บทความวิจัย

การศึกษาออกแบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคลังสินค้าอัตโนมัติ (AS/RS) ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์และแบบดั้งเดิม โดยใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อการตัดสินใจ

อาภาภัทร เหมสุวรรณ์* และ วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 09 5813 9505 อีเมล: hemsuwan717@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.04.001
รับเมื่อ 4 พฤศจิกายน 2563 แก้ไขเมื่อ 22 ธันวาคม 2563 ตอบรับเมื่อ 23 ธันวาคม 2563 เผยแพร่ออนไลน์ 19 เมษายน 2564
© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ (Automated Storage and Retrieval System; AS/RS) เป็นระบบคลังสินค้าที่กำลังได้รับความสนใจอย่างมากในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นระบบคลังสินค้าที่มีจุดเด่นด้านประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ในแนวสูง ประกอบด้วยเครื่องจักรในการขนย้ายสินค้า และมีชั้นวางของสินค้าที่มีขนาดความสูงที่เท่ากัน แต่ในปัจจุบันพบว่า คลังสินค้าไม่ได้จัดเก็บสินค้าที่มีขนาดความสูงเท่ากันเสมอไป จึงทำให้ระบบ AS/RS ที่ชั้นจัดเก็บขนาดเท่ากันอาจไม่เพียงพอต่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่หลากหลาย อีกทั้งทำให้เกิดการใช้พื้นที่ไม่เต็มประสิทธิภาพ อันเนื่องมาจากความไม่สัมพันธ์กันระหว่างความสูงของชั้นจัดเก็บ และความสูงของสินค้าที่จัดเก็บภายใน งานวิจัยนี้จึงสนใจนำเสนอ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ (Mini-load AS/RS with the Rack of Modular Cells) และระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิมด้วยการจำลองสถานการณ์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระยะการเดินทางของ S/R MACHINE และเวลาในการรับเข้า/จ่ายสินค้า โดยผู้ทำวิจัยเก็บข้อมูลสินค้า และการจ่ายออกของสินค้ามาจากคลังสินค้ากรณีศึกษาแห่งหนึ่งเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ที่มีลักษณะความสูงของสินค้าที่แตกต่างกัน โดยผลการจำลองสถานการณ์พบว่า ระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ ทำให้ระยะการเดินทางของ S/R Machine ลดลง 424.58 เมตร คิดเป็น 3.89% และสามารถลดเวลาการจัดเก็บ/จ่ายสินค้าลงได้ 242.37 วินาที คิดเป็น 92.51% เมื่อเปรียบเทียบกับคลังสินค้าเดิมที่ใช้มนุษย์และ ลดเวลาการจัดเก็บ/จ่ายสินค้าลงได้ 0.50 วินาที คิดเป็น 2.48% เมื่อเปรียบเทียบกับระบบ AS/RS ที่มีความสูงของชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม

คำสำคัญ: ระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ ระบบคลังสินค้าอัตโนมัติแบบ mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ การจำลองสถานการณ์

การอ้างอิงบทความ: อาภาภัทร เหมสุวรรณ์ และ วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์, "การศึกษาออกแบบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคลังสินค้าอัตโนมัติ (AS/RS) ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์และแบบดั้งเดิม โดยใช้การจำลองสถานการณ์เพื่อการตัดสินใจ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 2564, doi: 10.14416/j.kmutnb.2021.04.001.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2564
The Journal of KMUTNB., 2021

Research Article

A study and Design to Compare an Efficiency of a AS/RS with the Rack of Modular Cells and a Traditional AS/RS Using Simulation Approach for Decision Makings

Arpaphat Hemsuwan* and Weerapat Sessomboon
Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 09 5813 9505, E–mail: hemsuwan717@hotmail.com DOI: 10.14416/j.kmutnb.2021.04.001
Received 4 November 2020; Revised 22 December 2020; Accepted 23 December 2020; Published online: 19 April 2021
© 2021 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Automated Storage and Retrieval System (AS/RS) is a warehouse system that is gaining great attention today due to its strong advantage in vertical space utilization that includes machines to store/ retrieve products and racks with equal-sized cells in height. But nowadays, the warehouse does not always store products with the same height. Thus, the traditional AS/RS systems may not be sufficient to meet customers' different demands. Inefficient space utilization may occur due to the mismatch between the height of shelves and storage products. This research aims to propose and compare the efficiency of a mini-load AS/RS with the rack of modular cells and mini-load AS/RS with the traditional rack systems. The simulation involves the performance of travel distance and time models of the storage and retrieval with the S/R machine. The researcher collected the input data such as product data and dispatch of products from a case study warehouse that has different product heights. The simulation results show that the approach of AS/RS with the rack of modular cells can reduce the travel distance of the S/R machine by 424.58 meters or 3.89% and reduce the time to store/retrieve products by 242.37 seconds or 92.51%, compared with the traditional warehouse mode. Additionally, the former model can storage and retrieval time by 0.50 seconds or 2.48% as compared with the mini-load AS/RS with the traditional rack systems.

Keywords: Automated Storage and Retrieval Warehouse System, Mini-load AS/RS with the Rack of Modular Cells, Simulation

Please cite this article in press as: A. Hemsuwan and W. Sessomboon, "A study and design to compare an efficiency of a AS/RS with the rack of modular cells and a traditional AS/RS using simulation approach for decision makings," *The Journal of KMUTNB*, 2021 (in Thai), doi: 10.14416/j.kmutnb.2021.04.001.

