บทความวิจัย

การพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุในโรงงานผลิตสีแห่งหนึ่งตามหลักคาราคุริไคเซ็น

พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม
สาขาวิชาบริหารการปฏิบัติการ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พิชญา พวงพันธ์ พิศมัย ชัยสิทธิ์ วิษณ์ โอชิตพงศ์ และ กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข*
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 2329 8339 ต่อ 225 อีเมล: kittiwat.sirikasemsuk@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.10.011
รับเมื่อ 6 มิถุนายน 2565 แก้ไขเมื่อ 11 กันยายน 2565 ตอบรับเมื่อ 11 ตุลาคม 2565 เผยแพร่ออนไลน์ 31 ตุลาคม 2565
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

จากการศึกษาสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาซึ่งเป็นโรงงานผลิตสีพบว่า มีการเคลื่อนย้ายวัสดุที่สำคัญจำนวน 7 จุด ในกระบวนการผลิตสี ซึ่งการเคลื่อนย้ายวัสดุจัดเป็นกิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าแก่ผลิตภัณฑ์แต่จำเป็น งานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุในแนวดิ่งโดยการใช้หลักการคาราคุริไคเซ็น (Karakuri Kaizen) และเสนอแนวคิดจุดที่ต้องระมัดระวังในการออกแบบดังกล่าว หลักการคาราคุริไคเซ็นเป็นการใช้กลไกพื้นฐานมาสร้างกลไกการเคลื่อนที่กึ่งอัตโนมัติอย่างง่าย และประหยัดพลังงาน ในงานวิจัยนี้ปัญหาที่สำคัญที่สุดจะถูกเลือกมา และถูกแก้ปัญหาด้วยการออกแบบอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุขึ้นมาโดยต้องรับวัสดุจากชั้น 2 ลงมายังชั้น 1 และกลับขึ้นไปรอรับวัสดุที่ชั้น 2 อีกครั้ง มีการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นมา 2 แบบ เปรียบเทียบข้อดีข้อเสีย และต้นทุน จากนั้นสร้าง และทดสอบอุปกรณ์เคลื่อนย้าย สรุปว่ามีระยะทางในการเคลื่อนย้ายลดลง ร้อยละ 77.6 และใช้เวลาในการเคลื่อนย้ายลดลง ร้อยละ 89.47

คำสำคัญ: อุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุในแนวดิ่ง คาราคุริไคเซ็น โลจิสติกส์ การลดเวลา

การอ้างอิงบทความ: พิชญ์วดี กิตติปัญญางาม, พิชญา พวงพันธ์, พิศมัย ชัยสิทธิ์, วิษณ์ โอชิตพงศ์ และ กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข, "การพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุในโรงงานผลิตสีแห่งหนึ่งตามหลักคาราคุริไคเซ็น," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 2565, doi: 10.14416/j.kmutnb.2022.10.011.

Research Article

Development of Material Handling Equipment in a Paint Factory with Karakuri Kaizen

Pichawadee Kittipanya-ngam
Department of Operations Management, Thammasat Business School, Thammasat University, Bangkok, Thailand
Pichaya Puangphan, Phisamai Chaiyasit, Vis Ochitpong and Kittiwat Sirikasemsuk*
Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 2329 8339 Ext. 225, E–mail: kittiwat.sirikasemsuk@gmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.10.011
Received 6 June 2022; Revised 11 September 2022; Accepted 11 October 2022; Published online: 31 October 2022
© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

From the current condition of a case study of paint factory, there are the seven materials handling points in the paint process. Generally, the material handling activity is a Non-value-added (NVA) activity but necessary. The objective of this paper is to design the vertical material handling equipment by means of the Karakuri Kaizen principle and to propose points of caution in such design. The karakuri-kaizen principle is the use of basic mechanisms to create a simple and energy-saving semi-automatic movement mechanism. In this research, the most important problem is picked up and solved by designing the material handling equipment that has to take the material from the 2nd floor down to the 1st floor and then go back up to wait for the material on the 2nd floor again. The two models are designed. The advantages, weaknesses, and costs of the two models were compared to select only one suitable model. After that, we create and test the materials handling equipment. Finally, the distance is reduced by 77.60% while the time is reduced by 89.47%.

Keywords: Vertical Material Handling Equipment, Karakuri Kaizen, Logistics, Time Reduction

Please cite this article in press as: 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 KMUTNB*, 2022 (in Thai), doi: 10.14416/j.kmutnb.2022.10.011.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้มีการนำอุปกรณ์การเคลื่อนย้ายวัสดุที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในระบบการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อนำมาสนับสนุนกระบวนการผลิตตั้งแต่การนำวัตถุดิบมายังโรงงาน ผ่านกระบวนการผลิต จนออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปไปยังคลังสินค้าหรือลูกค้า ซึ่งจำเป็นต้องมีการเคลื่อนย้ายทั้งสิ้น โดยจะต้องพิจารณาการเคลื่อนย้ายวัสดุให้เป็นระบบ และพยายามลดปัญหาการเคลื่อนย้ายให้หมดไป เพื่อทำให้การเคลื่อนย้ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บริษัทกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นผู้ผลิตสินค้าในกลุ่มสีอุตสาหกรรม และสารโพลีเมอร์สำเร็จรูปสำหรับงานวิศวกรรมด้านการแก้ปัญหา การป้องกัน และการยืดอายุการใช้งานของอาคารสถานที่ เมื่อพิจารณาจากรอบการผลิตของกรณีศึกษาในแต่ละวันมีรอบการผลิตเพียง 2–3 รอบต่อวัน การจัดซื้ออุปกรณ์เคลื่อนย้ายประสิทธิภาพสูงมาใช้ในกระบวนการผลิตจึงมีต้นทุนที่สูงมาก ทำให้ในกระบวนการผลิตมีการใช้อุปกรณ์เคลื่อนย้ายที่ไม่เหมาะสม หรือไม่มีการใช้อุปกรณ์เคลื่อนย้ายในกระบวนการนั้นเลย ปัญหาที่พบในกระบวนการเคลื่อนย้ายเกิดจากความสูญเปล่าในการขนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีที่ไม่มีประสิทธิภาพ (ใช้เวลา ระยะทาง และความพยายามของคนที่มาก) ทั้งยังพบอุปกรณ์ที่ใช้ในการเคลื่อนย้าย และวิธีการขนย้ายของพนักงานยังไม่เหมาะสม จึงจำเป็นต้องลดเวลาในการขนย้ายลง และช่วยผ่อนแรงยกวัสดุของพนักงานในกระบวนการขนย้าย และปรับปรุงกระบวนการขนถ่ายวัสดุในกระบวนการผลิตสีให้การเคลื่อนย้ายวัสดุมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพื่อเพิ่มผลิตภาพ ในงานวิจัยฉบับนี้จะออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุโดยใช้หลักการออกแบบตามมาหลักการของ คาราคุริ ไคเซ็น (Karakuri Kaizen) เพื่อนำมาใช้ในลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นภายในกระบวนการเคลื่อนย้าย และช่วยผ่อนแรงของพนักงาน ในขณะเดียวกันยังสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานได้

1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับคาราคุริ ไคเซ็น

คาราคุริ หมายถึง ลูกเล่น กลไกเครื่องจักร สิ่งประดิษฐ์

รูปที่ 1 คาราคุริ นิงเงียว [1]

หรืออุปกรณ์ มีต้นกำเนิดจากตุ๊กตาจักรกลในประเทศญี่ปุ่น ที่เรียกว่า คาราคุริ นิงเงียว ดังรูปที่ 1 ถูกใช้ครั้งแรกเมื่อประมาณ 1,500 ปีก่อน เป็นที่นิยม และรู้จักกันอย่างแพร่หลายอย่างมากเมื่อ 200 ปีก่อน เช่น ตุ๊กตาเสิร์ฟชา ที่เมื่อวางถ้วยชาที่มีน้ำหนักวางบนมือของตุ๊กตา จะทำให้เคลื่อนที่ไปในระยะทางที่กำหนดด้วยการขยับเท้าด้วยกลไกสปริงที่ติดไว้บริเวณเท้าของตุ๊กตา เมื่อถึงจุดหมายแก้วชาจะถูกเปลี่ยนเป็นแก้วเปล่าน้ำหนักที่เปลี่ยนไปทำให้ตุ๊กตาหันหลังกลับและเคลื่อนที่มายังจุดเริ่มต้น ตุ๊กตาดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเป็นหุ่นยนต์ในปัจจุบัน

แนวคิดลีน คาราคุริ สามารถเรียกอีกชื่อว่า คาราคุริ ไคเซ็น เพื่อปรับปรุงกระบวนการ และระบบลำเลียงวัสดุเชิงกลให้มีประสิทธิภาพ [1]

กลไกพื้นฐานในการสร้างกลไกคาราคุริ ได้แก่ คาน คว้าน รอก/การถ่วงน้ำหนัก สปริง พื้นเอียง/แรงโน้มถ่วง การเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ การหมุนส่งถ่ายกำลัง ของไหล/ก๊าช แม่เหล็ก [2]

หมายเหตุ งานวิจัยนี้จะใช้ทั้งหมด 2 กลไกพื้นฐานในการประดิษฐ์อุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุ ได้แก่ รอก และแรงโน้มถ่วง

แนวคิดของคาราคุริ ถูกนำมาสู่แนวคิดลีน แม้ว่า Karakuri และ Jidoka จะเกี่ยวข้องกับระบบอัตโนมัติ แต่มีความแตกต่างกันอย่างมากเรื่องความซับซ้อน คาราคุริมุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เช่น แรงโน้มถ่วง หรือพลังงานที่เกิดขึ้นจากสปริง รอก ซึ่งสามารถนำมาสร้างระบบอัตโนมัติอย่างง่ายได้ แต่ต้องใช้ความคิดในการวางแผนกลไกระดับสูง

ไม่ส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ราคาถูก ต้นทุนในการบำรุงรักษา แนวคิดคาราคุริ ไคเซ็น ซึ่งเป็นพื้นฐานกระบวนการผลิตที่ยั่งยืน และประสิทธิภาพสูงในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ของประเทศญี่ปุ่น สามารถเห็นคาราคุริได้ชัดเจนในพื้นที่ก่อสร้าง ในพื้นที่สูงมีการใช้กลไกการหมุน การยก และการร้อยเชือกเป็นแบบอัตโนมัติบางส่วน แต่บางอุปกรณ์มีการควบคุมแบบดิจิทัล [3]

