



การเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งบรรจุภัณฑ์ด้วยระบบอัตโนมัติต้นทุนต่ำตามหลักการคาราคูริไคเซ็น

ศิรประภา ดิประดิษฐ์¹ อภิชาติ กระจ่างเย่า^{2*} ภาณุมาศ วงษ์ชาญ² วาทิต ไกรทัต² และ ณัฐริรา ดีสูงเนิน²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

² สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา

* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: apichit@aru.ac.th

วันที่รับบทความ: 17 กันยายน 2568; วันที่ทบทวนบทความ: 6 มกราคม 2569; วันที่ตอบรับบทความ: 10 กุมภาพันธ์ 2569

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 20 เมษายน 2569

บทคัดย่อ: งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำตามหลักการคาราคูริไคเซ็น (Karakuri Kaizen) (แนวคิดการผลิตแบบลีนตามต้นแบบญี่ปุ่น) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) โดยดำเนินการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการปรับเปลี่ยนองศาความลาดเอียงของรางเลื่อนที่ระดับ 9, 11 และ 13 องศา ผลการศึกษาพบว่าที่ระดับความลาดเอียง 9 องศา ให้ประสิทธิภาพการทำงานสูงสุดเมื่อนำระบบต้นแบบที่พัฒนาขึ้นไปประยุกต์ใช้จริง พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการผลิตในกระบวนการทำงานจาก 102.20 แพ็คต่อชั่วโมง เป็น 275.00 แพ็คต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพการผลิตที่เพิ่มขึ้น 1.69 เท่า อีกทั้งผลการทดสอบทางสถิติยังยืนยันว่าประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบเดิมและระบบที่พัฒนาขึ้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นอกจากนี้ การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่ามีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 50 วันทำงาน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอนี้เป็นแนวทางที่คุ้มค่าต่อการลงทุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ในอุตสาหกรรมการผลิต

คำสำคัญ: คาราคูริไคเซ็น; ระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ; ผลผลิตภาพการผลิต; ระบบแรงโน้มถ่วงไร้พลังงาน

Enhancing Packaging Transport Efficiency Using Low-Cost Karakuri Kaizen Automation Mechanism

Siraprapha Deepradit¹, Apichit Krajangyao^{2*}, Phanumat Vongchan², Watit Krithat² and Nattira Deesungnoen²

¹ Department of Engineering Management, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

² Department of Industrial Technology, Faculty of Science and Technology, Phranakhon Si Ayutthaya Rajabhat University

* Corresponding author, E-mail: apichit@aru.ac.th

Received: 17 September 2025; Revised: 6 January 2026; Accepted: 10 February 2026

Online Published: 20 April 2026

Abstract: The objective of this research was to design and develop a low-cost automated packaging transport system based on Karakuri Kaizen principles (a Japanese lean manufacturing approach) to enhance production efficiency and to analyze the economic feasibility for Small and Medium-sized Enterprises (SMEs). The experimental design involved determining the optimal parameter by varying the inclination angles of the gravity conveyor at 9, 11, and 13 degrees. The results indicated that the 9-degree inclination yielded the highest operational performance. The implementation of the developed prototype significantly increased the production rate from 102.20 packs per hour to 275.00 packs per hour, representing a 1.69-fold increase in productivity. Furthermore, statistical analysis confirmed a significant difference in operational performance between the traditional and the developed systems ($p < 0.05$). Additionally, the economic feasibility analysis revealed a break-even point of 50 working days, demonstrating that the proposed system is a cost-effective investment for enhancing logistics efficiency in the manufacturing industry.

Keywords: Karakuri Kaizen; Automated material handling system; Productivity improvement; Gravity-driven zero-energy system



1. บทนำ

สถานการณ์ปัจจุบันของอุตสาหกรรมการผลิตในเรื่องการขนส่งบรรจุภัณฑ์กำลังเผชิญกับการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ โดยมีการเติบโตของตลาดที่แข็งแกร่งแต่ต้องเผชิญกับความท้าทายด้านแรงงาน ต้นทุน และความซับซ้อนทางเทคโนโลยี การพัฒนาระบบอัตโนมัติต้นทุนต่ำด้วยหลักการการคาราคูริไคเซ็นจึงเป็นโอกาสสำคัญในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้ [1] การเติบโตของตลาดระบบอัตโนมัติบรรจุภัณฑ์ขับเคลื่อนโดยความต้องการที่เพิ่มขึ้นสำหรับประสิทธิภาพการดำเนินงาน การลดต้นทุนแรงงาน และการปรับปรุงความสม่ำเสมอของบรรจุภัณฑ์ในทุกอุตสาหกรรม การนำเทคโนโลยีหุ่นยนต์ขั้นสูง ระบบอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง (The Internet of Things (IoT)) และเทคโนโลยีบรรจุภัณฑ์อัจฉริยะมาใช้กำลังเพิ่มขึ้นอีกด้วย [2] โดยเฉพาะสำหรับตลาดเกิดใหม่อย่างประเทศไทย ปัญหาการใช้แรงงานคน ในการเคลื่อนย้ายสินค้าเริ่มส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตมากขึ้น เนื่องจากการปรับตัวสูงขึ้นของอัตราค่าจ้างขั้นต่ำในประเทศไทยที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง [3] ประกอบกับข้อจำกัดด้านสรีรศาสตร์ที่ก่อให้เกิดความเมื่อยล้าสะสมและความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ ซึ่งส่งผลทางอ้อมให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงและเกิดต้นทุนแฝงจากการหยุดงาน แม้ระบบขนส่งอัตโนมัติด้วยไฟฟ้า (Motorized Conveyor) จะช่วยแก้ปัญหาแรงงานได้ แต่ผู้ประกอบการ SMEs มักเผชิญอุปสรรคด้านเงินลงทุนเริ่มต้น (Initial Investment) ที่สูง และภาระค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารายปี (Maintenance Cost) ที่อาจสูงถึงร้อยละ 2-5 ของมูลค่าทรัพย์สิน [4] ซึ่งแตกต่างจากระบบการคาราคูริไคเซ็นที่เน้นการใช้กลไกทางกล และแรงโน้มถ่วง ทำให้มีต้นทุนต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

