

แนวทางขับเคลื่อนด้วยข้อมูลสำหรับปัญหาการจัดเรียงกล่องบนพาเลท:
กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้าแบบเย็น

กนกวรรณ เหมสมัน¹ และ อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์²

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ 148 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพมหานคร 10240

Received: 24 April 2025; Revised: 17 October 2025; Accepted: 25 December 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้สนใจปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์ในหนึ่งมิติ (One-Dimensional Bin Packing Problem) ภายใต้ข้อกำหนดในการจัดเรียงสินค้าบนพาเลท ซึ่งมีความจุเท่ากันทุกพาเลท (bin) โดยทั่วไปแล้วมีวัตถุประสงค์เพื่อมุ่งเน้นการลดจำนวนพาเลทให้เหลือน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้เน้นความจุของพาเลทในแง่ของความสูงในการวางสินค้า โดยความสูงรวมของสินค้าบนพาเลทต้องไม่เกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ไม่ได้มุ่งเน้นการลดจำนวนพาเลทที่ใช้ให้น้อยที่สุด แต่เน้นการจัดเรียงสินค้าให้สอดคล้องกับข้อกำหนดที่กำหนด ด้วยจำนวนพาเลทที่แน่นอน แนวทางดังกล่าวมีเป้าหมายเพื่อลดระยะเวลาในการดำเนินงานของพนักงานหยิบสินค้า (Order Picking) ลดความเสียหายของสินค้าอันเนื่องมาจากการจัดเรียงที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และสร้างมาตรฐานที่ในศูนย์กระจายสินค้าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Cold Storage Distribution Center) แห่งหนึ่ง ผลการทดลองด้วยใบหยิบสินค้า (Picking list) จำนวน 25 ใบ ด้วยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงฮิวริสติก (Heuristic Algorithm) สองวิธี ได้แก่ First Fit Decreasing (FFD) และ Best Fit (BF) และประมวลผลด้วยโปรแกรม Python พบว่าวิธี First Fit Decreasing มีอัตราความคลาดเคลื่อนไม่เป็นไปตามจำนวนมาตรฐานตามข้อกำหนดต่ำกว่าวิธี Best Fit และเวลาที่ใช้ในการวางแผนจัดสินค้าด้วยวิธี First Fit Decreasing ใช้เวลาน้อยกว่าการปฏิบัติงานจริงของพนักงานโดยเฉลี่ย 916 วินาทีต่อใบ หรือ 15 นาทีต่อใบ หรือ 6 ชั่วโมง 15 นาทีต่อวัน

คำสำคัญ: ปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์ในหนึ่งมิติ, การจัดเรียงสินค้าบนพาเลท, โลจิสติกส์โซ่ความเย็น, วิธีการเชิงฮิวริสติก

* Corresponding author. E-mail: akkaranan.pon@nida.ac.th

¹ สาขาวิชาการวิเคราะห์ข้อมูลและวิทยาการข้อมูล คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

² สาขาวิชาโลจิสติกส์อัจฉริยะและการจัดการห่วงโซ่อุปทาน คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

A Data-Driven Approach to the Carton Packing on Pallets Problem: A Case Study of a Cold-Chain Distribution Center

Kanokwan Hemsaman¹ and Akkaranan Pongsathornwiwat^{*2}

National Institute of Development Administration, 148 Serithai Road, Khlong Chan Subdistrict, Bangkapi District, Bangkok 10240.

Received: 24 April 2025; Revised: 17 October 2025; Accepted: 25 December 2025

Abstract

This research focuses on the One-Dimensional Bin Packing Problem under constraints for arranging products on pallets of equal capacity (bins). Typically, such problems aim to minimize the number of pallets used. However, this research defines pallet capacity in terms of stacking height, where the total height of products on a pallet must not exceed a predetermined limit. The objective is not to minimize the number of pallets used, but rather to arrange products in accordance with specified constraints using a fixed number of pallets. This approach aims to reduce operation time for order picking staff, minimize product damage resulting from improper arrangement, and establish standards for a cold storage distribution center. Experimental results using 25 picking lists, applying two heuristic algorithms—First Fit Decreasing (FFD) and Best Fit (BF)—and processing through Python programming, revealed that the First Fit Decreasing method had a lower deviation rate from standard requirements compared to the Best Fit method. Additionally, planning time using the First Fit Decreasing method was less than the actual operation time by an average of 916 seconds per list, or 15 minutes per list, or 6 hours and 15 minutes per day.

Keywords: one-dimensional bin packing problem, product arrangement, cold chain logistics, heuristic methods

* Corresponding author. E-mail: akkaranan.pon@nida.ac.th

¹ Data Analytics and Data Science, Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

² Smart Logistics and Supply Chain Management, Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในธุรกิจผู้ให้บริการคลังสินค้าโลจิสติกส์ที่ครอบคลุมการเคลื่อนย้ายสินค้า การจัดการคลังสินค้า และการขนส่งสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า มีความซับซ้อนของกระบวนการที่เกี่ยวข้องหลายประการ เช่น การรับสินค้าเข้าคลังสินค้าให้ถูกต้อง การจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า การบริหารจัดการสินค้าคงคลังให้เหมาะสม และการจัดส่งสินค้าตามคำสั่งซื้อ รวมไปถึงการจัดเรียงสินค้าตามคำสั่งซื้อตามข้อกำหนด ซึ่งทุกขั้นตอนจำเป็นต้องดำเนินการด้วยความแม่นยำและมีประสิทธิภาพ

หนึ่งในกระบวนการสำคัญของกรณีศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการส่งมอบสินค้าคือ การจัดวางสินค้าบนพาเลทก่อนส่งไปยังศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งการจัดสินค้าแบ่งออกเป็น การจัดสินค้าลงพาเลทแบบออฟไลน์ (offline bin-packing) หมายถึง การจัดสินค้าลงพาเลทโดยทราบข้อมูลของสินค้าทั้งหมดล่วงหน้า ซึ่งทำให้สามารถวางแผนและจัดสรรพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการจัดสินค้าลงพาเลทแบบออนไลน์ (online bin packing) หมายถึง การจัดสินค้าลงพาเลทในขณะที่เราไม่สามารถทราบรายละเอียดสินค้าที่จะมาในภายหลังได้ ต้องทำการจัดสินค้าทันทีตามรายการที่ได้รับในแต่ละขั้นตอนโดยไม่สามารถวางแผนล่วงหน้าได้ [1] จากการสำหรับสภาพปัญหาเบื้องต้นพบว่า กรณีศึกษาจะทำการจัดสินค้าตามใบหยิบสินค้าที่ทราบรายการสินค้าทั้งหมดก่อนการจัดสินค้า และทราบจำนวนพาเลทที่ต้องใช้ อย่างไรก็ตามใบหยิบสินค้าแต่ละใบนั้นมีความแตกต่างและไม่มีรูปแบบที่ตายตัว จากรหัสสินค้า (SKU) ที่มีมากกว่า 500 รายการและความหลากหลายทั้งในด้านขนาดบรรจุภัณฑ์ น้ำหนัก และรูปแบบการจัดวาง การศึกษาวิจัยสนใจปัญหาการจัดเรียงกล่องบนพาเลท จากกรอบทฤษฎีการหาค่าเหมาะที่สุดที่สำคัญระหว่างการพัฒนาทางทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในสภาพแวดล้อมจริง โดยเฉพาะในบริบทของศูนย์กระจายสินค้าแบบเย็นที่มีข้อจำกัดเฉพาะ การศึกษาในอดีตมักเน้นการลดจำนวนพาเลทให้น้อยที่สุด โดยไม่ได้พิจารณาข้อจำกัดด้านการจัดกลุ่มสินค้า น้ำหนัก และลำดับความสำคัญของสินค้าอย่างครบถ้วน นอกจากนี้ ยังขาดการทดสอบในสภาพแวดล้อม

จริงที่มีความซับซ้อนของรายการสินค้าหลากหลายและมีข้อจำกัดด้านเวลาในการปฏิบัติงาน [2], [3] นอกจากนี้ยังขาดการประยุกต์ใช้การแก้ปัญหาการจัดเรียงสินค้า โดยคำนึงถึงข้อจำกัดในการจัดเรียงสินค้าบนพาเลท เช่น น้ำหนักของสินค้า กลุ่มประเภทสินค้า ลำดับความสำคัญของรายการพิเศษ และความสูงของพาเลทหลังการจัดสินค้า ต้องมีสูงที่สม่ำเสมอ ไม่มีพาเลทใดพาเลทหนึ่งสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป เพราะส่งผลให้สินค้าเสียหายจากการเคลื่อนย้ายด้วยอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ (material handling equipment) ภายในคลังสินค้าหรือในกระบวนการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าได้ [2] การวางสินค้าโดยไม่คำนึงถึงน้ำหนักอาจทำให้สินค้าเสียหายจากการจัดเรียงได้ [3]

ปัจจุบันการจัดเรียงสินค้าบนพาเลทของกรณีศึกษายังไม่มีมาตรฐานที่ชัดเจน พนักงานปฏิบัติงานโดยอาศัยความชำนาญส่วนบุคคล ซึ่งก่อให้เกิดปัญหา เช่น สินค้าเสียหายจากการจัดวางที่ไม่เหมาะสม ระยะเวลาในการจัดสินค้าเพิ่มขึ้นหากเป็นพนักงานใหม่และยังไม่มี ความชำนาญ เกิดการทำงานซ้ำซ้อน เนื่องจากการแก้ไขปัญหาการจัดเรียงสินค้าที่ไม่สอดคล้องกับข้อจำกัดก่อนส่งสินค้า ดังนั้น การหาวิธีในการจัดเรียงสินค้าให้สอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆ จึงมีความสำคัญอย่างมาก นอกจากนี้ วิธีการที่มีประสิทธิภาพจะช่วยปรับปรุงและพัฒนาการทำงานของพนักงานในการหยิบสินค้าให้รวดเร็วยิ่งขึ้น

