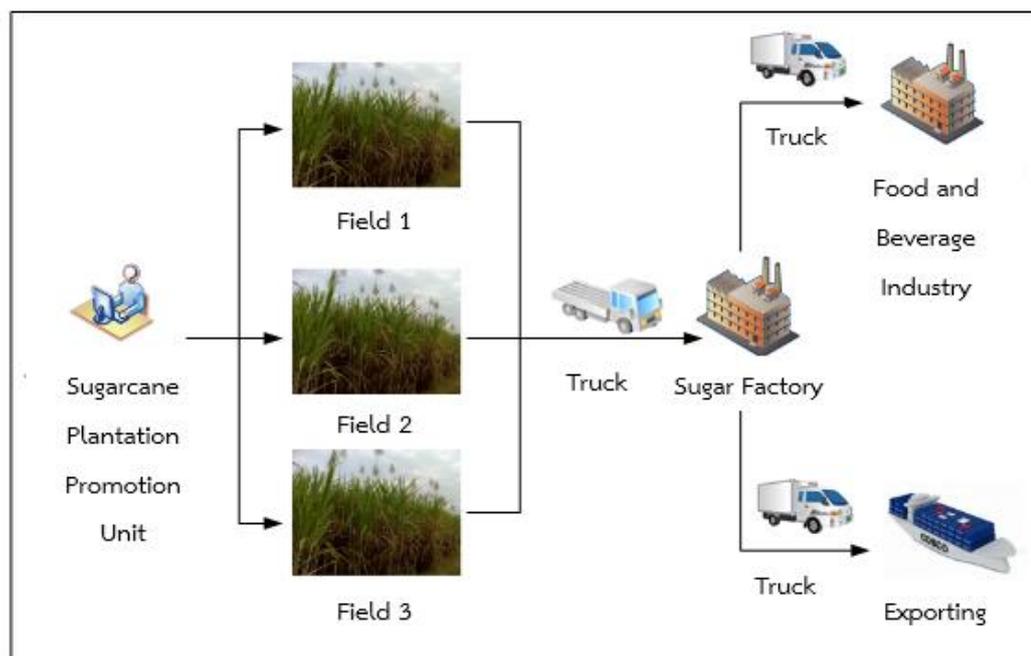


Figure 1 The cane and sugar supply chain

4.2 Value Chain Analysis

Accordingly, the value chain focused on activities within the supply chain that consisted of procuring varieties, planting, harvesting, processing, and distributing sugar to end customers, both domestic distribution and exporting. It aimed to build the ability to compete in business. Therefore, a value chain links activity inside and outside the organization that affect competition. In the end, it is the success that the Lord will receive as a return, which is the profit itself (Porter, 1980). The research team collected information from farmers, academicians, the Office of the Cane and Sugar Board, and units of the Thai Identity Sugar Factory, and it was found that there were forms and procedures as shown in Figure 2.

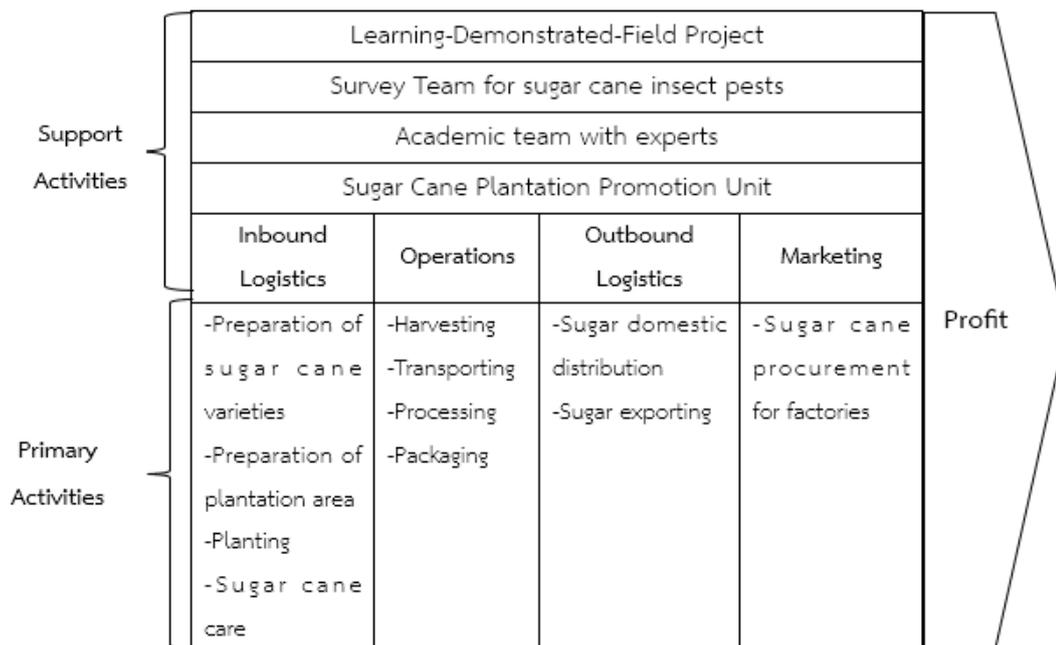


Figure 2 Value Chain

The resulting value chain can explain the connection of operations from Figure 2 as follows.

4.2.1 The main activities include

(1) Inbound Logistics: There were 4 steps in the inbound logistics. The details are shown as follows:

Step 1 Preparation of sugar cane varieties: Most of the sugarcane varieties planted are planted by the farmers. Some of them are taken from farmers who sell sugar cane varieties. Sugarcane varieties that farmers prefer to grow are Khon Kaen 3 and U-Thong varieties. The species that will be planted must be complete, considering that the cane eyes must be complete and covered with leaf sheath to prevent eye damage. The size of the cultivars used for planting should have 2-3 eyes. Sugarcane cultivars must be about 8-10 months old.

Step 2 Preparation of plantation areas: The environment and soil characteristics suitable for sugarcane cultivation must not be dense, friable, and have good water and air circulation. The pH is in the range of 5.5-7.0, the salinity is not more than 4.0 decimal per meter, the temperature is 30-35 degrees Celsius, and the rainfall is 1,000-1,500 mm. per year. The nutrient requirement was 14 kg of nitrogen per rai, 10 kg of phosphorus per rai, and 30 kg of potassium per rai. The soil preparation process was initially considered as weeding that will allow rainwater to seep through into the soil well. So, it makes sugarcane roots grow easier. In preparing the soil, it will plow, plow, and then raise the trench. General soil preparation involves plowing 2-3 times, about 30-50 cm deep, as shown in Figure 3.



Figure 3 Plowing the soil for planting

Step 3 Sugarcane planting: Sugarcane planting is suitable to be planted after the rainy season, which starts planting around October-November. By the time of the sugarcane planting, it must be at least 12 months.



Figure 4 Sugarcane planting using machinery to assist in planting



Figure 5 Sugar cane plantation



Figure 5 shows a replanting of sugarcane in case the sugarcane planting machine does not reach the planting area. Another case is the sugarcane that has already been cultivated without growing. Therefore, it must be planted and repaired to yield as the farmers want.

Step 4 Sugarcane Care: this step includes fertilizer care. It will be divided into 2 stages as follows.

Stage 1 Planting sugarcane: Fertilization will be divided into 2 phases. The first phase is when the cane is 1.5 months old, apply chemical fertilizer formula 16-20-0, rate 100 kg./rai. The second phase is when the sugar cane is 3-4 months old, apply chemical fertilizer formula 20-5-28, rate 100 kg./rai.

Stage 2 Sugarcane stumps: Fertilization will be divided into 2 phases, the same as the first stage. In the first phase, fertilizer will be applied immediately after harvest. In the second phase, when the sugarcane is 3-4 months old, chemical fertilizer formula 20-5-28 is applied at 150 kg/rai, and will use manual labor to mow grass or tractors. In the period from the beginning of planting to 4 months, if the herbicide is used, atrazine is used at the rate of 500-625 g/rai. After spraying in the first phase for 2-3 months, chemical spraying will be used again. Supplemental water supply will be provided on average 3 weeks/time. As shown in Figure 6, fertilizer is applied to take care of sugarcane during the rainy season. This is a step used to adjust the physical condition of the soil to be suitable for cultivation. The amount of fertilizer to be added should be based on the soil's fertility, and the sugar cane's growth.

Figure 7 shows pouring water in the plantation area, which is a cost-saving and convenient water supply. This type of watering is limited in that the planting area must be level to flow easily and continuously.



Figure 6 Fertilizing for Sugarcane Care



Figure 7 pouring water

(2) Operations: The first step in the operation is sugar cane harvesting. The extension unit will plan the harvest from the start, whether to use manual labor or cutting machines. It was considered whether the planted area could be cut into or not. Sugar cane suitable for harvesting must be about 13 - 14 months old, and the

sweetness of sugarcane at this stage will reach the standard. Sugarcane harvesting can be done by methods, as shown in Figure 8, which is sugarcane harvesting by using a sugarcane harvester. Sugar cane harvesting using harvesters is the most popular harvest and is mostly used by farmers today, which is fast and convenient with less cost.



Figure 8 Harvesting sugarcane using cane harvesters

Another way to harvest sugarcane is by using manual labor, and the harvest is rarely used today due to high labor costs. Harvest labor is few. It's hard to find laborers, and they need to work faster. So, the harvest is delayed to meet the demand of factories, as shown in Figure 9.



Figure 9 sugar cane harvest using manual labor

Step 2 Transporting sugarcane to the factories: Sugarcane is transported to the processing plant by ten-wheel trucks or tow trucks, which depends on the amount of sugarcane transported in each trip. Primarily, ten-wheel trucks are used to transport sugarcane to factories. The vehicles to be transported will come from farmers, factories, and truck operators. Farmers hire most vehicles used for transportation to transport sugarcane directly, as shown in Figure 10.



Figure 10 sugar cane truck

In this step, the factory will have the truck driver come in and grab a queue card to wait for sugarcane to be poured into the sugar processing process in the industrial factory.

Step 3 Processing: sugar processing is divided into two main processes as follows:

The first process is the production of raw sugar, which brings sugarcane into the sugar production process through sugarcane juice extraction, cleaning, boiling, chewing, and centrifugation to seal the sugar.

The second process is producing white sugar production. The process is the same as the production of raw sugar. It was by bringing raw sugar into the production line to produce sugar again through the melt spinning, cleaning, bleaching, and chewing processes, then separating sugar crystals and dehumidifying.



Step 4 Packaging: White sugar or raw sugar produced will be packed into sacks for storage and on the line for sale. Each sack will weigh 50 kilograms.

(3) Outbound logistics is divided into 2 steps:

Step 1 Sugar domestic distribution: 80% of Thai Identity Co., Ltd.'s sugar would be sold to Thailand's food and beverage industry. The beverage and food industry had made a contract and paid in advance. So that the factory could plan the production and allocated the amount of sugar correctly. The sugar quota sold to this group of customers is Quota A.

Step 2 Exporting sugar to foreign countries: Sugar exports will be sugar type Quota B, which is raw sugar. The export operation will be exported by Thai Cane and Sugar Co., Ltd. Export operations must comply with government regulations, which way to export Thai sugar is not sold directly to consumers in the country. However, it will be sold to a brokerage firm and well-known legal sugar traders in the international trade.

(4) Marketing: Procurement of sugarcane to the factory is in this process. The factory will have a sugarcane plantation promotion agency to recruit farmers to join the contract with the factory. The supporting agencies will provide advice on planting, maintenance, and even providing services for harvesting sugar cane trucks.

4.2.2 Support activities include

(1) There is a demonstration plot project for farmers to learn about sugarcane cultivation properly.

(2) There is a team of academics to help survey insects and pests of sugar cane in all areas promoted.

(3) There is a team of academics from the sugar factory to advise on planting and harvesting sugarcane to send to the factory.

(4) The Sugarcane Plantation Promotion Unit will supply sugarcane to the factory. The agency will recruit farmers who want to grow sugarcane or who already cultivate sugarcane to join the sugar factory. The agency will have academics to advise on cultivation, care for farmers' cultivation capital, and check the soil conditions of the participating areas to determine if it is suitable for planting sugarcane. Sugar cane harvesters are also available to provide services to farmers who join the factory.



4.3 Evaluation of Potential Using SWOT Analysis

They use SWOT analysis to assess the potential of cane and sugar in Uttaradit Province by analyzing internal factors, strengths, weaknesses, external factors, opportunities, and threats. In order to assess and find ways to increase the efficiency of the sugarcane and sugar supply chains of Uttaradit Province and increase competitiveness with neighboring regions and neighboring countries, SWOT analysis is a qualitative method for this case. The analysis details are shown in Table 1.

Table 1 SWOT Analysis

	Positive Procedures	Negative Procedures
Internal Factors	<p>Strengths</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. There are plenty of plantation areas. 2. There are sugar factories in the province. 3. There are both domestic and foreign academic team and experts who give advice and consult for all processes. 4. There are high efficiency of plantation. 	<p>Weaknesses</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. There is not enough labors, including skilled labors. 2. The fields and the factory are far away from each other. 3. It is bad weather in the areas. 4. Farmers are lack of plantation knowledge.
External Factors	<p>Opportunities</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The Office of the Cane and Sugar Board supports water sources and water pumps. 2. The Uttaradit Provincial Agricultural Office has a policy to promote sugarcane cultivation. 	<p>Threats</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. World sugar price has been decreasing continuously since the sugar production is in surplus. 2. There is lack of irrigation system. 3. Competitors have high-efficiency production technology that make a production advantage.

4.4 Cause and Effect Diagram

The researchers have used the information from the above SWOT analysis, weaknesses, and threats to conduct questioning of all involved parties. The problems of sugarcane were the lack of quality and others. It can be expressed as a cause-and-effect diagram analysis, as shown in Figure 11.

The resulting diagram can analyze the factors affecting the quality of sugar cane as follows:

4.4.1 Workers, employees, or personnel lacked care, so it was caused by insufficient farm labor, resulting in lower-quality sugarcane.

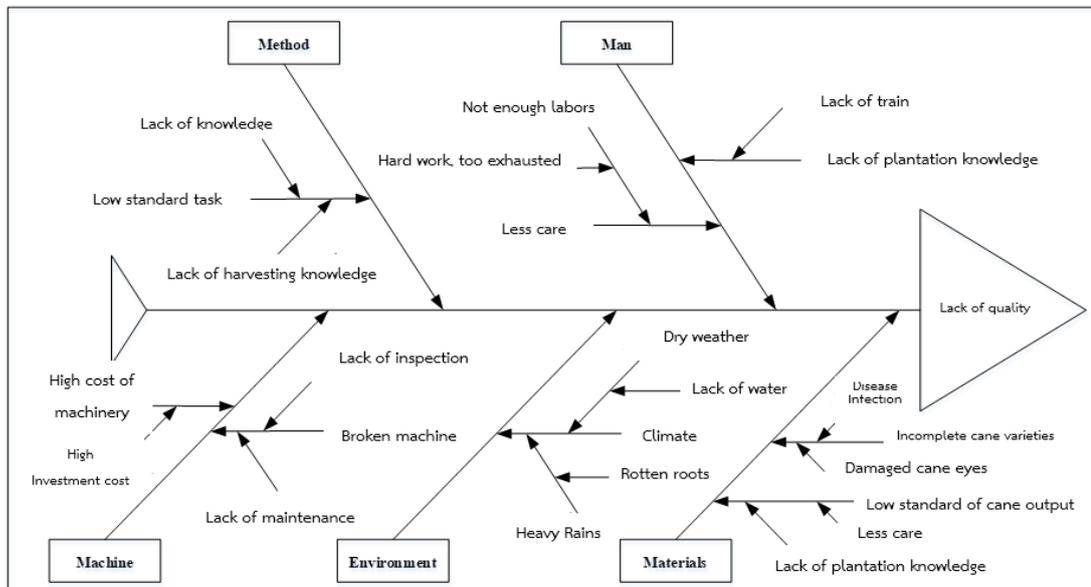


Figure 11 An analysis of Cause-and-Effect diagram

4.4.2 Non-standard work was the need for more knowledge about the planting process. Improper care, improper cultivation, and less care resulted in better-quality sugar cane.

Lack of harvest knowledge was a factor that affected sugar cane quality. Most farm owners set fire to sugar cane before harvesting because of the convenience of harvesting. Sugarcane burning is very detrimental to sugarcane quality. Burning the cane before harvesting will reduce the weight of the cane and lower its sweetness.

4.4.3 Machines and accessories

Planting machinery is expensive, making farmers unable to buy machinery for their own. As a result, farmers need to gain knowledge of modern cultivation technology and care. Besides, the lack of machinery may result in higher costs for cultivation, increasing the rental of machinery and equipment. However, when the machine is damaged, maintenance costs will also have a high price.



4.4.4 Materials, spare parts and other equipment

The imperfections of the varieties are caused of low-quality sugar cane due to diseased sugarcane or damaged sugarcane eyes. Cultivation of diseased sugarcane varieties or damaged sugarcane eyes will cause the sugarcane not to grow, and the sugarcane sweetness level will not meet the standards. As a result, the sugarcane planted has less yield and poor quality.

4.4.5 Environment, weather, and places

Dry weather causes the sugar cane to lack water, resulting in the sugarcane's sweetness not being up to the standard or dying. In the case of heavy rain, there is water in the area, which may cause the cane roots to rot and eventually die. Hence, it causes less productivity and poor quality.

5. Conclusion and Discussion

The results of the study of cane and sugar supply chains of Uttaradit Province, a case study with value chain management, were analyzed by using a fishbone diagram or a cause-and-effect diagram. It analyzed the potential by SWOT analysis to know the problems that arose and made the guidelines for increasing efficiency as follows:

5.1 Summary of the study of sugarcane and sugar supply chains

5.1.1 It found that the sugarcane farmers needed knowledge, making it impossible to plant and take care of sugarcane properly. Mostly, the cultivation of sugar cane was a plantation that required high costs and were causing some farmers to lose money in planting investments. It was impossible to cultivate fully, resulting in a small amount of sugar cane production and lower quality than the standard.

5.1.2 Problems of Sugarcane Processing Entrepreneurs

The researchers directly asked the operators in the factory, and It was found that the problems encountered were problems in the quality of raw materials that needed to meet the specified standards. However, they need help promoting prices because sugar prices tend to fall continuously.

5.1.3 Problem of transportation



Farmers are likely transported by trucks or tow trucks. The studies showed that transportation cost to factories is costly because the factory area is located far from the farmer's area.

5.2 Improvement and Development Guidelines Cane and Sugar Supply Chain

5.2.1 There should be more training for farmers in various points, including preparation for planting sugarcane, taking care of harvesting the right produce according to appropriate agricultural principles, training to educate about technology to increase productivity, using machinery in the production process appropriately, and controlling of production costs and product transportation costs. It should continue to provide knowledge to farmers continuously and thoroughly. Besides, the government should consider providing financial assistance to farmers for investment in agricultural machinery and equipment. It is to help them increase the efficiency of sugarcane cultivation, which tends to increase.

5.2.2 The transport sector should study and formulate measures to reduce transport costs. The related transport unit has to show the know-how for using fuel efficiently, including choosing the truck's appropriate size, increasing maintenance standards, and training truck drivers for efficient and safe driving.

6. Recommendations

This research has been suggested in terms of education about sugarcane cultivation, operation, and further research as follows:

6.1 Knowledge for farmers

Most farmers still need to gain knowledge about cultivation and care. Therefore, academics and experts should provide knowledge to farmers directly and thoroughly with continuous training on sugarcane cultivation and knowledge of agriculture about proper cultivation. This may result in better-quality of produce sugar cane.

6.2 Planning

Sugarcane farmers should plan to be more productive by focusing on production costs, quantity, and output quality.



6.3 Government support

The government sector should get involved in educating farmers about sugarcane cultivation, setting prices, and finding ways to reduce production costs. It should set up funds for them to invest in sugar cane, fertilizer, herbicides, etc., including reducing the interest on loans for machinery and technology.

6.4 Research Extension

This research studies the upstream-to-downstream supply chains of the sugarcane and sugar industry in the overview. Further studies can be extended in other areas, for example, production efficiency, reduction of production costs, transportation costs, cost reduction in logistics activities, warehouse and inventory management, and sales and exports.

7. References

- Gryna, F.M., Chua, R.C.H., & Defeo, J.A. (2007). **Juran's Quality Planning and Analysis** (5th ed.). McGraw-Hill.
- Khawtien, U. (2003). **Strategic Plan**. Office of the National Economic and Social Development Council.
- Porter, M. (1980). **Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance**. New York: The Free Press.
- Salyabongs, P. (2007). **Production Efficiency Improvement by Supply Chain Management Concept for Bee's Product Industry**. (Master dissertation). Chiang Mai University, Chiang Mai.
- Saringkarin, D. K. (2009). **Research to assess the potential of integrated logistics and industrial supply chain management in Thailand**. The Thailand Research Find (TRF).
- Sopadang, A. (2006). **A study of longan's supply chain management in Thailand**. The Thailand Research Find (TRF).
- Thoongkeaw, T. (2009). **Improvement of Supply Chain Management of Tangerine Orchards in Fang District, Chiang Mai Province**. (Master dissertation). Chiang Mai University, Chiang Mai.



WORK IMPROVEMENT OF FLASHER HF-1000 W PRODUCTION LINE A CASE STUDY: P.E. TECHNIQUE CO., LTD

Thanida Khanongnuch¹, Alongkorn Muangwai¹, Channarong Tantiwattanodom^{2*}

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

²Faculty of Industrial Technology, Muban Chombueng Rajabhat University,
Chombueng, Ratchaburi, Thailand, 70150

*Corresponding author e-mail: cnr.tantiwat@gmail.com

Submitted: 4 September 2023

Revision received: 14 October 2023

Accepted: 16 October 2023

Abstract

In this research, the work process and methods of work were studied. The research was selected as a case study of P.E. Technic Company Limited, Phitsanulok Province. In the signal control product assembly line (HF-1000 W), the principles and theories of motion and time studies were applied. The method of measuring time was directly studied, and the Method of Time Measurement (MTM-2) was selected to collect preliminary data by entering the timer directly by using video cameras to capture the movements of operators while working. It was able to analyze the problem condition and find the cause, then make improvements and fix the bugs along with the standard time and set up a working standard. Improving the work in this research was able to reduce assembly time by up to 12.37% and increase productivity by 23.20%, which increases the choice of operators to use such methods to further improve their work.

Keywords: Standard time, Movement, Time study, Product assembly line

1. Introduction

In any commercial business, the importance lies in the distribution of goods and services. But in order for the business to prosper and stay stable, it is necessary to follow 3 principles: having customers, improving the quality of the product, and better service. Accordingly, resources or factors of production must be utilized for maximum benefit. Improving work is a key factor in the production of goods and services efficiently, and a technique to increase productivity to produce products while keeping up with the demands of today's ever-changing market.

In production operations, there are often many problems that cause production efficiency to not meet the targets. It needs to be corrected and improved in order to achieve the goal of increasing plant productivity, which can be solved by the technique of work improvement. Improving work by studying motion and time is one of the most important fundamental sciences of industrial enterprises (Jirawat, 2013). It studies the movement of operators both freelance and working with machines or equipment. This determines the characteristics and number of operators, type, and number of machines and equipment required. It indicates the cost with the cost of production in detail, including the time required to produce as well. P.E. Technic Company, Limited is a company that produces electronic equipment. The assembly of the signal control device (HF-1000 W) as shown in Figure 1 is a device that has not yet been studied. Therefore, in this research, the research team went to study the work to improve the assembly of signal control devices (HF-1000 W) to be more efficient and find the standard time of work to be used to determine the motivation value (Kanison, 2017.)



Figure 1 Signal Control Unit (HF-1000 W)

2. Research Objectives

To study the procedures and methods for improving the assembly processes of flasher HF-1000W in P.E. Technique Co., Ltd.

3. Research Methodology

In this research, a case study of the procedures and methods for improving the assembly processes of flasher HF-1000W in P.E. Technique Co., Ltd, and find solutions by using analytical principles and tools. The details are as follows:

3.1 data collection

The researcher has studied and timed working in each step in the production line of the product, including direct time study principles and Method Time Measurement (MTM-2) (Nuntakasikorn, 2005).

The steps in such timekeeping are directly timed, which performs the preliminary timekeeping of employees in each workstation in order to calculate the appropriate number of rounds and calculate the standard time value of each job that uses the following conditions

3.1.1 At the confidence level of 95%, the error is 5% where $k = 2$ and $s = 0.05$ as in Equation (1).

$$n = \left[\frac{\left(\frac{k}{s \sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}} \right)}{\sum x} \right]^2 \quad (1)$$

Where n = Factors of confidence
 S = Discrepancy
 n' = Number of timer counts
 N = Number of times to be timed
 X = Time captured each time

In case $n < n'$ in the calculation, it considers n' .

3.1.2 The pacing system uses the Westinghouse method, employing expertise, effort, consistency, and conditions.

3.1.3 Normal Time = Selected Time x rating factor



3.1.4 Finding Allowance Due to the nature of the work it is not very heavy work. There is not much stress at work, and there is a break period for employees to rest in 2 periods, namely, working in the morning and afternoon, 10 minutes each, while there are few delays in other areas. Before the employees' work, materials and equipment will already be prepared, and from research, the allowance for fatigue is set at 4%.

3.1.5 Standard Time = Normal Time + [% of Allowance Time x Normal Time]

3.1.6 Recording of production line operator movements at all stages of production

3.2 Analysis of Current Work

From the collected data analyze the current working conditions divided into

3.2.1 Analyze the current time spent on each step of work and the total time in product production using the Direct Time Study and Method Time Measurement (MTM) standard time studies.

3.2.2 Analyze the movement conditions of operators using the principles of motion economy (Principle of Motion Economy)

3.3 Analyzing Ways to Improve Work

From the analysis of work in the past steps above, it can be known the problem. This will bring the problem to be analyzed to find a way to solve the problem as well as how to improve and develop the work. It is based on the following principles: (1) Elimination of unnecessary steps; (2) Integration of assembly steps; (3) Ordering of steps; (4) Assembling. required for easier assembly.

3.4 Improve the Workflow

Perform the operation according to the modified method and run the timer again.

3.5 Comparison and Evaluation of Work Improvements both before and after

A comparison of assembly time before and after renovation is considered, then look at the percentage difference in performance by looking at the output that has come out.



3.6 Set Standards

3.6.1 Set performance standards by recording the steps and methods of the new work after the improvement in an appropriate format.

3.6.2 Set the standard time by the timer of the new working method standard and set the standard time for the next work.

3.7 Performance Summary

Summarize all the results from the operation. along with specifying other suggestions in this research.

4. Results and discussion

In this section, details of the study to analyze the problem condition and find the cause, then make improvements and fix the bugs along with the standard time and set up a working standard, including a case study of P.E. Technique Co., Ltd. in order to improve the work, and the details were shown as follows:

4.1 Assembling Analysis of Signal Control Device (HF-1000 W) with Direct Timing

After collecting data and studying about components and assembly procedure of the signal controller (HF-1000 W). There are 6 workstations in total. Workstations are placed in a straight line in order of work. The characteristics of the workstation and timer are as follows:

4.1.1 Workstation 1 has assembly steps: (1) Put 4 copper pins into the fixture, (2) Place the printed plate on the fixture, (3) Place HF 5, and HF 4 on the printed plate, (4) Place the lid Fixture on the legs HF 4 - HF 5 and bring the Fixture into the press, (5) Remove the Fixture from the press, (6) Place the print on the press and press the legs HF 7 onto the print plate, (7) Press the legs. HF 8 on the printed sheet and take the printout of the pattern, (8) Put the C shape and fold the C legs, and (9) Send to the next workstation. The arrangement of workstation equipment 1 is shown in Figure 2.



Figure 2 Equipment and Machinery used in Workstation 1

4.1.2 Workstation 2 has the steps to assemble: (1) Insert C and fold C-legs, (2) Put the printed sheet into the fixture to lock legs HF 7 and HF 8, (3) Solder legs C, legs HF 7, pin HF 8, (4) Cut both pin C, and (5) Send to the next workstation. The arrangement of workstation equipment 2 is shown in Figure 3.

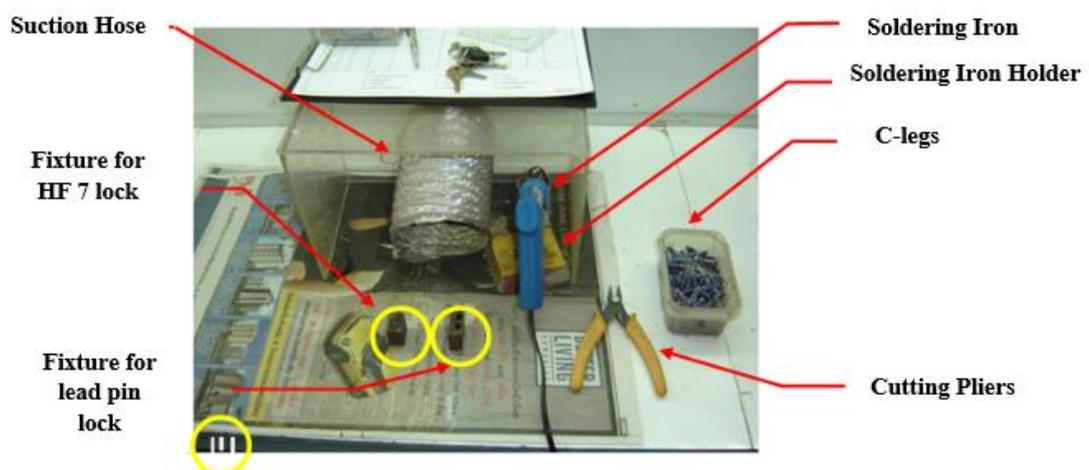


Figure 3 Equipment and Machinery used in Workstation 2

4.1.3 Station 3 has assembly steps: (1) Insert the relay, pull the relay cable into the relay cable groove by pulling taut, (2) Insert the LED, (3) Put the braided wire into the HF 4 pin, (4) Squeeze the HF 4 pin. Clip the braided wire and solder it, and (5)

Send it to the next workstation. The arrangement of workstation equipment 3 is shown in Figure 4.

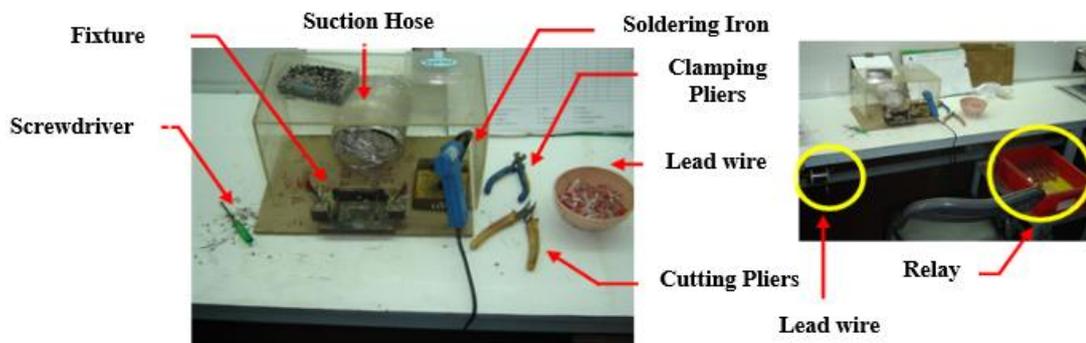


Figure 4 Equipment and Machinery used in Workstation 3

4.1.4 Station 4 has assembly steps: (1) Set the axis distance with the moves and set the white gold face distance, (2) Apply acetone to the white gold face, (3) Put the print into the testing machine, (4) Test Relay by pressing the red button, the LED will light, (5) Put the rubber ball HF 8 and blow air in front of the contact, (6) Blow the air on the top cover, (7) Put the print sheet on the top cover HF 52, (8) Insert the fuse by pressing the fuse firmly down with a press, and (9) Send it to the next workstation. The arrangement of workstation equipment 4 is shown in Figure 5.

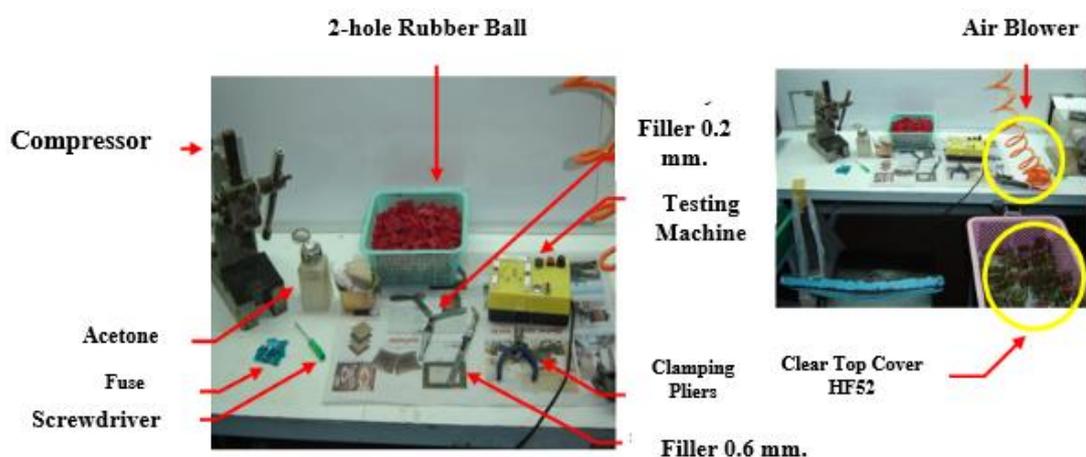


Figure 5 Equipment and Machinery used in Workstation 4

4.1.5 Workstation 5 has assembly steps: (1) Look at the capacitor terminal, the negative terminal of both capacitors will be white and the negative side must be facing outward, (2) Connect the Flasher to the test plug. High voltage Flasher must be working normally, see the LED will blink, the value is at 550-700 ms, (3) Rock the switch to low voltage and turn the switch ON. The flasher must be working normally. By watching the lamp flash, (4) Turn off the OFF switch of the LOW Flasher must stop working. The lamp will stop flashing, (5) Remove the Flasher from the test plug, (6) Apply silicone glue to all 4 screw holes, (7) Put the bottom cover. Tighten all 4 screw holes, (8) Test the low and high pressure again, and (9) Send to the next workstation. The arrangement of workstation equipment 5 is shown in Figure 6.

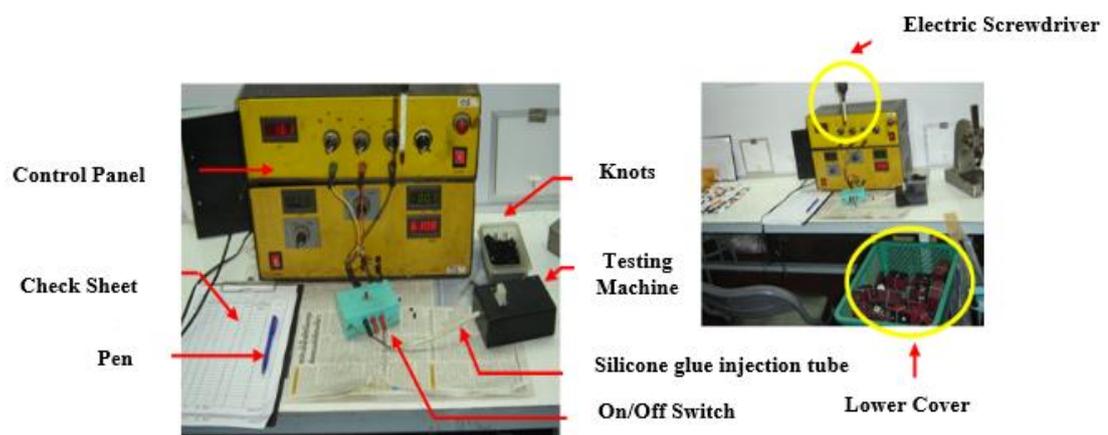


Figure 6 Equipment and Machinery used in Workstation 5

4.1.6 Station 6 has assembly steps: (1) Wipe the glue on the bolt head, (2) Clean the whole thing, (3) Attach the sticker, (4) Look at the neatness of the product, (5) Fold the Flasher box, (6) Put the Flasher in the box and close the lid of the box, (7) Pack the Flasher box, and (8) Arrange it in the Flasher box (large box). The arrangement of work station equipment 6 is shown in Figure 7.



Figure 7 Equipment and machinery used in Workstation 6

From the product assembly of all 6 workstations, the time value of the signal control device assembly step (HF 1000 Watt) can be shown in Table 1.

Table 1 shows the time value of the assembly process for all 6 workstations by direct timing method.

Workstation	Normal Time (seconds)	Allowance Time (%)	Standard Time (seconds)
1	115.89	4	120.53
2	102.68	4	106.79
3	81.23	4	84.49
4	78.70	4	81.85
5	103.80	4	107.95
6	64.47	4	67.05
	Total		568.66

4.2 Analysis of the assembly of the signal control device (HF-1000 W) by means of a time study. Predetermined Motion Time by MTM-2

4.2.1 The position and layout of the assembly to be analyzed by the MTM-2 technique of workstation 1 are shown in Figure 8.

4.2.2 The position and layout of the assembly to be analyzed by the MTM-2 technique of workstation 2 are shown in Figure 9.

4.2.3 The position and layout of the assembly to be analyzed by the MTM-2 technique of workstation 3 are shown in Figure 10.

4.2.4 The position and layout of the assembly to be analyzed by the MTM-2 technique of workstation 4 are shown in Figure 11.

4.2.5 The position and layout of the assembly to be analyzed by the MTM-2 technique of workstation 5 are shown in Figure 12.

4.2.6 The location and layout of the assembly to be analyzed by the MTM-2 technique of workstation 6 is shown in Figure 13.

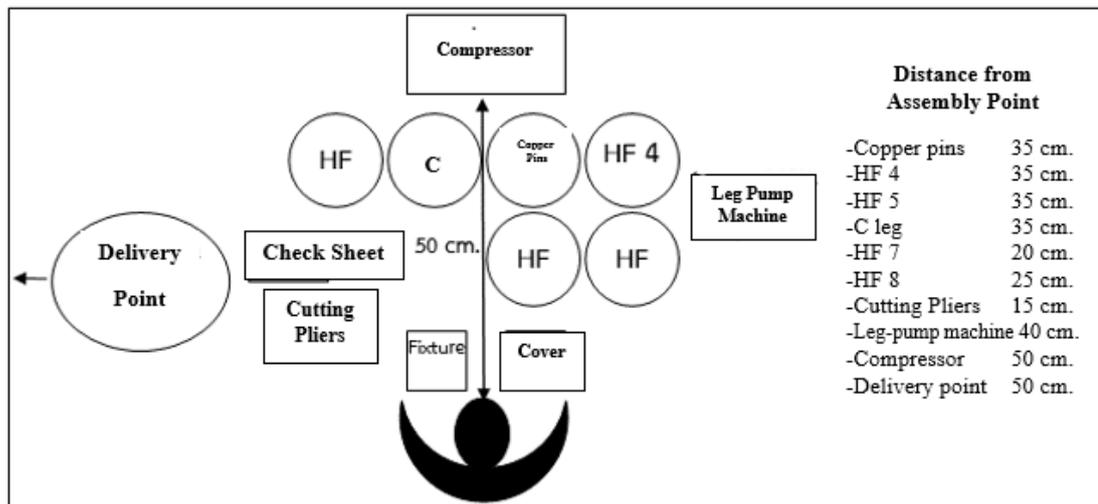


Figure 8 Location and Layout of Working Station 1

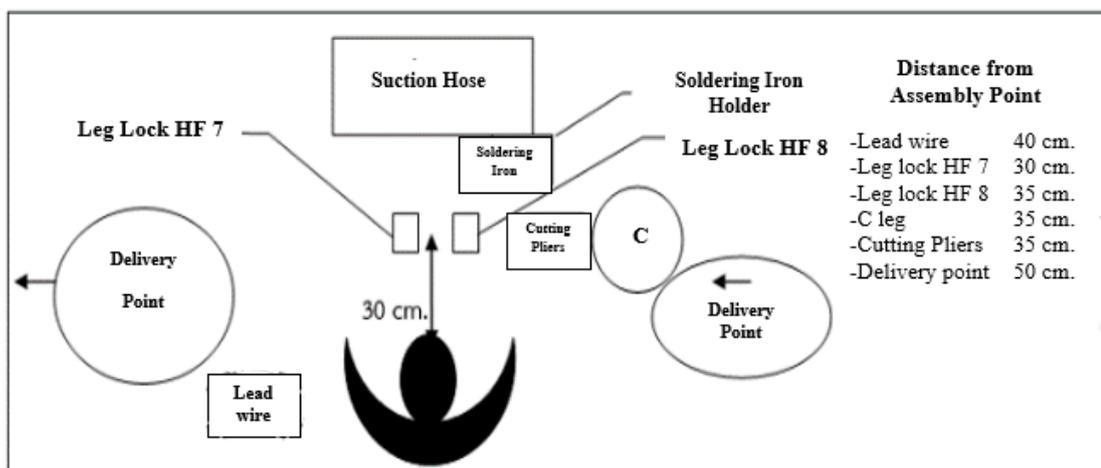


Figure 9 Location and Layout of Work Station 2

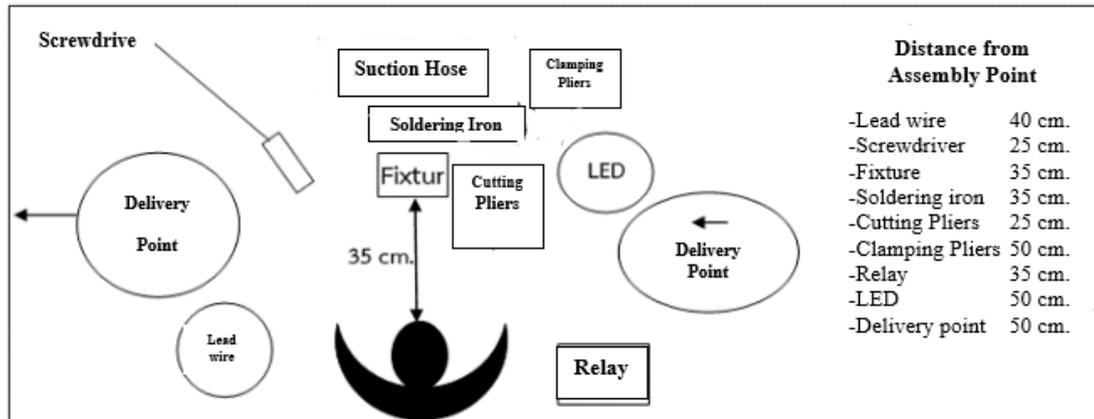


Figure 10 Location and Layout of Work Station 3

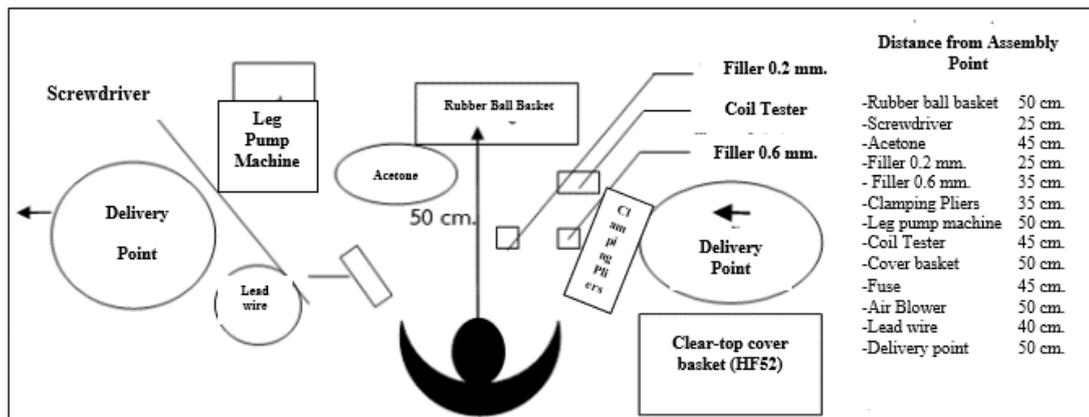


Figure 11 Location and Layout of Working Station 4

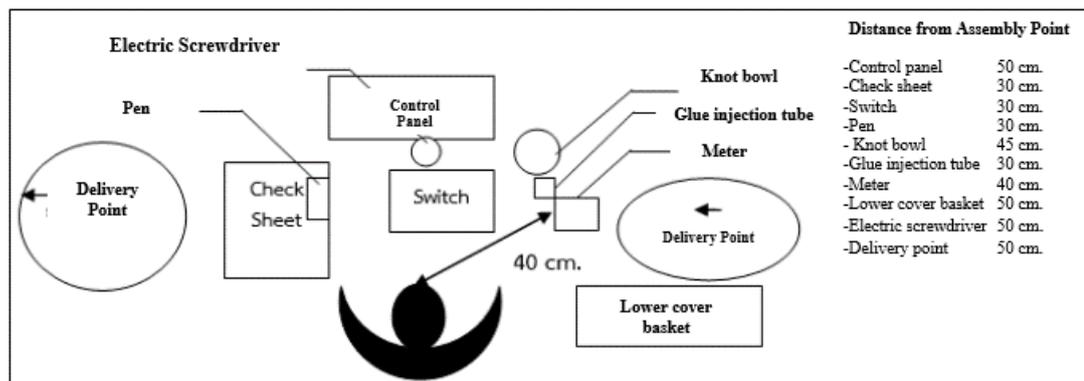


Figure 12 Location and Layout of Work Station No. 5

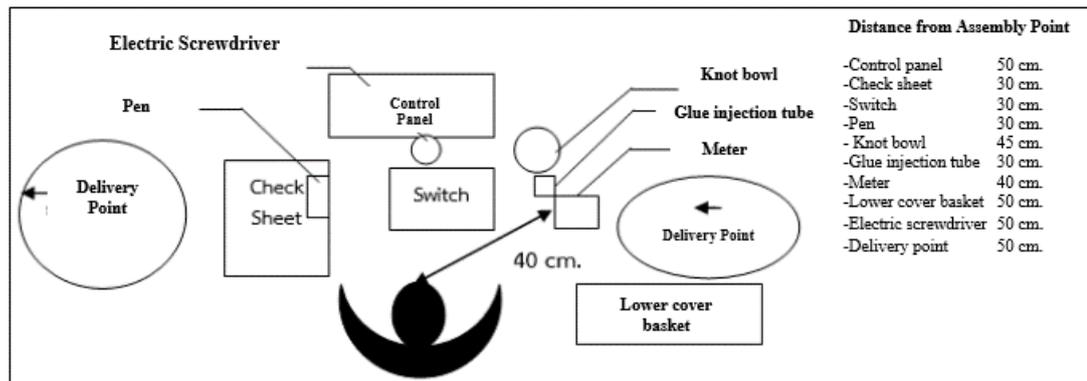


Figure 13 Location and Layout of Work Station 6

From the analysis of these 6 workstations, it can be expressed as the assembly time of the MTM2 method as shown in Table 2.

