

การประยุกต์ใช้กฎความสัมพันธ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้า กรณีศึกษา บริษัทจัดจำหน่ายสินค้าบรรจุภัณฑ์ขนมและอาหารแห่งหนึ่ง

อรรคเดช อุบลไทร¹ และอักรนันท์ พงศธรวิวัฒน์^{2*}

ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

148 หมู่ 3 ถนนเสรีไทย แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240

Received: 11 April 2021; Revised: 13 May 2021; Accepted: 18 May 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทจัดจำหน่ายสินค้าบรรจุภัณฑ์แห่งหนึ่ง จากการศึกษาบริษัทกรณีศึกษาก่อนการปรับปรุงพบว่า ตำแหน่งการจัดวางสินค้าของสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวเร็ว (fast moving) ภายในคลังสินค้าไม่เหมาะสมถูกจัดวางอย่างกระจัดกระจายทั่วบริเวณ ทำให้ภาพรวมพนักงานหยิบสินค้าเดินระยะทางไกลถึง 952,989 เมตรต่อปี และเกิดความล่าช้าในการหยิบสินค้าส่งผลให้เกิดการจ้างงานคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการจ้างงานเพิ่มขึ้น 56,172 บาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วนถึง 39% ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบรูปแบบตำแหน่งการจัดวางสินค้าเพื่อให้การดำเนินงานภายในคลังมีประสิทธิภาพมากขึ้น ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ตำแหน่งจัดเก็บ (Storage Location) ใหม่ในการจัดวางสินค้าโดยประยุกต์ใช้ทฤษฎีกฎความสัมพันธ์ของสินค้า (Association Rules) เพื่อสร้างกลุ่มของสินค้าที่ถูกหยิบร่วมกันร่วมกับเทคนิคการแบ่งกลุ่มสินค้าโดยเลือกการจัดเรียงตามการเคลื่อนไหวเร็ว ปานกลาง และช้า โดยนำหลักการตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing Model) ตามทฤษฎีสินค้าเคลื่อนไหวเร็ววางไว้ใกล้ประตู (Fast Mover Closest to the Door) ร่วมกับเครื่องมือ Open Solver ในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของการจัดวางสินค้า ผลการศึกษาพบว่า การจัดวางตำแหน่งสินค้ารูปแบบใหม่ทำให้ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการคลังสินค้าเพิ่มขึ้น ระยะทางในการหยิบสินค้าลดลง 289,678.40 เมตรต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 30.40% ระยะเวลาในการจ้างงานล่วงเวลาลดลง 822 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 90.76% ค่าใช้จ่ายในการจ้างงานล่วงเวลาลดลง 50,982 บาทต่อปี และยังสามารถช่วยเพิ่มอัตราผลผลิตภาพการหยิบสินค้าของพนักงานในการหยิบช่วงการหยิบแบบปกติดีขึ้น 158 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 6.82%

คำสำคัญ: การกำหนดตำแหน่งการจัดวางสินค้า, กฎความสัมพันธ์, การปรับปรุงประสิทธิภาพคลังสินค้า, กรณีศึกษา

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

^{1,2} ภาควิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะสถิติประยุกต์ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

Application of Association Rules Bases Storage Location Assignments for Improving Class-Based Warehouse Design: Case Study A Packaging Company

Akkadet Ubonsai¹ and Akkaranan Phongsatornwiwat^{*2}

Logistics Management, National Institute of Development Administration (NIDA),
148 Moo 3, Seri-thai Road, Klong-Chan, Bangkok, Bangkok Thailand 10240

Received: 11 April 2021; Revised: 13 May 2021; Accepted: 18 May 2021

Abstract

The objective of this research is to improve the efficiency of a warehouse of a packaging company by re-assignment of storage location. As observed the company's exiting problems, there is an issue on the inappropriate storage locations of fast-moving items, causing problems of unnecessary travel distances about 952,989 meters a year in total, and delays shipping as well as additional costs of overtime in 56,172 Baht a year. To overcome this, the study formulated the problem as storage location re-assignment problems. The revised product placements and locations are applied a concept of association rules to find the relationships between items that be frequently ordered together and make them as the new product family, ranging from high-, medium-, and low movements. The proposed linear programming problem is solved by Fast-Mover-Closet-to-Door concepts with Open Solver in Microsoft Excel as the solver tool to find the optimal solution. The result shows that the new product location and layout can significantly help improving the warehouse efficiency in terms of decreasing picking distances by 289,678.40 meters per year, accounting for 30.40%, reducing the period of overtime hiring by 822 hours per year, explain 90.76%, and reducing overtime costs by 50,982 baht a year approximately. Furthermore, it can improve the labor productivity of normal picking times up to 158 hours per year (6.82%).

Keywords: storage location assignments, association rules, warehouse efficiency improvement, case study

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

1 Master Student in Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

2 Lecturer in Graduate School of Applied Statistics, National Institute of Development Administration

1. บทนำ

ปัญหาการจัดสรรตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้า (Storage Location Assignment Problems) มีความสำคัญเพราะจะทำให้สินค้ามีการเคลื่อนไหวจนถึงมือลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ และช่วยประหยัดต้นทุนดำเนินการทั้งจากการได้เปรียบในเรื่องการจัดสรรพื้นที่การจัดเก็บ (Space Utilizations) และการลดระยะทางในการหยิบสินค้าเพื่อจัดส่ง (Shorten Travel Distances) [1-2] ดังนั้น หากออกแบบการจัดการคลังสินค้าได้ไม่มีประสิทธิภาพ เช่น การกำหนดตำแหน่งของสินค้าที่มีความต้องการมาก อยู่ในตำแหน่งที่ไกลจากบริเวณจัดส่ง เป็นต้น [2] ก็จะทำให้เกิดต้นทุนที่สูงเกินไปในการทำงาน นอกจากนี้ ประสิทธิภาพการตอบสนองความต้องการของลูกค้าจะลดลง ส่งผลต่อความสัมพันธ์ของลูกค้ากับองค์กรในอนาคต [1]

บริษัทกรณีศึกษาจัดจำหน่ายสินค้าบรรจุภัณฑ์ขนมและอาหารแห่งหนึ่งประสบปัญหาในด้านต้นทุนการจัดเก็บและหยิบจับสินค้าเพื่อจัดส่งที่สูง จากการลงพื้นที่ศึกษาคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาพบว่า ปัญหาที่ทำให้ประสิทธิภาพในการจัดการคลังสินค้าลดลง เกิดจากการจัดวางสินค้ายังไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ เช่น การจัดวางสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวเร็ว (High Velocity) ถูกกำหนดตำแหน่งการจัดวางอย่างกระจัดกระจายทั่วบริเวณ ทำให้เกิดระยะทางที่ก่อให้เกิดมูลค่า (Unproductive Travel Distances) จำนวนมาก ผู้วิจัยทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 2 คำสั่งซื้อที่เกิดขึ้นพบว่า สัดส่วนระยะทางในการหยิบสินค้าของพนักงานสูงถึง 59% เมื่อเปรียบเทียบกับกิจกรรมหลักในคลังสินค้าทั้งหมด การหยิบสินค้าดังกล่าวส่งผลสืบเนื่องทำให้ระยะทางในการหยิบสินค้า (Travelling Distance) มากถึง 952,989 เมตรต่อปี ระยะทางดังกล่าวทำให้เกิดการจ้างงานล่วงเวลาสูงถึง 906 ชั่วโมงต่อปี และทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจ้างงานเพิ่มขึ้น 56,172 บาทต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 39% อีกทั้งทางบริษัทกรณีศึกษายังไม่มีนโยบายแบบแผนในการจัดการคลังสินค้าอย่างชัดเจน จากสภาพปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งแก้ไขปัญหามาเพื่อ

ปรับปรุงและออกแบบตำแหน่งการจัดวางตำแหน่งของสินค้าของกรณีศึกษาให้ถูกต้องเหมาะสม

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย ประกอบด้วย 1. เพื่อศึกษาและเรียนรู้การจัดพื้นที่ตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาและเพื่อระบุสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น 2. เพื่อปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้า เพื่อให้ระยะทาง ระยะเวลารวมถึงค่าใช้จ่ายในการหยิบสินค้าลดลง และ 3. เพื่อแนะนำแนวทางและกำหนดเป็นแนวทางมาตรฐานในการจัดวางตำแหน่งของสินค้าภายในคลังสินค้าของบริษัทกรณีศึกษาต่อไป ผลการศึกษาพบว่า การจัดวางตำแหน่งสินค้ารูปแบบใหม่ทำให้ประสิทธิภาพในการบริหารจัดการคลังสินค้าเพิ่มขึ้น ระยะทางในการหยิบสินค้าลดลง 289,678.40 เมตรต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 30.40% ระยะเวลาในการจ้างงานล่วงเวลาลดลง 822 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 90.76% ค่าใช้จ่ายในการจ้างงานล่วงเวลาลดลง 50,982 บาทต่อปี และยังสามารถช่วยเพิ่มอัตราผลผลิตภาพการหยิบสินค้าของพนักงานในการหยิบช่วงการหยิบแบบปกติดีขึ้น 158 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นสัดส่วน 6.82% นอกจากนั้นยังช่วยตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การวางแผนคลังสินค้า คือ การวางแผนในการจัดตั้งคลังสินค้าให้เครื่องมือ อุปกรณ์เหมาะสม กับหน้าที่ในแต่ละงาน รวมทั้งสิ่งอำนวยความสะดวกในคลังสินค้า เพื่อให้กระบวนการทำงานเป็นไปอย่างราบรื่น ปลอดภัย และรวดเร็ว โดยให้ระยะทางและระยะเวลาในการเคลื่อนย้ายสั้นที่สุด และเสียค่าใช้จ่ายต่ำสุด [2]