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ การวิเคราะห์ข้อมูลและการพัฒนาวิธีการจัดเรียงสินค้าบนพาเลทเพื่อลดเวลาในการปฏิบัติงานของพนักงานหยิบสินค้า และลดความเสียหายของสินค้าที่มีสาเหตุมาจากการเรียงสินค้าที่ไม่สอดคล้องกับข้อจำกัด

ข้อจำกัดของการวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์วิธีการคิดในการจัดวางสินค้าบนพาเลทของผู้เชี่ยวชาญ เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการสร้างขั้นตอนการค้นหาคำตอบโดยการจัดเรียงสินค้าบนพาเลทคำนึงถึงการจัดกลุ่มสินค้าตามประเภทและขนาดบรรจุภัณฑ์ การจัดเรียงคำนึงถึงน้ำหนักของสินค้าต่อชั้น (layer) ที่เรียงชิดกันในรูปแบบที่กำหนด กลุ่มสินค้าที่มีน้ำหนักเฉลี่ยมากจะอยู่ชั้นล่างสุด การจัดเรียงกล่องผลิตภัณฑ์จะต้องวางตามรูปแบบที่กำหนดของรหัสสินค้านั้นๆ ไม่สามารถหมุนกล่องในทิศทางต่างๆ ได้

สามารถวางสินค้าได้ไม่เกินความสูงที่กำหนด และใช้พาเลทตามจำนวนที่กำหนด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงพิจารณาเฉพาะความสูงของสินค้าที่วางเรียงในแนวตั้งเท่านั้น เป็นปัญหาการจัดสินค้าบนพาเลทในหนึ่งมิติ ไม่นำความกว้างและความยาวมาพิจารณา เนื่องจากการเรียงสินค้าต้องเรียงเป็นชั้นเต็ม หากรหัสสินค้าใดที่ไม่สามารถเป็นชั้นเต็มได้ จะนำมาวางไว้ชั้นบนสุดเท่านั้น ขนาดพาเลทที่ใช้มีเพียงขนาดเดียว มีความกว้าง 1 เมตร และความยาว 1.2 เมตร (1,000 x 1,200 มิลลิเมตร)

2. ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการจัดเรียงวัตถุลงกล่อง (Bin Packing)

ปัญหาการจัดเรียงวัตถุลงกล่อง (Bin Packing) มีการนำเสนอในงานวิจัยหลายๆ งาน ซึ่งโดยทั่วไปถูกจัดประเภทตามมิติ (dimensionality) ได้แก่ การจัดวัตถุลงกล่องใน 1 มิติ [4], 2 มิติ [5], 3 มิติ [6] และรูปร่าง (shape) ของวัตถุที่มีทั้งรูปทรงสี่เหลี่ยม รูปทรงกลม และรูปทรงอิสระ (irregular shapes) [7, 8] เป็นการจัดวัตถุที่มีขนาดต่างกันลงกล่องหรือบรรจุภัณฑ์ ภายใต้ความจุจำกัดที่เท่ากัน โดยมีเป้าหมายเพื่อบรรจุวัตถุลงกล่องโดยใช้กล่องให้น้อยที่สุด เป็นปัญหาที่อยู่ในกลุ่ม NP-hard [9] ซึ่งยากในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (optimal solution) การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดนั้นใช้เวลาในการคำนวณมากเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น

การจำแนกลักษณะของปัญหาการจัดสินค้าบนพาเลท สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่ม กลุ่มที่หนึ่งคือ ปัญหาการจัดสินค้าบนพาเลทในกระบวนการผลิต (manufacturer's pallet packing problem) มีเป้าหมายเพื่อหาขนาดบรรจุภัณฑ์ กล่อง หรือพาเลท เพื่อบรรจุสินค้าให้ได้มากที่สุดในพื้นที่จำกัด [10] กลุ่มที่สองคือ ปัญหาการจัดเรียงพาเลทในกระบวนการจัดจำหน่าย (distributor's pallet packing problem) ในการกระจายสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้าหรือร้านค้านั้นต้องดำเนินการตามคำสั่งซื้อของลูกค้า ซึ่งใบหีบสินค้าจะมีความหลากหลายของรหัสสินค้า ในหนึ่งพาเลทสามารถวางสินค้าได้มากกว่า 1 รายการ และกล่องสินค้าที่วางบนพาเลทมีขนาดแตกต่างกัน เป้าหมายคือการจัดวางสินค้าบนพาเลทมาตรฐาน โดยใช้พาเลทน้อยที่สุด

ปัญหานี้ต้องหาคำตอบใหม่ทุกครั้งเนื่องจากคำสั่งซื้อมีการเปลี่ยนแปลงและไม่คงที่ [11]

2.2 วิธีการเชิงฮิวริสติก (Heuristic)

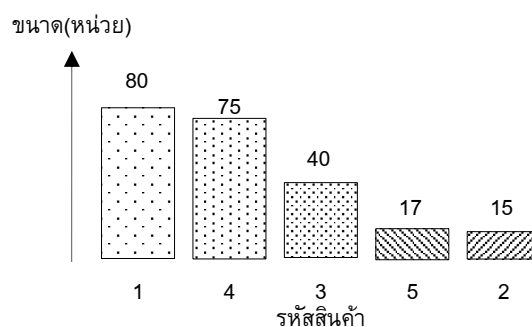
เป็นวิธีการหรือขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับปัญหา โดยคำตอบที่ได้ไม่จำเป็นต้องเป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่สามารถหาคำตอบที่ดีในเวลาที่ยาวนาน [9] ซึ่งวิธีการเชิงฮิวริสติก ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ First Fit Decreasing และ Best Fit

2.2.1 First Fit Decreasing (FFD)

เป็นอัลกอริทึมที่มีชื่อเสียงและถูกใช้อย่างแพร่หลายสำหรับการแก้ปัญหาการจัดวัตถุลงกล่อง โดยวิธีการทำงานเริ่มต้นจากการจัดเรียงรายการวัตถุจากรายการที่มีขนาดใหญ่ไปยังรายการที่มีขนาดเล็ก จากนั้นวัตถุแต่ละชิ้นจะถูกจัดลงในกล่องแรกที่มีพื้นที่เพียงพอ โดยพิจารณาว่าขนาดรวมของวัตถุที่อยู่ในกล่องนั้นยังไม่เกินความจุของกล่องนั้น [12] ตัวอย่างการจัดสินค้าวางบนพาเลท โดยพิจารณาเฉพาะความสูงของสินค้าที่วางเต็มหน้าพาเลทเพียง 1 มิติ กำหนดให้ความสูงของสินค้าวางบนพาเลทสูงไม่เกิน 160 หน่วย

ตารางที่ 1 ปัญหาการจัดสินค้าวางบนพาเลท

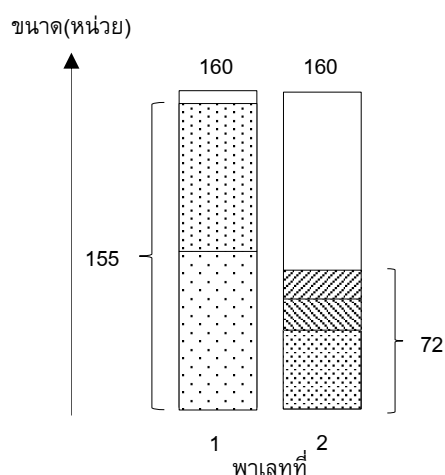
รหัสสินค้า	1	2	3	4	5
ขนาด(หน่วย)	80	15	40	75	17



รูปที่ 1 เรียงลำดับรายการที่มีขนาดใหญ่ไปยังรายการที่มีขนาดเล็ก

จากตารางที่ 1 นำรายการสินค้ามาเรียงลำดับจากรายการที่มีขนาดใหญ่ไปยังรายการที่มีขนาดเล็กได้ดังรูปที่ 1

จากนั้นจัดสินค้าลงกล่องโดยไม่ให้เกิดความจุ 160 หน่วย
จะได้ผลลัพธ์ดังที่แสดงในรูปที่ 2



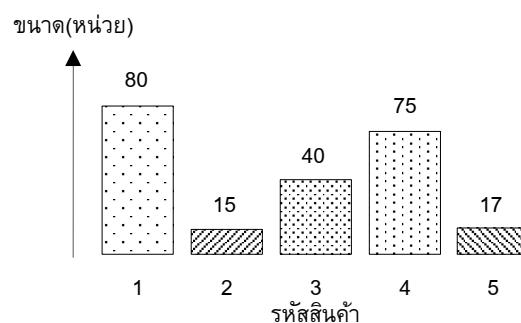
รูปที่ 2 ผลลัพธ์การจัดสินค้าลงพาเลทด้วยวิธี First Fit Decreasing

วิธี First Fit Decreasing ใช้พาเลทในการจัด 2 พาเลท พาเลทที่ 1 จัดสินค้าลงพาเลท 155 หน่วย มีพื้นที่เหลือ 5 หน่วย และพาเลทที่ 2 จัดสินค้าลงพาเลท 72 หน่วย มีพื้นที่เหลือ 88 หน่วย

