

การปรับปรุงประสิทธิภาพของคลังจัดเก็บวัตถุดิบด้วยการออกแบบผังจัดวาง
และกำหนดตำแหน่งจัดวางสินค้าของผู้ผลิตผ้าอ้อมสำเร็จรูปแห่งหนึ่ง
**Efficiency Improvement of Raw-Materials Warehouse by Designing of
Optimal Layout and Storage Location Assignment in a Diaper
Manufacturing**

ณภัทรา ณ เชียงใหม่ และ อัครนันท์ พงศธรวิวัฒน์*

การจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์

สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

E-mail: akkaranan@as.nida.ac.th*

Napattra Na Chiangmai and Akkaranan Pongsathornwivat*

Logistics Management, Applied statistics

National Institute of Development Administration, Khlong Chan, Kapi, Bangkok 10240.

E-mail: akkaranan@as.nida.ac.th*

Received 30 Jan 2022; Revised 16 Mar 2022

Accepted 24 Jun 2022; Available online 29 Jun 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบผังจัดวางและกำหนดตำแหน่งจัดวางสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บวัตถุดิบภายในคลังสินค้าของผู้ผลิตผ้าอ้อมสำเร็จรูปแห่งหนึ่ง สภาพปัญหาในปัจจุบันพบว่า บริษัทกรณีศึกษามีคลังสินค้าจำนวน 2 คลังทำการจัดเก็บแบบเป็น Pallet on floor ที่มีปัญหาในด้านประสิทธิภาพการจัดสรรพื้นที่จัดเก็บ โดยที่คลังสินค้าที่ 1 จัดเก็บเกินปริมาณความจุที่สามารถรับได้เท่ากับ 151% เนื่องด้วยจากนโยบายเดิมซึ่งกำหนดให้จัดเก็บเฉพาะวัตถุดิบบางประเภทเท่านั้น ส่งผลให้คลังสินค้าที่ 2 ไม่มีประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่จัดเก็บคิดเป็นเพียง 17% ของปริมาณสูงสุดที่สามารถจัดเก็บได้ นอกจากนั้นด้วยรูปแบบผังและตำแหน่งจัดเก็บสินค้าในปัจจุบันที่ไม่มีประสิทธิภาพทำให้เกิดระยะทางหยิบสินค้าที่มากเกินความจำเป็น ส่งผลต่อการเกิดต้นทุนสูญเสียในกระบวนการทำงาน ผู้วิจัยได้ออกแบบผังจัดวางและกำหนดตำแหน่งจัดวางสินค้าขึ้นมาใหม่จำนวน 2 ตัวแบบและทำการศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหาตัวแบบที่ช่วยให้การดำเนินงานภายในคลังสินค้ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นดีที่สุด โดยรวบรวมข้อมูลความถี่การหยิบของสินค้าแต่ละชนิดมาวิเคราะห์ผังและตำแหน่งจัดเก็บสินค้าใหม่ เทคนิคที่ใช้ประกอบด้วยการวิเคราะห์ ABC Analysis เพื่อพิจารณาดำเนินงานจัดวางสินค้าแบบกลุ่มที่มีปริมาณการหยิบสูง กลาง และต่ำและตัวแบบทางคณิตศาสตร์ทางด้านการกำหนดตำแหน่งจัดวางสินค้า โดยทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรม Open Solver ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่า การกำหนดตำแหน่งจัดวางสินค้าด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์เป็นตัวแบบที่ดีที่สุด ส่งผลให้คลังสินค้าที่ 1 และ 2 มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ในด้านระยะทางในการหยิบสินค้าที่ลดลงจากเดิมอยู่ที่ 77,592 เมตร เหลือ 35,760 เมตร

(คิดเป็น 54%) ด้านต้นทุนในการขนส่งจากเดิมอยู่ที่ 3,936,000 บาทต่อปี ลดลงเหลือ 2,400,000 บาทต่อปี (คิดเป็น 39%) และด้านการใช้พื้นที่คลังสินค้าที่ 1 ลดลงจากเดิม 151% เหลือ 96% และคลังสินค้าที่ 2 จากเดิม 17% เพิ่มขึ้นเป็น 99%

คำหลัก: การกำหนดตำแหน่งจัดวางสินค้า การปรับปรุงคลังสินค้า คลังจัดเก็บวัตถุดิบ กรณีศึกษา

Abstract

The objective of this research is to design of optimal layout and storage location assignment for warehouse efficiency improvements in a diaper manufacturing. The current problems of this case study are that there are two warehouses where were faced with inefficient operations in term of lower space utilizations. The space utilization of a first warehouse is over the minimum standards about 151%, while facing lower space utilization (17% out of overall available spaces) in the second warehouse. This is caused by the ineffective storage policy that keep only few types of raw materials in the first warehouse. Furthermore, there is unnecessary travel distances of pickers because of inappropriate warehouse layouts, resulting in the excessive costs of production. To overcome these issues, this research was collected the data on SKUs' picking frequency for reconsidering the warehouse layout and storage relocation. Two models are proposed in this study, namely ABC class-based layout and Storage Location Assignment. Both are analyzed and make a performance comparison for finding the best model that can help improve the better warehouse efficiency. In the class-based model, we applied ABC analysis for finding the classes of SKUs regarding the high, medium and low-frequency and assign the items into the appropriate zones. For another model, we formulated the problem as Storage Location Assignment Problem (SLAC). The idea is that the fast-moving SKUs should be located close to the I/O stations and the optimal solution, obtained by Open Solver. Our analysis shows that the optimal based-layout has better efficiency than the class-based one. With the new layout, the case can gain benefit of better warehouse efficiency in terms of the traveling distance reduction from 77,592 to 35,760 meters (54%) and the transportation cost reduces by 39%. For the space utilization performance is also significantly improve. The first warehouses can reduce the over utilization problem from 151% to 96%, while increasing the space utilization of the second warehouse up to 99%.