1.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับกลไกรอก

รอกเป็นอุปกรณ์ช่วยอำนวยความสะดวกในการเคลื่อนย้ายสิ่งของ และช่วยผ่อนแรงเพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ใช้งาน รอกแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ [4]

1) รอกเดี่ยวตายตัว (Single Fixed Pulley) ปลายเชือกด้านหนึ่งผูกกับของที่จะยกขึ้น หรือต้องการให้เคลื่อนที่ซึ่งมีแรงต้าน (W) อยู่อีกปลายหนึ่งใช้เป็นที่ดึง หรือออกแรงพยายาม (E)

รอกชนิดนี้ไม่ช่วยในการผ่อนแรง แต่ให้ความสะดวกในการทำงานและเปลี่ยนทิศทางของแรง กล่าวคือ แทนที่จะต้องขึ้นไปยืนในที่สูงแล้วดึงวัตถุนั้นหรือน้ำหนักขึ้น เมื่อใช้รอกเดี่ยวตายตัวช่วยก็สามารถยืนอยู่ที่พื้นแล้วดึงปลายเชือกลง วัตถุก็สามารถถูกยกหรือเคลื่อนที่ขึ้นไปได้ และไม่ว่าเชือกที่ออกแรง E จะเบนไปอย่างไรก็จะออกแรงดึง E เท่ากับน้ำหนัก W เสมอ

2) รอกเดี่ยวเคลื่อนที่ (Single Movable Pulley) ปลายเชือกด้านหนึ่งของรอกชนิดนี้จะผูกอยู่กับที่ แล้วร้อยเชือกเข้ากับรอก ผูกวัตถุที่จะยกเข้ากับตัวรอกโดยตรง

เมื่อดึงปลายเชือกขึ้น ก็จะสามารถยกวัตถุขึ้นไปได้ จากรูป จะเห็นว่าเชือกมีแรงดึงขึ้น 2 เส้น ขณะที่น้ำหนักมีทิศลง ดังนั้น เมื่อแรงสมดุลและไม่คิดน้ำหนักของรอก จะได้ว่า แรงดึงขึ้น = แรงดึงลง

รอกเดี่ยวเคลื่อนที่จะช่วยผ่อนแรงครึ่งหนึ่ง คือแทนที่จะยกวัตถุด้วยแรง W ก็ออกแรง E เพียง W/2 ก็สามารถยกขึ้นได้

3) รอกพวง (Block Pulley) ระบบรอกพวงถูกแบ่งเป็น 3 ระบบ ดังนี้

- รอกพวงระบบที่ 1 ประกอบด้วยรอกเดี่ยวเคลื่อนที่หลายตัว รอกแต่ละตัวมีเชือกคล้องหนึ่งเส้นโดยปลายข้างหนึ่งผูกติดกับเพดาน ปลายอีกข้างหนึ่งผูกกับรอกตัวถัดไป วัตถุผูกติดกับรอกตัวล่างสุด เชือกที่คล้องรอบรอกตัวบนสุดใช้สำหรับดึง

- รอกพวงระบบที่ 2 ประกอบด้วยรอก 2 ตับ ตับบนแขวนติดเพดาน วัตถุผูกติดกับรอกตัวล่างสุด ของตับล่างใช้เชือกเส้นเดียวคล้องรอบรอกทุกตัว โดยปลายข้างหนึ่งผูกติดกับรอกตัวล่างสุดของตัวบน หรือตัวบนสุดของตับล่าง ปลายอีกข้างหนึ่งใช้สำหรับดึง

- รอกพวงระบบที่ 3 ประกอบด้วยรอกเดียวตายตัว 1 ตัว ที่เหลือเป็นรอกเดี่ยวเคลื่อนที่ ปลายข้างหนึ่งของเชือกที่คล้องรอบรอกทุกตัวผูกติดกับคานตรงอันหนึ่งวัตถุผูกติดกับคานนี้ ปลายอีกข้างหนึ่งของเชือกผูกกับรอกตัวถัดไป เหลือปลายสุดท้ายใช้สำหรับดึง

รอกสามารถแบ่งหน้าที่การทำงานได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

1) การผ่อนแรง

2) การอำนวยความสะดวกและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ลักษณะต่างๆ

1.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Anggrahini และคณะ [5] ได้ศึกษาการออกแบบเครื่องอบอัตโนมัติที่มีความจุมากขึ้น โดยประยุกต์ใช้สายพานลำเลียง เพื่อนำไปปรับใช้กับ SME แปรรูปอาหาร โดยใช้ระบบคาราคุริมาจัดการวัสดุซึ่งอยู่ในรูปของลูกกลิ้งลำเลียงแบบเอียงที่สามารถช่วยผู้ประกอบการย้ายถาดอบไปที่เครื่องอบทันที เมื่ออบแล้วจะถูกส่งไปยังผู้ปฏิบัติงานในแผนกผสมอีกครั้งโดยใช้ลูกกลิ้งลำเลียงแบบสปริง โดยที่พนักงานไม่ต้องเดินไปเดินมาระหว่างสถานีงานเลย

Mašín และ Riegr [6] ได้นำเสนอรถเข็นขนส่งเพื่อใช้ในการเกษตรด้วยหลักการของคาราคุริที่ใช้พลังงานสะสมในการบีบอัดสปริงเพื่อให้เคลื่อนที่ไปด้านหน้า 23 เมตร และถอยกลับมา ซึ่งรถเข็นจะเริ่มทำงานเมื่อถ่ายของไปยังกล่องที่อยู่ด้านบนของรถเข็นแล้ว และจะถอยหลังเมื่อนำของออก

Shamsudin [7] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้อุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุโดยใช้แนวคิดคาราคุริในสายการผลิตเครื่องซีลของผู้ประกอบอุปกรณ์เสริมสำหรับรถยนต์โตโยต้า เพื่อลดการไหลโดยผู้ปฏิบัติงานไม่จำเป็นต้องส่งอุปกรณ์ติดตั้งตัวกั้นประตูโดยการเดินเป็นระยะทาง 24 เมตร ผลการวิจัยนี้พบว่า หลังการนำแนวคิดคาราคุริมาใช้ทำให้การเปลี่ยนแปลงในรอบเวลาของผู้ปฏิบัติงานที่ลดลงจาก 327 เป็น 256 วินาที

Porteiro และ Mateos [8] ได้เลือกใช้หลักคาราคุริไคเซ็นซึ่งระบบอัตโนมัติราคาถูกของญี่ปุ่นในโรงงาน Volvo GTO โดยใช้วิธีการจัดการแบบอไจล์ (Agile Management หรือวิธี Scrum) เพื่อออกแบบ และสร้างต้นแบบของรถเข็นขับเคลื่อนด้วยตนเอง (Self-propelled Cart) ภายใต้หลักคาราคุริไคเซ็นด้วยการถ่วงน้ำหนัก

Prasetyawan และคณะ [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบการสร้างเครื่องกวนอัตโนมัติ เพื่ออำนวยความสะดวกในการกวนในระหว่างการผสม และถ่ายโอนแป้งจากกระบวนการให้ความร้อนไปยังกระบวนการทำความเย็นโดยใช้ระบบคาราคุริ ระบบที่ออกแบบมีความแม่นยำของกระบวนการถึง 95% และไม่พบผลิตภัณฑ์ที่มีข้อบกพร่องในกระบวนการ การใช้คาราคุริสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึง 45%

Tangl และ Vajna [10] ทำการวิเคราะห์ขั้นตอนการทำงาน การเคลื่อนไหว เพื่อกำจัดสถานีงานที่ไม่มีมูลค่าในสถานีบรรจุสิ่งของกลับเข้าไปใหม่ออกไป หลังจากใช้รถเข็นบนลูกกลิ้งมาแทนที่ตามหลักของคาราคุริไคเซ็น เพื่อเคลื่อนย้ายชิ้นงานไปยังสถานีงานถัดไปนั่นคือเตาอบ ทำให้ลดของเสียและเพิ่มผลผลิต

อนึ่ง ก็มีงานวิจัยจำนวนไม่น้อยที่ยังมุ่งพัฒนาระบบการขนถ่ายวัสดุแบบอัตโนมัติ เช่น Chanchaichujit และ Smithmaitrie [11] ได้นำเสนอการออกแบบระบบจัดการหุ่นยนต์หลายตัวสำหรับขนถ่ายวัสดุในโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้โปรแกรม ROS (Robot Operating System) เพื่อพัฒนาศักยภาพระบบขนถ่ายวัสดุ เพิ่มความยืดหยุ่น ลดเวลาในการทำงานของหุ่นยนต์ ในขณะที่ Kanjanawanishkul และคณะ [12] ได้พัฒนารถที่สามารถเคลื่อนย้ายถังบรรจุสารเคมี และถ่ายเทสารเคมีจากถังบรรจุสารเคมีได้สะดวกและรวดเร็ว โดยออกแบบชุดจับยก และหมุนถังให้มีแขนทำหน้าที่จับยึดถังสารเคมี เมื่อจับยึดแล้วใช้ก้านสูบไฮดรอลิกยกถังขึ้น แล้วใช้มอเตอร์หมุนถังคว่ำลง ชุดถ่ายเทสารเคมีทำหน้าที่ถ่ายเทสารเคมีตามน้ำหนักที่ต้องการถ่ายเท

จะเห็นว่ามีการประยุกต์ใช้คาราคุริไคเซ็นในหลากหลายอุตสาหกรรมเพื่อช่วยในการเคลื่อนย้ายชิ้นงานโดยการเคลื่อนไหวจะไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าแต่จะอาศัยกลไก และพลังงานของวัตถุมาเป็นแรงขับเคลื่อน รวมทั้งแรงทางธรรมชาติ เช่น แรงโน้มถ่วง แรงหดยืดหรือแรงคืนตัวจากสปริง เป็นต้น

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายตามหลักการของคาราคุริไคเซ็น เพื่อให้การเคลื่อนย้ายวัสดุมีประสิทธิภาพ ลดความสูญเปล่าจากการเคลื่อนย้าย โดยวัดผลจากเวลาในการเคลื่อนย้ายหลังการปรับปรุง