2.2 ลักษณะของการจัดเก็บสินค้าเป็น 3 ลักษณะ คือ 1. การจัดเก็บสินค้าแบบไม่แน่นอน (Random-based storage) เป็นการเก็บสินค้าตามความสะดวกของผู้จัดเก็บ 2. การจัดเก็บตามปริมาณความต้องการพื้นฐาน (Volume-based storage) เป็นการเก็บโดยอาศัยปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการเป็นพื้นฐาน และ 3. การจัดเก็บระดับของสินค้า (Class-based storage) เป็นการแบ่งสินค้าตามระดับความต้องการสินค้าของลูกค้าเป็นกลุ่มใหญ่ๆ [3]

2.3 การจัดทำผังกระบวนการทางธุรกิจ IDEFO เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำผังกระบวนการทางธุรกิจ ซึ่งแสดงตัวแบบของกิจกรรมและทรัพยากรที่ใช้ในรูปแบบของปัจจัยป้อนเข้า (Input) ตัวขับเคลื่อน (Mechanism) ตัวควบคุม (Control) และผลลัพธ์ (Output) เป็นเครื่องมือแสดงผังกระบวนการทางธุรกิจของการไหลของข้อมูลสารสนเทศ และการไหลของวัสดุ โดยจำลองการกระทำและกิจกรรมขององค์กรในสถานการณ์จริง ซึ่งมุ่งเน้นการบ่งชี้กระบวนการวิเคราะห์การติดต่อสื่อสาร และการประสานงานในโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ [4]

2.4 การวิเคราะห์แบบ ABC Analysis เป็นแนวคิดที่ให้ความสำคัญกับสินค้าตามกลุ่มสินค้าโดยการจัดลำดับตามปริมาณการใช้สูงหรือมูลค่าของสินค้า โดยสามารถจัดกลุ่มของสินค้าได้ดังนี้ 1. สินค้ากลุ่ม A ที่มีจำนวนเพียงร้อยละ 10 แต่มีมูลค่าสูงถึงร้อยละ 70 2. สินค้ากลุ่ม B ที่มีจำนวนร้อยละ 20 และมีมูลค่าร้อยละ 20 3. สินค้ากลุ่ม C ที่มีจำนวนร้อยละ 70 แต่มีมูลค่าเพียงร้อยละ 10 [5]

2.5 การแบ่งกลุ่มโดยการวิเคราะห์ Entry-Item-Quantity (EIQ) พิจารณาจำนวนการหยิบสินค้าแต่ละ SKUs (Stock Keeping Units) ในคลังสินค้า โดยพิจารณาจากจำนวน SKUs ที่ถูกหยิบมากที่สุดจากยอดคำสั่งซื้อทั้งหมด ดังตัวอย่างการแบ่งกลุ่มสินค้าในตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณค่า IQ: Order Quantity (Q) of Each Item (I) , IK: Frequency of Order (K) of Each Item (I), EQ: Order Quantity (Q) from Each Customer (E), และ EN: Number of Items (N) Ordered by Each Customer (E) [6] จากตารางที่ 1 อธิบายได้ว่า Entry of orders คือ จำนวนธุรกรรมของคำสั่งซื้อ (Transaction Order) ที่เกิดขึ้นจริงทั้งหมด แทนด้วย E1, E2, E3 และ E4 ในแนวนอน ในขณะที่สินค้า (Items) คือ สินค้าแต่ละชนิดที่แตกต่างกัน แทนด้วย 11, 12, 13, 14, 15 และ 16 ในแนวนอน หากต้องการหาค่า IQ และ IK จะสามารถดูได้จาก สินค้า 11 มีลูกค้าสั่งซื้อสินค้า 3 ชิ้นในคำสั่งซื้อ E1 สั่งสินค้า 2 ชิ้นในคำสั่งซื้อ E2 สั่งสินค้า 4 ชิ้นในคำสั่งซื้อ E3 และสั่งสินค้า 2 ชิ้นในคำสั่งซื้อ E4 หมายความว่า สินค้ารายการที่ 11 เกิดจำนวนคำสั่งซื้อ (Order Quantity) หรือค่า IQ จำนวนรวม 11 ชิ้นในทุกๆ ธุรกรรมรวมกัน และหากต้องการทราบจำนวนความถี่ของสินค้ารายการ 11 ให้นับ

ค่าแต่ละธุรกรรมคำสั่งซื้อ ที่เกิดขึ้นเพียงอย่างละ 1 ครั้งเท่านั้น จะได้ผลรวมความถี่ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 4 ครั้งรวมกันของทุกๆ ธุรกรรม ฉะนั้นค่าความถี่ของคำสั่งซื้อ (Frequency of Order) หรือค่า IK จึงเท่ากับ 4 ในทางกลับกันหากต้องการทราบค่า EQ ให้นำจำนวนสินค้าที่ลูกค้าสั่งแต่ละรายการมารวมกันภายใน 1 ธุรกรรมเดียวกัน และค่า EN คือจำนวนครั้งของสินค้ารายการนั้นๆ ที่เกิดขึ้นจริงซึ่งนับเป็น 1 ครั้งเท่านั้น อย่างไรก็ตามผลรวมสุดท้ายของค่า IQ จะเท่ากับค่า EQ และผลรวมของค่า IK จะเท่ากับค่า EN [13]

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการคำนวณค่า IQ และ IK [6]

		Items (Unites*pieces)								
		11	12	13	14	15	16		EQ	EN
Entry of orders	E1	3	5		1	2	3		14	5
	E2	2		4	6	7			19	4
	E3	4					8		12	2
	E4	2	8		3	5	2		20	5
		EQ Total								
	IQ	11	13	4	10	14	13	IQ Total	65	EN Tot
	IK	4	2	1	3	3	3		IK Total	16

2.6 การหยิบสินค้า เริ่มด้วยการค้นหาจากใบสั่งสินค้า และหยิบตามนโยบายการหยิบ เมื่อได้ค้นหาสินค้าเรียบร้อยแล้ว เจ้าหน้าที่จะทำการหยิบสินค้าตามใบหยิบสินค้า และทำการตรวจทานก่อนนำสินค้าส่งออก การหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อ (Order Picking) คือ เมื่อมีคำสั่งซื้อเข้ามา ผู้หยิบจะเดินไปหยิบสินค้าตามรายการที่อยู่ในใบสั่งจนครบทุกรายการสินค้า ถ้ามีคำสั่งใหม่จะต้องเดินไปหยิบใหม่ [7]

2.7 การหาความสัมพันธ์ (Association Rules) เป็นเทคนิคหนึ่งในการทำเหมืองข้อมูลที่ ค้นหาความสัมพันธ์ของเหตุการณ์หรือวัตถุที่เกิดขึ้นร่วมกันหรือพร้อมกัน แล้วนำมาสร้างกฎขึ้นมาเพื่อที่จะทำนายเหตุการณ์หรือการเกิดขึ้นของวัตถุนั้นๆ ในอนาคต ซึ่งนำไปใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น การวิเคราะห์พฤติกรรม การซื้อสินค้า ถ้าลูกค้าซื้อสินค้า A แล้วมักจะซื้อสินค้า B ตามไปด้วย [8] แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้จากความสัมพันธ์มาใช้ในการจัดวางสินค้าบนชั้นวาง [9] เป็นต้น การหาความสัมพันธ์นั้นจะต้องมีการนับความถี่ (Frequency) ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น แล้วนำความถี่ที่ได้มาจัด

ความสัมพันธ์ของวัตถุ 2 ชนิดขึ้นไป ยกตัวอย่างเช่น A->B [support, confidence] โดยที่ A แทนสินค้านม (Milk) และ B แทนสินค้าไข่ (Egg) เช่น นม->ไข่[support=25%, confidence=80%] หมายความว่า 25% ของคำสั่งซื้อทั้งหมด ลูกค้าน่าจะซื้อนมและไข่พร้อมกัน และ 80% ของลูกค้าที่ซื้อนมแล้วจะต้องซื้อไข่ด้วย [9] เกณฑ์ที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์มี 2 เกณฑ์หลักคือ 1. Support เป็นค่าที่บอกว่าความถี่ที่เกิดขึ้นบ่อยมากน้อยเท่าใด 2. Confidence เป็นค่าที่บอกว่าโอกาสที่เกิดขึ้นจะมีผลลัพธ์มากน้อยเท่าใด โดยค่าทั้งสองอย่างจะต้องผ่านเกณฑ์ขั้นต่ำที่เรียกว่า Minimum Threshold ที่ผู้วิเคราะห์ข้อมูลกำหนดขึ้นมา โดยค่า support และ confidence มีสูตรการคำนวณ ดังนี้ [9]

$$\text{Support (A,B)} = \frac{\text{Frequent of A,B}}{N} \quad (1)$$

โดยที่ Frequent คือ จำนวนธุรกรรมที่ปรากฏรายการทั้ง A และ B
N คือ จำนวนธุรกรรมทั้งหมด

$$\text{Confidence (A,B)} = \frac{\text{Support (A,B)}}{\text{Support (A)}} \quad (2)$$