Table 2 The time value of the assembly process of all 6 workstations using the MTM2 method.

Workstation	Standard Time (second)	MTM2	Difference	% Difference
1	120.53	113.13	7.40	6.13
2	106.79	102.10	4.69	4.39
3	84.49	82.27	2.22	2.63
4	81.85	80.24	1.61	1.97
5	107.95	104.64	3.31	3.07
6	67.05	63.27	3.78	5.64
Total	568.66	545.65	23.01	4.04

From Table 2, the times obtained from standard time and MTM2 have different values. The assembly time from the MTM2 method was 23.01 seconds faster, representing 4.04%.

4.3 Problem Condition Analysis and Work Improvements

It was noticed that in the 1st, 2nd, and 5th workstations, the assembly time was high, resulting in a bottleneck. Therefore, in this research, we analyzed the

problem conditions and improved the work process in assembling the signal control device (HF-1000 W), which found that the main problems were as follows:

4.3.1 The placement of the assembly parts is inconsistent with the movements of the hands in the assembly in Station 1. The research team has arranged the parts and equipment used in the assembly in Station 1 to make it easy. To pick up and use by arranging the parts and equipment used in the assembly to be in line with the movements of the hands and in relation to the order of assembly steps by placing various parts used in assembly. According to the pre-post process of picking up by arranging copper pins, printing plates, HF5, HF4, and the C in an arc around the fixture, HF7 HF8 is placed close to the pin press because the pin press must be used inside. Recording also prevents the problem of obstructing the work of employees by eliminating the overlapping workpieces as shown in Figure 14, the workstation before renovation, and Figure 15, the workstation after renovation.

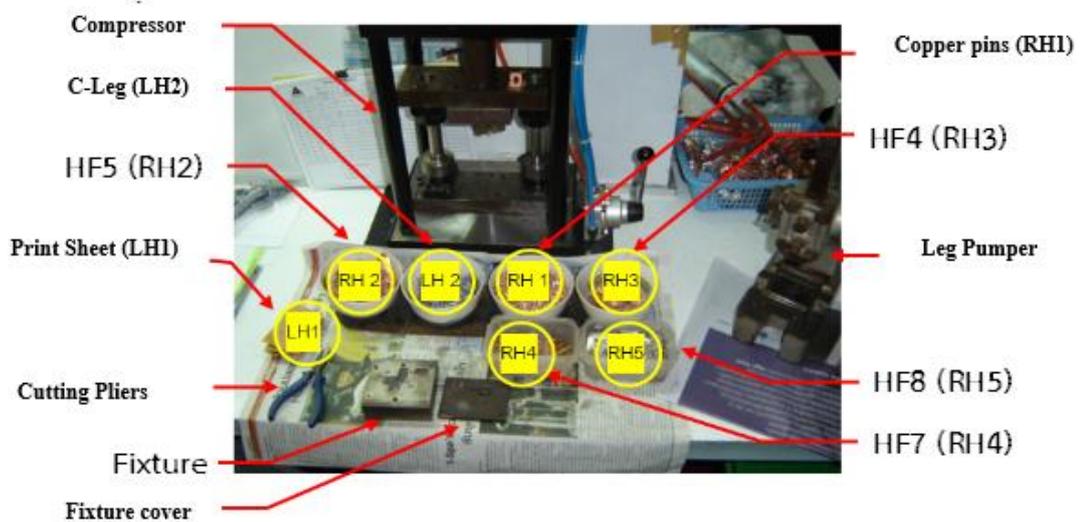


Figure 14 Work station 1 before renovation

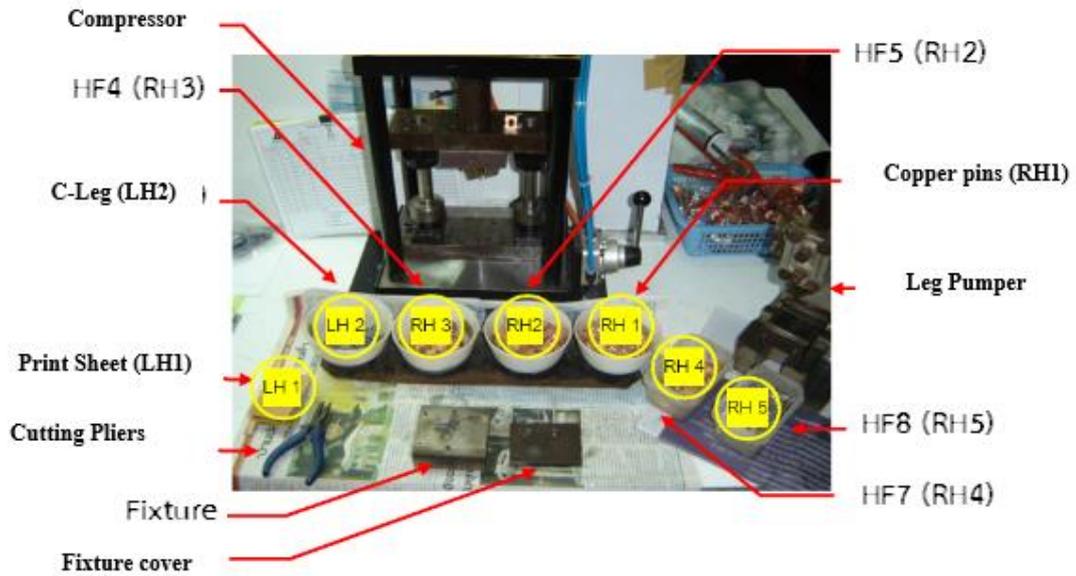


Figure 15 Work Station 1 after renovation

4.3.2 Unnecessary waiting in the assembly process in workstation 1 occurs.

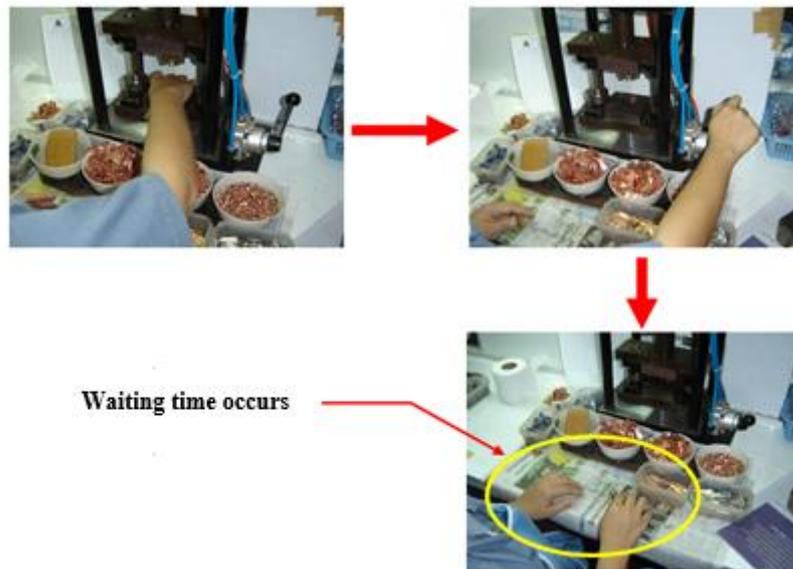


Figure 16 An unnecessary wait has occurred in workstation 1.

From Figure 16, the assembly process in workstation 1 has unnecessary waiting that occurs when the fixture is put into the pressing machine. Press the lever to make the compressor work. While the compressor is working, there will be a long

waiting time. During that time, both hands were free and waiting, resulting in more wasted time for assembling.

From the process of assembling, there is a procedure for working while waiting for the compressor to work. while the compressor is recording. The researcher has come up with a new method of working in a loop. In the first assembly cycle, when the press machine is finished, take the Fixture out of the press take the print sheet out of the Fixture, and then put the print sheet on the press machine. Legs and the rest have returned to assemble from the beginning in the next work cycle and when the machine compresses both hands assemble the printed plate placed in the leg press machine until the assembly is complete.

4.3.3 The tools used for assembly are not suitable for workstation 2

From Figure 17, it can be seen that the fixture that helps to assemble is not efficient enough. and cause unnecessary work steps to increase in order to bring the Print plate to be soldered, the Print plate must be put into the fixture by inserting one side at a time according to the characteristics of the fixture, causing redundant work procedures, aiming and inserting 2 times, resulting in time. to assemble more.



Figure 17 Tools used for assembly before improvement

The research team has created a new Fixture by improving the original Fixture to look the same piece and have the same size as the Print sheet, which can reduce redundant work processes, reducing aiming in the process of bringing the sheet. Print out the Fixture one side at a time, and reduce movement. In the process of

putting the Print plates into the Fixture one by one by changing to aiming and inserting only once, causing the assembly time to be reduced as shown in Figure 18.



Figure 18 Tools used for assembly after improvement

4.3.4 Procedures are not suitable in the 5th workstation.

Station 5: To assemble the back cover, it reaches out to pick up the bolts and fix the bolts at all 4 corners of the cover. each corner, which will cause 4 redundant operations, increasing the assembly time in the 5th workstation as shown in Figure 19.

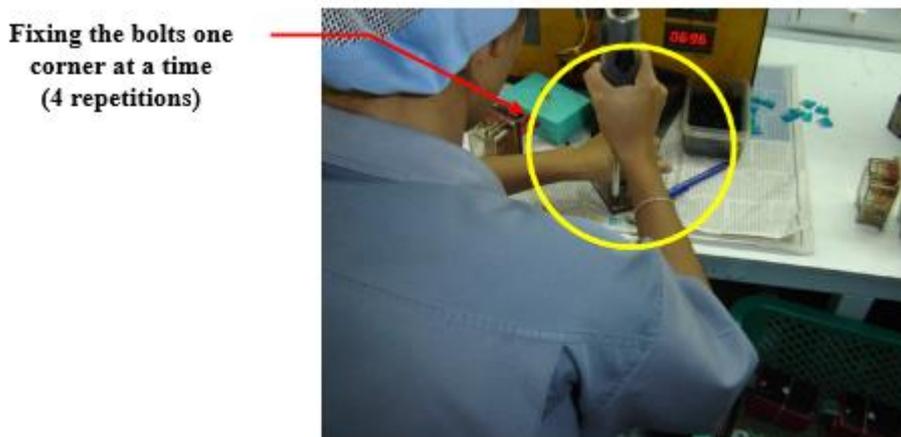


Figure 19 Tools used for assembly after improvement



After putting silicone glue on all 4 corners, therefore picking up bolts to put in all 4 corners and fixing all 4 corners of the workpiece in one step can reduce redundant work. As a result, assembly time is reduced.

From the improvements in workstations 1, 2, and 5, the researcher has timed the assembly of these 3 stations as shown in Table 3.

Table 3 Comparison of standard times before and after the improvement of Work Stations 1, 2, and 5.

Workstation	Standard Time		Difference	%Time Reduced
	Before Improvement	After Improvement		
1	120.53	81.57	32.96	32.32
2	106.79	90.60	16.19	15.16
3	84.49	-	-	-
4	81.85	-	-	-
5	107.95	92.73	15.22	14.10
6	67.05	-	-	-

4.4 Comparison of the number of pieces of output per day before and after the improvement

The work schedule of employees in PE Technic Co., Ltd. is shown in Table 4.

Table 4 Employee work schedule in 1 day

Activity	Time
Morning Work	08.00 – 12.00 a.m.
Morning Break	10.00 – 10.10 a.m.
Meal Break	00.00 – 01.00 p.m.
Afternoon Work	01.00 – 05.00 p.m.
Afternoon Break	03.00 – 03.10 p.m.

From Table 4, total working time = 7 hours 40 minutes, working time $(7 \times 60 \times 60) + (40 \times 60) = 27,600$ seconds per day.

Therefore, before improvement, the working time is $27,600 - 568.66 = 27,031.34$ seconds, and the number of products obtained = $27031.34 / 120.53 = 225$ pieces per day while after the improvement, the total working time is $27,600 - 498.29 = 27,101.71$ seconds. and the number of products obtained = $27,101.71 / 92.73 = 293$ pieces per day. It can be seen that the number of products increased by 68 pieces, representing 23.20%.

4.5 Checking the Standard Time

By comparing the yield (pieces/day) of calculating the yield from the standard time set after adjustment with the amount of output actually coming out of production, which is obtained from inspecting the number of products that come out per day in the case study industry.

The output from the standard time set after the improvement is 293 pieces per day, and inspecting the actual production of 272 pieces per day, it can be seen that the actual output is less than the number calculated. 21 pieces, representing only 7.18%. From the analysis, it was found that the actual output was different with a small output from the set standard time. This may be due to the inconsistency in the work of employees. Because the work process has been set up again, employees are not as proficient in their work as they should be.

4.6 Establish work standards

The researcher has arranged working standards for employees to use as requirements that are suitable for employees and to create working habits as shown in Figure 20-25.

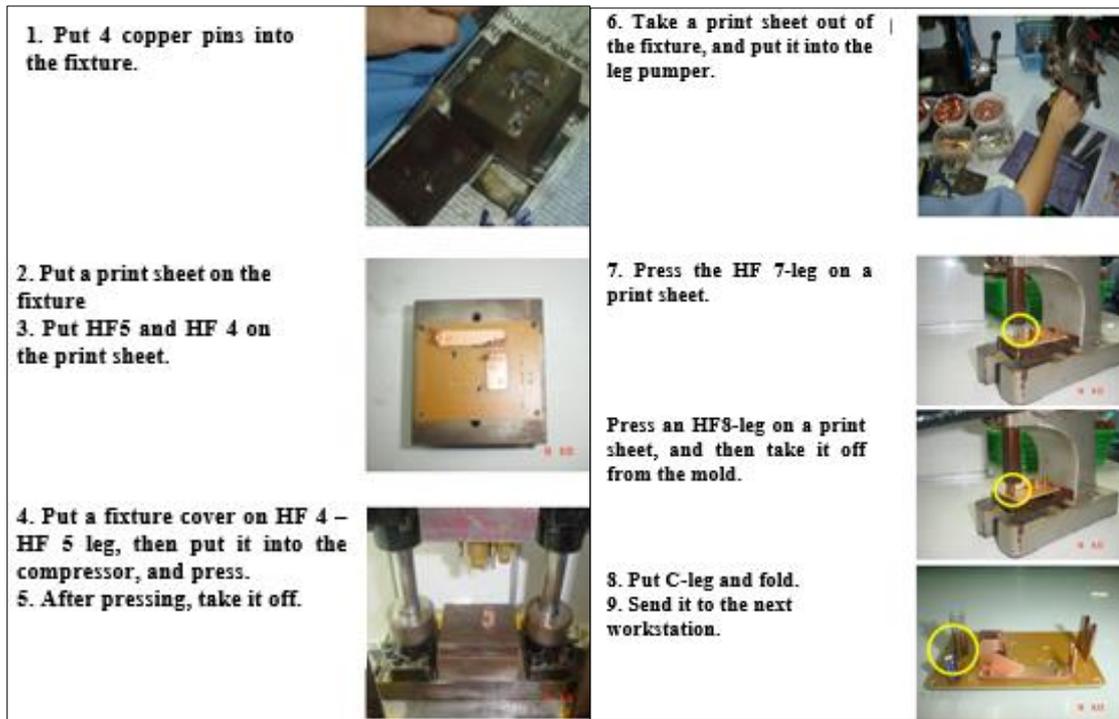


Figure 20 Standards in the work of Station 1

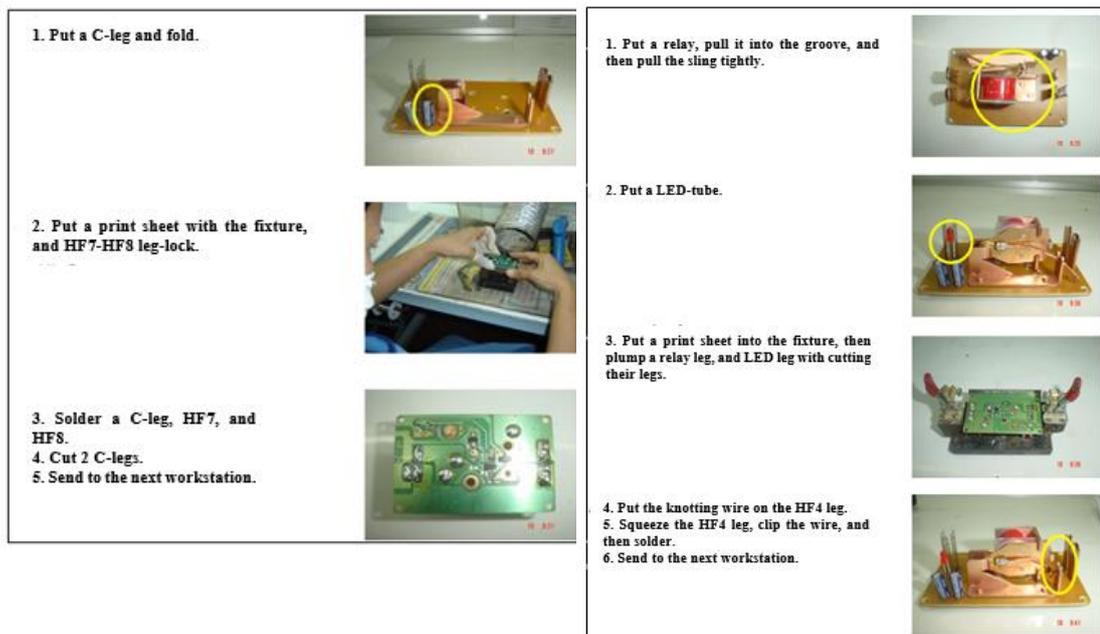
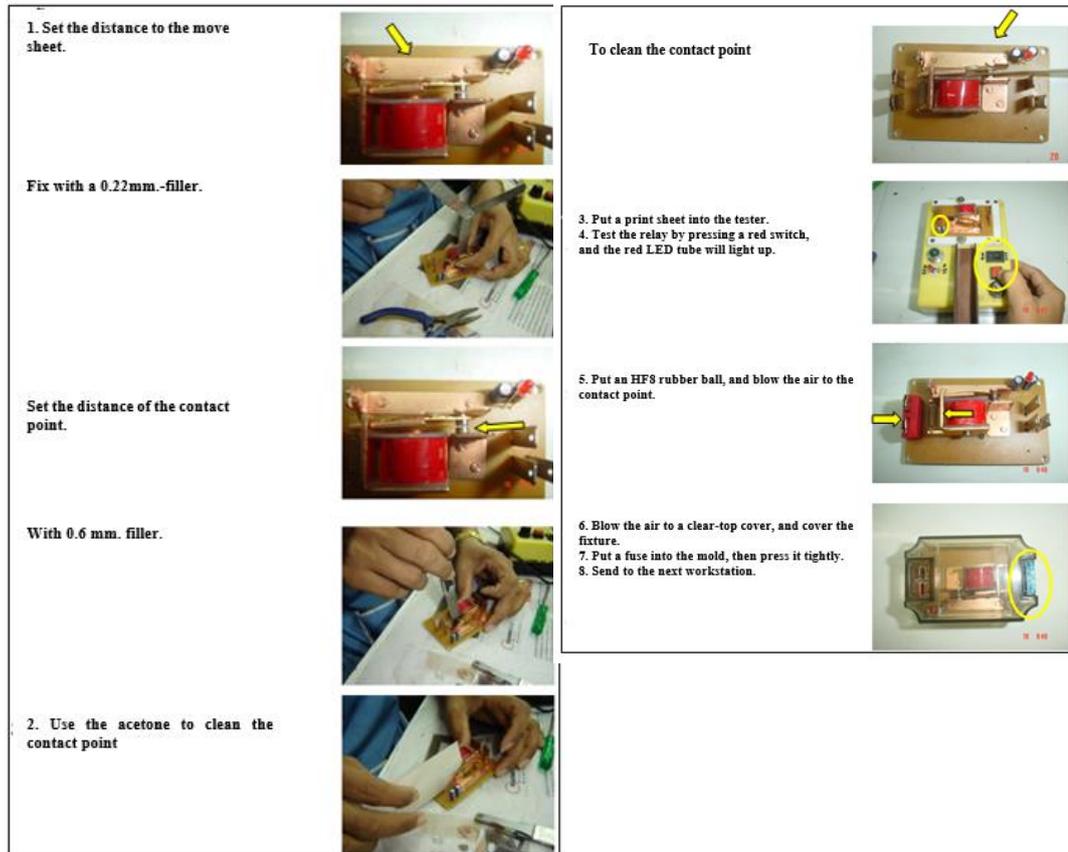


Figure 21 Working standards of Station 2,3



F

Figure 22 Working standards of Station 4

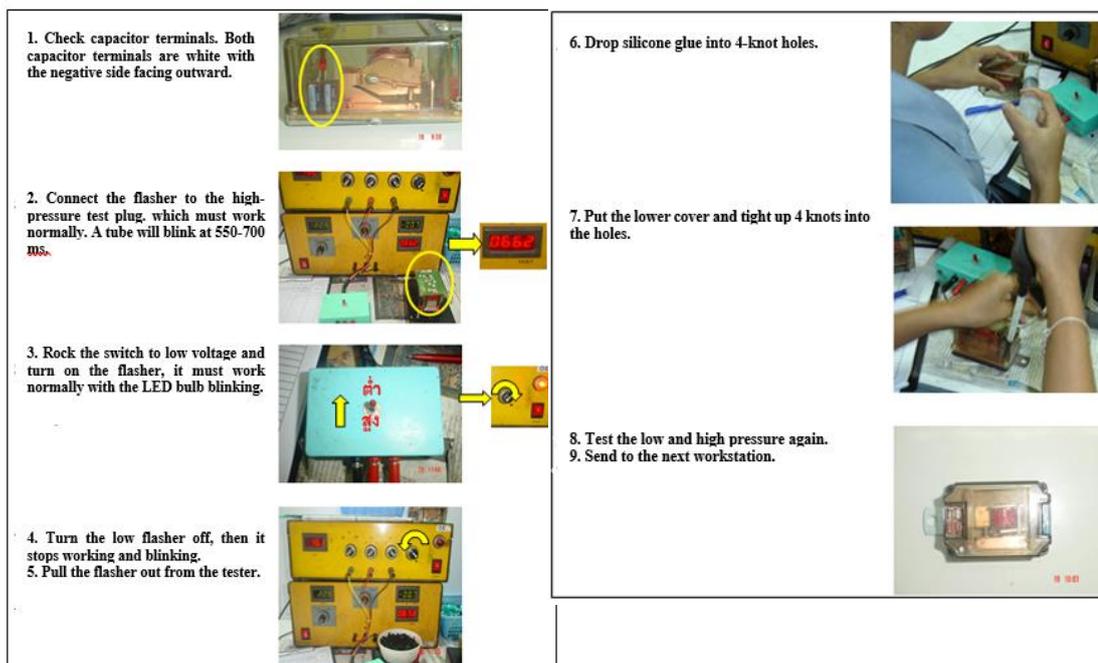


Figure 23 Working standards of Station 5



Figure 24 Working standards of Station 6

5. Conclusion and Discussion

5.1 Analysis of assembly of signal control devices (HF-1000 W) by direct time study method and method time measurement method (MTM-2)

5 Entering the timer using the principle Direct Time Study and Method Time Measurement (MTM-2) standard time study, the results are as follows:

The standard time in the composition of Direct Time Study and Method Time Measurement (MTM-2) is only 4.04% different, which is caused by the analyzer not be able to see. Check all the details of the assembly movement in detail.

The Standard Time values that come out can be seen that the 1st, 2nd, and 5th workstations take a lot of time to assemble, thus causing the assembly line to become a bottleneck in the said workstations.



5.2 Problem condition analysis and improvements

From the standard times obtained by data collection, there was a bottleneck in the 1st, 2nd, and 5th workstations, so we focused on improvements in those workstations. Accordingly, in the analysis of the problem conditions, it was found that (1) Work Station 1 encountered a problem, namely, the arrangement of the parts in the assembly was not consistent with the movement of the hands in the assembly, and there was unnecessary waiting in the assembly process. Corrections and improvements are to place tools and equipment used in the assembly in workstation 1 in accordance with the assembly process, and reordering the assembly process to reduce the waiting time. From solving problems found in workstation 1, it was found that the assembly time was reduced to 38.96 seconds, equivalent to 32.32%. Corrections and improvements of the fixture in workstation 2 were renovated. From fixing problems found in workstation 2, it was found that the assembly time was reduced to 16.19 seconds, representing 15.16% (3) Workstation 5 found a problem, including inappropriate work procedures, then the revisions and improvements are to improve the procedures for assembling the back cover by reducing redundant work. By solving the problems found in the 5th workstation, it was found that the assembly time was reduced by 15.22 seconds, equivalent to 14.10%.

5.3 Timing After Improvement

After analyzing the problem condition revised, working, and then entering the timer for assembly after improvement has the following results: The total assembly time was reduced to 70.37 seconds, equivalent to 12.37%, and the output increased to 68 pieces per day, equivalent to 23.20%.

5.4 Setting Work Standards

After fixing and improving the work and finding the standard time after the improvement has established a work standard that is a certain form for employees to follow. correctly and as a standard.

5.5 Checking the Standard Time

After the work standards have been prepared the standard time is checked to see whether it is exactly as set by comparing the output per day of the standard time set with the actual output. The results show that the employees can actually



produce less than the standard set of 21 pieces, representing 7.18%. This difference is due to the inconsistency in the work of employees. Because the work process has been set up again, employees are not as proficient in their work as they should be.

5.6 Research recommendations

5.6.1 Performance

(1) From the standards that have been set It can be seen that the assembly time in the 5th station is the most valuable. As a result, the workflow in assembly is uneven, therefore, work should be allocated to the 6th workstation, which takes the least time to assemble. It is by dividing the final inspection process from the 5th station to the 6th station to inspect instead. Because he saw that the factory had another 1 machine to check that it was not working and would result in a continuous flow of work. more consistent.

(2) In the 6th station, workers should be arranged to fold the boxes. while waiting for the workpiece to arrive.

5.6.2 Safety

Operators in soldering workstations should be provided with masks or protective equipment for soldering fumes. Even if the smoke exhaust pipe is used, in fact, the suction pipe cannot suck out all the smoke.

5.6.3 Motivation Setting

Information should be obtained from research (Production capacity per day) to determine the incentive value for the worker. It is by charging extra wages for each group of the entire assembly line when employees can produce higher than the specified standards. It gives operators a feeling of enthusiasm for work and a good attitude toward the establishment.

5.6.4 Research Extension

This research is a study of time and improvement of workflow by means of motion and time studies only. But in the actual establishment can also research other areas, such as determining the appropriate incentives for employees because it is a work that produces a number of pieces per day, which results in an increase in the number of products. Plant layout to reduce movement in other assembly lines, and



warehouse management, since there is no definite warehousing system in the factory. It often uses experience in ordering materials, equipment, etc. Therefore, those who are interested can do further research and can build on it in the future.

6. Recommendations

The research team would like to thank the Faculty of Industrial Technology. Pibulsongkram Rajabhat University is highly accommodating in various paperwork. and expenses for traveling and presenting this research.

7. References

- Jirawat, S. (2013). **Heuristics Management for Reduce Labor Cost.** (Doctoral dissertation). King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok.
- Kanison, P. (2017). **Efficiency Improvement in Manufacturing Process by Improvement Technique.** (Doctoral dissertation). Chiangmai University, Chiang mai.
- Nuntakasikorn, N. (2005). **Method Time Measurement II (MTM-2):** MTM-2 Training Materials. (Master dissertation). Chulalongkorn University, Bangkok.
- Ratchawan, K. (2019). **Industrial Work Study.** Chula Book: Bangkok.



การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน:
กรณีศึกษาเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ ของบริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัด
INCREASING PRODUCTION EFFICIENCY BY PREVENTIVE
MAINTENANCE PLANNING: A CASE STUDY OF VENETIAN BLINDS
SHEET CUTTING MACHINE OF SHARP POINT CO., LTD.

ฤดี นียมรัตน์, ฉันทนา คำหอม*, ศิริวรรณ ภูศรีฤทธิ

Ruede Niyomrath, Chantana Khamhom*, Siriwan Phusirit

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เขตดุสิต กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย 10300
Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University, Dusit, Bangkok, Thailand, 10300

*Corresponding author e-mail: kchantana09@gmail.com

วันที่เข้ารับ 1 มีนาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 23 กรกฎาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 25 กรกฎาคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ของบริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัด ด้วยการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ดำเนินงานวิจัยโดยการเก็บรวบรวมข้อมูลการทำงานของเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ลูมิเนียมโดยใช้ใบตรวจสอบ นำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการผลิต ค้นหาสาเหตุของปัญหาการหยุดทำงานของเครื่องจักร ตั้งค่าเป้าหมายและวางแผนการบำรุงรักษา ก่อนนำสู่การปฏิบัติ และวัดประสิทธิภาพการผลิตจำนวน 3 ด้าน ได้แก่ (1) ประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร ประกอบด้วย เวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย เวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย และอัตราการเสีย (2) ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร ที่ประกอบด้วย อัตราการเดินเครื่อง ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง และอัตราคุณภาพ และ (3) ความสูญเสียที่เกิดจากเครื่องจักรหยุดทำงาน ผลการวิจัยพบว่า ภายหลังจากการปฏิบัติตามแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน ได้แก่แผนการบำรุงรักษารายวันด้วยการตรวจสอบรายการก่อนทำงานและทำความสะอาดหลังทำงาน แผนการบำรุงรักษารายสัปดาห์โดยการตรวจสอบและดำเนินงานด้านการหล่อลื่น และแผนการบำรุงรักษารายเดือนด้วยการเปลี่ยนอะไหล่ ผลการดำเนินงานตามแผนพบว่าประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ลูมิเนียมเพิ่มขึ้นทั้ง 3 ด้าน ได้แก่เครื่องจักรมีเวลาทำงานต่อเนื่องเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 3,227.50 นาที เวลาหยุดซ่อมเฉลี่ยลดลง 7.5 นาที และอัตราการเสียลดลงเหลือร้อยละ 0.000 เครื่องจักรมีค่าประสิทธิภาพโดยรวมเพิ่มขึ้นร้อยละ 12.64 ที่มาจากการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการเดินเครื่องที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.72 ค่าประสิทธิภาพการเดินเครื่องเพิ่มขึ้นร้อยละ 9.94 และค่าอัตราคุณภาพเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.37 โดยมีความสูญเสียที่เกิดจากเครื่องจักรหยุดลดลง 1,437.33 บาทต่อเดือน จำแนกเป็นค่าแรงทางตรงลดลง 226.88 บาท และค่าเสียโอกาสลดลง 1,210.45 บาท



คำสำคัญ: แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, ประสิทธิภาพการผลิต, ประสิทธิภาพของเครื่องจักร, ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร, ความสูญเสียจากเครื่องจักร

Abstract

The purpose of this research was to increase the production efficiency of venetian blinds sheet cutting machine of Sharp Point Co., Ltd. by preventive maintenance planning. The research was conducted by collecting working data of aluminum venetian blinds sheet cutting machine by using check sheet. Analyze the production efficiency of the machine, find the cause of the machine downtime, set the target, plan the maintenance, implement the plan, and measure the production efficiency in 3 areas: (1) Machine maintenance efficiency, including mean time between failures (MTBF), mean time to repair (MTTR), and failure rate (FR). (2) Overall equipment effectiveness (OEE), namely availability rate (A), performance efficiency (P), and quality rate (Q), and (3) Losses caused by machine downtime. The results showed that after implementing the preventive maintenance plan including daily maintenance plans by pre-work inspection and post-work cleaning, weekly maintenance plan by lubrication inspection and operation, and six-month maintenance plan by replacement parts. The performance according to the plan found that the production efficiency of the aluminum venetian blinds sheet cutting machine was increased in all 3 aspects, namely, mean time between failures increased by 3,227.50 minutes, mean time to repair was reduced by 7.5 minutes, and failure rate was reduced to 0.000%. The machine has an overall equipment effectiveness increase of 12.64%, which is caused by an increase in the availability rate of 2.72%, an increase in performance efficiency of 9.94%, and the quality rate of 0.37%. The losses caused by machine downtime decreased by 1,437.33 Baht per month, categorized as direct labor decreased by 226.88 Baht and opportunity cost decreased by 1,210.45 Baht.

Keywords: Preventive maintenance planning, Production efficiency, Equipment efficiency, Overall equipment effectiveness, Losses from machine

1. บทนำ

งานตัดเป็นการทำชิ้นงานให้มีขนาดตามที่ต้องการ เพื่อจะนำชิ้นงานไปใช้ในกิจกรรมต่อไป การตัดจึงเป็นกิจกรรมพื้นฐานของการผลิต ซึ่งเครื่องมือและเครื่องจักรสำหรับงานตัดมีความแตกต่างกันหลายประเภท ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ต้องการตัด ทั้งเหล็ก ไม้ กระเบื้อง อลูมิเนียม หรือปูนคอนกรีต เป็นต้น เครื่องจักรที่นำมาใช้เพื่องานตัดในระบบอุตสาหกรรม ต้องสามารถตัดวัสดุตามที่กำหนดให้ได้ชิ้นงานที่มีมาตรฐาน ทั้งขนาด ได้แก่ความกว้าง ความยาว และคุณภาพการตัด ที่เกิดจากความคมของใบตัด ดังนั้นเครื่องจักรที่ใช้เพื่อการตัดในงานอุตสาหกรรมจึงควรมีความแม่นยำและมีความรวดเร็วในการตัด ความเร็วและคุณภาพที่สมดุลของการทำงานของเครื่องตัดสามารถพิจารณาได้จากการทำงานของเครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง ไม่หยุดชะงักทั้งจากความบกพร่องของเครื่องจักรและจากผู้ใช้ปฏิบัติงาน รวมทั้งพิจารณาปริมาณของดีและของเสียที่เครื่องจักรผลิตได้ เครื่องจักรที่ใช้งานเพื่อการผลิตที่มีศักยภาพที่ดีจึงควรได้รับการออกแบบที่ได้มาตรฐาน มีความแม่นยำ เทียบตรง สามารถใช้ได้ตามวัตถุประสงค์ของเครื่องมือได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด มีความแข็งแรงทนทาน สามารถรองรับชั่วโมงในการทำงานได้เป็นเวลานาน ใช้งานได้อย่างเต็มขีดความสามารถ นอกจากนี้การให้ความสำคัญกับการบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์เป็นประจำจะช่วยยืดอายุการใช้งาน ลดความเสี่ยงต่อการชำรุดและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้ในระยะยาว (วินัย, 2555)

ประสิทธิภาพของการผลิตโดยเฉพาะการผลิตในระบบอุตสาหกรรมที่ต้องใช้เครื่องจักร มีความเกี่ยวข้องสัมพันธ์โดยตรงกับประสิทธิภาพและประสิทธิผลของการทำงานของเครื่องจักร ที่สามารถพิจารณาได้จากตัวบ่งชี้ที่สำคัญที่นิยมใช้ได้แก่ ค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall equipment effectiveness; OEE) รวมทั้งการพิจารณาประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร จากความน่าเชื่อถือและการตอบสนองของงานบำรุงรักษา (Maintenance responsible ability) ที่วัดสมรรถนะความเชื่อถือ (Reliability performance) ได้จากค่าระยะเวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย (Mean time between failures; MTBF) และพิจารณาสมรรถนะการบำรุงรักษา (Maintainability performance) ได้จากค่าระยะเวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย (Mean time to repair; MTTR)

การดำเนินงานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพของการผลิต เครื่องจักรมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลเป็นไปตามค่าเป้าหมายของตัวบ่งชี้ของเครื่องจักร จำเป็นต้องมีการออกแบบและวางแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรด้วยแผนงานที่เหมาะสม ร่วมกับการนำเทคนิควิธีการต่างๆ มาใช้ ดังเช่น การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance; PM) (รังสรรค์ และคณะ, 2563) การวางแผนการบำรุงรักษาด้วยตนเอง (Autonomous maintenance; AM) (อารดา และฤดี, 2562) การลดความสูญเสียจากเวลาหยุดเดินเครื่องจักรด้วยการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร โดยการค้นหาสาเหตุด้วย Why-Why analysis (พงษ์ณัฐ และปณัฏพร, 2563) ร่วมกับการระดมสมอง (Brainstorming) ก่อนนำสู่การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (บัณฑิต และคณะ, 2564;

สมชาย และคณะ, 2564) นอกจากนี้มีการใช้เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (7 QC tools) เพื่อวิเคราะห์ปัญหา นำมาสู่การปรับสมดุลของขั้นตอนการผลิต (Line balance) ปรับปรุงกระบวนการด้วยลีน (Lean) (เสขสัน และคณะ, 2563) ทั้งนี้ให้สอดคล้องตามสภาพการดำเนินงานของสถานประกอบการ สภาพของเครื่องจักร ลักษณะการผลิต เพื่อเป้าหมายเดียวกันคือค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเพิ่มสูงขึ้น

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventing maintenance; PM) เป็นรูปแบบการดูแลสภาพเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรม ด้วยการวางแผนในการตรวจสอบ การทำความสะอาด การซ่อมแซม รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ต่างๆ ตามเวลาที่กำหนดไว้ (อนุศักดิ์, 2558, น.16-22) โดยการพิจารณาช่วงเวลาที่เหมาะสมของเครื่องจักรแต่ละชนิดว่าควรดำเนินการสิ่งใดในช่วงระยะเวลาใด เช่น การบำรุงรักษาประจำวัน การบำรุงรักษาประจำสัปดาห์ การบำรุงรักษาประจำเดือน การบำรุงรักษาทุก 3 เดือน 6 เดือน หรือ 1 ปี เป็นต้น การดำเนินงานตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามระยะเวลาของแผนนี้ นอกจากช่วยลดปัญหาความขัดข้องระหว่างกระบวนการผลิตได้อย่างแม่นยำแล้ว จะช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรให้นานมากขึ้น ที่ส่งผลดีต่อกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น ช่วยลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความสูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงาน

บริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัด ตั้งอยู่ที่ 55/18-19 หมู่ที่ 5 ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม เป็นบริษัทที่ผลิตจำหน่ายและติดตั้งผ้า màn และมู่ลี่ ทั้งมู่ลี่ไม้และมู่ลี่อลูมิเนียม โดยบริษัทผลิตสินค้าตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ใช้เครื่องจักรร่วมกับคนในการผลิต การผลิตมู่ลี่ทั้งสองชนิดมีขั้นตอนการในผลิตที่เริ่มจากนำม้วนแผ่นมู่ลี่มาใส่เครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ ปรับตั้งขนาดตามคำสั่งซื้อของลูกค้า แล้วนำมาประกอบ กระบวนการผลิตดังกล่าวมีเครื่องจักรที่ใช้งานตลอดทั้งวัน วันละ 8 ชั่วโมง สัปดาห์ละ 5 วัน ได้แก่ เครื่องตัดแผ่นมู่ลี่อลูมิเนียม ที่มีสถิติการเสียหายและซ่อมบำรุงในระยะเวลา 2 เดือน (มิถุนายน-กรกฎาคม พ.ศ.2565) คือเครื่องจักรหยุด 5 ครั้ง รวมเวลาเครื่องจักรหยุดทำงาน 840 นาที หรือ 14 ชั่วโมงทำงาน โดยบริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัด มีการบำรุงรักษาเครื่องจักรหลังเหตุขัดข้อง (Breakdown maintenance) หรือซ่อมเครื่องจักรเมื่อเสีย

การนำแนวคิดการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมาใช้สำหรับเครื่องจักร กรณีศึกษาเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ของบริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัด โดยการทำแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรและดำเนินงานตามระยะเวลาของแผนที่กำหนดไว้ จะช่วยลดการหยุดการทำงานของเครื่องจักร ทำให้เครื่องจักรใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง นำสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตทั้งด้านประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ประสิทธิภาพของการบำรุงรักษา รวมทั้งการประหยัดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการหยุดการทำงานของเครื่องจักร

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ของบริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัด ด้วยการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 เครื่องจักรที่ใช้ในการศึกษาวิจัยได้แก่เครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ลูมิเนียม ของบริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัด ตั้งอยู่ที่ 55/18-19 หมู่ที่ 5 ตำบลบางระกำ อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม

3.2 ขั้นตอนวิจัย การดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการบำรุงรักษาเครื่องจักรของสถานประกอบการมีเทคนิควิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่แตกต่างกัน แต่ทั้งนี้เริ่มจากการศึกษาสภาพปัจจุบันของการดำเนินงานของเครื่องจักรด้วยการบันทึกข้อมูลหรือจากข้อมูลการผลิตที่สถานประกอบการจัดเก็บบันทึกไว้ ร่วมกับการศึกษาสภาพจริงตามหลักการ 3 จริ่ง (3 Gen) ได้แก่ สถานที่จริง (Genba) สิ่งที่เกิดขึ้นจริง (Genbutsu) และสถานการณ์จริง (Genjitsu) (Six sigma free training site, 2018) ก่อนนำสู่การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและประสิทธิผลการทำงานของเครื่องจักร (Efficiency and efficiency of machine) วางแผนการแก้ปัญหา (Planning) นำสู่การปฏิบัติ (Doing) ตรวจสอบ (Checking หรือ Studying) และกำหนดแนวทางปฏิบัติต่อ (Acting) สอดคล้องตามหลักวงจร PDCA (Shewhart cycle) หรือวงจร PDSA (Deming wheel) ซึ่งในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้มีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้

3.2.1 เก็บรวบรวมข้อมูลสภาพการทำงานของเครื่องจักร โดยการบันทึกเวลาเดินเครื่อง จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม เวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงาน สภาพหรือสาเหตุของการหยุดทำงาน จำนวนผลผลิตที่ดี เสีย และผลผลิตรวม บันทึกเป็นรายวัน นาน 1 เดือน โดยใช้ใบตรวจสอบ (Check sheet)

3.2.2 ค้นหาสาเหตุของปัญหาการหยุดทำงานของเครื่องจักร และวิเคราะห์ข้อมูล โดยการคำนวณหาประสิทธิภาพการผลิตจำนวน 3 ด้านประกอบด้วย