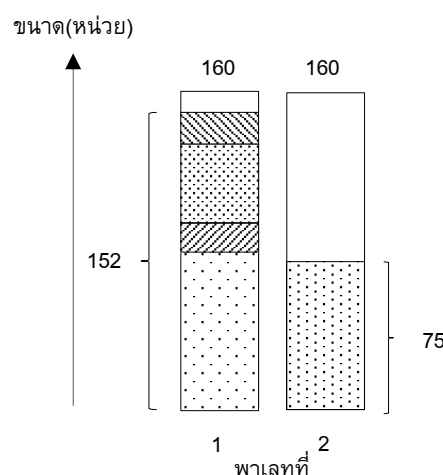
หากมีสินค้ารายการที่ 6 ขนาด 10 หน่วย เป็นขนาดที่เล็กที่สุด จะพิจารณาพื้นที่ที่เหลือในพาเลทที่ 1 เป็นลำดับแรก ซึ่งพาเลทที่ 1 เหลือความจุ 5 หน่วย ไม่สามารถจุสินค้า 10 หน่วยได้ ดังนั้นจึงพิจารณาพาเลทที่ 2 ซึ่งมีพื้นที่เหลือ 88 หน่วย สินค้ารายการที่ 6 จะถูกจัดลงในพาเลทที่ 2 ตามวิธี First Fit Decreasing

2.2.2 Best Fit (BF)

เป็นหนึ่งในวิธีการเชิงฮิวริสติก ที่ใช้แก้ปัญหาการจัดวัตถุลงกล่อง โดยหลักการคือค้นหากล่องที่มีพื้นที่ว่างเหลือใกล้เคียงกับขนาดของวัตถุมากที่สุด [13, 14] แต่ยังสามารถรองรับวัตถุได้โดยไม่เกินความจุของกล่อง เพื่อใช้พื้นที่ในกล่องให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ลดการเสียพื้นที่เปล่าที่ไม่ได้ใช้งาน วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องเรียงขนาดของวัตถุจากปัญหาการจัดสินค้าลงพาเลทในตารางที่ 1 รายการสินค้าไม่มีการเรียงลำดับใหม่แสดงดังรูปที่ 3 ผลลัพธ์การจัดสินค้าลงพาเลทโดยไม่ให้เกิดความจุ 160 หน่วย แสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 รายการสำหรับจัดลงพาเลท โดยไม่เรียงลำดับขนาดของวัตถุ



รูปที่ 4 ผลลัพธ์การจัดสินค้าลงกล่องด้วยวิธี Best Fit

จากรูปที่ 4 วิธี Best Fit เริ่มจากจัดสินค้ารายการที่ 1 2 3 ลงพาเลทที่ 1 รวมขนาดได้ 135 เหลือความจุ 25 หน่วย รายการที่ 4 ขนาด 75 หน่วย ต้องเปิดพาเลทใหม่เป็นพาเลทที่ 2 และเหลือความจุ 85 หน่วย รายการที่ 5 มีขนาด 17 หน่วย จะเลือกพาเลทที่มีความจุเหลือใกล้เคียงกับขนาดของสินค้ามากที่สุด นั่นก็คือพาเลทที่ 1

วิธี Best Fit ใช้พาเลทในการจัด 2 พาเลท พาเลทที่ 1 จัดสินค้าลงพาเลท 152 หน่วย มีพื้นที่เหลือ 8 หน่วย และพาเลทที่ 2 จัดสินค้าลงพาเลท 75 หน่วย มีพื้นที่เหลือ 85 หน่วย ซึ่งพื้นที่ว่างของสองพาเลทแตกต่างกันอย่างมาก หากถูกจัดขึ้นรถขนส่งสินค้าที่ถูกกำหนดจำนวนพาเลทบนพื้น (footprint) เป็นจำนวนที่แน่นอน การที่ความสูงของพาเลทแตกต่างกันมาก อาจทำให้พาเลทที่วางสินค้าสูงกว่าเคลื่อนออกจากพาเลทเดิม ขณะรถขนส่งขับเคลื่อนเพื่อ

นำส่งให้ลูกค้าเนื่องจากไม่มีกล่องสินค้าในระดับใกล้เคียงกันป้องกันไว้

วิธีการ FFD และ BF ถูกเลือกให้เป็นขั้นตอนวิธีเชิงฮิวริสติกพื้นฐานในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการประมวลผลสูงและสามารถอธิบายผลลัพธ์ได้ง่ายสำหรับผู้วางแผนในคลังสินค้า ขั้นตอนวิธีทั้งสองนี้จึงทำหน้าที่เป็นแนวทางอ้างอิง (benchmark) สำหรับการเปรียบเทียบก่อนที่จะขยายไปสู่การใช้วิธีเชิงเมตาฮิวริสติกหรือแบบจำลองที่ใช้ปัญญาประดิษฐ์ (AI-based models)

2.3 วิธีการ Meta-heuristic และ AI-based Algorithms

นอกเหนือจากวิธีการเชิงฮิวริสติกพื้นฐาน งานวิจัยปัจจุบันได้พัฒนาวิธีการขั้นสูงเพื่อแก้ปัญหาการจัดวัตถุลงในกล่อง ซึ่งรวมถึงวิธีการ Metaheuristic ที่ค้นหาคำตอบในระดับสูงกว่าฮิวริสติกทั่วไป เช่น Genetic Algorithm ที่นำเสนอโดย Gonçalves and Resende [15] ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพดีกว่าแต่ใช้เวลาประมวลผลมากกว่า Simulated Annealing ที่ประยุกต์ใช้โดย Loh et al. [4] สำหรับปัญหาการจัดเรียงกล่องหนึ่งมิติที่มีขนาดใหญ่ และ Particle Swarm Optimization ที่พัฒนาโดย Sun et al. [5] สำหรับปัญหาจัดเรียงสองมิติที่มีข้อจำกัดซับซ้อน นอกจากนี้ยังมีการนำเทคนิคด้านปัญญาประดิษฐ์มาประยุกต์ใช้ อาทิ Reinforcement Learning ที่ Hu et al. [16] นำมาใช้เรียนรู้ลำดับการจัดวางที่เหมาะสมโดยเฉพาะเมื่อไม่ทราบข้อมูลล่วงหน้าทั้งหมด Deep Neural Networks ที่ Zhao et al. [17] นำเสนอเพื่อทำนายรูปแบบการจัดวางประสิทธิภาพสูง และแนวทางแบบผสมผสาน (Hybrid approaches) ระหว่าง Machine Learning กับฮิวริสติก โดย Lee et al. [18] ที่พบว่าสร้างสมดุลระหว่างคุณภาพคำตอบและเวลาประมวลผลได้ดี

2.4 การวิเคราะห์ข้อจำกัดของการศึกษาในอดีต

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่างานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงกล่องบนพาเลทมีข้อจำกัดหลายประการที่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานจริง

2.4.1 ข้อจำกัดด้านการสร้างแบบจำลอง

การศึกษาส่วนใหญ่ [4, 5, 7, 9] มักเน้นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดในทางปฏิบัติอย่างครบถ้วน เช่น [4] มุ่งเน้นการลดจำนวนพาเลทให้น้อยที่สุดโดยไม่ได้พิจารณาข้อจำกัดเรื่องน้ำหนักและลำดับในการวางสินค้า ซึ่งมีความสำคัญในศูนย์กระจายสินค้าแบบเย็นที่มีสินค้าหลากหลายประเภทและน้ำหนักที่แตกต่างกัน [6] แม้จะพิจารณาปัญหาในสามมิติ แต่ไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดด้านการรวมกลุ่มสินค้าตามประเภท ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในกระบวนการหยิบสินค้า

2.4.2 ข้อจำกัดด้านลักษณะของข้อมูล

งานวิจัย [5, 8, 10] ใช้ข้อมูลสังเคราะห์หรือข้อมูลจากกรณีศึกษาที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก [5] ใช้ข้อมูลจำลองที่มีเพียง 50-100 รายการสินค้า ซึ่งแตกต่างจากสภาพความเป็นจริงในศูนย์กระจายสินค้าที่มีรายการสินค้าหลายร้อยรายการ [10] แม้จะศึกษาในบริบทของโรงงานผลิตในประเทศไทย แต่มีรายการสินค้าเพียง 30-40 รายการ ซึ่งไม่สะท้อนความซับซ้อนของปัญหาในศูนย์กระจายสินค้าแบบเย็น

2.4.3 ข้อจำกัดด้านการประเมินประสิทธิภาพ

การศึกษาส่วนใหญ่ [7, 12 – 14] มุ่งเน้นการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในแง่ของการลดจำนวนพาเลทหรือการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ไม่ได้ประเมินผลกระทบต่อกระบวนการทำงานจริง เช่น ระยะเวลาในการหยิบสินค้า ความเสียหายของสินค้า หรือความง่ายในการปฏิบัติตาม [12] เน้นการเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึม First Fit Decreasing แต่ไม่ได้ทดสอบในสภาพแวดล้อมจริงที่มีพนักงานหยิบสินค้าเป็นผู้ปฏิบัติตามแผน

2.4.4 ข้อจำกัดด้านความแตกต่างของบริบท

งานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่ [6, 11, 13] ดำเนินการในบริบทของศูนย์กระจายสินค้าทั่วไป ไม่ได้พิจารณาข้อจำกัดเฉพาะของศูนย์กระจายสินค้าแบบเย็น เช่น ข้อจำกัดด้านเวลาในการหยิบสินค้าเนื่องจากสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำ [11] ศึกษาปัญหาการจัดเรียงพาเลทในกระบวนการจัดจำหน่าย แต่ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะเฉพาะ

ของสินค้าที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งมีข้อจำกัดเพิ่มเติมในด้านกระบวนการทำงาน

2.5 ช่องว่างในงานวิจัยและความสำคัญของการศึกษานี้

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางสนับสนุนการตัดสินใจเชิงปฏิบัติที่ผสมผสานข้อจำกัดในการปฏิบัติงานหลายด้าน (เช่น ความสูง น้ำหนัก และประเภทสินค้า) ภายใต้สภาพแวดล้อมของศูนย์กระจายสินค้าแบบควบคุมอุณหภูมิจริง โดยมีเป้าหมายเพื่อเชื่อมโยงช่องว่างระหว่างแบบจำลองเชิงทฤษฎีของปัญหาการบรรจุกล่อง (Bin Packing Models) กับการปฏิบัติงานจริงในคลังสินค้า อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิเคราะห์ข้อจำกัดของการศึกษาในอดีต สามารถระบุช่องว่างในงานวิจัยที่การศึกษานี้มุ่งเติมเต็ม ดังนี้