1. บทนำ

คลังสินค้าเป็นสถานที่ที่มีหน้าที่รับเข้า จัดเก็บ ดูแลรักษา และจ่ายออกสินค้าต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญต่อการบริหารทรัพยากรขององค์กร เนื่องจากเป็นสถานที่ที่รักษาสมดุลระหว่างความต้องการผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค และปริมาณผลิตภัณฑ์ที่องค์กรผลิตได้ ซึ่งรูปแบบของคลังสินค้ามีหลากหลายและมีชื่อเรียกที่แตกต่างกันตามหน้าที่ของคลังสินค้านั้นๆ เช่น คลังจัดเก็บสินค้า คลังกระจายสินค้า เป็นต้น

ระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ หรือ Automated Storage and Retrieval System (AS/RS) คือระบบคลังสินค้าที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในปัจจุบัน เป็นระบบการจัดเก็บที่มีจุดเด่นด้านการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเป็นการเพิ่มพื้นที่การจัดเก็บในแนวสูง ใช้การหยิบสินค้าด้วยเครื่องจักรที่เรียกว่า Storage and Retrieval Machine (SRM) ระบบ AS/RS มีหลากหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น ระบบ Unit-load AS/RS เป็นระบบอัตโนมัติขนาดใหญ่ใช้จัดเก็บสินค้าที่เป็นพาเลทที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 450 กิโลกรัมขึ้นไป ระบบ Mini-load AS/RS เป็นระบบอัตโนมัติที่ใช้จัดเก็บสินค้าที่มีน้ำหนักน้อยกว่า 340 กิโลกรัม ระบบ Deep-lane AS/RS เป็นระบบการจัดเก็บอัตโนมัติที่มีลักษณะคล้าย Unit-load AS/RS แต่จะมีความแตกต่างคือเป็นช่องการจัดเก็บที่มีความลึกลงไป ทำให้ 1 ช่องการจัดเก็บสินค้าสามารถเก็บสินค้าได้มากกว่า 1 ชิ้น เหมาะสำหรับคลังสินค้าที่มีความหลากหลายของสินค้าน้อย แต่มีปริมาณของสินค้ามาก Man-on-board AS/RS เป็นระบบที่ผู้ทำงานสามารถควบคุมอยู่บน SRM ได้และสามารถเข้าไปหยิบสินค้าจากช่องการจัดเก็บภายในชั้นได้โดยตรง ซึ่งระบบ AS/RS ทุกประเภทที่กล่าวมาข้างต้นเป็นระบบที่มีความสูงของช่องจัดเก็บสินค้าแต่ละช่องเท่ากันทั้งหมด แต่ในความเป็นจริงนั้นสินค้าที่จัดเก็บอยู่ภายในคลังสินค้าไม่ได้มีความสูงเท่ากันเสมอไป ทำให้มีพื้นที่ว่างในชั้นจัดเก็บสินค้าอันเนื่องมาจากความสูงของช่องจัดเก็บไม่สัมพันธ์กับความสูงของสินค้า โดยในปัจจุบันมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาชั้นจัดเก็บแบบไม่เท่ากันทั้งหมด 4 งานวิจัยคือ [1] กล่าวว่า ระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บเท่ากันอาจไม่เพียงพอต่อการรับมือกับความต้องการที่หลากหลายของมนุษย์ และมีแนวโน้มว่าชั้นจัดเก็บที่มีขนาดหลากหลายจะมีความแพร่หลายในธุรกิจต่างๆ [2] กล่าวว่าการใช้ชั้นจัดเก็บที่มีความสูงของเซลล์ที่หลากหลาย สามารถจัดเก็บสินค้าได้มากขึ้นในพื้นที่เท่าเดิมหรือน้อยลง และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พื้นที่ถึง 26% [3] กล่าวว่าชั้นจัดเก็บที่พาเลทสินค้ามีขนาดที่หลากหลาย แต่ยังคงใช้ชั้นจัดเก็บที่มีขนาดเดียวอาจไม่ใช่ตัวเลือกที่ดี [4] ศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ กล่าวว่า “ชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ (Rack Structure with Modular Cells) เป็นระบบที่มีโครงสร้างของชั้นจัดเก็บที่สามารถรองรับสินค้าที่มีขนาดแตกต่างกันได้และอนุญาตให้สินค้าสามารถจัดเก็บในชั้นได้มากกว่า 1 เซลล์ขึ้นอยู่กับความสูงของสินค้าชิ้นนั้นๆ” ซึ่งจากจุดเด่นของระบบ AS/RS ที่ใช้ชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ที่กล่าวมาข้างต้นสอดคล้องกับลักษณะทางกายภาพของสินค้าภายในคลังสินค้ากรณีศึกษาที่มีขนาดแตกต่างกัน ทำให้งานวิจัยนี้สนใจศึกษาคลังสินค้าอัตโนมัติที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ ที่จัดเก็บสินค้าที่มีความสูงที่หลากหลายและทดสอบประสิทธิภาพด้วยการจำลองสถานการณ์ โดยมีงานวิจัยที่ใช้ประโยชน์จากการจำลองสถานการณ์ในหลายแขนงเช่น [5] ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองสถานการณ์การอัดรีดยางคอมพาวด์ผ่านแม่พิมพ์อัดรีดชนิดไม้แขวนเสื้อ [6] ใช้เทคนิคการจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาอัตราการไหลของน้ำนมเพื่อลดการเกิดตะกรันในช่องทางการไหลของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมนมยูเอชที ทำให้สามารถลดต้นทุนลงได้จากการยืดวงจรการตัดล้างเครื่องจักร [7] ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ทางคอมพิวเตอร์จำลองสถานการณ์ทั้ง 9 สถานีงานจำนวน 50 รอบ ของสายการผลิตสับปะรดบรรจุถุง จากการค้นคว้าทำให้ทราบได้ว่าการจำลองสถานการณ์ถูกนำไปใช้ในงานที่มีความหลากหลาย โดยในงานวิจัยนี้สนใจการจำลองสถานการณ์ คลังสินค้าอัตโนมัติ AS/RS โดยซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation โดยมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่สนใจการจำลองสถานการณ์ด้วยซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation ดังนี้ [8] นำเสนอการออกแบบ และกระบวนการในการจำลอง

