การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าด้วยวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา

Increasing Efficiency of Warehouse Operation by Integrating Storage Assignment and Picker Routing Policies in the Fishbone Warehouse

วิชชุดา บุญเรือง

Witchuda Boonreung

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Statistics
Prince of Songkla University

2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าด้วยวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา

Increasing Efficiency of Warehouse Operation by Integrating Storage Assignment and Picker Routing Policies in the Fishbone Warehouse

วิชชุดา บุญเรือง
Witchuda Boonreung

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science in Statistics
Prince of Songkla University
2565

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าด้วยวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา

ผู้เขียน นางสาววิชชุดา บุญเรือง

สาขาวิชา สถิติ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ใกล้รุ่ง สามารถ)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ดร.สาลินี ธำรงเลาหะพันธุ์)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ใกล้รุ่ง สามารถ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรฑิตา ทิวทัศน์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เถกิง วงศ์ศิริโชติ)

รักษาการแทนคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ใกล้รุ่ง สามารถ)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ .....
(นางสาววิชชุดา บุญเรือง)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ .....

(นางสาววิชชุดา บุญเรือง)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าด้วยวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา
ผู้เขียน นางสาววิชชุดา บุญเรือง
สาขาวิชา สถิติ
ปีการศึกษา 2565

บทคัดย่อ

ขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งของการจัดการคลังสินค้าคือการหยิบสินค้าซึ่งเป็นกระบวนการที่ผู้หยิบสินค้าเดินหรือขับรถไปตามคลังสินค้าเพื่อหยิบสินค้าจากตำแหน่งต่าง ๆ ในคลังสินค้าก่อนส่งไปยังลูกค้า ในคลังสินค้าที่ดำเนินการด้วยมนุษย์ พบว่าระยะทางที่ผู้หยิบสินค้าเดินหยิบสินค้ามีผลต่อปริมาณงานที่ทำได้ในช่วงเวลาหนึ่งในคลังสินค้า งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของสี่ปัจจัยต่อระยะทางรวมที่ใช้ในการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา ได้แก่ ขนาดของใบสั่งซื้อ ขนาดของคลังสินค้า วิธีการเดินหยิบสินค้า และวิธีการเก็บสินค้า โดยผู้วิจัยได้จำลองสถานการณ์และใช้ผลลัพธ์จากการจำลองไปศึกษาอิทธิพลหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนข้อมูลที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าปัจจัยหลักทุก ๆ ปัจจัยและผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัยมีอิทธิพลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผลการทดสอบผลกระทบร่วมของ 3 ปัจจัยพบว่ามีอิทธิพลร่วมต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ยกเว้นผลกระทบร่วมของขนาดของคลังสินค้า ขนาดของใบสั่งซื้อ และวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่ไม่มีอิทธิพลร่วมต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ผลกระทบร่วมของทั้ง 4 ปัจจัย พบว่าไม่มีอิทธิพลร่วมต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้าที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Thesis Title Increasing Efficiency of Warehouse Operation by Integrating Storage Assignment and Picker Routing Policies in the Fishbone Warehouse
Author Miss Witchuda Boonreung
Major Program Statistics
Academic Year 2022