3.2.2.1 ประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร ได้แก่ค่าเวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย (Mean time between failures; MTBF) เวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย (Mean time to repair; MTTR) และอัตราการเสีย (Failure rate; FR)

3.2.2.2 ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall equipment effectiveness; OEE) ประกอบด้วย ค่าอัตราการเดินเครื่อง (Availability rate; A) ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance efficiency; P) และอัตราคุณภาพ (Quality rate; Q)

3.2.2.3 ความสูญเสียที่เกิดจากเครื่องจักรหยุดทำงาน ได้แก่ ค่าแรงทางตรง (Direct labor) และค่าเสียโอกาส (Opportunity cost)

3.2.3 ตั้งค่าเป้าหมายและทำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันร่วมกับพนักงานผู้ปฏิบัติงานประจำเครื่อง และพนักงานฝ่ายซ่อมบำรุง เพื่อให้ได้แผนการบำรุงรักษาเครื่องจักรตามช่วงเวลา ได้แก่ แผนการบำรุงรักษารายวัน รายสัปดาห์ และรายหกเดือน

3.2.4 ปฏิบัติตามแผน โดยนำแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันไปขออนุมัติจากเจ้าของบริษัท จากนั้นทบทวนขั้นตอนการบำรุงรักษาเครื่องจักรตามแผนร่วมกับพนักงานผู้ปฏิบัติงาน เพื่อให้สามารถดำเนินงานตามแผน และติดตามผลโดยการบันทึกการดำเนินงานตามแผน รวมทั้งเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรด้วยใบตรวจสอบ เป็นระยะเวลา 1 เดือน

3.2.5 วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่วิเคราะห์ประสิทธิภาพการผลิต และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องจักรก่อนและหลังการดำเนินงานตามแผนด้วยวิธีการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการทำงานของเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ลูมิเนียมในเดือนธันวาคม 2565 รวม 14 วันทำงาน พบว่าเครื่องจักรทำงานเวลา 09.00-17.00 นาฬิกา และมีเวลาเครื่องจักรหยุดตามแผน 1 ชั่วโมงต่อวัน เวลาบริการคือ 7 ชั่วโมงต่อวัน เครื่องจักรขัดข้องมีการหยุดซ่อมจำนวน 6 ครั้ง ใช้เวลาในการหยุดซ่อมรวม 195 นาที สาเหตุที่ทำให้เครื่องจักรหยุดทำงานจำนวน 5 สาเหตุ ได้แก่ (1) ใบมีดตัดแผ่นไม่คม (2) นอตหลุด (3) มอเตอร์ไม่ทำงาน (4) แผ่นติด และ (5) เครื่องสั้น เมื่อพิจารณาตามผลผลิตพบว่า เครื่องจักรผลิตชิ้นงานได้รวม 40,230 ชิ้น เป็นงานดี 40,067 ชิ้น และงานเสีย 163 ชิ้น หรือร้อยละ 0.41 ดังแสดงรายละเอียดของข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรตามตารางที่ 1 และผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเครื่องจักรหยุดทำงานตามตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรก่อนการดำเนินงานตามแผนบำรุงรักษา

วัน/เดือน/ปี	จำนวนหยุดซ่อม (ครั้ง)	เวลาที่หยุด (นาที)	เวลาเดินเครื่อง (นาที)	สาเหตุการหยุด	จำนวนที่ผลิตได้ (ชิ้น)	งานดี (ชิ้น)	งานเสีย (ชิ้น) (ร้อยละ)	เวลาการผลิต (นาที/ชิ้น)*
1/12/2565	1	20	400	ใบมีดไม่คม	2,470	2,420	50 (2.02)	0.17
2/12/2565	-	-	420	-	3,000	2,990	10 (0.33)	0.14
6/12/2565	1	30	390	เครื่องสั้น	2,550	2,540	10 (0.39)	0.16
7/12/2565	-	-	420	-	2,990	2,987	3 (0.10)	0.14
8/12/2565	-	-	420	-	3,000	2,985	15 (0.50)	0.14
9/12/2565	-	-	420	-	3,000	3,000	0 (0.00)	0.14
13/12/2565	1	40	380	นอตหลุด	2,650	2,640	10 (0.38)	0.16



วัน/เดือน/ปี	จำนวนหยุดซ่อม (ครั้ง)	เวลาที่หยุด (นาทีก)	เวลาเดินเครื่อง (นาทีก)	สาเหตุการหยุด	จำนวนที่ผลิตได้ (ชิ้น)	งานดี (ชิ้น)	งานเสีย (ชิ้น) (ร้อยละ)	เวลาการผลิต (นาทีก/ชิ้น)*
14/12/2565	-	-	420	-	2,795	2,790	5 (0.18)	0.15
15/12/2565	1	60	360	มอเตอร์ไม่ทำงาน	2,875	2,860	15 (0.52)	0.15
16/12/2565	-	-	420	-	3,000	2,995	5 (0.17)	0.14
19/12/2565	-	-	420	-	3,000	2,995	5 (0.17)	0.14
20/12/2565	1	30	390	เครื่องสั้น	2,980	2,975	5 (0.17)	0.14
21/12/2565	-	-	420	-	2,925	2,910	15 (0.51)	0.14
22/12/2565	1	15	405	แผ่นติด	2,995	2,980	15 (0.50)	0.14
รวม 14 วัน	6	195	5,685	5 สาเหตุ	40,230	40,067	163 (0.41)	0.15

หมายเหตุ: *เวลาการผลิต (Process takt time; T/T) = เวลารับภาระงาน/จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาเครื่องจักรหยุดทำงาน

ส่วนของเครื่องจักร	ปัญหา	สาเหตุ		
ตู้ควบคุม	-	-	-	
ส่วนขับเคลื่อน	แผ่นติด	เซนเซอร์ไม่ทำงาน	เบรกสายไฟชำรุด/เปราะขาด	
ส่วนตัด/เจาะ	ใบมีดไม่คม	ใช้งานมาก		
		ไม่ลับใบมีด	ไม่มีเกณฑ์/เวลากำหนด	
	เครื่องสั้น	ไม่มีอุปกรณ์ยึดเครื่องกับพื้น		
	นอตหลุด	นอตคลาย	เครื่องสั้น	
			ไม่ตรวจสอบ	
มอเตอร์ไม่ทำงาน	มอเตอร์ร้อน	พัดลมไม่ทำงาน		
	เศษวัสดุพันในมอเตอร์			

4.2 วิเคราะห์หาประสิทธิภาพการผลิตโดยการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร และค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรจากสูตรดังนี้

$$\text{เวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย (MTBF)} = \frac{\text{เวลาเดินเครื่อง}}{\text{จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม}} \quad (1)$$

$$\text{เวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย (MTTR)} = \frac{\text{เวลาที่เครื่องจักรหยุด}}{\text{จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม}} \quad (2)$$

$$\text{อัตราการเสีย (FR)} = 1 / \text{MTBF} \quad (3)$$

$$\text{ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE)} = \text{APQ} \quad (4)$$

$$A (\text{อัตราการเดินเครื่อง}) = \frac{\text{เวลาเดินเครื่อง}}{\text{เวลารับภาระงาน}} \quad (5)$$

$$P (\text{ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง}) = \frac{\text{เวลามาตรฐาน} \times \text{จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้}}{\text{เวลาเดินเครื่อง}} \quad (6)$$



$$Q \text{ (อัตราคุณภาพ)} = \frac{\text{จำนวนชิ้นงานดี}}{\text{จำนวนชิ้นงานทั้งหมด}} \quad (7)$$

ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการผลิต ด้านประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร พบว่าเครื่องตัดแผ่นมูลู่ลูมิเนียม มีค่าเวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย (MTBF) 947.50 นาที เวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย (MTTR) 32.5 นาที และอัตราการเสีย 0.001 สำหรับด้านประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) มีค่าเท่ากับร้อยละ 86.73 ที่ประกอบด้วยอัตราการเดินเครื่อง (A) ร้อยละ 96.68 ค่าประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P) ร้อยละ 90.06 และอัตราคุณภาพ (Q) ร้อยละ 99.59 ดังแสดงตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องจักรก่อนการดำเนินงานตามแผนบำรุงรักษา

วัน/เดือน/ปี	ด้านประสิทธิภาพการบำรุงรักษา*			ด้านประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร**			
	MTBF (นาที)	MTTR (นาที)	FR	A (%)	P (%)	Q (%)	OEE (%)
1/12/2565	400.00	20.00	0.003	95.24	78.59	97.98	73.33
2/12/2565				100.00	90.91	99.67	90.61
6/12/2565	605.00	25.00	0.003	92.86	83.22	99.61	76.97
7/12/2565				100.00	90.61	99.90	90.52
8/12/2565				100.00	90.91	99.50	90.45
9/12/2565				100.00	90.91	100.00	90.91
13/12/2565	950.00	30.00	0.003	90.48	88.76	99.62	80.00
14/12/2565				100.00	84.70	99.82	84.55
15/12/2565	907.50	37.50	0.003	85.71	100.00	99.48	85.27
16/12/2565				100.00	90.91	99.83	90.76
19/12/2565				100.00	90.91	99.83	90.76
20/12/2565	972.00	36.00	0.003	92.86	97.25	99.83	90.15
21/12/2565				100.00	88.64	99.49	88.18
22/12/2565	947.50	32.50	0.002	96.43	94.12	99.50	90.30
โดยรวม	947.50	32.50	0.001	96.68	90.06	99.59	86.73

หมายเหตุ: *คิดเวลาสะสมถึงเครื่องจักรหยุดซ่อม

**จำนวนการผลิตมาตรฐานเท่ากับ 3,300 ชิ้นต่อวัน

4.3 ตั้งเป้าหมายประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องจักร โดยกำหนดเป้าหมายให้การหยุดของเครื่องจักรไม่เกิน 1 ครั้งในการทำงานต่อเนื่อง 2 สัปดาห์ (10 วันทำงาน) หรือเดือนละไม่เกิน 2 ครั้ง มีเวลาการซ่อมต่อครั้งไม่เกิน 20 นาที และมีค่าประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรสูงขึ้น ดังแสดงค่าเป้าหมายตามตารางที่ 4 และแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร ดังแสดงตามตารางที่ 5

ตารางที่ 4 แสดงค่าเป้าหมายประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องจักร

ด้านประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร	ค่าปัจจุบัน	ค่าเป้าหมาย
เวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย (MTBF) (นาที)	947.50	4,200
เวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย (MTTR) (นาที)	32.50	20.00
อัตราการเสีย (FR)	0.001	0.000
ด้านประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร		
ประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) (ร้อยละ)	86.73	99.50
อัตราการเดินเครื่อง (ร้อยละ)	96.68	99.50
ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (ร้อยละ)	90.06	100.00
อัตราคุณภาพ (ร้อยละ)	99.59	100.00

4.4 ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลการทำงานของเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ลูมิเนียมในเดือนมกราคม 2566 รวม 20 วันทำงาน พบว่าเครื่องจักรมีเวลารับภาระ 7 ชั่วโมงต่อวัน เครื่องจักรหยุดซ่อมจำนวน 2 ครั้ง ใช้เวลาในการหยุดซ่อมรวม 50 นาที โดยมีสาเหตุที่ทำให้เครื่องจักรหยุดทำงานจากแผ่นติดเมื่อพิจารณาตามผลผลิตพบว่า เครื่องจักรผลิตชิ้นงานได้ 65,832 ชิ้น เป็นชิ้นงานดีจำนวน 65,807 ชิ้น และชิ้นงานเสียจำนวน 25 ชิ้น หรือร้อยละ 0.04 แสดงรายละเอียดของข้อมูลการผลิตหลังการดำเนินงานตามแผนบำรุงรักษาตามตารางที่ 6

ตารางที่ 5 แสดงแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่อลูมิเนียม

SHARP POINT		แผนการบำรุงรักษา		เครื่องจักร: เครื่องตัดแผ่นมู่ลี่อลูมิเนียม		
		บริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัด		ผู้รับผิดชอบ: พนักงานประจำเครื่อง		
				A ตู้ควบคุม B ส่วนขับเคลื่อน B1 มอเตอร์ B2 สายพาน B3 แขนหมุนปรับตั้งแผ่น C ส่วนตัด/เจาะ C1 ใบมีด C2 นอต C3 แขนหมุนปรับความยาวแผ่น		
ความถี่		กิจกรรม	ตำแหน่ง	วิธีการ		
1/D	1/W				6/M	
✓		ทำความสะอาดหลังทำงาน	B1 มอเตอร์		เช็ดทำความสะอาด	
✓		ตรวจสอบก่อนทำงาน	C1 ใบมีด		ความคมของใบมีด	
✓			C2 นอต		ความแน่นของเกลียวนอต	
✓			B3, C3 แขนหมุนปรับ	C3	ปรับแต่งระยะความยาวแผ่น/ระยะเจาะแผ่น	
	✓	หล่อลื่น	B3, C3 แขนหมุนปรับ	B3	หยอดจารบี	
	✓		C1 ใบมีด		ทาน้ำมันกันสนิม	
		✓	เปลี่ยนอะไหล่	B2 สายพาน		เปลี่ยนสายพาน



ตารางที่ 6 ข้อมูลการทำงานของเครื่องจักรหลังการดำเนินงานตามแผนบำรุงรักษา

วัน/เดือน/ปี	จำนวนหยุดซ่อม (ครั้ง)	เวลาที่หยุด (นาทีก)	เวลาเดินเครื่อง (นาทีก)	สาเหตุการหยุด	จำนวนที่ผลิตได้ (ชิ้น)	งานดี (ชิ้น)	งานเสีย (ร้อยละ)	เวลาการผลิต (นาทีก/ชิ้น)*
4/01/2566	-	-	420	-	3,200	3,195	5 (0.16)	0.13
5/01/2566	1	20	400	แผ่นติด	3,190	3,190	0 (0.00)	0.13
6/01/2566	-	-	420	-	3,650	3,646	4 (0.11)	0.12
9/01/2566	-	-	420	-	2,983	2,983	0 (0.00)	0.14
10/01/2566	-	-	420	-	3,284	3,280	4 (0.12)	0.13
11/01/2566	-	-	420	-	3,150	3,150	0 (0.00)	0.13
12/01/2566	-	-	420	-	3,201	3,201	0 (0.00)	0.13
13/01/2566	-	-	420	-	3,544	3,544	0 (0.00)	0.12
16/01/2566	-	-	420	-	2,759	2,759	0 (0.00)	0.15
17/01/2566	1	30	390	แผ่นติด	3,688	3,680	8 (0.22)	0.11
18/01/2566	-	-	420	-	3,976	3,976	0 (0.00)	0.11
19/01/2566	-	-	420	-	3,685	3,685	0 (0.00)	0.11
20/01/2566	-	-	420	-	3,224	3,224	0 (0.00)	0.13
23/01/2566	-	-	420	-	3,189	3,185	4 (0.13)	0.13
24/01/2566	-	-	420	-	2,998	2,998	0 (0.00)	0.14
25/01/2566	-	-	420	-	3,054	3,054	0 (0.00)	0.14
26/01/2566	-	-	420	-	3,100	3,100	0 (0.00)	0.14
27/01/2566	-	-	420	-	3,223	3,223	0 (0.00)	0.13
30/01/2566	-	-	420	-	3,412	3,412	0 (0.00)	0.12
31/01/2566	-	-	420	-	3,322	3,322	0 (0.00)	0.13
รวม 20 วัน	2	50	8,350	1 สาเหตุ	65,832	65,807	25 (0.04)	0.13

หมายเหตุ: *เวลาการผลิต (Process takt time; T/T) = เวลารับภาระงาน/จำนวนชิ้นงานที่ผลิตได้

4.5 ผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการผลิต ด้านประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักรพบว่าเครื่องตัดแผ่นมัลติลูมิเนียม มีค่าเวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย (MTBF) 4,175 นาทีก เวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย (MTTR) 25 นาทีก และอัตราการเสีย 0.000 สำหรับด้านประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) มีค่าเท่ากับร้อยละ 99.37 ที่ประกอบด้วยค่าอัตราการเดินเครื่อง (A) ร้อยละ 99.40 ค่าประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P) ร้อยละ 100.00 และอัตราคุณภาพ (Q) ร้อยละ 99.96 ดังแสดงตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องจักรหลังการดำเนินงานตามแผนบำรุงรักษา

วัน/เดือน/ปี	ด้านประสิทธิภาพการบำรุงรักษา*			ด้านประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร**			
	MTBF (นาทีก)	MTTR (นาทีก)	FR	A (%)	P (%)	Q (%)	OEE (%)
4/01/2566				100.00	96.97	99.84	96.82
5/01/2566	820.00	20.00	0.003	95.24	100.00	100.00	95.24
6/01/2566				100.00	100.00	99.89	99.89
9/01/2566				100.00	90.39	100.00	90.39
10/01/2566				100.00	99.52	99.88	99.39
11/01/2566				100.00	95.45	100.00	95.45
12/01/2566				100.00	97.00	100.00	97.00
13/01/2566				100.00	100.00	100.00	100.00
16/01/2566				100.00	83.61	100.00	83.61
17/01/2566	2075.00	25.00	0.003	92.86	100.00	99.78	92.66
18/01/2566				100.00	100.00	100.00	100.00
19/01/2566				100.00	100.00	100.00	100.00
20/01/2566				100.00	97.70	100.00	97.70
23/01/2566				100.00	96.64	99.87	96.52
24/01/2566				100.00	90.85	100.00	90.85
25/01/2566				100.00	92.55	100.00	92.55
26/01/2566				100.00	93.94	100.00	93.94
27/01/2566				100.00	97.67	100.00	97.67
30/01/2566				100.00	100.00	100.00	100.00
31/01/2566				100.00	100.00	100.00	100.00
รวม	4,175.00	25.00	0.000	99.40	100.00	99.96	99.37

หมายเหตุ: *คิดเวลาสะสมถึงเครื่องจักรหยุดซ่อม **จำนวนการผลิตมาตรฐานเท่ากับ 3,300 ชิ้นต่อวัน

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่อลูมิเนียมก่อนและหลังการดำเนินงานตามแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันแสดงตามตารางที่ 8 และตารางที่ 9

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่อลูมิเนียมก่อนและหลังการดำเนินงานตามแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

ด้านประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร	ก่อน	เป้าหมาย	หลัง
เวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย (MTBF) (นาทีก)	947.50	4,200	4,175
เวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย (MTTR) (นาทีก)	32.50	20.00	25.00

ด้านประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร	ก่อน	เป้าหมาย	หลัง
อัตราการเสีย (FR)	0.001	0.000	0.000
ด้านประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร	ก่อน	เป้าหมาย	หลัง
ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) (ร้อยละ)	86.73	99.50	99.37
อัตราการเดินเครื่อง (ร้อยละ)	96.68	99.50	99.40
ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (ร้อยละ)	90.06	100.00	100.00
อัตราคุณภาพ (ร้อยละ)	99.59	100.00	99.96

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบความสูญเสียจากเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่อลูมิเนียมหยุดทำงาน ก่อนและหลังการดำเนินงานตามแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

	ก่อน	หลัง
ระยะเวลาการผลิต (วัน)	14	20
จำนวนเวลาการผลิต (ชั่วโมง)	94.75	139.17
จำนวนผลผลิต (ชิ้น/ชั่วโมง)	424.59	437.03
ระยะเวลาการหยุดซ่อม (ชั่วโมง)	3.25	0.83
ค่าแรง (บาทต่อชั่วโมง)	93.75	93.75
ราคาวัตถุดิบ (บาท/ชิ้น)	1.19	1.19
ค่าแรงทางตรง* (บาท)	304.69	77.81
ค่าเสียโอกาส** (บาท)	1,642.10	431.65
รวมค่าความสูญเสียจากเครื่องจักรหยุดทำงาน (บาท/เดือน)	1,946.79	509.46

หมายเหตุ: *ค่าแรงทางตรง (Direct labor) = เวลาหยุดซ่อม x ค่าแรง

**ค่าเสียโอกาส (Opportunity cost) = เวลาหยุดซ่อม x จำนวนผลิต x ราคาวัตถุดิบ

5. อภิปรายผลและสรุปผล

5.1 อภิปรายผลการวิจัย

จากผลการวิจัยพบว่า การดำเนินงานตามแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน แม้จะไม่บรรลุตามค่าเป้าหมายที่กำหนดทั้งด้านประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเครื่องจักร และด้านประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในภาพรวม แต่ทั้งนี้พบว่า มีประสิทธิภาพการผลิตสูงขึ้นที่มาจาก การเพิ่มขึ้นของเวลาการเดินเครื่องต่อเนื่อง จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม และเวลาการหยุดเครื่องจักรเพื่อซ่อมลดลง รวมทั้งประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) มีค่าเพิ่มขึ้นทุกส่วน (อัตราการเดินเครื่อง ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง และอัตราคุณภาพ) ซึ่งล้วนมาจากการลดเวลาของการหยุดทำงานของเครื่องจักร โดยพบว่า เวลาเครื่องจักรหยุด (Downtime) คิดเป็นร้อยละ 3.43 ของเวลาเดินเครื่อง (Operating time)



ก่อนการดำเนินงานตามแผนการบำรุงรักษา ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 0.60 หลังการดำเนินงานตามแผน

จึงกล่าวได้ว่าการขาดการกำหนดแผนงานสำหรับการซ่อมและบำรุงรักษา (Rack of maintenance strategy) ส่งผลให้เกิดการเสียหายหรือการหยุดทำงานของเครื่องจักรแบบไม่พึงประสงค์ (Efficiency & Downtime) และเป็นผลให้สถานประกอบการสูญเสียเงินและโอกาสในการผลิต โดยจตุรงค์ และปณิทัพร (2565) พบว่าการลดเวลาจากการหยุดเดินเครื่องจักรโดยไม่ได้วางแผนล่วงหน้าได้ร้อยละ 48.74 สามารถลดต้นทุนความสูญเสียได้ร้อยละ 67.68 นอกจากนี้ เคธี (Kathy, 2005) ได้ศึกษาจากสถานประกอบการหลายแห่งแล้วพบว่าหากมีการบำรุงรักษาที่ดีจะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้ร้อยละ 10-30 ที่มาจากเวลาที่สูญเสีย ปริมาณผลผลิตที่ลดลง ค่าแรงงานในช่วงเวลาดังกล่าว รวมทั้งค่าอะไหล่ที่ต้องเปลี่ยน

แม้การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective maintenance; CM) ที่เป็นการบำรุงรักษาที่ไม่ได้กำหนดเวลาล่วงหน้า มีการดำเนินการแก้ไขทันทีที่เครื่องจักรหยุดทำงาน จะเป็นวิธีการที่สามารถใช้ประโยชน์จากอายุการใช้งานสูงสุดของส่วนประกอบต่างๆ ของเครื่องจักร และง่ายที่สุดในการดำเนินการเกี่ยวกับการบำรุงรักษา แต่เป็นวิธีที่ค่าใช้จ่ายสูงที่สุด ประกอบกับหลักการพื้นฐานในการผลิตที่ไม่มีสถานประกอบการใดต้องการให้เกิดการหยุดชะงักของการดำเนินงาน สถานประกอบการส่วนมากจึงเลือกใช้การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance; PM) ซึ่งเป็นวิธีการเชิงรุกที่มีกำหนดแผนการซ่อมบำรุงและดำเนินการตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ล่วงหน้าเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความล้มเหลวในอนาคต (Mobley, 2002)

จากผลการวิจัยที่ใช้ค่าระยะเวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย (MTBF) และค่าเวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย (MTTR) เป็นดัชนีวัดความน่าเชื่อถือของการบำรุงรักษา ซึ่งพบว่ามีกรณีนำไปใช้สำหรับเครื่องจักรหลากหลายชนิดทั้งในระบบอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ เช่น สายพานลำเลียง (สมชาย และคณะ, 2564) เครื่องพ่นสีดีสก์เบรกในสายการผลิตผ้าเบรก (ประเสริฐ และประจวบ, 2563) เป็นต้น และอุตสาหกรรมขนาดกลาง เช่น เครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติในกระบวนการผลิตเบาะรถยนต์ (บัณฑิต และคณะ, 2564) เครื่องจักรเพื่อการเกษตร (รังสรรค์ และคณะ, 2563) เป็นต้น รวมทั้งการให้ข้อเสนอแนะสำหรับการใช้หาความเชื่อมั่นของระบบซอฟต์แวร์ด้วยการลดเวลาการแก้ไขเมื่อหยุดการทำงาน (Time interval between failures) (Patel, 2021)

นอกจากการหยุดทำงานของเครื่องจักรแบบไม่พึงประสงค์ และการตอบสนองต่องานซ่อมแล้ว ยังมีตัวแปรสำคัญที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของเครื่องจักรและงานบำรุงรักษาที่สถานประกอบการพึงพิจารณาเพื่อนำสู่การปรับปรุงได้แก่ การจัดการประเภทของใบงานซ่อม (Maintenance work order management) ประสิทธิภาพและอายุการใช้งานเครื่องจักร (Asset life cycle & performance) ค่าใช้จ่ายในงานซ่อมและการบำรุงรักษา (Maintenance cost and



budget) รวมทั้งการวิเคราะห์สาเหตุของความบกพร่องและผลกระทบ (Failure mode and effect analysis; FMEA) ทั้งนี้เพื่อนำข้อมูลที่ได้ศึกษามาสู่การวางแผนการบำรุงรักษาอย่างครอบคลุม

5.2 สรุปผลการวิจัย

การทำแผนบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงป้องกัน โดยกำหนดให้มีการตรวจสอบและทำความสะอาดเครื่องจักรและอุปกรณ์ตามรอบเวลาประกอบด้วยแผนระยะสั้น (รายวัน รายสัปดาห์) และแผนระยะปานกลาง (6 เดือน) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตของเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ของบริษัทชาร์ป พ้อยท์ จำกัด ดังนี้

5.2.1 เครื่องจักรมีจำนวนครั้งที่หยุดซ่อมลดลงจาก 6 ครั้ง เหลือ 2 ครั้ง ใช้เวลาหยุดซ่อมลดลงจาก 195 นาที เหลือ 50 นาที เครื่องจักรผลิตชิ้นงานได้เพิ่มมากขึ้นจาก 40,230 ชิ้น เป็น 65,832 ชิ้น โดยมีร้อยละของชิ้นงานเสียลดลงจากร้อยละ 0.41 เหลือร้อยละ 0.04

5.2.2 การบำรุงรักษาเครื่องจักรมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น โดยมีเวลาของเครื่องจักรต่อเนื่องเฉลี่ย (MTBF) เพิ่มขึ้น 3,227.50 นาที เวลาหยุดซ่อมเฉลี่ย (MTTR) ลดลง 7.5 นาที และอัตราการเสียลดลง (FR) เหลือ 0.000

5.2.3 เครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ลูมิเนียรมีค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (OEE) เพิ่มขึ้นร้อยละ 12.64 ค่าอัตราการเดินเครื่อง (A) เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.72 ค่าประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (P) เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.94 และค่าอัตราคุณภาพ (Q) เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.37

5.2.4 ความสูญเสียจากเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ลูมิเนียรมียุทธทำงานลดลง 1,437.33 บาทต่อเดือน โดยการสูญเสียค่าแรงทางตรงลดลง 226.88 บาท และค่าเสียโอกาสลดลง 1,210.45 บาท

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ผลการใช้แผนการบำรุงรักษาพบว่า อัตราการเดินเครื่องเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นค่าที่แสดงความพร้อมของเครื่องจักรในการทำงานที่มีผลกระทบจากเวลาที่สูญเสียเนื่องจากเครื่องจักรไม่ได้ทำงานหรือเวลาหยุดที่ไม่ได้วางแผนไว้ (Downtime loss หรือ Shutdown losses) ซึ่งเครื่องตัดแผ่นมู่ลี่ลูมิเนียรมียุทธทำงานจากสาเหตุเครื่องจักรขัดข้อง (Breakdowns) และหยุดจากการปรับแต่งเครื่องจักร (Setup and adjustments) เป็นส่วนมาก ที่มีสาเหตุแรกเริ่มหรือสาเหตุรากเหง้า (Root causes) มาจากการเปลี่ยนอุปกรณ์และอะไหล่ เช่น สายไฟ ไบมีด เป็นต้น ในระยะเวลาที่เหมาะสม ดังนั้นสำหรับเครื่องจักรชนิดอื่นในสายการผลิตบริษัทสามารถค้นหาสาเหตุเพื่อนำสู่การวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่เหมาะสมได้ หรืออาจพิจารณาใช้แนวทางการบำรุงรักษาลักษณะอื่นที่เหมาะสม เช่น การบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition based maintenance; CBM) การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective maintenance) การบำรุงรักษาด้วยตนเอง 7 ขั้นตอน เป็นต้น

นอกจากนี้บริษัทควรพิจารณาและเก็บข้อมูลการหยุดชะงักเพียงเล็กน้อยที่เกิดจากพนักงาน บ่อนชิ้นงานไม่ต่อเนื่อง แม้เครื่องจักรไม่หยุดทำงานแต่การขาดวัตถุดิบป้อนเข้าเครื่องทำให้เครื่องเดิน เปล่าในระยะเวลาสั้นๆ เป็นการสูญเสียประสิทธิภาพ (Performance loss หรือ Capacity losses) ซึ่งเป็นสมรรถนะการทำงานของเครื่องจักร

6.2 แม้ผลการดำเนินงานตามแผนการบำรุงรักษาจะพบว่าอัตราคุณภาพเพิ่มขึ้น แต่ทั้งนี้ยังพบ ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ซึ่งอัตราคุณภาพเป็นความสามารถในการผลิตของดีตรงตาม ข้อกำหนดของเครื่องจักร การสูญเสียด้านคุณภาพ (Quality losses หรือ Yield losses) ที่เกิดขึ้น แล้วทำให้อัตราการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบต่ำ มีสาเหตุมาจากความสูญเสียเนื่องจากชิ้นงานเสีย (Defects) งานซ่อม (Rework) และความสูญเสียช่วงเริ่มต้นการผลิต (Startup loss) เป็นโอกาสที่ บริษัทจะค้นหาและแก้ไขต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานและการเผยแพร่งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากสาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา และบริษัทชาร์ปพ้อยท์ จำกัด

8. เอกสารอ้างอิง

- จตุรงค์ สันพลี, และปณิตพร เรืองเชิงชุม. (2565). การลดความสูญเสียที่เกิดจากการหยุดเดิน เครื่องจักรโดยไม่ได้วางแผนล่วงหน้าในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนเพลลา ด้วยการวัดประสิทธิผล โดยรวม. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 33(2), 1-13.
- บัณฑิต อินทรีย์มีศักดิ์, ภูมิ จาตุณินานนท์, และวรวิมล กังหัน. (2564). การบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิง ป้องกัน กรณีศึกษา: บริษัทผลิตเบาะรถยนต์. *SAU Journal of Science & Technology*, 7(1), 1-14.
- ประเสริฐ บุญรอด, และประจวบ กล่อมจิตร. (2563). การเพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษา กระบวนการพ่นสีฝุ่นในโรงงานผลิตผ้าเบรก. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชวมงคลธัญบุรี*, 18(1), 1-12.
- พงษ์ณัฐ สุทธิกุลสมบัติ, และปณิตพร เรืองเชิงชุม. (2563). การลดความสูญเสียจากเวลาหยุดเดิน เครื่องจักรด้วยการปรับปรุงประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรและควบคุมอัตราความเร็วใน กระบวนการพิมพ์แบบออฟเซ็ท. *วารสารการบัญชีและการจัดการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*, 12(3), 143-156.

- รังสรรค์ ไชยเชษฐ์, ประภากรณ์ แสงวิจิตร, และชฎาภรณ์ แสงตามี. (2563). การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษา สหกรณ์การเลี้ยงปลุสสัตว์ กรป.กลางโพนยางคำ จำกัด. **วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ.**, 14(1), 79-89.
- วินัย เวชวิทยาขลัง. (2555). **ระบบบำรุงรักษาเครื่องจักรเชิงปฏิบัติ**. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนดีอี.
- สมชาย เปரியพรม, สุชาติ อ่างสุข, และวรรณลภย์ อนันตเจริญโชติ. (2564). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตด้วยการวางแผนการบำรุงรักษา: กรณีศึกษาเครื่องจักรสายพานลำเลียงภายในห้องรับ-จ่ายวัตถุดิบ. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**, 31(2), 201-215.
- เสขสัน นาคพ่วง, ศักดิ์ชาย รักการ, และจิรววัฒน์ ปล้องใหม่. (2563). การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตเครื่องตีผสมปูนไฟร. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 10(2), 131-147.
- อนุศักดิ์ ฉินไพศาล. (2558). **งานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน**. กรุงเทพฯ: วีพรีนธ์ (1991).
- อารดา โพธิ์อ่อน, และฤดี มาสุจน์ท์. (2562). การวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเพื่อลดของเสียในกระบวนการผลิตสายไฟตัวนำทองแดง: กรณีศึกษาบริษัทผลิตสายไฟ. **วิศวกรรมลาดกระบัง**, 36(2), 1-8.
- Kathy. (2005). Cost budgeting and control for maintenance. **Efficient Plant** (Digital Issues), 18(7). Retrieved from <https://www.efficientplantmag.com/2005/09/cost-budgeting-and-control-for-maintenance/>
- Mobley, R.K. (1943). **An introduction to predictive maintenance** (2nd ed.). Woburn, MA: Elsevier Science.
- Patel, K. (2021). Literature review on software reliable metrics. **International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)**, 9(5), 407-410.
- Six Sigma Free Training Site. (2018). **Gemba, Gembutsu, Genjitsu-The 3G of Kaizen**. Retrieved from <https://www.sixsigmatrainingfree.com/six-sigma-blog/gemba-gembutsu-genjitsu>



การศึกษามาตรการลดความเร็วบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12
กรณีศึกษา แยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน จังหวัดพิษณุโลก
STUDY OF SPEED REDUCTION MEASURES: CASE STUDY ON
NATIONAL HIGHWAY NO. 12, BAN KRANG INTERSECTION –
INDOCHINA INTERSECTION, PHITSANULOK PROVINCE

ดลยฤทธิ์ เสถียรสุวชะ, ศุจินธร ทรงสิทธิเดช*, วรณิกา ชันคำนันต์ตะ

Donyarit Settasuwacha, Suchinthorn Songsittidet*, Wannika Kancomnanta

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

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

*Corresponding author e-mail: suchinthorn.s@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 5 มีนาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 18 กรกฎาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 16 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพมาตรการลดความเร็วยานพาหนะตามกฎหมายกำหนดบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ช่วงทางแยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน จังหวัดพิษณุโลก ที่ควบคุมความเร็ว 80 กม./ชม. ผ่านตัวเมืองระยะทาง 14.5 กม. ผู้วิจัยคัดเลือกตำแหน่งการเก็บข้อมูล 4 จุด ได้แก่ จุดที่ 1 กม. 225 – กม. 228, จุดที่ 2 กม. 228 – กม. 233, จุดที่ 3 กม. 233 – กม. 237, และ จุดที่ 4 กม. 237 – กม. 240 โดยสัมพันธ์กับการกำหนดมาตรการลดความเร็ว 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) บ้ายเตือน 2) กล้องจับความเร็ว และ 3) เส้นชะลอความเร็วพร้อมสัญญาณเตือนยานพาหนะตำแหน่งละ 6 ชั่วโมง นอกชั่วโมงเร่งด่วน ผลที่ได้จากการศึกษา พบว่า ผู้ขับขี่ยานพาหนะส่วนใหญ่ใช้ความเร็วเกินกว่ากฎหมายกำหนดทั้งสองทิศทาง โดยทิศทาง A (แยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน) ผู้ขับขี่ใช้ความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ใกล้เคียงเท่ากับ 85.3 กม./ชม., 79.4 กม./ชม., 86.2 กม./ชม., และ 85.1 กม./ชม. ตามลำดับ ส่วนทิศทาง B (แยกอินโดจีน – แยกบ้านกร่าง) เท่ากับ 89.5 กม./ชม., 80.0 กม./ชม., 86.5 กม./ชม., และ 85.2 กม./ชม. ตามลำดับ ซึ่งมีเพียงจุดที่ 2 รูปแบบกล้องจับความเร็วเท่านั้นที่ผู้ขับขี่ใช้ความเร็วตามกฎหมายกำหนด ผู้วิจัยจึงเสนอแนะให้แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือมีส่วนในการรับผิดชอบด้านความปลอดภัยทางถนนปรับปรุงรูปแบบมาตรการลดความเร็วบนถนนใหม่เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการเดินทางและทำให้ผู้ขับขี่ปฏิบัติตามความเร็วที่จำกัดต่อไป

คำสำคัญ: มาตรการลดความเร็ว, พฤติกรรมการขับขี่, อุบัติเหตุทางถนน, ความปลอดภัยทางถนน

Abstract

This research aims to study the efficiency of vehicle speed reduction measures according to the law on National Highway No. 12, from Ban Krang Intersection - Indochina Intersection, Phitsanulok Province at a speed limit of 80 km/h through the city, a distance of 14.5 km. There are 4 data collection locations, namely, point 1 at km. 225 – km. 228, point 2 km. 228 – km. 233, point 3 km. 233 – km. 237, and point 4 km. 237 – km. 240 which related to the determination of 3 types of speed reduction measures, namely 1) warning signs, 2) speed cameras, and 3) rumble strips with warning signs for off- peak 6 hours per day. The results of the study found that the majority of motorists used the speed limit in both directions. In the direction A (Ban Krang Intersection - Indochina Intersection), drivers used the 85th percentile speed, equal to 85.3 km/h, 79.4 km/h, 86.2 km/h, and 85.1 km/h, respectively, for direction B (Indochina Intersection - Ban Krang Intersection) is equal to 89.5 km/h, 80.0 km/h, 86.5 km/h, and 85.2 km/h, respectively, with only in point 2 (speed camera) where drivers follow the speed limit. The researcher therefore recommends those involved or responsible for road safety to develop a new road speed reduction measure to enhance travel safety and make drivers comply with the speed limit.