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

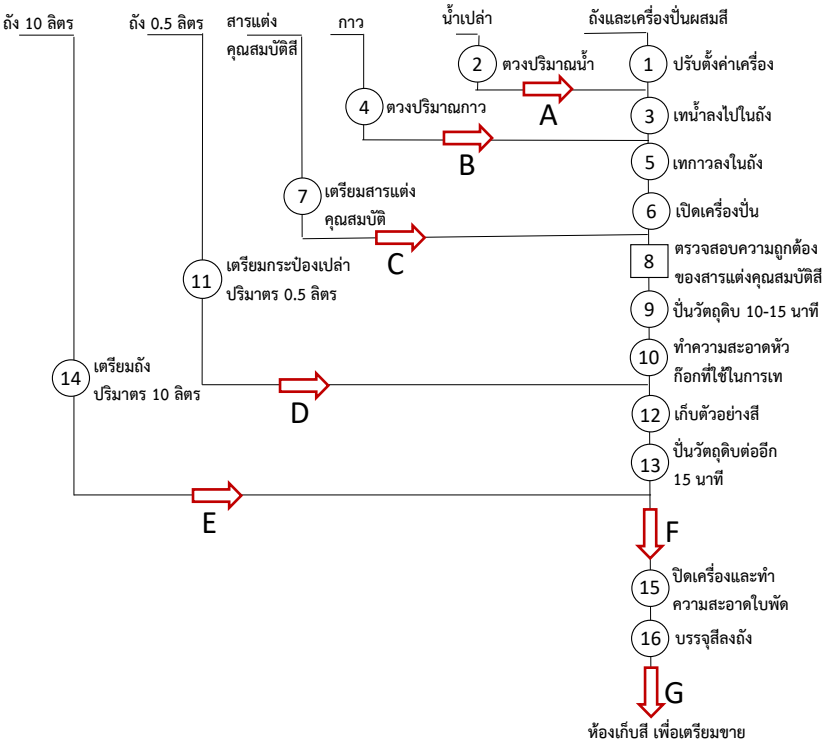
ในงานวิจัยฉบับนี้จะนำเสนอการคัดเลือกปัญหาโดยเริ่มจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การศึกษาสภาพปัจจุบัน การออกแบบอุปกรณ์ การทดสอบชิ้นงาน การเปรียบเทียบผล และสรุปผล

2.1 การศึกษาสภาพปัจจุบัน

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตสินค้าในกลุ่มสีอุตสาหกรรมและสารโพลีเมอร์ สำเร็จรูป สำหรับงานวิศวกรรมด้านการแก้ปัญหา การป้องกันและการยืดอายุการใช้งานของ อาคาร สถานที่ ผลิตภัณฑ์ที่สนใจ คือ กระบวนการผลิตของสีรุ่น MBC สามารถนำมาเขียนแผนภูมิกระบวนการผลิตโดยสังเขปได้ดังรูปที่ 2 ซึ่งอธิบายขั้นตอนการผลิต และการเคลื่อนย้ายวัสดุไว้

จากรูปที่ 2 ในแผนภูมิดังกล่าว แสดงให้เห็นการทำงานของกระบวนการ ดังนี้

การตรวจสอบ ได้แก่ หมายเลข 8 เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของสารแต่งคุณสมบัติสี หากมีข้อผิดพลาดจะถูกนำไปจัดเตรียมใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 2 แผนภูมิกระบวนการอย่างสังเขป (Outline Process Chart) ของสี MBC

การดำเนินงาน มีทั้งหมด 15 วงกลม ซึ่งแต่ละหมายเลขจะมีการดำเนินงานที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

หมายเลข 1 คือ การจัดเตรียมเครื่องปั่น เช่น ปรับระดับความสูง วางถังสำหรับผสมสีในเครื่องปั่น

หมายเลข 2 คือ การตวงปริมาณน้ำเปล่า ปริมาณ 15 ลิตร จำนวน 2 ถัง

หมายเลข 3 คือ เทน้ำเปล่าลงในถังสำหรับผสมสี

หมายเลข 4 คือ การตวงปริมาณกาว ปริมาณ 15 ลิตร จำนวน 3 ถัง

หมายเลข 5 คือ เทกาวลงในถังสำหรับผสมสี

หมายเลข 6 คือ เปิดเครื่องปั่น เพื่อผสมน้ำเปล่ากับกาวให้เข้ากัน

หมายเลข 7 คือ เตรียมสารแต่งคุณสมบัติสี

หมายเลข 9 คือ ปั่นวัตถุดิบในถังสำหรับผสมสีเป็นเวลาประมาณ 10–15 นาที

หมายเลข 10 คือ ทำความสะอาดหัวก๊อกที่ใช้ในการเทเพื่อบรรจุของเครื่องปั่น

หมายเลข 11 คือ เตรียมกระป๋องเปล่า เพื่อใช้ในการเก็บตัวอย่างสี

หมายเลข 12 คือ เก็บตัวอย่างสี

หมายเลข 13 คือ ทำการปั่นวัตถุดิบในถังต่ออีก 15 นาที

หมายเลข 14 คือ จัดเตรียมถังปริมาตร 10 ลิตร จำนวนที่ต้องการ เพื่อใช้ในการบรรจุสี

หมายเลข 15 คือ ปิดเครื่องปั่นสี และทำความสะอาดใบพัดของเครื่องปั่น

หมายเลข 16 คือ บรรจุสีลงถังที่จัดเตรียมไว้

การเคลื่อนย้ายวัสดุ ในกระบวนการผลิตสีรุ่น MBC ประกอบด้วย 7 การเคลื่อนย้าย ดังต่อไปนี้

การเคลื่อนย้ายที่ 1 การเคลื่อนย้ายน้ำเปล่า (ลูกศร A) จากพื้นที่ทำความสะอาดไปยังเครื่องปั่นสี

การเคลื่อนย้ายที่ 2 การเคลื่อนย้ายกาว (ลูกศร B) จากพื้นที่เก็บวัตถุดิบพื้นฐานไปยังเครื่องปั่นสี

การเคลื่อนย้ายที่ 3 การเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสี (ลูกศร C) จากห้องทดลองที่ 1 บน ชั้น 2 ไปยังเครื่องปั่นสี ชั้น 1

การเคลื่อนย้ายที่ 4 การเคลื่อนย้ายกระป๋องเปล่าสำหรับเก็บผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง (ลูกศร D) จากชั้นวางผลิตภัณฑ์ตัวอย่างไปยังเครื่องปั่นสี

การเคลื่อนย้ายที่ 5 การเคลื่อนย้ายถังเปล่าสำหรับบรรจุสีรุ่น MBC (ลูกศร E) จากห้องเก็บวัสดุชั้น 1 ไปยังเครื่องปั่นสี

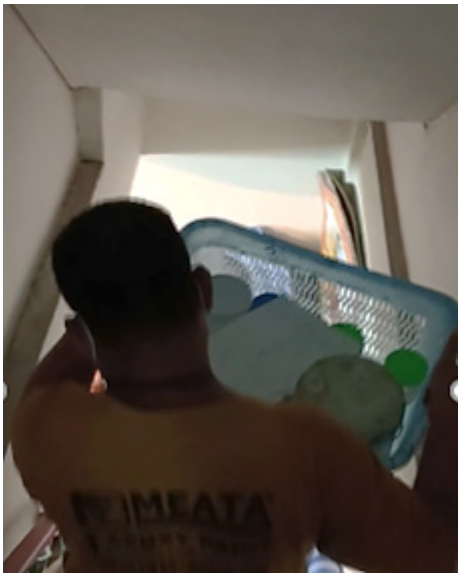
การเคลื่อนย้ายที่ 6 การเคลื่อนย้ายถังผสมสีออกจากเครื่องปั่น (ลูกศร F) จากเครื่องปั่นสีไปยังพื้นที่การบรรจุผลิตภัณฑ์

การเคลื่อนย้ายที่ 7 การเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์รุ่น MBC (ลูกศร G) จากพื้นที่บรรจุไปยังห้องเก็บผลิตภัณฑ์

จุดสิ้นสุดของกระบวนการ จะสิ้นสุดที่พื้นที่จัดเก็บผลิตภัณฑ์ ซึ่งผลิตภัณฑ์จะถูกขนย้ายตามลูกศร G

จากรูปที่ 2 กิจกรรมทั้งหมดที่กล่าวไปนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ การเตรียม และตวงวัตถุดิบ การเทผสมลงเครื่องปั่น และการเคลื่อนย้าย เมื่อพิจารณากิจกรรมที่ต้องใช้ความพยายามจะเห็นได้ชัดเจนว่า ในกิจกรรมการเคลื่อนย้ายบางกิจกรรมนั้น พนักงานจำเป็นต้องใช้การออกแรงด้วยความพยายามที่มาก และระยะเวลาที่นาน เพราะขาดอุปกรณ์ช่วยในการเคลื่อนย้ายที่เหมาะสม นอกจากนั้นกิจกรรมการเคลื่อนย้ายยังถือว่าเป็นกิจกรรมระดับมหภาค ซึ่งควรถูกเลือกมาปรับปรุงก่อนเป็นอันดับต้นๆ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงมุ่งเน้นที่กิจกรรมการเคลื่อนย้ายเป็นหลัก โดยสามารถแสดงรายละเอียดการเคลื่อนย้ายดังแสดงในตารางที่ 1

จากการศึกษาสภาพปัจจุบันในด้านลักษณะการขนย้ายของการเคลื่อนย้ายทั้งหมดได้ข้อมูลว่า การเคลื่อนย้ายที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 เป็นจุดที่ในปัจจุบันยังไม่มีอุปกรณ์การเคลื่อนย้ายในการดำเนินงาน โดยเฉพาะในจุดการเคลื่อนย้ายที่ 3 ที่ต้องขนตะกร้าที่บรรจุสารเคมีจากชั้นที่ 2 ลงมายังชั้นที่ 1 ซึ่งมีระยะทางในการขนย้ายเป็นอันดับที่ 2 (ดังตารางที่ 1) และเส้นทางในการขนย้ายที่มีความอันตรายเนื่องจากความชันของบันได และสิ่งกีดขวาง อีกทั้งยังใช้เวลาในการขนย้ายมากที่สุดถึง 38 วินาที จึงสรุปได้ว่าจุดการเคลื่อนย้ายที่ 3 เป็นหนึ่งในจุดการเคลื่อนย้ายที่เป็นปัญหาที่สมควรได้รับการปรับปรุงแก้ไขอย่างเร่งด่วน