Keywords: Storage Re-Location Assignment, Warehousing Improvement, Raw-Materials Warehouse, Case Study

1. บทนำ

บริษัทกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตผ้าอ้อมสำเร็จรูปทั้งในเด็กและผู้ใหญ่ ดังนั้นเพื่อรองรับการเติบโตของตลาดจึงต้องมีสินค้าคงคลังให้เพียงพอต่อการตอบสนองต่อผู้บริโภค กิจกรรมคลังสินค้าจึงเข้ามามีบทบาทอย่างมากต่อการขยายตัวของตลาดผ้าอ้อมสำเร็จรูป ทั้งในรูปแบบการเก็บสินค้าสำเร็จรูปวัตถุดิบ (Raw Material) รวมไปถึงการส่งมอบสินค้า

ให้ถึงมือผู้บริโภค ดังนั้นการจัดวางตำแหน่งการจัดเก็บที่เหมาะสมจะทำให้พนักงานสามารถหาและหยิบสินค้าได้อย่างรวดเร็วสินค้า ส่งผลให้การส่งมอบสินค้าถึงมือผู้บริโภคได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในด้านคุณภาพและเวลาที่รวดเร็ว [1-2]

คลังสินค้ากรณีศึกษาเป็นคลังสินค้าที่มีการจัดเก็บทั้งสินค้าสำเร็จรูปและวัตถุดิบที่เตรียมทำการผลิตในโรงงาน โดยคลังสินค้าทั้งหมด 2 แห่ง โดย

วัตถุดิบที่มีการหมุนเวียนอยู่ในคลังสินค้าทั้งหมดประมาณ 91 SKUs ประกอบไปด้วย 5 กลุ่ม ได้แก่ Wood pulp, NWC, SAP, PE, และ Tissue ซึ่งคลังสินค้าที่ 1 มีรูปแบบการจัดเก็บเป็น Pallet on rack ได้ทั้งหมด 4,536 pallet และ Pallet on floor ได้ทั้งหมด 4,874 pallet ส่วนคลังสินค้าที่ 2 มีรูปแบบการจัดเก็บเป็น Pallet on floor ได้ทั้งหมด 3,222 pallet

จากการสำรวจสภาพปัญหาการจัดการคลังสินค้าในปัจจุบันพบว่า ในคลังสินค้าที่ 1 มีปริมาณการจัดเก็บรูปแบบ Pallet on floor ที่เกินกว่าความสามารถในการจัดเก็บ (Over Capacity) เนื่องจากนโยบายการเก็บสินค้าคงคลังที่รองรับการขยายตัวของยอดขายสินค้าที่เพิ่มมากขึ้น และปัญหาการขาดแคลนตู้คอนเทนเนอร์จากการขนส่งทางเรือในช่วงวิกฤตการณ์ Covid-19 ซึ่งส่งผลต่อการบริการคลังสินค้าในกระบวนการจัดเก็บและหยิบสินค้า รวมถึงการจัดการแบบ First In First Out (FIFO) ทำให้เกิดความล่าช้าในการส่งมอบวัตถุดิบไปที่โรงงานผลิต และวัตถุดิบที่มีอายุการใช้งานสั้นเกิด Aging ต่อมาในส่วนของคลังสินค้าที่ 2 พบว่ามีการใช้พื้นที่ในการจัดเก็บค่อนข้างน้อยคิดเป็นเพียง 17% ของ capacity ที่สามารถจัดเก็บได้ ดังแสดงในตารางที่ 1 เนื่องจากนโยบายเดิมมีการกำหนดให้จัดเก็บเฉพาะวัตถุดิบบางประเภทเท่านั้น

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการใช้พื้นที่ในปัจจุบันของคลังสินค้าที่ 1 นั้นเกินความสามารถในการจัดเก็บถึง 151% ส่งผลเสียในการหาสินค้าและการหยิบสินค้าล่าช้าในการสนับสนุนฝ่ายผลิต นอกจากนั้นจากการเลือกจัดเก็บสินค้าที่ไม่ได้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างคลังสินค้าไปยังโรงงานผลิตทำให้เกิดค่าขนส่งที่ไม่จำเป็นส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของบริษัทฯ

ตารางที่ 1 แสดงการใช้พื้นที่ของคลังสินค้าในปัจจุบัน

Utilization	Unit	Capacity	การใช้พื้นที่ในปัจจุบัน	%
Warehouse 1	Pallet	4,835	7,297	151%
Warehouse 2	Pallet	3,222	561	17%

ตารางที่ 2 แสดงต้นทุนค่าขนส่งจากคลังสินค้าไปโรงงานผลิต

Operation	Description	cost/Trip
1	คลังสินค้า 1 ไป โรงงานผลิต 1	480
2	คลังสินค้า 2 ไป โรงงานผลิต 1	480
3	คลังสินค้า 2 ไป โรงงานผลิต 2	500

ปัจจุบันบริษัทฯ ศึกษามีการจัดเก็บวัตถุดิบหลักในกลุ่ม Wood pulp ชื่อว่า AA, AB และกลุ่ม NWC ชื่อว่า CAB, CAC และ CAO ที่คลังสินค้าที่ 1 และ 2 โดยวัตถุดิบชนิดนี้ได้มีการใช้งานที่โรงงานผลิต 1 และ 2 ทั้งคู่ ทำให้มีต้นทุนการขนส่งจากคลังสินค้าไปที่โรงงานผลิตสูง รวมถึงวัตถุดิบ BC มีการใช้พื้นที่ในการจัดเก็บที่คลังสินค้าที่ 1 ค่อนข้างมาก ทำให้ภาพรวมการใช้พื้นที่ในคลังสินค้าที่ 1 เกินความสามารถในการจัดเก็บ ตารางที่ 2 แสดงต้นทุนค่าขนส่งจากคลังสินค้าไปโรงงานผลิต ทำให้การจัดการด้านประสิทธิภาพของการดำเนินงานด้านคลังสินค้าต้องได้รับการปรับปรุงเพื่อช่วยลดต้นทุนที่ไม่จำเป็นออกไปได้ [3-4]