โดยที่ Support (A,B) คือ จำนวนธุรกรรมที่ปรากฏรายการ A และ B
Support (A) คือ จำนวนธุรกรรมที่ปรากฏรายการ A

สำหรับการประยุกต์การหาความสัมพันธ์ในงานวิจัยนี้ เพื่อทำการจัดกลุ่มของสินค้าที่มีโอกาสถูกหยิบร่วมกันวางตำแหน่งไว้ใกล้กัน หรือทำการจัดกลุ่มสินค้าแบบกลุ่มเดียวกัน (Product Family) ข้อได้เปรียบดังกล่าวจะช่วยลดระยะทางในการหยิบสินค้าตามใบสั่งหยิบ [13] โดยงานวิจัยนี้จะทำการหาความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Orange ซึ่งเป็นเครื่องมือแบบซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส (Open Sources) สำหรับการวิจัยเรียนรู้ของเครื่อง การทำเหมืองข้อมูล และการนำเสนอภาพข้อมูล จุดเด่นอยู่ที่การเขียนโปรแกรมแบบเห็นภาพ สามารถใช้เพื่อการสำรวจวิเคราะห์ข้อมูล และนำเสนอข้อมูลเป็นภาพ [10]

2.8 ตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing Model) เป็นการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการวางแผนการจัดสรรพื้นที่ภายในคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพ ทำให้พื้นที่ภายในคลังสินค้ามีการใช้ประโยชน์อย่างเต็ม

พื้นที่ โดยตัวแบบที่เป็นที่นิยมนั้นจะเป็นตัวแบบปัญหามอบหมายงาน (Assignment Problems) เพื่อกำหนดสมการที่ใช้หาตำแหน่งการจัดวางสินค้าอย่างเหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละประเภท โดยวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุดที่ใช้ในการนำสินค้าเข้าและออก รวมถึงข้อมูลความถี่ในการจัดเก็บสินค้าร่วมกับหลักการสินค้าเคลื่อนไหวยาวไกลที่สุด ซึ่งนำมาใช้ปรับเปลี่ยนตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าให้ดียิ่งขึ้น [11] สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยโปรแกรม Open Solver เพราะเป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการวิเคราะห์หาคำตอบการจัดพื้นที่การวางผังสินค้าเพื่อให้มีความรวดเร็วและถูกต้องแม่นยำ

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

เพื่อปรับปรุงตำแหน่งการจัดวางสินค้าของบริษัทกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวความคิดการวิจัย 5 กระบวนการ ดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาปัญหาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา

ผู้วิจัยลงภาคสนามเข้าพบผู้ประกอบการเพื่อหาหรือสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจริงเกี่ยวกับคลังสินค้าที่ส่งผลกระทบต่อการทำงานขององค์กร จากการสำรวจหน้างานจริงทำให้ทราบสภาพปัญหาของคลังสินค้าหลายประการ ได้แก่ การกำหนดการจัดวางสินค้าที่มีความเคลื่อนไหวช้าอยู่บริเวณโซนด้านหน้า ชั้นวางสินค้าบางส่วนไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ สินค้าต่างรายการวางทับซ้อนบนพื้นที่ตำแหน่งเดียวกัน บางตำแหน่งพื้นที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ในการวางสินค้า ทางเดินมีขนาดไม่เท่ากัน สินค้าต่างหมวดวางปะปนกัน เป็นต้น โดยปัญหาที่ทางผู้ประกอบการให้ความสำคัญและเน้นย้ำมากที่สุด คือ ความล่าช้าในการหยิบสินค้าของพนักงาน เนื่องจากการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าค่อนข้างไม่เป็นระเบียบ ทำให้การหาสินค้าเป็นไปด้วยความยากลำบาก รวมถึงการจัดวางสินค้ากลุ่มเคลื่อนไหวยังไม่เหมาะสมด้วย ซึ่งนำไปสู่ปัญหาการจ้างงานล่วงเวลาที่มากขึ้น และมีค่าใช้จ่ายในการจ้างพนักงานเพิ่มขึ้นด้วย เพื่อให้เห็นความชัดเจนของสภาพคลังสินค้า ทางผู้วิจัยจึงขอยกตัวอย่างรูปที่ 1 ประกอบดังนี้

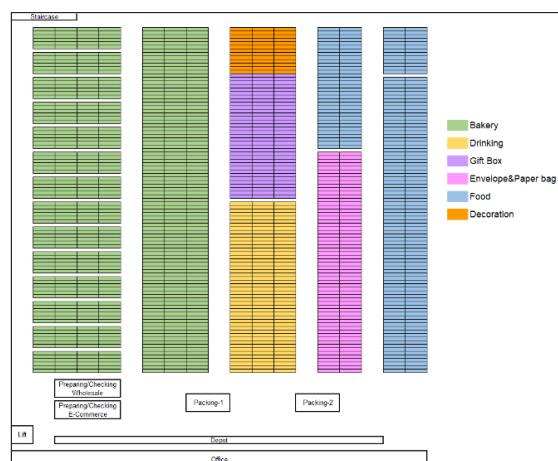


รูปที่ 1 การจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าก่อนการปรับปรุง

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลกิจกรรมคลังสินค้า

ผู้วิจัยให้ความสำคัญกับข้อมูลพื้นฐานที่มีความจำเป็นต่อการวิเคราะห์การดำเนินการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้า ดังนี้

3.2.1 พื้นที่คลังสินค้า มีขนาดของพื้นที่รวม 1,200 ตารางเมตร แบ่งพื้นที่การจัดเก็บสินค้าประเภทบรรจุภัณฑ์ทั้งหมด 6 หมวด ได้แก่ หมวดเบเกอรี่ หมวดเครื่องดื่ม หมวดกล่องของขวัญ หมวดของและอุปกรณ์ครัว หมวดอาหาร และหมวดของตกแต่ง ตามรูปที่ 2 จากการวิเคราะห์และจำแนกข้อมูลพบว่า หมวดเบเกอรี่ (Bakery) มีจำนวนสินค้า 350 รายการ สัดส่วนยอดขาย 42% สัดส่วนคำสั่งซื้อ 42% และสัดส่วนความถี่ของสินค้าสูงถึง 49% ซึ่งเป็นข้อมูล 1 ปีย้อนหลัง (สิงหาคม 2562 - กรกฎาคม 2563) ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ผู้วิจัยตัดสินใจเลือกศึกษาและให้ความสนใจเฉพาะพื้นที่ หมวดเบเกอรี่ (Bakery) เท่านั้น โดยหมวดเบเกอรี่มีตำแหน่งการจัดวางสินค้าจำนวนทั้งหมด 350 ตำแหน่ง ซึ่งเท่ากับจำนวนรายการสินค้าในหมวดเบเกอรี่ 350 รายการ โดยหมวดเบเกอรี่มีขนาดพื้นที่โดยรวม 174.585 ตารางเมตร ตามพื้นที่สีเขียวของรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังคลังสินค้าและโซนเบเกอรี่ของบริษัทกรณีศึกษา

3.2.2 ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ รหัสสินค้า (SKUs Code) ชื่อสินค้า (SKUs Name) หมวดสินค้า (Category) เลขที่เอกสาร (Transaction order) จำนวนขาย (Quantity) หน่วยนับสินค้า (Unit) และยอดขายสินค้า (Sales) ตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้วิเคราะห์ข้อมูล

รหัสสินค้า	ชื่อสินค้า	หมวด	เลขที่เอกสาร	จำนวน	หน่วยนับ	ยอดขาย
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6209009	3	พค	720
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6209087	1	พค	240
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6209357	1	พค	240
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6210241	10	พค	2400
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6210254	1	พค	240
AA-A5-000	กล่องเค้ก 1 ปอนด์ ทรงสูง สีน้ำตาลควาฟท์	BAKERY	IV6210302	1	พค	240

3.2.3 ตำแหน่งพื้นที่การจัดวางสินค้าโซนเบเกอรี่ มีขนาดพื้นที่ 174.585 ตารางเมตร แบ่งออกทั้งหมดเป็น 3 โซนหลัก ได้แก่ โซนที่ 1 อักษร A-N ประกอบไปด้วย 14 โซนย่อย มีขนาดพื้นที่ในการวางสินค้าโซนละ 2x1 ตารางเมตร โซนที่ 2 อักษร O มีขนาดพื้นที่ 12.5x0.9 ตารางเมตร และโซนที่ 3 อักษร P มีขนาดพื้นที่ 14.8x0.9 ตารางเมตร โดยโซน A-N มีขนาดทางเดิน 1.3 เมตร และโซน O และ P 2.3 เมตร แสดงได้ตามตารางที่ 3