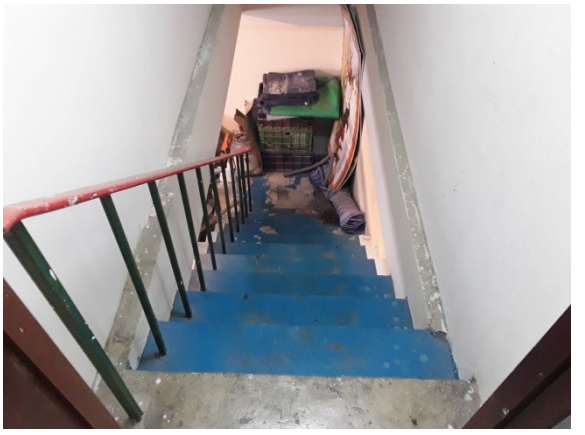


รูปที่ 3 ลักษณะการเคลื่อนย้ายถังบรรจุในลูกศร C

ตารางที่ 1 รายละเอียดการเคลื่อนย้ายวัสดุ

การเคลื่อนย้าย	ระยะทาง (เมตร/รอบการผลิต)	เวลา (วินาที/รอบการผลิต)
1 (ลูกศร A)	10	14
2 (ลูกศร B)	11	22
3 (ลูกศร C)	15.63	38
4 (ลูกศร D)	3.2	14
5 (ลูกศร E)	4.85	20
6 (ลูกศร F)	2	14
7 (ลูกศร G)	28.5	34

การเคลื่อนย้ายที่ 3 การเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสี (ลูกศร C) เป็นการเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีที่บรรจุในตะกร้ามีน้ำหนักรวม 4.1 กิโลกรัมจากห้องทดลองชั้นที่ 2 มายังพื้นที่การผลิตสินค้าชั้นที่ 1 ซึ่งเส้นทางการขนย้ายจะผ่านบันไดที่มีความชันมาก และมีความกว้างของบันไดเพียง 1 เมตร มีสิ่งของวางกีดขวางทางเดินขณะทำการเคลื่อนย้าย พนักงานจะใช้มือทั้ง 2 ข้างยกตะกร้าขึ้นสูงระดับอก เพื่อให้



รูปที่ 4 บันไดที่ใช้ในการขนย้าย

มีความสูงพ้นราวบันได ทำให้บดบังทัศนวิสัยในการมองเห็นขณะลงบันได ลักษณะการเคลื่อนย้ายดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 3 การเคลื่อนย้ายนี้มีระยะทาง 15.63 เมตร และใช้เวลาทั้งสิ้น 38 วินาที หมายเหตุ เมื่อพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนย้ายขาลงจากชั้นที่ 2 ลงมาชั้นที่ 1 เท่านั้น

อนึ่ง บันไดเป็นบันไดปูนที่มีความชัน 45 องศา กว้าง 1 เมตร ลูกนอน หรือพื้นแต่ละขั้นกว้างเพียง 20 เซนติเมตร ลูกตั้ง หรือความสูงแต่ละขั้นของบันไดมีความสูง 19 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4

ถ้าอ้างอิงตามมาตราฐานความปลอดภัยลูกนอนควรมีความกว้างไม่น้อยกว่า 22 เซนติเมตร และความสูงไม่ควรเกิน 20 เซนติเมตร จะเห็นว่าลูกนอนมีความกว้างต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานซึ่งอาจจะเกิดอุบัติเหตุได้

2.2 แบบจำลอง 2 แบบ ที่ออกแบบและนำเสนอ

การขนย้ายที่จุด C ใช้เวลาทั้งสิ้น 38 วินาทีต่อรอบการผลิต จำนวนการขนย้าย 1 ครั้งต่อรอบการผลิตโดยใช้เวลาส่วนใหญ่ในการขนย้าย 28 วินาที ในการเดินผ่านบันไดอย่างระมัดระวัง ซึ่งถือว่าเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลให้การเคลื่อนย้ายที่จุด C เป็นการเคลื่อนย้ายที่เสียใช้เวลามากที่สุด

หลังจากได้ข้อสรุปว่าจุด C เป็นจุดที่จะทำการปรับปรุงก็ได้มีการศึกษาถึงความเป็นได้ในการย้ายห้องเก็บสารแต่งคุณสมบัติสีที่อยู่ในชั้นที่ 2 ซึ่งเป็นต้นทางสำหรับการเคลื่อนย้ายที่จุด C ลงมาที่ชั้นที่ 1 ใกล้บริเวณการผลิต แต่เนื่องจากห้องเก็บสารแต่งคุณสมบัติสีมีความจำเป็นต้องอยู่ใกล้ห้องวิจัย และทดสอบสีเพราะเมื่อมีการวิจัยผลิตภัณฑ์ใหม่จนได้สูตรการผลิตแล้วต้องนำมาจัดเก็บที่ห้องเก็บสารแต่งคุณสมบัติสี และข้อจำกัดด้านพื้นที่ของโรงงานที่จำกัด ส่งผลให้ไม่สามารถย้ายห้องเก็บสารแต่งคุณสมบัติสีมาชั้นที่ 1 ได้

แนวคิด หรือหลักการในการปรับปรุง จะหลีกเลี่ยงวิถีการทำงานแบบเดิม หรือการขนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีในทิศทางเดิมด้วยการเดินขึ้น–ลงบันไดจากชั้น 2 ลงมาชั้นที่ 1 ซึ่งจัดว่าเป็นเส้นทางที่อ้อม และใช้แรงงานของพนักงานเป็นหลักในการเดิน ยก และย้าย

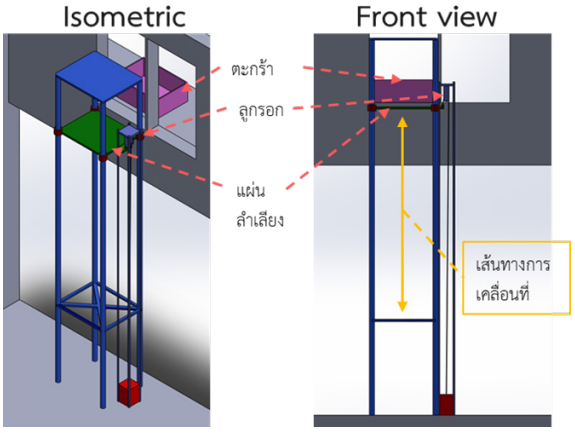
ในเบื้องต้นมีการออกแบบชิ้นงานออกมาด้วยโปรแกรม SolidWorks ในรูปแบบ 3 มิติ โดยมีแบบจำลอง 2 แบบที่นำไปเสนอแก่ทางโรงงาน

แนวความคิดใหม่ของแบบจำลองทั้ง 2 แบบ คือ การขนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีมาจากจุดหมายปลายทางด้วยพื้นฐานของเส้นตรงด้วยระยะที่สั้นที่สุด โดยยังไม่คำนึงถึงสิ่งกีดขวางนั่นคือ การเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีผ่านกำแพงของชั้นที่ 2 ในแนวดิ่งลงมายังเครื่องปั่นสีซึ่งตั้งอยู่ที่พื้นที่การผลิตสินค้าชั้นที่ 1 ปราศจากพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งอาศัยน้ำหนักของสารแต่งคุณสมบัติสีเองในการเคลื่อนที่ และมีการย้อนกลับไปรับวัสดุจากชั้นที่ 2 อีกครั้ง จัดว่าแนวความคิดพื้นฐานของแต่ละแบบจำลองทั้ง 2 แบบที่เหมือน

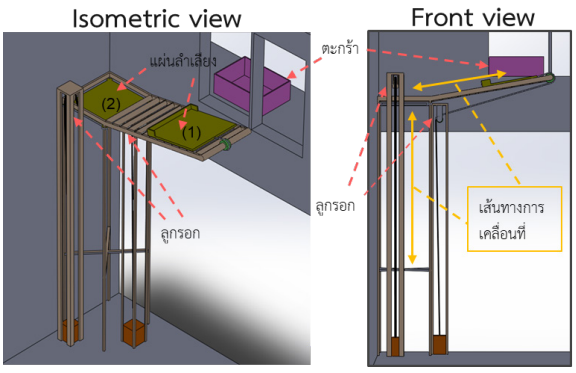
อนึ่ง ลักษณะของตะกร้าลำเลียงเพื่อสำหรับใส่สารแต่งคุณสมบัติสี ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมมุมฉากมีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 55 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ตะกร้าลำเลียงจึงเป็นจุดเริ่มต้นของกำหนดลักษณะรูปร่างของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุในงานวิจัยฉบับนี้ทั้ง 2 แบบจำลอง

แนวความคิดพื้นฐานที่แตกต่างกัน คือ แบบจำลองที่ 1 จะมีทิศทางการเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีเป็นเส้นตรงแนวดิ่งลงมาเลย ในขณะที่แบบจำลองที่ 2 จะมีทิศทางการเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีเป็นแนวลาดเอียงเข้ากำแพงชั้นที่ 1 ก่อน แล้วค่อยเป็นเส้นตรงแนวดิ่งลงมา

แบบจำลองที่ 1 จะมีกลไกขับเคลื่อนหลัก คือ รอกเดี่ยว



รูปที่ 5 แบบจำลองที่ 1



รูปที่ 6 แบบจำลองที่ 2

ตายตัว (Fixed Pulley) โดยมีฐานรองแบบลิฟท์ลำเลียงอาศัยลูกล้อทั้ง 4 มุมช่วยในการประคองตัว พร้อมชุดถ่วงน้ำหนัก 1 ชุดเพื่อดึงแผ่นลำเลียงกลับขึ้นไป

อุปกรณ์เคลื่อนย้ายขึ้น–ลงแบบตรง ชิ้นงานถูกออกแบบให้เป็นโครงสร้างเสาทรงกระบอก 4 เสา สูง 370 เซนติเมตร ติดตั้งตรงกับบริเวณหน้าต่างที่เป็นจุดส่งวัตถุดิบ มีจุดรับวัตถุดิบที่ชั้นล่างสูงจากพื้น 90 เซนติเมตร และมีจุดส่งสินค้าสูงจากพื้นดิน 330 เซนติเมตร โดยเคลื่อนที่ขึ้น–ลง ไปตามเสาทั้ง 4 ของโครงสร้างด้วยแผ่นลำเลียงวัสดุที่ยึดติดกับเสา และติดระบบรอกที่แผ่นลำเลียงวัสดุกับที่ถ่วงน้ำหนัก เพื่อนำเอาแรงโน้มถ่วงมาใช้ในการเคลื่อนที่ตามหลักการคาราคุริ ไคเซ็น และสามารถเคลื่อนที่ไป-กลับ โดยไม่ต้องอาศัยไฟฟ้า หรือแรงจากภายนอกระบบ แสดงแบบจำลองและการเคลื่อนที่ไว้ดังรูปที่ 5