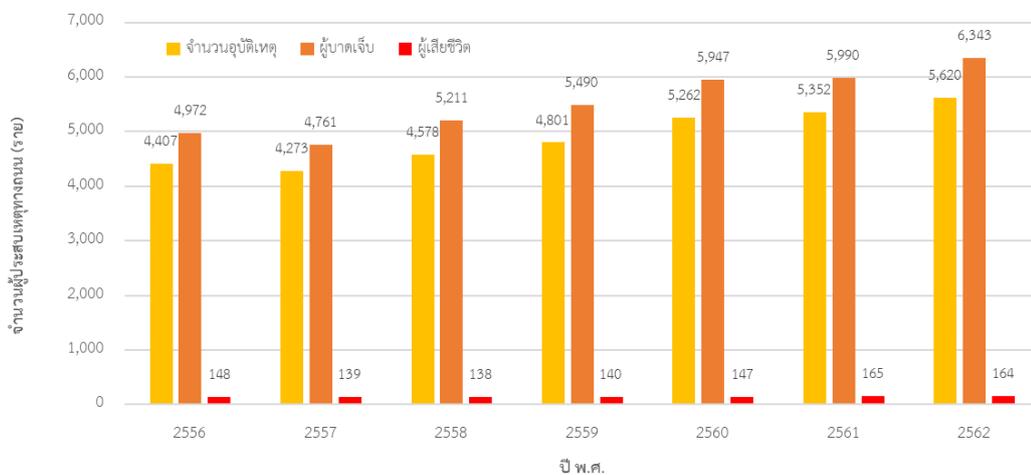
Keywords: Speed reduction measures, Driving behavior, Road accident, Road safety

1. บทนำ

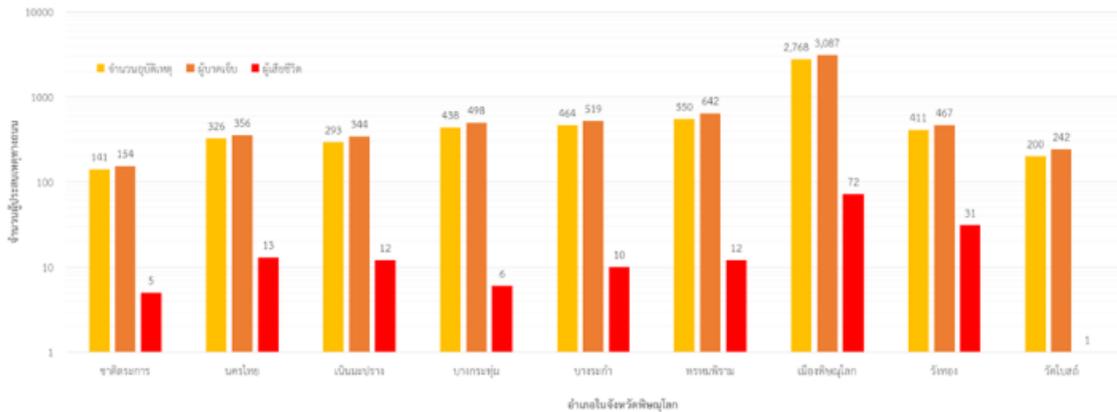
จากรายงานสถานการณ์ความปลอดภัยทางถนนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ขององค์การอนามัยโลก พบว่า ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้มีสถิติจำนวนการเสียชีวิตจากการเกิดอุบัติเหตุทางถนนปีละประมาณ 316,000 ราย หรือคิดเป็น 25% ของการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุจากรถทางถนนของโลก (World health organization, 2012) โดยรายงานดังกล่าวได้ระบุว่าประเทศไทยมีอัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนน 36.2 ต่อประชากร 100,000 คน ซึ่งเป็นประเทศที่มีความสูญเสียสูงที่สุดในภูมิภาคเอเชีย และถูกจัดเป็นอันดับ 2 ของโลกจากรายงานขององค์การอนามัยโลกปี พ.ศ. 2558 ต่อจากประเทศลิเบียที่มีอัตราการเสียชีวิต 73.4 ต่อประชากร 100,000 คน (World health organization, 2015) อย่างไรก็ตามในปี พ.ศ. 2561 สถานการณ์ความรุนแรงดังกล่าวดูเหมือนจะทางถนนในประเทศไทยดูเหมือนจะดีขึ้นในภาพรวม โดยองค์การอนามัยโลกได้ออกรายงานสถานการณ์โลกด้านความปลอดภัยทางถนนปี 2018 จัดอันดับประเทศด้านความปลอดภัยทางถนนใหม่อยู่ในอันดับที่ 9 มีจำนวนผู้เสียชีวิตบนถนนประมาณ 22,491 คน ลดจากรายงานฉบับก่อนประมาณ

2,000 คน ซึ่งประมาณการผู้เสียชีวิตอยู่ที่ 32.7 ต่อประชากร 100,000 คน (60 คนต่อวัน) แต่ประเทศไทยยังคงเป็นประเทศที่มีผู้เสียชีวิตบนถนนสูงที่สุดอันดับหนึ่งในเอเชียและในอาเซียน (World health organization, 2018)

จังหวัดพิษณุโลก เป็นจุดสี่แยกอินโดจีนที่เป็นการตัดกันของระเบียงเศรษฐกิจเหนือ – ใต้ และ ตะวันออก – ตะวันตก ของโครงการความร่วมมือพัฒนาภูมิภาคกลุ่มน้ำโขง GMS (ระหัดร, 2563) เชื่อมโยงโครงสร้างพื้นฐานระบบคมนาคมขนส่ง ทางบก ทางราง และทางอากาศ (ชูลีพร, 2556) ทำให้จังหวัดพิษณุโลกมีปริมาณการจราจรบนทางหลวงแผ่นดินเพิ่มขึ้นในทุกปี (กรมทางหลวง, 2562) ซึ่งอาจนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุทางถนนที่เพิ่มขึ้น จากสถิติการเกิดอุบัติเหตุทางถนนปี พ.ศ. 2556 – พ.ศ. 2562 พบว่า จังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดที่มีสถิติการเกิดอุบัติเหตุทางถนนติดหนึ่งในสิบจังหวัด ของประเทศไทย ซึ่งโดยเฉลี่ยมีการเกิดอุบัติเหตุทางถนนปีละ 4,665 ครั้ง บาดเจ็บ 5,276 รายต่อปี และเสียชีวิต 143 รายต่อปี (บริษัทกลางผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด, 2563) ดังภาพที่ 1 และเมื่อเปรียบเทียบสถานการณ์การเกิดอุบัติเหตุทางถนนรายอำเภอจะ พบว่า อำเภอเมืองพิษณุโลก มี จำนวนการเกิดอุบัติเหตุทางถนนสูงสุด 2,402 ครั้ง มีจำนวนผู้บาดเจ็บ 2,736 ราย และมีผู้เสียชีวิต 48 ราย ซึ่งแสดงในรูปแบบ Logarithmic scale ฐาน 10 ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 สถิติการอุบัติเหตุทางถนนในจังหวัดพิษณุโลก
(บริษัทกลางผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด, 2563)



ภาพที่ 2 สถิติการเกิดอุบัติเหตุทางถนนจำแนกรายอำเภอ
(บริษัทกลางผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด, 2563)

จากความรุนแรงและการสูญเสียบนถนนที่เกิดขึ้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Austroads ได้ระบุปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดอุบัติเหตุบนถนนนั้นประกอบด้วย 3 ปัจจัย ได้แก่ คน (64%) ยานพาหนะ (8%) และถนน (28%) (Austroads, 2002) และสอดคล้องกับทฤษฎีสาเหตุปัจจัยพื้นฐานการเกิดอุบัติเหตุของ Reason เรื่องความผิดพลาดของมนุษย์ (Reason, 1990) ซึ่งอธิบายปัจจัยความผิดพลาดต่อระดับของความรุนแรงและความเสียหายที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเกิดพร้อมกันดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปัจจัยการเกิดอุบัติเหตุทางถนน
(Reason, 1990)

การจัดหรือลดเหตุปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดอุบัติเหตุให้น้อยลงจึงมีความสำคัญในการกำหนดนโยบายและแผนรับมือปัญหาด้านความปลอดภัยทางถนน สอดคล้องกับแนวคิดการจัดการการขนส่งเพื่อให้เกิดระบบขนส่งที่ยั่งยืน (Qureshi & Lu, 2007) ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตและความยั่งยืนด้านการคมนาคมขนส่งของประชากรที่ดีขึ้น (Steg & Robert, 2005) โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาพฤติกรรมการใช้ความเร็วยานพาหนะของผู้ขับขี่บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ช่วงแยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน ผ่านตัวเมืองพิษณุโลกเป็นระยะทาง 14.5 กิโลเมตร ซึ่งมีป้ายเตือนเป็นเขตควบคุมความเร็วก่อนเข้าตัวเมือง ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยใช้ข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุของบริษัทกลางผู้ประกันภัย ทฤษฎีการสำรวจความได้แก่ การสำรวจปริมาณจราจรบนช่วงถนน (Mid – block count) และการสำรวจความเร็วเฉพาะจุด (Spot speed study) เพื่อประเมินมาตรการลดความเร็วโดยใช้หลักการด้านวิศวกรรม เพื่อประโยชน์และประสิทธิภาพเมื่อผู้ที่เกี่ยวข้องทราบปัจจัยและสามารถลดความรุนแรง (Marta *et al.*, 2011) อีกทั้งยังเป็นการป้องกันอุบัติเหตุเชิงรุกก่อนที่ปัญหาจะเกิดขึ้นได้อีกทางหนึ่ง (Settasuwacha *et al.*, 2016)

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาสถิติการเกิดอุบัติเหตุและมาตรการการลดความเร็วบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 แยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน จ.พิษณุโลก

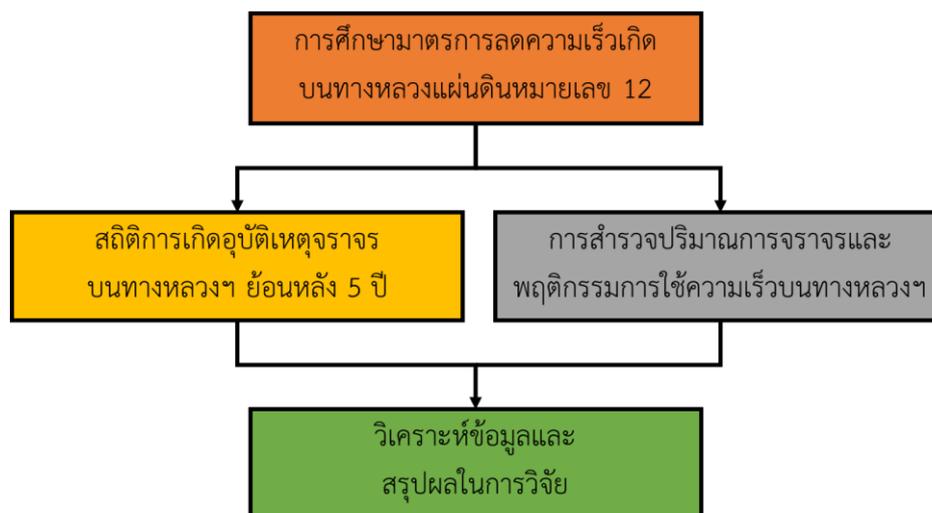
2.2 เพื่อศึกษาพฤติกรรมการใช้ความเร็วยานพาหนะของผู้ขับขี่บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 แยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

การศึกษามาตรการลดความเร็วบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ช่วงแยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน จังหวัดพิษณุโลก ดำเนินงานตามประกาศเจ้าพนักงานจราจรจังหวัดพิษณุโลก เรื่อง กำหนดความเร็วบนทางหลวงหมายเลข 12 ตั้งแต่ทางต่างระดับปลายชุมพลถึงสี่แยกอินโดจีน สำหรับรถยนต์หรือรถจักรยานยนต์ ให้ขับไม่เกินชั่วโมงละ 80 กิโลเมตร (กรมการขนส่งทางบก, 2560) ดังแสดงในภาพที่ 4 โดยการกำหนดขอบเขตการวิจัยและการดำเนินงานในขั้นตอนต่าง ๆ นั้น ผู้วิจัยได้พิจารณาหลักการด้านวิศวกรรมจราจรและการจัดการความปลอดภัยทางถนนมาใช้ในการศึกษาดังแสดงขั้นตอนการศึกษาในภาพที่ 5



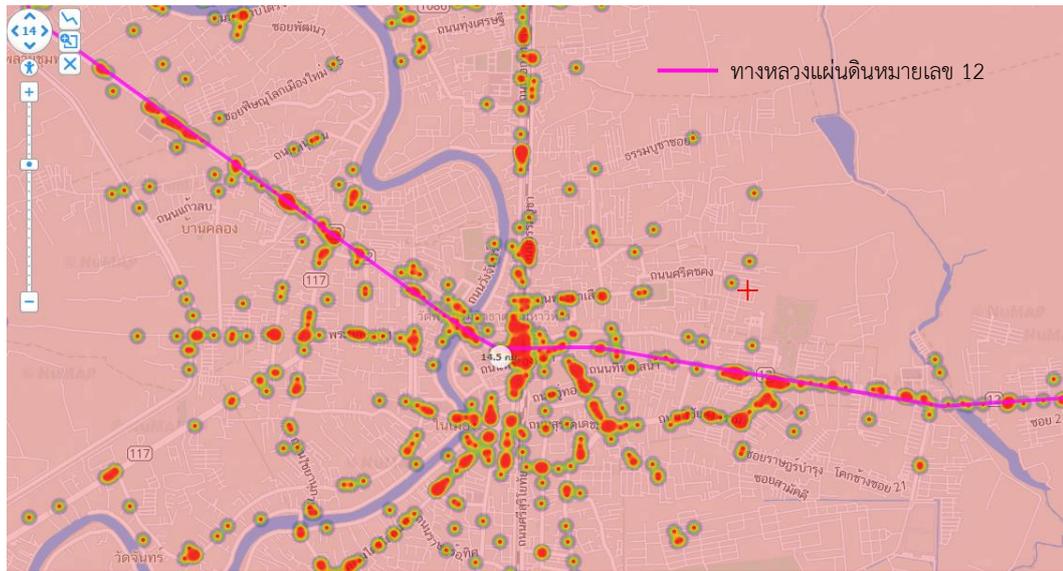
ภาพที่ 4 ป้ายกำหนดความเร็ว



ภาพที่ 5 กรอบการดำเนินงานวิจัย

3.1 การศึกษาสถิติการเกิดอุบัติเหตุการ

การศึกษาตำแหน่งในการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ช่วงแยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน คณะผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลตำแหน่งจุดเสี่ยงและจุดอันตรายจากข้อมูลจุดเสี่ยงในรัศมีที่ต้องการจากเว็บไซต์ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุ (บริษัทกลางผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด, 2563) โดยกรองจากตำแหน่งการเกิดอุบัติเหตุทางถนนในจังหวัดพิษณุโลก ย้อนหลัง 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ.2560 – 2564 ดังแสดงในรูปที่ 6 และจากนั้นจึงเลือกพิจารณาถนนกรณีศึกษา ซึ่งคณะผู้วิจัย พบว่า มีจำนวนผู้บาดเจ็บรวมทั้ง 457 ราย และมีผู้เสียชีวิตจำนวน 11 ราย ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1



ภาพที่ 6 จุดเสี่ยงในรัศมีที่ต้องการของบริษัทกลางผู้ประสภภัยจากรถ
(บริษัทกลางผู้ประสภภัยจากรถ จำกัด, 2563)

ตารางที่ 1 ข้อมูลการเกิดอุบัติเหตุบนถนนกรณีศึกษา

ปี พ.ศ.	บาดเจ็บ (ราย)	เสียชีวิต (ราย)
2564	126	3
2563	98	1
2562	76	4
2561	83	2
2560	74	1

3.2 การศึกษาปริมาณจราจรและพฤติกรรมการใช้ความเร็ว

จากผลการพิจารณาดำเนินจุดเสี่ยงและจุดอันตราย ผู้วิจัยได้กำหนดตำแหน่งการสำรวจข้อมูลปริมาณการจราจรและพฤติกรรมการใช้ความเร็ว การกำหนดตำแหน่งและจำนวนยานพาหนะในการสำรวจข้อมูลให้ครอบคลุมและสอดคล้องกับมาตรการลดความเร็วบนทางหลวงหมายเลข 12 ของจังหวัดพิษณุโลก คณะผู้วิจัยได้อ้างอิงจากคู่มือ Procedures for establishing speed zone ของ Texas department of transportation (2015) โดยพิจารณาคัดเลือกตัวแปรที่มีความสอดคล้องกับพฤติกรรมการใช้ความเร็วยานพาหนะของผู้ขับขี่ เช่น การเก็บปริมาณการจราจร ประเภทของยานพาหนะ ความเร็วของยานพาหนะที่มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระดังในภาพที่ 7 และ ลักษณะทางกายภาพของถนนดังภาพที่ 8 เป็นต้น



ภาพที่ 7 การสำรวจความเร็วยานพาหนะบนถนน

จากคู่มือดังกล่าวกำหนดจำนวนตัวอย่างยานพาหนะที่ใช้ในการสำรวจความเร็วต้องไม่น้อยกว่า 125 คัน/ช่องจราจร/ทิศทาง และการคำนวณหาค่าความเร็วเฉลี่ย – ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาความเร็วที่ 85 เปอร์เซ็นต์ไทล์ ซึ่งเป็นความเร็วที่ถ้าหากผู้ขับขี่ขับเกินความเร็วนี้แล้ว จะจัดเป็นความเสี่ยง ที่ผู้ขับขี่ขับเร็วเกินกว่าขีดความปลอดภัย และค่าความเร็วที่ 15 เปอร์เซ็นต์ไทล์ เป็นค่าความเร็วที่ถ้าหากผู้ขับขี่ขับช้ากว่าความเร็วนี้แล้ว จะเป็นการกีดขวางการสัญจรอันก่อให้เกิดอุบัติเหตุ (Ratanavarah & Jaritngam, 2011) โดยมีสูตรที่ใช้ในการคำนวณต่อไปนี้

$$\bar{x} = \frac{\sum fv}{n} \quad (1)$$

โดยที่ \bar{x} คือ ความเร็วเฉลี่ย, f คือ ความถี่ในแต่ละกลุ่มความเร็ว, v คือ ความเร็วเฉลี่ยในแต่ละกลุ่มความเร็ว และ n คือ จำนวนข้อมูลในแต่ละกลุ่มความเร็ว และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$SD = \sqrt{\frac{\sum fv^2}{(n-1)} - \frac{n(\bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (2)$$



ภาพที่ 8 การสำรวจข้อมูลลักษณะทางกายภาพบนถนน

การจำแนกประเภทยานพาหนะในกระแสจราจรบนถนนโดยทั่วไปมีการผสมผสานของยานพาหนะหลากหลายประเภท ซึ่งหน่วยงานแต่ละ แห่งที่มีความรับผิดชอบด้านคมนาคมและขนส่ง มีการกำหนดประเภทของยานพาหนะสำหรับสำรวจปริมาณจราจรที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ข้อมูลการจำแนกประเภทยานพาหนะของกรมทางหลวง เนื่องจากเป็นถนนในความรับผิดชอบโดยตรงของหน่วยงาน และเลือกพิจารณา 5 รูปแบบ ได้แก่ รถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน รถยนต์นั่งเกิน 7 คน รถโดยสารขนาดใหญ่ และรถบรรทุกขนาดใหญ่ เพื่อหาค่า Passenger Car Unit (PCU) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การจำแนกประเภทของยานพาหนะ

ลำดับ	ชนิดยานพาหนะ	ค่า PCE Factor
1	รถจักรยานยนต์	0.33
2	รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน	1.00
3	รถยนต์นั่งเกิน 7 คน	1.50
4	รถโดยสารขนาดใหญ่	2.10
5	รถบรรทุกขนาดใหญ่	2.50

ที่มา: กรมทางหลวง, 2548

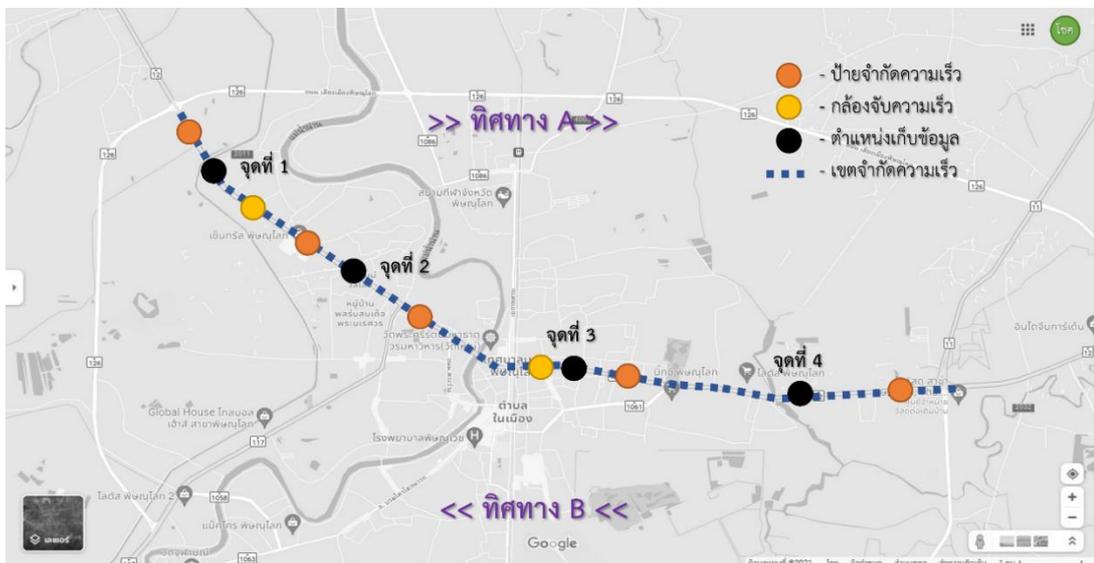
การกำหนดช่วงเวลาในการสำรวจข้อมูลการจราจรคณะผู้วิจัยเลือกกระทำในวันทำงานราชการ นอกเวลาเร่งด่วนเพื่อหลีกเลี่ยงการจราจรติดขัด หรือการเคลื่อนตัวอย่างไม่เป็นเป็นอิสระ

ปราศจากกิจกรรมหรือการตั้งด่านกวดขันวินัยจราจร โดยแบ่งช่วงเป็นในการสำรวจข้อมูล 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงที่ 1 เวลา 09.00 – 11.00 น. ช่วงที่ 2 เวลา 11.30 – 13.30 น. และช่วงที่ 3 เวลา 14.00 – 16.00 น. ในตำแหน่งการสำรวจข้อมูลในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตำแหน่งการสำรวจข้อมูล

จุดที่	ตำแหน่ง	ชนิดถนน	ช่องจราจร	เกาะกลาง	ไหล่ทาง	จุดรถ
1	กม.225 – กม. 228	คอนกรีตเสริมเหล็ก	6	✓	✓	✓
2	กม. 228 – กม. 233	คอนกรีตเสริมเหล็ก	6	✓	✓	✓
3	กม. 233 – กม. 237	คอนกรีตเสริมเหล็ก	6	✓	✓	✓
4	กม. 237 – กม. 240	คอนกรีตเสริมเหล็ก	6	✓	✓	✓

โดยตำแหน่งในการสำรวจข้อมูลทั้งหมด อยู่ในเขตจำกัดความเร็วทั้งสิ้น โดยมีมาตรการลดความเร็วที่แตกต่างกันในแต่ละจุดซึ่งตำแหน่งที่ 1 กม. 225 – กม. 228 เป็นป้ายจำกัดความเร็ว, ตำแหน่งที่ 2 กม. 228 – กม. 233 เป็นกล้องจับความเร็ว, ตำแหน่งที่ 3 กม. 233 – กม. 237 เป็นกล้องจับความเร็ว และตำแหน่งที่ 4 กม. 237 – กม. 240 เป็นป้ายจำกัดความเร็ว ดังแสดงตำแหน่งในการเก็บข้อมูลในภาพที่ 9



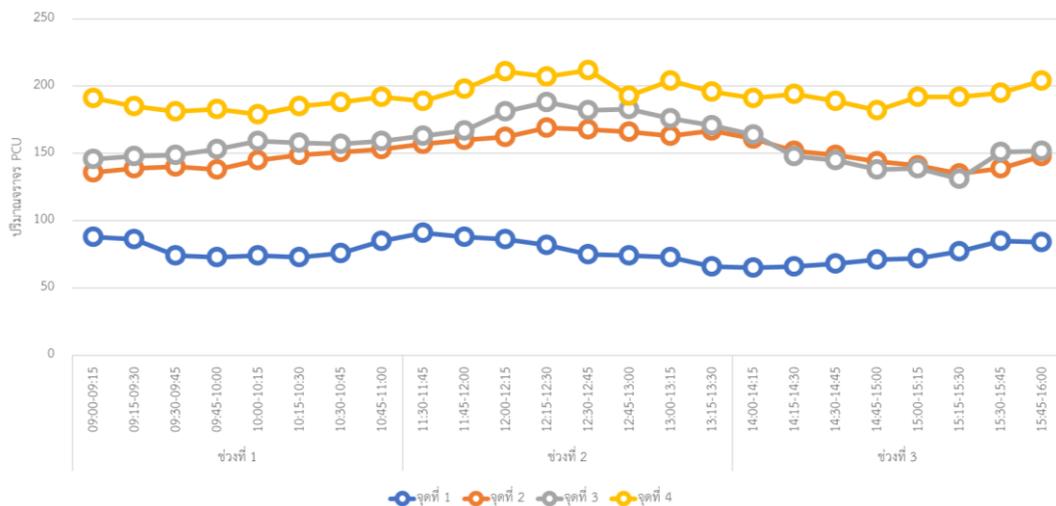
ภาพที่ 9 ตำแหน่งในการสำรวจจุดภาคสนาม

4. ผลการวิจัย

จากการเก็บข้อมูลปริมาณการจราจรและพฤติกรรมการใช้ความเร็วบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ช่วงแยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน ของผู้ขับขี่ยานพาหนะ สามารถวิเคราะห์ข้อมูลการจราจรและมาตรการลดความเร็วในจังหวัดพิษณุโลก ดังนี้

4.1 ผลการศึกษาปริมาณการจราจร

การสำรวจข้อมูลปริมาณการจราจรบนถนนเป็นจำนวน 6 ชั่วโมง โดยใช้ค่าการจำแนกของยานพาหนะในแต่ละจุด ดังต่อไปนี้ จุดที่ 1 ปริมาณจราจร 2,304 คัน/วัน มีค่า PCU เท่ากับ 1,857 จุดที่ 2 ปริมาณจราจร 5,131คัน/วัน มีค่า PCU เท่ากับ 3,632 จุดที่ 3 ปริมาณจราจร 5,697 คัน/วัน มีค่า PCU เท่ากับ 3,808 และ จุดที่ 4 ปริมาณจราจร 6,562 คัน/วัน มีค่า PCU เท่ากับ 4,634 ซึ่งผู้วิจัยได้นำปริมาณการจราจรไปพิจารณาขนาดตัวอย่างของยานพาหนะเพื่อหาจำนวนยานพาหนะในการสำรวจข้อมูลความเร็วต่อไป



ภาพที่ 10 ปริมาณจราจรบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 (ถนนสิงห์วัฒน์ – มิตรภาพ)

4.2 ผลการศึกษาพฤติกรรมการใช้ความเร็ว

การสำรวจพฤติกรรมการใช้ความเร็วยานพาหนะของผู้ขับขี่บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ช่วงแยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน จังหวัดพิษณุโลก จำนวนทั้ง 4 จุด คณะผู้วิจัยได้กำหนดระยะเวลาในการสำรวจข้อมูลแบบเคลื่อนที่อย่างอิสระ (Free flow speed) นอกชั่วโมงเร่งด่วน (Texas department of transportation, 2015) ซึ่งจำนวนความถี่ในการสำรวจข้อมูลความเร็วในทิศทาง A จุดที่ 1 เท่ากับ 463 คัน จุดที่ 2 เท่ากับ 469 คัน จุดที่ 3 เท่ากับ 623 คัน และจุดที่ 4 เท่ากับ 427 คัน และทิศทาง B จุดที่ 1 เท่ากับ 436 คัน จุดที่ 2 เท่ากับ 467 คัน จุดที่ 3 เท่ากับ 637 คัน และจุดที่ 4 เท่ากับ 458 คัน โดยคำนวณค่าความเร็วเฉลี่ย (\bar{x}) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) และ

ค่าความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 ($P 85$) แสดงในตารางที่ 5 และร้อยละความถี่สะสมของความเร็ว 2 ทิศทาง ดังแสดงภาพที่ 11 และภาพที่ 12

ตารางที่ 4 ความเร็วเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85

จุดที่	ทิศทาง A แยกบ้านกว้าง – แยกอินโดจีน (กิโลเมตร/ชั่วโมง)			ทิศทาง B แยกอินโดจีน – แยกบ้านกว้าง (กิโลเมตร/ชั่วโมง)		
	\bar{x}	SD	$P 85$	\bar{x}	SD	$P 85$
1	75.73	14.15	85.3	75.88	14.43	89.5
2	72.61	11.47	79.4	75.93	11.83	80
3	75.04	11.39	86.2	74.07	11.24	86.5
4	73.17	14.97	85.1	73.11	13.87	85.2

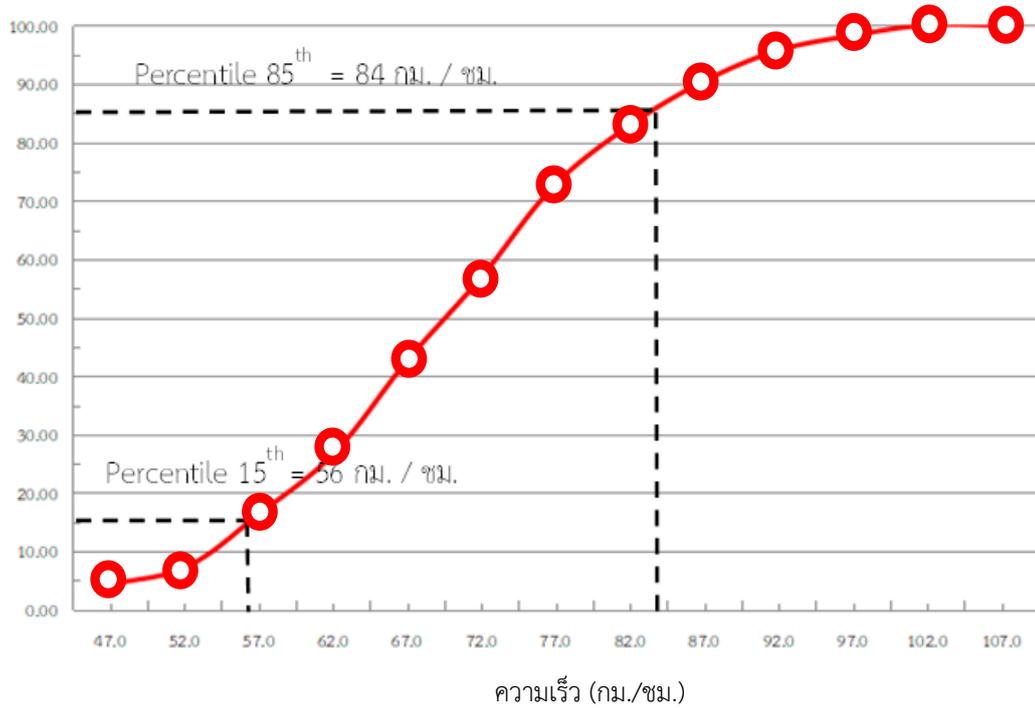
จากตารางที่ 5 แม้ว่าความเร็วเฉลี่ยทั้ง 4 จุด ของทิศทาง A มีความเร็วที่ 74.14 กิโลเมตร/ชั่วโมง และทิศทาง B มีความเร็วเฉลี่ย 74.75 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งมีค่าความเร็วที่ไม่เกินกว่ากฎหมายจำกัดความเร็วในเขตเมืองที่กำหนดไว้ที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง แต่เมื่อพิจารณาค่าความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 ซึ่งเป็นความเร็วที่ผู้ขับขี่ยานพาหนะส่วนใหญ่เลือกใช้ กลับมีค่าความเร็วที่อยู่ในเกณฑ์สูงทั้งสิ้น ซึ่งความเร็วดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุที่นำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวงได้

ความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 ทิศทาง A แยกบ้านกว้าง – แยกอินโดจีน มีค่าอยู่ที่ 84 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งเห็นได้ว่าหากผู้ขับขี่เลือกใช้ความเร็วยานพาหนะเกินกว่าความเร็วนี้แล้วจะจัดเป็นความเสี่ยงที่ผู้ขับขี่เกินกว่าขีดความปลอดภัย เช่นเดียวกับทิศทาง B แยกอินโดจีน – แยกบ้านกว้าง ที่ความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 85 มีค่าอยู่ที่ 85.3 กิโลเมตร/ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาความเร็วเปอร์เซ็นต์ไทม์ที่ 15 จะพบว่าหากผู้ขับขี่ขับยานพาหนะช้ากว่าความเร็ว 55 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่งเป็นการกีดขวางการสัญจรอันก่อให้เกิดอันตรายหรืออาจนำไปสู่การเกิดอุบัติเหตุ โดยคณะผู้วิจัยได้พิจารณาความถี่ในช่วงของกลุ่มความเร็วแบ่งเป็นสัดส่วนความเร็ว 3 กลุ่ม ดังแสดงในตารางที่ 5 เพื่อเสนอเป็นข้อมูลภาพรวมในการตัดสินใจการบังคับใช้กฎหมายจราจร

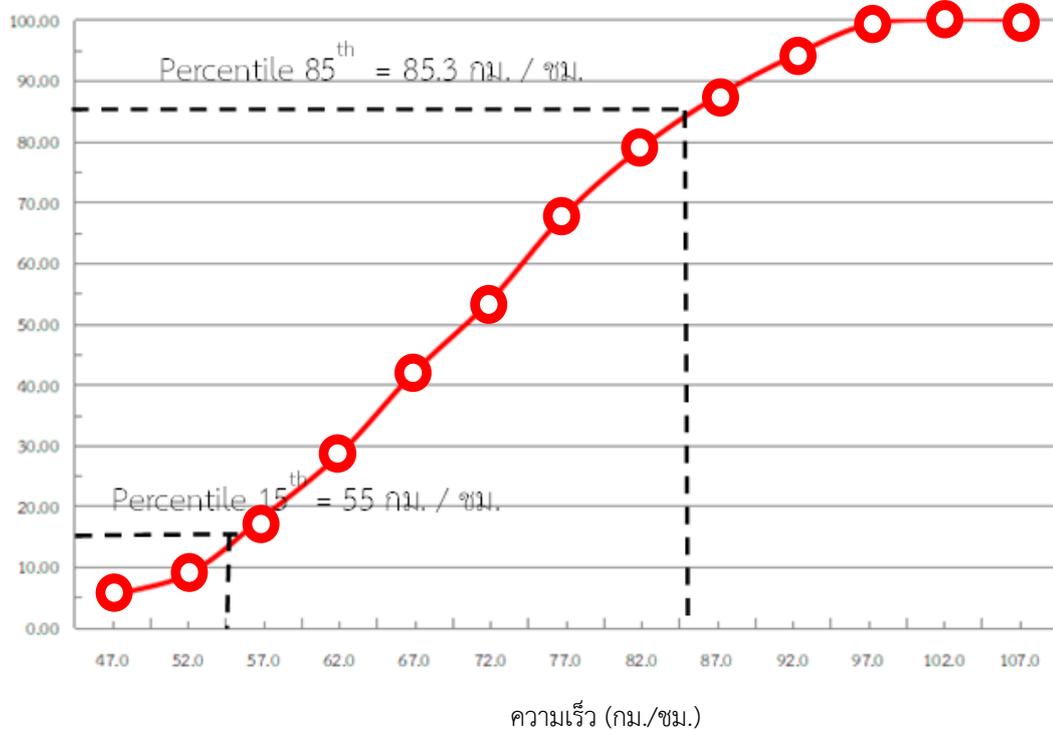
ตารางที่ 5 สัดส่วนการใช้ความเร็วบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12

ช่วงความเร็ว	ร้อยละข้อมูล (%)
<60 กิโลเมตร/ชั่วโมง	22.69
65 – 79 กิโลเมตร/ชั่วโมง	40.93
>80 กิโลเมตร/ชั่วโมง*	36.38

*ความเร็วเกินกว่ากฎหมายจำกัดความเร็วในเขตเมือง



ภาพที่ 11 ความเร็วเปอร์เซนไทล์ที่ 85 ทิศทาง A (แยกบ้านกร่าง - แยกอินโดจีน)



ภาพที่ 12 ความเร็วเปอร์เซนไทล์ที่ 85 ทิศทาง B (แยกอินโดจีน - แยกบ้านกร่าง)

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การศึกษามาตรการลดความเร็วบนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ช่วงแยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน ผ่านตัวเมืองพิษณุโลกเป็นระยะทาง 14.5 กิโลเมตร พบว่า จากข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุบนถนนของ บริษัทกลางผู้ประสมภัยจากรถซึ่งเป็นข้อมูลแบบทันทีระบุว่าจังหวัดพิษณุโลกมีแนวโน้มการเกิดอุบัติเหตุบนถนนเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะในเขตพื้นที่อำเภอเมืองพิษณุโลก โดยระบบสามารถระบุจุดที่เกิดอุบัติเหตุและตำแหน่งจุดอันตรายที่มีผู้เสียชีวิตบนถนนตามพิกัด GPS ซึ่งเป็นประโยชน์ในการนำมาวิเคราะห์ข้อมูลจุดเสี่ยงและการทำการตรวจสอบความปลอดภัยทางถนน ในขั้นตอนถนนที่เปิดให้บริการแล้วเพื่อหาปัจจัยที่แท้จริงและปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดอุบัติเหตุ นำไปสู่การแก้ไขปัญหการเกิดอุบัติเหตุทางถนนได้อย่างถูกต้องตรงจุด

ด้านพฤติกรรมการใช้ความเร็วยานพาหนะของผู้ขับขี่รถจักรยานยนต์ รถยนต์นั่งไม่เกิน 7 คน และรถยนต์นั่งเกิน 7 คน กับมาตรการลดความเร็วในเขตเมืองจังหวัดพิษณุโลกที่มีการกำหนดมาตรการลดความเร็ว 3 รูปแบบ ได้แก่ 1) ป้ายจำกัดความเร็ว 2) กล้องจับความเร็ว และ 3) เส้นชะลอความเร็วพร้อมสัญญาณเตือนยานพาหนะ โดยผู้วิจัยได้สำรวจปริมาณการจราจรและเก็บข้อมูลความเร็วทั้ง 4 จุด ตำแหน่งละ 6 ชั่วโมง นอกชั่วโมงเร่งด่วน ผลการศึกษา พบว่า ผู้ขับขี่ยานพาหนะส่วนใหญ่ใช้ความเร็วเกินกว่ากฎหมายกำหนดทั้งสองทิศทาง โดยทิศทาง A (แยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน) ผู้ขับขี่ใช้ความเร็วเปอร์เซ็นต์ที่ 85 เท่ากับ 85.3 กม./ชม., 79.4 กม./ชม., 86.2 กม./ชม., และ 85.1 กม./ชม. ตามลำดับ ส่วนทิศทาง B (แยกอินโดจีน – แยกบ้านกร่าง) เท่ากับ 89.5 กม./ชม., 80.0 กม./ชม., 86.5 กม./ชม., และ 85.2 กม./ชม. ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณามาตรการลดความเร็วบนถนน มีเพียงจุดที่ 2 รูปแบบกล้องจับความเร็วเท่านั้นที่ผู้ขับขี่ลดความเร็วโดยใช้ความเร็วตามกฎหมายกำหนดที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง แต่ก็มีความใกล้เคียงกับความเร็วตามกฎหมายกำหนดเป็นอย่างมากหรือเทียบว่าแทบไม่แตกต่างจากมาตรการควบคุมความเร็วในรูปแบบอื่น ๆ

ข้อเสนอแนะของคณะผู้วิจัยเสนอให้ผู้ที่เกี่ยวข้องหรือหน่วยงานที่รับผิดชอบควรเพิ่มมาตรการในการลดความเร็วบนถนนโดยการปรับปรุงรูปแบบมาตรการลดความเร็วใหม่เพื่อยกระดับความปลอดภัยในการเดินทางและการใช้ความเร็วบนถนนผ่านตัวเมืองพิษณุโลก ซึ่งมีข้อเสนอแนะให้มีการติดตั้งสัญญาณเชิงรุก (Active sign) เช่น 1) ป้ายเตือนชนิดไฟกระพริบเพื่อให้ผู้ขับขี่ยานพาหนะเห็นได้ทั้งกลางวันและกลางคืน 2) การทำสีเครื่องหมายจราจรจำกัดความเร็วบนผิวทางตลอดเส้นทางเป็นระยะ ดังภาพที่ 12 เพื่อให้ผู้ขับขี่ทราบถึงเขตควบคุมความเร็ว 3) การติดตั้งกล้องตรวจจับความเร็วเป็นระยะ ๆ บนถนน เพื่อลดพฤติกรรมการขับขี่ที่ใช้ความเร็วในเกณฑ์สูงกว่ากฎหมายกำหนด และ 4) การก่อสร้างผิวทางชนิดกันลื่น (Anti-skid pavement) และแถบชะลอความเร็ว (Optical speed bar) เพื่อเป็นการเตือนและลดความเร็วยานพาหนะที่สัญจรผ่านบริเวณดังกล่าวได้อีกทางหนึ่ง

นอกจากนี้ผู้วิจัยเห็นควรว่าทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 12 ช่วงแยกบ้านกร่าง – แยกอินโดจีน ควรมีการกำหนดความเร็วในการสัญจรผ่านตัวเมืองใหม่ โดยลดความเร็วและติดตั้งป้ายเตือนที่ 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตลอดเส้นทางเพื่อควบคุมการใช้ความเร็วควรเป็นไปในลักษณะเดียวกัน ทำให้ความเร็วเฉลี่ยและความเร็วเปอร์เซนไทล์ที่ 85 ลดลง อีกทั้งลดความสับสนแก่ผู้ขับขี่ยานพาหนะ ซึ่งเป็นการส่งเสริมความปลอดภัยบนถนน สามารถลดจำนวนการเกิดอุบัติเหตุ ความรุนแรง และการสูญเสียอันเป็นปัญหาที่ส่งผลต่อภาพลักษณ์เมืองศูนย์กลางสี่แยกอินโดจีนของจังหวัดพิษณุโลกได้

การศึกษาในขั้นต่อไปผู้วิจัยสนใจศึกษาลักษณะทางกายภาพที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงของถนน เช่น จำนวนช่องจราจร ไหล่ทาง ความกว้างช่องจราจร เกาะกลางถนน และการจอดรถข้างทาง โดยนำปัจจัยมาศึกษาหาความสัมพันธ์กับความเร็วบนถนนผ่านการวิเคราะห์สมการทางคณิตศาสตร์ว่าปัจจัยใดบ้างที่ส่งเสริมหรือมีความสัมพันธ์กับความเร็ว เพื่อที่จะได้มีข้อเสนอแนะเชิงนโยบายแก่ผู้ที่เกี่ยวข้องและเป็นแนวทางในการจัดการปัญหาเรื่องการใช้ความเร็วบนถนนอันนำไปสู่ปัญหาความรุนแรงที่เกิดขึ้นตามมา



ภาพที่ 12 มาตรการจำกัดความเร็ว (Speed limit) บนถนนในเขตเมือง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทกลางผู้ประสบภัยจากรถที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลสถิติการเกิดอุบัติเหตุบนถนน และขอบคุณคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ที่อนุเคราะห์ครุภัณฑ์กล้องตรวจจับความเร็วและอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลภาคสนาม ตลอดจนสถานที่ในการทำงานวิจัยเรื่องนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมการขนส่งทางบก. (2560). **รายงานประจำปี 2560**. กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพฯ.
- กรมทางหลวง (2548). **คู่มือ การเฝ้าระวังและแก้ไขปัญหาการเกิดอุบัติเหตุบนทางหลวง เรื่อง วิศวกรรมจราจร**. สำนักอำนวยความปลอดภัย, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.
- กรมทางหลวง. (2562). **ปริมาณจราจรบนทางหลวง ปี 2562**. สำนักอำนวยความปลอดภัย, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.
- ชวลีพร บุตรโคตร (2556). ไทยเดินทางเส้นทางคมนาคม – โลจิสติกส์ หวังเป็นศูนย์กลางโครงข่ายเชื่อมอาเซียน. **ศูนย์ข่าว TCJ**. ค้นจาก <https://www.tcijthai.com/new/2013/scoop>.
- ดลยฤทธิ์ เสถียรสุวจะ, เจษฎา โพธิ์จันทร์, และวชิระ วิจิตรพงษา. (2559). การศึกษาความปลอดภัยทางถนนในเขตชุมชนเมือง กรณีศึกษาอำเภอป่าฝาง จังหวัดแม่ฮ่องสอน. **ศรีวนาลัยวิจัย**, 6(1), 129-141.
- บริษัทกลางผู้ประสบภัยจากรถ จำกัด. (2563). **ศูนย์ข้อมูลอุบัติเหตุเพื่อสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยทางถนน. ThaiRSC**. ค้นจาก <https://www.thairsc.com/thai-in-depth-data>.
- ระหัตร์ โรจน์ประดิษฐ์ (2563). ประเทศไทยกับการเป็นศูนย์กลางคมนาคมขนส่งของภูมิภาคอินโดจีน. **สุทธิปริทัศน์ (Journal of Business and Innovation: SJBI)**, 20(62), 54–58.
- วัฒนวงศ์ รัตนวราห, และสรารัฐ จริตงาม. (2554). **วิศวกรรมขนส่ง**. สงขลา: โรงพิมพ์ خانเมือง.
- Austroroads. (2002). **Road Safety Audit Guide (2nd ed.)**. Australia: Austroroads.
- Marta, D., Smart, W., Dr Saffron, D., Hamilton, B., & Bhatnagar, Y. (2011). **Road safety assessment methods: deciding which one to use**. Paper presented at The 2011 Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference, Western, Australia.
- Qureshi, I.A., & Lu, H. (2007). Urban Transport and Sustainable Transport Strategies: A Case Study of Karachi, Pakistan. **Tsinghua Science and Technology**, 12(3), 309–317.
- Reason, J. (1990). **Human Error**. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Steg, L., and Robert, G. (2005). Sustainable Transportation and Quality of Life. **Journal of Transport Geography**, 13, 59-69.
- Texas Department of Transportation. (2015). **Procedures for Establishing Speed Zones**. Traffic Operations Division, Traffic Engineering.
- World Health Organization. (2012). **Decade of Action for Road Safety 2011 – 2020**. Geneva, Switzerland.



World Health Organization. (2015). **Global status report on road safety 2015**. Geneva, Switzerland.

World Health Organization. (2018). **Global status report on road safety 2018**. Geneva, Switzerland.



รถเข็นไฟฟ้าที่มีการควบคุมความเร็วในวงรอบปิดและระบบเบรก
ด้วยไฟฟ้าแบบไดนามิก

ELECTRIC WHEELCHAIR WITH CLOSED LOOP SPEED CONTROL
AND ELECTRIC DYNAMIC BRAKING SYSTEM

สันติภาพ โคตทะเล*, อุดม เครือเทพ

Santipab Kotthale*, Udom Kruethep

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: santipab@yahoo.com

วันที่เข้าระบบ 5 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 3 สิงหาคม 2566

วันที่ออกรับบทความ 3 สิงหาคม 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างรถเข็นไฟฟ้า มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบขับเคลื่อนรถเข็นเพื่อให้มีความเร็วที่คงที่ทั้งในทางเรียบและทางลาดชัน พัฒนาระบบเบรกให้มีระยะที่สั้นลงและหยุดรถเข็นเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง ใช้การประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ ควบคุมความเร็วมอเตอร์ในวงรอบปิดด้วยโครงข่ายประสาทเทียมที่เรียนรู้ด้วยหลักการเดลต้า จ่ายพลังงานให้มอเตอร์ด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบช้อปเปอร์เฟดที่ทำงานในโหมดการขับเคลื่อนด้วยพลังงานจากแบตเตอรี่ และใช้พลังงานสะสมจากตัวเหนี่ยวนำของมอเตอร์เพื่อหยุดรถในโหมดเบรก สร้างสัญญาณควบคุมแบบพีดับลิวิตีด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ทดสอบการเคลื่อนที่ของรถเข็นในทางเรียบและทางลาดชันกับผู้ป่วยจำลองที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน ผลการทดสอบพบว่ามีความผิดพลาดเฉลี่ยสูงสุดของความเร็วในการเคลื่อนที่ 2.33 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเบรกที่สั้นกว่าการเบรกแบบทดผ่านเฟือง 46.36 เปอร์เซ็นต์ รัศมีของวงเลี้ยวแคบสุด 0.9 เมตร และรถเข็นจะหยุดเองเมื่อเจอสิ่งกีดขวางในระยะ 0.8 เมตร ระบบที่นำเสนอมีประสิทธิภาพ 78.16 เปอร์เซ็นต์ และใช้งานได้ 3.25 ชั่วโมงต่อการประจุ 1 ครั้ง

คำสำคัญ: รถเข็นไฟฟ้า, โครงข่ายประสาทเทียม, การประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ, การเบรกด้วยระบบไฟฟ้าแบบไดนามิก

Abstract

This paper presents the design and construction of an electric wheelchair. The objective is to develop a wheelchair drive system to have a constant speed on both flat and steep slopes, developed a system to stop the wheelchair to have a shorter braking distance and stop the wheelchair when encountering obstacles. Use the speed estimation by the principle of back EMF. Control the motor speed in a closed loop with a delta-learning artificial neural networks. The motor is powered by a chopper-fed converter running in battery-powered mode. and uses the energy stored from the inductor of the motor to stop the vehicle in braking mode. Generate PWM control signals with a digital signal processor. Tested the movement of the wheelchair on flat and steep slopes with simulated patients with different weights. The test result showed that, a maximum average error of 2.33 percent of the moving speed, 46.36 percent shorter braking distance than geared braking, minimum turning radius 0.9 meters and the wheel chair will stop when encountering obstacles within 0.8 meters. The proposed system is 78.16 percent efficient and it can be used for 3.25 hours per charge.