จากปัญหาดังกล่าววัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อออกแบบรูปแบบการจัดวางสินค้าใหม่ให้เกิดประสิทธิภาพ โดยสามารถใช้พื้นที่ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 10-15% ของคลังสินค้า WH1 และ WH2 และพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดและออกแบบตำแหน่งการวางสินค้าใหม่เพิ่มประสิทธิภาพคลังสินค้าในด้านระยะทางในการหยิบสินค้าและลดต้นทุนในการขนส่ง งานวิจัยนี้ได้เสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดตำแหน่งการวางสินค้า โดยขั้นตอนแรกจะทำการกลุ่มความสำคัญของวัตถุดิบ การทำ ABC Analysis โดยจัดเรียงตามความถี่ในการหยิบวัตถุดิบ ขั้นตอนที่สองจะทำการระบุตำแหน่งการวางสินค้าใหม่เพื่อจัดเก็บด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อให้มีระยะทางในการเดินหยิบสินค้าสั้นที่สุด

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดการจัดเก็บสินค้าภายในคลังสินค้า

ประสิทธิภาพของคลังสินค้าจะพิจารณาปัจจัยด้าน

พื้นที่ใช้สอยภายในคลังสินค้าและปัจจัยด้านระยะทางในการเดินหยิบสินค้า ซึ่งข้อมูลที่มีความสำคัญคือ ข้อมูลความถี่ของสินค้าที่นำมาช่วยพิจารณาปรับปรุงประสิทธิภาพของคลังสินค้า [4] ตัวอย่างเช่น ปริมาณและความถี่การผ่านเข้า - ออกของสินค้าแต่ละชนิด และคุณลักษณะสินค้าว่าเป็น สินค้ามีมูลค่าสูง แดกหักง่าย เน่าเสียง่าย หรือเป็นสินค้าอันตราย เป็นต้น [4] จากลักษณะข้อมูลดังกล่าวจึงมีการประยุกต์การวิเคราะห์แบบ ABC Analysis โดยเน้นความสำคัญจัดสินค้าตามกลุ่มสินค้าตามปริมาณการใช้สูงหรือมูลค่าของสินค้า โดยสามารถจัดกลุ่มของสินค้าได้ดังนี้ 1. สินค้ากลุ่ม A ที่มีจำนวนเพียงร้อยละ 10 แต่มีมูลค่าสูงถึงร้อยละ 70 2. สินค้ากลุ่ม B ที่มีจำนวนร้อยละ 20 และมีมูลค่าร้อยละ 20 3. สินค้ากลุ่ม C ที่มีจำนวนร้อยละ 70 แต่มีมูลค่าเพียงร้อยละ 10 [4] จากแนวคิดดังกล่าว สินค้าที่มีปริมาณเข้า - ออกมากก็จะจัดสรรพื้นที่เก็บมาก และเก็บไว้ใกล้ประตูเข้า - ออก สำหรับการพิจารณาโยบายการจัดเก็บ (Storage Policies) นั้น คลังสินค้าจะใช้ระบบการจัดเก็บแบบใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมระบบการจัดเก็บ [1-2, 4] ดังต่อไปนี้

2.1.1 นโยบายกำหนดพื้นที่ตายตัว (Dedicated Storage) จะกำหนดพื้นที่จัดเก็บสินค้าแต่ละกลุ่มไว้ตายตัวและตามพื้นที่ที่ถูกกำหนดไว้ มีข้อดีที่ง่ายต่อการหยิบสินค้า (Picking) เพราะพนักงานหยิบสามารถจดจำตำแหน่งของสินค้าได้ง่าย [1-2] แต่ข้อด้อย คือ อาจมีพื้นที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์และเกิดพื้นที่ว่างจากปัญหา honey-combing ได้ง่ายเช่นเดียวกัน [4]

2.1.2 แบบไม่กำหนดพื้นที่จัดเก็บหรือใช้พื้นที่ร่วมกัน (Randomized or Shared Storage) การเก็บสินค้าแบบนี้ใช้วิธีมีที่ว่างที่ใดก็เก็บสินค้า ณ ที่นั้น โดยทุกพื้นที่ว่างสามารถใช้ร่วมกันได้ทุก SKUs วิธีนี้สะดวกในการเก็บและได้ประโยชน์จากเรื่อง Space Utilization แต่จะเกิดความยุ่งยากในการหยิบสินค้าซึ่งอาจจะใช้เวลานานและเส้นทางเดินหยิบสินค้าไกล เพราะพนักงานหยิบไม่สามารถจดจำตำแหน่งของสินค้าและต้องใช้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น

WMS เข้ามาช่วยในการออกแบบเส้นทางหยิบสินค้า [4]

2.2 การประยุกต์ใช้ตัวแบบเชิงเส้นสำหรับปัญหาการกำหนดตำแหน่งการวางสินค้า

เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เป็นการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการวางแผนการจัดสรรพื้นที่ภายในคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพ โดยตัวแบบที่เป็นที่นิยมนั้นจะเป็นตัวแบบปัญหามอบหมายงาน (Assignment Problems) เพื่อกำหนดสมการที่ใช้หาตำแหน่งการจัดวางสินค้าอย่างเหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละประเภท โดยวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่ใช้ในการนำสินค้าเข้าและออก รวมถึงข้อมูลความถี่ในการจัดเก็บสินค้าร่วมกับหลักการสินค้าเคลื่อนไหวบ่อยวางไว้ใกล้ประตู ซึ่งนำมาใช้ปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าให้ดียิ่งขึ้น [1-2]

โสภณ สุขสวัสดิ์ (2557) [6] ได้ทำการศึกษา รูปแบบตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่ใช้ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model) ตามทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางไว้ใกล้ประตู (Fast Mover Closest to the Door) ร่วมกับเครื่องมือ Excel Solver ผลการศึกษาพบว่าระยะทางในการดำเนินงานลดลงเพราะสินค้ามีการไหลเวียนได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น งานวิจัยสอดคล้องกับเมธี ศรีกาญจน์และชุมพล มณฑาทิพย์กุล (2556) [7] ได้ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้าใหม่ เพื่อให้การดำเนินงานภายในคลังมีประสิทธิภาพมากขึ้น ด้วยตัวแบบ Linear Programming Method ทำให้ระยะเวลาในการหยิบสินค้าลดลง ระยะเวลาในการจัดเก็บสินค้าลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากระยะทางเฉลี่ยโดยรวมที่ลดลง