แบบจำลองที่ 2 จะมีกลไกหลักๆ คือ ส่วนที่ 1 เริ่มต้นด้วยกลไกของรางเลื่อนชนิดลูกกลิ้ง (Roller Conveyor) เพื่อเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีเป็นแนวลาดเอียงเข้ากำแพงชั้นที่ 1 ส่วนที่ 2 กลไกของรอกเดี่ยวตายตัว เพื่อเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีเป็นเส้นตรงแนวดิ่งลงมา พร้อมชุดถ่วงน้ำหนัก 2 ชุด โดยชุดถ่วงน้ำหนักแรกใช้ดึงแผ่นลำเลียงกลับขึ้นไปในแนวดิ่ง และอีกชุดใช้ดึงแผ่นลำเลียงในแนวลาดชันกลับขึ้นไปด้านบน

อุปกรณ์เคลื่อนย้ายขึ้น–ลงเสริมด้วยล้อเลื่อน ชิ้นงานออกแบบให้เป็นโครงสร้างเสาทรงกระบอก 4 เสา สูง 300 เซนติเมตรจากพื้น ติดตั้งชิดไปทางซ้ายติดกับผนังของโรงงาน เนื่องจากต้องการไม่ให้ชิ้นงานไปกีดขวางในพื้นที่การผลิต และสามารถใช้ผนังในการยึดชิ้นงานให้มั่นคงได้ มีกลไลการเคลื่อนที่ขึ้น–ลง ด้วยรอก 1 ตัวที่ผูกติดเข้ากับแผนลำเลียงวัสดุ โดยส่วนบนประกอบเข้ากับ ล้อเลื่อนที่เฉียงขึ้นไปจนถึงหน้าต่างซึ่งเป็นจุดส่งวัตถุดิบ ที่จุดสูงสุดติดรอกอีก 1 ตัวเพื่อดึงแผ่นลำเลียงวัสดุกลับหลังจากการส่งสินค้า และปล่อยให้เคลื่อนที่ลงในแนวเฉียงไปตามแรงโน้มถ่วง ระบบการเคลื่อนที่ทั้งหมดจึงสามารถส่งวัตถุดิบ และดึงกลับด้วยรอกที่ถ่วงน้ำหนักไว้หลังเสร็จสิ้นกระบวนการเป็นไปตามหลักการคาราคุริ ไคเซ็น แสดงแบบจำลองและการเคลื่อนที่ไว้ดังรูปที่ 6

เมื่อพิจารณาด้านต้นทุน และข้อดี ข้อเสีย ของแบบจำลองแต่ละแบบ ได้ผลลัพท์ดังตารางที่ 2

แบบจำลองที่ 1 มีโครงสร้างต้นทุน ดังนี้

- แผ่นลำเลียงวัสดุ จำนวน 1 แผ่น ราคา 150 บาท
- ล้อคู่สำหรับราง จำนวน 4 ชุด 640 บาท
- เหล็กราง 4 เมตร จำนวน 4 เส้น ราคา 1,400 บาท
- เหล็กฉากสำหรับยึดโครง จำนวน 1 เส้น ราคา 510 บาท
- ระบบรอกและสลิง 1 ชุด ราคา 400 บาท
- ค่าอื่นๆ (สกรู ดอกสว่าน) ราคา 400 บาท

รวมทั้งหมด 3,500 บาท

แบบจำลองที่ 2 มีโครงสร้างต้นทุน ดังนี้

- แผ่นลำเลียงวัสดุ จำนวน 1 แผ่น ราคา 150 บาท

- ล้อคู่สำหรับราง จำนวน 4 ชุด 640 บาท
- เหล็กราง 4 เมตร จำนวน 4 เส้น ราคา 1,400 บาท
- เหล็กฉากสำหรับยึดโครง จำนวน 2 เส้น ราคา 1,020 บาท
- ระบบรอกและสลิง 2 ชุด ราคา 800 บาท
- รางเลื่อนชนิดลูกกลิ้ง ยาว 1.30 เมตร ราคา 10,500 บาท
- ค่าอื่นๆ (สกรู ดอกสว่าน) ราคา 490 บาท

รวมทั้งหมด 15,000 บาท

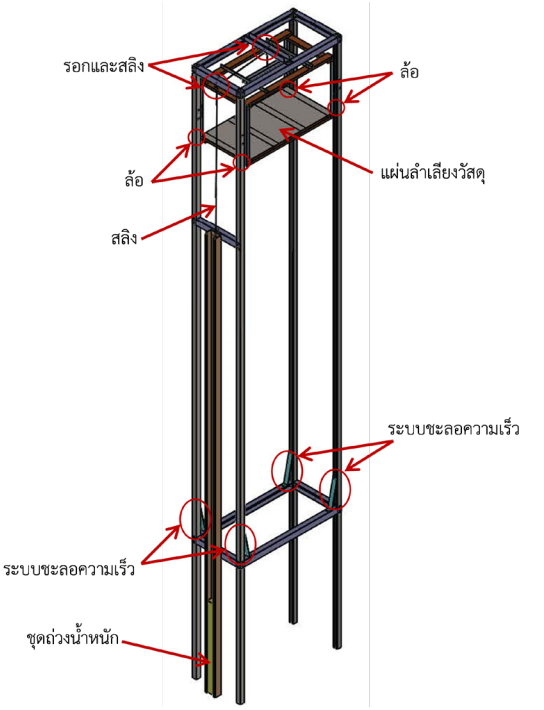
ตารางที่ 2 ต้นทุนในการสร้างโดยประมาณและข้อดี ข้อเสีย

แบบจำลอง	ราคาต้นทุน (บาท)	ข้อดี	ข้อเสีย
1	3,500	สร้างและติดตั้งได้ง่าย	กีดขวางบริเวณการผลิต
2	15,000	ยึดกับเสาได้และไม่กีดขวางบริเวณการผลิต	สร้างและติดตั้งได้ยากและต้นทุนสูง

จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าแบบจำลองที่ 1 มีต้นทุนในการสร้างที่ต่ำที่สุด และติดตั้งได้ง่ายที่สุด แต่มีปัญหาที่เมื่อติดตั้งจะไปกีดขวางการผลิต ต่างจากแบบจำลองที่ 2 เมื่อนำแบบและข้อมูลไปเสนอ และปรึกษากับทางโรงงานได้หาทางแก้ไขปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โดยย้ายบริเวณที่ติดตั้งไปชิดกับเสาเช่นเดียวกับทางแบบจำลองที่ 2 แล้วทำการเจาะกำแพงเพื่อทำเป็นหน้าต่างสำหรับรับส่งวัตถุดิบแทน จึงสรุปว่า ให้ใช้แบบจำลองที่ 1 ในการออกแบบโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.3 การออกแบบชิ้นส่วนตามแบบจำลองที่ 1

จากการวิเคราะห์ปัญหานำมาสู่แนวคิดในการออกแบบการเคลื่อนย้ายในแนวดิ่ง ซึ่งอุปกรณ์เคลื่อนย้ายจะรับวัสดุจากชั้น 2 ลงมายังพื้นที่การผลิตชั้น 1 และมีการย้อนกลับไปรับวัสดุจากชั้นที่ 2 อีกครั้ง กลไกพื้นฐานที่สามารถตอบสนองพฤติกรรมดังกล่าวได้ คือ รอก โดยการเคลื่อนย้ายขาลงวัสดุจะเคลื่อนที่ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และในการวนกลับไปรับวัสดุที่ชั้น 2 อีกครั้ง จะใช้น้ำหนักเข้ามาถ่วง ซึ่งกลไกดังกล่าวต้องมีการติดตั้งรอก การกำหนดเส้นทางเพื่อให้แผ่นลำเลียงวัสดุ และการกำหนดเส้นทางให้น้ำหนักถ่วงวิ่งขึ้นลงได้อย่างปลอดภัย คือ การสร้างโครงเหล็กขึ้นมา เพื่อความแข็งแรงมั่นคงจึงกำหนดให้มีโครงเหล็กทั้งหมด 4 เสา โดยสามารถดูแบบ 3 มิติได้ดังรูปที่ 7