2.5.1 ช่องว่างระหว่างทฤษฎีและการปฏิบัติ

แม้จะมีการพัฒนาอัลกอริทึมหลากหลายสำหรับปัญหาการจัดเรียงกล่อง แต่ยังมีช่องว่างระหว่างการพัฒนาทางทฤษฎีและการนำไปประยุกต์ใช้จริง การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการปรับปรุงอัลกอริทึมให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมการทำงานจริงในศูนย์กระจายสินค้าแบบเย็น โดยคำนึงถึงทั้งประสิทธิภาพของอัลกอริทึมและความสามารถในการนำไปปฏิบัติได้จริง

2.5.2 การบูรณาการข้อจำกัดที่หลากหลาย

งานวิจัยส่วนใหญ่มักพิจารณาข้อจำกัดเพียงบางส่วน เช่น น้ำหนัก ความสูง หรือประเภทสินค้า แต่ไม่ได้บูรณาการข้อจำกัดเหล่านี้เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ การศึกษานี้จึงนำเสนอวิธีการที่ผสมผสานข้อจำกัดหลายด้านเข้าด้วยกัน ได้แก่ ข้อจำกัดด้านกลุ่มประเภทสินค้า น้ำหนัก ความสูง ลำดับความสำคัญ และข้อกำหนดพิเศษของรายการสินค้า

2.5.3 การประเมินผลในสภาพแวดล้อมจริง

การประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในสภาพแวดล้อมจริงยังมีอยู่จำกัด การศึกษานี้จึงเติมเต็มช่องว่างนี้ด้วยการทดสอบอัลกอริทึมกับข้อมูลจริงจากใบหีบสินค้า และประเมินผลในแง่ของเวลาที่ใช้ในการวางแผน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการปฏิบัติงานประจำวัน

2.5.4 ความต้องการของอุตสาหกรรมโลจิสติกส์โซ่ความเย็น

งานวิจัยที่มุ่งเน้นการแก้ปัญหาเฉพาะในบริบทของศูนย์กระจายสินค้าแบบเย็นยังมีจำนวนจำกัด ในขณะที่อุตสาหกรรมโลจิสติกส์โซ่ความเย็นมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว การศึกษานี้จึงมีความสำคัญในการพัฒนาองค์ความรู้เฉพาะด้านที่ตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมนี้ การระบุช่องว่างในงานวิจัยเหล่านี้ช่วยแสดงให้เห็นถึงคุณค่าและความสำคัญของการศึกษานี้ ทั้งในเชิงทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ โดยการศึกษานี้ไม่เพียงแต่นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเรียงกล่องบนพาเลทด้วยวิธีการเชิงฮิวริสติก แต่ยังมุ่งเน้นการพัฒนาวิธีการที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในบริบทของศูนย์กระจายสินค้าแบบเย็น ซึ่งมีข้อจำกัดและความท้าทายเฉพาะตัว

3. ระเบียบวิธีวิจัย

3.1 แหล่งที่มาของข้อมูล

3.1.1 ประวัติคำสั่งซื้อของลูกค้าย้อนหลังเป็นระยะเวลา 6 เดือน

ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะของคำสั่งซื้อ ซึ่งข้อมูลในคำสั่งซื้อที่สำคัญได้แก่ ชื่อศูนย์กระจายสินค้า รายการสินค้า และจำนวนสินค้า ซึ่งมีหน่วยเป็นกล่อง (case) ซึ่งจำนวนสินค้าในคำสั่งซื้อ มีทั้งจำนวนที่รวมเป็นพาเลทเต็มได้ จำนวนที่รวมเป็นชั้นได้ และจำนวนที่ไม่สามารถรวมเป็นชั้นได้ จากข้อมูล จำนวนใบหีบสินค้าเฉลี่ยต่อวันเท่ากับ 25 ใบ

3.1.2 ฐานข้อมูลของรายการสินค้า

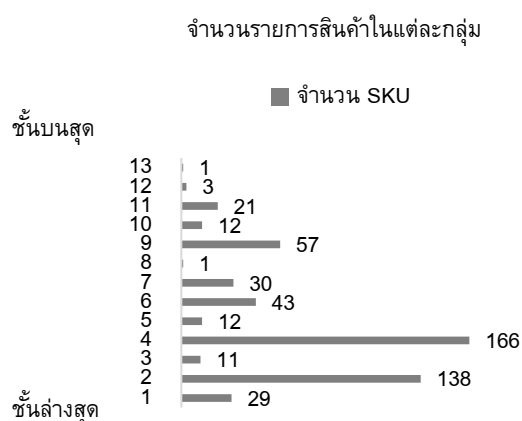
แต่ละรายการที่ประกอบไปด้วยรายละเอียดของสินค้าและบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ รหัสสินค้า ชื่อสินค้า ขนาดกล่องสินค้า ที่ระบุความกว้าง ความยาว และความสูงของกล่อง หน่วยเป็นเซนติเมตร น้ำหนักต่อกล่อง (weight/case Kg.) น้ำหนักต่อชั้น (weight/layer Kg.) หน่วยเป็นกิโลกรัม จำนวนกล่องต่อชั้น (case/layer) จำนวนชั้นต่อพาเลท (layer/pallet) จำนวนกล่องต่อพาเลท (case/pallet) เป็นต้น โดยรหัสสินค้าเป็นข้อมูลที่ไม่มีการซ้ำ (primary key)

3.1.3 ไบฮิบลิสน์

สุมไบฮิบลิสน์จำนวน 25 ไบจากชุดข้อมูลย้อนหลัง 6 เดือน โดยใช้วิธีการสุมแบบแบ่งชั้น (stratified sampling) ตามประเภทสินค้า เพื่อให้มั่นใจว่าการกระจายตัวของข้อมูลมีความเป็นตัวแทนของกลุ่มสินค้าทั้งหมดอย่างเหมาะสม ซึ่งข้อมูลในไบฮิบลิสน์ประกอบด้วย ชื่อศูนย์กระจายสินค้า ชื่อสินค้า รหัสสินค้า จำนวนกล่อง ล็อกที่เก็บสินค้า (location) และจำนวนพาเลทที่ต้องใช้ในการจัดสินค้าสำหรับโหลดขึ้นรถขนส่ง (จำนวนพาเลท 12 หรือ 13 พาเลท) ซึ่งถูกกำหนดโดยพนักงานวางแผน (planner)

3.2 การเตรียมข้อมูล

3.2.1 แบ่งกลุ่มรายการสินค้าและกำหนดลำดับในการเรียง



รูปที่ 5 จำนวนรายการสินค้าในแต่ละกลุ่มเรียงตามลำดับการเรียงบนพาเลทจากชั้นล่างสุดไปชั้นบนสุด

จากฐานข้อมูลของรายการสินค้านำมาแบ่งกลุ่มสินค้าและกำหนดลำดับในการเรียงบนพาเลทเพิ่ม โดยเริ่มจากแบ่งตามประเภทของสินค้าแบ่งได้ 10 กลุ่ม และจาก 10 กลุ่มนำมาแบ่งด้วยขนาดของบรรจุภัณฑ์แบ่งได้ 13 กลุ่ม จาก 13 กลุ่ม คำนวณน้ำหนักต่อชั้นเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มเพื่อพิจารณาให้สินค้าที่มีน้ำหนักเฉลี่ยต่อชั้นมากอยู่ชั้นล่าง เพื่อไม่ให้สินค้าที่มีน้ำหนักมากวางบนสินค้าที่มีน้ำหนักเบา จากนั้นพิจารณากลุ่มสินค้าประเภทที่มีความเสี่ยงที่จะเสียหายอยู่ชั้นบน และลำดับสุดท้ายคือสินค้าพิเศษที่มีความเสี่ยงมากที่สุดจะต้องอยู่ชั้นบนสุดเท่านั้น ปัจจุบันมี 1 รายการ กำหนดลำดับจาก 1-13 โดยให้ 1 คือลำดับที่อยู่ชั้น

ล่างสุด และ 13 คือรายการที่ต้องอยู่ชั้นบนสุดเท่านั้น จำนวนของรายการสินค้าในแต่ละกลุ่มดังรูปที่ 5

3.2.2 เลือกไบฮิบลิสน์

สุมไบฮิบลิสน์จำนวน 25 ไบเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง โดยไบฮิบลิสน์แต่ละไบถูกกำหนดจำนวนพาเลทที่ต้องใช้โดยพนักงานวางแผน จากไบฮิบลิสน์ทั้งหมด 25 ไบ ใช้พาเลท 12 พาเลทจำนวน 8 ไบ และใช้ 13 พาเลทจำนวน 17 ไบ

3.2.3 เตรียมไฟล์ (excel file) ข้อมูลเพื่อประมวลผลหาคำตอบด้วยโปรแกรม python

ดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลเชื่อมต่อกับไบฮิบลิสน์ โดยใช้รหัสสินค้าเป็น Primary key เพื่อเตรียมไฟล์ข้อมูลจากฐานข้อมูลของรายการสินค้า ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเรียงลำดับการวางได้แก่ กลุ่มสินค้า ลำดับในการเรียงน้ำหนักสินค้าต่อชั้น ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณความสูงรวมของรหัสสินค้า และความสูงของพาเลท ได้แก่ ความสูงของกล่อง จำนวนกล่องต่อชั้น จำนวนชั้นต่อพาเลท และจำนวนกล่องต่อพาเลท ข้อมูลเหล่านี้ยังนำมาใช้ในการคำนวณหาจำนวนพาเลทเต็ม จำนวนชั้นเต็ม และจำนวนกล่องที่เป็นเศษไม่สามารถเรียงให้เต็มชั้นได้