3.3 วิเคราะห์ข้อมูลความถี่ของสินค้าและจัดกลุ่มสินค้า

3.3.1 การประยุกต์โดยใช้เทคนิค EIQ Analysis Methodology เพื่อวิเคราะห์หาความถี่สินค้าหมวดเบเกอรี่ทั้ง 350 รายการ จากการวิเคราะห์ธุรกรรมการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้าตลอดระยะเวลา 1 ปีที่ผ่านมาทำให้ได้ค่า $EQ = IQ = 88,260$ ขึ้นต่อปี และค่า $EN = IK = 14,656$ ครั้งต่อปี นั้นหมายความว่า ค่าความถี่ของทุกรายการสินค้ารวมกันจากทุกธุรกรรมของคำสั่งซื้อ ทำให้ได้ค่าความถี่โดยรวม 14,656 ครั้งต่อปี ภายใต้จำนวนสินค้าที่ถูกขายไปทั้งหมด 88,260 ขึ้นต่อปี ซึ่งผู้วิจัยจะนำค่าการวิเคราะห์ดังกล่าวไปจัดกลุ่มต่อไป

3.3.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มสินค้า โดยเลือกการจัดเรียงตามการเคลื่อนไหวเร็ว ปานกลาง และช้า หรือ ABC Analysis ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความถี่จากการวิเคราะห์ผ่านเทคนิค EIQ Analysis มาทำการจัดกลุ่มออกเป็น 3 กลุ่มตามการเคลื่อนไหวของสินค้า พบว่า กลุ่ม A คือ กลุ่มสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวเร็ว ประกอบด้วย 80 รายการ สัดส่วน 22.9% ความถี่โดยรวม 8,858 ครั้งต่อปี สัดส่วน 60.4% ยอดขาย 6.7 ล้านบาทต่อปี สัดส่วน 57.5% กลุ่ม B คือ กลุ่มสินค้าเคลื่อนไหวปานกลาง ประกอบด้วย 105 รายการ สัดส่วน 30% ความถี่รวม 4,469 ครั้งต่อปี สัดส่วน 30.5% ยอดขาย 3.5 ล้านบาทต่อปี สัดส่วน 30.3% และกลุ่ม C คือ กลุ่มสินค้าที่มีการเคลื่อนไหวช้า ประกอบด้วย 165 รายการ สัดส่วน 47.1% ความถี่รวม 1,329 ครั้งต่อปี สัดส่วน 9.1% ยอดขาย 1.4 ล้านบาทต่อปี สัดส่วน 12.2% ฉะนั้นจากข้อมูลดังกล่าวกลุ่ม A ควรจัดไว้ใกล้จุด Depot มากที่สุด และกลุ่ม B C ตามลำดับ

3.4 การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programing Model) เพื่อใช้หาตำแหน่งการจัดวางสินค้าอย่างเหมาะสมสำหรับสินค้าแต่ละประเภท โดยคำนึงถึงระยะทางที่ใช้ในการวัดการนำสินค้าเข้าและออก รวมถึงข้อมูลความถี่ในการจัดเก็บสินค้ามาใช้พิจารณา ด้วยหลักการของตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้น หรือ Simplex Method ซึ่งเป็นทฤษฎีของ George B. Dantzig โดยใช้ร่วมกับหลักการที่ว่า สินค้าที่มีความเคลื่อนไหวบ่อยวางไว้ใกล้ประตู (Fastest Turning

Closest to the Door) มาใช้ในการปรับตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นสูตรที่ใช้คำนวณ คือ [12]

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function):

$$\text{Min} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f_i e_{ij} x_{ij}$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints):

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = q_i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^M x_{ij} = 1 \quad (5)$$

$$x_{ij} = \{0,1\} \quad (6)$$

กำหนดให้

f_i คือ ความถี่การหยิบของสินค้า i

e_{ij} คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของสินค้าจาก i ไปยังโลเคชัน j

q_i คือ ความต้องการพื้นที่จัดเก็บสินค้า i

x_{ij} = 1 ยอมรับสินค้า i ไปเก็บยังโซน j
= 0 ไม่ยอมรับสินค้า i ไปเก็บยังโซน j

และ i = 1 ถึง M ; โดย M คือ ประเภทของสินค้า

J = 1 ถึง N ; โดย N คือ โซนพื้นที่จัดเก็บ

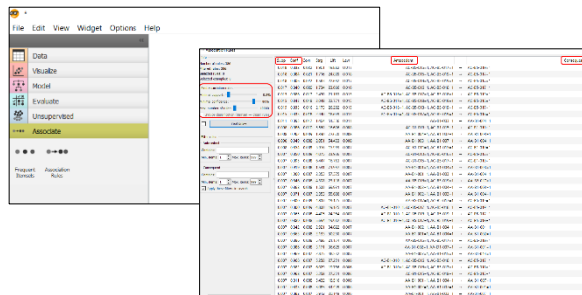
สินค้า

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ข้างต้นถือเป็นตัวแบบมาตรฐานที่หลายงานวิจัยนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาในลักษณะของโปรแกรมเชิงเส้น โดยเฉพาะปัญหาด้านการจัดสรรทรัพยากร เช่น วัตถุดิบ คน เครื่องจักร เงินทุน เวลา สถานที่ เป็นต้น ด้วยเหตุผลที่ว่าทรัพยากรมีอยู่อย่างจำกัดจึงจำเป็นต้องจัดสรรทรัพยากรได้อย่างดี ทั้งนี้ ความแตกต่างของตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้จะต้องใช้แก้ไขปัญหาเพื่อเป้าหมาย (Objective) หาค่าสูงสุด เช่น ต้องการจัดสรรวัตถุดิบในการผลิตสินค้าอย่างไรเพื่อให้ได้กำไรรวมสูงสุด หรือ ต้องมอบหมายผู้รับผิดชอบโครงการอย่างไรเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรวมแล้วต่ำที่สุด หรือ แม้กระทั่งการจัดสรรตำแหน่งพื้นที่ภายในคลังสินค้าอย่างไรเพื่อให้ระยะทางรวมลดลงมากที่สุด เป็นต้น อีกทั้ง

ยังมีเงื่อนไขหรือข้อจำกัด (Constraints) บางประการที่เป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดค่าเป้าหมาย เหมาะกับปัญหาที่มีทางเลือกที่มีความเป็นไปได้สูง และเป้าหมายและเงื่อนไขของปัญหาสามารถเขียนอยู่ในรูปแบบสมการเส้นตรงได้ [12]

3.5 การประยุกต์ใช้กฎความสัมพันธ์ (Association Rules)

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ข้อมูลความถี่จากการวิเคราะห์ EIQ Analysis จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรม Orange เพื่อหาความสัมพันธ์ของสินค้าภายในคลังที่มักจะถูกล้างซื้อพร้อมๆ กัน ผู้วิจัยเริ่มด้วยการเปิดใช้ฟังก์ชัน Associate เลือก Frequent Itemsets เพื่อหาความถี่ของกลุ่มสินค้า และเลือก Association Rules เพื่อให้โปรแกรมทำการสร้าง (generate) กฎที่มีความสัมพันธ์ร่วมกันออกมา จากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเลือกค่าสนับสนุนขั้นต่ำ (Minimum Support) ที่ 0.5% ค่าความเชื่อมั่น (Confidence) ที่ 80% ทำให้ได้ผลลัพธ์ของกฎออกมาทั้งหมด 386 กฎ ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 การใช้ Association Rules ใน Orange

หลังจากที่ผู้วิจัยได้ข้อมูลความสัมพันธ์ของสินค้าหรือ Association Rules ทั้ง 386 rules มาแล้ว จึงนำข้อมูลดังกล่าวมาจำแนกออกเป็น 36 รายการสินค้า ผ่านการ Duplicate บน Microsoft Excel แล้วนำทั้ง 36 รายการสินค้าที่มีความสัมพันธ์กันมาทำการจัดกลุ่มตามความสัมพันธ์ของค่า support และ confidence สูงที่สุด ยกตัวอย่างเช่น สินค้า AC-B1-010 เป็นสินค้าที่มีความถี่ 245 ครั้งต่อปี ซึ่งเป็นความถี่สูงสุดจากทั้งหมด 36 รายการ

โดย AC-B1-010 มักเกิดคำสั่งซื้อพร้อมกันกับ 9 รายการสินค้า ในคอลัมน์ D ซึ่งจะเห็นได้ว่า AC-B1-010 จะถูกเลือกให้วางใกล้กับ AC-B5-018 เพราะมีค่า support ที่สูงสุดในกลุ่ม 0.7% และ confidence สูงสุดในกลุ่ม 96.80% และที่สำคัญยังมีความถี่มากเป็นอันดับที่สองคือ 205 ครั้งต่อปี รองมาจาก AC-B1-010 ด้วยเหตุผลดังกล่าว AC-B1-010 ควรวางตำแหน่งติดกับ AC-B5-018 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การจับคู่สินค้าที่มีความสัมพันธ์กัน