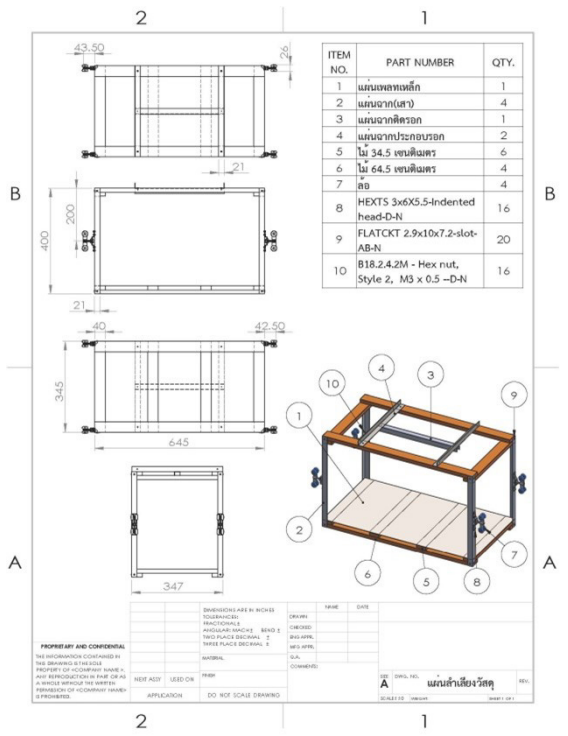


รูปที่ 7 ภาพรวมการออกแบบชิ้นงาน

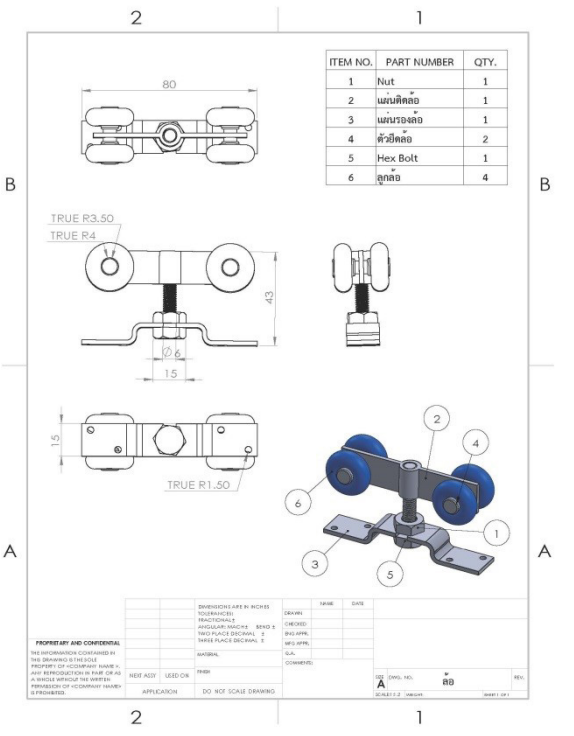
นอกจากนี้ยังต้องมีระบบชะลอความเร็วขาลงด้วย เนื่องจากน้ำหนักที่ขนย้ายขาลงมีน้ำหนักค่อนข้างมาก ซึ่งเมื่อลงจอดจะทำให้เกิดแรงกระแทกอย่างแรงจนวัสดุที่ขนกระเด็นตก หรือได้รับความเสียหายได้ ซึ่งอาจก่อให้เกิดความเสียหายกับตัวโครงที่ถูกสร้างขึ้นมารองรับด้วย และเพื่อให้ง่ายต่อการรับวัสดุในพื้นที่การผลิตชั้น 1 จึงมีการกำหนดความสูงเพื่อให้แผ่นลำเลียงวัสดุลงจอดให้สูงขึ้นมาจากพื้น 1 เมตร เมื่อติดตั้งโครงเหล็กต้องมีการยึดให้ติดกับผนังเพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์เคลื่อนย้ายดังกล่าวล้มลงขณะเคลื่อนย้าย และเพื่อเพิ่มความปลอดภัยแก่พนักงานในพื้นที่การผลิต

จากรูปที่ 7 แสดงภาพรวมของการออกแบบชิ้นงาน ซึ่งสามารถแบ่งพิจารณาเป็นส่วนย่อยได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

- แผ่นลำเลียงวัสดุ



รูปที่ 8 การออกแบบแผ่นลำเลียงวัสดุ



รูปที่ 9 การออกแบบล้อ

- ล้อ
- โครงเหล็ก
- ระบบรอกและสลิง
- การถ่วงน้ำหนัก
- ระบบชะลอความเร็ว

2.3.1 แผ่นลำเลียงวัสดุ

ขนาดของตะกร้าที่ใช้ใส่สารแต่งคุณสมบัติสีจะเป็นตัวกำหนดขนาดของแผ่นลำเลียงวัสดุ จากการวัดขนาดตะกร้าที่ใช้ในโรงงานพบว่า ตะกร้ามีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 55 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร จากนั้นจึงนำขนาดของตะกร้ามาออกแบบขนาดของแผ่นลำเลียงวัสดุได้

แผ่นลำเลียงวัสดุถูกออกแบบให้ถูกดึงจากโครงด้านบนด้วยลวดสลิงที่ติดกับรอก แผ่นลำเลียงจึงต้องออกแบบให้มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง 34.5 เซนติเมตร ยาว 64.5 เซนติเมตร และสูง 40 เซนติเมตร เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถใส่ตะกร้าในแผ่นลำเลียงวัสดุได้ แสดงดังรูปที่ 8

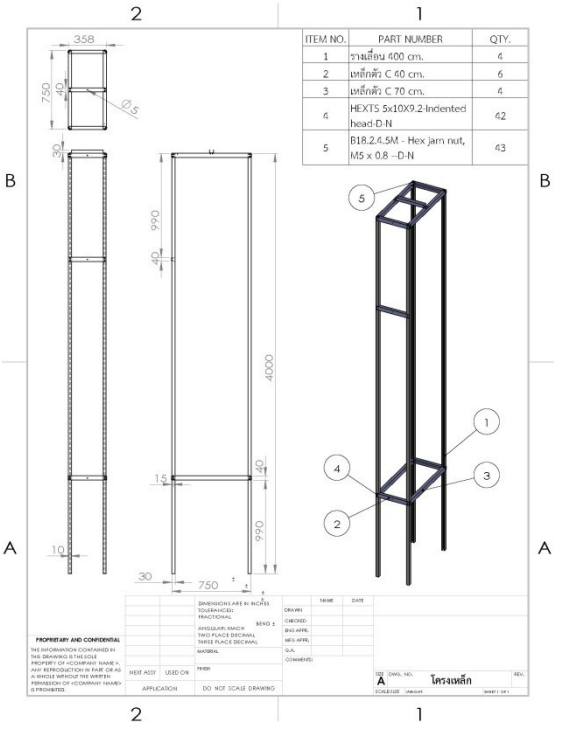
2.3.2 ล้อ

ล้อเคลื่อนที่อยู่ในรางรูปตัวซี ขนาดของล้อจะถูกออกแบบมาให้สามารถเคลื่อนที่อยู่ในรางได้อย่างพอดีโดยไม่มีปัญหาการเลื่อนหลุดออกจากราง ล้อที่ใช้จะมีลักษณะเป็นล้อคู่ซึ่งมีขนาดพอดีกับรางเลื่อน แสดงดังรูปที่ 9

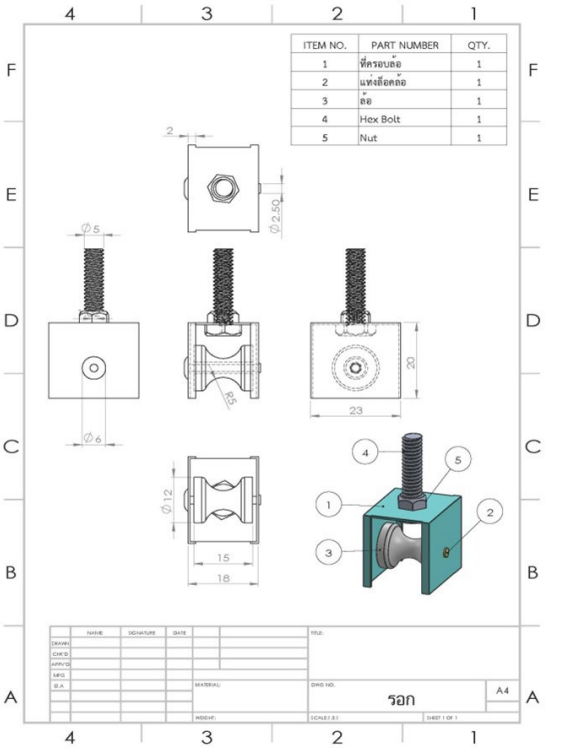
2.3.3 โครงเหล็ก

โครงเหล็กที่เป็นโครงสร้างหลักของชิ้นงานต้องรู้ความสูงระหว่างชั้น 1 และขอบหน้าต่างชั้น 2 เมื่อได้ทำการวัดระหว่างชั้น 1 และขอบหน้าต่างชั้น 2 พบว่า มีความสูง 3.5 เมตร จากพื้น โดยความสูงที่วัดได้จะเป็นตัวกำหนดความสูงของโครงเหล็ก มีการบวกเพิ่มความสูงอีก 50 เซนติเมตร เพื่อใช้ในการติดตั้งรอกทำให้โครงเหล็กสูงทั้งสิ้น 4 เมตร แสดงดังรูปที่ 10

จากรูปที่ 10 ด้านความยาวของโครงเหล็กที่ใช้สำหรับวางสารแต่งคุณสมบัติสีจะถูกกำหนดจากความยาวของแผ่นลำเลียงวัสดุรวมกับความกว้างด้านข้างของล้อซึ่งมีความยาว



รูปที่ 10 การออกแบบโครงเหล็ก



รูปที่ 11 ลูกรอก

รวม 73.5 เซนติเมตร ซึ่งลูกล้อจะถูกใส่ให้เคลื่อนที่ในราง ซึ่งความกว้างของล้อคู่ คือ 2.5 เซนติเมตร ทำให้ความกว้างของรางเหล็กที่จะใส่รางล้อจะกว้างกว่า 2.5 เซนติเมตรเล็กน้อย จึงกำหนดความยาวของโครงเหล็กเป็น 75 เซนติเมตร ด้านความกว้างของโครงเหล็กจากจะถูกกำหนดโดยความกว้างของแผ่นลำเลียงวัสดุ กำหนดความกว้างของโครงเหล็กเป็น 35.8 เซนติเมตร ด้านล่างยึดไว้ทั้ง 4 ด้าน ด้วยเหล็กตัวซีสูงจากฐานของโครง 100 เซนติเมตร เพื่อกำหนดจุดรับวัสดุจากชั้น 2 ซึ่งเป็นความสูงที่เหมาะสมสำหรับการปฏิบัติงาน การออกแบบโครงเหล็ก

2.3.4 ระบบรอกและสลิง

ชิ้นงานนี้ถูกออกแบบให้ใช้รอกเดี่ยวตายตัวซึ่งเป็นรอกที่ยึดอยู่กับที่ ใช้รอกจำนวน 2 ตัว โดยใช้ลวดสลิงหนึ่งเส้นพาดผ่านล้อของรอกตัวแรกที่ยึดติดบริเวณตรงกลางด้านบนของโครงเหล็กรูปตัวซี และพาดลวดสลิงผ่านล้อของรอกอีกตัวที่ถูกยึดที่ด้านข้างของโครงเหล็กรูปตัวซี ปลายข้างหนึ่งของลวดสลิงผูกติดกับเหล็กที่ใช้ถ่วงน้ำหนัก ส่วนปลายอีกด้านผูกติดกับด้านบนของแผ่นลำเลียงวัสดุ รอกเดี่ยวตายตัวเป็นกลไกที่ไม่ช่วยผ่อนแรงในการดึง แรงที่ใช้ดึงจะมีน้ำหนักเท่ากับน้ำหนักของวัตถุ การออกแบบรอก แสดงดังรูปที่ 11 สูตรที่ใช้คำนวณแรงที่ใช้ดึงวัตถุ ดังสมการที่ (1)

$$E = W \tag{1}$$

แรงขึ้น = แรงลง

เมื่อ E คือ แรงที่ใช้ดึงวัตถุ (นิวตัน)

W คือ น้ำหนักของวัตถุ (นิวตัน)

สูตรที่ใช้คำนวณน้ำหนักของวัตถุ ดังสมการที่ (2)

$$W = mg \tag{2}$$

เมื่อ m คือ มวลของวัตถุ (นิวตัน)

g คือ ความเร่งโน้มถ่วงบนผิวโลก มีค่า 9.8 m/s^2 (เมตรต่อวินาทีกำลังสอง)