Keywords: Electric wheelchair, Artificial neural networks, Back electromotive force speed estimate, Dynamic electric braking system

1. บทนำ

ในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาได้เกิดการอุบัติของโรคใหม่ขึ้น รวมทั้งประเทศไทยกำลังเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุอย่างรวดเร็ว ทำให้ภาระงานของบุคลากรในหน่วยงานด้านสาธารณสุขมีมากขึ้น ซึ่งทางภาครัฐก็ได้ให้ความสำคัญ โดยการนำระบบที่ผู้ป่วยสามารถช่วยเหลือตัวเองเข้ามาใช้ เช่น การวัดความดัน การชั่งน้ำหนัก การยืนยันตัวตน เป็นต้น รวมทั้งนำระบบ Smart hospital มาใช้ในการส่งข้อมูลสื่อสารผ่านระบบเครือข่ายระหว่างแพทย์ พยาบาล และเภสัชกร แต่อย่างไรก็ตามจำนวนผู้ปฏิบัติงานยังคงไม่เพียงพอต่อจำนวนของผู้ป่วยที่มีเพิ่มมากขึ้น

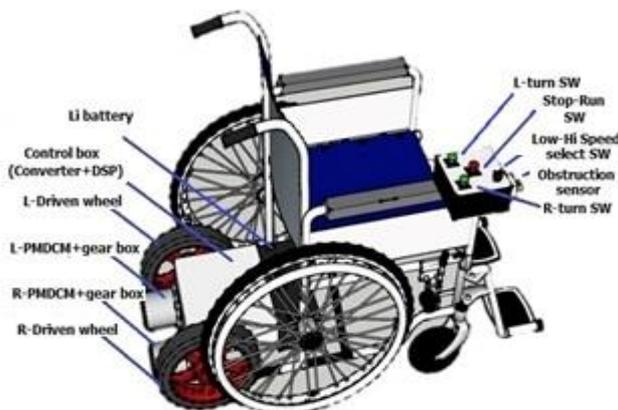
รถเข็นผู้ป่วยเป็นอุปกรณ์สำคัญหนึ่งสำหรับผู้ป่วย โดยเฉพาะในกลุ่มผู้สูงอายุ รถเข็นที่ถูกใช้ส่วนใหญ่จะเป็นแบบใช้แรงงานคนเข็น ส่วนในกลุ่มผู้ป่วยที่สามารถช่วยเหลือตัวเองได้บ้างอาจใช้รถเข็นไฟฟ้าซึ่งได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องในประเทศที่มีประชากรที่สูงอายุมากขึ้น ซึ่งประเทศไทยก็เป็นหนึ่งในนั้นในเวลาอันใกล้ นี้มีการวิจัยที่ช่วยแก้ปัญหาการใช้รถเข็นไฟฟ้าในพื้นที่สาธารณะที่มีสิ่งกีดขวางโดย Esranur *et al.* (2022) ได้นำเสนอการตรวจจับวัตถุหลายทิศทางเพื่อช่วยให้รถเข็นไฟฟ้าทำงานได้ปลอดภัยมากขึ้น สันติภาพ และคณะ (2021) ได้นำเสนอรถเข็นไฟฟ้าที่ช่วยลดแรงกระแทกสำหรับ

ผู้ป่วย โดยเริ่มเดินแบบนุ่มนวล ควบคุมความเร็วในวงรอบปิดด้วยตัวควบคุมแบบพีไอ ซึ่งพบว่าถ้าต้องการผลตอบสนองที่รวดเร็วจะเกิดแรงกระชากจากโอเวอร์ชูตของระบบ และถ้าต้องการลดโอเวอร์ชูตลงก็จะส่งผลให้ระบบมีผลตอบสนองที่ช้าซึ่งมีผลต่ออัตราเร่งในทางลาดชัน รวมทั้งใช้ระบบบังคับเลี้ยวด้วยมือที่มีรัศมีวงเลี้ยวที่ค่อนข้างกว้าง

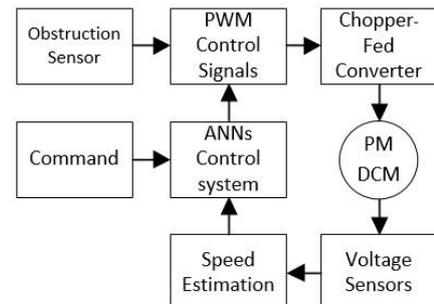
ในงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะทำการพัฒนารถเข็นไฟฟ้าสำหรับผู้ป่วย โดยขับเคลื่อนแบบอิสระเพื่อให้รถเคลื่อนที่ได้ตรงมากขึ้น ทำการเลี้ยวด้วยระบบไฟฟ้าเพื่อลดรัศมีวงเลี้ยวให้แคบลง มีการควบคุมความเร็วที่ใช้การประมาณค่าความเร็วแทนอุปกรณ์ตรวจจับความเร็ว มีวัตถุประสงค์ในการประยุกต์ใช้ระบบควบคุมความเร็วด้วยโครงข่ายประสาทเทียม พัฒนาระบบเบรกทางไฟฟ้าแบบไดนามิกให้มีระยะเบรกที่สั้นลง ทำการทดสอบใช้งานจริง ทั้งในทางราบ และทางลาดชัน ตามมาตรฐานของรถเข็นผู้ป่วย เพื่อหาสมรรถนะต่าง ๆ ทั้งทางไฟฟ้าและทางกล มีความคาดหวังในด้านการพัฒนาสมรรถนะของรถเข็นไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ และมีความสะดวกในการใช้งานสำหรับผู้ป่วยมากขึ้น

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การออกแบบโครงสร้างรถเข็นไฟฟ้า



(ก) โครงสร้างรถเข็นไฟฟ้า



(ข) แผนผังบล็อกของการทำงาน

ภาพที่ 1 รถเข็นไฟฟ้าที่นำเสนอ

รถเข็นไฟฟ้าจะถูกพัฒนาจากรถเข็นผู้ป่วยที่ใช้แรงคน โดยติดตั้งระบบขับเคลื่อนทางไฟฟ้าที่ด้านท้าย และมีส่วนควบคุมอยู่ที่ด้านหน้าของรถ ดังในภาพที่ 1 (ก) รถเข็นไฟฟ้าจะขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดแม่เหล็กถาวร ส่งกำลังผ่านเฟืองทด โดยขับเคลื่อนแบบแยกอิสระในด้านซ้ายและขวา ควบคุมการบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้า ใช้การเบรกแบบไดนามิก เมื่อเจอสิ่งกีดขวาง

รถเข็นในระยะ 80 ซม. รถเข็นจะหยุดการทำงาน สร้างสัญญาณควบคุมความเร็วด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล แหล่งจ่ายพลังงานจะใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน ด้านหน้าจะติดตั้งอุปกรณ์สั่งการใช้งาน มีแผนผังบล็อกแสดงการทำงาน ดังภาพที่ 1 (ข) โดยทำการตรวจจับค่าแรงดันเพื่อประมาณค่าความเร็วของมอเตอร์เปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง และใช้โครงข่ายประสาทเทียมทำการควบคุมความเร็ว สร้างสัญญาณควบคุมแบบ PWM ให้กับคอนเวอร์เตอร์ ส่วนการออกแบบต้นกำลังขับเคลื่อนเพื่อหาพิคตกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจะใช้ข้อมูลตามตารางที่ 1 โดยทำการออกแบบให้รองรับน้ำหนักผู้ป่วยสูงสุด 100 กิโลกรัม ที่ค่าความเร็วสูงสุด 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบหาพิคตกำลังของต้นกำลังในการขับเคลื่อน

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ปริมาณ	หน่วย
น้ำหนักคนรวมกับน้ำหนักรถ	m	134.2	kg
ความเร็วที่ออกแบบ	v	3	km/h
พื้นที่หน้าตัดของตัวรถ	A	0.64	m^2
รัศมีล้อ	r_w	0.18	m
มุมองศาการปีนไต่	θ	4.76	deg
สัมประสิทธิ์แรงต้านอากาศ	k_A	0.03	-
อัตราเร่ง	a	3	m/s^2
ความยาวของรถเข็นผู้ป่วย	l	1.16	m
ความสูงของรถเข็นผู้ป่วย	h	0.93	m
ความกว้างของรถเข็นผู้ป่วย	W	0.70	m

แรงต้านการเคลื่อนที่จะมี 3 ส่วน คือ แรงต้านจากการหมุนของล้อ (R_r) แรงต้านอากาศ (R_a) และแรงต้านจากการปีนไต่ (R_g) โดยสามารถหาค่าได้ดังสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 3 ซึ่งนำเสนอโดย Yoon H., และคณะ, (2013) จากข้อมูลในตารางที่ 1 จะได้ค่าแรงต้าน 6.2 N, 0.175 N และ 11.11 N ตามลำดับ โดยต้องใช้กำลังขับเพื่อเอาชนะแรงต้านทั้งหมดขนาด 17.485 N

$$R_r = K_r F \quad (1)$$

$$R_a = K_a A v^2 \quad (2)$$

$$R_g = W \sin \theta \quad (3)$$

เมื่อ K_r คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของล้อยาง โดย $K_r = 0.015 + 0.00016v$
 F คือ แรงที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในแนวราบ โดย $F = mA$

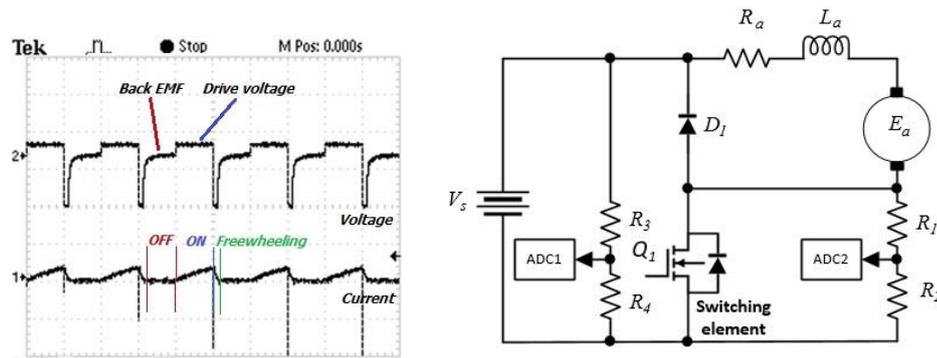
$$P_m = \frac{T\omega_m}{\eta} \quad (4)$$

เมื่อ T คือ แรงบิดในการเอาชนะแรงต้าน โดย $T = F \times r$
 ω_m คือ ความเร็วเชิงมุมทางกล โดย $\omega_m = \frac{2\pi N}{60}$

คำนวณได้ค่าแรงบิดที่ปลายเพลา (Shaft torque) ขนาด 3.15 Nm ซึ่งที่ความเร็ว 3 km/h ความเร็วรอบของล้อจะมีค่า 44.23 rpm ที่ค่าอัตราทดเกียร์ขนาด 1:15 มอเตอร์จะมีความเร็ว 663.48 rpm หากกำลังของมอเตอร์ (P_m) ตามสมการที่ 4 โดยใช้ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์ (η) ที่ 0.9 จะได้ค่ากำลังไฟฟ้า 243.05 W ดังนั้นมอเตอร์แต่ละตัวจะมีขนาดกำลัง 121.53 W ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้มอเตอร์ขนาด 120 W 12 V จากข้อมูลผู้ผลิตจะมีความเร็วรอบที่ปลายเพลาสูงสุด 200 rpm ที่แรงบิด 4.3 Nm และมีแรงบิดเริ่มต้นที่ 19.6 Nm

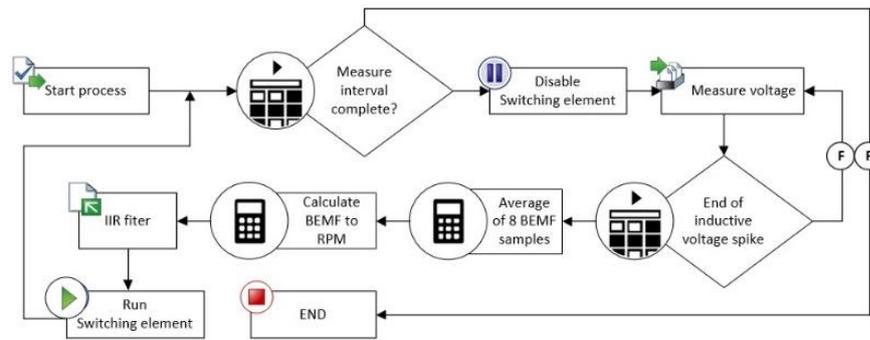
2.2 การประมาณค่าความเร็ว

การหาความเร็วโดยไม่ใช้ส่วนตรวจจับความเร็ว (Speed sensorless) ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ (Back electromotive force; Back EMF) ดังสมการที่ 5 ซึ่งแรงดันต้านกลับนี้จะเกิดขึ้นตลอดเวลาขณะที่มอเตอร์หมุนและจะถูกแยกออกมาเป็นค่าเชิงเดี่ยวเมื่อไม่มีการจ่ายพลังงานให้มอเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 2 (ก) ทำการตรวจจับค่าแรงดันใน 2 ส่วนในขณะที่ไม่จ่ายแรงดันให้มอเตอร์ คือ แรงดันแหล่งจ่าย และแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์สวิตซ์ ดังวงจรในภาพที่ 2 (ข) ทำการประมวลผล ดังภาพที่ 2 (ค) โดยสั่งอุปกรณ์สวิตซ์หยุดการทำงานแล้วรับค่าแรงดัน 8 ตัวอย่าง หาค่าเฉลี่ยและคำนวณค่าความเร็วมอเตอร์ตามสมการที่ 5 ทำการกรองความถี่แบบดิจิทัลด้วยการกรองแบบผ่านต่ำ (Digital low pass filter) เพื่อลดทอนค่าระลอก (Ripple) และทำการสั่งให้อุปกรณ์สวิตซ์ทำงานอีกครั้ง และวนรอบการประมวลผล



(ก) แรงดันและกระแสในการขับเคลื่อน

(ข) วงจรการวัดค่าแรงดัน



(ค) ลำดับการประมวลผล

ภาพที่ 2 การประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการ BEMF

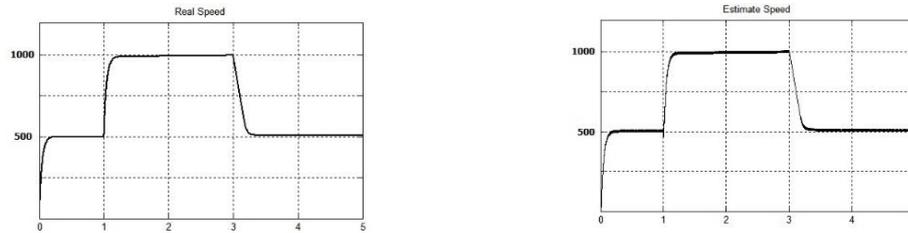
$$rpm = \left[\left(\frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) (v_{ADC1} - v_{ADC2}) \right] k_v \quad (5)$$

เมื่อ v_{ADC1} คือ แรงดันแหล่งจ่าย

v_{ADC2} คือ แรงดันส่วนต่าง

K_v คือ ค่าคงที่ ที่สัมพันธ์กันระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและความเร็ว

ทำการพิสูจน์หลักการด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยแปลงแรงดันเป็นข้อมูลแบบ CSV ป้อนเข้าไปในพื้นที่ทำงาน (Work space) ของโปรแกรม MATLAB/SIMULINK แล้วทำการประมวลผลตามหลักการ BEMF มีผลการประมวลดังภาพที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่าความเร็วที่ใช้หลักการ BEMF มีค่าใกล้เคียงกับค่าความเร็วที่ได้จากการใช้อุปกรณ์ตรวจจับด้วย Rotary encoder

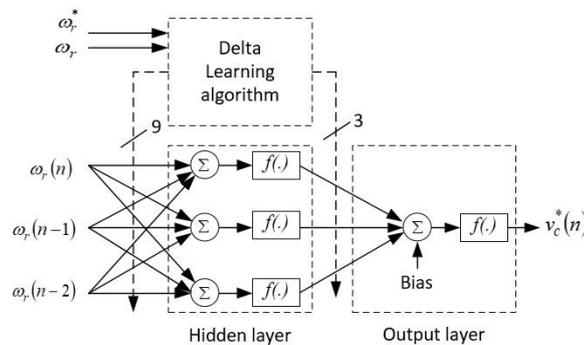


(ก) ค่าจากการใช้อุปกรณ์ตรวจจับ

(ข) การประมาณค่าด้วยหลักการ BEMF

ภาพที่ 3 ความเร็วมอเตอร์จากการจำลองการทำงาน

2.3 การควบคุมความเร็วมอเตอร์ในวงรอบปิด



ภาพที่ 4 โครงสร้างโครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับที่ใช้ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์

การควบคุมความเร็วมอเตอร์จะเลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมที่มีข้อได้เปรียบการควบคุมแบบเกนคงที่ (Fixed gain) ทั่วไป ด้วยที่มีการปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก (Weight update) ตลอดเวลาที่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้หลักการเรียนรู้แบบเดลต้า (Delta learning) ดังภาพที่ 4 โดยมี 1 ชั้นซ่อน (Hidden layer) ทำการเรียนรู้ความสัมพันธ์ของอนุกรมอินพุตและเอาต์พุต เพื่อปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนัก ใช้การประยุกต์ของค่าเฉลี่ยกำลังสองต่ำสุด (Least mean square, LMS) ในการลู่เข้าสู่จุดต่ำสุดของฟังก์ชันประเมิณผล หาค่าความผิดพลาดจากอนุกรมอินพุตและเอาต์พุตที่นำเสนอโดย Stamatios V.K., (1996), แสดงได้ดังสมการที่ 6 ทำการหาค่าความผิดพลาดของเวกเตอร์เกรเดียน (Error gradient vector) และทำการพัฒนาหาค่าถ่วงน้ำหนักที่ทำการปรับปรุงดังสมการที่ 7 ใช้ค่าตัวประกอบการเรียนรู้ 0.3 และใช้ฟังก์ชันการกระตุ้นแบบ tan-sigmoid ในชั้นเอาต์พุต

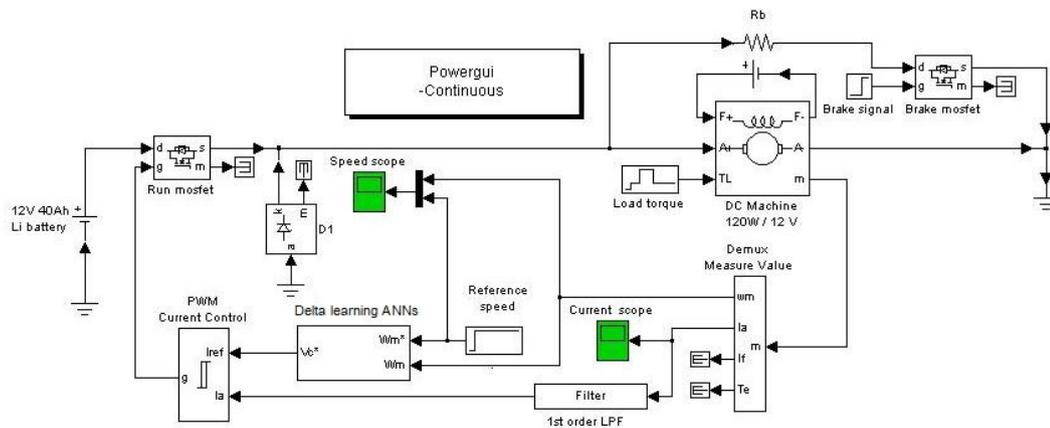
$$E = \frac{1}{2} [T_i - f(w_i x_i)]^2 \quad (6)$$

$$w_i(k+1) = w_i(k) + \frac{\mu}{2} (T_i - O_i)(T_i - O_i^2)x_i \quad (7)$$

เมื่อ E คือค่าผิดพลาดรวม T คือค่าเป้าหมาย
 w คือค่าถ่วงน้ำหนัก x คืออินพุต
 O คือเอาต์พุต μ คือค่าตัวประกอบการเรียนรู้

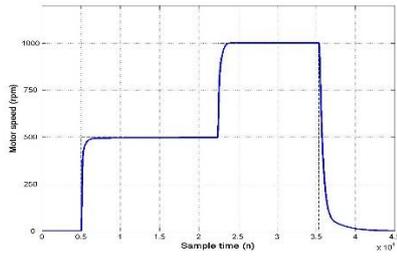
และ $f(w_i x_i) = \frac{1}{2} (T_i - O_i^2)$

2.4 การจำลองการทำงานของระบบควบคุมความเร็ว

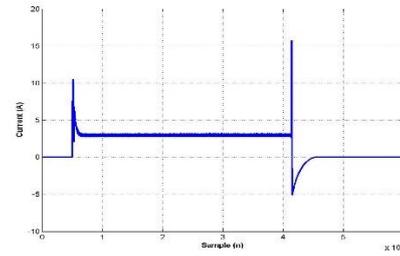


ภาพที่ 5 โมเดลการจำลองการทำงานของระบบควบคุมความเร็วที่นำเสนอ

จากโมเดลในภาพที่ 5 ใช้โปรแกรม MATLAB/SIMULINK ทำการจำลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของระบบควบคุมความเร็ว และศึกษาพฤติกรรมการการเบรกแบบไดนามิก โดยมีผลการจำลองดังภาพที่ 6 (ก) ที่ความเร็ว 500 rpm ขณะเริ่มเดินจะไม่เกิดโอเวอร์ชู้ต และลู่เข้าสู่เป้าหมายที่ 2500 ตัวอย่าง และเมื่อความเร็วเพิ่มเป็น 1000 rpm จะลู่เข้าสู่เป้าหมายที่ 2000 ตัวอย่าง มีค่าความผิดพลาดในภาวะคงตัวเข้าใกล้ศูนย์ ส่วนในภาพที่ 6 (ข) ที่ค่าความเร็ว 500 rpm พบว่ากระแสเริ่มเดินมีค่า 17 A กระแสในภาวะคงตัวมีค่า 6.5 A เมื่อเพิ่มความเร็วเป็น 1000 rpm กระแสจะมีค่า 10 A และเมื่อทำการเบรก กระแสมอเตอร์จะค่าลบสูงสุดประมาณ 10 A และลู่เข้าสู่ค่าศูนย์ใน 4000 ตัวอย่าง



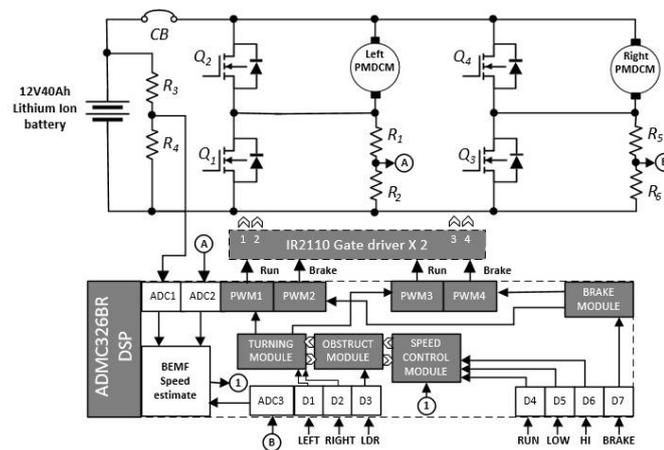
(ก) การรักษาค่าความเร็ว



(ข) กระแสของมอเตอร์

ภาพที่ 6 ผลการจำลองการทำงานของระบบควบคุมความเร็วมอเตอร์

2.5 โครงสร้างระบบควบคุมความเร็ว



ภาพที่ 7 โครงสร้างของระบบการควบคุมความเร็วมอเตอร์ด้วยคอนเวอร์เตอร์แบบซ็อบเปอร์เฟด

ระบบควบคุมของรถเข็นไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 7 ควบคุมด้วย DSP เบอร์ ADMCF326BR ตรวจจับแรงดันผ่านพอร์ท ADC ประมาณค่าความเร็วด้วยหลักการ BEMF ค่าอ้างอิงที่กำหนดด้วย สวิตช์เลือกค่าความเร็ว ทำการชดเชยระบบด้วยโครงข่ายประสาทเทียม สร้างสัญญาณควบคุมแบบ PWM ที่ความถี่ 5 kHz ให้กับคอนเวอร์เตอร์แบบซ็อบเปอร์เฟด ที่ใช้โมสเฟตเบอร์ IR2807 ผ่านวงจร ชับนำสัญญาณด้วยไอซีเบอร์ IR2110 การขับเคลื่อนล้อด้านซ้ายและขวา Q_1 และ Q_3 จะทำงานตามลำดับ สัญญาณขับจะถูกขัดจังหวะในทันทีเมื่อเจอสิ่งกีดขวางในระยะ 0.8 เมตร ในการเลี้ยวระบบจะทำการสั่งให้มอเตอร์ด้านนั้นหยุดทำงานชั่วคราว ส่วนการหยุดรถเข็นสัญญาณขับจะถูกยกเลิกและส่งสัญญาณไปที่อุปกรณ์สวิตช์ Q_2 และ Q_4 พลังงานที่ถูกสะสมในตัวเหนี่ยวนำจะถูกส่งไปเผาที่ตัวต้านทานของมอเตอร์ กระแสของมอเตอร์จะไหลกลับทิศทาง ทำให้แรงบิดต้านกับโมเมนต์แรงเฉื่อย

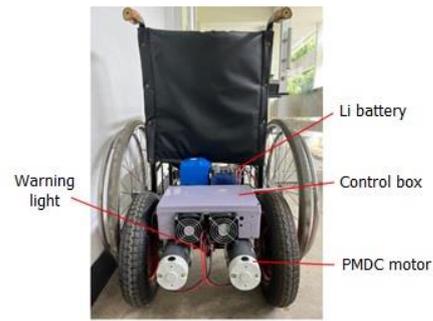
ของรถเข็น ทำให้รถหยุดอย่างนุ่มนวล และมีระยะเบรกที่สั้นลง ระบบป้องกันการลัดวงจรจะใช้เซออร์กิตเบรกเกอร์ขนาด 60 แอมแปร์

3. ผลการวิจัย

3.1 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุม



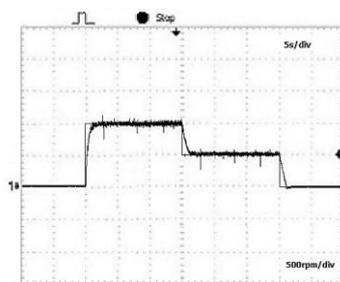
(ก) ด้านหน้ารถเข็น



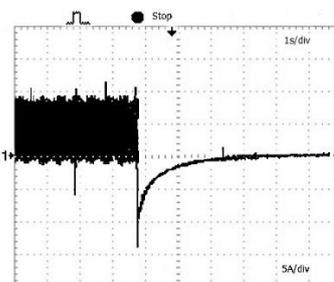
(ข) ด้านหลังรถเข็น

ภาพที่ 8 รถเข็นไฟฟ้าต้นแบบ

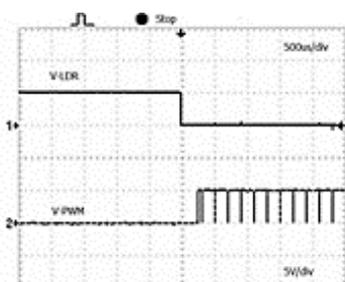
รถเข็นไฟฟ้าต้นแบบที่สร้างขึ้นแสดงได้ดังภาพที่ 8 การทดสอบการควบคุมความเร็วแสดงได้ดังภาพที่ 9 (ก) ซึ่งจะเห็นว่าระบบควบคุมที่นำเสนอ สามารถควบคุมความเร็วให้มีค่าใกล้เคียงค่าเป้าหมายได้ โดยในขณะที่เริ่มเดินจะไม่เกิดโอเวอร์ชู้ตขึ้น มีค่าเวลาในการลู่อเข้าสู่เป้าหมายประมาณ 3 วินาที และมีค่าความผิดพลาดในภาวะคงตัวเข้าใกล้ศูนย์ และในส่วนของ การเบรกแบบไดนามิกจะมีค่ากระแสเบรกประมาณ 8 A และลู่อเข้าสู่ค่าศูนย์ในเวลาประมาณ 3 วินาที ดังแสดงในภาพที่ 9 (ข) และในภาพที่ 9 (ค) เมื่อมีสิ่งกีดขวาง LDR จะส่งสัญญาณ 1 (5V) สัญญาณควบคุมจะถูกตัด และเมื่อไม่มีสิ่งกีดขวาง LDR จะส่งสัญญาณ 0 (0V) สัญญาณควบคุมจะทำงานอีกครั้ง



(ก) การควบคุมความเร็ว



(ข) กระแสมอเตอร์



(ค) การตรวจจับสิ่งกีดขวาง

ภาพที่ 9 การทดสอบสมรรถนะการควบคุมความเร็ว การเบรก และการหยุดรถของรถเข็นไฟฟ้า

3.2 การทดสอบการใช้งาน



(ก) การทดสอบสิ่งกีดขวาง (ข) การทดสอบบนทางลาดชัน (ค) การทดสอบหารัศมีวงเลี้ยว
ภาพที่ 10 การทดสอบการใช้งานของรถเข็นไฟฟ้า

รถเข็นไฟฟ้าต้นแบบถูกทดสอบการใช้งาน การหยุดรถเข็นเมื่อเจอสิ่งกีดขวาง การเคลื่อนที่
ในทางลาดชัน และการหารัศมีวงเลี้ยว ดังแสดงในภาพที่ 10 (ก) ภาพที่ 10 (ข) และภาพที่ 10 (ค)
ตามลำดับ โดยทำการทดสอบกับผู้ป่วยจำลองที่มีน้ำหนักแตกต่างกัน โดยมีผลการทดสอบ การวิ่งบน
ทางราบ การขึ้นและทางลาดชันที่ค่ามุม 5.1 องศา ระยะการเบรกด้วยระบบเบรกแบบไฟฟ้า และการ
เบรกที่ไม่ใช้ระบบเบรกแบบไฟฟ้าช่วย รัศมีวงเลี้ยวแคบสุด และการหยุดรถโดยอัตโนมัติเมื่อพบสิ่งกีด
ขวาง โดยมีผลทดสอบดังตารางที่ 2 จากผลการทดสอบการใช้งานในการเคลื่อนที่ในทางราบ การขึ้น
และลงทางลาดชัน มีความผิดพลาดเฉลี่ยของความเร็วที่ 2.33 เปอร์เซ็นต์ มีระยะเบรกที่สั้นกว่าการ
เบรกแบบดั้งเดิม 46.36 เปอร์เซ็นต์ มีรัศมีของวงเลี้ยวแคบสุด 0.9 เมตร และในการหยุดรถเมื่อเจอสิ่ง
กีดขวางจะทำได้ในระยะ 0.8 เมตร โดยไม่มีความผิดพลาด ระบบควบคุมที่นำเสนอมีประสิทธิภาพ
โดยรวม 78.16 เปอร์เซ็นต์ และสามารถใช้งานได้ประมาณ 3.25 ชั่วโมงต่อการประจุ 1 ครั้ง โดยเป็น
การใช้งานแบบถ่วงเฉลี่ยทั้งทางราบและทางลาดชัน

ตารางที่ 2 การทดสอบการใช้งานรถเข็นไฟฟ้า

Test	Road speed 0° (km/h)		Upward speed +5.1° (km/h)		Downward speed -5.1° (km/h)		Brake distance (m)		Min. Turning Radius (m)	Obstruction < 0.8 m
	Low	High	Low	High	Low	High	dynamic	Without		
57 kg	1.51	2.99	1.48	2.96	1.53	3.12	0.24	0.47	0.9	Stop
70 kg	1.50	2.99	1.47	2.95	1.53	3.15	0.28	0.51	0.9	Stop
98 kg	1.48	2.98	1.45	2.93	1.55	3.23	0.29	0.53	0.9	Stop

4. อภิปรายผล

รถเข็นไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ถูกใช้งานในระยะทางสั้น ๆ และมักถูกใช้งานในพื้นที่ ที่มีสิ่งกีดขวางจำนวนมาก จึงมีการเริ่มทำงานและหยุดทำงานบ่อยครั้ง ดังนั้นระบบควบคุมความเร็วจะต้องมีผลตอบสนองที่ดีและควรมีโอเวอร์ซุ่มที่ต่ำเพื่อลดแรงกระชาก ระบบการควบคุมที่มีการปรับปรุงตลอดเวลาจึงมีความเหมาะสม จากการทดสอบการใช้งานพบว่าขณะรถเข็นเริ่มเดินจะไม่เกิดการกระชาก รวมทั้งรถเข็นมีอัตราเร่งขณะขึ้นทางลาดชันที่ดี การบังคับเลี้ยวด้วยไฟฟ้ามี่รัศมีของวงเลี้ยวที่แคบ ส่วนระบบเบรกแบบไดนามิกจะช่วยให้รถเข็นหยุดได้เร็วขึ้นและมีความนุ่มนวล รวมทั้งมีการหยุดรถเมื่อเจอสิ่งกีดขวางทำให้เกิดความปลอดภัยมากขึ้น ระบบขับเคลื่อนของรถเข็นไฟฟ้าที่นำเสนอนี้อาจเป็นแนวทางในการพัฒนาวิจัยเพื่อนำไปใช้งานจริง โดยอาจปรับปรุงให้รถเข็นสามารถเคลื่อนที่ถอยหลังได้ หรือปรับเป็นระบบขับเคลื่อนแบบเกาะพ่วงกับรถเข็นที่ใช้แรงคน

5. สรุปผลการวิจัย

รถเข็นไฟฟ้าสำหรับผู้ช่วยควบคุมการทำงานด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล มีระบบควบคุมความเร็วในวงรอบปิดด้วยโครงข่ายประสาทเทียม ประเมินค่าความเร็วด้วยหลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าต้านกลับ และเบรกด้วยระบบไฟฟ้า มีสมรรถนะในการคงค่าความเร็วโดยมีความผิดพลาด 2.33 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ 3 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีระยะเบรกประมาณ 0.3 เมตร สั้นกว่าเมื่อไม่ใช้การเบรกแบบไฟฟ้า 46.36 เปอร์เซ็นต์ มีรัศมีของวงเลี้ยวแคบสุด 0.9 เมตร รถเข็นจะหยุดเองโดยอัตโนมัติเมื่อเจอสิ่งกีดขวางในระยะ 0.8 เมตร มีประสิทธิภาพโดยรวม 78.16 เปอร์เซ็นต์ และใช้งานได้นานประมาณ 3.25 ชั่วโมงต่อการประจุ 1 ครั้ง มีความเป็นไปได้ในการพัฒนาต่อเพื่อใช้งานจริงในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยงานวิจัยพลังงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ล้านนา ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ เครื่องมือวัดต่าง ๆ ในการทำวิจัย จนงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

สันติภาพ โคตทะเล และอุดม เครือเทพ. (2021). **รถเก้าอี้เข็นไฟฟ้าลดแรงกระแทกสำหรับคนพิการ**,
รายงานสืบเนื่องจากการประชุมวิชาการระดับชาติพินุลสงครามวิจัย ครั้งที่ 6, มหาวิทยาลัยราช
ภัฏพินุลสงคราม, พิษณุโลก.

Esratur, E., Dongyoung, L., & Soonkyum, K. (2022). **Simple User Assistance Driving
Algorithm for Cost-Effective Smart Electric Wheelchair**. IEEE International
Conference on Robot and Human Interactive Communication, Napoli, Italy. Doi:
10.1109/RO-MAN53752.2022.9900765.

Sharaf, A.M., Elbakush, E., Altas, I.H., & Okumus, H.I. (2007). **A Switched Mode
Simulation Model for a PMDC Motor Scheme Controlled by Predictive
Dynamic Controller**. IEEE International Electric Machines & Drives Conference,
Antalya, Türkiye. Doi: 10.1109/iemdc.2007.383688.

Stamatios, V.K. (1996). **Understanding Neural Networks and Fuzzy Logic Basic
Concepts and Applications**. Wiley-IEEE Press. DOI: 10.1109/9780470546826.ch5.

Yoon, H., Eung-Pyo, H., & Mu-Seong, M. (2013). **Development of power add on drive
wheelchair and its evaluation**. 9th Asian Control Conference (ASCC), Istanbul,
Turkey. Doi: 10.1109/ASCC.2013.6606244.

การสั่นสะเทือนภายใต้การหมุนไม่สมดุลกับค่าเหมาะสมตัวดูดซับ
ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค

VIBRATION UNDER ROTATING UNBALANCE WITH OPTIMAL
ABSORBER USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION METHOD

พุดธา จินคร้ว

Puttha Jeenkour

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา อ.เมือง จ.ชลบุรี ประเทศไทย 20131

Faculty of Engineering, Burapha University, Muang, Chonburi, Thailand, 20131

Corresponding author e-mail: puttha@eng.buu.ac.th

วันที่เข้าระบบ 18 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 24 พฤศจิกายน 2566

วันที่ตอบรับบทความ 26 พฤศจิกายน 2566

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการสั่นสะเทือนภายใต้การหมุนที่ไม่สมดุลโดยเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและโมเดลทางคณิตศาสตร์ ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนที่เหมาะสมที่สุดสามารถแก้ปัญหาโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ชุดทดสอบเป็นคานที่ปลายด้านหนึ่งยึดกับสลัก ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งติดตั้งมอเตอร์หมุนที่ไม่สมดุล ตัวสปริงและตัวหน่วง การวัดการสั่นสะเทือนดำเนินการโดยใช้หัววัดความเร่งโมดูล ADXL345 ที่ต่อกับบอร์ดอาดูโนชนิด MEGA 2560 R3 ประมวลผลและส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกผลเป็นข้อมูลโดเมนของเวลาและโดเมนความถี่ ผลการศึกษาพบว่าโมเดลทางคณิตศาสตร์ให้ค่าผลการตอบสนองการสั่นในรูปแบบความเร่งที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองเมื่อกำหนดค่าอัตราส่วนความหน่วงเป็น 0.1 ที่ความเร็วรอบมอเตอร์ 220 rpm การประยุกต์ใช้วิธีหาค่าเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคมีประสิทธิภาพที่จะหาค่าตัวดูดซับการสั่นสะเทือนและเมื่อระบบประกอบด้วยตัวดูดซับการสั่นสะเทือนผลแสดงให้เห็นว่าแอมพลิจูดความเร่งของการสั่นที่มอเตอร์ไม่สมดุลลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: ค่าที่เหมาะสมที่สุด, กลุ่มอนุภาค, ตัวดูดซับการสั่น, การหมุนที่ไม่สมดุล



Abstract

This paper presents the study of vibrations under rotating unbalance, comparing the results between the experiment and the mathematical model. The optimal vibration absorber can be solved using the particle swarm optimization (PSO) method. The test unit is a beam with a pinned support. The unbalanced motor, a spring and a damper are attached to another end beam. The vibration measurement is performed with the ADXL345 accelerometer, which is connected to the MEGA 2560 R3 board. The data is processed and sent to the computer to record the results in the time domain and frequency domain. The results show that the mathematical model has a similar acceleration behavior to the experimental results at a damping ratio of 0.1 and a motor speed of 220 rpm. The particle swarm optimization method is effective for determining the vibration absorber. If the system consists of a vibration absorber, the results show that the amplitude of vibration acceleration decreases significantly with an unbalanced motor.