Major SKUs	Freq	Ranking	Minor SKUs	Freq	No.Relation of Rule	% Relation	Max Sup	Max Conf
AC-B1-010	245	1	AC-B5-017	163	17	25.76%	0.70%	96.80%
		2	AC-B5-018	205	14	21.21%	0.70%	96.80%
		3	AC-B5-016	170	12	18.18%	0.70%	96.80%
		4	AC-B5-019	192	15	22.73%	0.70%	88.90%
		5	AC-B1-015	129	3	4.55%	0.60%	100.00%
		6	AC-B1-014	56	1	1.52%	0.60%	87.10%
		7	AC-B1-009	81	2	3.03%	0.50%	88.50%
		8	AA-B5-016	119	1	1.52%	0.50%	82.10%
		9	AA-B5-017	168	1	1.52%	0.50%	82.10%

อย่างไรก็ตาม การจับกลุ่มความสัมพันธ์ของสินค้าทั้ง 36 รายการ ทำให้ผู้วิจัยสามารถแบ่งกลุ่มออกมาได้ทั้งหมด 4 กลุ่ม ดังนี้ โดยแต่ละกลุ่มจะระบุถึงจำนวนรายการ รายการสินค้า และความถี่โดยเฉลี่ย ดังแสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 กลุ่มความสัมพันธ์ของสินค้า (Product Family)

Group	1	2	3	4
1	AC-B1-010	AA-B1-007	AH-E5-000	AA-C1-007
2	AC-B5-018	AA-D1-007	AH-E5-005	AA-C1-011
3	AC-B5-019	AA-B1-001	AH-E5-004	AA-C1-010
4	AC-B5-016	AA-B1-014	AH-E1-000	
5	AA-B5-017	AA-B1-004	AH-B5-004	
6	AC-B5-017	AA-B1-002		
7	AC-B1-011	AA-B1-015		
8	AA-J1-012	AA-D1-001		
9	AC-B1-015	AA-B1-003		
10	AA-B5-016	AA-B1-009		
11	AA-J1-013	AA-D1-009		
12	AC-A1-007	AA-D1-003		
13	AC-B1-009	AA-D1-004		
14	AC-B1-014	AA-D1-005		
Avg. Freq	144.29	78.21	133	94.67

หลังจากที่ผู้วิจัยได้จับกลุ่มสินค้าทั้ง 36 รายการให้เป็น 4 กลุ่มแล้ว ในขั้นตอนต่อไปผู้วิจัยจะทำการสร้างแบบจำลองและทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) ดังแสดงในสมการที่ (3) – (6) เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ดีที่สุดทั้งสี่ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

4. ผลการวิเคราะห์

ผู้วิจัยได้แบ่งผลการศึกษาเปรียบเทียบไว้ 3 รูปแบบ คือ ก่อนการปรับปรุง ระหว่างการปรับปรุง และหลังการปรับปรุง ดังนี้

4.1 ก่อนการปรับปรุง

รูปแบบการจัดวางตำแหน่งสินค้าภายในคลังสินค้าของผู้ประกอบการไม่มีการกำหนดรูปแบบหรือนโยบายที่ชัดเจน ทำให้กลุ่มสินค้าเคลื่อนไหวเร็ว ปานกลาง และช้า ถูกจัดวางอย่างกระจัดกระจายตามรูปที่ 6 ซึ่งพบว่า การจัดวางรูปแบบเดิมก่อนปรับปรุงพนักงานหยิบสินค้าต้องเดินทางระยะไกลถึง 952,989 เมตรต่อปี ตามตารางที่ 7 ระยะทางที่ไกลทำให้พนักงานหยิบสินค้าใช้เวลาในการหยิบสินค้านานมากขึ้น ชั่วโมงการทำงานในเวลาปกติจึงไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการจ้างงานล่วงเวลาสูงถึง 906 ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นค่าใช้จ่าย 56,172 บาท

AC-A1-007	AH-B5-005	AC-B1-999	EC-C1-006	AA-J1-999	ED-D1-004	B	A	C	C	C	B	C	B
AE-A1-999	AH-A1-003	AC-E1-015	AH-C1-001	AC-A1-001	AE-D1-000	B	A	B	C	B	A	C	B
AA-E1-007	AG-A5-000	ED-E1-001	AH-E5-005	AH-C5-000	AC-D1-000	A	B	C	C	A	A	C	B
AC-D5-000	ED-F1-009	ED-D1-999	AG-C5-006	AE-G6-000	ED-B1-002	C	C	C	A	A	B	C	B
AE-E1-000	AH-A1-001			AH-E1-000	AH-A1-001	A	B	A	B	A	C	C	B
AA-D1-014	AH-A1-002	AA-B1-002	AB-A1-003	AG-A1-005	AF-B1-005	A	B	A	B	A	C	C	B
AG-B5-000	ED-B1-999	AE-B1-004	AA-B1-003	AF-A1-999	AF-A1-001	A	C	B	A	B	C	C	B
AA-C1-010	ED-F1-000	AA-H1-000	AH-E5-004	AA-D1-005	EF-B6-000	A	C	B	A	C	B	C	C
AC-F1-999	AG-B1-004	AH-B1-003	AC-B5-019	AE-E3-002	AA-F6-000	C	C	B	A	A	C	C	C
AA-B5-017	AE-F1-000	AA-B1-015	AG-A1-003	ED-B1-009	AC-F1-011	C	A	C	A	C	C	C	B
AF-A1-003	AB-A5-013	AA-J6-000	AB-A1-003	AC-A5-000	AA-D5-000	C	A	C	A	C	C	C	A
AA-B5-016	AC-A1-999	AC-B5-017	EC-G1-019	AC-G1-026	ED-F1-004	C	C	B	B	A	C	A	B
AC-D1-007	AE-A1-002	EC-E1-999	AH-C1-002	AC-C1-002	AJ-A1-000	A	B	A	C	B	C	C	B
AC-C1-001	AF-B1-004	AF-C1-002	AG-A1-999	AH-E1-007	AH-A1-000	C	B	C	B	A	C	C	B
AC-D5-010	AG-B1-007	AA-B1-009	EF-C6-000	AE-B1-999	AA-C1-000	C	C	C	C	C	C	C	C
AA-H1-004	AC-A1-011	AG-B1-001	AA-E1-009	AG-B1-999	AA-K6-000	C	C	C	C	C	C	C	C
AA-K1-999	AB-A1-005	AC-E5-018	EC-C1-000	AC-A5-000	AA-D5-000	A	B	C	C	C	C	C	B
AC-E1-009	AF-C1-001	AE-G1-000	AA-D1-007	EC-C1-006	AE-F6-000	C	B	C	C	C	A	A	C
AC-F6-000	AE-B5-000	ED-C1-003	AG-D1-000	AC-A1-002	AA-C6-000	C	C	C	A	A	B	B	C
AC-G1-000	AF-E1-001	ED-A1-003	AG-A5-016	ED-C1-000	AJ-B1-000	B	A	B	C	C	C	B	B
AC-G1-026	ED-A1-001	ED-C1-001	AA-D5-017	AH-B5-999	AE-G1-007	C	C	C	C	C	C	C	C
AH-B5-004	AC-E1-011	EC-C1-001	AC-B6-000	AF-B1-001	AE-E1-017	B	B	B	C	B	C	C	C
AH-A1-999	AC-E5-019	AF-B5-000	AH-A3-000	ED-D1-999	EC-G1-999	A	B	C	A	A	B	C	C
EC-B1-001	AC-F1-012	AC-E1-014	AA-D1-999	AC-B5-024	EF-B1-000	A	B	C	C	A	B	C	C
AC-C1-000	EC-B1-999	EC-C1-009	AA-B1-014	AB-A5-000	AC-E5-016	B	B	C	C	C	A	C	C
				AA-A5-000	AH-E1-002	C	C	B	C	B	C	B	C
				EC-H1-999	EC-E1-005	C	C	C	A	A	B	C	C