Yi-Fei Chuang, Hsu-Tung Lee and Yi-Chuan Lai (2012) [8] ได้ทำการศึกษาแบบจำลองการกำหนดแบบกลุ่มสองขั้นตอนที่เรียกว่า (Clustering-Assignment Problem Model - CAPM) สำหรับปัญหาการเลือกคำสั่งซื้อที่กำหนดเอง โดยมีการวิเคราะห์หาความถี่ของสินค้าจากเทคนิค EIQ Analysis Method ที่ช่วยให้ทราบความถี่ของสินค้าใน

แต่ละธุรกรรมของสินค้านอกจากนี้ยังช่วยลดระยะทางการหยิบสินค้าได้มากถึง 45% อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการจัดเก็บตามความถี่และการกำหนดแบบสุ่มที่ ผลที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัย [2] ได้เสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบสองระดับ (Two-Stages Clustering-Assignment Model) เพื่อจัดกลุ่มสินค้าและทำการระบุตำแหน่งการวางสินค้า ขั้นตอนหนึ่งจะทำการวิเคราะห์หาดัชนีความสัมพันธ์ของสินค้ากับกลุ่มผลิตภัณฑ์ (Item-based associations) เพื่อสร้างกลุ่มสินค้าที่มีความเกี่ยวข้องกัน และขั้นตอนที่สองจะทำการระบุตำแหน่งการวางสินค้าเพื่อจัดเก็บด้วยตัวแบบการมอบหมายงาน (Storage Location Assignment Problem) ให้กับกลุ่มผลิตภัณฑ์แต่ละรายการ (SKUs) ผลที่ได้จากการศึกษา พบว่า การจัดตำแหน่งการวางสินค้าใหม่ด้วยแบบสองขั้นตอนช่วยลดระยะทางในการเดินหยิบสินค้าลดลงได้ประมาณ 56% และช่วยลดจำนวนพนักงานหยิบสินค้าลงได้จากเดิมที่ใช้พนักงานหยิบสินค้าจำนวน 11 คน ลดลงเหลือเพียง 8 คน ประโยชน์ดังกล่าวทำให้สามารถลดต้นทุนแรงงานของกรณีศึกษาได้เดือนละ 39,000 บาทต่อเดือนหรือ 468,000 บาทต่อปี

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างปัญหาเป็นแบบเชิงเส้นแบบการกำหนดตำแหน่งการวางสินค้า (Storage Location Assignment Problem) เพื่อทำการระบุตำแหน่งการวางสินค้าของกลุ่มของสินค้าโดยเป้าหมายทำให้ระยะทางในการเดินหยิบสินค้าที่สั้นที่สุด แต่จะคำนึงถึงปริมาณในการจัดเก็บที่มากกว่า 1 pallet position ต่อตำแหน่งการจัดเก็บ (location) สำหรับการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นด้วยวิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) ด้วยโปรแกรม OpenSolver 2.9.3. Add-in "Solver" ใน Excel ซึ่งถูกพัฒนาโดย Andrew J. Mason [5]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐาน

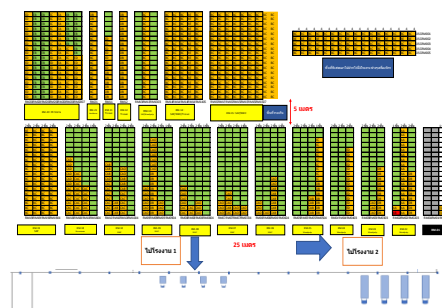
3.1.1 ศึกษาข้อมูลความต้องการหยิบ raw material โดย

การนำ รายการสินค้า (transaction) ในช่วงเวลา 12 เดือนย้อนหลัง คือ ตั้งแต่เดือนมิถุนายน ของปี 2563 ถึง เดือนกรกฎาคม ของปี 2564 โดยข้อมูลที่ได้มาจากระบบจะประกอบไปด้วยรายละเอียดวัตถุดิบ (raw materials) แต่ละรายการ นำข้อมูลดังกล่าวมาทำการสรุปความถี่ โดยใช้ตาราง Pivot table ของโปรแกรม Microsoft Excel สรุปความถี่ของการหยิบของ จะได้ข้อมูลโดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างค่าความถี่ของการหยิบ raw material ต่อปี

Code	Item code	Category	Frequency (Time/Year)
AB	8010703	Woodpulp	12,148
BC	8020212	SAP	4,862
CAC	8031812	NWC	1,742
DB	8110307	Tissue	2,391
ED	8140404	PE	2,127

3.1.2 คลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา มีการแบ่งพื้นที่การจัดเก็บออกเป็น 2 รูปแบบ คือ On rack และ On floor ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเพียงรูปแบบ On floor ก่อนเท่านั้น โดยแบ่งออกเป็น ทำการศึกษาพื้นที่คลังสินค้าเพื่อกำหนดจุด I/O (Input และ Output) และทำการวัดระยะทางจากจุด I/O ไปยังตำแหน่ง location ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับ WH1 และรูปที่ 2 สำหรับ WH2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ผังวาง Raw material ของคลังสินค้าที่ 1



รูปที่ 2 ผังวาง Raw material ของคลังสินค้าที่ 2

3.1.3 ข้อมูลต้นทุนค่าขนส่งวัตถุดิบ (Raw materials) จากคลังสินค้าไปที่โรงงานผลิต เนื่องจากเป้าหมายในการปรับปรุงรูปแบบการจัดเก็บมีจุดมุ่งหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานพื้นที่คลังสินค้าทั้ง 2 แห่ง และลดต้นทุนค่าขนส่งในการส่ง วัตถุดิบ (Raw materials) เข้าโรงงานผลิต

3.1.4 ข้อมูลต้นทุนด้านแรงงาน เนื่องจากการจัดวางแผนผังคลังสินค้า WH1 และ WH2 ยังไม่มีประสิทธิภาพส่งผลต่อกระบวนการหยิบสินค้าที่ทำให้เกิดต้นทุนด้านค่าใช้จ่ายที่สูง และใช้เวลาการหยิบสินค้าที่ค่อนข้างนาน โดยสัดส่วนต้นทุนด้านแรงงานของกระบวนการหยิบสินค้า (Picker) มีมากถึง 50% จากค่าใช้จ่ายด้านแรงงานทั้งหมด ซึ่งถือว่าเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ค่อนข้างสูง