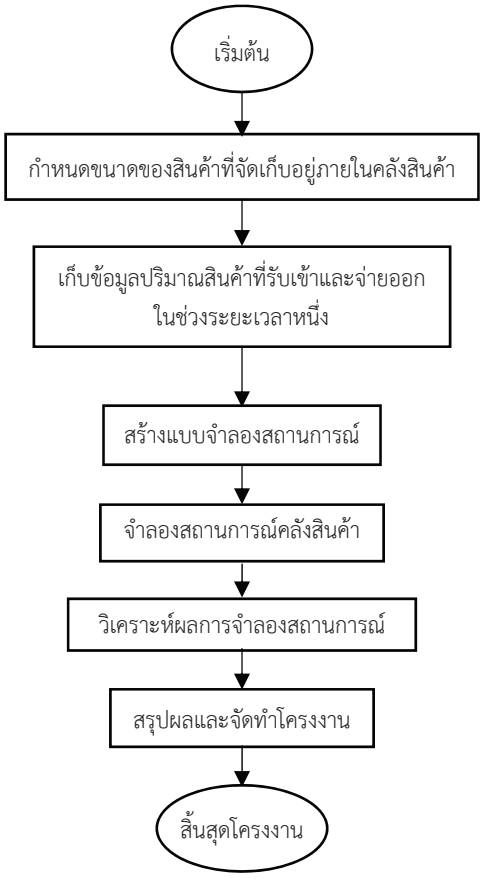
สถานการณ์ของระบบ AS/RS ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ทั้งสินค้าที่เป็นผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จ และผลิตภัณฑ์สำเร็จ แล้วประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ประเมินปริมาณงานคอขวดและการใช้งานอุปกรณ์ที่สำคัญต่างๆ [9] สร้างแบบจำลองสถานการณ์สำหรับกระบวนการปฏิบัติงานของศูนย์กระจายสินค้าผักผลไม้ และผักแช่เย็นโดยใช้ซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation เพื่อหาจุดที่เป็นคอขวดและเครื่องจักรที่ว่างงาน ซึ่งผลสรุปของงานวิจัยนี้มีการปรับปรุงเพื่อให้อัตราการหมุนเวียน และอัตราการใช้อุปกรณ์ และคนงานเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มโปรเซสเซอร์และ SRM และลดคนงานออก 1 คน [10] ใช้ซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation ในการออกแบบและจำลองสถานการณ์การทำงานร่วมกันของเครื่องมือต่างๆ ในกระบวนการจ่ายออกสินค้า (Outbound Process) ของคลังจัดเก็บสินค้า [11] ใช้ซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation ในการจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินจำนวนคนงานที่ต้องใช้และปรับสมดุลไลน์การประกอบแผ่นโลหะ [12] จำลองสถานการณ์ 6,890 สถานการณ์ ในการจัดวางเครื่องจักรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ของพนักงานภายในบริษัทสินค้าอุปโภค-บริโภค โดยผลการศึกษาสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานได้ 1.2% [13] ออกแบบการจัดวางผังสินค้าบล็อกแก้วในคลังสินค้าแบบใหม่ด้วยระบบการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งตายตัว แล้วจำลองสถานการณ์ของคลังสินค้าทั้งแบบใหม่และแบบเดิม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการขนย้ายบล็อกแก้ว โดยพบว่า การจัดวางผังคลังสินค้าแบบใหม่ทำให้สามารถลดเวลาการขนย้ายบล็อกแก้วลงได้ 0.2045 นาที หรือคิดเป็นร้อยละ 27.27 [14] ศึกษาการออกแบบแผนผังของเครื่องจักร แล้วทำการวัดและประเมินผลประสิทธิภาพของแผนผังโดยทำการจำลองสถานการณ์ 5 รอบ ซึ่งสามารถปรับปรุงผลิตภาพการผลิตจากสามารถผลิตได้ 1,428 ชิ้น/เดือน เป็น 1,617 ชิ้น/เดือน

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้นพบว่า มีงานวิจัยจำนวนมากที่ใช้เทคนิคการจำลองสถานการณ์ด้วยซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation แต่ยังไม่มีงานวิจัยที่ทำการจำลองสถานการณ์ของระบบ Mini-load AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงสนใจศึกษา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบ mini-load AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ และระบบ mini-load AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิมด้วยการจำลองสถานการณ์จากซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation ซึ่งส่วนที่เหลือของงานวิจัยมีดังนี้ หัวข้อที่ 2 อธิบายถึงวิธีการวิจัยที่ใช้ดำเนินงานวิจัยนี้ หัวข้อที่ 3 ผลการจำลองสถานการณ์ หัวข้อที่ 4 สรุปผลการทดลอง และหัวข้อที่ 5 ข้อเสนอแนะงานวิจัย ตามลำดับ

ระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ (AS/RS with the Rack of Modular Cells) ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย [4] กล่าวว่า “ชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ เป็นระบบที่มีโครงสร้างของชั้นจัดเก็บที่สามารถรองรับสินค้าที่มีขนาดแตกต่างกันได้และอนุญาตให้สินค้าสามารถจัดเก็บในชั้นได้มากกว่า 1 เซลล์ขึ้นอยู่กับความสูงของสินค้าชิ้นนั้นๆ เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่มากที่สุด ซึ่งชั้นจัดเก็บสินค้าในแต่ละชั้นของระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์จะเป็นเซลล์แบบเปิด หรือเรียกว่า Opening Cell นั่นคือด้านบนและด้านล้างของชั้นจัดเก็บจะไม่มีแผ่นคานรองรับน้ำหนัก แต่จะเป็นตัวรับน้ำหนักด้านข้างหรือเรียกว่า Load Arm” จุดเด่นของระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ คือ เป็นระบบที่ทำให้ชั้นจัดเก็บมีความสูงที่สัมพันธ์กันกับความสูงของสินค้า นั่นคือ สินค้าที่มีขนาดใหญ่จะถูกจัดเก็บในชั้นที่มีขนาดใหญ่ และสินค้าที่มีขนาดเล็กจะถูกจัดเก็บในชั้นที่มีขนาดเล็ก ทำให้ความสูงของชั้นวางสินค้าแต่ละช่องอาจมีความสูงที่แตกต่างกัน แต่ช่วยทำให้คลังสินค้ามีประสิทธิภาพจากการใช้พื้นที่ได้คุ้มค่ามากขึ้น

AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม (ความสูงของชั้นจัดเก็บมีขนาดเท่ากัน) เป็นระบบคลังสินค้าอัตโนมัติ AS/RS ที่มักพบเจอได้ทั่วไป โดยชั้นจัดเก็บสินค้าประกอบไปด้วยช่องจัดเก็บที่มีความสูงเท่ากันเสมอ โดยมีคานรองรับน้ำหนักสินค้าที่ด้านล่าง และช่องจัดเก็บแต่ละช่องจะมีความสูงที่สามารถรองรับการจัดเก็บสินค้าได้ทุกขนาด

งานวิจัยนี้ใช้การจำลองสถานการณ์ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ และคลังสินค้า AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิมเพื่อพิสูจน์สมมติฐานที่ว่าเมื่อระบบ AS/RS



รูปที่ 1 แผนผังวิธีดำเนินโครงงาน

ที่มีชั้นจัดเก็บสินค้าแบบมอดุลาร์เซลล์ที่ทำให้สามารถลดปริมาตรการก่อสร้างของคลังสินค้าอัตโนมัติลงได้ จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของคลังสินค้าเพิ่มขึ้นได้ด้วย และมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม โดยใช้เกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพ 2 เกณฑ์คือ ระยะทางของ SRM ที่ใช้รับเข้าและจ่ายออกสินค้า (Travel Distance) และเวลาในการรับเข้า/จ่ายออกต่อกล่องสินค้า โดยจำลองสถานการณ์ในเวลาที่เท่ากันคือ 2,400 นาที

2. วิธีการวิจัย

การดำเนินงานของโครงงานนี้ได้กำหนดระเบียบวิธีและขั้นตอนในการดำเนินการเพื่อให้การศึกษาเป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้โดยมีลำดับการศึกษาแสดงดังรูป 1

2.1 ข้อมูลนำเข้า (Input Data)

2.1.1 ขนาดกล่องบรรจุสินค้า

ในคลังสินค้ากรณีศึกษามีสินค้าที่มีขนาดแตกต่างกันมากมาย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แบ่งสินค้าออกเป็น 3 กลุ่มตามขนาดความสูง และกำหนดให้มีกล่องบรรจุสินค้าขนาดมาตรฐานจำนวน 3 ขนาดเพื่อบรรจุสินค้าทั้ง 3 กลุ่มตามลำดับ โดยจะกำหนดให้ความกว้าง และความยาวของกล่องบรรจุสินค้ามีขนาดเท่ากัน แต่มีความสูงที่แตกต่างกัน ตามขนาดความสูงของสินค้าที่จัดเก็บภายในดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความกว้าง ความยาว และความสูงของกล่องบรรจุสินค้าขนาดมาตรฐาน

ชนิดกล่องบรรจุสินค้า	ความกว้าง (ซม.)	ความยาว (ซม.)	ความสูง (ซม.)
1	33.0	47.5	47.0
2	33.0	47.5	30.3
3	33.0	47.5	23.0

2.1.2 ข้อมูลการรับเข้าและจ่ายออกของสินค้า

ข้อมูลการรับเข้าและจ่ายออกของสินค้าได้จากการเก็บข้อมูลภายในคลังสินค้า โดยข้อมูลการรับเข้าจะถูกตั้งค่าให้สินค้ากลุ่มที่ 1, 2 และ 3 เข้าระบบทุกๆ 8.00 น. และ 11.00 น. ตามเวลาการรับเข้าสินค้าจริง และข้อมูลการจ่ายออกของสินค้าทั้ง 3 กลุ่ม ได้จากการเก็บข้อมูลการจ่ายออกของสินค้าภายในคลังสินค้าใน 8 สัปดาห์ โดยจะยกตัวอย่างจำนวนกล่องสินค้าที่รับเข้าและจ่ายออกจากระบบในเวลา 1 สัปดาห์ ดังแสดงในดังตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 จำนวนกล่องสินค้าที่รับเข้าในเวลา 5 วัน

กลุ่มสินค้า	จำนวนกล่องสินค้าที่เข้าสู่ระบบ (กล่อง)
1	110
2	40
3	895
รวม	1,045

ตารางที่ 3 จำนวนกล่องสินค้าที่จ่ายออกในเวลา 5 วัน

กลุ่มสินค้า	จำนวนกล่องสินค้าที่ออกจากระบบ (กล่อง)
1	484
2	580
3	1,114
รวม	2,178

จากข้อมูลในตารางที่ 2 และ 3 แสดงจำนวนกล่องที่รับเข้าและจ่ายออกของสินค้ายกตัวอย่าง 1 สัปดาห์ โดยการรับเข้าสินค้าที่เป็นข้อมูลนำเข้าในการจำลองสถานการณ์ จะกำหนดว่าให้เข้าระบบเวลา 8.00 น. และ 11.00 น. ส่วนเวลาการจ่ายออกสินค้า จะกำหนดให้จ่ายออกแบบ Pull Strategy นั่นคือสินค้าจะออกจากระบบเมื่อมีคำสั่งเบิก โดยข้อมูลนำเข้าในการจ่ายออกจะเป็นเวลา ณ ที่สินค้าถูกเบิกและจำนวนกล่องสินค้า ตามข้อมูลจริงของคลังสินค้า โดยตารางที่ 4 และ 5 จะแสดงข้อมูลนำเข้าของการจำลองสถานการณ์ทั้งการรับเข้าและจ่ายออกของสินค้า โดยการจำลองสถานการณ์จะใช้เวลาทั้งหมด 2,400 นาที