ในบริบทของอุตสาหกรรมสมัยใหม่ ความท้าทายของผู้ประกอบการไม่ได้จำกัดอยู่เพียงการเพิ่มประสิทธิภาพตามแนวคิดการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing) เพื่อขจัดความสูญเปล่า (Waste) [5,6] ในกระบวนการทำงานเท่านั้น แต่ยังต้องคำนึงถึงการผลิตรที่ยั่งยืน (Sustainable Production) ที่มุ่งเน้นการประหยัดพลังงานและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า [7,8] อย่างไรก็ตาม ระบบอัตโนมัติทั่วไปมักพึ่งพาพลังงานไฟฟ้าและมีต้นทุนการบำรุงรักษาที่สูง ซึ่งอาจกลายเป็นภาระต้นทุนแฝงที่ขัดแย้งกับหลักการความยั่งยืนสำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยการนำระบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบมาใช้อาจมีข้อจำกัดด้านงบประมาณและความซับซ้อนในการบำรุงรักษา ด้วยเหตุนี้แนวคิดระบบอัตโนมัติต้นทุนต่ำ (Low-Cost Automation: LCA) จึงได้รับความสนใจมากขึ้นในระดับสากล โดย Seifermann et al. [9] ได้อธิบายว่า LCA เป็นกลยุทธ์แบบ Lean Automation ที่ช่วยสร้างสมดุลระหว่างการทำงานด้วยมือและการใช้เครื่องจักร ซึ่งช่วยลดความสูญเปล่าโดยไม่ต้องลงทุนสูงเกินความจำเป็น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fast-Berglund et al. [10] ที่ชี้ให้เห็นว่า LCA ไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนแรงงาน แต่ยังเป็นกลยุทธ์สำคัญที่ช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับสายการผลิต ทำให้ผู้ประกอบการสามารถปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของตลาดได้ดีกว่าการใช้เครื่องจักรขนาดใหญ่ที่มีโครงสร้างตายตัว ซึ่งหนึ่งในเทคนิคสำคัญ ของระบบอัตโนมัติต้นทุนต่ำที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายคือ หลักการการคาราคูริไคเซ็น

การคาราคูริไคเซ็นเป็นคำศัพท์ภาษาญี่ปุ่นที่หมายถึงวิธีการแบบลีนที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุเชิงกลที่เรียบง่ายซึ่งอาศัยแรงโน้มถ่วงและความเฉื่อยในการ



เคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ข้ามโรงงาน แทนที่การใช้คอมพิวเตอรืไฮดรอลิกส์ แก๊ส หรือแหล่งพลังงานราคาแพงอื่นๆ คาราคุรีโคเซ็นใช้กลไกต้นทุนต่ำ เช่น สปริงคั่นโยก เกียร์ และลูกตุ้มในการทำงาน [11] ข้อดีของคาราคุรีโคเซ็น คือ ใช้พลังงานน้อย ต้นทุนต่ำ บำรุงรักษาง่าย และมีการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วโลก คาราคุรีโคเซ็นได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา และยังคงเปลี่ยนวิธีที่เราใช้ประโยชน์จากองค์ประกอบทางธรรมชาติเพื่อให้เกิดการผลิตแบบสิ้นและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม สำหรับหลายๆ บริษัท คาราคุรีโคเสนนำเสนอวิธีใหม่ๆ ในการเพิ่มผลผลิตภาพแรงงานและบรรลुरुบบอัตโนมัติด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ความก้าวหน้าของเซ็นเซอร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม 4.0 ไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนการผลิต แต่ยังตอบสนองต่อนโยบายการผลิตสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Manufacturing) โดยการตัดลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการลำเลียงสินค้า ซึ่งสอดคล้องกับทิศทางของอุตสาหกรรมโลกยุคใหม่ที่มุ่งเน้น Green Factory [12]

การประยุกต์ใช้คาราคุรีโคเซ็นในอุตสาหกรรมพบในงานวิจัยหลายฉบับ เช่น Pichawadee *et. al.* (2024) [13] ได้พัฒนาระบบเคลื่อนย้ายวัสดุในโรงงานผลิตสีตามหลักคาราคุรีโคเซ็น โดยมีข้อจำกัดในเรื่องน้ำหนักของวัสดุที่เคลื่อนย้ายถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงไม่สามารถใช้การเคลื่อนที่ด้วยคาราคุรีโคเซ็นได้ Kittidecha *et. al.* (2024) [14] การเพิ่มประสิทธิภาพการขนย้ายวัสดุด้วยรถเข็นคาราคุรีโคเซ็นวิสาหกิจชุมชนภูเวียงวารี ซึ่งสามารถลดความเมื่อยล้าในการขนย้ายถังสีลงอย่างมาก ลดเวลาในการขนย้ายต่อครั้งคิดเป็นร้อยละ 9 สำหรับผลการประเมินความเมื่อยล้า พบอาการปวดเมื่อยสูงสุดลดลง

จากระดับรู้สึกปวดเมื่อยหรือล้ามากเหลือเป็นระดับรู้สึกปวดเมื่อยปานกลาง Madisa *et. al.* (2019) [15] นำเสนอแนวคิดคาราคุรีโคเซ็นไปใช้ เพื่อปรับปรุงการออกแบบสถานีงานในโรงงานผลิตลวดสลิง มีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคาราคุรีโคเซ็นกับผลผลิตและการยศาสตร์ Pogowonto and Amrina (2020) [16] ศึกษาสายการประกอบเครื่องยนต์รถยนต์สำหรับผลิตภัณฑ์บล็อกกระบอกสูบ มีวัตถุประสงค์เพื่อระบุกิจกรรมที่ไม่ใช่มูลค่าเพิ่ม (NVA) และลดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยคาราคุรีโคเซ็น ผลวิจัยพบว่าสามารถเร่งรอบเวลาที่สถานีงานเป็น 180 วินาที และกิจกรรมที่มีประสิทธิภาพของวงจรการผลิตเป็น 80% จากการทบทวนวรรณกรรมข้างต้น แม้ว่างานวิจัยในอดีตจะประสบความสำเร็จในการประยุกต์ใช้หลักการคาราคุรีโคเซ็นเพื่อเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงการยศาสตร์ในอุตสาหกรรมเฉพาะทาง ดังเช่น การผลิตสี [13], ลวดสลิง [15], และยานยนต์ [16] แต่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นผลลัพธ์เชิงเทคนิค (Technical Performance) เพียงด้านเดียว เช่น การลดเวลา (Cycle Time) หรือการลดความเมื่อยล้าของผู้ปฏิบัติงาน โดยยังขาดการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) ที่เป็นรูปธรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อจำกัดในงานของ Pichawadee *et al.* [13] ที่พบความไม่ยืดหยุ่นต่อ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักวัสดุ สะท้อนให้เห็นถึงความท้าทายในการนำไปใช้จริงในบริบทที่หลากหลาย นอกจากนี้ งานวิจัยส่วนใหญ่ดังที่กล่าวมามักดำเนินการในบริบทของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความพร้อมด้านทรัพยากร ซึ่งอาจไม่สามารถนำมาปรับใช้ได้โดยตรงกับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม (SMEs) ที่มีข้อจำกัดด้านงบประมาณลงทุน ดังที่ Zhang และ U-on [17] ได้ชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของ



กลยุทธ์ที่เหมาะสมกับบริบทของ SMEs ในไทย ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้มีจุดเน้นที่แตกต่างจากงานวิจัยก่อนหน้าโดยมุ่งวิเคราะห์หาองศาการลาดเอียงของรางวัลและการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-even Analysis) ซึ่งยังไม่ได้รับการศึกษาอย่างครอบคลุมในงานที่ผ่านมา อีกทั้งยังขยายขอบเขตการพิจารณาไปสู่องค์ความรู้ใหม่ที่ช่วยยืนยันความได้เปรียบทั้งในเชิงประสิทธิภาพการผลิตและเชิงต้นทุนไปพร้อมกัน เพื่อพิสูจน์ความเป็นไปได้ในการลงทุนสำหรับระบบขนส่งอัตโนมัติต้นทุนต่ำ

การศึกษาหลักการการครุไรโคเซ็นที่เหมาะสมในการออกแบบและพัฒนาระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ การประเมินประสิทธิภาพของระบบ คือ ความสามารถของระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์แบบรางวัลที่พัฒนาขึ้นตามหลักการการครุไรโคเซ็น ในการลำเลียงบรรจุภัณฑ์จากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทาง ในรูปแบบประสิทธิภาพเชิงเวลา (Time Efficiency) ประสิทธิภาพเชิงผลิตภาพ (Productivity Efficiency) และ ประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Efficiency) โดยเปรียบเทียบกับระบบเดิม ซึ่งกระบวนการขนย้ายบรรจุภัณฑ์ในปัจจุบันยังคงอาศัยแรงงานพนักงานเป็นหลัก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาความเมื่อยล้าและความล่าช้าในขั้นตอนการนำส่งสินค้าไปยังคลังจัดเก็บส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตโดยรวม จากปัญหาดังกล่าวจึงเล็งเห็นความสำคัญของการออกแบบและพัฒนาระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยประยุกต์ใช้หลักการการครุไรโคเซ็น ระบบที่พัฒนาขึ้นนี้มีเป้าหมายเพื่อลดภาระของพนักงาน ลดระยะเวลาในกระบวนการขนย้าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นระบบกลไกที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้า แต่ใช้ประโยชน์จากแรงโน้มถ่วงและแรงผลึกจากมนุษย์ในการขับเคลื่อนรถเข็นลำเลียงบรรจุภัณฑ์ไปยังพื้นที่จัดเก็บใน

คลังสินค้าได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักดังนี้ 1) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำด้วยหลักการการครุไรโคเซ็น 2) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบที่พัฒนาขึ้นกับกระบวนการขนย้ายรูปแบบเดิม ที่อาศัยแรงงานพนักงาน โดยมีขอบเขตการวิจัย คือ ประเภทของบรรจุภัณฑ์ที่ศึกษา ซึ่งเป็นบรรจุภัณฑ์น้ำหนัก 600 มิลลิกรัม จำนวน 8 ขวด ห้องระบบผลิตน้ำดื่มที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis water) ณ อาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา โดยทำการทดลองระยะทางและความเร็วในการขนส่ง

2. วิธีดำเนินงานวิจัย

2.1 ออกแบบและพัฒนาระบบการเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ

การออกแบบระบบทำได้โดยการศึกษากระบวนการเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการครุไรโคเซ็น จากเอกสารวิชาการต่าง ๆ และสถานประกอบการที่ได้ทำการใช้ระบบดังกล่าว แล้วนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบในงานวิจัยครั้งนี้ โดยพิจารณาถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากโรงงานตัวอย่าง ตำแหน่งของการติดตั้ง เส้นทางไหลของบรรจุภัณฑ์ขนาดและน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ ข้อจำกัดของการติดตั้ง การออกแบบองค์ประกอบหลักของระบบการเคลื่อนย้าย ประกอบด้วย ระบบลำเลียง ระบบการไหลในการออกแบบใช้หลักการการครุไรโคเซ็นซึ่งอาศัยแรงโน้มถ่วง ระบบควบคุมการไหล ทางลาดสำหรับรับและส่งบรรจุภัณฑ์ ซึ่งพื้นที่การทำงานที่จะติดตั้งระบบการเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติ คือ ห้องระบบผลิตน้ำ



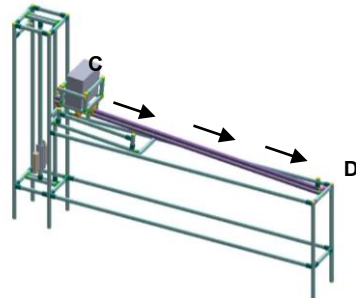
บทความวิจัย

ดื่มที่ผ่านกระบวนการออสโมซิสย้อนกลับ ณ อาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนครศรีอยุธยา ขนาดพื้นที่ 2.20 x 2.20 ตารางเมตร แสดงดังรูปที่ 1 โดยระบบเดิมจะใช้พนักงาน 3 คน พนักงานคนที่ 1 อยู่ที่จุด A ระบบผลิตน้ำ RO พนักงานคนที่ 2 ทำหน้าที่ขนย้ายบรรจุภัณฑ์ไปยังจุด B จากนั้นพนักงานคนที่ 3 ทำการย้ายบรรจุภัณฑ์ไปวางบนพาเลตที่จุด B ซึ่งการออกแบบและพัฒนาระบบ และมีโครงสร้างระบบการเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์ ดังรูปที่ 2 – 6 โดยระบบใหม่กลไกการทำงานของระบบ (รูปที่ 2) เริ่มจากพนักงานคนที่ 1 ขนย้ายบรรจุภัณฑ์มาไว้ที่เครื่องขนย้ายอัตโนมัติ จากนั้นวางบรรจุภัณฑ์ในช่องวางบรรจุภัณฑ์ (จุด C) จะไหลตามแรงโน้มถ่วงจนมาถึงจุดสิ้นสุด (จุด D) และพนักงานคนที่ 2 นำบรรจุภัณฑ์ไปไว้ที่จุดวางบรรจุภัณฑ์ ตัวถ่วงน้ำหนักทำหน้าที่ดึงรางเลื่อนของระบบกลับเพื่อไปรอรับบรรจุภัณฑ์ใหม่ การออกแบบมีการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับความลาดเอียงของรางเลื่อน ซึ่งความยาวรางเลื่อนบรรจุภัณฑ์ที่มีความยาว 2 เมตร ข้อจำกัดในการทดลองคือจะทดสอบองศาจากการเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์ขนาด 600 มล. จำนวน แพ็คละ 12 ขวดเท่านั้น โดยทำการทดสอบความเร็วในการไหลของบรรจุภัณฑ์ และผลจากความเร็วในการไหล โดยการทดลองจะใช้ค่าความลาดเอียงของรางเลื่อนบรรจุภัณฑ์ เท่ากับ 9, 11, และ 13 องศา ตามลำดับ โดยแต่ละองศาทำการทดลอง 5 ครั้ง ทำการจับเวลาในการไหลของบรรจุภัณฑ์ทั้งการเลื่อนไปและการเคลื่อนกลับ การเลือกทดลองมุมลาดเอียงที่ 9, 11 และ 13 องศาสำหรับการทดลองนี้เป็นการเลือกที่ตั้งอยู่บนหลักการทางฟิสิกส์และการออกแบบการทดลองโดยเกณฑ์ในการเลือกองศา คือ อัตราเร็วและความรุนแรงของการกระแทก เพื่อค้นหาจุดที่