Keywords: Optimization, Particle swarm, Absorber, Rotational unbalance

1. บทนำ

การสั่นเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุลนั้นเป็นปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนทางกลที่เคลื่อนที่แบบเชิงมุมอันเนื่องมาจากชิ้นส่วนมีการสึกหรอ (Wear) หรือเกิดการการผลัดที่ไม่ได้มาตรฐานทำให้เมื่อนำมาประกอบและทำงานจึงเกิดการสั่นในระดับที่เกินค่าที่ยอมรับได้ ในอุตสาหกรรมวิศวกรรมบำรุงรักษาจำเป็นที่จะต้องตรวจวัดค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรและวิเคราะห์ผลอยู่ตลอดเวลาเพื่อวางแผนในการดำเนินการซ่อมบำรุง ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนและการลดการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุลจึงมีความสำคัญ อย่างไรก็ตามการศึกษาเพียงภาคทฤษฎีนั้นส่วนใหญ่ไม่เห็นภาพถึงปรากฏการณ์อย่างชัดเจน ดังนั้นการใช้ชุดเครื่องมือทดสอบจึงทำให้เข้าใจได้ดียิ่งขึ้น (วีรพล และคณะ, 2556) สำหรับเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดที่สามารถวัดได้ละเอียดและแสดงผลเป็นโดเมนความถี่หรือสเปกตรัมนั้นมีราคาแพงดังนั้นเพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดทดสอบการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุลอย่างง่ายและชุดเครื่องมือวัดความเร่งพร้อมกับการเขียนโปรแกรมเพื่อแปลงค่าจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่จึงถูกพัฒนาขึ้น สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการสั่นสะเทือนทางกลและการวัดการสั่นสะเทือนสามารถที่จะสรุปได้ดังนี้

การวัดการสั่นสะเทือนโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO R3 Version 1.58 ถูกนำมาใช้เพื่อวัดการสั่นสะเทือนของพื้นผิวถนนยางมะตอย (นิธิโรจน์, 2561) การศึกษาแสดงให้เห็นว่า

ชุดการวัดดังกล่าวสามารถที่จะวัดความถี่ได้ตั้งแต่ 10-1,000 Hz และสามารถที่จะประมวลผลเป็นแรงที่กระทำกับพื้นถนนได้ สมศักดิ์ (2562) ได้นำเสนอการวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนโดยการวิเคราะห์ความถี่ โดยในบทความได้นำเสนอการวิเคราะห์ความถี่โดยการใช้เครื่องวัด Spectrum Analysis & Field Balancing ความถี่ที่ถูกนำมาวิเคราะห์นั้นจะมีค่าตั้งแต่ 7 -140 Hz จากนั้นการศึกษารณวิเคราะห์หารูปแบบโดเมนความถี่ของตลับลูกปืนที่ขาดสารหล่อลื่นได้ถูกนำเสนอ โดยทำการวัดสัญญาณการสั่นในรูปแบบโดเมนเวลาที่มีค่า sampling rate 51.2 kHz (กิตติพงศ์ และ พุทธา, 2564) จากนั้นพบว่าหัววัดความเร่งสามแกนรุ่น ADXL345 ได้ถูกนำมาใช้เพื่อที่จะติดตามการสั่น (Holovatyy *et al.*, 2017) ในบทความได้อธิบายถึงประสิทธิภาพของหัววัด การสอบเทียบ และค่า Sampling rate ของค่าความเร่งจากการสั่นที่เหมาะสมสำหรับโหมตมาตรฐาน สำหรับงานวิจัยที่ได้ศึกษาการลดการสั่นสะเทือนสามารถที่จะสรุปได้ดังนี้ หลักการของตัวดูดซับการสั่นได้ถูกนำมาติดที่ไม้เทนนิส (เมชันท์ และคณะ, 2563) โดยทำการศึกษการสั่นที่เกิดที่ด้ามจับในกรณีการเสิร์ฟโดยลูกเทนนิสกระทบกับไม้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เซนเซอร์วัดแรง Flexi-force sensor โดยส่งสัญญาณไร้สายและใช้การแปลงฟูเรียร์ (Fourier transform) วิเคราะห์ความถี่ที่เกิดขึ้นกับไม้เทนนิส งานวิจัยโดยการสร้างตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบปรับค่าได้ถูกนำเสนอ (สุรัตน์, 2557) โดยตัวดูดซับการสั่นจะปรับค่าโดยการใช้ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ จากการศึกษาการใช้ตัวดูดซับการสั่นสะเทือนสามารถที่จะลดการสั่นได้ กลไกแยกการสั่นสะเทือนโดยการใช้สปริงลมที่ความถี่ต่ำได้ถูกนำเสนอ (พงษ์พันธ์ และประเสริฐ, 2552) โดยศึกษาที่ความถี่ 1-5 Hz และปรับแรงดันลมระหว่าง 2-4 bar และการสร้างแรงการสั่นสะเทือนกระทำกับโครงสร้างโดยใช้ลำโพง กลไกดังกล่าวสามารถที่จะลดแรงการสั่นสะเทือนได้ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาคสรุปได้ดังนี้ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) ได้ถูกศึกษาเปรียบเทียบกับวิธีอัลกอริทึมอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial bee colony algorithm, ABC) (ลัดนา และจักรพันธ์, 2562) โดยทดสอบกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์มาตรฐาน 8 ฟังก์ชัน และทดสอบที่ตัวแปรออกแบบ 1 ตัวแปร ผลแสดงให้เห็นว่าวิธีแบบกลุ่มอนุภาคจะลู่เข้าคำตอบได้เร็วกว่าเมื่อทดสอบใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบ Rosenrock และ Schwefel วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคได้ประยุกต์ใช้ในการจัดการจราจรข้อมูลในเครือข่ายไอเอสพีเอฟ (กายรัฐ, 2558) อย่างไรก็ตามจากการตรวจสอบพบว่ามีงานวิจัยจำนวนน้อยได้ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคกับการหาค่าตัวดูดซับการสั่นสะเทือน

สำหรับบทความนี้ชุดทดสอบอย่างง่ายได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อศึกษาการสั่นสะเทือนเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุล โดยการศึกษาการสั่นสะเทือนได้เลือกใช้หัววัดความเร่งสามแกนรุ่น ADXL345 ร่วมกับบอร์ดอาดูโนรุ่น MEGA 2560 R3 ในบทความนี้ได้เปรียบเทียบการสั่นสะเทือนกรณีติดตัวดูดซับการสั่นสะเทือนกับกรณีที่ไม่มีตัวดูดซับการสั่นสะเทือน สำหรับตัวดูดซับการสั่นสะเทือนได้ประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization method,

PSO) ในการออกแบบหาค่าคงที่สปริงและมวล สำหรับวิธีแบบกลุ่มอนุภาคเป็นวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่ไม่ต้องหาค่าอนุพันธ์ของสมการเป้าหมายซึ่งมีความแตกต่างจากการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบดั้งเดิม

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

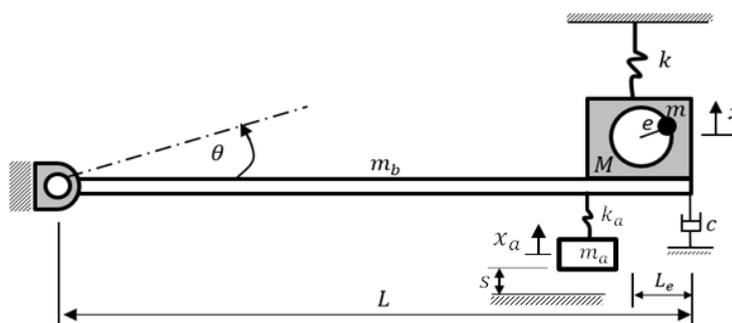
- 2.1 เพื่อศึกษาการสั่นเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุลทั้งโมเดลทางคณิตศาสตร์และทดลอง
- 2.2 เพื่อศึกษาวิธีการลดการสั่นเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุลด้วยตัวดูดซับการสั่น
- 2.3 เพื่อทดสอบวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยตัวดูดซับการสั่นด้วยวิธีการคำนวณหาค่าเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคสำหรับพัฒนาระบบการควบคุมการสั่นแบบอัตโนมัติต่อไป

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

สำหรับวิธีดำเนินการวิจัยจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ คือ (1) การคำนวณเชิงตัวเลขหาผลการตอบสนองการสั่นในรูปความเร่งและคำนวณหาขนาดตัวดูดซับการสั่นด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค และ (2) จะเป็นการทดสอบการสั่นด้วยชุดทดสอบการหมุนที่ไม่สมดุล

3.1 การคำนวณเชิงตัวเลข

ภาพที่ 1 แสดงแบบจำลองชุดทดสอบการสั่นสะเทือนที่ออกแบบเพื่อศึกษาการสั่นเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุล



ภาพที่ 1 แบบจำลองชุดทดสอบการสั่นสะเทือน

โดยที่มวล M [kg] คือ มวลของมอเตอร์ที่ติดที่ปลายของคาน m [kg] คือ มวลที่ทำให้เกิดการหมุนที่ไม่สมดุลมี โดยมีระยะเยื้องศูนย์กลาง e [m] มอเตอร์จะติดสปริงที่มีค่าคงที่สปริง k [N/m] และตัวหน่วงที่มีค่าคงที่ความหน่วง c [N.s/m] ในขณะที่คานมีมวล m_b [kg] มีความยาว L [m] โดยที่ปลาย

อีกด้านหนึ่งถูกรองรับแบบสลัก (Pinned end) ซึ่งทำให้คานหมุนได้อิสระตามทิศทางมุม θ [rad] และระยะ L_e [m] เป็นระยะจากจุดศูนย์กลางมอเตอร์ไปที่ปลายอิสระของคาน ระบบจะเกิดการสั่นเมื่อมอเตอร์เริ่มหมุนด้วยความเร็วรอบ ω [rad/s] ดังนั้นจำลองระบบให้เป็นระบบหนึ่งตัวแปรอิสระ, x (One degree of freedom) ในรูปแบบการเคลื่อนที่เชิงเส้นในแนวตั้งของจุดศูนย์กลางมวลมอเตอร์สำหรับในกรณีที่ยังไม่ติดตัวดูดซับการสั่น ($m_a - k_a$) โดยที่ m_a [kg] คือ มวลตัวดูดซับการสั่นและ k_a [N/m] คือค่าคงที่สปริงของตัวดูดซับการสั่น สมการการเคลื่อนที่ของระบบสามารถที่จะเขียนขึ้นโดยใช้สมการของ Lagrange ตามที่แสดงในสมการที่ (1) ตัวแปร t [s] คือเวลา และตัวแปร x_i [m], \dot{x}_i [m/s] คือ การกระจัดและความเร็วเชิงเส้นของมอเตอร์ ตามลำดับ

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{dT}{dx_i} \right) - \frac{dT}{dx_i} + \frac{dR}{dx_i} + \frac{dV}{dx_i} = F_i \quad (1)$$

โดยที่ T คือ พลังงานจลน์ของระบบ V คือ พลังงานศักย์ของระบบ R คือ ฟังก์ชันกระจายของ Rayleigh (Rayleigh's dissipation function) ซึ่งมีค่าสัมพันธ์กับตัวหน่วงและความเร็ว และ F คือแรงที่เกิดจากการหมุนที่ไม่สมดุล ดังนั้นเมื่อแทนค่าดังกล่าวข้างต้นลงในสมการที่ (1) สมการการเคลื่อนที่ที่จะอยู่ในรูปแบบตามสมการที่ (2) โดยที่ค่า c_t คือ ค่าความหน่วงเนื่องจากแรงเสียดทานที่จุดยึดด้วยสลักและ c คือค่าคงที่ความหน่วงจากกระบอกลูกสูบที่บรรจุของเหลว

$$\left\{ \frac{7}{12} \left(\frac{L}{L-L_e} \right)^2 m_b + M + m \right\} \frac{d^2x}{dt^2} + \left\{ c \left(\frac{L}{L-L_e} \right)^2 + c_t \left(\frac{1}{L-L_e} \right) \right\} \frac{dx}{dt} + kx = m\omega^2 \sin(\omega t) \quad (2)$$

จากสมการที่ (2) ค่าอัตราส่วนความหน่วง (Damping ratio, ξ) ของระบบจะคำนวณได้ตามสมการที่ (3)

$$\xi = \frac{\left(c \left(\frac{L}{L-L_e} \right)^2 + c_t \left(\frac{1}{L-L_e} \right) \right)}{2 \sqrt{\left(\frac{7}{12} \left(\frac{L}{L-L_e} \right)^2 m_b + M + m \right) k}} \quad (3)$$

อย่างไรก็ตามเมื่อติดตัวดูดซับการสั่น (Vibration absorber, $m_a - k_a$) ระบบจะถูกจำลองเป็นระบบสองตัวแปรอิสระ (Two degree of freedoms) ดังนั้นสมการการเคลื่อนที่ที่สามารถที่จะเขียนได้ตามสมการที่ (4) และ (5) โดยใช้หลักการของสมการของ Lagrange ตัวแปร x_a [m] คือ การกระจัดของมวลตัวดูดซับการสั่น

$$\left\{ \frac{7}{12} \left(\frac{L}{L-L_e} \right)^2 m_b + M + m \right\} \frac{d^2x}{dt^2} + \left\{ c \left(\frac{L}{L-L_e} \right)^2 + c_t \left(\frac{1}{L-L_e} \right) \right\} \frac{dx}{dt} + \left\{ k + \left(\frac{L-2L_e}{L-L_e} \right)^2 k_a \right\} x - \left(\frac{L-2L_e}{L-L_e} \right) k_a x_a = m e \omega^2 \sin(\omega t) \quad (4)$$

$$m_a \frac{d^2x_a}{dt^2} - k_a \left(\frac{L-2L_e}{L-L_e} \right) x + k_a x_a = 0 \quad (5)$$

จากสมการ (4) และ (5) จะนิยมเขียนอยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ ตามที่ได้แสดงในสมการที่ (6)

$$[m]\ddot{x}_i + [c]\dot{x}_i + [k]x_i = f_i \quad (6)$$

โดยที่ $[m]$ $[c]$ และ $[k]$ เป็น เมตริกซ์มวล ตัวหน่วงและค่าคงที่ของสปริง ตามลำดับ การหาผลการตอบสนองการสั่นของการกระจัด ความเร็วและความเร่งของระบบจะถูกคำนวณโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขด้วยวิธีผลต่างสี่เหลี่ยม (Finite difference method, FDM) โดยอนุพันธ์อันดับหนึ่งและสองในสมการที่ (6) จะถูกประมาณด้วยวิธีผลต่างตรงกลาง (Central difference) ตามสมการที่ (7)

$$\dot{x}_i = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2\Delta t} ; \quad \ddot{x}_i = \frac{x_{i+1} - 2x_i + x_{i-1}}{(\Delta t)^2} \quad (7)$$

แทนสมการ (7) ลงใน (6) จะได้เวกเตอร์การกระจัดที่เวลาถัดไปได้ตามสมการที่ (8)

$$x_{i+1} = [A1]^{-1} (f_i - [A2]x_i - [A3]x_{i-1}) \quad (8)$$

โดยที่เมตริกซ์ $[A1]$ $[A2]$ และ $[A3]$ หาได้ตามสมการดังนี้

$$[A1] = \left\{ \frac{1}{(\Delta t)^2} [m] + \frac{1}{2\Delta t} [c] \right\}; \quad [A2] = \left\{ \frac{-2}{(\Delta t)^2} [m] + [k] \right\}; \quad [A3] = \left\{ \frac{1}{(\Delta t)^2} [m] - \frac{1}{2\Delta t} [c] \right\} \quad (9)$$

สำหรับที่เวลาเริ่มต้น $t=0$ หรือที่ $i=0$ ค่า $x_{i-1} = x_{-1}$ ถูกแก้ปัญหาค่าโดยการใช้อนุกรมของ Taylor ตามสมการที่ (10)

$$x_{-1} = x_0 - \Delta t \dot{x}_0 + \frac{(\Delta t)^2}{2} \ddot{x}_0 \quad (10)$$

โดยที่ \dot{x}_0 , \ddot{x}_0 และ \ddot{x}_0 เป็นเวกเตอร์การกระจัด ความเร็วและความเร่งเริ่มต้นตามลำดับ สำหรับตัวดูดซับการสั่นนั้นเป้าหมายของการติดตั้งตัวดูดซับการสั่นคือเพื่อที่จะลดการสั่นสะเทือนที่โครงสร้างหลัก ดังนั้นการออกแบบตัวดูดซับการสั่นนั้นจะใช้วิธีหาค่าความเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function) ของปัญหาเป็นค่าแอมพลิจูดของการกระจัด (Displacement amplitude) ของโครงสร้างหลักต่ำที่สุด X_{min} ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการการเคลื่อนที่ดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะอยู่ในรูปแบบปัญหาค่าความเหมาะสมที่ต่ำที่สุดตามสมการที่ (11) และมีเงื่อนไขบังคับตามสมการที่ (12)

$$\min: f(x_i) = X \quad (11)$$

$$x_a \leq s \quad ; \quad L_i \leq x_i \leq U_i \quad (12)$$

โดยที่ ตัวแปรออกแบบคือ $x_i = [m_a, k_a]$ ตัวแปร s [m] คือระยะจำกัดที่มวลตัวดูดซับการสั่นจะเคลื่อนที่ได้ L_i และ U_i เป็นค่าจำกัดขอบล่างและขอบบนของตัวแปรออกแบบ สำหรับในบทความนี้ได้ใช้วิธีการหาค่าความเหมาะสมที่สุดแบบวิถีกุ่มอนุภาค (PSO) สำหรับขั้นตอนในการหาค่าความเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคได้ถูกนำเสนอโดย Yang, (2010) และมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจำนวนอนุภาค จำนวนครั้งในการเคลื่อนที่ของอนุภาคหรือจำนวนการคำนวณซ้ำ (Iterations number) และสุ่มค่าตำแหน่งของอนุภาคและความเร็วของอนุภาคทุกตัวในขอบเขตค้นหาค่าตอบ

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค (Global best, G^*) สำหรับรอบการคำนวณปัจจุบันและเทียบกับค่าก่อนหน้าโดยคำนวณเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละอนุภาค และคำนวณหาตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคตัวเองแต่ละตัว (Personal best, x_i^*) โดยเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัจจุบันกับค่าก่อนหน้า ดังนั้นค่า G^* และ x_i^* จึงถูกปรับปรุงให้เป็นปัจจุบัน

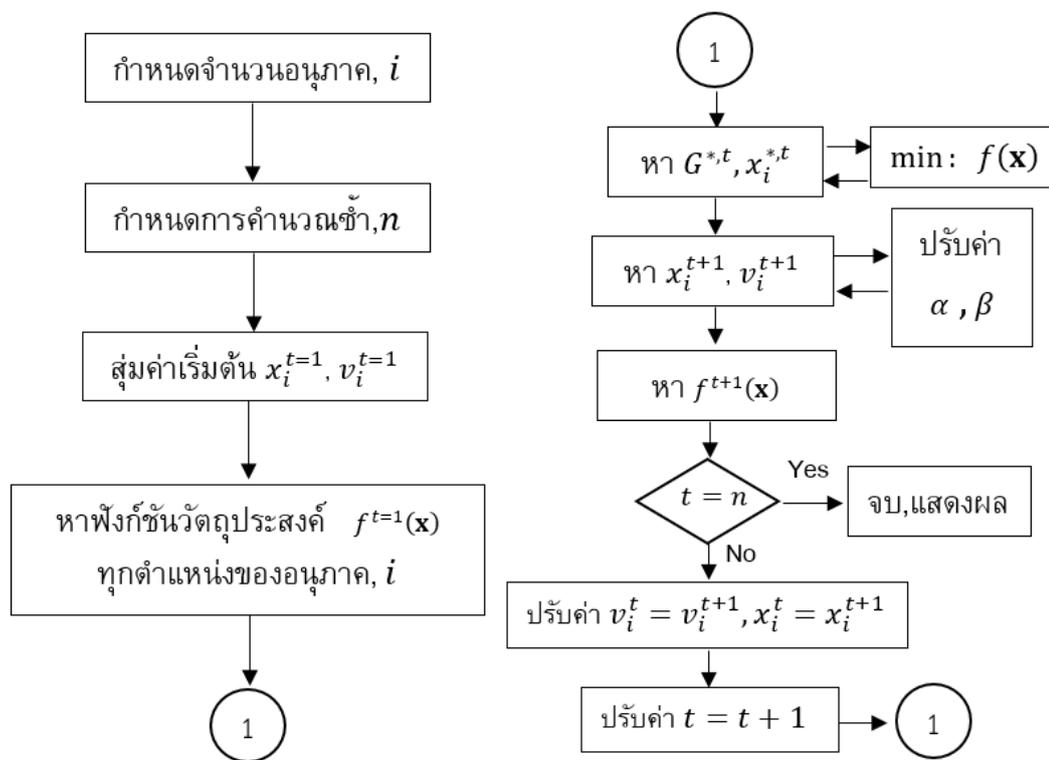
ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาตำแหน่งใหม่ของแต่ละอนุภาค โดยการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาคจะอ้างอิงตำแหน่ง G^* และ x_i^* เป็นตัวกำหนดทิศทาง โดยตำแหน่งใหม่ของแต่ละอนุภาคคำนวณได้ตามสมการที่ (13) และ (14) ตามลำดับ

$$v_i^{t+1} = \phi v_i^t + \alpha \varepsilon_1 (G^* - x_i^t) + \beta \varepsilon_2 (x_i^* - x_i^t) \quad (13)$$

$$x_i^{t+1} = x_i^t + v_i^{t+1} \quad (14)$$

โดยที่ v_i^{t+1} คือค่าความเร็วรอบใหม่ v_i^t คือค่าความเร็วรอบเดิม โดยในการคำนวณที่ค่าเริ่มต้นนั้นจะกำหนดให้เป็นศูนย์ ($v_i^{t=0} = 0$) สำหรับ α และ β คือค่าตัวแปรการเรียนรู้ซึ่งเป็นค่าคงที่ ϕ เป็นค่าถ่วงน้ำหนัก $\varepsilon_{1,2}$ เป็นค่าสุ่มในช่วง $[0, 1]$ x_i^{t+1} และ x_i^t คือค่าตำแหน่งของแต่ละอนุภาครอบใหม่และรอบเดิมตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 4 วนกลับไปคำนวณซ้ำในขั้นตอนที่ 2 และ 3 จนลู่เข้าค่าตอบตามเงื่อนไขหรือสิ้นสุดจำนวนรอบการคำนวณซ้ำที่กำหนด จากขั้นตอน 1 - 4 สามารถที่จะเขียนแสดงเป็นแผนภาพได้ตามภาพที่ 2



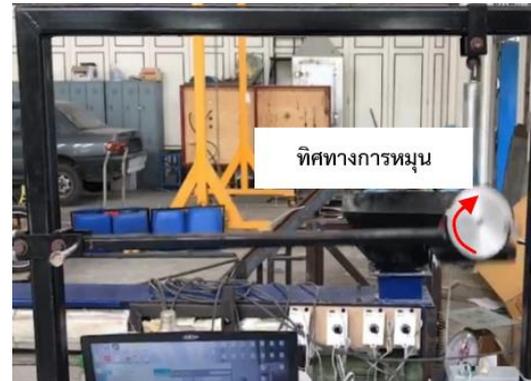
ภาพที่ 2 แผนภาพขั้นตอนการคำนวณโดยวิธีกลุ่มอนุภาค (PSO)

3.2 การทดสอบการสั่นสะเทือน

ภาพที่ 3 แสดงชุดทดสอบการสั่นสะเทือนทางกลเนื่องจากการหมุนที่ไม่สมดุล ภาพที่ 3 (ก) แสดงกลไกหลักของชุดทดสอบประกอบด้วยมอเตอร์พร้อมจานหมุนที่ติตมวล์ที่ไม่สมดุล ด้านบนของมอเตอร์ติดกับสปริง ที่ฐานของมอเตอร์จะติดตัวดูดซับการสั่นสะเทือนและตัวหน่วง ตัวหน่วงออกแบบให้เป็นกระบอกสูบทำจากอะคริลิคโดยตัวลูกสูบจะเจาะรูและภายในกระบอกสูบจะบรรจุของเหลว สำหรับในบทความนี้ใช้น้ำบรรจุในกระบอกสูบ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 3 ชุดทดสอบการสั่นเทือนขณะทำการทดสอบ (ก) ก่อนการทดสอบ (ข) มอเตอร์เริ่มหมุน (ค) แอมพลิจูดการสั่น (+x) (ง) แอมพลิจูดการสั่น (-x)

ภาพที่ 3 (ข) แสดงทิศทางการหมุนของมอเตอร์ ทิศที่ที่มอเตอร์เริ่มหมุนจะทำให้มีแรงจากการหมุนที่ไม่สมดุลทำให้โครงสร้างเกิดการสั่นในลักษณะที่มีแอมพลิจูดของการกระจัดของมอเตอร์ทางบวก (+x) และทางลบ (-x) แสดงตามภาพที่ 3 (ค) และ (ง) ตามลำดับ

ภาพที่ 4 แสดงชุดอุปกรณ์การวัดและการควบคุม โดยกระแสไฟฟ้า AC จะถูกแปลงเป็น DC ก่อนเข้ามอเตอร์ และแรงดันไฟฟ้าจะถูกปรับเพื่อควบคุมความเร็วรอบ ความเร็วรอบที่วัดได้จะแสดงผลที่จอตามที่แสดงในภาพที่ 4 (ก) ในขณะที่ภาพที่ 4 (ข) และ ภาพที่ 4 (ค) แสดงหัววัดและตำแหน่งที่วัดของความเร็วรอบและความเร่ง ตามลำดับ โดยที่หัววัดความเร่งเป็นโมเดล ADXL345 หัววัดความเร่งจะส่งข้อมูลไปที่บอร์ด Arduino รุ่น MEGA 2560 R3 ซึ่งแสดงในภาพที่ 4 (ง) เพื่อประมวลผลส่งข้อมูลและบันทึกผลเป็นโดเมนของเวลาที่คอมพิวเตอร์ ตามลำดับ โดยค่า Sampling rate (SR) สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1000 Hz ซึ่งมีข้อมูลเพียงพอสำหรับการทดสอบเมื่อมอเตอร์ทำงานที่

ความเร็วรอบ 150 – 300 rpm (2.5-5 Hz) ดังนั้นจำนวนข้อมูล (N) ในช่วงการสั่นหนึ่งรอบเนื่องจากแรงที่เกิดจากการหมุนของมอเตอร์ที่ความเร็วรอบ ω ในหน่วย rad/s คำนวณได้ตามสมการที่ (15)

$$N = \frac{2\pi}{\omega} \times SR \quad (15)$$

สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดให้ $SR = 100$ Hz และทดสอบที่ความเร็วรอบ 220 rpm ดังนั้นในการหมุนมอเตอร์หนึ่งรอบจะมีข้อมูลประมาณ 27 ข้อมูล สำหรับแปลงข้อมูลจากโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่นั้นจำนวนข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นั้นจะต้องอยู่ในรูปกำลังสอง เช่น 16, 32, 64 หรือ 128 เป็นต้น (Singiresu, 2011) ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ 128 ข้อมูลหมายถึงจะต้องเก็บข้อมูลการสั่นในขณะที่มอเตอร์หมุนอย่างน้อย 4.74 รอบซึ่งเพียงพอในการประมวลผลหาค่าผลการตอบสนองในรูปโดเมนความถี่ เนื่องจากการสั่นเกิดจากการกระตุ้นจากการหมุนที่ไม่สมดุลของมอเตอร์เพียงอย่างเดียว จึงไม่ต้องอาศัยข้อมูลจำนวนมากในช่วง 1 คาบเวลาในการแยกสัญญาณเนื่องจากปัจจัยอื่น

สำหรับการแปลงข้อมูลที่เป็นโดเมนเวลาเป็นโดเมนความถี่จะเรียกใช้ฟังก์ชันการแปลงฟูเรียร์อย่างรวดเร็ว (Fast Fourier transform, FFT) โดยรับข้อมูลความถี่ในรูปโดเมนเวลา สำหรับข้อมูลความถี่จากหัววัด a_p จำเป็นที่จะต้องปรับค่าเนื่องจากหัววัดความถี่จะแสดงค่าเป็นหน่วยจำนวนเท่าของค่าความถี่โน้มถ่วง ดังนั้นในกรณีที่ไม่เกิดการสั่นในแนวตั้งหัววัดจะแสดงค่าเป็น $1g$ ($g=9.81$ m/s²) เพื่อที่จะปรับเป็นในหน่วย m/s² และกำหนดค่าความถี่เป็นศูนย์เมื่อไม่มีการสั่น ดังนั้นข้อมูลจากหัววัดความถี่สามารถที่จะปรับค่าได้ความถี่ทดลอง a_{exp} [m/s²] ตามสมการที่ (16)

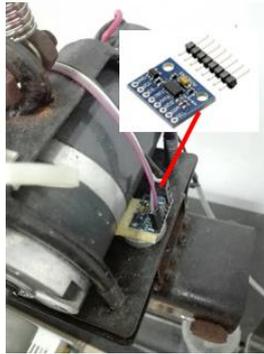
$$a_{exp} = (a_p - 1) \times g \quad (16)$$



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

ภาพที่ 4 อุปกรณ์การวัดความเร่งและความเร็วรอบ (ก) ตัวปรับความเร็วรอบ (ข) หัววัดความเร็วรอบ (ค) ตำแหน่งวัดความเร็วรอบ (ง) บอร์ดประมวลผล

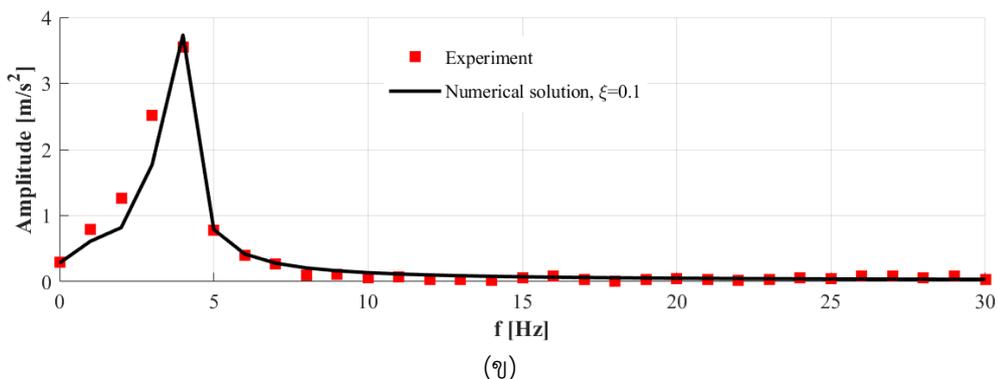
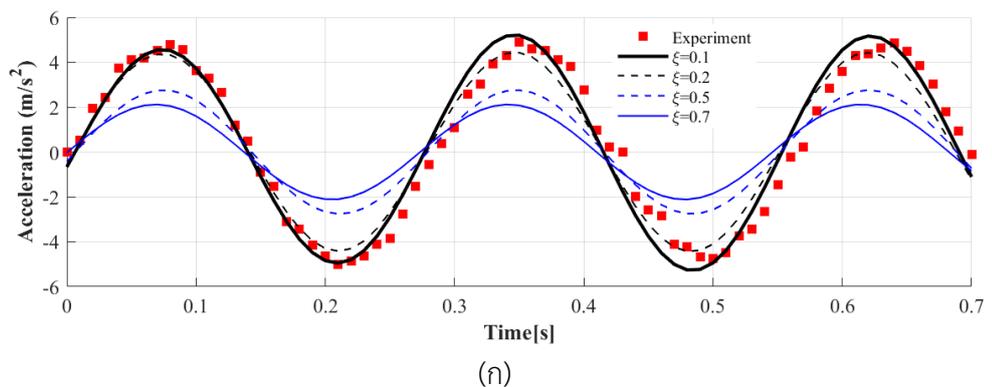
สำหรับขนาดของตัวแปรต่าง ๆ ของชุดทดสอบและค่าที่ใช้ในการคำนวณแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ขนาดตัวแปรและค่าที่ใช้ในการคำนวณ

ตัวแปร	ขนาด
ความยาวคาน L [m]	1.0
ระยะมอเตอร์ L_e [m]	0.1
ระยะจำกัด S [m]	0.2
มวลมอเตอร์ M [kg]	2.5
มวลไม่สมดุล m [kg]	0.2
มวลคาน m_b [kg]	1.2
ระยะเยื้องศูนย์กลาง e [m]	0.08
ค่าคงที่สปริง k [N/m]	1033
ค่าคงที่สปริงตัวดูดซับ k_a [N/m]	350~1,120
มวลตัวดูดซับการสั่น m_a [kg]	1.0 ~ 4.5
ความเร็วรอบมอเตอร์ ω [rpm]	220
ค่าตัวแปรการเรียนรู้ α	0.1~0.7
ค่าตัวแปรการเรียนรู้ β	0.1~0.7

4. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาได้แบ่งออกเป็นสามส่วนได้แก่ การเปรียบเทียบโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้กับผลการทดลองเพื่อปรับค่าตัวแปรที่ไม่ทราบค่าให้เหมาะสม ส่วนที่สองจะเป็นการคำนวณหาตัวคูณซ้ำการสั่นด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคและส่วนที่สามเป็นผลการติดตั้งตัวคูณซ้ำการสั่นสะท้อน ภาพที่ 5 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าผลการตอบสนองการสั่นในรูปความเร่งทั้งแบบแสดงโดยโดเมนเวลาและโดเมนความถี่ โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนความหน่วง ξ เนื่องจากค่าอัตราส่วนความหน่วงของระบบสำหรับโมเดลทางคณิตศาสตร์ในบทความนี้เป็นตัวแปรที่ไม่ทราบค่าอย่างชัดเจนดังนั้นจึงทำการปรับค่าให้เหมาะสมโดยอ้างอิงค่าจากผลการทดลองที่วัดได้ในช่วงสภาวะคงตัว (Steady state) จากผลการปรับค่า ξ ตามภาพที่ 5 (ก) ในกรณี $\xi = 0.1$ ได้ความเร่งในรูปโดเมนเวลาที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุดและเมื่อนำค่าความเร่งทั้งผลการทดลองและผลการคำนวณที่ $\xi = 0.1$ มาคำนวณหาความเร่งในรูปโดเมนความถี่ตามภาพที่ 5 (ข) พบว่าได้ค่าความถี่ที่ตรงกัน ดังนั้นค่าอัตราส่วนความหน่วง ξ ที่เลือกใช้ในโมเดลคณิตศาสตร์ที่จะใช้คำนวณหาค่าเหมาะสมตัวคูณซ้ำการสั่นมีค่าเป็น 0.1



ภาพที่ 5 ผลการตอบสนองการสั่นก่อนติดตั้งตัวคูณซ้ำการสั่นในรูปความเร่ง

(ก) ความเร่ง (ข) โดเมนความถี่

ตารางที่ 2 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เมื่อปรับค่าตัวแปรการเรียนรู้ α ที่ $\beta = 0.1$

รอบการคำนวณ	f(x), $\alpha=0.1$	f(x), $\alpha=0.2$	f(x), $\alpha=0.3$	f(x), $\alpha=0.4$	f(x), $\alpha=0.5$	f(x), $\alpha=0.6$	f(x), $\alpha=0.7$
1	1.31575	1.31575	1.31575	1.31575	1.31575	1.31575	1.31575
2	0.63491	0.79148	1.33877	0.98947	0.34969	1.19455	0.30717
3	0.44519	1.23827	1.11716	0.92909	0.86466	0.16046	0.33877
4	0.70314	0.30281	0.93234	0.56598	0.21675	0.35662	0.45275
5	0.78404	0.92257	1.24287	0.72108	0.04544	0.10702	0.35175
6	0.04340	1.69301	0.49477	0.82604	0.03149	0.15730	1.19431
7	0.72827	1.32646	0.20109	1.56421	1.57049	1.06570	0.81365
8	0.87022	1.05393	0.04874	0.07517	0.85457	0.10321	0.27236
9	1.44014	0.41619	0.62865	0.11724	0.30995	0.12089	0.18585
10	1.28979	0.07577	0.07068	0.53966	0.04177	0.18470	0.81918

ตารางที่ 3 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เมื่อปรับค่าตัวแปรการเรียนรู้ β ที่ $\alpha=0.5$

รอบการคำนวณ	f(x), $\beta=0.1$	f(x), $\beta=0.2$	f(x), $\beta=0.3$	f(x), $\beta=0.4$	f(x), $\beta=0.5$	f(x), $\beta=0.6$	f(x), $\beta=0.7$
1	1.31575	1.31575	1.31575	1.31575	1.31575	1.31575	1.31575
2	0.74479	0.92007	0.53316	0.28560	0.48545	0.23280	0.12017
3	1.17992	0.13831	0.21078	0.17930	0.09867	0.71386	0.35955
4	1.36455	0.39195	0.45542	0.41444	0.28840	0.29135	0.11779
5	0.50594	0.44005	0.56209	0.21933	0.16751	0.14649	0.19824
6	1.63880	0.32195	0.02938	0.04941	0.22868	0.15332	0.10901
7	0.34840	0.22985	0.29839	0.03412	0.04186	0.31404	0.25661
8	1.89148	0.35983	0.71179	0.15698	0.30976	0.26259	0.32007
9	1.13600	0.05664	0.34215	0.14605	0.06811	0.11511	0.12981
10	0.23312	0.05197	0.17229	0.03111	0.13043	0.13417	0.37388

สำหรับขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคนั้นค่าตัวแปรการเรียนรู้ α และ β จะส่งผลต่อการลู่เข้าคำตอบ (Xin-She Yang, 2010) ดังนั้นจึงได้ทำการตรวจสอบค่าตัวแปรการเรียนรู้ โดยทำการปรับค่า α ตั้งแต่ 0.1 ~ 0.7 และให้ค่า $\beta=0.1$ ตามที่ได้แสดงค่าการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในตารางที่ 2 โดยที่ทำการสุ่มค่าตำแหน่งอนุภาคที่รอบคำนวณเริ่มต้นที่เหมือนกันทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในรอบคำนวณที่ 1 นั้นจะมีค่าเท่ากัน จากการคำนวณพบว่าที่ $\alpha = 0.5$ จะได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต่ำที่สุด (0.03149) และใช้การคำนวณซ้ำที่น้อยสุดตามที่แสดงด้วยแท็บสีส้ม ดังนั้นจึงเลือกค่า $\alpha = 0.5$ และทำการปรับค่า β ตั้งแต่ 0.1 ~ 0.7 ตามที่ได้แสดงในตารางที่ 3 จากการคำนวณพบว่าการใช้ค่า $\beta=0.3$ จะได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต่ำที่สุด (0.02938) และใช้การคำนวณซ้ำที่น้อยสุด (6 รอบ) ตามที่แสดงด้วยแท็บสีส้ม จากการคำนวณตามตารางที่ 2 และ 3 พบว่าการใช้ค่า α และ β ที่มากเกินไปจะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เร็วเกินไปและเลยตำแหน่งที่เป็นคำตอบ

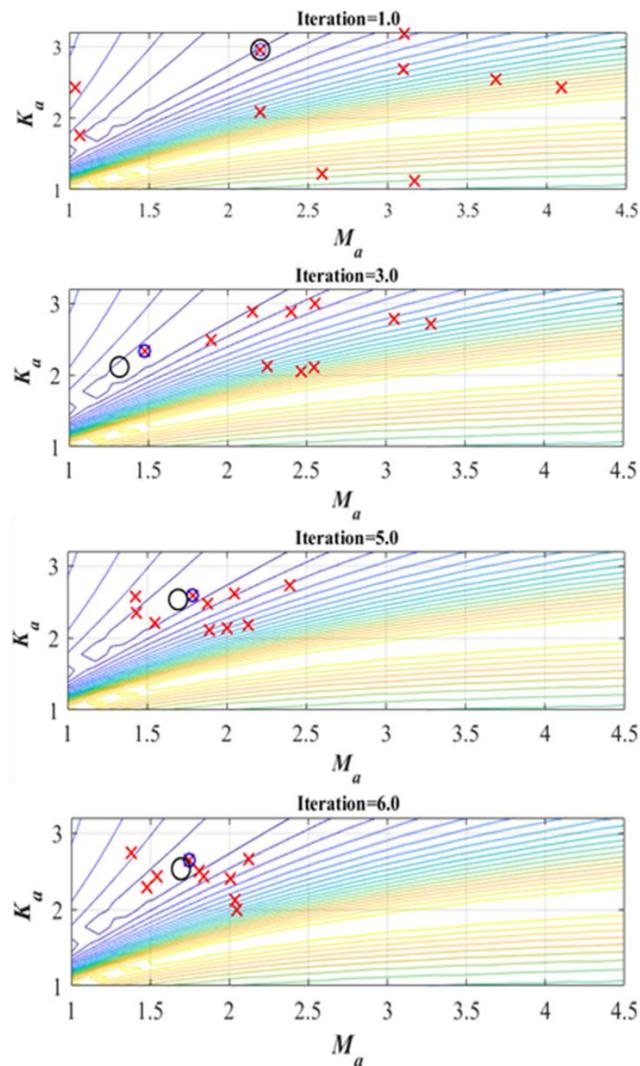
ในขณะที่ใช้ค่าน้อยก็จะเคลื่อนที่ช้า ทั้งสองกรณีมีข้อดีและข้อเสีย ดังนั้นในบทความนี้จึงได้แนวคิดที่จะใช้ค่า α และ β ในรอบการคำนวณต้น ๆ ให้มีค่าที่จะทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าสู่ค่าตอบที่เร็วคือใช้ $\alpha=0.5$, $\beta=0.3$ และในช่วงรอบคำนวณซ้ำท้าย ๆ จะปรับค่า $\alpha=0.1$, $\beta=0.1$ เพื่อให้กลุ่มอนุภาคไม่เคลื่อนที่เร็วเกินไปจนเลยค่าตอบ

ภาพที่ 6 แสดงตำแหน่งของกลุ่มอนุภาคสำหรับรอบการคำนวณซ้ำที่ 1.0 - 6.0 ซึ่งอยู่ในช่วงต้นของการคำนวณซ้ำ โดยเครื่องหมายกากบาทแสดงตำแหน่งอนุภาคที่รอบปัจจุบัน x_i และตำแหน่งอนุภาคที่มีวงกลมสีน้ำเงินวงรอบเป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดในรอบการคำนวณนั้น x_i^* (Personal best) และตำแหน่งที่เป็นวงกลมสีดำเป็นตำแหน่งของ G^* (Global best) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เปรียบเทียบค่า x_i^* ก่อนหน้านี้ทั้งหมด ตำแหน่งของอนุภาคแทนค่าของตัวแปรออกแบบ (Design of variable) แกน x เป็นค่ามวลตัวดูดซับการสั่นในรูปไร้หน่วย $M_a = m_a/m_0$ โดย $m_0 = 1.0$ kg แกน y เป็นค่าคงที่สปริงตัวดูดซับการสั่นในรูปไร้หน่วย $K_a = k_a/k_0$ โดย $k_0 = 350$ N/m สำหรับรอบการคำนวณที่ 1 (Iteration=1.0) ตำแหน่งอนุภาคเกิดจากการสุ่มค่าซึ่งจะเห็นได้ว่าอนุภาคแต่ละตัวจะกระจายและอยู่ห่างจากตำแหน่งของ G^* และเมื่อจำนวนการคำนวณซ้ำเพิ่มขึ้นตามที่แสดงในรอบการคำนวณซ้ำที่ 3, 5 และ 6 (Iteration= 3, 5, 6) อนุภาคจะเคลื่อนตัวเข้าใกล้กับตำแหน่งของ G^* มากขึ้น ในทางอุดมคติตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดนั้นอนุภาคทุกตัวก็จะเคลื่อนที่มากกระจุกหรืออยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันทั้งหมด ซึ่งต้องอาศัยจำนวนรอบการคำนวณที่มากขึ้นและการปรับค่าตัวแปรการเรียนรู้ α และ β

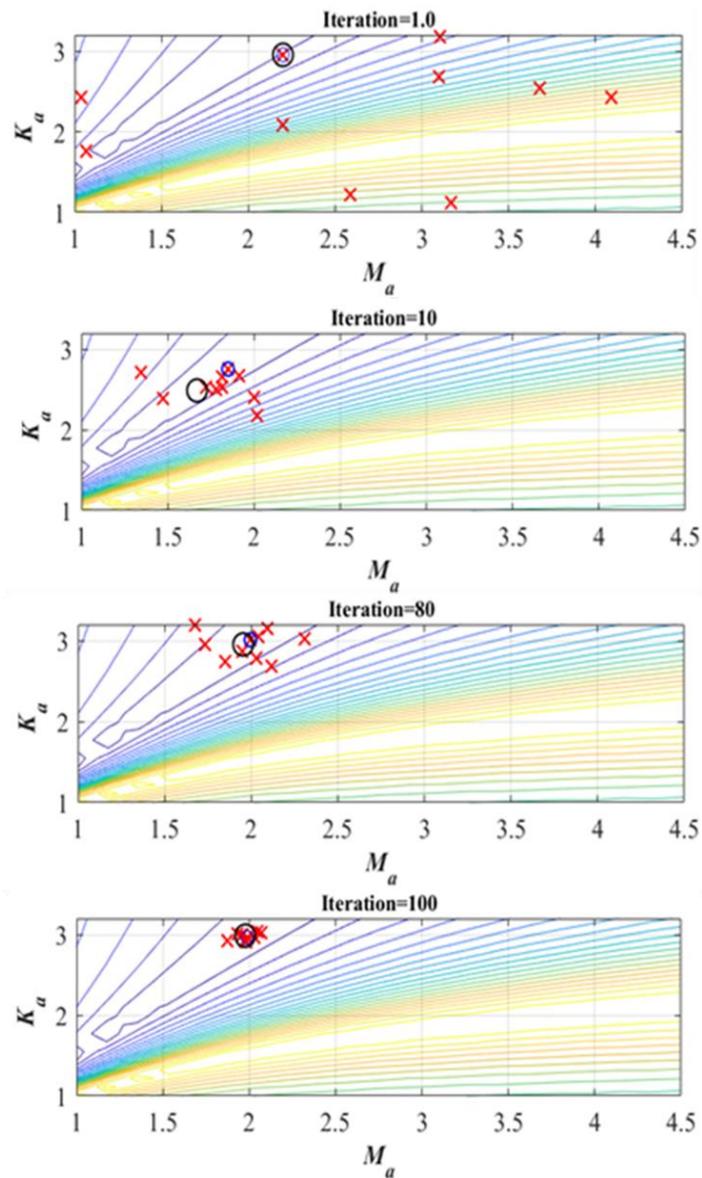
ภาพที่ 7 แสดงการคำนวณหาค่าเหมาะสมที่สุดในภาพรวมทั้งหมดตั้งแต่รอบการคำนวณที่ 1 (Iteration=1.0) จนถึงการคำนวณในรอบสุดท้ายซึ่งกำหนดไว้ที่ 100 (Iteration=100) โดยในภาพจะแสดงเฉพาะรอบที่ 1, 10, 80 และ 100 (Iteration=1, 10, 80, 100) ซึ่งกำหนดให้ในช่วงการคำนวณในรอบตั้งแต่ 80 - 100 จะใช้ค่าตัวแปรการเรียนรู้เป็น $\alpha=0.1$, $\beta=0.1$ ส่งผลให้อนุภาคเคลื่อนที่ช้าลงหรือหมายถึงระยะการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคสั้นลงเพื่อไม่ให้เคลื่อนตัวเลยจุดที่เป็นคำตอบจากการคำนวณจะพบว่าที่รอบการคำนวณที่ 100 อนุภาคทุกตัวแทบจะกระจุกอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน โดยตำแหน่งดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งตรงกับ $M_a \approx 2.0$ และ $K_a \approx 3.0$ หรือถ้าแปลงเป็นตัวแปรที่มีหน่วยจะได้มวลตัวดูดซับการสั่น $m_a = 2.0$ kg และค่าคงที่สปริงของตัวดูดซับการสั่น $k_a = 1,050$ N/m

สำหรับส่วนสุดท้ายแสดงผลการติดตั้งตัวดูดซับการสั่นที่เหมาะสมในระบบที่มีการหมุนที่ไม่สมดุล โดยที่ภาพที่ 8 แสดงผลการคำนวณการตอบสนองของระบบในรูปความเร่ง $a(t)$ และการกระจัด $x(t)$ ที่โครงสร้างหลักหรือมอเตอร์ที่หมุนไม่สมดุล (Unbalanced motor) และที่ตัวดูดซับการสั่น (Absorber) จากภาพจะเห็นได้ว่าตัวดูดซับจะดูดซับพลังงานในระบบเอาไว้จึงทำให้การสั่นส่วนใหญ่ของระบบจะเกิดขึ้นที่ตัวดูดซับการสั่นแทนที่การสั่นที่มอเตอร์ตามที่แสดงด้วยกราฟเส้นสีแดง ส่งผลให้ที่โครงสร้างหลักหรือมอเตอร์มีการสั่นทั้งในรูปความเร่งและการกระจัดที่เข้าใกล้ศูนย์