ตารางที่ 4 ข้อมูลนำเข้าในการจำลองสถานการณ์การรับเข้าสินค้า

เวลาในการจำลองสถานการณ์ (นาที)	จำนวนกล่องของสินค้ากลุ่มต่างๆ (กล่อง)		
	1	2	3
0	11	4	90
180	11	4	90
480	11	4	90
660	11	4	90
960	11	4	90
1140	11	4	90
1440	11	4	90
1620	11	4	90
1920	11	4	90
2100	11	4	90

ตารางที่ 5 ข้อมูลนำเข้าของการจ่ายออกสินค้ากลุ่มที่ 1 ในเวลา 5 วัน

เวลาสินค้าเข้า	เวลาการจำลองสถานการณ์ (นาที)	จำนวน (กล่อง)
8:26	26.00	3.00
8:36	36.00	6.00
8:49	49.00	1.00
8:53	53.00	2.00
9:03	63.00	12.00
9:07	67.00	2.00
9:08	68.00	4.00
...	...	...
14:43	2323.00	3.00
14:51	2331.00	1.00
15:40	2380.00	1.00

2.2 รูปแบบการจำลองสถานการณ์

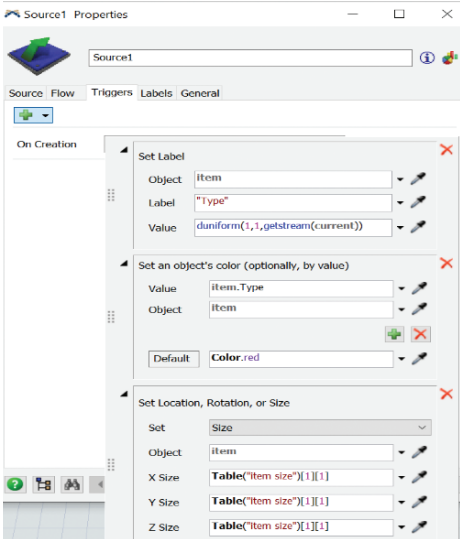
2.2.1 ซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation

ซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation เป็นซอฟต์แวร์การจำลองสถานการณ์แบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete-event Simulation) [15] ที่แสดงผลการจำลองสถานการณ์แบบ 3 มิติ โดยใช้เพียงการลาก และปล่อยวัตถุต่างๆ ลงบนหน้าจอการจำลองสถานการณ์ มีจุดเด่นคือเป็นโปรแกรมที่มีการใช้งานง่าย และมีความยืดหยุ่น ด้วยการแสดงภาพการจำลองสถานการณ์ที่เป็นแบบ 3 มิติ ทำให้สามารถจำลองสถานการณ์ที่เสมือนสถานการณ์จริงได้ โดยภายในโปรแกรมจะประกอบไปด้วย FlexSim Product และ FlexSim Healthcare ซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation ถูกใช้ในการจำลองสถานการณ์ในหลายๆ แขนง เช่น สายงานผลิต (Production Line), สายงานประกอบ (Assembly Line) การจัดการวัสดุ การลำเลียงวัสดุ AGV คลังสินค้า โลจิสติกส์ และการขนส่ง การจราจรในระบบทางหลวง การทำงานภายในโรงพยาบาล โดยงานวิจัยนี้ใช้ซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation 2020 ใช้คอมพิวเตอร์ Window 10 Pro Core i5-7200U

2.2.2 เครื่องมือและการตั้งค่า (Tool and Setting)

รูปที่ 1 Source

รูปที่ 1 คือ เครื่องมือ Source ทำหน้าที่เป็นจุดกำเนิดสินค้า โดยในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีสินค้าทั้งหมด 3 ชนิดที่มีความสูงที่แตกต่างกัน โดย Flow Item 1 ชนิดจะถูกกำเนิดจาก Source 1 ตัว โดยการตั้งค่าที่ Source Properties จะแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตัวอย่างการตั้งค่าคุณสมบัติเครื่องมือ Source

1) การตั้งค่าการสร้าง Flow Item ให้มีทั้งหมด 3 ชนิด โดยแยก Source 1 ตัวต่อ Flow Item 1 ชนิดโดยตั้งค่าที่ Triggers -> On Creation -> Set label -> ให้ Label ว่า “Type” ->

ค่า value = duniform (1,1,getstream(current))
duniform (2,1,getstream(current))
และ duniform (3,2,getstream(current))
ที่ Source ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ

2) การสร้างสีให้ Flow Item ให้แบ่งสีตามชนิดสินค้า โดยตั้งค่าที่ Set Color By Case -> ชนิดที่ 1 ให้แสดงสีแดง ชนิดที่ 2 ให้แสดงสีเหลือง และชนิดที่ 3 ให้แสดงสีเขียว โดยตั้งค่าที่ Source ที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ

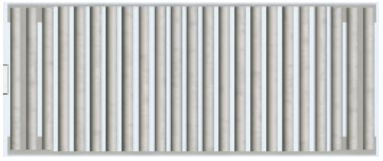
3) การตั้งค่าขนาดของสินค้าทั้ง 3 ชนิด และขนาดของกล่องมาตรฐานที่ใช้บรรจุสินค้าทั้ง 3 ชนิด โดยใช้หลักการเดียวกัน คือ ให้ดึงค่าจาก Global Table ที่ชื่อว่า Item Size และ Tote Size และตั้งค่าที่ set size -> ขนาดของสินค้าชนิดที่ 1 คือ

X size คือ Table("item size")[1][1]
Y size คือ Table("item size")[1][2]
Z size คือ Table("item size")[1][3]
ขนาดของสินค้าชนิดที่ 2 คือ
X size คือ Table("item size")[2][1]
Y size คือ Table("item size")[2][2]
Z size คือ Table("item size")[2][3]
ขนาดของสินค้าชนิดที่ 3 คือ
X size คือ Table("item size")[3][1]
Y size คือ Table("item size")[3][2]
Z size คือ Table("item size")[3][3]