ดังนั้น น้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนักที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ คือ 2.5 กิโลกรัม และน้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนักที่มากที่สุดที่เป็นไปได้คือ 6.6 กิโลกรัม ตัวถ่วงน้ำหนักมีช่วงน้ำหนักระหว่าง 2.5–6.6 กิโลกรัม (ยังไม่คิดแรงเสียดทาน)

เชือกที่ใช้ชักรอกเป็นลวดสลิงแบบหุ้ม PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถคำนวณน้ำหนักสูงสุดที่สามารถรับได้ จากสมการที่ (3)

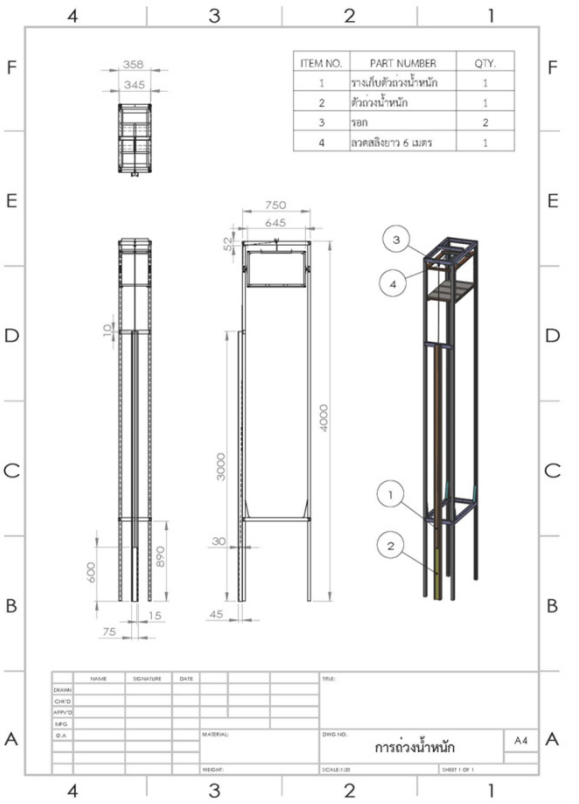
น้ำหนักสูงสุดที่สามารถรับได้ (ตัน)
= (เส้นผ่านศูนย์กลางลวดสลิง มม.)2/20 (3)

นำมาแทนค่า น้ำหนักสูงสุดที่สามารถรับได้ = (2.5)2/20 = 0.3125 ตัน หรือ 312.5 กิโลกรัม

น้ำหนักที่ลวดสลิงรับได้เท่ากับ 312.5 กิโลกรัม ซึ่งมากกว่าชิ้นงานจริงที่มีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัมประมาณ 76 เท่า จึงถือว่ามีความปลอดภัยและคงทนในการใช้งาน

2.3.5 การถ่วงน้ำหนัก

หลักการการทำงาน คือ เมื่อวางวัสดุสารแต่งคุณสมบัติสีที่มีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม ลงบนแผ่นลำเลียงวัสดุที่บริเวณชั้นที่ 2 จะทำให้แผ่นลำเลียงวัสดุเคลื่อนที่ลงยังพื้นที่ปฏิบัติงานที่อยู่บริเวณชั้นที่ 1 หลังจากนำสารแต่งคุณสมบัติสีออกจากชิ้นงาน แผ่นลำเลียงวัสดุจะเคลื่อนที่ขึ้นยังตำแหน่งเดิม โดยกลไกข้างต้นจะต้องพาดลวดสลิงผ่านรอกทั้ง 2 ตัว ปลายข้างหนึ่งผูกติดกับแผ่นลำเลียงวัสดุ และปลายลวดสลิงอีกข้างผูกกับตัวถ่วงน้ำหนัก โดยในสภาวะอุดมคติที่ไม่มีแรงเสียดทานและแรงรบกวนอื่นๆ น้ำหนักของตัวถ่วงน้ำหนักที่ใช้จะต้องมากกว่าน้ำหนักของแผ่นลำเลียงวัสดุ ซึ่งมีน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม และจะต้องมีน้ำหนักไม่เกินกว่าน้ำหนักของแผ่นลำเลียงรวมกับน้ำหนักของวัตถุดิบที่ 6.6 กิโลกรัม แสดงดังรูปที่ 12



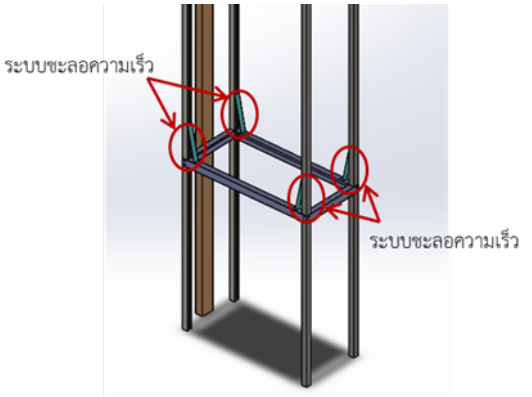
รูปที่ 12 การออกแบบการถ่วงน้ำหนัก

จะสังเกตได้ว่าหากเปรียบเทียบทั้งสองกรณี ที่น้ำหนักถ่วงมีค่าเข้าใกล้ค่ามากจะมีแรงกระแทกที่น้อยที่สุด เนื่องจากน้ำหนักของระบบรอกมีค่าน้อยที่สุดเช่นกัน

2.3.6 ระบบชะลอความเร็ว

ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่า 9.8 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง เป็นผลให้ความเร็วของแผ่นลำเลียงสารแต่งคุณสมบัติสีเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดการเคลื่อนที่ ซึ่งอาจจะเกิดอันตรายและสร้างความเสียหายต่อชิ้นงาน จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบชะลอความเร็ว

ในขั้นต้นการติดแผ่นเหล็กเนื่องจากการติดแผ่นเหล็กง่ายและช่วยเพิ่มแรงเสียดทานให้กับระบบการเคลื่อนที่ลงของแผ่นลำเลียง โดยการติดแถบเหล็กขนาด 20 เซนติเมตร กับจุดรับวัสดุที่ด้านล่างของโครงเหล็กทั้ง 4 มุม ส่งผลให้ตัวแผ่นเหล็กช่วยชะลอความเร็วและตัวแผ่นลำเลียงไม่เคลื่อนที่กระแทกกับโครงเหล็กโดยตรง แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 การติดตั้งระบบชะลอความเร็วเข้ากับโครงเหล็ก

3. ผลการทดลอง

3.1 การทดสอบชิ้นงานเพื่อชนะแรงเสียดทาน

เมื่อชิ้นงานสร้างเสร็จมีการออกแบบการทดลอง เพื่อหาค่าน้ำหนักถ่วงที่เหมาะสมที่สุด ที่ทำให้การเคลื่อนที่ขึ้นและลงของอุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุเคลื่อนที่ได้ดีที่สุด เมื่อน้ำหนักของสารแต่งคุณสมบัติสี มีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม และน้ำหนักของแผ่นลำเลียงวัสดุมีน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม ดังนั้นน้ำหนักรวมในการเคลื่อนย้ายวัสดุขาลง เท่ากับ 2.5 + 4.1 = 6.6 กิโลกรัม

เนื่องจากล้อของแผ่นลำเลียงวัสดุสัมผัสกับเสาทั้ง 4 เสา ขณะเคลื่อนที่ขนย้ายวัสดุทำให้เกิดแรงเสียดทาน สามารถคำนวณได้จากสมการทฤษฎีแรงเสียดทาน ดังสมการที่ (4)

$$f = \mu F \tag{4}$$

เมื่อ f คือ แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวสัมผัส มีหน่วยเป็น นิวตัน

μ คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัส ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของเหล็กกับผิวล้อ

F คือ ค่าแรงบีบที่โครงเหล็กกดทับบริเวณล้อแผ่นลำเลียงวัสดุ

เนื่องจากว่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานไม่สามารถทราบค่าจึงต้องมีการทดสอบการถ่วงน้ำหนัก ช่วงของน้ำหนักถ่วงที่ใช้ในการทดสอบ คือ น้ำหนักในช่วงระหว่าง 2.5 ถึง 6.6 กิโลกรัม โดยเก็บผลการทดลองจาก 2 ลักษณะการเคลื่อนที่ คือ ลักษณะการวิ่งของแผ่นลำเลียงวัสดุ และ ความรุนแรงในการลงจอด

การทดลองแบ่งออกเป็นการทดลองขาขึ้นและขาลง ผลการทดลองแสดงผลดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการทดลองน้ำหนักถ่วงเพื่อนำแผ่นลำเลียงวัสดุขึ้น

ค่าน้ำหนักถ่วง (กิโลกรัม)	พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของแผ่นลำเลียง			
	ลักษณะการวิ่งของแผ่นลำเลียงวัสดุ	ผล	ความรุนแรงในการลงจอด	ผล
3.3	ติดขัดในช่วงแรก ต้องช่วยดันแผ่นจึงเริ่มเคลื่อนที่	ไม่ผ่าน	แรงกระแทกไม่รุนแรง	ผ่าน
3.5	ความเร็วปานกลาง ไม่ติดขัด	ผ่าน	แรงกระแทกไม่รุนแรง	ผ่าน
3.8	ค่อนข้างเร็ว ติดขัดบางช่วง	ไม่ผ่าน	แรงกระแทกค่อนข้างรุนแรง	ไม่ผ่าน
4.0	ความเร็วสูง ติดขัด	ไม่ผ่าน	แรงกระแทกรุนแรง	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 4 ผลการทดลองน้ำหนักถ่วงเพื่อเคลื่อนย้ายวัสดุลง

ค่าน้ำหนักถ่วง (กิโลกรัม)	พฤติกรรมการเคลื่อนที่ของแผ่นลำเลียง			
	ลักษณะการวิ่งของแผ่นลำเลียงวัสดุ	ผล	ความรุนแรงในการลงจอด	ผล
3.3	มีความเร็วสูง ไม่ติดขัด	ผ่าน	กระแทกรุนแรง ของกระเด็น	ไม่ผ่าน
3.5	มีความเร็วปานกลาง ไม่ติดขัด	ผ่าน	แรงกระแทกไม่มาก	ผ่าน
3.8	ความเร็วช้าลง ติดขัดเล็กน้อย	ผ่าน	จอดอย่างนิ่มนวล	ผ่าน
4.0	ติดขัด ความเร็วต่ำ	ไม่ผ่าน	จอดอย่างนิ่มนวล	ผ่าน