รูปที่ 3 กราฟแสดงสัดส่วนค่าใช้จ่ายตามตำแหน่งงาน

3.2 ระเบียบวิธีแก้ปัญหา

3.2.1 จัดกลุ่มความสำคัญของ Raw material จากจำนวน Raw material ทั้งหมด 91 SKUs ทำการ

กำหนดขอบเขตการศึกษาโดยการวิเคราะห์ ABC Analysis การแบ่งสินค้าที่มีความสำคัญต่อกระบวนการหยิบ จึงให้ความสำคัญต่อกลุ่ม category ที่มีจำนวน SKUs น้อยแต่มีกระบวนการหยิบมาก โดยพิจารณาจากความถี่ในการหยิบครั้งต่อปี โดยได้ผลการวิเคราะห์ด้วย ABC Analysis ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์ด้วย ABC Analysis

Item code	Code	Category	Frequency	%	Class
8010703	AB	Woodpulp	12,148	21.86%	A
8020212	BC	SAP	4,862	8.75%	B
8110307	DB	Tissue	2,391	4.30%	B
8010105	AA	Woodpulp	2,377	4.28%	B
8140404	ED	PE	2,127	3.83%	B
8031812	CAC	NWC	1,742	3.13%	B
8031912	CAD	NWC	1,703	3.06%	B
8140403	EC	PE	1,641	2.95%	B
8020802	BE	SAP	1,542	2.77%	B
8031712	CAB	NWC	1,260	2.27%	B
8077602	CAO	NWC	1,073	1.93%	B
8130109	EA	PE	1,051	1.89%	B
8071617	CAL	NWC	873	1.57%	C
8072601	CAM	NWC	830	1.49%	C
8020206	BB	SAP	731	1.32%	C
8041015	CBE	NWC	692	1.24%	C
8041506	CAF	NWC	674	1.21%	C
8140304	EB	PE	656	1.18%	C
8042009	CAH	NWC	655	1.18%	C

หลังจากทำ ABC Analysis จะได้สินค้า class A เท่ากับ 1 SKUs คือ item AB ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Wood pulp, class B เท่ากับ 11 SKUs ประกอบไปด้วย item BC, DB, AA, ED, CAC, CAD, EC, BE, CAB, CAO และ EA ซึ่งอยู่ในกลุ่ม Wood pulp, SAP, NWC, PE, Tissue และ class C เท่ากับ 79 SKUs โดยหลักการเลือก SKUs จะประกอบไปด้วย

- 1) พิจารณาเลือกเฉพาะรายการ SKUs ที่ผลิตที่โรงงานที่ 1 เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่าเดิมคือ 480 บาท/เที่ยว
- 2) พิจารณาเลือกรายการ SKUs ที่มาจากผู้ผลิตเจ้าเดียวกัน เพื่อง่ายต่อการจัดเก็บ
- 3) ผลของการคัดเลือก ผู้จัดทำได้เลือกมาทั้งหมด 10 SKUs เพื่อย้ายไปเก็บที่คลังสินค้าที่ 2 ได้แก่ AB, BC, ED, CAC, EC, BE, CAB, CAO, EA และ EB

3.2.2 ผู้จัดทำได้เลือกรูปแบบการจัดวางสินค้าใหม่สำหรับตัวแบบ Class-based Layout แบ่งออกเป็น 1) Diagonal Layout, 2) Within-aisle Layout และ 3) Across-aisle Layout ตามลำดับ โดยทั้ง 3 รูปแบบนี้จะใช้หลักการวางสินค้าที่มีความถี่ในการเคลื่อนไหวสูงไว้ใกล้ประตูทางเข้า-ออก, จุด I/O หรือ แนวเส้นทางเดิน

3.2.3 ออกแบบแผนผังด้วยตัวแบบคณิตศาสตร์เชิงเส้นมาทำประยุกต์ใช้เพื่อหาตำแหน่งการวางสินค้าที่เหมาะสม มีขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณระยะทางจากจุด I/O ไปยัง location ต่าง ๆ โดยทำออกมาเป็นตารางเมทริกซ์ (Distance Matrix) ดังรูปที่ 4

(Distance Matrix)								
I/O	RM540202	RM540202	RM540108	RM540204	RM540205	RM540201	RM540202	RM540203
A	12	11.5	13	17.5	20	22.5	23	27.5
B	11	13.5	16	18.5	21	23.5	26	28.5
C	12	14.5	17	19.5	22	24.5	27	29.5
D	13	15.5	18	20.5	23	25.5	28	30.5
E	14	16.5	19	21.5	24	26.5	29	31.5
F	15	17.5	20	22.5	25	27.5	30	32.5
G	16	18.5	21	23.5	26	28.5	31	33.5
H	17	19.5	22	24.5	27	29.5	32	34.5
I	18	20.5	23	25.5	28	30.5	33	35.5
J	19	21.5	24	26.5	29	31.5	34	36.5

รูปที่ 4 แสดงระยะทางจากจุด I/O ไปยัง location ต่าง ๆ

ขั้นตอนที่ 2 รวบรวมข้อมูลความถี่การหยิบวัตถุดิบ (Raw materials) โดยการนำ transaction ในช่วงเวลา 12 เดือนย้อนหลังของวัตถุดิบ (Raw materials) ทั้ง 10 SKUs

ขั้นตอนที่ 3 ประยุกต์ใช้ตัวแบบคณิตศาสตร์เชิงเส้นโดยมีการสร้างตัวแบบของปัญหา ดังต่อไปนี้

ดัชนี (Index):

i คือ สินค้าแต่ละ SKUs

j คือ ตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า (Location Numbers)

พารามิเตอร์ (Parameter):

D_{ij} คือ ระยะทางของการจัดวางสินค้าแต่ละ SKUs (i) ในแต่ละ location การจัดเก็บ (j) ถึงจุดพื้นที่วางสินค้า outbound (I/O)

F_i = ความถี่การสั่งซื้อของสินค้า SKUs i

q_i = ปริมาณความต้องการจัดเก็บสินค้า SKU i หน่วยเป็นพาเลท (Pallets)