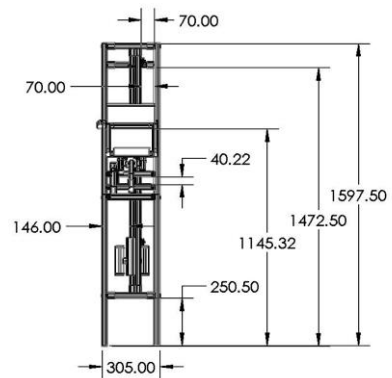
เหมาะสมที่สุด มุม 9 องศา เป็น ความเร็วต่ำสุดที่ยอมรับได้ และมุม 13 องศา เป็นความเร็วสูงสุดที่ยอมรับได้ โดยพิจารณาเกณฑ์กา ทำให้การไหลจะรวดเร็วและต่อเนื่อง แต่มีความเสี่ยงสูงที่บรรจุภัณฑ์จะเสียหายจากการกระแทก และอาจทำให้กลไกการเคลื่อนกลับทำงานผิดพลาดได้



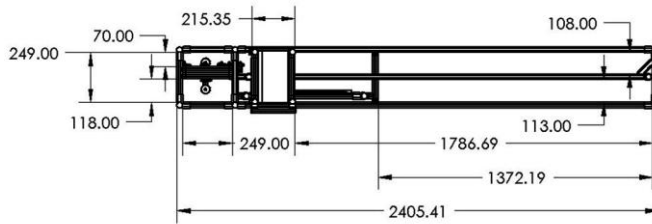
รูปที่ 1 พื้นที่ภายในห้องที่ทำการทดลอง



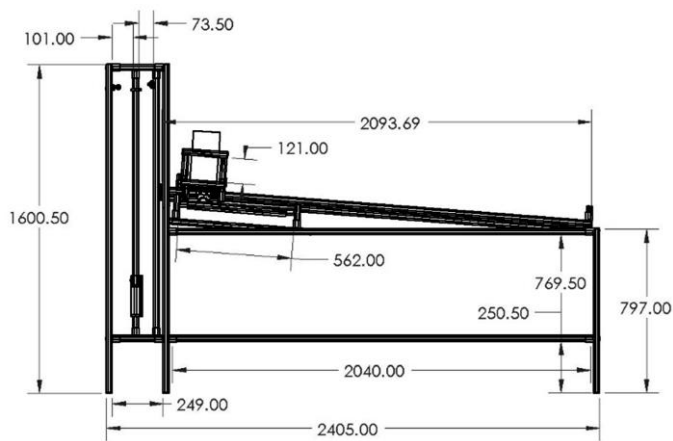
รูปที่ 2 ระบบการเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์



รูปที่ 3 โครงสร้างมุมมองด้านหน้า



รูปที่ 4 โครงสร้างมุมมอง



รูปที่ 5 โครงสร้างมุมมอง



รูปที่ 6 ระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการควาคุรีโคเซ็น



การเลือกองศาในการลาดเอียงของรางเลื่อนโดย การกำหนดเกณฑ์ความเร็วมีความเร็วต่ำสุด ต้องมีค่า มากกว่า 0 เพื่อให้เอาชนะแรงเสียดทานสถิต (Static Friction) ได้ตลอดเส้นทาง และต้องเร็วพอที่จะทันกับ เวลาการผลิต (Takt Time) พิจารณาจากสัมประสิทธิ์ แรงเสียดทาน $\tan \theta > \mu_s$

ความเร็วสูงสุดมีเกณฑ์ในการเลือกคือต้องไม่ ก่อให้เกิดแรงกระแทกที่ปลายรางเกินกว่าที่บรรจุ ภัณฑ์จะรับได้ (ไม่บวม/ไม่แตก) พิจารณาจากพลังงาน จลน์ ต้องไม่เกินค่าความทนทานของขวด PET ซึ่ง ต้องน้อยกว่า Yield Strength ของวัสดุ

2.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบบรรจุ ภัณฑ์เครื่องอัตโนมัติ

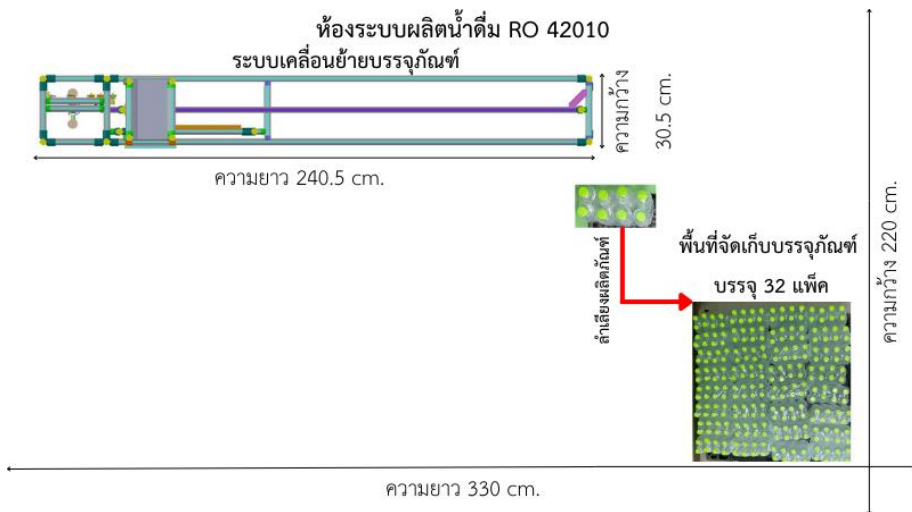
การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของ ระบบการเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทูลต่ำ โดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็นและประสิทธิภาพ การทำงานของระบบการเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์โดยใช้ การทำงานด้วยพนักงานขนย้ายจำนวน 3 คน