ABSTRACT

Order picking is one of the most critical processes in warehouse management. It is the process of retrieving a set of requested items from specified storage locations in a warehouse to prepare orders that are then shipped to the customers. In manual order picking systems, the picking travel distance required by the order pickers has profound effects on the warehouse throughput. This research aims to evaluate the effects of four main factors, including pick-list sizes, warehouse sizes, order picker routing policies, and storage assignment policies on the picking travel distance in a fishbone warehouse. To estimate the picking travel distance, the simulations of all possible combinations of several levels were created. The outputs were then used as the inputs for a statistical study assessing the main and interaction effects from different factors. The analysis of variance (ANOVA) results indicate that the main effects and two-way interactions have a statistically significant effect on the picking travel distance at a level of significance α of 0.05. Most of the three-way interactions are significant. The only thing that is not significant in three-way is the interaction between warehouse sizes, pick-list sizes, and order picker routing policies. In terms of four-way interactions, they are not significant at a level of significance α of 0.05.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ใกล้รุ่ง สามารถ และ ดร.มะกูซี มะแซ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ประจำสาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ตลอดจนให้ข้อคิดอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยเป็นอย่างยิ่ง ทั้งยังให้กำลังใจ สนับสนุนทุก ๆ ด้านในการทำวิจัย และติดต่อสอบถามเกี่ยวกับการเรียนด้วยความห่วงใยให้แก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดีมาโดยตลอด ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรฑิตา ทิวทัศน์ สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ และ ดร.สาลินี ธำรงเลาหะพันธุ์ จากภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และได้ให้คำแนะนำช่วยให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภานุพงศ์ วิจิตรคุณากร สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ที่ได้ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือ แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ให้มีความสมบูรณ์ดียิ่งขึ้น ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ที่ได้กรุณาประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านคณิตศาสตร์และสถิติ ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ความสามารถ และสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ความสำเร็จและคุณค่าของงานวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณ บิดา มารดาของผู้วิจัย และเพื่อน ๆ ของผู้วิจัยทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คอยให้กำลังใจ และขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้ระบุมา ณ ที่นี้ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

วิชชุดา บุญเรือง

สารบัญ

เนื้อหา หน้า

บทคัดย่อ ..... (5)

ABSTRACT ..... (6)

กิตติกรรมประกาศ ..... (7)

สารบัญ ..... (8)

สารบัญตาราง ..... (11)

สารบัญรูป ..... (12)

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 3

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ 3

1.4 กรอบแนวคิด 4

1.5 ขอบเขตการวิจัย 4

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย 4

1.7 แผนการดำเนินงาน 5

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 แนวคิดการจัดการคลังสินค้า 7

2.1.1 การรับสินค้า (Receiving) 7

2.1.2 การขนย้ายและจัดเก็บสินค้า (Transfer and storage) 8

2.1.3 การจัดเรียงสินค้า (Sortation) 8

2.1.4 การหยิบสินค้า (Order picking) 8

2.1.5 การส่งสินค้าผ่านคลังสินค้า (Cross-docking) 8
2.1.6 การส่งสินค้า (Shipping) 9
2.2 แนวคิดการหยิบสินค้า 9
2.2.1.การหยิบสินค้าเป็นชุด (Batch picking) 9
2.2.2.การหยิบสินค้าแบบคลื่น (Wave picking) 9
2.2.3.การหยิบสินค้าเป็นโซน (Zone picking) 10
2.2.4.การหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อ (Discrete picking) 10
2.3 แนวคิดการเดินหยิบสินค้า 10
2.3.1 วิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา 10
2.4 แนวคิดการจัดเก็บสินค้า 14
2.4.1 การจัดเก็บสินค้าแบบสุ่ม (Random storage) 15
2.4.2 การจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งตามการหมุนเวียน (Turnover-based storage) 15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17
2.5.1 รูปแบบผังคลังสินค้า 17
2.5.2 วิธีการเดินหยิบสินค้า 18
2.5.3 วิธีการจัดเก็บสินค้า 21
2.5.4 การประเมินผลของปัจจัยร่วมของวิธีการเดินหยิบสินค้าและการจัดเก็บสินค้า 26
2.6 ทฤษฎีของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล 27
2.6.1 สถิติพรรณนา 27
2.6.2 สถิติอนุมาน 28
2.6.3 การทดลองแฟกทอเรียล (Factorial experiment) 28
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 31
3.1 การออกแบบการทดลอง 31

3.1.1 การทดสอบอิทธิพลหลัก 33
3.1.2 การทดสอบอิทธิพลร่วม 33
3.2 ขนาดคลังสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา 34
3.3 วิธีการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา 36
บทที่ 4 ผลการวิจัย 40
4.1 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า 44
4.2 ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า 46
4.3 ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า 49
4.4 ปัจจัยร่วมกันทั้ง 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า 57
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ.....60
บรรณานุกรม.....62
ภาคผนวก ก 72
ภาคผนวก ข 79
ประวัติผู้เขียน..... 118