Q_j = ปริมาณความจุของตำแหน่งจัดเก็บสินค้า j ทั้งหมดที่สามารถจัดเก็บได้ภายในคลังสินค้า หน่วยเป็นพาเลท (Pallets)

J = เซตของตำแหน่งการจัดเก็บ (Locations Numbers) = {1, 2, ..., 400}

I = เซตของสินค้าประเภทวัตถุดิบ = {1, 2, ..., 10}

SA = เซตของสินค้ากลุ่ม Woodpulp = {1} โดยที่ $SA \in I$

SB = เซตของสินค้ากลุ่ม SAP = {2, 3} โดยที่ $SB \in I$

SC = เซตของสินค้ากลุ่ม PE = {4, 5, 6, 7} โดยที่ $SC \in I$

SD = เซตของสินค้ากลุ่ม NWC = {8, 9, 10} โดยที่ $SD \in I$

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า SKU } i \text{ ถูกเลือกจัดเก็บในตำแหน่งการจัดวาง } j \\ 0 & \text{ถ้าเป็นกรณีอื่น ๆ (Otherwise)} \end{cases}$$

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

Minimize Total Picking Distance =

$$\sum_{i \in SA} \sum_{j \in J} (2 \times F_{SA} \times D_{SAj} \times X_{ij}) +$$

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in SB} \sum_{j \in J} (2 \times F_{SB} \times D_{SBj} \times X_{ij}) + \\ & \sum_{i \in SC} \sum_{j \in J} (2 \times F_{SC} \times D_{SCj} \times X_{ij}) + \\ & \sum_{i \in SD} \sum_{j \in J} (2 \times F_{SD} \times D_{SDj} \times X_{ij}) - (1) \end{aligned}$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i \in I} X_{ij} = 1 \quad \forall j \in J \quad - (2)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij} \leq 1 \quad \forall i \in I \quad - (3)$$

$$\sum_{j \in J} q_i X_{ij} \leq 2 \quad \forall i \in I \quad - (4)$$

$$\sum_{i \in SA} \sum_{j \in I} X_{ij} = 22 \quad - (5)$$

$$\sum_{i \in SB} \sum_{j \in I} X_{ij} = 89 \quad - (6)$$

$$\sum_{i \in SC} \sum_{j \in I} X_{ij} = 85 \quad - (7)$$

$$\sum_{i \in \mathcal{SD}} \sum_{j \in \mathcal{I}} X_{ij} = 62 \quad - (8)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad - (9)$$

วัตถุประสงค์ของการจัดตำแหน่งจัดเก็บสินค้าเพื่อให้
เกิดระยะทางการเดินหยิบสินค้า (1) ต่ำสุดโดยมี
เงื่อนไขบังคับตาม (2)-(8) สมการ (1) แสดงระยะทาง
ที่เกิดขึ้นมาจากความถี่ที่ทำการวัดเป็นจำนวนครั้งใน
การเข้าไปยังตำแหน่งจัดเก็บคูณกับระยะทางจากจุด
I/O ไปยังตำแหน่งจัดเก็บ SKU i เงื่อนไขบังคับ (2)
กล่าวว่า 1 SKU สามารถจัดเก็บได้ 1 ตำแหน่งจัดเก็บ
เท่านั้น เงื่อนไขบังคับ (3) กล่าวว่า 1 ตำแหน่งจัดเก็บ
สามารถจัดเก็บได้ 1 SKU เท่านั้น ข้อจำกัด (4) ระบุ
ว่า 1 ตำแหน่งจัดเก็บสามารถจัดเก็บได้ไม่เกิน 2
pallets ข้อจำกัด (5) – (8) บ่งชี้ว่าจำนวนความ
ต้องการจัดเก็บของแต่ละกลุ่มสินค้า เท่ากับ 22 89 85
และ 62 pallets ตามลำดับ และข้อจำกัด (9) ระบุว่า
 X_{ij} เป็นตัวแปรที่เป็น non-negativity

ขั้นตอนที่ 4 ทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้โปรแกรม OpenSolver Add-in "Solver" ใน Excel โดยสืบขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1) สร้าง template ใน Excel โดยมีข้อมูลสินค้า (SKUs), Location (j), ระยะทาง (D_{ij}), จำนวน

พาเลทที่ต้องการ (Require) และความถี่ในการหยิบ
สินค้า (f_i) ดังแสดงในรูปที่ 5

[illegible]

รูปที่ 5 ตัวแบบสมการเชิงเส้นที่ออกแบบบน Excel Spreadsheet

2) การหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ออกแบบในขั้นตอนที่ 3 ดังรูปที่ 6

- Objective: Minimize D_{ij} ระยะทางรวมของการจัดวาง Raw material แต่ละ SKUs (i) ในแต่ละ location (j) ถึงจุด I/O
- Variable: กำหนดช่อง cell ที่ให้เลือก X_{ij}
- Constrains: กำหนด X_{ij} เป็น Binary 0,1

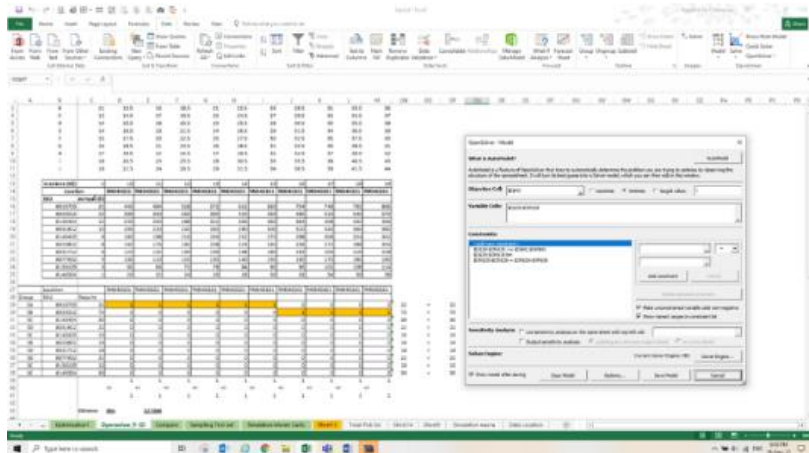
ผลรวมที่ X_{ij} ที่ SA ต้องมีค่าเท่ากับ 22