โดยขนาดของสินค้าแต่ละชนิดจะถูกตั้งค่าใน Source ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และขนาดของกล่องมาตรฐานที่ใช้บรรจุสินค้าจะถูกตั้งค่าใน Source ที่ 4 5 และ 6 ตามลำดับ

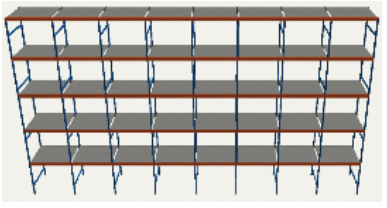
รูปที่ 3 Combiner

รูปที่ 3 คือ เครื่องมือ Combiner เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการรวม Flow Item ชนิดต่างๆเข้าด้วยกัน ซึ่ง Flow Item นั้นอาจจะเป็นชนิดเดียวกันหรือต่างชนิดกันก็ได้ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ Combiner เป็นจุดที่ใช้ในการรวมสินค้าไว้ในกล่อง และวางกล่องไว้บนพาเลท



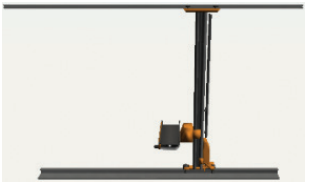
รูปที่ 4 Conveyor

รูปที่ 4 Conveyor หรือ สายพานทำหน้าที่เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการลำเลียง Flow Item จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ในงานวิจัยนี้ใช้ลำเลียงสินค้าจากจุดบรรจุสินค้าไปยังชั้นวาง AS/RS



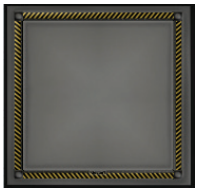
รูปที่ 5 Storage Rack

รูปที่ 5 คือ เครื่องมือที่ใช้จัดเก็บสินค้า หรือ Flow Item



รูปที่ 6 ASRS Vehicle

รูปที่ 6 คือ ASRS Vehicle หรือ SRM เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการรับ/จ่าย Flow Item ภายในระบบ AS/RS



รูปที่ 7 Queue

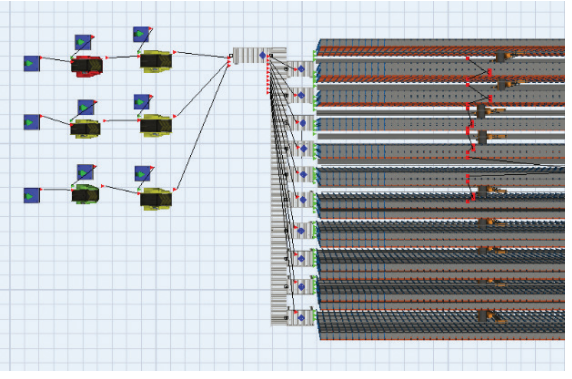
รูปที่ 7 คือ เครื่องมือที่ใช้ในการพักสินค้าก่อนเข้าสู่กระบวนการต่อไป

รูปที่ 8 Sink

รูปที่ 8 คือเครื่องมือที่ใช้ทำลาย Flow Item

2.2.3 การสร้างแบบจำลองสถานการณ์

งานวิจัยนี้สร้างแบบจำลองสถานการณ์โดยเปรียบเทียบแบบจำลอง 2 แบบคือ แบบจำลองของคลังสินค้า AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม และแบบจำลองของคลังสินค้า AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ เชื่อม Fix Resource เข้าด้วยกันด้วยเส้นเชื่อม A และเชื่อม Fix Resource กับ Task Executer ด้วยเส้นเชื่อม S ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 แบบจำลองสถานการณ์ของระบบ AS/RS แบบดั้งเดิมและแบบที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์

จากรูปที่ 8 แบบจำลองสถานการณ์ประกอบด้วย Source 9 ตัว (กำเนิด Flow Item 3 ชนิด จำนวน 3 ตัว, กำเนิดกล่องบรรจุสินค้าที่มีขนาดมาตรฐาน จำนวน 3 ตัว, กำเนิดพาเลทบรรจุกล่องสินค้าจำนวน 3 ตัว), Combiner 6 ตัว (จัดเก็บสินค้าลงกล่องจำนวน 3 ตัว, จัดเก็บกล่องสินค้าลงบนพาเลทจำนวน 3 ตัว) ชุดสายพาน 1 ชุด (ลำเลียงสินค้า

ไปยัง SRM เพื่อจัดเก็บในชั้นวางสินค้า), ชั้นวางสินค้า 20 ตัว (จัดเก็บสินค้าที่เข้าในระบบโดยการจัดวางจะจัดเป็นคู่ โดยมี SRM ทำหน้าที่รับและจ่ายออกสินค้าระหว่างชั้นวางทั้ง 2 ด้าน) SRM 10 ตัว (รับและจ่ายสินค้าระหว่างชั้นวางทั้ง 2 ด้าน) Queue 11 ตัว (พักสินค้าก่อนจ่ายออก) และ Sink 1 ตัว (ทำลาย Flow Item)

การจำลองสถานการณ์แบ่งออกเป็น 16 โมเดล คือ ระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาเซลล์ 8 โมเดล (ตามการจ่ายออก 8 สัปดาห์) และ ระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม 8 โมเดล (ตามการจ่ายออก 8 สัปดาห์)