2.2.1 การเปรียบเทียบเวลาการทำงานของระบบ เคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทูลต่ำโดยใช้ หลักการการาคูรีโคเซ็นกับเวลาการทำงานของ พนักงาน

การทดลองจะวางแพ็คน้ำ 32 แพ็คต่อชั้นโดยที่ ฐานวางแพ็คน้ำมีขนาด 1.1 x 1.1 ตารางเมตร ดังรูปที่ 7 โดยทำการทดลองครั้งละ 1 ชั่วโมง

2.2.2 การหาระยะทางการเคลื่อนที่ขณะทำงาน ของระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทูลต่ำโดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็น และระยะทาง การเคลื่อนที่ขณะทำงานของพนักงาน

พื้นที่ในการทำงาน เท่ากับ 2.20 x 3.30 เมตร การวางแพ็คน้ำ 8 แพ็ค 4 แถวรวมทั้งหมดเป็น 32 แพ็คต่อชั้น เปรียบเทียบระยะทางเคลื่อนที่ขณะ ทำงาน ของพนักงานและระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์ อัตโนมัติต้นทูลต่ำ



รูปที่ 7 ขั้นตอนการวางแพ็คน้ำในการทดลอง



2.2.3 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็น และการทำงานของพนักงาน

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานของระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็น ซึ่งมีพนักงานในการควบคุมระบบและการทำงานของพนักงาน ดังตารางที่ 1 โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วย ดัชนีและเซต ข้อมูลค่าคงที่ ตัวแปรตัดสินใจ ข้อจำกัดและสมการวัตถุประสงค์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ดัชนีและเซต (Indices and Sets)

i = การปฏิบัติงานของพนักงาน

j = ระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำ

I = จำนวนพนักงาน, $i = \{1...I\}$

J = จำนวนพนักงานของระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำ, $j = \{1...J\}$

ข้อมูลค่าคงที่ (Parameters)

S = ค่าระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำ (บาทต่อเครื่อง)

L_i = ค่าจ้างพนักงานในระบบเดิม (บาทต่อวันต่อคน)

L_j = ค่าจ้างพนักงานในระบบใหม่ (บาทต่อวันต่อคน)

N = จำนวนพนักงาน (คน)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

X = จำนวนวันในการผลิต (วัน), $x = \text{int}$

โดยที่ X เป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่ใช้กำหนดระยะเวลาต้นทุนของโครงการ

ตารางที่ 1 รายการในการคำนวณต้นทุน

รายการ	พนักงาน	ระบบ
1.ค่าระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำ (บาท)	-	15,000
2.ค่าจ้างพนักงาน (บาทต่อวันต่อคน)	300	300
3.จำนวนพนักงาน (คน)	3	2
4.จำนวนแพ็คเกจที่ขนได้ (แพ็คเกจต่อวัน)	795	2,208
5.จำนวนชั่วโมงทำงาน (ชั่วโมงต่อวัน)	8	8

ข้อจำกัด (Constraints)

ข้อจำกัดพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของการปฏิบัติงานของพนักงานมากกว่าหรือเท่ากับค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้ระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำ ดังสมการ (1)

$$L_i N_i X \geq S + L_j N_j X, i \in I, j \in J \quad (1)$$

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำด้วยหลักการการาคูรีโคเซ็นมีต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด โดยพิจารณาจากค่าแรงพนักงานของระบบใหม่ และค่าระบบขนส่งการาคูรีโคเซ็นที่สร้างขึ้น โดยในสมการวัตถุประสงค์นี้กำหนดให้ X (จำนวนวันในการผลิต) เป็นตัวแปรหลักที่สนใจ (Decision Variable) เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน โดยเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมระหว่างระบบเดิมและระบบใหม่ที่มีความสัมพันธ์แปรผันตามระยะเวลาการใช้งาน

$$\text{Minimize } S + L_j N_j X \quad (2)$$



3. ผลการวิจัย

การทดลองเพื่อศึกษาและพัฒนาระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทูลต่ำด้วยหลักการการครีโคโนเซียม โดยการทดลองมุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพใน 3 ด้านหลัก ได้แก่ การหาองศาความลาดเอียงที่เหมาะสมที่สุดของระบบ การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน และการเปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนที่ของผู้ปฏิบัติงาน ระหว่างการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับกระบวนการทำงานแบบเดิมที่อาศัยแรงงานพนักงาน เพื่อนำผลมาวิเคราะห์ และสรุปประสิทธิภาพของระบบดังกล่าว

3.1 การหาองศาที่เหมาะสมของระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทูลต่ำโดยใช้หลักการการครีโคโนเซียม

ผลทดสอบปรับองศาความลาดเอียงของรางเลื่อนบรรจุภัณฑ์ ดังตารางที่ 2 พบว่า ความลาดเอียงที่ 9 องศา มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของบรรจุภัณฑ์ 6.58 วินาทีต่อแพ็ค เกิดการกระแทกจากการไหลของบรรจุภัณฑ์เล็กน้อย ความลาดเอียงที่ 11 องศา มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของบรรจุภัณฑ์ 6.23 วินาทีต่อแพ็ค เกิดการกระแทกจากการไหลของบรรจุภัณฑ์มาก ความลาดเอียงที่ 13 องศา มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของบรรจุภัณฑ์ 7.90 วินาทีต่อแพ็ค เกิดการกระแทกจากการไหลของบรรจุภัณฑ์รุนแรงมาก จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 8 พบว่าระดับความลาดเอียงของรางเลื่อนมีผลต่อเวลาในการเคลื่อนที่ของบรรจุภัณฑ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่ระดับ 11 องศา ใช้เวลาเฉลี่ยต่ำที่สุด (6.23 วินาที) ซึ่งแตกต่างจากระดับ 13 องศาอย่าง

ชัดเจน ที่อาจเกิดปัญหาการกระแทกหรือการเสียดทานที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีความชันมากเกินไป ทำให้เวลาในการเคลื่อนที่ช้าลง