ผลรวมที่ X_{ij} ที่ SB ต้องมีค่าเท่ากับ 89

ผลรวมที่ X_{ij} ที่ SC ต้องมีค่าเท่ากับ 85

ผลรวมที่ X_{ij} ที่ SD ต้องมีค่าเท่ากับ 62

X_{ij} ทุก j มีค่ามากกว่าเท่ากับ 0



รูปที่ 6 การหาคำตอบของตัวแบบ Storage Location Assignment Model

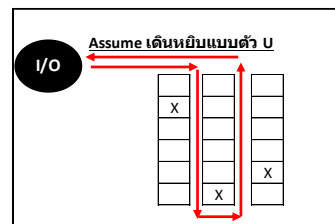
3.2.4 เปรียบเทียบ และทดสอบประสิทธิภาพของแผนผังด้วยการจำลองการหยิบสินค้า ขั้นตอนนี้จะทำการคำนวณระยะทาง และทำการเปรียบเทียบระหว่างการจัดคลังรูปแบบเดิมกับรูปแบบใหม่ โดยรูปแบบใหม่แบ่งออกเป็น Class-Based Model กับ Optimal Layout

1) การทดสอบสมมติฐาน ทางผู้วิจัยจะทำการสุ่ม pick list ขึ้นมาจำนวน 20 ใบ เป็นจำนวนของกลุ่มตัวอย่าง (sample) เพื่อนำมาคำนวณหาระยะทางที่สั้นที่สุด โดยรายละเอียดของข้อมูลเพื่อนำมาทดสอบประสิทธิภาพแสดงในรูปที่ 7

Orderdate	Deliverydate	Orderkey	Comsneekey	Externorderkey	Orderitemnumber	Sku	OrderQty	Shipquantity	Ucom
01-09-21	21-11-28 PM	0001167679	000004	01161WCR1501-6	000001	RS	3,700,000	3,700	RS
01-09-21	21-11-28 PM	0001167679	000004	01161WCR1501-6	000004	RS	32,617,744	32,617	RS
01-09-21	21-11-28 PM	0001167679	000004	01161WCR1501-6	000005	RS	32,617,744	32,617	RS
01-09-21	21-11-28 PM	0001167679	000004	01161WCR1501-6	000006	RS	2,800,000	2,800	RS
01-09-21	21-11-28 PM	0001167679	000004	01161WCR1501-6	000009	RS	400,000	400	RS
01-09-21	21-11-28 PM	0001167679	000004	01161WCR1501-6	000010	RS	6,800,000	6,800	RS
19-05-21	21-11-28 PM	0001167679	000004	01161WCR1501-6	000001	RS	9,800,000	9,800	RS
19-05-21	21-11-28 PM	0001221869	000004	01342WCR3542-3	000002	BC	7,000,000	7,000	RS
19-05-21	21-11-28 PM	0001221869	000004	01342WCR3542-3	000003	BC	400,000	400	RS
19-05-21	21-11-28 PM	0001221869	000004	01342WCR3542-3	000004	BC	8,200,000	8,200	RS
19-05-21	21-11-28 PM	0001221869	000004	01342WCR3542-3	000005	BC	4,000,000	4,000	RS

รูปที่ 7 ตัวอย่างใบรายการหยิบสินค้าที่นำมาทดสอบประสิทธิภาพ

2) กำหนดลักษณะการเดินหยิบเป็นรูปแบบตัว U เนื่องด้วยเป็นลักษณะการเดินที่เกิดขึ้นจริงในคลังสินค้า งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [9], [12] ระบุว่า เส้นทางหรือรูปแบบการเดินหยิบสินค้ามีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการหยิบสินค้า ซึ่งเป็นปัญหาที่นักศึกษาค้นคว้าวิจัยวางแผนที่จะศึกษาต่อยอดในลำดับต่อไป รูปที่ 8 แสดงรูปแบบการเดินหยิบเป็นรูปแบบตัว U ที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 8 แสดงลักษณะการเดินหยิบสินค้าแบบตัว U

เปรียบเทียบระยะทางในการเดินหยิบตัวอย่างแบบสุ่มของทั้ง 10 SKUs จากรายการเรียกวัตถุดิบเข้าสายการผลิต (work order) จักรระหว่างเดือนมีนาคม ถึงเดือนมิถุนายน 2564 แล้วทำการเปรียบเทียบระยะทางการเดินหยิบสินค้าระหว่างนโยบายการจัดเรียงสินค้าปัจจุบัน, Class-Based Layout และ Optimal Layout

4. ผลการวิจัยและสรุปผลการศึกษา

หลังจากปรับปรุงตำแหน่งการจัดตำแหน่งวางใหม่โดยวิธี Class-Based Layout และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ข้อมูลทดสอบสมมติชุดเดียวกัน ผลจากการวิเคราะห์พบว่า การจัดเรียงด้วยรูปแบบ Optimal Layout นั้นมีระยะทางน้อยที่สุดอยู่ที่ 35,760 เมตร และหากทำการเปรียบเทียบกับการจัดเรียงแบบเดิมสามารถลดระยะทางลงไปได้ถึง 54% ดังแสดงในรูปที่ 9

No.	Transferring Order	Re-Assignment Model				
		Current	Class-Base Layout			Optimal Layout
			Diagonal	Across-aisle	Within-aisle	
1	81667	2,992	528	504	480	544
2	81651	2,832	920	840	856	800
3	81652	2,272	1,712	1,648	1,680	1,384
4	81653	3,488	1,568	1,584	1,552	1,352
5	81654	3,904	2,112	2,080	2,152	1,696
6	81655	2,328	1,096	1,072	1,056	984
7	82240	1,976	1,616	1,640	1,688	1,384
8	81668	3,392	1,464	1,472	1,536	1,304
9	82252	4,744	2,824	2,728	2,808	2,232
10	82249	4,080	2,568	2,552	2,576	2,256
11	82432	7,216	2,960	2,872	2,936	2,520
12	82437	4,224	2,260	2,120	2,152	1,824
13	81694	5,952	4,248	4,200	4,216	3,520
14	82418	4,592	3,368	3,280	3,328	2,672
15	82422	2,824	1,136	1,152	1,184	1,008
16	81674	3,264	1,736	1,736	1,768	1,472
17	81675	3,728	2,392	2,352	2,392	1,944
18	82420	5,496	3,656	3,640	3,672	3,016
19	82261	4,144	2,360	2,312	2,352	1,920
20	82254	4,144	2,384	2,320	2,384	1,928
Sum		77,592	42,808	42,104	42,768	35,760
Saving		0	45%	46%	45%	54%