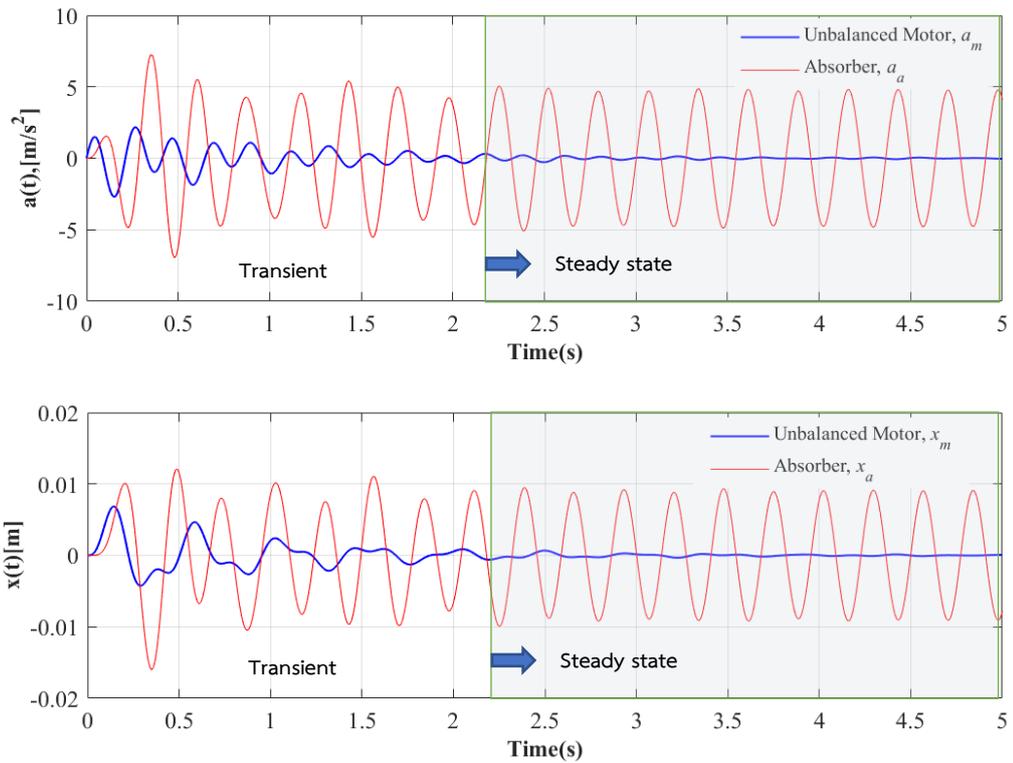
โดยเฉพาะในช่วงที่เข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) ที่เวลามากกว่า 2.2 s เป็นต้นไป (Time > 2.2 s) ตามที่ได้แสดงเป็นกราฟสีน้ำเงิน ภาพที่ 9 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเร่งระหว่างผลจากการคำนวณและผลการทดลองที่โครงสร้างหลักหรือที่มอเตอร์ที่หมุนไม่สมดุลในกรณีไม่ติดตัวดูดซับและกรณีที่ติดตัวดูดซับการสั่น โดยทำการเปรียบเทียบในช่วงที่เป็นสภาวะคงตัว ดังนั้นข้อมูลค่าความเร่ง $a(t)$ ที่ได้จากการคำนวณตามภาพที่ 8 จะถูกตัดมาในช่วงเวลา 2.2 s – 3.2 s และทำการปรับค่าแกนเวลาใหม่เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลจากการทดลองซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว จากผลการคำนวณและผลการทดลองพบว่ามีค่าสอดคล้องไปในทิศทางเดียวกัน คือระบบที่ติดตัวดูดซับการสั่นทำให้การสั่นที่มอเตอร์ลดลงและเข้าใกล้ศูนย์ที่สภาวะคงตัวและไม่สามารถหาโดเมนความถี่ได้ในกรณีติดตัวดูดซับหรือค่าแอมพลิจูดของความเร่งเข้าใกล้ศูนย์



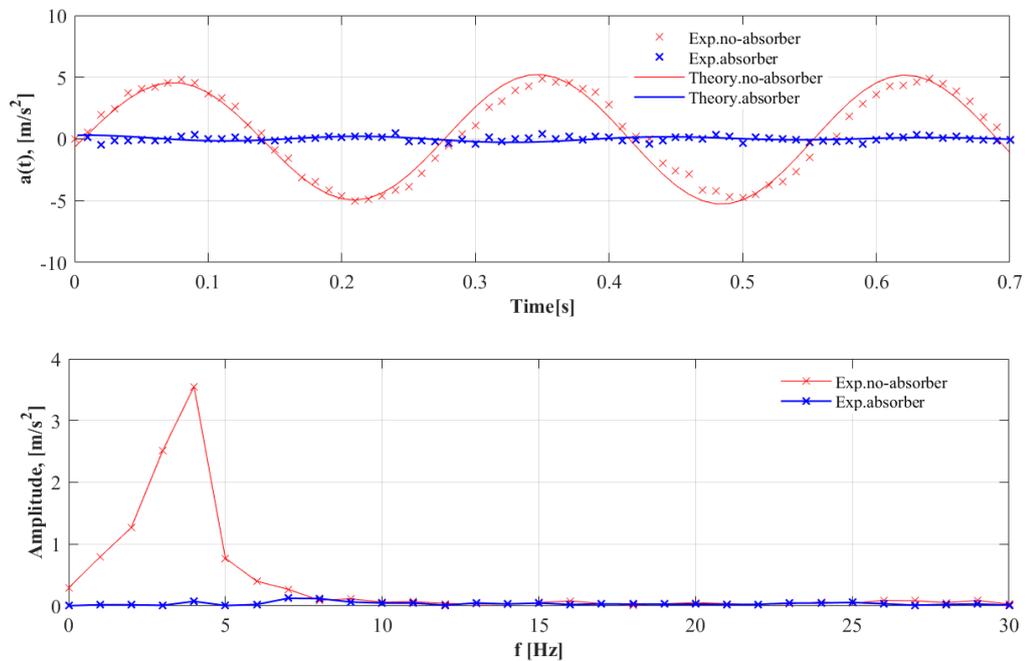
ภาพที่ 6 การวนซ้ำหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดของกลุ่มอนุภาคในช่วงต้น ($\alpha=0.5$, $\beta=0.3$)



ภาพที่ 7 การวนซ้ำหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของกลุ่มอนุภาคทั้งช่วงต้นและช่วงสุดท้าย



ภาพที่ 8 ผลการตอบสนองการสั่นสะเทือนของระบบหลังติดตั้งตัวดูดซับการสั่น



ภาพที่ 9 การสั่นที่มอเตอร์หมุนไม่สมดุลก่อนและหลังติดตั้งตัวดูดซับการสั่นในช่วงสภาวะคงตัว



5. สรุปผลและการอภิปรายผล

บทความนี้ได้ทำการศึกษากการสันสะเทือนจากการหมุนที่ไม่สมดุลและทำการออกแบบตัวดูดซับการสั่นเพื่อลดการสันสะเทือน จากการศึกษาสามารถที่จะสรุปผลได้ดังนี้

- 1) การสันสะเทือนจากการหมุนที่ไม่สมดุลทั้งโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณกับชุดทดสอบจะมีความสอดคล้องกันเมื่อใช้ค่าอัตราส่วนความหน่วงในโมเดลทางคณิตศาสตร์เป็น 0.1 ($\zeta=0.1$)
- 2) การติดตั้งตัวดูดซับการสั่นสามารถที่จะลดการสันสะเทือนในโครงสร้างหลักได้ดี
- 3) การหาค่าตัวดูดซับการสั่นที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคมีประสิทธิภาพที่จะหาคำตอบ มีแนวโน้มที่ดีที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมการสั่นแบบอัตโนมัติ
- 4) การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ควรใช้ค่าตัวแปรการเรียนรู้ α และ β แบบไม่คงที่ โดยที่รอบการคำนวณซ้ำช่วงแรกควรใช้ค่าตัวแปรการเรียนรู้ที่ทำให้เข้าสู่คำตอบที่เร็วและในรอบการคำนวณซ้ำช่วงท้ายควรใช้ค่าตัวแปรการเรียนรู้ที่มีค่าน้อยลงเพื่อจะเดินเข้าหาคำตอบโดยไม่เลยจุดคำตอบ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่สนับสนุนสถานที่และสนับสนุนค่าใช้จ่ายต่าง ๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- กิตติพงษ์ บุญโปล่ง, และพุทธา จินคร้ว. (2564, กรกฎาคม). การศึกษาเชิงทดลองโดเมนความถี่ของบอลแบร์ริงภายใต้การทำงานที่ขาดสารหล่อลื่น. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 35, จังหวัดนครปฐม.
- กายรัฐ เจริญราษฎร์. (2558). การใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคจัดการจราจรข้อมูลในเครือข่ายไอเอสพีเอฟ. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, 11(1), 43-52.
- นิธิโรจน์ พรสุวรรณเจริญ. (2561). วิธีการตรวจวัดการสันสะเทือนแบบพลวัตของพื้นผิวถนนยางมะตอยด้วยข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 28(1), 135-145.
- พงษ์พันธุ์ ฤกษ์ขุมทรัพย์, และประเสริฐ ปราชญ์ประยูร. (2552). การพัฒนากลไกแยกแรงสันสะเทือนความถี่ต่ำต้นแบบด้วยสปริงลม. วิศวกรรมสาร ฉบับวิจัยและพัฒนา, 20(2), 40-44.

- เมษัณท์ ปริมาธิกุล, จูติ มีโอภาสมงคล, บุญศักดิ์ หล่อพิพัฒน์, เฉลิม ชัยวัชรารณณ์ , และทศพร ยิ้มล
มัย. (2563). ผลของตัวขับเคลื่อนต่อการสั่นที่บริเวณด้ามจับขณะตีลูกเทนนิส. **วารสารเวชสารและ
วารสารเวชศาสตร์เขตเมือง**, 64(3), 181-192.
- ลัดนา เพิ่มพูน, และจักรพันธ์ ปิ่นทอง. (2562). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างอัลกอริทึม
อาณานิคมผึ้งเทียบกับวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค. **วารสารวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี**, 7(1), 33-46.
- วีรพล ทองคุปต์, อุไร อภิชาติบันลือ, และบัณฑิต สุขสวัสดิ์. (2556). การสร้างชุดทดลองการ
สั่นสะเทือนอย่างง่าย. **วารสารวิชาการและวิจัย**, 7(2), 24-34.
- สมศักดิ์ สิริโพรานานนท์. (2562). การวิเคราะห์ความเสียหายของตลับลูกปืนโดยการวัดการ
สั่นสะเทือน. **วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต**, 9(1), 54-68.
- สุรัตน์ ปัญญาแก้ว. (2557). การออกแบบและสร้างตัวดูดซับการสั่นสะเทือนแบบปรับค่าได้.
วิศวกรรมสาร มหาวิทยาลัยนเรศวร, 9(1), 25-30.
- Holovaty, A., Teslyuk, V., Iwaniec, M., & Mashevska, M. (2017). Development of A
System for Monitoring vibration Accelerations based on The Raspberry PI
Microcomputer and The ADXL345 Accelerometer. **Eastern-European Journal of
Enterprise Technologies**, 90(1), 52-62.
- Singiresu, S. RAO. (2011). **Mechanical Vibration** (5th ed.). Prentice Hall: Pearson
Education.
- Yang, X. S. (2010). **Engineering Optimization An Introduction with Metaheuristic
Applications**. New Jersey: John Wiley & Sons.

การประยุกต์งานไม้ไผ่ชดบ้านท่าศาลาและงานไม้เพื่อเป็นแนวทางการ
ออกแบบเฟอร์นิเจอร์ เสริมสร้างอัตลักษณ์ของ จ.เชียงใหม่
APPLICATION OF BAMBOO COILING WORK IN THA SALA AND
WOODWORK AS A GUIDELINE FOR FURNITURE DESIGN
TO STRENGTHEN THE IDENTITY OF CHIANG MAI

เจษฎาพล กิตติพัฒน์วิทย์*, ไชยเชิด ไชยพันธ์, นภมิตร ศักดิ์สง่า, มนต์พันธ์ รินแสงปิน
Jetsadapol Kitipattanawit*, Chaicerd Chainun, Napamin Saksanga,
Manutphan Rinsangpin

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ประเทศไทย 50300
Faculty of science and technology, Chiang Mai Rajabhat University, Muang, Chiangmai, Thailand, 50300

Corresponding author e-mail: jetsadapol_kit@g.cmru.ac.th

วันที่เข้ารับ 10 พฤษภาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 17 ตุลาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 18 ตุลาคม 2566

บทคัดย่อ

การประยุกต์งานไม้ไผ่ชดบ้านท่าศาลาและงานไม้เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบเฟอร์นิเจอร์ เสริมสร้างอัตลักษณ์ของ จ.เชียงใหม่ เพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ชดและไม้จริงในจังหวัด เชียงใหม่ พัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ชดบ้านท่าศาลาด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาพื้นถิ่นไม้จริง และประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ผลิตจำนวน 100 คน รูปแบบของงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ชดยังไม่เคยผลิต เพื่อจำหน่ายซึ่งส่วนใหญ่แล้วที่สามารถขายและจำหน่ายได้คือ สินค้าชิ้นเล็ก ๆ เช่น พาน, โคมไฟเป็นต้น ส่วนลวดลายของไม้ไผ่ชดจะมีอยู่หลายลวดลายเช่น ลายขดธรรมดาแบบทรงกลม, หักเหลี่ยม, สามเหลี่ยม, ก้นหอยเป็นต้น เฟอร์นิเจอร์ในปัจจุบันรูปแบบที่จำหน่ายในท้องตลาดยังมีความไม่แปลกใหม่วัสดุไม้ที่ใช้ขึ้นรูป คือ ไม้ฉำฉาเป็น ต้น เนื่องจากหาง่ายในตัวเมือง จากการสัมภาษณ์พบความต้องการที่จะพัฒนาให้เกิดโต๊ะเก้าอี้, ชุดตกแต่งบ้าน, โซฟา ด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์นั้นมีการสอบถามถึงความต้องการและรูปแบบที่เลือก คือ ชุดโต๊ะเก้าอี้ ได้ทำการออกแบบร่วมกับกลุ่มชุมชนทั้งสองชุมชนเพื่อให้สะดวกต่อการออกแบบและสร้างต้นแบบ จำนวน 6 รูปแบบ โดยได้แนวความคิดจาก ความเรียบง่าย แข็งแรงทนทานและเน้นหน้าที่ใช้สอยความสะดวกสบาย และสวยงาม ใช้เป็นรูปแบบทรงเรขาคณิต และกลุ่มชุมชนสามารถขึ้นรูปได้ง่าย สามารถผลิตได้จริง ด้านความพึงพอใจผู้ผลิตและผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ชดที่ออกแบบใหม่ ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.88 ค่าระดับความพึงพอใจ มากที่สุด

ความสำคัญ: ไม้ไผ่ชดบ้านท่าศาลา, งานไม้, สร้างอัตลักษณ์, เฟอร์นิเจอร์ไม้

Abstract

The purposes of this research were to study on Ban Tha Sala coiled bamboo work and wood work in Chiangmai, develop the products of coiled bamboo work by applying local wisdom of real wood in Chiangmai to be used as a guideline for furniture design to enhance the identity of Chiangmai Province, and assess the satisfaction of 100 distributors and consumers towards furniture products made from coiled bamboo and real wood. The study revealed that the form of coiled bamboo furniture had never been produced for sale. The only products that could be sold were small items such as trays and lamps. It was found that there were many pattern of coiled bamboo such as simple coiled circle, cornered cut, triangle, and spiral pattern. Nowadays the pattern of the furniture found in the market is now new, with the use of rain tree wood for formation because it is easy to find in the city. The results also indicated that there were needs for tables, chairs, home furnishing, and they wanted to develop a set of tables and chairs. Six styles were designed by the researcher and the members of the two communities based on the concepts: simple, strong and sturdy, focusing on usable function, convenience, and beauty. The patterns were geometric shapes which were easy for the members of the communities to produce in their real life. Regarding the satisfaction of manufacturers and consumers towards furniture from coiled bamboo and real wood that they redesigned, their satisfaction was at a highest level with the mean of 4.88.

Keywords: Ban Tha Sala coiled bamboo, Woodwork, Identity, Wooden furniture

1. บทนำ

ผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ขดมีวิธีการผลิต เริ่มจากการจักตอกเป็นเส้นๆ สำหรับใช้ในการขึ้นรูปภาชนะ ซึ่งในแต่ละพื้นที่ก็มีกรรมวิธีที่ต่างกันออกไป ทั้งรูปแบบการสาน การขดหรือการผสมผสานกันทั้งสองรูปแบบ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ขดนั้นนอกจากจะพัฒนาในด้านของรูปแบบของผลิตภัณฑ์แล้วยังสามารถพัฒนาในด้านต่างๆ ให้มีศักยภาพที่ดีขึ้นได้อีกด้วย โดยสามารถคงรูปแบบ กระบวนการผลิตแบบเดิมแต่ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างไปหรือการสร้างนวัตกรรม เพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ไม้ไผ่ขด โดย การสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการของคน ในยุคปัจจุบันมากขึ้นการทำหัตถกรรมจักสานทุกภาคของ ประเทศไทยมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกับชีวิตความเป็นอยู่ของผู้คนใน

ท้องถิ่นนั้นๆ มีความประสานกลมกลืนกับสิ่งแวดล้อม กรรมวิธี วัสดุ ตลอดจนรูปแบบของงาน
หัตถกรรมจักสานที่มี ลักษณะเฉพาะและเป็นแบบอย่างที่สวยงาม (วิบูลย์, 2538)

บ้านศรีปิ่นคร้ว ต.ท่าศาลา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ เป็นชุมชนที่ยังประกอบ อาชีพการทำเครื่องเงิน
เป็นมรดกที่สืบทอดรุ่นสู่รุ่น มีกรรมวิธีการทำด้วยความประณีต เริ่มจากการจักดอกเป็นเส้น (ไม้ไผ่)
ขึ้นรูปเป็นตัวภาชนะ (ปิ่นขัน) ทามุก ลงรักและทำลวดลาย กระบวนการ ผลิตเครื่องเงิน ได้มีการถูก
ปรับเปลี่ยนไปบ้าง เช่น จากเดิมที่ใช้ยางรักอาจใช้สีน้ำมันแทน เพื่อลด ต้นทุนและสะดวกในการ
ทำงาน มีการคิดลวดลายเพิ่มเช่นการนำเปลือกไข่มุกมาใช้ตกแต่ง การวาดด้วยสี และการพัฒนาเทคนิค
การขุดลวดลายการผลิต(จิระชัย, 2560) ปัจจุบันการเปลี่ยนแปลงของสังคม เศรษฐกิจ ความ
เจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ส่งผลกระทบทำให้ความนิยมในการใช้เครื่องเงิน
น้อยลง ผู้ประกอบการทำเครื่องเงิน(ไม้ไผ่ขุด)ลดจำนวนมาก การผลิตงานแต่ละชิ้นค่อนข้างช้า การ
ขายเป็นไปด้วยความยากลำบาก เนื่องจากคนไม่นิยมและไม่มีความ จำเป็นต้องใช้ ทำให้ช่างมีรายได้น้อย
ช่างผู้ผลิตจึงหันไปประกอบการอื่นแทนมากขึ้น

เครื่องเรือนหรือเฟอร์นิเจอร์ (Furniture) เป็นผลิตภัณฑ์เพื่ออุปโภคซึ่งนอกจาก เป็นเครื่องใช้
ภายในบ้านแล้ว ยังเป็นเครื่องตกแต่งบ้านที่ช่วยให้บ้านมีความ สวยงามและน่าอยู่อาศัยมากขึ้น
(วรรณิ, 2549) เฟอร์นิเจอร์ในปี 2562 คาดว่าจะหดตัว แต่สำหรับ กลุ่มผู้ประกอบการอุตสาหกรรม
เฟอร์นิเจอร์ที่ จดทะเบียนในตลาดหลักทรัพย์ 5 อันดับแรก คาดว่ายอดขายของบริษัทยังสามารถ
ขยายตัวได้ เนื่องจากมองว่าตลาดเฟอร์นิเจอร์ระดับบนที่เน้น โลฟสไตล์ มีดีไซน์โดดเด่นขายความเป็น
เอกลักษณ์ เฉพาะตัวจะสร้างรายได้ทั้งปี 2562 ให้เติบโตร้อยละ 10-12 เมื่อเทียบกับปีก่อนทำให้
ผู้ประกอบการเน้นกลยุทธ์มุ่งพัฒนาออกแบบ สินค้าให้มีดีไซน์ เพื่อตอบสนองความต้องการและให้เข้า
กับไลฟ์สไตล์ของกลุ่มเป้าหมายมากที่สุด(ชมภูนุช, 2563) ปัญหาของชุมชนที่เกิดขึ้นคือ ชุมชนสามารถ
จำหน่ายสินค้าได้ตามออเดอร์และสามารถออกร้านตามงานเทศกาลต่างๆยังไม่ค่อยได้เนื่องจากสภาวะ
โรคระบาด

การนำองค์ความรู้เกี่ยวกับการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์เข้าไปช่วยเหลือชุมชนด้าน
รูปทรงร่วมกับนักศึกษาในรายวิชาการออกแบบเฟอร์นิเจอร์จะช่วยให้งานทางด้านารออกแบบ
ผลิตภัณฑ์ใหม่ให้กับชุมชนและหากนำไม้ไผ่ขุดของกลุ่มชุมชนนำมาสร้างเป็นเฟอร์นิเจอร์ที่มีความ
สวยงามด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์และสร้างตลาดให้กับชุมชนมากขึ้น สร้างเอกลักษณ์ให้กับชุมชน
โดยการนำรูปทรงที่ง่ายๆเช่น รูปทรงเรขาคณิตมาออกแบบรูปทรงของเฟอร์นิเจอร์ให้ร่วมสมัย
ผสมผสานกับวัสดุกับไม้จริงเช่นไม้สักเพื่อสร้างความแปลกใหม่ของงานเฟอร์นิเจอร์ กับสังคมในยุค
ปัจจุบันและเป็นการสร้างงานให้กับชุมชนมากขึ้นอีกต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ชนิดและไม้จริงในจังหวัดเชียงใหม่
- 2.2 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ชนิดบ้านท่าศาลาด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญา พื้นถิ่นไม้จริง
- 2.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้จำหน่ายและผู้บริโภค ที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ชนิดและไม้จริงที่ออกแบบใหม่

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ชนิดบ้านท่าศาลาด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญา พื้นถิ่นไม้จริงและประเมินความพึงพอใจของผู้จำหน่ายและผู้บริโภค ที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ชนิดและไม้จริงที่ออกแบบใหม่ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการขั้นตอน ดังนี้

- 3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้สามารถจำแนกผู้ให้ข้อมูลได้ดังนี้
 - 3.1.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ ผู้จำหน่ายสินค้าหัตถกรรมจากไม้ในพื้นที่ จ. เชียงใหม่ และผู้บริโภค นักท่องเที่ยว จำนวน 100 คน
 - 3.1.2 ผู้ทรงวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ มีประสบการณ์ ในการออกแบบผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ไม่ต่ำกว่า 10 ปี จำนวน 3 คน
- 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย เครื่องมือในการวิจัยการศึกษาข้อมูลเพื่อนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ชนิด มีดังนี้
 - 3.2.1 สอบถามความต้องการจากกลุ่มความเห็นผู้บริโภค ผู้เชี่ยวชาญ กลุ่มชุมชน คนทั่วไป ปราชญ์ เพื่อนำมาทำการออกแบบ จำนวน 100 คน
 - 3.2.2 แบบสอบถามเกี่ยวกับรูปแบบที่ออกแบบผ่านงานวาดภาพร่าง (Sketch design) เป็นเครื่องมือวิจัยที่ใช้กับผู้ทรงวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ มีประสบการณ์ในการออกแบบ ผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ไม่ต่ำกว่า 10 ปี จำนวน 3 คน
 - 3.2.3 แบบประเมินความพึงพอใจจากกลุ่มผู้ผลิตจำนวน 100 คน
- 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล แบ่งออกเป็นชุดได้แก่
 - การวิเคราะห์ข้อมูลจากการศึกษาสังเกตและจดบันทึก
 - การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ โดยการนำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามมาวิเคราะห์ด้วยสถิติบรรยายเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.ผลการวิจัย

4.1. เพื่อศึกษาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ขดและไม้จริงในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า รูปแบบของงานเฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ขดยังไม่เคยผลิตเพื่อจำหน่ายมีเพียงงานวิจัยของนักวิจัยที่ได้เข้ามาเพื่อศึกษาข้อมูลและออกแบบพัฒนาในปี พ.ศ.2559 ซึ่งทางชุมชนได้พัฒนาเพื่อขายได้บ้างบางครั้งคราวส่วนใหญ่ ที่สามารถขายและจำหน่ายได้คือ สินค้าชิ้นเล็ก ๆ เช่น พาน, โคมไฟเป็นต้น ส่วนลวดลายของไม้ไผ่ขดจะมีอยู่หลายลวดลายเช่น ลายขดธรรมดาแบบทรงกลม, ทรงหักเหลี่ยม, ทรงสามเหลี่ยม, ทรงก้นหอยเป็นต้น ส่วนงานไม้จริงมีการออกแบบและพัฒนาประยุกต์ไปมากแล้วแต่รูปแบบที่จำหน่ายในท้องตลาดยังมีความไม่แปลกใหม่วัสดุไม้จริง ที่มักจะนำมาทำเฟอร์นิเจอร์ คือ ไม้สัก, ไม้ชาซา เป็นต้น เนื่องจากหาง่ายในตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่



ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์จากไม้ไผ่ขดกลุ่มบ้านท่าศาลา

4.2 เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ขดบ้านท่าศาลาด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาพื้นถิ่นไม้จริง พบว่า ความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ขดบ้านท่าศาลาด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาพื้นถิ่นไม้จริง จากกลุ่มประชากร 100 คน มีความต้องการที่จะพัฒนา โต๊ะเก้าอี้จำนวน 43 คน รองลงมาคือ ชุดตกแต่งบ้าน 20 คน และโซฟา 15 คน ชั้นวางของ จำนวน 7 คน เตียงนอนและอาร์มแชร์มีค่าเท่ากัน จำนวน 6 คน ตู้เสื้อผ้า จำนวน 3 คน

จากตารางที่ 1 ความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ขดบ้านท่าศาลาด้วยการประยุกต์ใช้ ภูมิปัญญาพื้นถิ่นไม้จริง จาก 100 คน พบว่า มีความต้องการที่จะพัฒนาคือ โต๊ะเก้าอี้มากที่สุดร้อยละ 43 รองลงมาคือ ชุดตกแต่งบ้าน ร้อยละ 20 ชั้นวางของ ร้อยละ 7 เตียงนอนและอาร์มแชร์มีค่าเท่ากัน ร้อยละ 6 คน ตู้เสื้อผ้า ร้อยละ 3 คน ตามลำดับ

ผู้วิจัยได้ดำเนินการออกแบบโดยการออกแบบให้ชุมชนบ้านท่าศาลามีส่วนร่วมในการออกแบบและให้แนวคิดในการสร้างเพื่อความง่ายต่อการขึ้นรูปโดยใช้การวาดจากกระดาษและนำมาขึ้นรูปในโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อให้สะดวกต่อการออกแบบจำนวน 6 แบบ

ตารางที่ 1 ความต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไม่เคลือบบ้านท่าศาลาด้วยการประยุกต์ใช้ ภูมิปัญญาพื้นถิ่นไม้จริง จาก 100 คน

ลำดับ	รายการ	ความถี่	ร้อยละ
1.	โต๊ะ-เก้าอี้	43	43.00
2.	ตู้เสื้อผ้า	3	3.00
3.	เตียงนอน	6	6.00
4.	โซฟา	15	15.00
5.	ชั้นวางของ	7	7.00
6.	ชุดตกแต่งบ้าน	20	20.00
7.	อาร์มแชร์	6	6.00
	รวม	100	100.00



ภาพที่2 ภาพร่างเฟอร์นิเจอร์จากไม้ไม่เคลือบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

4.3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้จำหน่ายและผู้บริโภค ที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ชนิดและไม้จริงที่ ออกแบบใหม่



ภาพที่ 3 เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ชนิดที่ออกแบบและพัฒนาแล้วแบบที่ 1

แบบที่1 พบว่าความพึงพอใจผู้ผลิตและผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ชนิดและไม้จริงที่ ออกแบบใหม่โดยรวม \bar{X} เท่ากับ 4.79 ค่าระดับความพึงพอใจ มากที่สุด คือ อันดับหนึ่ง ใช้วัสดุในท้องถิ่นอย่างมีความเหมาะสม \bar{X} เท่ากับ 4.93 ค่าระดับความพึงพอใจมากที่สุด อันดับสอง โครงสร้างมีความแข็งแรง \bar{X} เท่ากับ 4.92ค่าระดับความพึงพอใจค่าระดับความพึงพอใจมากที่สุด และโครงสร้างไม่ซับซ้อนในการผลิต \bar{X} เท่ากับ 4.87 ค่าระดับความพึงพอใจค่าระดับ ความพึงพอใจมากที่สุด



ภาพที่ 4 เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ชนิดที่ออกแบบและพัฒนาแล้วแบบที่ 2

พบว่า ความพึงพอใจผู้ผลิตและผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ชนิดและไม้จริงที่ ออกแบบใหม่โดยรวม \bar{X} เท่ากับ 4.84 มีค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ใช้วัสดุในท้องถิ่นอย่างมีความเหมาะสม \bar{X} เท่ากับ 4.93 มีค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุด เหมาะสมกับทุกเพศทุกวัย \bar{X}

เท่ากับ 4.91 มีค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุด และ ผลิตได้ง่ายกับชุมชนเหมาะสมกับทุกเพศทุกวัย \bar{X} เท่ากับ 4.91 มีค่าความพึงพอใจในระดับมากที่สุด



ภาพที่ 5 เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่ขุดที่ออกแบบและพัฒนาแล้วแบบที่ 3

พบว่า ความพึงพอใจผู้ผลิตและผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ จากไม้ไผ่ขุดและไม้จริง ที่ ออกแบบใหม่โดยรวม \bar{X} เท่ากับ 4.88 ค่าระดับความพึงพอใจมากที่สุด เหมาะสมกับทุกเพศทุกวัย \bar{X} เท่ากับ 4.98ค่าระดับความพึงพอใจ มากที่สุด ดูแลกริขาง่าย \bar{X} เท่ากับ 4.98ค่าระดับความพึงพอใจ มากที่สุด และวัสดุมีความแข็งแรงและปลอดภัยเมื่อใช้งานง่าย \bar{X} เท่ากับ 4.98ค่าระดับความพึงพอใจ มากที่สุด

5. สรุปและอภิปรายผล

การประยุกต์งานไม้ไผ่ขุดบ้านท่าศาลาและงานไม้เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบเฟอร์นิเจอร์ เสริมสร้างอัตลักษณ์ของ จ.เชียงใหม่ ผู้วิจัยได้สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะดังนี้

การศึกษาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ขุดและไม้จริงในจังหวัดเชียงใหม่ พบว่า รูปแบบของงาน เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ขุดยังไม่เคยผลิตเพื่อจำหน่ายมีเพียงงานวิจัยของนักวิจัยที่ได้เข้ามาศึกษาข้อมูลและ ออกแบบพัฒนา ทดลอง ปรับปรุงร่วมกับชุมชน ในปี พ.ศ.2559 คือ สินค้าชิ้นเล็ก ๆ เช่น พาน, โคม ไฟเป็นต้น ส่วนลวดลายของไม้ไผ่ขุดจะมีอยู่หลายลวดลายเช่น ลายขดธรรมดาแบบทรงกลม, หัก เหลี่ยม, สามเหลี่ยม, ก้นหอยเป็นต้นส่วนงานไม้จริงมีการออกแบบและพัฒนาประยุกต์ไปมากแล้วแต่ รูปแบบที่จำหน่ายในท้องตลาดยังมีความไม่แปลกใหม่วัสดุไม้จริงที่มักจะนำมาทำเฟอร์นิเจอร์ คือ ไม้ สัก, ไม้ซ้าเป็นต้นเนื่องจากหาง่ายในตัวเมืองจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับ สาครคันธโชติ , 2547 กล่าวว่า นักออกแบบควรที่จะเลือกใช้วัสดุให้ถูกต้องเหมาะสมกับงานผลิตภัณฑ์นั้น ด้านการ จำหน่ายทั้งสองชุมชนมีการจัดจำหน่ายทางตลาดคือ ลูกค้าสั่งออเดอร์เองและมีการจัด บูธตามงาน ต่าง ๆ ในจังหวัดเชียงใหม่และใกล้เคียง และสอดคล้องกับ เจษฎาพล กิตติพัฒน์วิทย์ (18:2557)กล่าว

ว่าในการพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์นั้นต้องทำความเข้าใจกับผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย คือ กลุ่มวิสาหกิจชุมชน เพื่อทำความเข้าใจกระบวนการด้านการออกแบบเพื่อนำไปสู่การตลาดต่อไป

การพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ชาวบ้านท่าศาลาด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาพื้นถิ่นไม้จริงในการพัฒนาผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์ไม้ไผ่ชาวบ้านท่าศาลาด้วยการประยุกต์ใช้ภูมิปัญญาพื้นถิ่นไม้จริง นั้นมีการสอบถามถึงความต้องการและรูปแบบที่เลือกคือ ชุดโต๊ะเก้าอี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการออกแบบร่วมกับกลุ่มชุมชนทั้งสองชุมชนเพื่อให้สะดวกต่อการออกแบบและสร้างต้นแบบ จำนวน 6 รูปแบบ โดยได้แนวความคิดคือความเรียบง่าย แข็งแรงทนทานและเน้นหน้าที่ใช้สอยความสะดวกสบาย และสวยงาม เป็นหลัก ซึ่งรูปแบบที่ถูกเลือกคือ รูปแบบที่ 3 รูปแบบที่ 4 รูปแบบที่ 5 เป็นรูปแบบทรงเรขาคณิต ที่กลุ่มชุมชนสามารถขึ้นรูปได้ง่าย สามารถผลิตได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับ ชีระชัย สุขสุด (2544) กล่าวว่า ผลิตภัณฑ์ที่ดีย่อมเกิดมาจากการออกแบบที่ดีในการออกแบบผลิตภัณฑ์ นักออกแบบต้องคำนึงถึงหลักการ ออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณสมบัติผลิตภัณฑ์ที่ดีเอาไว้มีอยู่ 9 ประการคือ หน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรง ความสะดวกสบายในการใช้ ความสวยงาม ราคาพอสมควร การซ่อมแซมง่าย วัสดุและการผลิต การขนส่ง เป็นต้น

ผลจากการประเมินความพึงพอใจของผู้จำหน่ายและผู้บริโภค ที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่และไม้จริงที่ ออกแบบใหม่ พบว่า ความพึงพอใจผู้ผลิตและผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์เฟอร์นิเจอร์จากไม้ไผ่และไม้จริงที่ มีค่าในระดับความพึงพอใจ มากที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง สามารถดำเนินการจนประสบความสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจาก ได้รับความอนุเคราะห์และสนับสนุนเป็นอย่างดีจากชุมชนบ้านศรีปิ่นคร้ว ต.ท่าศาลา อ.เมือง จ.เชียงใหม่ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะและปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนกระทั่งการวิจัยครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ ขอขอบคุณ

7. เอกสารอ้างอิง

จิระชัย ยมเกิด. (2560). **โครงการวิจัย การพัฒนาศักยภาพงานหัตถกรรมเครื่องเงินวัฒนธรรม**

ล้านนาเพื่อเสริมสร้างมูลค่า สู่ตลาดผู้บริโภคเชื่อมโยงวัฒนธรรมสู่การท่องเที่ยวโดยชุมชน บ้านศรีปิ่นคร้ว ตำบลท่าศาลา อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่. (รายงานวิจัย). กรมส่งเสริมวัฒนธรรม กระทรวงวัฒนธรรม, กรุงเทพฯ.

เจษฎาพล กิตติพัฒน์วิทย์. (2557). **การพัฒนาต้นแบบผลิตภัณฑ์และบรรจุภัณฑ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน อำเภอสันกำแพง จังหวัดเชียงใหม่.** วารสารวิจัยราชภัฏเชียงใหม่, 15(2), 102-114.



- ชมภูนุช แต่งอ่อน. (23 พฤศจิกายน 2563). **อุตสาหกรรมเฟอร์นิเจอร์ ปรับตัวรับ New normal.** .
ค้นจาก https://www.gsbresearch.or.th/wp-content/uploads/2020/10/IN_furniture_9_63_inter_detail.pdf.
- ธีระชัย สุขสด. (2544). **การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- นพคุณ สุขสถาน. (2530). **การออกแบบเครื่องเรือน (Furniture design).** กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- วรรณิ สหสมโชค. (2549). **ออกแบบเฟอร์นิเจอร์.** กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
- วิบูลย์ ลีสุวรรณ.(2538). **ศิลปหัตถกรรมพื้นบ้าน.** กรุงเทพฯ: พับลิคิสิเนสพริ้นท์.
- สาคร คันธ์โชติ.(2547). **การออกแบบผลิตภัณฑ์งานไม้ = Wood products design.** กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.



การจัดชุดขนาดเฟอร์นิเจอร์การยศาสตร์สำนักงานตามความสัมพันธ์ของ
สัดส่วนร่างกายด้วยเทคนิคจัดกลุ่มแบบเคมีน
ERGONMICS OFFICE FURNITURE SIZING SET ARRANGEMENT
BASED ON ANTHROPOMETRICS USING K-MEANS
CLUSTERING TECHNIQUES

ปรีชาพล บุญส่ง*, สุธนิตย์ พุทธพนม

Preechapon Boonsong*, Sutanit Puttapanom

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

Faculty of Engineering, Naresuan University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: preechaponb@gmail.com

วันที่เข้าระบบ 19 ตุลาคม 2566

วันที่แก้ไขบทความ 19 ธันวาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 21 ธันวาคม 2566

บทคัดย่อ

สัดส่วนร่างกายบุคคลมีผลต่อขนาดโต๊ะเก้าอี้ในสำนักงาน เพื่อการนั่งปฏิบัติงานตามหลักการยศาสตร์ แต่การผลิตเพื่อให้ได้ขนาดที่เหมาะสมรายบุคคลนั้นเป็นไปค่อนข้างยาก การมีจำนวนชุดขนาดที่มากขึ้นจะช่วยให้ผู้ใช้งานเลือกใช้โต๊ะเก้าอี้ที่เหมาะสมกับสัดส่วนร่างกายได้ งานวิจัยนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อเสนอแนวทางในการผลิตโต๊ะเก้าอี้ในสำนักงานโดยมีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาความเหมาะสมของขนาดความสูงโต๊ะเก้าอี้สำนักงานที่ใช้แพร่หลายปัจจุบันกับสัดส่วนร่างกายของคนไทยวัยทำงาน และหาชุดขนาดความสูงของโต๊ะเก้าอี้ที่มีความเหมาะสมกับสัดส่วนร่างกายวัยทำงานด้วยเทคนิคการจัดกลุ่มแบบเคมีน การศึกษาและตรวจสอบความเหมาะสมของสัดส่วนร่างกายและความสูงของโต๊ะเก้าอี้ขนาดมาตรฐานที่ใช้กันแพร่หลายในสำนักงานที่มีขนาดเดียวจากกลุ่มตัวอย่าง 857 คนพบว่า มีค่าความเหมาะสมเพียง 50 คน คิดเป็นร้อยละ 5.83 แต่เมื่อจัดกลุ่มชุดขนาดของโต๊ะเก้าอี้เป็น 2 (S และ L) และ 3 (S M และ L) ขนาด ด้วยเทคนิคการจัดกลุ่มแบบเคมีน ได้ให้ค่าความเหมาะสมเพิ่มเป็นร้อยละ 89.38 และ 96.03 ตามลำดับ ดังนั้นจึงเสนอขนาดความสูงของโต๊ะเก้าอี้จำนวน 3 ขนาดคือ S, M และ L เพื่อนำไปกำหนดชุดขนาดความสูงโต๊ะเก้าอี้ในสำนักงานที่เหมาะสมกับสัดส่วนคนไทยวัยทำงานสำหรับการผลิตต่อไป

คำสำคัญ: การยศาสตร์, เทคนิคการจัดกลุ่มแบบเคมีน, เฟอร์นิเจอร์

Abstract

Ergonomically, a user's anthropometry and furniture are related. However, to produce furniture of exactly the right size for an individual is quite difficult. If multiple sizes are available, there will be a greater chance that a user can find an office desk and chair that is ergonomically suitable. Hence, the objectives of this research are to investigate the appropriateness of the current popular office desks and chairs, and propose the measurements for desk and chair sizes that would be more ergonomically appropriate for Thai office workers using k-mean clustering technique. For the furniture considered in this study, the office desk is 75 centimeters high, and the chair has seat height of 42 centimeters. The match between the sample anthropometry and desk and chair size is 5.83% or 50 out of 857 participants. However, after defining 2(S and L) and 3(S M and L) sizes of desk and chair sets, the percents of match increase significantly; the two-size and three-size are 89.38% and 96.03%, respectively. Therefore, the 3 sizes: S, M and L are recommended for Thai office workers.