กรณีรหัสสินค้าที่เป็นเศษจะต้องพิจารณาว่าสามารถรวมกับรหัสสินค้าอื่นในกลุ่มเดียวกัน ที่มีความสูงเท่ากัน และจำนวนกล่องต่อชั้นเท่ากันให้เป็นชั้นเต็มได้หรือไม่ หากสามารถรวมกันได้ จะนำไปคำนวณเพื่อหาคำตอบในการจัดวางและเรียงลำดับบนพาเลทด้วย แต่หากไม่สามารถรวมเป็นชั้นเต็มได้ จะถูกแยกโดยไม่นำไปคำนวณในการจัดเรียง ซึ่งรหัสสินค้าที่เป็นเศษจะถูกวางอยู่ชั้นบนสุดของพาเลทเท่านั้น

ตารางที่ 2 ตัวอย่างการเชื่อมต่อข้อมูลที่ใช้คำนวณจำนวนพาเลทเต็ม จำนวนชั้นเต็ม จำนวนกล่องที่เป็นเศษ และความสูงรวม

ข้อมูลจากใบหิบบสินค้า		ข้อมูลจากฐานข้อมูล			
รหัสสินค้า	จำนวนกล่อง	จำนวนกล่อง/ชั้น	จำนวนชั้น/พาเลท	จำนวนกล่อง/พาเลท	ความสูง/กล่อง
00001	10	25	8	200	20
00002	10	25	8	200	20
00003	5	25	8	200	20
00004	24	24	11	264	15.6
00005	40	20	14	280	11.6
00006	276	23	12	276	14.6
00007	35	25	8	200	20
00008	21	0	0	21	0

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การคำนวณความสูงรวมของรหัสสินค้าจากจำนวนสินค้าในใบหิบบสินค้า

ข้อมูลจากใบหิบบสินค้า		ผลลัพธ์การคำนวณ			
รหัสสินค้า	จำนวนกล่อง	จำนวนพาเลท	จำนวนชั้น	จำนวนกล่องเศษ	ความสูงรวมของรหัสสินค้า
00001	10	0	0	10	0
00002	10	0	0	10	0
00003	5	0	0	5	0
00004	24	0	1	0	15.6
00005	40	0	2	0	23.2
00006	276	1	0	0	175.2
00007	35	0	1	10	20
00008	21	0	0	21	0

หมายเหตุ ความสูงรวมของรหัสสินค้าไม่รวมความสูงของกล่องเศษ

ตารางที่ 4 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเรียงลำดับการวาง

รหัสสินค้า	กลุ่มสินค้า	ลำดับการเรียง	น้ำหนักต่อชั้น (Kg.)
00001	A	1	92.5
00002	A	1	92.5

รหัสสินค้า	กลุ่มสินค้า	ลำดับการเรียง	น้ำหนักต่อชั้น (Kg.)
00003	A	1	90.8
00004	B	2	59.5
00005	B	2	41.6
00006	D	4	57
00007	A	1	93.8
00008	H	10	38.2

3.3 ตัวแบบในการวิเคราะห์ข้อมูลและการออกแบบการทำงานของโปรแกรม

ในการหิบบสินค้าเรียงบนพาเลทสำหรับงานวิจัยนี้มีจำนวนพาเลท ที่ถูกกำหนดไว้แล้ว แต่ความซับซ้อนของงานนี้คือการจัดสินค้าที่มีการสั่ง (order) ที่หลากหลาย ลูกค้านำมาสั่งเป็นพาเลทเต็ม ชั้นเต็มมากกว่าสั่งเป็นกล่องเศษ หรือลูกค้าบางราย สั่งสินค้าเป็นกล่องเศษ แต่สามารถวางรวมให้เป็นชั้นเต็มได้ มากกว่าสั่งเป็นพาเลทเต็ม และชั้นเต็ม ซึ่งลักษณะการสั่งแบบนี้ มีความยากมากกว่า นอกจากนั้นในการจัดสินค้าต้องคำนึงถึงความสูงของแต่ละพาเลท ความสูงจะต้องไม่แตกต่างกันมากจนเกินไป ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 และ รูปที่ 4 เพื่อป้องกันความเสียหายจากการขนส่ง ดังนั้น จึงเลือกนำวิธีการเชิงฮิวริสติก 2 วิธี มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ ได้แก่ First Fit Decreasing และ Best Fit ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดี และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อย เนื่องจากงานนี้ต้องการเรียงลำดับสินค้าให้สอดคล้องกับข้อจำกัด โดยมีการกำหนดจำนวนพาเลทที่ต้องใช้แล้ว จึงออกแบบการทำงานของโปรแกรมโดยคำนึงถึงสภาพแวดล้อมในการทำงานปัจจุบัน คือการจัดเก็บสินค้าในโลเคชั่นมีการจัดเก็บตามประเภทสินค้า และวิธีการทำงานของผู้เชี่ยวชาญ คือ การจัดกลุ่มของกลุ่มสินค้าที่ใกล้เคียงกันไว้พาเลทเดียวกันก่อน จากนั้นจึงนำวิธีการเชิงฮิวริสติก ทั้ง 2 วิธีเข้าไปช่วยเรื่องการจัดลำดับการเรียงให้สอดคล้องกับข้อจำกัด ซึ่งขั้นตอนมีดังนี้

3.3.1 นำข้อมูลเข้าโปรแกรม python

ข้อมูลนำเข้าโปรแกรมได้แก่ ชุดข้อมูลจากใบหิบบสินค้าที่เชื่อมต่อข้อมูลกับฐานข้อมูลเตรียมเป็นไฟล์ Excel

และจำนวนพาเลทที่ต้องการ ซึ่งกำหนดโดยพนักงานฝ่ายวางแผน

3.3.2 คำนวณความสูงรวมของสินค้า

จากจำนวนกล่องในใบหีบสินค้า นำมาคำนวณหาจำนวนพาเลทเต็ม จำนวนชั้นเต็ม และจำนวนกล่องเศษ ตัวอย่างการคำนวณกรณีจำนวนกล่องรวมเป็นจำนวนชั้นเต็มได้ ใช้จำนวนชั้นเต็มคูณกับความสูงต่อกล่องของรายการสินค้านั้นๆ เช่น จากตารางที่ 2 รหัสสินค้า 00005 ให้หีบสินค้าจำนวน 40 กล่อง โดยรูปแบบการเรียงบนพาเลทของรายการนี้คือ 1 ชั้นวางได้ 20 กล่อง ดังนั้นจำนวนชั้นเต็มที่ได้เท่ากับ 2 ชั้น ความสูงกล่องของรายการนี้คือ 11.6 เซนติเมตร ความสูงต่อ 1 ชั้น เท่ากับความสูงของกล่อง ความสูงรวมของรายการนี้ คือ $11.6 \times 2 = 23.2$ เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3

กรณีสินค้าเป็นเศษ จะนำมาพิจารณาร่วมกัน หากเป็นสินค้าที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน มีรูปแบบในการเรียงเหมือนกัน และความสูงกล่องเท่ากัน จะนำจำนวนกล่องมารวม หากรวมแล้วได้เป็นชั้นเต็ม จะนำมาคำนวณความสูงรวมด้วย เช่น รหัสสินค้า 00001, 00002 และ 00003 จากตารางที่ 3 ทั้ง 3 รายการนี้มีแต่จำนวนกล่องเศษ จากตารางที่ 4 พบว่าเป็นสินค้าในกลุ่ม A เหมือนกัน จากตารางที่ 2 จำนวนกล่องต่อชั้น จำนวนชั้นต่อพาเลทเท่ากันทั้ง 3 รายการ ดังนั้นรูปแบบในการเรียงจึงเหมือนกัน และความสูงเท่ากัน จำนวนรวมของ 3 รายการได้ 25 กล่อง เท่ากับจำนวนกล่องต่อชั้น ทั้ง 3 รายการนี้รวมกันเป็นชั้นเต็มได้ 1 ชั้น และความสูงของชั้นจะเท่ากับ 20 เซนติเมตร ซึ่งความสูงที่ได้จะถูกนำไปคำนวณความสูงรวมของรายการสินค้า

กรณีที่สินค้าเป็นเศษ และไม่สามารถรวมกับรายการอื่นเป็นชั้นเต็มได้ หรือ สินค้าที่มีจำนวนชั้นเต็มและมีกล่องเศษด้วย ความสูงของกล่องเศษนี้จะไม่นำไปคำนวณความสูงรวมของสินค้า

3.3.3 กำหนดความสูงของแต่ละพาเลท

หนึ่งในข้อจำกัดการวางสินค้าคือ ความสูงของสินค้าบนพาเลทต้องไม่เกิน 185 เซนติเมตร และความสูงของแต่ละพาเลทต้องไม่แตกต่างกันมากเกินไป ดังนั้นหากทำการจัดเรียงโดยใช้ความสูง 185 เซนติเมตรสำหรับทุกพา

เลท และแก้ปัญหาการจัดสินค้าลงพาเลทด้วยวิธีการเชิงฮิวริสติก First Fit Decreasing และ Best Fit อาจทำให้เหลือพาเลทที่ไม่มีสินค้าใต้วง เนื่องจากวิธีดังกล่าวจะหาทำการบรรจุสินค้าในพาเลทที่มีพื้นที่เหลือจนไม่สามารถที่จะบรรจุได้ งานวิจัยนี้จึงออกแบบขั้นตอนการแก้ไขปัญหา โดยการคำนวณหาความสูงของแต่ละพาเลทที่จะจัดสินค้าเพื่อให้ได้จำนวนพาเลทตามที่กำหนด