จากการทดลองพบว่า การปรับองศาความลาดเอียง แม้การเพิ่มมุมลาดเอียงจะช่วยเพิ่มความเร็วในการลำเลียงเข้าไป (Forward Stroke) แต่กลับส่งผลกระทบต่อรอบเวลาโดยรวม (Total Cycle Time) เนื่องจากความล่าช้าในช่วงขากลับ (Return Stroke) ซึ่งสามารถอธิบายสาเหตุที่แท้จริงได้ด้วยหลักการสมดุลแรง คือ ในช่วงขากลับ กลไกขับเคลื่อนอาศัยแรงดึงจากตุ้มถ่วงน้ำหนัก (W_{cw}) เพียงอย่างเดียวในการดึงถาดเปล่าขึ้นสู่ที่สูง โดยต้องเอาชนะแรงต้านจากแรงโน้มถ่วงของถาด ($W_{cart} \sin \theta$) และแรงเสียดทาน (f) ตามสมการที่ (3)

$$F_{net} = W_{cw} - (W_{cart} \sin \theta + f) \quad (3)$$

ตารางที่ 2 ผลทดสอบปรับองศาความลาดเอียงของรางเลื่อนบรรจุภัณฑ์

ครั้งที่	ความเร็วในการไหลของบรรจุภัณฑ์ (วินาทีต่อแพ็ค)		
	9 องศา	11 องศา	13 องศา
1	7.28	6.25	7.91
2	6.99	6.63	8.35
3	6.12	6.20	8.09
4	6.18	5.89	7.29
5	6.35	6.21	7.88
ค่าเฉลี่ย	6.58	6.23	7.90
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.52	0.26	0.40
การกระแทก	เล็กน้อย	มาก	รุนแรงมาก



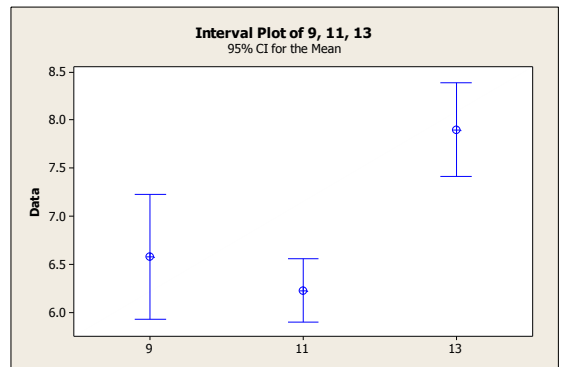
สาเหตุที่แท้จริงที่ทำให้มุม 13 องศา มีประสิทธิภาพการไหลกลับต่ำกว่ามุม 9 องศา ไม่ใช่เพียงเพราะความชัน แต่เป็นเพราะแรงลัพท์ที่ใช้เร่งความเร็วขากลับมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อมุมชันขึ้น ในขณะที่น้ำหนักตุ้มถ่วงเท่าเดิม ส่งผลให้ความเร่งลดลงและใช้เวลาในการดึงกลับนานขึ้น ดังนั้นการใช้มุม 9 องศา จึงเป็นจุดเหมาะสมที่สุด (Optimum Point) ที่ทำให้แรงส่งขาไปเพียงพอต่อการใช้งาน และแรงต้านขากลับไม่สูงจนเกินกำลังของตุ้มถ่วงน้ำหนัก

3.2 ผลการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

การเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานระหว่างการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับกระบวนการทำงานแบบเดิมที่อาศัยแรงงานพนักงาน พบว่าจำนวนแพ็คน้ำในการทำงานของพนักงานมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 102.20 แพ็คต่อชั่วโมง (คำนวณจากจำนวนแพ็คน้ำในการทำงานรวมหารด้วยจำนวนครั้ง) และระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็น มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 275.00 แพ็คต่อชั่วโมง ดังตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็นมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้แรงงานพนักงานเพียงอย่างเดียว ในการใช้แรงงานเพียงอย่างเดียวจะมีการแปรผันตามความเหนื่อยล้า ซึ่งพบว่าในชั่วโมงแรกมีอัตราการผลิตอยู่ที่ 113 แพ็คต่อชั่วโมง และลดลงมาเรื่อยๆ จนครั้งที่ 10 อัตราการผลิตอยู่ที่ 80 แพ็คต่อชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพบว่า ความสัมพันธ์อัตราการผลิตกับจำนวนชั่วโมงในการผลิต คือ $Y_i = \alpha + \beta X_i$ จะได้สมการ (4)

ตารางที่ 3 การทดสอบความแปรปรวน

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	7.743	3.871	23.57	0.000
Error	12	1.971	0.164		
Total	14	9.714			



รูปที่ 8 ช่วงความเชื่อมั่น 95% ของข้อมูลความเร็วในการไหล

$$Y_i = 121.87 - 3.58X_i \quad (4)$$

และได้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.9323 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์เชิงเส้นสูง ในขณะที่ระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็น จะมีอัตราการผลิตค่อนข้างคงที่ ซึ่งประสิทธิภาพของระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็นสูงกว่าการทำงานของพนักงาน

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างการใช้แรงงานคนและระบบขนส่งอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้น โดยใช้การทดสอบทางสถิติแบบ Independent Two-Sample t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พบว่า ระบบอัตโนมัติมีกำลังการผลิต



บทความวิจัย

เฉลี่ยอยู่ที่ 275.00 แพ็คต่อชั่วโมง (SD = 1.15) ในขณะที่การใช้แรงงานคนทำได้เฉลี่ยเพียง 102.20 แพ็คต่อชั่วโมง (SD = 11.61) ผลการทดสอบทางสถิติแสดงค่า P-value < 0.001 ซึ่งยืนยันว่า ระบบอัตโนมัติสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้สูงกว่าการใช้แรงงานคนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ 1.69 เท่า

ตารางที่ 4 ระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน

ครั้งที่	จำนวนแพ็คเกจ (แพ็คต่อชั่วโมง)	
	พนักงาน	ระบบ
1	113	276
2	113	276
3	111	276
4	110	275
5	107	276
6	105	273
7	100	275
8	98	275
9	85	273
10	80	275
ค่าเฉลี่ย	102.20	275.00
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	11.61	1.15

3.3 ผลการเปรียบเทียบอัตราเร็วที่ใช้ในการปฏิบัติงานระหว่างการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับกระบวนการทำงานแบบเดิมที่อาศัยพนักงานขนย้าย

ระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการเคลื่อนที่ด้วยล้อ มีค่าเฉลี่ยอัตราเร็วในการปฏิบัติงาน เท่ากับ 16.43 เมตรต่อนาที และอัตราเร็วของพนักงาน เท่ากับ 19.84 เมตรต่อนาที แสดงให้เห็นว่าระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการการเคลื่อนที่ด้วยล้อ มีการเคลื่อนที่ขณะทำงานที่น้อยกว่าและใช้ระยะเวลาในการปฏิบัติงานที่น้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราเร็วในการปฏิบัติงานได้ 17.19% ดังตารางที่ 5