รูปที่ 6 แผนผังการจัดวางตำแหน่งสินค้าก่อนปรับปรุง

ตารางที่ 7 ระยะทางรวมของพนักงานหยิบสินค้าก่อนการปรับปรุง

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	No	SKU	Location	A07	A08	O01	O02	A05	A06	O03	O04	A03	A04	O05	O06	A01	A02
2	1	AC-B1-010	245	7,350	7,350	7,350	7,350	7,595	7,595	7,595	7,595	7,840	7,840	7,840	8,085	8,085	8,085
3	2	AE-H1-010	209	6,270	6,270	6,270	6,270	6,479	6,479	6,479	6,479	6,688	6,688	6,688	6,897	6,897	6,897
4	3	AC-B5-018	205	6,130	6,130	6,130	6,130	6,335	6,335	6,335	6,335	6,540	6,540	6,540	6,745	6,745	6,745
5	4	AA-B1-007	201	6,030	6,030	6,030	6,030	6,231	6,231	6,231	6,231	6,432	6,432	6,432	6,633	6,633	6,633
6	5	AC-B5-019	192	5,760	5,760	5,760	5,760	5,952	5,952	5,952	5,952	6,144	6,144	6,144	6,336	6,336	6,336
7	6	AB-A5-000	172	5,160	5,160	5,160	5,160	5,332	5,332	5,332	5,332	5,504	5,504	5,504	5,676	5,676	5,676
8	7	AC-B5-016	170	5,100	5,100	5,100	5,100	5,270	5,270	5,270	5,270	5,440	5,440	5,440	5,610	5,610	5,610
9	8	AA-B5-017	168	5,040	5,040	5,040	5,040	5,208	5,208	5,208	5,208	5,376	5,376	5,376	5,544	5,544	5,544
10	9	AH-C5-000	163	4,890	4,890	4,890	4,890	5,053	5,053	5,053	5,053	5,216	5,216	5,216	5,379	5,379	5,379
11	10	AC-B5-017	163	4,890	4,890	4,890	4,890	5,053	5,053	5,053	5,053	5,216	5,216	5,216	5,379	5,379	5,379
12	11	AH-E5-000	163	4,890	4,890	4,890	4,890	5,053	5,053	5,053	5,053	5,216	5,216	5,216	5,379	5,379	5,379
13	12	AH-B5-000	161	4,830	4,830	4,830	4,830	4,991	4,991	4,991	4,991	5,152	5,152	5,152	5,313	5,313	5,313
14	13	AH-E5-005	148	4,440	4,440	4,440	4,440	4,588	4,588	4,588	4,588	4,736	4,736	4,736	4,884	4,884	4,884
15	14	AC-A5-000	146	4,380	4,380	4,380	4,380	4,526	4,526	4,526	4,526	4,672	4,672	4,672	4,818	4,818	4,818
16	15	AB-B1-011	144	4,320	4,320	4,320	4,320	4,464	4,464	4,464	4,464	4,608	4,608	4,608	4,752	4,752	4,752
17	16	AA-G6-000	141	4,230	4,230	4,230	4,230	4,371	4,371	4,371	4,371	4,512	4,512	4,512	4,653	4,653	4,653
18	17	AA-D1-007	141	4,230	4,230	4,230	4,230	4,371	4,371	4,371	4,371	4,512	4,512	4,512	4,653	4,653	4,653

4.2 ระหว่างการปรับปรุง

ผู้วิจัยได้ทำการทดลองปรับปรุงรูปแบบตำแหน่งการจัดวางสินค้าแบบใหม่ภายใต้การจัดกลุ่มสินค้าตามการเคลื่อนไหวเร็ว ปานกลาง และช้า ตามลำดับ โดยการจัดกลุ่มในรูปแบบนี้ทางผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญการจัดกลุ่มตามมูลค่ายอดขายสินค้าของทั้งปีที่ผ่านมา พบว่า กลุ่ม A จำนวน 70 รายการ คิดเป็น 20% ยอดขาย 60% กลุ่ม B จำนวน 105 รายการ คิดเป็น 30% ยอดขาย 30% และกลุ่ม C จำนวน 175 รายการ คิดเป็น 50% และยอดขายเพียง 10% โดยการปรับปรุงในครั้งนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการจับคู่ของข้อมูลของรายการสินค้าที่มียอดขายมากที่สุดคู่กับตำแหน่งการจัดวางสินค้าที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด จากการออกแบบพบว่า ระยะทางรวมของพนักงานหยิบสินค้าลดลงเหลือ 691,649 เมตรต่อปี จากเดิม 952,989 เมตรต่อปี คิดเป็น 27.42% อย่างไรก็ตาม ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือ Open Solver Excel มาใช้ในการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเพิ่มเติม โดยทำการนิยาม Objective function และ constraints ตามรูปที่ 7 และทำการ Solve แยกกลุ่มตามกลุ่ม A B และ C ตามตารางที่ 8 และ 9 ทำให้ได้ผลลัพธ์ของระยะทางใหม่ลดลงเหลือ 670,257.8 เมตรต่อปี ตามตารางแสดงผลที่ 9

OpenSolver - Model

What is AutoModel?

AutoModel

AutoModel is a feature of OpenSolver that tries to automatically determine the problem you are trying to optimise by observing the structure of the spreadsheet. It will turn its best guess into a Solver model, which you can then edit in this window.

Objective Cell:

\$B\$52

maximise

minimise

target value:

Variable Cells:

\$D\$76:\$B\$145

Constraints:

<Add new constraint>

\$B\$76:\$B\$145 = \$B\$76:\$B\$145

\$D\$146:\$B\$146 = \$D\$146:\$B\$146

\$D\$76:\$B\$145 bin

Add constraint

Cancel

Delete selected constraint

☒ Make unconstrained variable cells non-negative
 ☒ Show named ranges in constraint list

Sensitivity Analysis

☐ List sensitivity analysis on the same sheet with top left cell:
 ☐ Output sensitivity analysis:
 ☒ updating any previous output sheet
 ☐ on a new sheet

Solver Engine:

Current Solver Engine: CBC

Solver Engine...

☒ Show model after saving

Clear Model

Options...

Save Model

Cancel

รูปที่ 7 หน้าต่าง Open Solver Excel

ตารางที่ 8 ผลรวมของระยะทางและความถี่ของสินค้า

Rank	Code-1	Code-2	Location Code	Distance (m.)	SKUs	Frequency (time)	Class	Total Distance (m.)
1	A	01	A01	33	EC-B1-001	2	C	66
2	A	02	A02	33	AC-C1-000	16	C	528
3	A	03	A03	32	AC-F1-012	33	B	1,056
4	A	04	A04	32	EC-B1-999	2	C	64
5	A	05	A05	31	AC-E1-014	5	C	155
6	A	06	A06	31	EC-C1-009	6	C	186
350	P	68	P68	96.6	EC-E1-009	3	C	290
Total Distance								952,989

ตารางที่ 9 ผลรวมของระยะทางใหม่ลดลง

Rank	Code-1	Code-2	Location Code	Distance (m.)	SKUs	Frequency (time)	Class	Total Distance (m.)
1	A	07	A07	30.00	AC-B1-010	245	A	7350
2	A	08	A08	30.00	AE-H1-010	209	A	6270
3	O	01	O01	30.00	AC-B5-018	205	A	6150
4	O	02	O02	30.00	AA-B1-007	201	A	6030
5	A	05	A05	31.00	AC-B5-019	192	A	5952
6	A	06	A06	31.00	AB-A5-000	172	A	5332
350	N	10	N10	97.40	AF-A1-003	1	C	97.4
Total Distance								670257.8

4.3 หลังการปรับปรุง

จากความสัมพันธ์ของสินค้า (Association Rules) ที่ทางผู้วิจัยได้ทำการจัดกลุ่มจาก 36 รายการสินค้า เป็น 4 กลุ่มใหญ่นั้น ทางผู้วิจัยขอเรียกสินค้ากลุ่มนี้ว่า สินค้ากลุ่ม “Family Zone” เพื่อให้เข้าใจง่ายต่อการทำความเข้าใจ ฉะนั้นจึงได้ทำการออกแบบรูปแบบการจัดวางสินค้าเพิ่มเติมอีก 4 รูปแบบ เพื่อบริการการจัดวางสินค้ากลุ่ม Family Zone ดังต่อไปนี้

4.3.1 จัดวางโซนซ้ายอย่างเดียว (Family Left Zone) เป็นการการจัดวางสินค้ากลุ่ม Family Zone ทั้ง 36 รายการไว้ทางโซนด้านหน้าซ้ายสุดเพียงอย่างเดียว โดยมีแบบจำลองในการจัดวางตามรูปที่ 8 และรูปแบบการจัดวางสินค้าจะเป็นไปตามรูปที่ 9 โดยหลักการของการจัดวางสินค้าทางผู้วิจัยได้ใช้หลักการความถี่โดยเฉลี่ยของกลุ่มมาที่สุดจะถูกจับคู่กับตำแหน่งวางสินค้าที่มีระยะทางที่สั้นที่สุด

C10	C12	C14	C16			O28	O27		47	46	45	44		43	43
C09	C11	C13	C15			O26	O25		47	46	45	44		42	42
C01	C03	C05	C07			O24	O23		42	41	40	39		41	41
C02	C04	C06	C08			O22	O21		42	41	40	39		40	40
						O20	O19							39	39
B10	B12	B14	B16			O18	O17		42	41	40	39		38	38
B09	B11	B13	B15			O16	O15		42	41	40	39		37	37
B01	B03	B05	B07			O14	O13		38	37	36	35		36	36
B02	B04	B06	B08			O12	O11		38	37	36	35		35	35
						O10	O09							34	34
A10	A12	A14	A16			O08	O07		38	37	36	35		33	33
A09	A11	A13	A15			O06	O05		38	37	36	35		32	32
A01	A03	A05	A07			O04	O03		33	32	31	30		31	31
A02	A04	A06	A08			O02	O01		33	32	31	30		30	30
Depot (Entrance & Exit)								Depot (Entrance & Exit)							