วิธีคำนวณความสูงของแต่ละพาเลท คำนวณจากความสูงรวมของสินค้าทั้งหมด ยกเว้นความสูงของกล่องเศษที่ไม่สามารถรวมเป็นชั้นได้ หาค่าด้วยจำนวนพาเลทที่กำหนดซึ่งมีค่าเท่ากับ 12 หรือ 13 เท่านั้น จะได้ความสูงเฉลี่ยของแต่ละพาเลท แต่เนื่องจากความสูงของแต่ละรายการที่แตกต่างกัน ในทางปฏิบัติแล้ว ความสูงของแต่ละพาเลทจึงไม่เท่ากันทุกพาเลท จึงนำค่าเฉลี่ยความสูงของพาเลทบวกด้วยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 8 เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากประวัติการจัดเรียงสินค้าของพนักงานในอดีตเพื่อให้สามารถแก้ปัญหาการจัดวัตถุลงกล่องได้ โดยไม่ใช้พาเลทเกินกำหนด

3.3.4 รวมกลุ่มสินค้าที่จัดในพาเลทเดียวกันได้

รายการสินค้าที่จำนวนรวมเป็นพาเลทเต็มไม่ต้องนำมาจัดใหม่ และรายการที่เป็นกล่องเศษจะแยกไว้จัดลงพาเลทในขั้นตอนสุดท้าย ขั้นตอนนี้จะนำรายการที่เป็นชั้นเต็มมาคำนวณเท่านั้น โดยนำรายการสินค้าที่เป็นชั้นเต็มหาความสูงรวมของแต่ละกลุ่ม จากทั้งหมด 10 กลุ่ม แล้วใช้วิธีการ First Fit Decreasing หรือ Best Fit เพื่อหากรุปสินค้าที่สามารถจัดรวมพาเลทกันได้ ในขั้นตอนความสูงรวมของกลุ่มบางกลุ่มอาจเกินความสูงที่กำหนดที่คำนวณได้จากข้อ 3.3.3 จะยังไม่มีผลในการหาคำตอบ เนื่องจากขั้นตอนนี้ต้องการหาว่ากลุ่มสินค้าใดบ้างที่สามารถรวมพาเลทกันได้ เพื่อไม่ให้มีสินค้าหลายกลุ่มใน 1 พาเลท และมีความง่ายสำหรับพนักงานหีบสินค้า ตัวอย่างการใช้วิธี First Fit Decreasing ในการจัดกลุ่มสินค้าที่สามารถรวมพาเลทกันได้ โดยกำหนดให้ความสูงแต่ละพาเลทที่คำนวณได้เท่ากับ 168 เซนติเมตร แสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การจัดกลุ่มสินค้าที่สามารถรวมพาเลทกันได้โดยใช้วิธี First Fit Decreasing

กลุ่มสินค้า	ความสูงรวม	รวมกลุ่มสินค้า กลุ่มที่
D	791.5	1
F	251.3	2
B	225	3
E	197.4	4
A	180	5
H	111.7	6
J	70.5	7
I	54	6
C	34.8	7
G	14.2	7

จากตารางที่ 5 รวมกลุ่มสินค้ากลุ่มที่ 1-5 ความสูงของกลุ่มเกิน 168 เซนติเมตร หมายความว่า กลุ่มสินค้าเหล่านี้สามารถจัดสินค้าลงพาเลทโดยที่ไม่มีกลุ่มอื่นรวมอยู่ด้วยมากกว่า 1 พาเลท ส่วนการรวมกลุ่มสินค้ากลุ่มที่ 6-7 มีกลุ่มสินค้าอย่างน้อย 2 กลุ่มที่จัดในพาเลทเดียวกันได้โดยที่ความสูงไม่เกิน 168 เซนติเมตรได้ 1 พาเลท

ตารางที่ 6 การจัดกลุ่มสินค้าที่สามารถรวมพาเลทกันได้โดยใช้วิธี Best Fit

กลุ่มสินค้า	ความสูงรวม	รวมกลุ่มสินค้า กลุ่มที่
A	180	1
C	34.8	2
F	251.3	3
H	111.7	2
G	14.2	4
I	54	4
J	70.5	4
D	791.5	5
E	197.4	6
B	225	7

จากตารางที่ 6 วิธี Best Fit รวมกลุ่มสินค้ากลุ่มที่ 1, 3, 5, 6, 7 ความสูงของกลุ่มเกิน 168 เซนติเมตร และกลุ่มที่ 2 และ 4 มีกลุ่มสินค้าอย่างน้อย 2 กลุ่มที่จัดในพาเลทเดียวกันได้โดยที่ความสูงไม่เกิน 168 เซนติเมตรได้ 1 พาเลท

3.3.5 จัดสินค้าที่ละรายการทีละกลุ่ม

จัดสินค้าแต่ละรายการทีละกลุ่มที่ได้จากข้อ 3.3.4 โดยใช้วิธี First Fit Decreasing หรือ Best Fit แต่เนื่องจากการเรียงลำดับสินค้าในการวางบนพาเลทนั้นมีข้อจำกัด ซึ่งได้ทำการกำหนดลำดับความสำคัญในการเรียงไว้แล้ว โดยกลุ่มที่ได้ลำดับที่ 1 เป็นชั้นล่างสุด และกลุ่มที่ได้ลำดับที่ 13 คือชั้นบนสุด

สำหรับวิธี First Fit Decreasing จะต้องทำการเรียงลำดับกลุ่มของรายการสินค้าจากน้อยไปมาก จากนั้นจึงเรียงลำดับความสูงรวมของรายการสินค้าจากมากไปน้อย แล้วทำการแก้ปัญหาโดยวิธี First Fit Decreasing หลังจากจัดสินค้าลงพาเลทครบทุกรายการแล้ว จะทำการเรียงลำดับในการวางสินค้าอีกครั้ง โดยเรียงลำดับของกลุ่มสินค้าจากน้อยไปมาก และเรียงลำดับน้ำหนักสินค้าจากมากไปน้อย สำหรับวิธี Best Fit จะทำการเรียงลำดับกลุ่มของรายการสินค้าจากน้อยไปมาก จากนั้นเรียงลำดับน้ำหนักต่อชิ้นของรายการสินค้าจากมากไปน้อย แล้วทำการแก้ปัญหาโดยวิธี Best Fit

หลังจากจัดสินค้าลงพาเลทแล้ว หากมีพาเลทไหนที่เหลือความจุมากกว่า 2 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (8 เซนติเมตร) จะนำรายการสินค้าที่อยู่ในพาเลทนั้นๆ มารวมกันทั้งหมด แล้วทำการจัดใหม่อีกครั้ง

3.3.6 จัดสินค้าลงพาเลทให้กับรายการที่เป็นกล่องเศษไม่มีชั้นเต็ม และรายการที่เป็นกล่องเศษแต่มีชั้นเต็ม

รายการสินค้าที่จำนวนกล่องเป็นเศษ ไม่มีชั้นเต็ม และไม่สามารถรวมกับรายการอื่นเป็นชั้นเต็มได้ จะถูกจัดให้อยู่ในพาเลทที่มีกลุ่มสินค้าเดียวกันและมีความจุเหลือมากที่สุด หากไม่มีสินค้ากลุ่มเดียวกันเลย จะถูกจัดให้อยู่ในพาเลทที่มีความจุเหลือมากที่สุดชั้นบนสุด

สำหรับรายการที่เป็นกล่องเศษแต่มีชั้นเต็ม กล่องเศษของรายการนั้นจะต้องถูกจัดให้อยู่ในพาเลทเดียวกันชั้นบนสุด ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการจัดสินค้า ห้ามสินค้ารายการเดียวกันแยกพาเลทกัน

3.4 เหตุผลในการเลือกวิธีการเชิงฮิวริสติก

แม้ว่าในปัจจุบันจะมีวิธีการแก้ปัญหาการจัดวางที่หลากหลาย ทั้งวิธี Metaheuristic และ AI-based algorithms งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการเชิงฮิวริสติก First Fit Decreasing และ Best Fit ด้วยเหตุผลสำคัญหลายประการ ได้แก่ ข้อจำกัดด้านเวลาในการประมวลผลเนื่องจากใบหิบบสินค้าต้องได้รับการวางแผนทุกวัน (เฉลี่ย 25 ใบต่อวัน) จึงต้องการวิธีการที่ให้คำตอบที่ยอมรับได้ในเวลาอันรวดเร็ว ความเข้าใจง่ายและการนำไปปฏิบัติเพราะพนักงานในศูนย์กระจายสินค้าสามารถเข้าใจและปฏิบัติตามวิธีการนี้ได้โดยง่าย ประสิทธิภาพในปัญหาขนาดเล็กถึงกลางที่เพียงพอสำหรับจำนวนรายการสินค้าและพาเลทในขนาดที่ศึกษา และข้อจำกัดด้านทรัพยากรการประมวลผลเมื่อเทียบกับวิธีการ Metaheuristic หรือ AI-based ที่ต้องการทรัพยากรมากกว่า อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในอนาคตจะพิจารณานำวิธีการขั้นสูง เช่น Genetic Algorithm หรือ Reinforcement Learning มาทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการเชิงฮิวริสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลอง

จากการนำชุดข้อมูลใบหิบบสินค้า 25 ชุด มาทำการจัดสินค้าลงพาเลทตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ โดยใช้วิธีการเชิงฮิวริสติก 2 วิธีเปรียบเทียบกัน พบว่าวิธีการจัดโดยใช้วิธี First Fit Decreasing มี 2 ชุดข้อมูลที่จัดแล้วใช้พาเลทเกินจากแผน คือชุดข้อมูลที่ 7 และ 18 ผลลัพธ์ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 7 และค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ 25 ชุดเท่ากับ 9.62 เซนติเมตร ส่วนวิธีการจัดโดยใช้วิธี Best Fit มี 7 ชุดข้อมูลที่จัดแล้วใช้พาเลทเกินจากแผน คือชุดข้อมูลที่ 3, 7, 8, 9, 14, 18 และ 20 ผลลัพธ์ทั้งหมดแสดงในตารางที่ 8 และค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ 25 ชุดเท่ากับ 12.69 เซนติเมตร วิธี Best Fit ได้จำนวนชุดข้อมูลที่จัดแล้วจำนวนพาเลทเกินจากแผนเพิ่มขึ้น 5 ชุดข้อมูล

ตารางที่ 7 ผลการวิจัยของการใช้วิธี First Fit Decreasing ในการจัดสินค้าลงพาเลท

ชุด ข้อ มูล	จำนวน พาเลท (แผน)	จำนวน กล่อง ทั้งหมด	ความ สูง เฉลี่ย/ พาเลท	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	จำนวน พาเลทที่ได้ จริง
1	12	2107	116.52	6.93	12
2	13	3236	163.66	10.31	13
3	12	2968	160.87	4.06	12
4	13	3073	161.04	7.19	13
5	12	1917	142.20	11.83	12
6	13	3144	158.46	6.34	13
7	12	2905	149.34	31.25	13
8	13	3065	156.49	2.98	13
9	13	2908	150.31	7.30	13
10	13	3095	159.27	7.17	13
11	13	3119	162.16	8.12	13
12	13	2705	142.18	14.84	13
13	12	2321	132.72	5.98	12
14	13	3074	155.55	5.32	13
15	13	2820	151.34	11.48	13
16	13	3183	162.71	10.11	13
17	13	2739	141.10	9.27	13
18	13	2962	149.40	28.85	14
19	12	2532	142.47	9.03	12
20	13	3046	154.72	7.43	13
21	13	2859	147.89	8.00	13
22	13	3029	155.64	8.05	13
23	12	2477	138.98	5.84	12
24	13	3116	158.67	6.84	13
25	12	2081	116.08	6.00	12

ตารางที่ 8 ผลการวิจัยของการใช้วิธี Best Fit ในการจัด
สินค้าลงพาเลท

ชุด ข้อมูล	จำนวน พาเลท (แผ่น)	จำนวน กล่อง ทั้งหมด	ความสูง เฉลี่ย/ พาเลท	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน	จำนวน พาเลทที่ ได้จริง
1	12	2107	116.52	6.19	12
2	13	3236	163.66	9.88	13
3	12	2968	148.49	27.41	13
4	13	3073	161.04	5.10	13
5	12	1917	142.20	15.20	12
6	13	3144	158.46	4.55	13
7	12	2905	149.34	18.78	13
8	13	3065	145.31	29.83	14
9	13	2908	139.57	19.00	14
10	13	3095	159.27	3.63	13
11	13	3119	162.16	8.09	13
12	13	2705	142.18	14.78	13
13	12	2321	132.72	9.19	12
14	13	3074	144.44	32.93	14
15	13	2820	151.34	11.39	13
16	13	3183	162.71	10.85	13
17	13	2739	141.10	6.91	13
18	13	2962	149.40	29.05	14
19	12	2532	142.47	6.27	12
20	13	3046	143.67	19.39	14
21	13	2859	147.89	7.39	13
22	13	3029	155.64	7.84	13
23	12	2477	138.98	4.34	12
24	13	3116	158.67	4.46	13
25	12	2081	116.08	4.84	12

จากผลการวิจัยวิธี First Fit Decreasing มีจำนวนพาเลทที่ได้ไม่เกินแผนน้อยกว่าวิธี Best Fit ดังนั้นจึงเลือกชุดข้อมูลที่จัดโดยวิธี First Fit Decreasing 2 ชุด ที่ได้จำนวนพาเลทเกินแผนมาทำการวิเคราะห์และปรับขั้นตอนการแก้ปัญหาเพิ่มเติม เพื่อหาสาเหตุและแนวทางในการจัดสินค้าด้วยวิธี First Fit Decreasing ให้ได้จำนวนพาเลทตามแผนที่กำหนดไว้ ซึ่งทำการปรับขั้นตอนในการแก้ปัญหา 2 แบบ ได้แก่ แบบที่ 1 ตัดขั้นตอน 3.3.4 รวมกลุ่มสินค้าที่จัดในพาเลทเดียวกันได้ออก โดยที่ขั้นตอนอื่นยังคงเหมือนเดิม

และแบบที่ 2 ตัดขั้นตอน 3.3.4 รวมกลุ่มสินค้าที่จัดในพาเลทเดียวกันได้ และตัดขั้นตอนการเรียงลำดับกลุ่มสินค้าจากน้อยไปมากที่เป็นส่วนหนึ่งในหัวข้อ 3.3.5 ออก โดยที่ขั้นตอนอื่นยังคงเหมือนเดิม เมื่อนำขั้นตอนแบบดั้งเดิมมาเปรียบเทียบกับขั้นตอนแบบที่ 1 และ 2 ผลปรากฏว่า แบบที่ 1 ได้จำนวนพาเลทที่เกินแผนเท่ากับแบบดั้งเดิม แต่แบบที่ 2 ได้จำนวนพาเลทตามแผนกำหนดไว้ นอกจากนี้ เมื่อเข้าไปดูความแตกต่างเกี่ยวกับจำนวนกลุ่มสินค้าที่ถูกจัดในแต่ละพาเลท พบว่าการปรับขั้นตอนใหม่ทั้ง 2 แบบทำให้มีจำนวนพาเลทที่มีกลุ่มสินค้ามากกว่า 1 กลุ่มเพิ่มขึ้น ยกตัวอย่างจากการใช้ชุดข้อมูลที่ 7 จำนวนพาเลทที่กำหนด 12 พาเลท แสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการจัดสินค้าลงพาเลทด้วยวิธี First Fit Decreasing โดยใช้ชุดข้อมูลชุดที่ 7 เปรียบเทียบวิธีแบบดั้งเดิม และการปรับขั้นตอนแบบที่ 1 และ 2

วิธีการ	จำนวนกลุ่มสินค้า				จำนวนพาเลทที่ได้
	1	2	3	4	
แบบดั้งเดิม	8	4	1		13
ปรับขั้นตอนแบบที่ 1	6	4	3		13
ปรับขั้นตอนแบบที่ 2	3	5	3	1	12

4.2 การอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้เติมเต็มช่องว่างที่สำคัญในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ดังนี้

1) การบูรณาการข้อจำกัดในการจัดเรียงสินค้า งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการที่คำนึงถึงข้อจำกัดหลายด้านพร้อมกัน ทั้งด้านกลุ่มประเภทสินค้า น้ำหนัก ความสูง และลำดับความสำคัญของสินค้า ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Loh et al. [4] และ Gzara et al. [6] ที่มุ่งเน้นเพียงการลดจำนวนพาเลทหรือการใช้พื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพ

2) การประยุกต์ใช้กับข้อมูลจริงที่มีความซับซ้อน: ผลการทดลองกับใบหีบสินค้าจริงที่มีรหัสสินค้ามากกว่า 500 รายการแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถจัดการกับความซับซ้อนในสภาพแวดล้อมจริงได้ดี ซึ่งตอบสนองต่อข้อจำกัดของงานวิจัยของ Sun et al [5] และ ธนกุลต ปิยะชยวัศ และคณะ [10] ที่ใช้ข้อมูลที่มีความซับซ้อนน้อยกว่า

3) การประเมินผลในแง่ของเวลาที่ใช้ในการวางแผน: การประเมินประสิทธิภาพในแง่ของเวลาที่ใช้ในการวางแผน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการปฏิบัติงานประจำวัน แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถลดเวลาในการวางแผนได้อย่างมีนัยสำคัญ (เฉลี่ย 916 วินาทีต่อใบ) เมื่อเทียบกับการปฏิบัติงานของพนักงาน ซึ่งเป็นการเพิ่มเติมช่องว่างในงานวิจัยของ Wessa and Atia [12] ที่ไม่ได้ประเมินผลในสภาพแวดล้อมการทำงานจริง

4) การตอบสนองต่อความต้องการเฉพาะของอุตสาหกรรมโลจิสติกส์โซ่ความเย็น: วิธีการที่นำเสนอได้รับการออกแบบโดยคำนึงถึงข้อจำกัดเฉพาะของศูนย์กระจายสินค้าแบบเย็น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของ Hodgson [11] ที่ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะเฉพาะของสินค้าที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ

5) แม้ว่างานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลการดำเนินงานจริง แต่สัดส่วนของประเภทสินค้ามีความเอนเอียงไปทางสินค้าประเภทแช่แข็ง (คิดเป็นร้อยละ 68) ซึ่งอาจไม่สามารถแทนกลุ่มสินค้าทั่วไปที่เก็บในอุณหภูมิห้องได้อย่างครบถ้วน งานวิจัยในอนาคตควรทำการตรวจสอบและยืนยันผลลัพธ์ในคลังสินค้าที่มีการจัดเก็บสินค้าหลายอุณหภูมิร่วมกัน เพื่อเพิ่มความครอบคลุมของการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ

6) อัลกอริทึมสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับข้อมูลสินค้าสูงสุดประมาณ 500 รายการ (SKUs) อย่างไรก็ตาม เมื่อจำนวนสินค้ามากกว่า 1,000 รายการ เวลาการประมวลผลจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear) เนื่องจากความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นในการจัดเรียงลำดับ (sorting) และการจับคู่ข้อมูล (pairing complexity)