รูปที่ 9 ตารางเปรียบเทียบระยะทางการหยิบ raw material ระหว่างแบบเดิม, แบบ Class-Based Model และ Optimal Layout

จากผลการศึกษาที่ได้ศึกษาเปรียบเทียบเพื่อหา รูปแบบและตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่เหมาะสมพบว่า งานวิจัยฉบับนี้สามารถออกแบบรูปแบบการจัดวางและตำแหน่งสินค้าใหม่ให้เกิดประสิทธิภาพ ที่เพิ่มขึ้นสำหรับกระบวนการหยิบสินค้าภายในคลังสินค้าของกรณีศึกษา จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทำการวิเคราะห์หา รูปแบบผังและตำแหน่งการจัดวางสินค้าใหม่ พบว่าการจัดเก็บรูปแบบใหม่สามารถช่วยลดระยะทางรวมในการหยิบสินค้าประมาณ 54% จากระยะทางหยิบสินค้าแบบเดิม นอกจากนี้การเลือก SKUs จำนวน 10 รายการไปทำการจัดเก็บที่คลังสินค้าที่ 2 ส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบจากการคลังสินค้าไปที่โรงงานผลิตเฉลี่ยปีละประมาณ 1,536,000 บาท และเกิดการใช้ประโยชน์ด้านการจัดสรรพื้นที่คลังสินค้าทั้ง 2 แห่งให้เกิดประโยชน์เพิ่มมากขึ้น โดยการจัดสรรพื้นที่คลังสินค้าที่ 1 เดิมใช้พื้นที่ 151% หลังการปรับปรุง สามารถลดการใช้พื้นที่ลงเหลือ 96% และการจัดสรรพื้นที่คลังสินค้าที่ 2 เดิมใช้พื้นที่ 17% หลังการปรับปรุงสามารถเพิ่มการใช้พื้นที่ได้ 99% ผลสรุปจากการศึกษาแสดงในรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

Activity	Unit	Re-Assignment Model				
		Current	Class-Base Layout			Optimal Layout
			Diagonal	Across-aisle	Within-aisle	
Distance	Meter	77,592	42,808	42,104	42,768	35,760
Saving Travelling Distance	Meter		-45%	-46%	-45%	-54%
Saving Picking Time/month	Mins		2,783	2,839	2,786	3,347
Saving Picking Time/month	Mins		46.38	47.32	46.43	55.78
Saving Budget (Overtime)/month	Baht		4,348	4,436	4,353	5,229
Saving Budget (Overtime)/year	Baht		52,176	53,232	52,236	62,752
Saving Transport cost/month	Baht					128,000
Saving Transport cost/year	Baht					1,536,000

รูปที่ 10 สรุปผลการเปรียบเทียบการจัดเรียงรูปแบบต่าง ๆ

Utilization	Unit	Capacity	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
Warehouse 1	Pallet	4,835	7,297	4,658
Warehouse 2	Pallet	3,222	561	3,200
Warehouse 1	%	100%	151%	96%
Warehouse 2	%	100%	17%	99%

รูปที่ 11 สรุปผลการเปรียบเทียบการใช้พื้นที่ในคลังสินค้าของทั้ง WH1 และ WH2 ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Pongsathornwiwat and A. Ubonsai, "Use of Association Rules Bases Storage Assignment Location for Improving Class-Based Warehouse Design: Case Study A Packaging Company", *TJOR*, vol. 9, no. 2, pp. 21-35, Aug. 2021.
- [2] A. Pongsathornwiwat and K. Lawhawichitsak, "Applying a two-stage clustering-assignment model for an item-associated product family warehouse storage location problem ", *TJOR*, vol. 9, no. 1, pp. 92-105, Jun. 2021.
- [3] John Wiley&Sons.Inc, "Breakdown of warehouse operating expense and time spent by order picker", pp.433-434, 2010.
- [4] Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2008). *Warehouse & Distribution Science: Release 0.89*. Atlanta: Supply Chain and Logistics Institute.
- [5] Andrew J. Mason . 2563. About OpenSolver .
 ค้นวันที่ 24 ธันวาคม 2564 จาก
<https://opensolver.org/category/releases>

- [6] โสภณ สุขสวัสดิ์. 2557. การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัทผลิตยางผสม (RUBBER COMPOUND). วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยบูรพา.
- [7] เมธิณี ศรีกาญจน์ และชุมพล มณฑาทิพย์กุล. 2555. การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัทศรีไทยซูเปอร์แวร์จำกัด (มหาชน) สาขาสุขสวัสดิ์. WMS Journal of Management. 3 (กันยายน – ธันวาคม 2556): 8-20
- [8] Yi-Fei Chuang, Hsu-Tung Lee and Yi-Chuan Lai, "Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems,"Elsevier Ltd, 2012
- [9] Shetty, N., Sah, B., & Chung, S. H. (2020). Route optimization for warehouse order picking operations via vehicle routing and simulation. *SN Applied Sciences*, 2(2), 1-18.
- [10] จิรญา โพธิเวชเทวัญ, "ตัวแบบแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น," [Online].Available: http://www.teacher.ssru.ac.th/jiraya_po/file.php/1/BUA3124/5BUA3124.doc. [Accessed 24 December 2020].
- [11] จิรญา ปวีณชนา. "การปรับปรุงการใช้ประโยชน์และประสิทธิภาพของคลังสินค้าวัตถุดิบสำหรับผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ดูแลเส้นผม." วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2561
- [12] Zhou Li, Sun Lili, Li Zhaochan, Li Weipeng, Cao Ning and Russell. (2018). Study on a storage location strategy based on clustering and association algorithms. *Soft Computing* (2020) 24:5499–5516 <https://doi.org/10.1007/s00500-018-03702-9>