รูปที่ 8 แบบจำลองการจัดวาง Family Left Zone

ABA1-011	AE-A1-001	AC-G1-025	AE-H1-009	AA-C1-000	AC-A1-000		B	A	A	A	A	A	A	A	A
ED-A1-001	AC-A1-005	AE-A1-004	AH-B5-005	AA-E1-007	AC-B1-000		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AA-K1-014	AA-B5-000	AA-B1-003	AA-B1-002	AA-C5-000	ED-A1-003		A	A	B	A	A	A	A	A	A
ED-A1-000	ED-D1-000	AA-B1-009	AA-B1-015	ED-B1-003	AH-C1-000		A	A	A	B	A	A	A	A	A
AA-D1-005	AA-D1-003	AA-C1-010	AA-C1-011	AA-G1-000	AA-G1-007		B	B	A	A	A	A	A	A	A
AA-D1-004	AA-D1-000	AA-C1-001	AA-C1-007	AA-J1-000	AA-D1-000		B	B	A	A	A	A	A	A	A
AA-B1-014	AA-D1-007	AA-B1-007	AH-E5-004	AC-B6-000	AH-A5-000		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AA-B1-004	AA-B1-001	AH-B5-004	AH-E1-000	AC-F6-000	ED-B1-000		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AC-B1-014	AC-A1-007	AA-B5-016	AH-E5-005	AH-B1-002	AB-A1-000		B	A	A	A	A	A	A	A	A
AC-B1-009	AA-J1-013	AC-B1-015	AH-E5-000	AC-G1-026	AA-B1-000		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AC-B1-011	AA-B5-017	AC-B5-019	AC-B1-010	AH-B5-000	AH-C5-000		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AA-J1-012	AC-B5-017	AC-B5-016	AC-B5-018	AB-A5-000	AE-H1-010		A	A	A	A	A	A	A	A	A
Depot (Entrance & Exit)								Depot (Entrance & Exit)							

รูปที่ 9 การจัดวางสินค้ารูปแบบ Family Left Zone

4.3.2 จัดวางโซนขวาอย่างเดียว (Family Right Zone) เป็นการการจัดวางสินค้ากลุ่ม Family Zone ทั้ง 36 รายการไว้ทางโซนด้านหน้าขวาสุดเพียงอย่างเดียว โดยมีแบบจำลองในการจัดวางตามรูปที่ 10 และรูปแบบการจัดวางสินค้าจะเป็นไปตามรูปที่ 11

D10	D12	D14	D16			O38	O37		51	50	49	48		48	48
D09	D11	D13	D15			O36	O35		51	50	49	48		47	47
D01	D03	D05	D07			O34	O33		47	46	45	44		46	46
D02	D04	D06	D08			O32	O31		47	46	45	44		45	45
						O30	O29							44	44
C10	C12	C14	C16			O28	O27		47	46	45	44		43	43
C09	C11	C13	C15			O26	O25		47	46	45	44		42	42
C01	C03	C05	C07			O24	O23		42	41	40	39		41	41
C02	C04	C06	C08			O22	O21		42	41	40	39		40	40
						O20	O19							39	39
B10	B12	B14	B16			O18	O17		42	41	40	39		38	38
B09	B11	B13	B15			O16	O15		42	41	40	39		37	37
B01	B03	B05	B07			O14	O13		38	37	36	35		36	36
B02	B04	B06	B08			O12	O11		38	37	36	35		35	35
						O10	O09							34	34
A10	A12	A14	A16			O08	O07		38	37	36	35		33	33
A09	A11	A13	A15			O06	O05		38	37	36	35		32	32
A01	A03	A05	A07			O04	O03		33	32	31	30		31	31
A02	A04	A06	A08			O02	O01		33	32	31	30		30	30
Depot (Entrance & Exit)								Depot (Entrance & Exit)							

รูปที่ 10 แบบจำลองการจัดวาง Family Right Zone

ED-C1-006	AB-A1-012	AB-A1-005	ED-C1-003	AH-D5-000	AA-H1-005		B	B	B	B	B	B	B	B	B
AB-A1-009	AA-H1-004	AB-A1-006	AE-B1-004	AA-D1-005	AA-D1-004		B	B	B	B	B	B	B	B	B
AA-D5-000	ED-A1-001	AE-A1-001	AA-K1-013	AA-D1-003	AA-D1-009		B	A	A	A	A	A	A	A	A
ED-B1-004	AE-H1-011	AH-B1-000	AH-A1-000	AA-B1-009	AA-B1-003		B	B	A	A	A	A	A	A	A
AB-A1-011	AE-B1-003	AG-B1-000	AH-A5-004	AA-D1-001	AA-B1-015		B	A	A	A	A	A	A	A	A
AC-A1-003	AE-A5-000	AC-A1-005	ED-D1-004	AA-B1-002	AC-B1-014		B	A	A	A	A	A	A	A	A
AE-A1-004	AE-H1-009	AC-A1-000	AC-B1-000	AA-D1-004	AC-B1-009		B	A	A	A	A	A	A	A	A
AC-G1-025	AC-F1-000	AH-B5-005	AA-E1-007	AA-B1-014	AC-A1-007		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AH-G1-002	AH-A1-002	ED-A1-000	ED-D1-000	AA-B1-001	AA-J1-013		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AA-C5-000	AA-G1-000	AC-A1-001	AC-F6-000	AA-D1-007	AA-B5-016		A	A	A	A	A	A	A	A	A
ED-B1-003	AA-J1-000	AC-B6-000	AH-B1-002	AA-B1-007	AC-B1-015		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AH-C1-000	AA-D1-000	AH-A5-000	AB-A1-000	AA-C1-010	AA-J1-017		A	A	A	A	A	A	A	A	A
ED-A1-003	AA-G1-007	AE-H5-000	ED-B1-000	AA-C1-011	AC-B1-011		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AA-C5-000	AA-G1-000	AC-A1-001	AC-F6-000	AA-C1-007	AC-B5-017		A	A	A	A	A	A	A	A	A
ED-B1-003	AA-J1-000	AC-B6-000	AH-B1-002	AH-B5-004	AA-B5-017		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AH-C1-000	AA-D1-000	AH-A5-000	AB-A1-000	AH-E1-000	AC-B5-016		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AA-B1-000	AC-A5-000	AH-C5-000	AE-H1-010	AH-E5-004	AC-B5-019		A	A	A	A	A	A	A	A	A
AC-G1-026	AA-G6-000	AH-B5-000	AB-A5-000	AH-E5-005	AC-B5-010		A	A	A	A	A	A	A	A	A
Depot (Entrance & Exit)								Depot (Entrance & Exit)							

รูปที่ 11 การจัดวางสินค้ารูปแบบ Family Right Zone

ตารางที่ 10 ผลลัพธ์เปรียบเทียบของระยะทางที่สามารถลดลงได้

Type	Family Zone	Total Distance Meter/Year	Selected
1	Left	663,714.40	No
2	Right	663,310.60	Yes
3	Mixed 1	667,122.60	No
4	Mixed 2	665,466.00	No

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ทุกแบบจำลอง

ขั้นตอน	แบบจำลอง	ระยะทาง (เมตร)
ก่อนการปรับปรุง	Existing layout	952,988.60
ระหว่างการพัฒนาปรับปรุง	Class-based layout	691,649.00
	Class-based layout with optimal location	670,257.80
หลังการปรับปรุง	Family left zone	663,714.40
	Family right zone	663,310.60
	Family mixed zone-1	667,122.60
	Family mixed zone-2	665,466.00

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงตำแหน่งการวางสินค้าเพื่อลดระยะทางในการหยิบสินค้าเพื่อจัดส่งผลจากการศึกษา พบว่า กรณีศึกษาเดิมนั้นมีรูปแบบการจัดวางสินค้ามีระยะทางรวม (total distances) ในการหยิบสินค้า เท่ากับ 952,988.60 เมตรต่อปี หลังจากการปรับปรุงแล้ว ทำให้ระยะทางรวมเหลือ 663,310.60 เมตรต่อปี ระยะทางรวมลดลงไปมากถึง 289,678 เมตรต่อปี

หรือคิดเป็นสัดส่วน 30.40% เมื่อระยะทางในการเดินหยิบสินค้าของพนักงานลดลง ทำให้เวลาในการทำงานล่วงเวลาของพนักงานหยิบสินค้าลดลงเช่นกัน จากเดิม 906 ชั่วโมงต่อปี เหลือเพียง 83.70 ชั่วโมงต่อปี ซึ่งชั่วโมงทำงานล่วงเวลารวมลดลงไปมากถึง 822 ชั่วโมงหรือคิดเป็นสัดส่วนมากถึง 90.76% ทางด้านค่าใช้จ่ายค่าจ้างล่วงเวลาเช่นเดียวกัน เมื่อเวลาในการทำงานล่วงเวลาลดลง ทำให้ค่าจ้างล่วงเวลาลดลงตามไปด้วย ในสัดส่วนที่เท่าๆ กัน จากเดิมต้องผู้ประกอบการต้องเสียค่าใช้จ่าย 56,172 บาทต่อปี ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงเหลือเพียง 5,189.67 บาทต่อปี โดยค่าใช้จ่ายลดลง 50,982.33 บาทต่อปี นอกจากนั้นประโยชน์ที่ได้รับเพิ่มเติมพบว่า เวลาที่ลดลงส่งผลเชิงบวกต่อชั่วโมงการทำงานในช่วงเวลาปกติให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วย โดยชั่วโมงการทำงานแบบเดิมอยู่ที่ 2,320 ชั่วโมงต่อปี แต่หลังการปรับปรุงทำให้มีเวลาคงเหลือหลังจากหักชั่วโมงล่วงเวลาไปแล้วที่ 158 ชั่วโมงต่อปี ส่งผลให้สามารถเพิ่มประโยชน์ของเวลาในการทำงานได้เพิ่มขึ้น 6.81%

6. ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

6.1 ข้อจำกัดในการวิจัย

6.1.1 ข้อจำกัดทางด้านเวลาที่ใช้ในการศึกษาจึงไม่สามารถศึกษาครบทุกโซนและทุกกลุ่มสินค้าได้ และข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์มีเพียงแค่ 1 ปีย้อนหลัง หากมีข้อมูลเพิ่มเติมมากขึ้น จะสามารถช่วยวิเคราะห์การจัดวางตำแหน่งสินค้าได้ดียิ่งขึ้น

6.1.2 การใช้วิธี Solver เพื่อแก้ไขการจัดวางตำแหน่งของสินค้าตามความถี่ของสินค้า ในบางครั้งอาจไม่ได้ตอบโจทย์สำหรับผู้ประกอบการทั้งหมด ซึ่งสินค้าบางรายการสำหรับผู้ประกอบการแล้วควรวางอยู่ด้วยกัน หรือตามมูลค่าของสินค้ามากกว่า ในส่วนนี้เป็นส่วนวิจัยในอนาคตที่น่าสนใจทำการพัฒนาตัวแบบที่ตรงกับโจทย์และความต้องการของกรณีศึกษามากยิ่งขึ้น

6.2 การนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้จริง

6.2.1 การนำ Association Rules มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีความสำคัญต่อการศึกษามาก เนื่องจากลักษณะการจัดกลุ่มความสัมพันธ์ของ

สินค้าส่วนใหญ่สามารถนำมาใช้กับการปรับตำแหน่งการจัดวางสินค้าภายในคลังสินค้าของผู้ประกอบการได้จริงและช่วยให้ทราบพฤติกรรมของเป้าหมายได้ จากการใช้อัลกอริทึมจัดการเชื่อมความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ต่างๆ ที่เราต้องการหา คัดกรองข้อมูลออกมาตามความสัมพันธ์วิเคราะห์ข้อมูลออกมาจนมีความน่าเชื่อถือและนำไปใช้ได้จริง

6.2.2 กรณีศึกษาเริ่มนำไปปรับใช้จริงในบางส่วนของพื้นที่ โดยเฉพาะพื้นที่ที่ประยุกต์ใช้การออกแบบด้วย Association Rule และพื้นที่อื่นๆ ทดสอบปรับตามตาม Class-based Warehouse Layout หรือ ABC Analysis ซึ่งทำให้ผู้ประกอบการมีความเห็นว่า พนักงานหยิบสินค้าทำงานได้อย่างง่ายขึ้น และรวดเร็วมากยิ่งขึ้น และทำให้ค่าใช้จ่าย OT ลดลงกว่า 50%

6.2.3 จากการนำผลการศึกษามาประยุกต์ใช้จริง ผู้วิจัยพบว่า หากนำ Association Rules มาประยุกต์ใช้ได้ อย่างเต็มพื้นที่ สำหรับพื้นที่อีก 90% ที่เหลือ และรวมไปถึงหมวดโซนอื่นๆ ในคลังสินค้า น่าจะทำให้เกิดความสอดคล้องในการหยิบสินค้ามากยิ่งขึ้น และเกิดประสิทธิภาพในการหยิบสินค้ามากยิ่งขึ้นตามไปด้วย

6.2.4 นอกจากระยะเวลาทางรวม ระยะเวลาในการทำงานรวม และค่าใช้จ่ายทางด้าน OT ที่ลดลงแล้ว การใช้พื้นที่ของการนำ Shelf มาใช้ก็สามารถทำให้การ Utilization ของพื้นที่จัดเก็บได้ดีขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามส่วนนี้ยังอยู่ระหว่างการดำเนินการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวัดผลการปรับปรุงเพื่อการวัดผลออกมาเป็นตัวเลข

7. การติดตามผลหลังการปรับปรุง

หลังจากผลการวิจัยสรุปเสร็จสิ้นแล้ว ทางผู้วิจัยได้นำเสนอผลงานกับทางผู้ประกอบการเพื่อนำไปปรับใช้จริง ซึ่งทางผู้ประกอบการได้ให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี และได้เริ่มทำการปรับตำแหน่งการจัดวางสินค้าใหม่ครั้งแรกเมื่อวันที่ 12 ธันวาคม 2563 เป็นต้นมา ซึ่งทางผู้วิจัยได้ทำการเก็บรูปภาพเปรียบเทียบก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงตามรูปที่ 16 และ รูปที่ 17



รูปที่ 16 การจัดวางตำแหน่งสินค้าก่อนปรับปรุง



รูปที่ 17 การจัดวางตำแหน่งสินค้าหลังปรับปรุง

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] เมธินี ศรีกาญจน์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล, “การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัทศรีไทยซูเปอร์แวร์ จำกัด (มหาชน) สาขาสุขสวัสดิ์,” *WMS Journal of Management.*, ฉบับที่ 3, น. 8-20, 2555.
- [2] อชิระ เมธารัตกุล, “การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า: กรณีศึกษา บริษัทผลิตชิ้นส่วนรถยนต์,” งานนิพนธ์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา, 2557.
- [3] อวรรณ มัชฌิมกิจ, ศุภชัย ภิธัชเพ็ญ, กันยา อัครอารีย์, “การปรับปรุงการจัดเก็บสินค้าคงคลัง

- ผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้บรรจุขวดโดยใช้ชั้นวางสินค้าและการจัดเก็บสินค้าตามปริมาณความต้องการพื้นฐาน,” ใน *การประชุมสัมมนาวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 9 (ThaiVCML2009)*, 19-21 พฤศจิกายน 2552. มหาวิทยาลัยบูรพา: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552.
- [4] ศิริวัฒน์ รุ่งมณีรัตน์, “การปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้า: กรณีศึกษาโรงงานผลิตผงอุตสาหกรรม,” *ปริญญานิพนธ์, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, 2555.
- [5] วิทยา คาระคำ, “แนวทางการออกแบบผังการจัดเก็บสินค้าสำหรับคลังสินค้า บริษัท ABC จำกัด,” *งานนิพนธ์, บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2559.
- [6] สมคิด พาละแพน และ จุฑา พิชิตลำเค็ญ, “การปรับปรุงผังการจัดเก็บสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานในกระบวนการรับและจ่ายสินค้า: กรณีศึกษาคลังจัดเก็บผลิตภัณฑ์นมสำเร็จรูป,” ใน *การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2555*, เพชรบุรี: คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555.
- [7] ณัฐวดี ปัญญาพานิช, “การประยุกต์ใช้แบบจำลองสถานการณ์ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพกระบวนการหยิบสินค้า,” *วิทยานิพนธ์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*, 2556.
- [8] นันทวุฒิ คะอังกู, “วิธีแบ่งช่วงข้อมูลสำหรับการหาความสัมพันธ์,” *วิทยานิพนธ์, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี*, 2555.
- [9] วิวัฒน์ ชินนาทศิริกุล, “การทำเหมืองข้อมูล ตอน การหาความสัมพันธ์ของข้อมูลด้วย Apriori algorithm,” *สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์, [ออนไลน์]*. แหล่งที่มา: <http://www.wiwatchin.com/page/article/Apriori.pdf>. [วันที่เข้าถึง 25 ธันวาคม 2563].
- [10] ทองพูล หีบไธสง, “การทำเหมืองข้อมูลด้วยโปรแกรม Orange,” *คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, 2561.
- [11] ไชยพร ปรีชาวงศ์, “การเพิ่มประสิทธิภาพคลังสินค้าอัตโนมัติด้วยการจัดแบ่งพื้นที่จัดเก็บสินค้า,” *งานนิพนธ์, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2556.
- [12] โสภณ สุขสวัสดิ์, “การปรับปรุงประสิทธิภาพตำแหน่งการจัดวางสินค้าในคลังสินค้า: กรณีศึกษาบริษัทผลิตยางผสม (RUBBER COMPOUND),” *วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยบูรพา*, 2557.
- [13] Y.F. Chuang, H.T. Lee, Y.C. Lai, “Item-associated cluster assignment model on storage allocation problems,” *Computers and Industrial Engineering*, vol. 63, pp. 1171-1177, 2012.
- [14] รัตนาพร แจ่มเรือง และ วัชรพจน์ ทรัพย์สงวนบุญ, “การวิเคราะห์ความสูญเสียในโซ่อุปทานค้าปลีกด้วยผังกระบวนการทางธุรกิจภายใต้ระบบ INTEGRATION DEFINITION FOR FUNCTION MODELING (IDEF),” *Journal of Economics Chiang Mai University*, ฉบับที่ 2 (กรกฎาคม - ธันวาคม 2556), น. 72-86, 2556.