Keywords: Ergonomics, Furniture, k-Means clustering

1. บทนำ

การนั่งปฏิบัติงานในสำนักงานพบว่ามากกว่าร้อยละ 90 ใช้เวลานั่งทำงานติดต่อกันวันละหลาย ชั่วโมงและอาจไม่มีการเปลี่ยนท่าทางการนั่งเกิน 1 ชั่วโมงส่งผลต่อความสามารถการปฏิบัติงานและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคออฟฟิศซินโดรม เกิดโรคทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นโรคที่เกิดจากการทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งโดยการทำซ้ำ ๆ ได้ (Genaidy *et al.*, 2017; Lewis *et al.*, 2002; สุทธิ, 2544) สาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาดังกล่าวมาคือ การขาดความรู้ในการปรับเก้าอี้ให้เหมาะสมกับการนั่งของแต่ละบุคคล (จันทน์, 2560) ได้มีงานวิจัยของ อนุดา และวริศรา (2564) ที่ศึกษาปัญหาการเจ็บป่วยหรือบาดเจ็บทางกายศาสตร์สำหรับโรคกล้ามเนื้อและกระดูก (Work-related musculo skeletal disorders: WMSDs) ที่เกิดจากการนั่งปฏิบัติงานเป็นอาการเจ็บป่วยของกล้ามเนื้ออันเนื่องมาจากการใช้งานโต๊ะและเก้าอี้ที่ไม่เหมาะสมกับสัดส่วนของร่างกายตามหลักกายศาสตร์ (Ergonomics) ที่เป็นการออกแบบเครื่องมือเพื่อให้เหมาะกับบริบทการทำงานที่สามารถทำให้สามารถลดและป้องกันความปวดกล้ามเนื้อและกระดูกและทำให้สามารถนั่งทำงานได้นานมากยิ่งขึ้นได้ ลดค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล ลดอัตราการขาดงานลาออกส่งผลทำให้ผลผลิตรวมที่เพิ่มขึ้น (กิตติ, 2553) ทั้งยังส่งผลถึงการลดปัจจัยที่ส่งผลต่อสุขภาพและอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานได้ (จันทน์, 2560)



หลักการของการยศาสตร์ ขนาดของเฟอร์นิเจอร์ (Dimensions) ที่เป็นโต๊ะเก้าอี้กับขนาดสัดส่วนร่างกาย (Anthropometrics) ของผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีความสัมพันธ์กัน แต่อย่างไรก็ตามการที่จะผลิตโต๊ะและเก้าอี้ให้ได้ขนาดที่เหมาะสมกับบุคคลนั้นเป็นไปได้ยาก ไม่ว่าจะเป็นเรื่องค่าใช้จ่ายการผลิตหรือการตลาดและอื่นๆ แต่ถ้ามีการจัดชุดขนาดเหมือนในสินค้าบางประเภท อาทิ เสื้อผ้าที่มีขนาด S, M และ L ก็จะมีทางเป็นไปได้มากกว่า และจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่ามีงานวิจัยหลายเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการจัดกลุ่มเพื่อจัดชุดขนาดที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ อาทิ งานวิจัยของ Hsu *et al.* (2009) ได้วิจัยด้านการใช้เทคนิคการจัดกลุ่ม (Clustering) ที่ได้นำขนาดสัดส่วนร่างกายไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะอุตสาหกรรมด้านเสื้อผ้า โดยทำการศึกษาค้นหาข้อมูลสำคัญของขนาดสัดส่วนของร่างกาย ของเพศหญิงเพื่อนำไปสู่การกำหนดกลุ่มขนาดเพื่อใช้ในการปรับปรุงธุรกิจเสื้อผ้า ด้านการตลาด และด้านการขนส่ง โดยอ้างอิงขนาดมาตรฐาน ISO ต่าง ๆ มาทำการเปรียบเทียบ งานวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ด้านร่างกายและขนาดเสื้อผ้าที่จะออกสู่ตลาด โดย Zakaria (2011) ได้นำหลักการจัดกลุ่มไปออกแบบระบบการกำหนดขนาดต่าง ๆ (Sizing System) โดยใช้ขนาดสัดส่วนร่างกายเพื่อกำหนดขนาดเสื้อผ้าเด็กนักเรียนในประเทศมาเลเซียออกเป็นขนาดต่างๆ เช่น S, M และ L รวมทั้ง Thidarat & Sutanit (2019) ได้นำเทคนิคการจัดกลุ่มขนาดโต๊ะและเก้าอี้ในโรงเรียนมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนของร่างกายซึ่งจะทำให้เด็กนักเรียนได้ใช้โต๊ะและเก้าอี้เรียนที่มีขนาดเหมาะสมกับสัดส่วนร่างกายของนักเรียน ในขณะที่งานวิจัยของ Vithange *et al.* (2013) ได้ศึกษาการพัฒนาระบบกำหนดกลุ่มขนาดกางเกง (Pant) สำหรับผู้หญิงในศรีลังกาที่ทำการศึกษถึงความจำเป็นในการกำหนดขนาดเสื้อผ้าสำหรับการผลิตที่ต้องมีการกำหนดขนาดไว้ก่อนหน้าเพื่อจะได้วางแผนผลิตออกมาเป็นขนาดมาตรฐานในอุตสาหกรรม และมาตรฐานนี้ก็ขึ้นอยู่กับข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายของคนในแต่ละประเทศและได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น 5 ขนาด ซึ่งแต่ละขนาดมีค่าที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้จัดขนาดตามความยาวช่วงขา (Inseam) และรอบเอว (Waist)

การจัดกลุ่มชุดขนาดด้วยวิธี k-Means เป็นเทคนิคการจัดกลุ่มแบบหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine learning) ที่สามารถจัดกลุ่มของปัจจัยได้หลายมิติในเวลาเดียวกันและเป็นแบบไม่ต้องการกำหนดหรือระบุจำนวนกลุ่มหรือกลุ่มมาก่อน คือสามารถค้นหารูปแบบโดยอัตโนมัติและจัดกลุ่มชุดข้อมูลที่คล้ายกันเข้าด้วยกันโดยไม่ต้องใช้กฎที่ชัดเจนหรือกำหนดจำนวนหมวดหมู่ที่กำหนดไว้ล่วงหน้า (No labeled) (ปริญญา, 2558) โดยมีลักษณะสร้าง Centroid-based คือค่ากลางแต่ละมิติเพื่อเป็นตัวแทนกลุ่มได้ซึ่งเหมาะกับปัญหาของงานวิจัยที่ไม่ทราบจำนวนกลุ่มชุดขนาดเฟอร์นิเจอร์ที่แน่ชัดได้ เป็นอัลกอริทึมการจัดกลุ่มที่เรียบง่ายประมวลผลได้เร็วกว่าเมื่อเปรียบเทียบจากวิธีอื่น (Chatterjee, 2019; Jain, 2010) และเป็นเทคนิคการจัดกลุ่มที่ใช้กันมากที่สุด (Milecia, 2020)

จากการทบทวนวรรณกรรมได้พบว่ามีการใช้เทคนิค k-Means ในการจัดกลุ่มรูปแบบต่างๆ อาทิ การจัดส่วนของเนื้องอกในภาพรังสีวิทยาคลื่นสนามแม่เหล็กด้วยอัลกอริทึม k-Means แบบถ่วง



น้ำหนัก (Mehidi *et al.*, 2019) ผู้วิจัยแสดงให้เห็นว่าการจัดกลุ่ม k-Means แบบถ่วงน้ำหนัก มีประสิทธิภาพในการจัดส่วนเนื้องอกจากภาพ MRI ได้ เทคนิคนี้จะช่วยในการจัดขอบเขตของเนื้องอกได้อย่างแม่นยำมากยิ่งขึ้น ซึ่งมีส่วนทำให้การวินิจฉัยและการวางแผนการรักษาได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำข้อมูลของภาพแบบดิจิทัลไปใช้ได้กับเทคนิคการจัดกลุ่มแบบ k-Means ได้ และมีงานวิจัยด้านการจัดส่วนภาพเพื่อการมองด้วยหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่นำ k-Means มาใช้สำหรับการจัดส่วนภาพซึ่งเป็นงานพื้นฐานในการมองเห็นด้วยคอมพิวเตอร์ โดย Tas & Ergin (2020) ได้ใช้ k-Means เพื่อจัดส่วนภาพทางการแพทย์เพื่อให้ได้การอธิบายเนื้องอกได้อย่างแม่นยำซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการวินิจฉัยโรคมะเร็งและการวางแผนการรักษา มีการกล่าวถึงทิศทางในการจัดกลุ่มข้อมูลด้วยเทคนิค Data-Mining เพื่อยืนยันว่าเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการทำงาน อาทิ งานวิจัยของ (Jain, 2010) ได้ทำการศึกษาวิจัยในหัวข้อเรื่อง “Data clustering: 50 years beyond K-Means” โดยกล่าวถึงประวัติการจัดกลุ่ม เรื่องราวของ k-Means และการนำไปปรับปรุงขยายงานวิจัยต่อไปซึ่งเป็นอีกเหตุผลที่สนับสนุนการใช้เพื่อการจัดกลุ่มข้อมูล

อย่างไรก็ตามจากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่า มีงานวิจัยด้านการจัดชุดขนาดความสูงของโต๊ะเก้าอี้สำนักงานด้วยวิธี k-Means ค่อนข้างน้อย ดังนั้นจากหลักการและเหตุผลที่ได้กล่าวนำมา ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการจัดชุดขนาดเฟอร์นิเจอร์การยศาสตร์สำนักงานตามความสัมพันธ์ของสัดส่วนร่างกายโดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีเคมีนเพื่อต้องการศึกษาขนาดความสูงของเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในสำนักงานที่มีความเหมาะสมกับสัดส่วนร่างกายของกลุ่มวัยทำงานและหาขนาดความสูงของเฟอร์นิเจอร์ที่ใช้ในสำนักงานในปัจจุบันที่มีความเหมาะสมกับสัดส่วนร่างกาย โดยแบ่งออกเป็นจำนวนกลุ่มขนาดโต๊ะเก้าอี้ต่าง ๆ และหาจำนวนกลุ่มที่เหมาะสมที่สุดที่มีขนาดความสูงเหมาะสมของโต๊ะเก้าอี้สำนักงานเพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการกระบวนการผลิตจริงได้หรือแนวทางในการเลือกซื้อหรือปรับปรุงเฟอร์นิเจอร์ในสำนักงานให้มีความเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนร่างกายของกลุ่มวัยทำงานเพื่อการปฏิบัติงานที่มีประสิทธิภาพตามหลักการยศาสตร์ได้

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

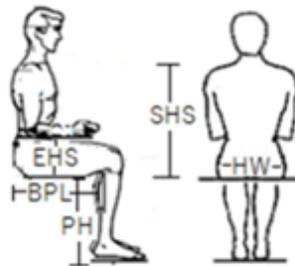
2.1 เพื่อศึกษาความเหมาะสมของขนาดความสูงของเฟอร์นิเจอร์โต๊ะเก้าอี้สำนักงานขนาดที่แพร่หลายในปัจจุบันขนาดเดียวกับสัดส่วนร่างกายของกลุ่มวัยทำงาน

2.2 เพื่อหาชุดขนาดความสูงของโต๊ะเก้าอี้ที่มีความเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนร่างกายของกลุ่มวัยทำงาน โดยใช้หลักการจัดกลุ่มแบบวิธี k-Means จำนวนกลุ่มชุดขนาดต่าง ๆ

2.3 เพื่อเสนอชุดขนาดความสูง (Dimensions) ที่เหมาะสมของชุดขนาดโต๊ะเก้าอี้ที่สามารถเป็นไปได้ในแง่การผลิตจริงและครอบคลุมคนส่วนใหญ่ให้มากที่สุด

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 ศึกษารวบรวมทฤษฎีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและสมการสำหรับตรวจสอบความเหมาะสมระหว่างขนาดความสูงของโต๊ะและเก้าอี้กับขนาดสัดส่วนร่างกายตามหลักการการยศาสตร์ด้วยวิธีการทบทวนวรรณกรรม ซึ่งได้ผลการทบทวนตามตารางที่ 1 ที่แสดงสมการตรวจสอบความเหมาะสมของโต๊ะและเก้าอี้ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และใช้ข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายตามภาพที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย EHS: ความสูงศอก ,PH: ความสูงของขาพับในขณะนั่ง และ SHS: ความสูงไหล่จากพื้นที่นั่ง และผิพลาต! ไม่พบแหล่งอ้างอิง ประกอบไปด้วย DH: ความสูงโต๊ะ, SH: ความสูงพื้นเก้าอี้ ที่ส่งผลต่อการนั่งปฏิบัติงานที่เหมาะสมดังได้กล่าวไว้ในสมการ (1) และ (2)



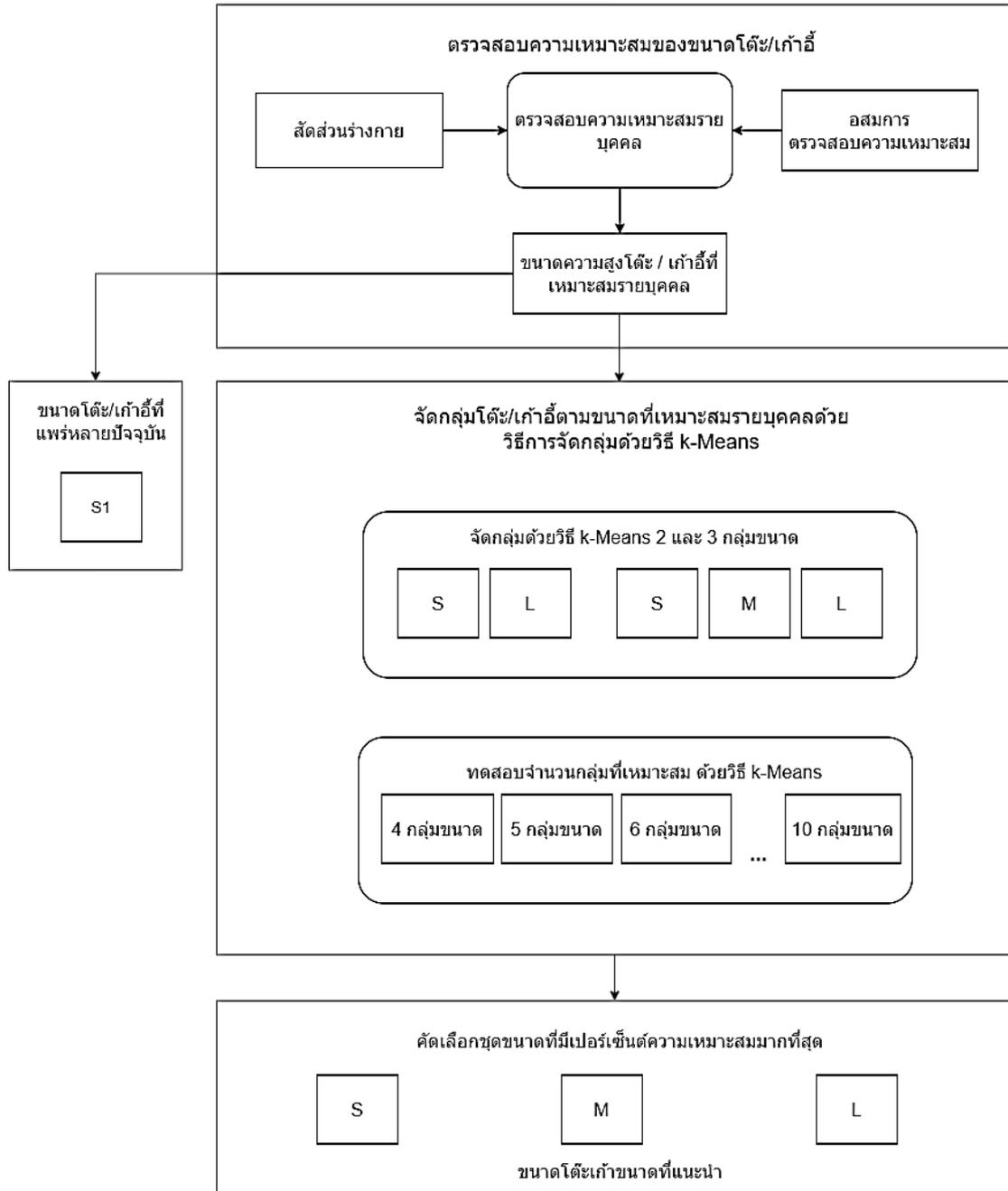
ภาพที่ 1 แสดงขนาดสัดส่วนร่างกายของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ดำเนินงาน



ภาพที่ 2 แสดงขนาดความสูงโต๊ะ(DH) เก้าอี้(SH) และระยะพื้นเก้าอี้พื้นโต๊ะ(SDH)

โดยจากสมการ (1) ในตารางที่ 1 ความสูงของที่นั่งที่ความสูงของที่นั่ง (SH) จะมีความสัมพันธ์กับความสูงของขาพับ (PH) ซึ่งความสูงของที่นั่งนั้นต้องมีระดับที่ต่ำกว่าขาพับเพื่อให้ขาที่อ่อนล้าเคลื่อนย้ายได้สะดวก โดยที่ขาที่อ่อนล้าจะต้องทำมุม 5-30 องศา กับพื้น (Molenbroek *et al.*, 2003) และในปัจจุบันสำนักงานส่วนใหญ่มีการสวมรองเท้าขณะทำงาน ดังนั้น จึงต้องมีการคิดความสูงของพื้นรองเท้าด้วย (SC: Shoe correction) สมการตรวจสอบความเหมาะสมความสูงจากพื้นที่นั่งจนถึงโต๊ะ ความสูงของโต๊ะทำงานจะต้องอยู่ในระดับเดียวกับความสูงของศอก (EHS) โดยมุมองศาของศอกและมุมองศาที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้า น้อยที่สุด คือ มุม 20 องศา และ 25 องศา ตามลำดับ

(Chaffin, 2006) ดังอสมการ (2) โดยที่ EHS คือ ความสูงของศอก SDH คือ ความสูงจากพื้นที่นั่งจนถึงโต๊ะ



ภาพที่ 3 แสดงกรอบงานวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงผลการทบทวนวรรณกรรมสมการตรวจสอบความเหมาะสมที่ใช้แพร่หลาย

ขนาดต้องการ	สมการตรวจสอบความเหมาะสม	นักวิจัย ปี พ.ศ. ที่ใช้
SH	$(PH + SC)\cos 30^\circ \leq SH \leq (PH + SC)\cos 5^\circ$ (1)	(Afzan <i>et al.</i> , 2012; Agha, 2010; Castellucci <i>et al.</i> , 2021; Dianat <i>et al.</i> , 2018; Gouvali & Boudolos, 2006; Kahya, 2019; Thidarat & Sutanit, 2019)
SDH	$ESH \leq SDH \leq 0.8517 * EHS + 0.14855 * SHS$ (2)	(Castellucci <i>et al.</i> , 2021; Kahya, 2019; Thidarat & Sutanit, 2017)
DH	$SH + SDH$ (3)	(Castellucci <i>et al.</i> , 2021; Kahya, 2019)

3.2 จัดเก็บข้อมูลสัดส่วนร่างกายของกลุ่มตัวอย่างที่มีผลต่อการพิจารณาความเหมาะสมของขนาดโต๊ะเก้าอี้ตามขั้นตอนที่ 1 ซึ่งกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยคือ ประชาชนวัยทำงานที่มีอายุระหว่าง 18 ปี ขึ้นไป จำนวน 857 คน จากงานตรวจสอบสุขภาพของประชาชนประจำปีซึ่งจัดโดยโรงพยาบาลวัดโบสถ์ อำเภอบึงสามพัน จังหวัดพิษณุโลก โดยคำนึงถึงจริยธรรมในมนุษย์เป็นสำคัญ และใช้เครื่องมือสำหรับการรวบรวมข้อมูลของผู้เข้าร่วมการวิจัยคือ แบบบันทึกข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายของกลุ่มตัวอย่างและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสัดส่วนร่างกาย (Anthropometer) และดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติของข้อมูลการวัดสัดส่วนร่างกาย ทำการตรวจสอบด้วย Normality Test ซึ่งได้ข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติซึ่งอนุมานได้ว่าสามารถเป็นตัวแทนประชากรได้ ได้ทำการตรวจสอบข้อมูลส่วนสูงเนื่องจากส่วนสูงมีความสัมพันธ์กับสัดส่วนด้านความยาว (Oyewole *et al.*, 2010; Roebuck *et al.*, 1975) ซึ่งสัดส่วนทางด้านความยาวที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ความสูงของขาพับด้านใน (Popliteal height: PH) ความสูงของข้อศอกระหว่างพื้นผิวที่นั่ง (Elbow Height Sitting: EHS) และความสูงจากพื้นที่นั่งถึงไหล่ (Shoulder height sitting: SHS) และดำเนินการวิจัยตามกรอบการวิจัยในภาพที่ 3

3.3 จัดสร้างข้อมูลความเหมาะสมรายบุคคล โดยเริ่มลำดับที่สำคัญจากการตรวจสอบความเหมาะสมของความสูงเก้าอี้ (SH) ด้วยสมการ (1) เป็นอันดับแรก ตามด้วยการหาส่วนระยะห่างระหว่างพื้นเก้าอี้และพื้นโต๊ะ (SDH) ด้วยสมการ (2) เป็นอันดับที่ 2 และหาความเหมาะสมของความสูงของโต๊ะ (DH) ด้วยสมการ (3) เป็นอันดับสุดท้าย

3.4 ตรวจสอบความเหมาะสมรายบุคคลกับขนาดโต๊ะเก้าอี้ที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบันคือ โต๊ะสูง 75 ซม. และเก้าอี้สูง 42 ซม. ตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก. 930-2533) และทำการทดลองพร้อมหาร้อยละที่เหมาะสม สรุปเป็นรายงานผล

3.5 ทำการทดสอบการจัดกลุ่มด้วยค่าความสูงโต๊ะเก้าอี้ที่เหมาะสมรายบุคคลในขั้นตอนที่ 3 ออกเป็นจำนวนขนาดต่างๆ ด้วยฟังก์ชัน k-Means ในโปรแกรม MATLAB โดยใช้ขนาดของโต๊ะและเก้าอี้ที่เหมาะสมรายบุคคลตามข้อ 3 เป็นข้อมูลนำเข้าและทำการทดลองจัดกลุ่มขนาดออกเป็นกลุ่มขนาดต่างๆ ตั้งแต่ 2 กลุ่มขนาด 3 กลุ่มขนาด จนถึง 10 กลุ่มขนาด และสรุปผลรวม

3.6 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความเหมาะสมของทุกชุดขนาดโต๊ะและเก้าอี้เพื่อนำเสนอชุดขนาดที่มีจำนวนเหมาะสมรวมมากที่สุดและเป็นไปได้ในแง่การผลิตจริงได้ต่อไป

4. ผลการวิจัย

หลังจากคัดเลือกสมการตรวจสอบความเหมาะสมของสัดส่วนขนาดร่างกายทั้งสมการที่ (1) และสมการที่ (2) แล้วได้นำมาตรวจสอบกับขนาดขนาดโต๊ะ/เก้าอี้ขนาดที่แพร่หลายในปัจจุบันคือ ความสูงเก้าอี้ (SH) 42.5 ซม. และความสูงโต๊ะ (DH) สามารถสรุปจำนวนเหมาะสมได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีความเหมาะสมรวม (Match: M) เพียง 5.83% เท่านั้นแต่จำนวนไม่เหมาะสมรวม (Not match: N) มีถึง 94.17% แสดงให้เห็นได้ว่าขนาดที่มีในปัจจุบันไม่เหมาะสมกับขนาดสัดส่วนร่างกายคนไทยเป็นอย่างมากในการกำหนดให้ใช้เพื่อการทำงานที่ถูกต้องตามหลักกายศาสตร์

จากผลวิเคราะห์ที่ใช้เก้าอี้สูง 42.5 ซม. และโต๊ะสูง 75 ซม. จึงได้เริ่มทำการทดสอบหาขนาดความสูงของโต๊ะและเก้าอี้รายบุคคล โดยการจัดกลุ่มด้วยวิธี k-Means จำนวน 2 กลุ่ม ได้ผลลัพธ์ขนาดตามตารางที่ 3 ซึ่งเป็นขนาดความสูงของเก้าอี้และโต๊ะตามขนาดต่างๆ โดยมีขนาดที่ 1 (S1) คือ เก้าอี้สูง 39.42 ซม. โต๊ะสูง 63.3 ซม. และ ขนาดที่ 2 (S2) เก้าอี้สูง 42.16 ซม. โต๊ะสูง 70.16 ซม. ตามลำดับ และได้ผลสรุปความเหมาะสมรวมดังตารางที่ 4 โดยมีจำนวนเหมาะสม (M) ที่เพิ่มมากขึ้นเป็น 89.38% ซึ่งเป็นจำนวนที่เพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งหมายความว่า การจัดกลุ่มมีผลอย่างมากต่อการได้ขนาดเฟอร์นิเจอร์โต๊ะและเก้าอี้ที่เหมาะสม ดังแสดงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2 ผลวิเคราะห์ขนาดสัดส่วนร่างกายตามมาตรฐานความสูงโต๊ะเก้าอี้ที่แพร่หลายปัจจุบัน

ความเหมาะสมกับเก้าอี้สูง 42.5 ซม. และโต๊ะสูง 75 ซม.	จำนวนเหมาะสมรวม
M	5.83%
N	94.17%
ผลรวมทั้งหมด	100.00%

ตารางที่ 3 ค่าความสูงของโตะและเก้าอี้ได้จากการจัดกลุ่มด้วยวิธี k-Means แบบ 2 กลุ่ม

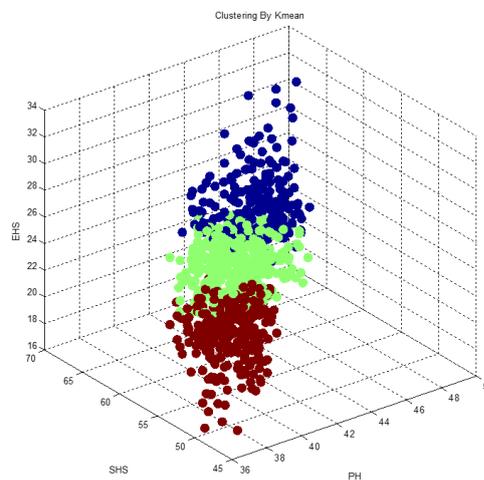
ชุดขนาด 2 กลุ่ม	ความสูงเก้าอี้(ซม.)	ความสูงโตะ(ซม.)
S1	39.42034905	63.32233583
S2	42.15974644	70.15774776

ตารางที่ 4 ค่าความเหมาะสมของโตะเก้าอี้ที่จัดด้วยวิธี k-Means แบบ 2 กลุ่ม

สรุปผลตามรายการ	จำนวนเหมาะสมรวม
M	89.38%
N	10.62%
ผลรวมทั้งหมด	100.00%

ตารางที่ 5 ค่าความสูงของโตะและเก้าอี้ที่ขนาดได้จากการจัดด้วยวิธี k-Means แบบ 3 กลุ่ม

ชุดขนาด 3 กลุ่ม	ความสูงเก้าอี้(ซม.)	ความสูงโตะ(ซม.)
S1	38.98516135	61.87331315
S2	40.66847614	66.84092273
S3	43.0054073	72.01193225



ภาพที่ 4 แสดงการจัดกลุ่มขนาดสัดส่วนร่างกาย 3 กลุ่มขนาดด้วยเทคนิค k-Means

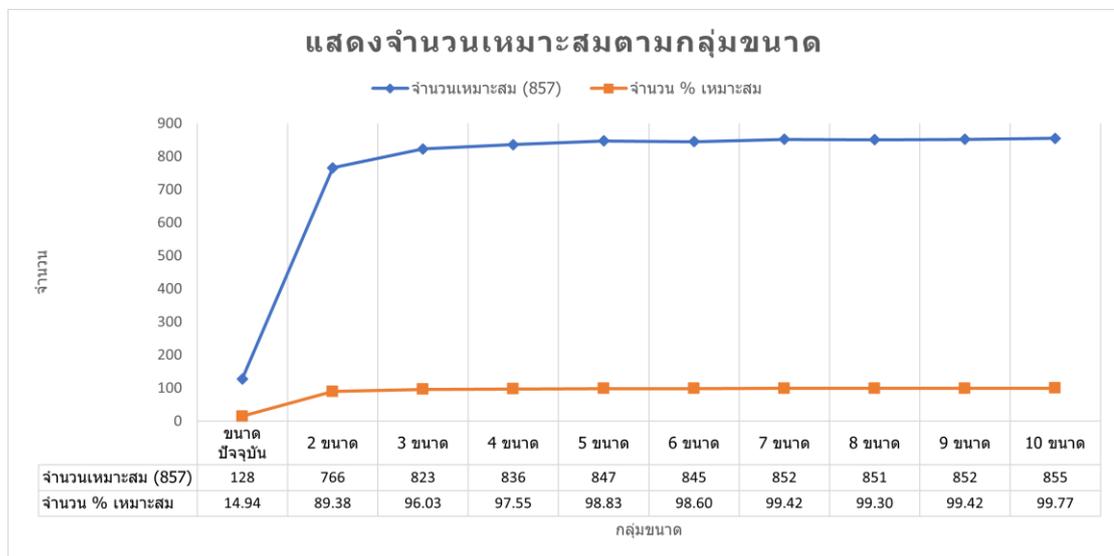
เมื่อจำนวนกลุ่มมีผลต่อการได้ขนาดเฟอร์นิเจอร์เก้าอี้และโตะที่เหมาะสมเพิ่มมากขึ้นแล้ว จึงได้ทำการทดลองเพิ่มจำนวนกลุ่มขึ้น โดยจัดชุดข้อมูลขนาดสัดส่วนร่างกายเป็น 3 กลุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 4 และได้จัดทำชุดขนาดของโตะเก้าอี้จำนวน 3 ขนาด และได้กลุ่มขนาดดังตารางที่ 5 และมีความเหมาะสม (M) เพิ่มขึ้นเป็น 96.03% ดังตารางที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีจำนวนที่เหมาะสมเพิ่มมากขึ้น

เกือบครอบคลุมทุกคน ทำให้เห็นได้ชัดว่าจำนวนกลุ่มของขนาดความสูงแก๊สไอและไต้ะมีผลต่อความเหมาะสมโดยรวมของขนาดไต้ะแก๊สไอในการปฏิบัติงานตามหลักการของการยศาสตร์ได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 6 แสดงค่าความเหมาะสมของไต้ะแก๊สไอที่จัดกลุ่มด้วยวิธี k-Means แบบ 3 กลุ่ม

สรุปผลตามรายการ	จำนวนเหมาะสมรวม
M	96.03%
N	3.97%
ผลรวมทั้งหมด	100.00%

จากการแสดงค่าความเหมาะสมของไต้ะแก๊สไอที่จัดกลุ่มด้วยวิธี k-Means แบบ 3 กลุ่ม แสดงผลวิเคราะห์ในตารางที่ 6 พบว่าการจัดกลุ่มที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อเปอร์เซ็นต์ความเหมาะสมรวมที่เพิ่มขึ้นด้วย จึงได้ทำการทดลองจัดกลุ่มขนาดไต้ะแก๊สไอออกเป็นชุดขนาดจำนวนต่าง ๆ โดยได้ทดสอบเพิ่มจาก 4 ขนาดถึงจำนวน 10 ขนาด และได้ผลการทดลอง มีความเหมาะสมรวมเป็น 97.55%, 98.83%, 98.60%, 99.42%, 99.30%, 99.42% และ 99.77% ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าจำนวนความเหมาะสมมีค่าเพิ่มมากขึ้น แต่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่ไม่มากนัก ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงจำนวนและเปอร์เซ็นต์ความเหมาะสมสำหรับแต่ละชุดการจัดกลุ่มขนาดเฟอร์นิเจอร์

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

การจัดชุดขนาดเฟอร์นิเจอร์การยศาสตร์สำนักงานตามความสัมพันธ์ของสัดส่วนร่างกายโดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธี k-Means สามารถสรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคตตามลำดับดังนี้

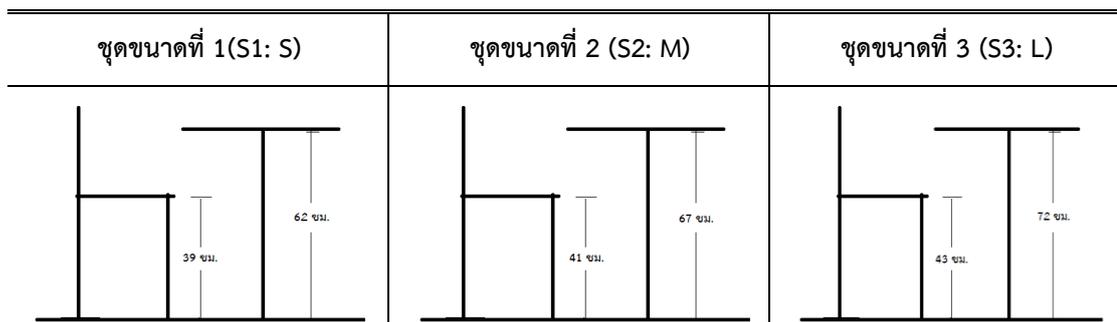
วัตถุประสงค์ข้อที่ 1 เพื่อต้องการศึกษาความเหมาะสมของขนาดความสูงโต๊ะเก้าอี้สำนักงานที่ใช้แพร่หลายในปัจจุบันกับขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้ใช้งานพบว่า ส่วนใหญ่ใช้ขนาดเดียวคือ โต๊ะสูง 75 cm และเก้าอี้สูง 42 cm ซึ่งเป็นขนาดที่กำหนดโดยมาตรฐานอุตสาหกรรม (Community & standard, n.d.) และได้พบว่ามีค่าความเหมาะสมแค่ 5.83% หรือ 6% เท่านั้นหรือถ้าคิดเป็นจำนวนบุคคลคือ 34 คนจาก 857 คนถือว่าน้อยมาก ในขณะที่ความไม่เหมาะสมคิดเป็น 94.17% หรือคิดเป็น 807 คนจาก 857 คน ซึ่งเป็นจำนวนที่ค่อนข้างมาก ซึ่งงานวิจัยนี้ต้องการนำเสนอข้อมูลของเก้าอี้และโต๊ะทำงานในสำนักงานขนาดเดียวที่ใช้งานอย่างแพร่หลายว่าเหมาะสมกับขนาดสัดส่วนร่างกายของผู้ปฏิบัติงานหรือไม่ ซึ่งได้เสนอผลการทดลองตามตารางที่ 2 โดยจะพบว่ามีค่าความเหมาะสมที่น้อยมาก จึงเป็นเหตุผลที่ต้องมีการจัดกลุ่มชุดขนาดต่อไป

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2 เพื่อต้องการศึกษาวิจัยค้นหาจำนวนกลุ่มชุดความสูงของโต๊ะเก้าอี้ที่เหมาะสมกับขนาดสัดส่วนร่างกายกลุ่มวัยทำงานจำนวนกลุ่มชุดขนาดตั้งแต่ 2 กลุ่มจนถึง 10 กลุ่มชุดขนาดโดยใช้เทคนิคจัดกลุ่มแบบวิธี k-Means และทดสอบเปรียบเทียบจำนวนเหมาะสมรวม โดยได้เปรียบเทียบ จำนวนเหมาะสมรวมของขนาดปัจจุบันที่กำหนดตามมาตรฐานอุตสาหกรรมที่มีขนาดเดียว จำนวนเหมาะสมรวมของการจัดกลุ่มด้วย k-Means 2 ขนาด และจำนวนเหมาะสมรวมของการจัดกลุ่มด้วย k-Means 3 ขนาด จะพบว่า การมีชุดขนาดให้เลือกมากขึ้นจะทำให้ความเหมาะสมเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนคือจากเดิมที่ใช้ขนาดโต๊ะเก้าอี้ขนาดเดียวที่แพร่หลายจะมีความเหมาะสมแค่ 5.83% แต่เมื่อการจัดกลุ่มเพิ่มขึ้นก็จะมีผลเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้นโดยเพิ่มขึ้น 80% เป็นอย่างน้อยจากขนาดปัจจุบัน ซึ่งเห็นได้ชัดเจนว่าการจัดกลุ่มออกเป็นหลายกลุ่มขนาดมีความเหมาะสมรวมมากกว่ากลุ่มขนาดเดียว โดยสามารถสรุปข้อมูลได้ดังนี้ 1) ขนาดเดียวที่ใช้อย่างแพร่หลายคือเก้าอี้สูง 42 ซม. โต๊ะสูง 75 ซม. มีความเหมาะสมรวม 5.83% 2) จัดกลุ่มเป็น 2 ชุดขนาด มีความเหมาะสมรวมเป็น 89.38% ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก 3) จัดกลุ่มเป็น 3 ชุดขนาด มีความเหมาะสมรวมเป็น 96.03% ซึ่งมีความเหมาะสมรวมที่เพิ่มขึ้นอีก 4) จัดกลุ่มเป็น 4 ชุดขนาด มีความเหมาะสมรวมเป็น 97.55% มีการเพิ่มขึ้นจาก 3 ชุดขนาดแต่ไม่มากนัก และ 5) ผลรายงานของการทดลองด้วยจำนวน 5 ถึง 10 ขนาด ก็จะมีค่าความเหมาะสมรวมที่เพิ่มมากขึ้นด้วยแต่ไม่มากนัก จึงเป็นไปตามหลักการที่ว่า การมีหลายกลุ่มชุดขนาดให้เลือกสามารถทำให้ความเหมาะสมเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน (Abimbola *et al.*, 2019; Chatterjee, 2019; Esfandarani & Shahrabi, 2012) ทำให้สามารถสรุปผลการวิจัยของแต่ละขั้นตอนการศึกษาเพื่อนำไปสู่การกำหนดขนาดโต๊ะและเก้าอี้ในสำนักงานที่มีความเหมาะสม

กับขนาดสัดส่วนของร่างกายสำหรับกลุ่มวัยทำงานได้ และจากภาพที่ 5 สามารถสังเกตได้ว่าจะเริ่มไม่แตกต่างกันที่จำนวนชุดขนาดตั้งแต่ 3 ขนาดเป็นต้นไป

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3 เพื่อต้องการเสนอชุดขนาดความสูงที่เหมาะสมของโต๊ะเก้าอี้ที่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตจริงและสามารถครอบคลุมคนส่วนใหญ่ได้นั้น จากผลการทดลองเปรียบเทียบความเหมาะสมรวมด้วยจำนวนกลุ่มต่างๆ ดังภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่าการจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่มขนาดจะมีความเหมาะสมรวมที่มากโดยมีความเหมาะสมรวมถึง 96% และไม่ต่างจาก 4 ขนาดซึ่งมี 97.55% มากนักแต่จำนวนกลุ่มขนาดน้อยกว่าซึ่งเป็นไปได้ในแง่การผลิตมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยต่าง ๆ ที่อ้างถึงการจัดกลุ่มขนาดสัดส่วนร่างกายกับขนาดของเสื้อผ้าที่มีการจัดเป็น 3 ขนาด คือ S M และ L (Syakur *et al.*, 2018; Zakaria, 2011) หรือจัดออก 3 เป็นกลุ่มเหมาะสมแล้ว (Syakur *et al.*, 2018)

ผู้วิจัยจึงเสนอจำนวนชุดขนาดเฟอร์นิเจอร์การยศาสตร์สำนักงานโดยจัดเป็น 3 ขนาดตามภาพที่ 6 ซึ่งมีขนาดความสูงของโต๊ะและเก้าอี้ขนาดเล็ก (S) มีขนาดความสูงของเก้าอี้ 39 ซม. โต๊ะสูง 62 ซม. ชุดขนาดกลาง (M) มีขนาดเก้าอี้สูง 41 ซม. โต๊ะสูง 67 ซม. และชุดขนาดใหญ่ (L) มีขนาดเก้าอี้สูง 43 ซม. โต๊ะสูง 72 ซม. และพบว่าขนาดความสูงของเก้าอี้มีความสูงที่ไม่แตกต่างกันมากนักของแต่ละขนาด แต่ขนาดความสูงของโต๊ะมีความต่างกันประมาณ 5 ซม. ซึ่งมีความแตกต่างพอสมควรสามารถนำเก้าอี้ขนาดปัจจุบันคือ 42.5 ซม.ขนาดเดียวไปใช้กับโต๊ะที่มี 3 ขนาดได้ และสามารถเป็นไปได้ในแง่การผลิตจริง การผลิตเก้าอี้ขนาดเดียวจำนวนมากจะสามารถช่วยให้ธุรกิจลดต้นทุนในการผลิตลงได้มากอีกด้วย ซึ่งสอดคล้องกับผลวิจัยนี้ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดชุดขนาดความสูงโต๊ะและเก้าอี้ในสำนักงานเพื่อเสนอสำหรับการผลิตจริง



ภาพที่ 6 ชุดขนาดโต๊ะเก้าอี้สำนักงานที่เหมาะสมเพื่อนำเสนอ 3 ขนาด

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตที่นำเสนอคือ ควรพิจารณาศึกษาวิจัยการใช้งานเทคนิควิธีการจัดกลุ่มแบบอื่น อาทิ Fuzzy c-Means ที่สามารถทำให้สมาชิกอยู่ได้มากกว่า 1 กลุ่มหรือในขั้นนี้

คือข้อมูลส่วนตัวบุคคลสามารถอยู่ในหลายกลุ่มได้ เช่น สามารถเลือกโต๊ะเก้าอี้ขนาด S หรือ M ได้เป็นต้น อาจทำให้จำนวนกลุ่มขนาดลดลงอีกได้ซึ่งอาจจะส่งผลดีต่อการผลิตจริงต่อไปได้

6. เอกสารอ้างอิง

- กิตติ อินทรานนท์. (2553). **การยศาสตร์ = Ergonomics** (พิมพ์ครั้งที่ 2). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จันทณี นิลเลิศ. (2560). การนั่งตามหลักการยศาสตร์. *Siriraj Medical Bulletin*, 10(1), 23–28.
- ปริญญา สงวนสัตย์. (2558). **การเรียนรู้ของเครื่อง Machine Learning**. นนทบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์.
- สุทธิ ศรีบุรพา. (2544). **เออร์โกโนมิกส์ (การยศาสตร์) ว่าด้วยการนั่งและเก้าอี้ = (Ergonomics on sitting and chairs)**. กรุงเทพฯ: พิสิษฐ์เซ็นเตอร์.
- อนุดา ธีรภูฐานกุล และวริศรา บ้านุ. (2564). ผลของโปรแกรมส่งเสริมสุขภาพด้านการยศาสตร์ต่อการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเพื่อลดความเสี่ยงต่อโรคกล้ามเนื้อและกระดูกที่เกิดจากการทำงานของพนักงานในสถานประกอบการแห่งหนึ่ง อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย. **วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อมและสุขภาพชุมชน**, 6(3), 38–44.
- Abimbola O.A., Kolawole, A., & Ekepre C.O. (2019). Application of Fuzzy Clustering Methodology for Garment Sizing. *American Journal of Data Mining and Knowledge Discovery*, 4(1). Doi: 10.11648/j.ajdmkd.20190401.15
- Afzan, Z.Z., Hadi, S.A., Shamsul, B.T., Zailina, H., Nada, I., & Rahmah, A.R.S. (2012, July). **Mismatch between school furniture and anthropometric measures among primary school children in Mersing, Johor, Malaysia**. Network of Ergonomics Societies Conference (SEANES), Langkawi, Malaysia. Doi: 10.1109/SEANES.2012.6299557
- Agha, S.R. (2010). School furniture match to students' anthropometry in the Gaza Strip. *Ergonomics*, 53(3), 344–354.
- Castellucci, H.I., Viviani, C., Arezes, P., Molenbroek, J.F.M., Martínez, M., & Aparici, V. (2021). Application of mismatch equations in dynamic seating designs. *Applied Ergonomics*, 90, 103273. <https://doi.org/10.1016/J.APERGO.2020.103273>
- Chaffin, D.B., Andersson, G.B.J., Martin, B.J. (2006). **Occupational biomechanics** (4th ed). Canada: John Wiley & Sons.



- Chatterjee, I. (2019, October). **A Comparative study of Clustering Algorithms. Analytics Vidhya.** Retrieved from <https://medium.com/analytics-vidhya/comparative-study-of-the-clustering-algorithms-54d1ed9ea732>
- Dianat, I., Molenbroek, J., & Castellucci, H.I. (2018). 013-A review of the methodology and applications of anthropometry in ergonomics and product design. **Ergonomics**, 61(12), 1696–1720. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/00140139.2018.1502817>
- Esfandarani, M.S., & Shahrabi, J. (2012). Developing a new suit sizing system using data optimization techniques. **International Journal of Clothing Science and Technology**, 24, 27–35. Retrieved from <https://doi.org/10.1108/09556221211194327>
- Genaidy, A.M., Huston, R.L., Dionysiou, D.D., & Karwowski, W. (2017). A system-of-systems framework for improved human, ecologic and economic well-Being. **Sustainability (Switzerland)**, 9(4). Retrieved from <https://doi.org/10.3390/su9040616>
- Gouvali, M.K., & Boudolos, K. (2006). Match between school furniture dimensions and children's anthropometry. **Applied Ergonomics**, 37(6), 765–773.
- Hsu, C.H., Lee, T.Y., & Kuo, H.M. (2009). Mining the body features to develop sizing systems to improve business logistics and marketing using fuzzy clustering data mining. **WSEAS Transactions on Computers**, 8(7), 1215–1224.
- Jain, A.K. (2010). Data clustering: 50 years beyond K-means. **Pattern Recognition Letters**, 31, 651–666. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.patrec.2009.09.011>
- Kahya, E. (2019). 004-Mismatch between classroom furniture and anthropometric measures of university students. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 74, 102864. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/J.ERGON.2019.102864>
- Lewis, R.J., Krawiec, M., Confer, E., Agopsowicz, D., & Crandall, E. (2002). Musculoskeletal disorder worker compensation costs and injuries before and after an office ergonomics program. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 29(2), 95–99. Retrieved from [https://doi.org/10.1016/S0169-8141\(01\)00054-3](https://doi.org/10.1016/S0169-8141(01)00054-3)

- Mehidi, I., Chouaib, B.D.E., & Jabri, D. (2019, November). **An Improved Clustering Method Based on K-Means Algorithm for MRI Brain Tumor Segmentation.** 2019 6th International Conference on Image and Signal Processing and Their Applications (ISPA). Mostaganem, Algeria. Doi: 10.1109/ISPA48434.2019.8966891
- Milecia, M. (2020, September). **8 Clustering Algorithms in Machine Learning that All Data Scientists Should Know.** Retrieved from <https://www.freecodecamp.org/news/8-clustering-algorithms-in-machine-learning-that-all-data-scientists-should-know/>
- Molenbroek, J. F., Kroon-Ramaekers, Y.M., & Snijders, C.J. (2003). Revision of the design of a standard for the dimensions of school furniture. **Ergonomics**, 46(7), 681–694. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/0014013031000085635>
- Oyewole, S.A., Haight, J.M., & Freivalds, A. (2010). The ergonomic design of classroom furniture/computer work station for first graders in the elementary school. **International Journal of Industrial Ergonomics**, 40(4), 437–447. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2010.02.002>
- Roebuck, J.A., Kroemer, K.H.E., & Thomson, W.G. (1975). **Engineering anthropometry methods.** 3.
- Syakur, M.A., Khotimah, B.K., Rochman, E.M.S., & Satoto, B.D. (2018). Integration K-Means Clustering Method and Elbow Method for Identification of The Best Customer Profile Cluster. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, 336(1), 012017. Doi: 10.1088/1757-899X/336/1/012017
- Tas, M.O., & Ergin, S. (2020). Detection of the Brain Tumor Existence Using a Traditional Deep Learning Technique and Determination of Exact Tumor Locations Using K-Means Segmentation in MR Images. **İleri Mühendislik Çalışmaları ve Teknolojileri Dergisi**, 1(2), 91-97.
- Thidarat, W., & Sutanit, P. (2017). Selection Ergonomically-Sized School Desk and Chair Base on Predictive Models. **Life Sciences and Environment Journal**, 18(1), 83-92.
- Thidarat, W., & Sutanit, P. (2019). School furniture ergonomic assessment via simplified measurements and regression models. **Songklanakarin Journal of Science & Technology**, 41(1), 89–95.



- Vithanage, C.P., Jayawardana, T.S.S., & Niles, S. N. (2013). The Development Of Pant Sizing System For Sri Lankan Females. **International Journal**, 1(1), 2307-227x.
- Zakaria, N. (2011). Sizing system for functional clothing—Uniforms for school children. **Indian Journal of Fibre & Textile Research**, 36, 348-357.