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

จากผลการทดลองขั้นตอนวิธีการเชิงฮิวริสติก 2 วิธี ได้แก่ First Fit Decreasing และ Best Fit ค่าเฉลี่ยของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองวิธีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่วิธี First Fit Decreasing มีจำนวนชุดข้อมูลที่จัดได้จำนวนพาเลทเกินแผนน้อยกว่าวิธี Best Fit จึงทำการทดลองต่อโดยเลือกวิธี First Fit Decreasing มาทำการปรับขั้นตอนจากแบบดั้งเดิม 2 แบบ แบบที่ 1 ทำการตัดขั้นตอน

3.3.4 ออก แต่ยังคำนึงลำดับความสำคัญของกลุ่มสินค้าอยู่ จะได้จำนวนพาเลทเกินที่กำหนด และแบบที่ 2 ทำการตัดขั้นตอน 3.3.4 และขั้นตอนบางส่วนของขั้นตอน 3.3.5 ออก วิธีนี้จะไม่คำนึงถึงลำดับความสำคัญของกลุ่มสินค้า แต่ยังคำนึงถึงเรื่องน้ำหนักของสินค้า

ผลลัพธ์ที่ได้คือ จัดสินค้าได้ตามจำนวนพาเลทที่กำหนด ดังนั้น หนึ่งในสาเหตุที่ทำให้การจัดสินค้าลงพาเลทไม่ได้ตามแผนที่กำหนดอาจเกิดจากการจัดโดยคำนึงถึงลำดับความสำคัญของกลุ่มสินค้า ซึ่งในทางปฏิบัติวิธีดั้งเดิมสอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริงในปัจจุบันมากกว่า เนื่องจากสินค้าถูกจัดเก็บตามประเภทกลุ่มสินค้า และสำหรับวิธีที่ 3 เป็นวิธีที่ไม่สอดคล้องกับการปฏิบัติงานจริง เนื่องจากอาจทำให้ระยะทางในการเดินหยิบสินค้าของพนักงานหยิบสินค้าเพิ่มขึ้น และเพิ่มความยากในการตรวจสอบสินค้าของพนักงานตรวจสอบสินค้า

จากผลการทดลองจึงทำการสุ่มเก็บข้อมูลใบหยิบสินค้าจำนวน 3 ใบ ที่พนักงานหยิบสินค้าทำการวางแผนการจัดเรียงสินค้าจริง พบว่าใช้เวลาในการวางแผนเฉลี่ย 980 วินาทีต่อใบ และนำข้อมูลใบหยิบสินค้าเดียวกันทำการวางแผนการจัดเรียงสินค้าด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้นและใช้โปรแกรม Python ประมวลผลโดยวิธี First Fit Decreasing พบว่าใช้เวลาในการเตรียมข้อมูลเฉลี่ย 60 วินาทีต่อใบ และประมวลผลใช้เวลาเฉลี่ย 4 วินาทีต่อใบ รวมเป็น 64 วินาทีต่อใบ ซึ่งขั้นตอนที่ทำการพัฒนาขึ้นมานั้นใช้เวลาน้อยกว่าการปฏิบัติงานจริงของพนักงานโดยเฉลี่ย 916 วินาทีต่อใบ หรือ 15 นาทีต่อใบ จากข้อมูลในอดีตค่าเฉลี่ยใบหยิบสินค้าต่อวันเท่ากับ 25 ใบ ในการทำงานหนึ่งวันสามารถลดเวลาในการวางแผนจัดเรียงสินค้าได้ 375 นาที หรือ 6 ชั่วโมง 15 นาทีต่อวัน โดยประมาณ

จากผลการทดลองขั้นตอนวิธีการเชิงฮิวริสติก 2 วิธี ได้แก่ First Fit Decreasing และ Best Fit มีชุดข้อมูลใบหยิบสินค้าที่จัดไม่ได้ตามจำนวนพาเลทที่กำหนดไว้ แต่การจัดเรียงลำดับในการวางสินค้าในแต่ละพาเลทเป็นไปตามข้อกำหนดในเรื่องลำดับความสำคัญของสินค้า และการจัดเรียงโดยคำนึงถึงน้ำหนักของสินค้า เสนอให้ทดลองนำวิธีการไปใช้ในการเตรียมใบหยิบสินค้าให้พนักงานหยิบสินค้า เพื่อลดเวลาในการทำงานและลดปัญหาเรื่องสินค้า

เสียหายจากการจัดวางที่ไม่ตรงกับข้อกำหนดของลูกค้า นอกจากนั้นควรทำการศึกษาและวิเคราะห์แผนผังการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า ทำการทดลองใช้วิธีการหาคำตอบกับแผนผังสินค้าที่ทำการปรับปรุงแล้ว เพื่อให้ได้จำนวนพาเลทตามที่กำหนดและเป็นไปตามข้อกำหนดในการจัดเรียงสินค้า แม้ว่าการวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้วิธี Heuristic ที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานจริงและใช้เวลาน้อย อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาในอนาคตควรพิจารณาใช้ Metaheuristic algorithms เช่น Genetic Algorithm หรือ Tabu Search มาเปรียบเทียบผลลัพธ์เพิ่มเติม รวมถึง AI-based approaches ที่สามารถเรียนรู้ pattern ของการจัดเรียงสินค้า เพื่อเพิ่มศักยภาพของระบบแนะนำการจัดเรียงสินค้าแบบอัตโนมัติ [17-19]

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] T.-H. Nguyen, V.-T. Tran, P.-Q. Doan and T.-T. Mac, "A Novel Heuristic Algorithm for Online 3D Bin Packing," in *2021 The 21st International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS)*, Jeju, South Korea, 2021, pp. 1993–1997.
- [2] H. Carpenter and W. B. Dowsland, "Practical considerations of the pallet-loading problem," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 36, no. 6, pp. 489–497, 1985.
- [3] คทา ประดิษฐ์วงศ์ และ ชีรศักดิ์ ทะเลทอง, "ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและการค้นเฉพาะที่สำหรับการแก้ปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์ในสามมิติ," *Veridian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University*, ปีที่ 3, ฉบับที่ 6, น. 43–56, 2559.
- [4] K.-H. Loh, B. Golden and E. Wasi, "Solving the one-dimensional bin packing problem with a weight annealing heuristic," *Computers and Operations Research*, vol. 35, no. 7, pp. 2283–2291, 2008.
- [5] B. Sun, G. Li, S. Wang, C. Xie, "Two-dimensional bin-packing problem with conflicts and load balancing: A hybrid chaotic and evolutionary particle swarm optimization algorithm," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 200, pp. 110851, 2025.
- [6] F. Gzara, S. Elhedhli and B. C. Yildiz, "The pallet loading problem: Three-dimensional bin packing with practical constraints," *European Journal of Operational Research*, vol. 287, no. 3, pp. 1062–1074, 2020.
- [7] B. Guo, Y. Zhang, J. Hu, J. Li, F. Wu, Q. Peng and Q. Zhang, "Two-dimensional irregular packing problems: A review," *Frontiers in Mechanical Engineering*, vol. 8, 2022.
- [8] Q. Zuo, X. Liu and W. K. V. Chan, "A Constructive Heuristic Algorithm for 3D Bin Packing of Irregular Shaped Items," in *2022 INFORMS International Conference on Service Science*, Shenzhen, China, 2022.
- [9] D. S. Johnson and M. R. Garey, "A 71/60 theorem for bin packing," *Journal of Complexity*, vol. 1, no. 1, pp. 65–106, 1985, doi: 10.1016/0885-064X(85)90022-6.
- [10] ธนกฤต ปิยะชัยวัศ, อนันต์ มุ่งวัฒนา, และวิสุทธิ์ สุพิทักษ์, "ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสำหรับแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทหลายขนาดกรณีศึกษา: โรงงานผลิตคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ส่งสว่าง", *Thai Journal of Operations Research*, vol. 5, no. 1, pp. 48–59, 2017.
- [11] T. J. Hodgson, "A combined approach to the pallet loading problem," *A I E Transactions*, vol. 14, no. 3, pp. 175–182, 1982.
- [12] E. Wessa and A. Atia, "Parallelization of One-Dimensional First Fit Decreasing Algorithm," in *2021 16th International Conference on*

Computer Engineering and Systems (ICCES),
Cairo, Egypt, 2021, pp. 1–5.

- [13] G. Dósa and J. Sgall, “Optimal Analysis of Best Fit Bin Packing,” in *41st International Colloquium, ICALP 2014*, Copenhagen, Denmark, 2014, pp. 429–441.
- [14] S. Albers, A. Khan and L. Ladewig, “Best fit bin packing with random order revisited,” *Algorithmica.*, vol. 83, pp. 2833–2858, 2021.
- [15] J. F. Gonçalves and M. G. C. Resende, “A biased random key genetic algorithm for 2D and 3D bin packing problems,” *International Journal of Production Economics.*, vol. 145, no. 2, pp. 500–510, 2013.
- [16] H. Hu, X. Zhang, X. Yan, L. Wang, and Y. Xu, “Solving a new 3D bin packing problem with deep reinforcement learning method,” arXiv:1708.05930 [cs.AI], Aug. 20, 2017. doi: 10.48550/arXiv.1708.05930.
- [17] X. Zhao, J. A. Bennell, T. Bektaş and K. Dowsland, “A comparative review of 3D container loading algorithms,” *International Transactions in Operational Research.*, vol. 23, pp. 287–320, 2016.
- [18] Y. Ma, Y. Zhou, Q. Fang, S. Xia and W. Chen, “A three-dimensional container loading algorithm for solving logistics packing problem,” *EURO Journal on Transportation and Logistics.*, vol. 14, p. 100167, 2025.
- [19] X. Zhao, J.A. Bennell, T. Bektaş, K. Dowsland, “A comparative review of 3D container loading algorithms,” *European Journal of Operational Research.*, vol. 23, no. 1-2, pp. 287–320, 2016.