สำหรับการวิเคราะห์ระยะทางการปฏิบัติงานในตารางที่ 5 ใช้วิธีการคำนวณระยะทางการเคลื่อนที่รวม (D_{total}) โดยอ้างอิงจากตำแหน่งการวางเครื่องจักรจริงคำนวณตามสมการ (5)

$$D_{total} = \sum_{i=1}^n (d_i \times N_i) \quad (5)$$

โดยที่ d_i คือ ระยะทางในการเดินต่อรอบการทำงาน (เมตร/รอบ) ซึ่งได้จากการวัดระยะจริงในพื้นที่ปฏิบัติงานจากจุดรับไปยังจุดส่ง

N_i คือ จำนวนรอบของการขนย้ายสินค้าต่อชั่วโมง (รอบ/ชั่วโมง)

การเปรียบเทียบระยะทางทำโดยวัดจากจุดเริ่มต้นกระบวนการแพ็คสินค้าจนถึงจุดจัดเก็บ โดยในระบบเดิมพนักงานต้องเดินไป-กลับ (Round Trip) เพื่อขนย้าย ในขณะที่ระบบการเคลื่อนที่ด้วยล้อช่วยลดระยะทางดังกล่าวด้วยการลัดเลียดอัตโนมัติ



บทความวิจัย

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบอัตราเร็วที่ได้ในการปฏิบัติงาน

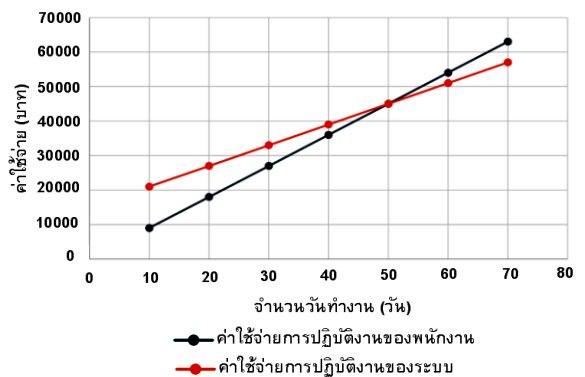
แพ็คหน้า แถวที่	การปฏิบัติงานของพนักงาน			การปฏิบัติงานของระบบ		
	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	อัตราเร็ว	ระยะทาง (เมตร)	เวลา (นาที)	อัตราเร็ว
1	63.93	3.23	19.79	35.22	2.19	16.08
2	63.91	3.20	19.97	35.19	2.10	16.76
3	63.89	3.25	19.66	35.16	2.15	16.35
4	63.87	3.21	19.90	35.13	2.12	16.57
ค่าเฉลี่ย	63.90	3.22	19.84	35.17	2.14	16.43

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบอัตราเร็วที่ได้ในการปฏิบัติงาน

จำนวนวัน	10	20	30	40	50	60	70
ค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานของพนักงาน	9000	18000	27000	36000	45000	54000	63000
ค่าใช้จ่ายการปฏิบัติงานของระบบ	21000	27000	33000	39000	45000	51000	57000

3.4 ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานของระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำโดยใช้หลักการคาราคูริไคเซ็น และการปฏิบัติงานของพนักงาน

จากการคำนวณหาค่าที่ดีที่สุดโดยใช้สมการวัตถุประสงค์ที่ (2) และพิจารณาข้อจำกัดจากสมการที่ (1) เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น การปฏิบัติงานระยะเวลา 50 วัน เป็นจุดที่ค่าใช้จ่ายของการปฏิบัติงานของระบบเท่ากับการปฏิบัติงานของพนักงาน พบว่า การปฏิบัติงานของพนักงานมีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 45,000 บาท จำนวนแพ็คหน้าทีขนได้ 39,750 แพ็ค สำหรับการปฏิบัติงานของระบบ 45,000 บาท จำนวนแพ็คหน้าทีขนได้ 110,440 แพ็ค ซึ่งจำนวนแพ็คหน้าทีเคลื่อนย้ายได้มากกว่าระบบเดิมถึง 177.84% ดังนั้นเมื่อผลิตมากกว่า 50 วัน ค่าใช้จ่ายของการปฏิบัติงานของระบบจะน้อยกว่าการปฏิบัติงานของพนักงาน ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน

จากตารางที่ 6 พิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของการปฏิบัติงานของพนักงานมากกว่าหรือเท่ากับค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้ระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทุนต่ำ จากสมการ (1)

4. สรุปผล

งานวิจัยเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งบรรจุภัณฑ์ด้วยระบบอัตโนมัติต้นทุนต่ำตามหลักการ



บทความวิจัย

การาคูรีโคเซ็น มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทนต์ด้วยหลักการการาคูรีโคเซ็นและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบที่พัฒนาขึ้นกับกระบวนการขนย้ายรูปแบบเดิมที่อาศัยแรงงานพนักงานซึ่งเมื่อทำงานเป็นเวลานานจะเกิดการเมื่อยล้า ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง

งานวิจัยนี้ออกแบบโดยคำนึงถึงความลาดเอียงของรางเลื่อนบรรจุภัณฑ์ซึ่งใช้ 9 องศา เนื่องจากมีความเหมาะสมในเรื่องระยะเวลาในการขนย้ายและความปลอดภัยของบรรจุภัณฑ์ที่ได้รับแรงกระแทกมากที่สุด ความลาดเอียงของรางเลื่อนบรรจุภัณฑ์ 9 องศา มีค่าเฉลี่ยความเร็วในการไหลของบรรจุภัณฑ์ 6.58 วินาทีต่อแพ็ค สำหรับการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานระหว่างการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้นกับกระบวนการทำงานแบบเดิมที่อาศัยพนักงานพบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คน้ำในการทำงานของพนักงาน เท่ากับ 102.20 แพ็คต่อชั่วโมง ส่วนค่าเฉลี่ยจำนวนแพ็คน้ำในการทำงานของระบบ เท่ากับ 275.00 แพ็คต่อชั่วโมง ซึ่งประสิทธิภาพของระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทนต์โดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็นสูงกว่าการทำงานของพนักงาน 1.69 เท่า เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานของระบบเคลื่อนย้ายบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติต้นทนต์โดยใช้หลักการการาคูรีโคเซ็นและการปฏิบัติงานของพนักงานพบว่าเมื่อผลิตมากกว่า 50 วัน ค่าใช้จ่ายของการปฏิบัติงานของระบบน้อยกว่าการปฏิบัติงานของพนักงาน แต่สามารถขนย้ายได้มากกว่าถึง 1.78 เท่า งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมที่มีระบบขนส่งบรรจุภัณฑ์อัตโนมัติโดยใช้หลักการ