รูปที่ 14 การเคลื่อนย้ายหลังการปรับปรุง (ในช่วงการทดสอบ)

(ก) ก่อนการปรับปรุง

(ข) หลังการปรับปรุง

รูปที่ 15 การเปรียบเทียบก่อน-หลังการปรับปรุง

จากตารางที่ 3 และ 4 สามารถสรุปน้ำหนักที่ต้องใช้ถ่วงมีค่าเท่ากับ 3.5 กิโลกรัม

หมายเหตุ เนื่องจากว่าผลการทดลองได้ทดลองไปจนถึง 4.0 กิโลกรัม แล้วได้คำตอบแล้วจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องทำการทดลองเพิ่มน้ำหนักในการถ่วงต่อไปอีก

อุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุดังกล่าวยังช่วยให้พนักงานไม่ต้องยก เคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีลงบันไดที่คับแคบจากชั้นที่ 2 ลงมาชั้นที่ 1 (สภาพการทำงานก่อนการปรับปรุง) ทำให้ตัวพนักงานปลอดภัย ไม่หกล้ม และลดโอกาสความเสียหายของสารแต่งคุณสมบัติสีซึ่งอาจตกแตก

3.2 การเปรียบเทียบสภาพก่อนและหลังการปรับปรุง

สภาพก่อนการปรับปรุงการเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสี พนักงานจะทำการขนย้ายวัสดุจากห้องทดลองชั้นที่ 2 มายังพื้นที่การผลิตสินค้าชั้นที่ 1 ผ่านบันไดที่มีความชันมาก และมีความกว้างของบันไดเพียง 1 เมตร มีของไม่จำเป็นวางขัดขวางการเคลื่อนย้าย โดยใช้เวลาในการเคลื่อนย้าย คือ 38 วินาที มีระยะทางในการเคลื่อนย้าย 15.63 เมตร (เมื่อพิจารณาขาลงอย่างเดียว)

หลังจากทำการปรับการเคลื่อนย้ายดังกล่าว โดยใช้อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นและทำการทดสอบการเคลื่อนย้ายวัสดุแสดงดังรูปที่ 14 และรูปที่ 15

เมื่อพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนย้ายขาลงจากชั้นที่ 2 ลงมาชั้นที่ 1 เท่านั้น ทำให้ระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายวัสดุเท่ากับ 4 วินาที ภายใต้ระยะทางใหม่ 3.5 เมตร ซึ่งระยะทางจะลดลง 12.13 เมตร (15.63 เมตร – 3.5 เมตร) สามารถคิดเป็นร้อยละ 77.6 และเวลาในการลดลง 34 วินาที (38 วินาที – 4 วินาที) คิดเป็นร้อยละ 89.47 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบระยะทางและเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้ายก่อน-หลังการปรับปรุง

	ระยะทางที่ใช้เคลื่อนย้าย (เมตร)	ระยะเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนย้าย (วินาที)
ก่อนการปรับปรุง	15.63	38
หลังการปรับปรุง	3.5	4
ค่าที่ลดลง	12.13	34
คิดเป็นร้อยละ	77.6	89.47

4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุในโรงงานผลิตสีตามหลักคาราคุริไคเซ็น มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และพัฒนาอุปกรณ์เคลื่อนย้ายตามหลักการของคาราคุริไคเซ็น เพื่อให้การเคลื่อนย้ายวัสดุมีประสิทธิภาพ ลดความสูญเปล่าจากการเคลื่อนย้าย โดยวัดผลจากระยะทางและเวลาในการเคลื่อนย้ายหลังการปรับปรุง จากการศึกษาโรงงานกรณีศึกษาผลิตภัณฑ์สีรุ่น MBC จากการทำแบบสอบถามกับพนักงานฝ่ายผลิตพบว่า จุดการเคลื่อนย้ายที่ควรได้รับการปรับปรุงมากที่สุด คือ จุดการเคลื่อนย้ายสารแต่งคุณสมบัติสีที่มีน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม ซึ่งต้องเคลื่อนย้ายวัสดุจากห้องทดลองสีชั้น 2 ลงมายังพื้นที่การผลิต ชั้น 1 ผ่านบันไดที่มีความกว้างเพียง 1 เมตร มีความชันมาก แสงไม่ส่องถึงมากพอ อีกทั้งขณะขนย้ายต้องยกกล่องวัสดุสูงให้พ้นราวบันได ขัดขวางทัศนวิสัยในการมองขั้นบันไดขณะเคลื่อนย้าย นับว่าเป็นจุดที่ควรได้รับการแก้ไขเร่งด่วน ซึ่งด้วยข้อจำกัดด้านพื้นที่ทำให้ไม่สามารถย้ายห้องทดลองชั้น 2 ลงมาอยู่ยังพื้นที่การผลิตชั้น 1 ได้ จึงได้ทำการออกแบบอุปกรณ์เคลื่อนย้ายวัสดุโดยใช้หลักการคาราคุริ ไคเซ็น ซึ่งเป็นการใช้กลไกพื้นฐานมาสร้างกลไกการเคลื่อนที่กึ่งอัตโนมัติอย่างง่าย โดยใช้ทั้งหมด 2 กลไกพื้นฐาน ได้แก่ รอก และแรงโน้มถ่วง ทำการออกแบบ และสร้างชิ้นงานเบื้องต้นขึ้น แต่เกิดปัญหาต่างๆ จากโครงสร้าง จึงได้ทำการแก้ไขปรับปรุง และสร้างชิ้นงานขึ้นใหม่ จากนั้นทำการทดสอบการเคลื่อนย้ายการรับ–ส่ง วัสดุน้ำหนัก 4.1 กิโลกรัม และทดสอบเพื่อหาน้ำหนักถ่วงที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้เคลื่อนย้ายด้วยความเร็วที่เหมาะสม ไม่ช้าจนเกินไปทำให้แผ่นลำเลียงติดขัดระหว่างการเคลื่อนย้าย หรือมีความเร็วมากเกินไปจนทำให้เกิดการกระแทกอย่างรุนแรงขณะลงจอดจนทำให้วัสดุที่เคลื่อนย้ายเกิดความเสียหาย โดยน้ำหนักที่นำมาถ่วงที่เหมาะสมที่สุด คือ 3.5 กิโลกรัม จากนั้นนำระยะทาง และเวลาก่อน–หลังใช้อุปกรณ์เคลื่อนย้ายที่ประดิษฐ์ขึ้นมาทำการเปรียบเทียบ เมื่อพิจารณาเฉพาะการเคลื่อนย้ายขาลงจากชั้นที่ 2 ลงมาชั้นที่ 1 เท่านั้นพบว่า มีระยะทางในการเคลื่อนย้ายลดลง 12.13 เมตร คิดเป็นร้อยละ 77.6 และใช้เวลาในการเคลื่อนย้ายลดลง 34 วินาที คิดเป็นร้อยละ 89.47

สิ่งที่เป็นความท้าทายของงานวิจัยฉบับนี้ คือ ความสูงของการขนถ่ายวัสดุที่มีความสูงถึง 4 เมตร จึงต้องมีการคำนึงถึงระบบการชลอเมื่อชิ้นงานไหลลงมาเพื่อป้องกันการกระแทก และความเสียหายที่จะตามมา ประเด็นถัดมาคือการทดลองเพื่อการน้ำหนักในการถ่วงเพื่อให้รอก และเชือกพาแผ่นลำเลียงวัสดุกลับขึ้นไป

ข้อจำกัดที่ควรถูกระบุไว้ คือ น้ำหนักของวัสดุที่จะถูกเคลื่อนย้ายจะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่เสมอ ถ้าน้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยครั้งอาจจะไม่สามารถใช้การเคลื่อนที่ด้วยคาราคุริไคเซ็นได้

เอกสารอ้างอิง

[1] C. F. Stiefkens, “Low cost logistics solutions,” in *Lean Management Solutions for Contemporary Manufacturing Operations*, G. Taboada, Ed. Bentham Science Publishers, 2021, pp. 69–78.

[2] Mostori. (2022, October). *Karakuri Kaizen: Continuous Quality Improvement*, [Online]. Available: https://www.mostori.com/blog_detail.php?b_id=91

[3] T. Bock, T. Linner, J. Güttler, and K. Iturralde, *Ambient Integrated Robotics: Automation and robotic technologies for maintenance, assistance, and Service*. New York: Cambridge University Press, 2019.

[4] The Institute for the Promotion of Teaching Science and Technology (IPST). [Online]. Available: http://designtechnology.ipst.ac.th/wp-content/uploads/sites/83/2019/01/ใบความรู้เรื่อง-เฟืองและรอก.pdf [Accessed: 05-Jun-2022].

[5] D. Anggrahini, Y. Prasetyawan, and S. Indriyani Diartiwi, "Increasing production efficiency using karakuri principle (A case study in Small and Medium Enterprise)," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Art. no. 012117.

[6] I. Mašín and T. Riegr, "Dynamic characteristics of the karakuri transport trolley," in *Proceedings of the 6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering*, 2016, pp. 398–403.

[7] E. Shamsudin, S. A. A. Darus, P. S. A. Shah, P. Behrang, M R. H. Raja, and Z. Abidin, "Implement karakuri as a material handling in production sealer line," in *Proceedings of Greentech 2019*, 2019, pp. 66–75.

[8] Y. P. Paraponiaris and A. M. Rodríguez, "Product development of material supply: Implementation of karakuri kaizen," *Dissertation*, 2019.

[9] Y. Prasetyawan, A. Arifiyana Agustin, and D. Anggrahini, "Simple automation for PINNEAPLE processing combining with Karakuri design," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, Art. no. 012102.

[10] A. Tangl and I. Vajna, "The results of lean productivity development combined with karakuri kaizen method," in *Proceedings of 8th International Conference on Management (ICoM 2018)*, 2018, pp. 614–619.

[11] P. Chanchaichujit and P. Smithmaitrie, "Management of a multi-robots system for industrial material handling," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 3, pp. 454–464, 2019.

[12] K. Kanjanawanishkul, S. Sreelohor, T. Nuantoon, P. Staporntеera, P. Chaniang, and J. Hopper, "Development of a transporting and dispensing vehicle for a liquid chemical drum," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 3, pp. 408–420, 2019.