การจำลองสถานการณ์เริ่มต้นจากเครื่องมือ Source กำเนิด Flow Item 3 ชนิดที่มีความสูงที่แตกต่างกันจากนั้น Flow Item ไหลเข้าสู่ Combiner แต่ละตัวเพื่อใส่สินค้าลงกล่องบรรจุสินค้าที่มีขนาดมาตรฐาน 3 ชนิดที่มีขนาดความกว้าง ความยาวและความสูงเท่ากับ 33 × 47.5 × 47, 33 × 47.5 × 30.3 และ 33 × 47.5 × 23 ตามลำดับ จากนั้นสินค้าไหลเข้าสู่ Combiner ตัวที่สองเพื่อวางกล่องบรรจุสินค้าบนพาเลท และสินค้าไหลเข้าสู่สายพาน ไปยังชั้นวางสินค้า 20 ตัวโดยใช้ SRM ในการย้ายสินค้าจากสายพาน เข้าไปเก็บในชั้นวาง สินค้าจะถูกเก็บในชั้นวางเป็นเวลาหนึ่งจนกว่าจะมีคำสั่งเบิกแล้วสินค้าจึงจ่ายออกจากชั้นวางเพื่อออกจากระบบ โดยการจำลองสถานการณ์ระบบ AS/RS ทั้ง 2 ระบบ มีการตั้งค่าเครื่องมือต่างๆเหมือนกัน ยกเว้นมีความแตกต่างของชั้นที่จัดเก็บซึ่งจะแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ค่าต่างๆของชั้นวางที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์ของระบบ AS/RS ทั้งสองแบบ

ค่าต่างๆ	หน่วย	AS/RS แบบต่างๆ	
		ดั้งเดิม	มอดุลาร์เซลล์
ความสูงของชั้นวาง (ชั้น 1–4)	ซม.	-	70.60
ความสูงของชั้นวาง (ชั้น 5–10)	ซม.	-	35.30
ความสูงของชั้นวาง (ชั้น1–8)	ซม.	57.00	-
จำนวนช่องทางเดิน (aisle)	ช่อง	10	10
จำนวนช่องแนวนอน (bay)	ช่อง	70	53
จำนวนชั้นจัดเก็บ (level)	ชั้น	8	10
ความกว้างระบบ AS/RS	ม.	14.25	14.25
ความยาวระบบ AS/RS	ม.	23.10	20.67
ความสูงระบบ AS/RS	ม.	4.56	4.94
ปริมาตรการจัดเก็บ	ลบ.ม.	1,501.38	1,455.06

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะทางการเดินทางของ SRM ระหว่าง AS/RS ทั้งสองระบบ

ระยะการเดินทางของ SRM	ระบบ AS/RS		แตกต่าง	แตกต่าง (%)
	แบบดั้งเดิม	แบบมอดุลาร์		
สัปดาห์ 1	9,065.57	8,724.73	340.84	3.76
สัปดาห์ 2	11,202.76	10,678.98	523.78	4.68
สัปดาห์ 3	9,734.45	9,388.59	345.85	3.55
สัปดาห์ 4	10,390.81	10,002.90	387.91	3.73
สัปดาห์ 5	11,508.23	11,070.96	437.27	3.80
สัปดาห์ 6	11,696.51	11,255.36	441.15	3.77
สัปดาห์ 7	11,811.00	11,362.93	448.07	3.79
สัปดาห์ 8	11,914.75	11,445.85	468.90	3.94
ค่าเฉลี่ย	10,915.51	10,490.93	424.58	3.89

3. ผลการทดลองการจำลองสถานการณ์ด้วยซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation

ผลการจำลองสถานการณ์เก็บข้อมูลระยะการเดินทางและเวลาในการรับเข้า/จ่ายออกสินค้าของ SRM ทั้ง 8 สัปดาห์ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้เวลาในการจำลองสถานการณ์การทำงาน 5 วัน วันละ 8 ชั่วโมง รวมเป็น 2,400 นาที โดยผลระยะการเดินทางของ SRM ได้จากการหาค่าเฉลี่ยระยะทางของ SRM ทั้งหมด 10 ตัวในแต่ละสัปดาห์ แล้วจึงนำค่าเฉลี่ยมาเปรียบเทียบกัน แสดงดังตารางที่ 7

ผลการเก็บข้อมูลเวลาในการรับเข้า/จ่ายออกสินค้า ได้จากการเก็บข้อมูลจาก SRM 10 ตัวในแต่ละสัปดาห์ นำมาหาค่าเฉลี่ยแล้วแสดงผลดังตารางที่ 8 โดยเวลาที่ใช้ในการรับเข้า/จ่ายออกสินค้าต่อกล่องจะเปรียบเทียบกันระหว่างระบบ 3 ระบบ คือ คลังสินค้าเดิมกรณีศึกษาที่ใช้มนุษย์ในการจัดเก็บ/

จ่ายสินค้า, คลังสินค้า AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม และคลังสินค้า AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์

ตารางที่ 8 เวลาการรับเข้า/จ่ายออกของสินค้าเฉลี่ย/กล่อง

	เวลาในการรับเข้าและจ่ายออกสินค้าเฉลี่ย/กล่อง (วินาที)		
	คลังเดิม	ระบบ AS/RS	
		ดั้งเดิม	มอดุลาร์เซลล์
เวลา	262	20.13	19.63
เวลาที่แตกต่างเทียบกับคลังเดิม (วินาที)	-	241.87	242.37
% ที่แตกต่างเทียบกับคลังเดิม	-	92.32	92.51

จากตารางที่ 7 ระยะการเดินทางของ SRM ของระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์มีระยะทางเฉลี่ยเท่ากับ 10,490.93 เมตร ลดลงจากระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม 424.58 เมตร คิดเป็น 3.89% และจากตารางที่ 8 ยังสามารถลดเวลาการรับเข้า/จ่ายออกลงได้ถึง 242.37 วินาที หรือ 92.51% เมื่อเทียบกับระบบคลังสินค้าเดิมที่ใช้มนุษย์ และลดลง 0.50 วินาที หรือ 2.48% เมื่อเทียบกับระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม

4. อภิปรายผลและสรุป

งานวิจัยนี้สนใจศึกษา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคลังสินค้าอัตโนมัติ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ และระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม ด้วยการจำลองสถานการณ์จากซอฟต์แวร์ FlexSim Simulation โดยกำหนดให้มีสินค้าที่มีความสูงแตกต่างกัน 3 ชนิด โดยระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์มีปริมาตรการจัดเก็บเท่ากับ 1,455.06 ลูกบาศก์เมตร (14.25 ม. × 20.67 ม. × 4.94 ม.) และปริมาตรการจัดเก็บสินค้าของระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิมมีปริมาตรการจัดเก็บเท่ากับ 1,501.38 ลูกบาศก์เมตร (14.25 ม. × 23.10 ม. × 4.56 ม.) ซึ่งระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์สามารถลดปริมาตรการจัดเก็บได้ 3.08% ทำให้มีขนาดเล็กกว่าแต่ในขณะเดียวกันก็สามารถจัดเก็บสินค้าได้อย่างเพียงพอ ซึ่งเมื่อระบบ AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์มีขนาดเล็กกว่าจึงนำมาสู่การจำลองสถานการณ์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพต่อไป เมื่อทำการจำลองสถานการณ์ในระยะเวลาที่เท่ากัน ในเวลา 2,400 นาที พบว่า โดยผลการทดลองสามารถเห็นได้ชัดเจนจากตารางที่ 7 และตารางที่ 8 แสดงให้เห็นถึงระยะการเดินทางของ SRM ทั้ง 10 ตัว มีระยะทางรวมลดลง 424.58 เมตร หรือคิดเป็น 3.89% ของระยะการเดินทางของ SRM ในระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม และมีเวลาในการรับเข้า/จ่ายออกน้อยลง 242.37 วินาที หรือ 92.51% เมื่อเทียบกับคลังสินค้าเดิมที่ใช้มนุษย์ และลดลง 0.50 วินาที หรือ 2.48% เมื่อเทียบกับระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบดั้งเดิม แสดงให้เห็นว่าระบบ AS/RS ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์ เป็นระบบที่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับคลังสินค้าที่สินค้ามีความสูงที่แตกต่างกัน โดยสามารถลดทั้งปริมาตรการก่อสร้าง (Construction Volume) ลดระยะการเดินทางของ SRM (Total Travel Distance) และเวลาการรับเข้า/จ่ายออกสินค้าได้

4.1 ข้อเสนอแนะงานวิจัย

ระบบคลังสินค้า AS/RS แบบ Mini-load ที่มีชั้นจัดเก็บแบบมอดุลาร์เซลล์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับสินค้าที่มีมูลค่าสูง และน้ำหนักเบา เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และในการจำลองสถานการณ์ ควรเก็บข้อมูลเป็นเวลา 12 เดือน เพื่อความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Y. H. Lee, J. M. A. Tanchoco, and S. J. Chun, “Performance estimation models for AS/RS with unequal sized cells,” *International Journal of Production Research*, vol. 37, no. 18, pp. 4197–

4216, 1999.

[2] L. F. Cardona and K. R. Gue, "How to determine slot sizes in a unit-load warehouse," *IISE Transactions*, vol. 51, no. 4, pp. 355–367, 2019.

[3] M. C. Vélez Gallego, D. A. Valencia Ramírez, and C. A. Castro Zuluaga, "A simulation-optimization heuristic for configuring a selective pallet rack system," *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 20, no. 1, pp. 17–24, 2012.

[4] Y. H. Lee, M. Hwan Lee, and S. Hur, "Optimal design of rack structure with modular cell in AS/RS," *International Journal of Production Economics*, vol. 98, no. 2, pp. 172–178, 2005.

[5] S. Leewuthinan, C. Kolitawong and W. Lertwimolnun "Numerical simulations of rubber compounds extruded in a slit die," *The Journal of KMUTNB*, vol. 24, no. 3, pp. 481–491, 2014 (in Thai).

[6] N. Junlawog and C. Pattamaprom, "Simulation of suitable flow conditions for reducing milk fouling in the dairy industry," *The Journal of KMUTNB*, vol. 27, no. 3, pp. 417–430, 2014 (in Thai).

[7] S. Aeimsum-ang and A. Boonmee, "Simulation for the Pineapple in Retort Pouches Process Improvement : A Case Study," *UBU Engineering Journal*, vol. 13, no. 1, pp. 114–126, 2020 (in Thai).

[8] X. S. Xu and H. Bin Xiong, "Research on AS/RS simulation modeling and evaluating based on flexsim software," presented at International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Shanghai, China, 2007.

[9] X. Zhu, R. Zhang, F. Chu, Z. He, and J. Li, "A flexsim-based optimization for the operation process of cold-chain logistics distribution centre," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 12, no. 2, pp. 270–278, 2014.

[10] X. Linwei and Z. X. Li, "Simulation and optimization of logistics collaborative operation based on flexsim," in *Mechanical Engineering and Technology. Advances in Intelligent and Soft Computing*, vol 125. Berlin: Springer, Heidelberg, 2012.

[11] D. Stadnicka, D. Antonelli, and G. Bruno, "Work sequence analysis and computer simulations of value flow and workers' relocations: A case study," in *Proceedings CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering - CIRP ICME '16*, 2017, vol. 62, pp. 159–164.

[12] P. Pawlewski, P. Hoffa-Da browska, and M. E. F. H. S. Marchado, "Warehouse process optimization based on simulation experiments—case study," in *Proceedings 24th International Conference on Production Research (ICPR 2017)*, 2017, pp. 610-614.

[13] C. Bunterngchit, "Simulation-based application in warehouse layout design for reducing material handling time," *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol.8, no.3, pp. 1–14, 2018 (in Thai).

[14] R. J. Patil, P. R. Kubade, and H. B. Kulkarni, "Optimization of machine shop layout by using flexsim software," in *Proceedings AIP Conference Proceedings*, vol. 2200, Issue 1, 2019.

[15] FlexSim Software Products. (2020, October). *Flexsim*. [Online]. Available: https://www.flexsim.com/.