การาคูรีโคเซ็นไปใช้ได้เพื่อลดต้นทุน การขนส่งและเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งที่มากขึ้น

แม้งานวิจัยนี้จะประสบความสำเร็จในการสร้างระบบต้นแบบที่มีต้นทุนต่ำและประสิทธิภาพสูง แต่การขยายผลสู่การใช้งานจริงในสายการผลิตอุตสาหกรรม (Scale-up) ผู้ประกอบการควรพิจารณาปัจจัยสำคัญ 3 ประการ เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด ดังนี้ 1) การประเมินพื้นที่และการไหลของวัสดุ หลักการการาคูรีโคเซ็นอาศัยแรงโน้มถ่วงเป็นหลัก ดังนั้น ระดับความสูง (Vertical Drop) คือต้นทุนพลังงานที่สำคัญที่สุด โรงงานที่เหมาะสมควรมีการจัดวางผังแบบต่างระดับ หรือมีการลำเลียงจากกระบวนการผลิต (Upstream) ที่อยู่สูงกว่าจุดบรรจุภัณฑ์ (Downstream) จากผลการทดลองที่พบว่ามุมเอียง 9 องศาให้ผลดีที่สุด ผู้ประกอบการสามารถใช้ค่านี้เป็น ค่ามาตรฐานตั้งต้น (Baseline Standard) ในการออกแบบราง โดยไม่ต้องเสียเวลาทดลองผิดลองถูก (Trial and Error) ในเบื้องต้น 2) การออกแบบระบบแบบไฮบริด ในทางปฏิบัติการใช้ระบบแรงโน้มถ่วงเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอสำหรับไลน์การผลิตที่มีความยาวมาก ข้อเสนอแนะคือการใช้ระบบไฮบริด คือใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเฉพาะจุดที่ต้องยกชิ้นงานขึ้นที่สูง (Lift unit) และปล่อยไหลตามรางการาคูรีโคเซ็นในระยะทางราบ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง 40-60% เมื่อเทียบกับระบบสายพานลำเลียงแบบเต็มรูปแบบ (Full Conveyor System) และ 3) การซ่อมบำรุงและความยืดหยุ่น เนื่องจากกลไกการาคูรีโคเซ็นใช้สปริง รอก และน้ำหนักถ่วง (Counterweight) แทนเซนเซอร์และมอเตอร์ การบำรุงรักษาจึงทำได้ง่ายโดยช่างเทคนิคทั่วไป ไม่จำเป็นต้องใช้โปรแกรมเมอร์หรือผู้เชี่ยวชาญด้านระบบอัตโนมัติซึ่งช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนแรงงานทักษะสูงในกลุ่ม SMEs และควรออกแบบ



โครงสร้างให้เป็นแบบ Modular Design ที่สามารถถอดประกอบหรือต่อขยายความยาววางได้ง่าย เพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลง Layout ในอนาคต ตามหลักการใด เช่นที่ต้องมีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] <https://www.jacobwhite.com/news/packaging-machinery-sector-trends-2025>. (Accessed on 05 September 2025)
- [2] <https://www.toyota-europe.com/news/2023/karakuri>. (Accessed on 05 September 2025)
- [3] <https://www.mol.go.th/MinimumWageRates>. (Accessed on 30 January 2026)
- [4] M. Martignago, N. Katirae, M. Calzavara, D. Battini, and A. Das, Investigating labor shortages and automation opportunities in logistics: A simulation case study, *IFAC-PapersOnLine*, 2025, 59(10), 2575–2580.
- [5] J.R. Diaz-Reza, J.L. Garcia-Alcaraz, A.J. Gil-Lopez, and A. Realyvasquez-Vargas, Lean manufacturing tools as drivers of social sustainability in the Mexican maquiladora industry, *Computers and Industrial Engineering*, 2024, 196, 110516.
- [6] F. Costa, N. Alemsan, A. Bilancia, G.L. Tortorella, and A. Portioli Staudacher, Integrating industry 4.0 and lean manufacturing for a sustainable green transition: A comprehensive model, *Journal of Cleaner Production*, 2024, 465, 142728.
- [7] S.B.S. Metla, C.-H. Huang, I. Stachiv, and Y.-R. Jeng, Opportunities and challenges of minimum quantity lubrication as pathways to sustainable manufacturing, *Results in Engineering*, 2025, 28, 108272.
- [8] D.G. Huong, M. Azmat, and R. Hadeed, Exploring big data analytics adoption for sustainable manufacturing supply chains: Insights from a TOE-guided systematic review, *Cleaner Logistics and Supply Chain*, 2025, 16, 100256.
- [9] S. Seifermann, J. Bollhoff, J. Metternich, and A. Bellaghnach, Evaluation of work measurement concepts for a cellular manufacturing reference line to enable low cost automation for lean machining, *Procedia CIRP*, 2014, 17, 588–593.
- [10] A. Fast-Berglund, O. Salunkhe, and M. Akerman, Low-cost automation - changing the traditional view on automation strategies using collaborative applications, *IFAC-PapersOnLine*, 2020, 53(2), 10285–10290.
- [11] <https://geoleanusa.com/what-is-karakuri/>. (Accessed on 05 September 2025)
- [12] K.H. Tan, H. Katayama, and S. Manickavasagam, What is karakuri kaizen and how does it work?, *The 11th International Conference on Production Research – Americas (ICPR 2022), Proceeding*, 2023, 25–32.



- [13] P. Kittipanya-ngam, P. Puangphan, P. Chaiyasit, V. Ochitpong, and K. Sirikasemsuk, Development of material handling equipment in a paint factory with karakuri kaizen, The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2024, 34(3), 1–17. (in Thai)
- [14] C. Kittidecha, A. Chaiklang, S. Saramath, P. Narapinij, J. Phimoolchat, W. Hwanseang, S. Chaowakamkool, W. Panyarach, R. Sanlad, and K. Lamkam, Productivity improvement of material handling using Karakuri Kaizen hand truck: A case study of Phuwiangwari community enterprise, RMUTSB Academic Journal, 2024, 12(1), 80 – 92. (in Thai)
- [15] I.M. Madisa, M. Firdaus, M. Taib, and N.A. Reza, Implementation of Karakuri Kaizen to improve productivity and ergonomics in wire rope industry, The International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Bangkok, Proceeding, 2019, 2765–2775.
- [16] A. Pogowonto, and U. Amrina, Reduction of cycle time in vehicle engine assembly line using Karakuri Kaizen, International Journal of Engineering Research and Advanced Technology, 2020, 6(10), 49–57.
- [17] C. Zhang and V. U-on, A study on the international management strategy of small and medium enterprises in Thailand, International Journal of Economics, Finance and Management Sciences, 12(5), 329–335.