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1 แสดงแผนการดำเนินงานและรายละเอียดกิจกรรม 6
ตารางที่ 2 ตารางสรุปบทความวิจัยที่นำเสนอวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง 20
ตารางที่ 3 คำอธิบายวิธีการจัดเก็บสินค้า 23
ตารางที่ 4 ปัจจัยการทดลองและระดับที่ใช้ในการทดลอง 31
ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ของการทดสอบ ANOVA สำหรับระยะทางการเดินเฉลี่ย 40
ตารางที่ 6 แสดงผลการลัพธ์ของระยะทางการเดินหยิบสินค้าแต่ละขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ 45
ตารางที่ 7 แสดงผลการลัพธ์ของระยะทางการเดินหยิบสินค้า แต่ละวิธีการจัดเก็บและการเดินหยิบสินค้า 46
ตารางที่ 8 แสดงระยะทางของปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่ขนาดคำสั่งซื้อ 20 รายการ 51
ตารางที่ 9 แสดงระยะทางของปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและขนาดคลังสินค้า ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน 53
ตารางที่ 10 แสดงระยะทางของปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน 55
ตารางที่ 11 แสดงระยะทางของปัจจัยร่วมกันของขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน 57
ตารางที่ 12 แสดงผลลัพธ์ของระยะทางการเดินหยิบสินค้าโดยเฉลี่ยที่สั้นที่สุดของปัจจัยทั้ง 4..... 59

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะคลังสินค้าแบบหนึ่งบล็อก (ซ้าย) และแบบสองบล็อก (ขวา) 1
รูปที่ 1.2 แสดงลักษณะคลังสินค้ารูปก้างปลา 3
รูปที่ 1.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย 4
รูปที่ 2.1 แสดงกราฟเส้นทางของโครงร่างในคลังสินค้ารูปก้างปลา ในรูปที่ 1.2 11
รูปที่ 2.2 แสดงเส้นทางการเดินหยิบสินค้าแบบ S-SHAPE (ÇELIK และ SÜRAL, 2014) 12
รูปที่ 2.3 แสดงเส้นทางการเดินหยิบสินค้าแบบ LARGEST GAP (ÇELIK และ SÜRAL, 2014) 13
รูปที่ 2.4 แสดงเส้นทางการเดินหยิบสินค้าแบบ AISLE-BY-AISLE (ÇELIK และ SÜRAL, 2014) 14
รูปที่ 2.5 กราฟของ $F(x)$ ที่ $A = 0.60, A = 0.20$ และ $A = 0.07$ 16
รูปที่ 2.6 กราฟของ $F(x)$ ที่ $A = 0.20$ และ $N = 10$ 17
รูปที่ 2.7 คลังสินค้าแบบเชฟรอน (CHEVRON) (MASAE และคณะ, 2020C) 18
รูปที่ 2.8 คลังสินค้ารูปใบไม้ (MASAE และคณะ, 2021) 18
รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการเดินหยิบสินค้า (MASAE และคณะ, 2020A) 19
รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบ HEURISTIC และเปอร์เซ็นต์ความนิยม (MASAE และคณะ, 2020A) 19
รูปที่ 2.11 แสดงวิธีการจัดเก็บสินค้า 21
รูปที่ 3.1 แสดงขนาดคลังสินค้าขนาดเล็กที่มีจำนวนทางเดิน 7 ทางเดิน 35
รูปที่ 3.2 แสดงขนาดคลังสินค้าขนาดกลางที่มีจำนวนทางเดิน 11 ทางเดิน 35
รูปที่ 3.3 แสดงขนาดคลังสินค้าขนาดใหญ่ที่มีจำนวนทางเดิน 15 ทางเดิน 36
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ TURNOVER-BASED 37
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ WITHIN-AISLE 38
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ ACROSS-AISLE 38
รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ PERIMETER 39
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟ RESIDUAL ของระยะทางการเดินหยิบสินค้า 43
รูปที่ 4.2 แสดงอิทธิพลหลักที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าโดยเฉลี่ย 44
รูปที่ 4.3 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในแต่ละปัจจัย 47
รูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการเดินหยิบสินค้า ในแต่ละวิธีการเดินหยิบสินค้าและวิธีการจัดเก็บสินค้า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงและวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน 48

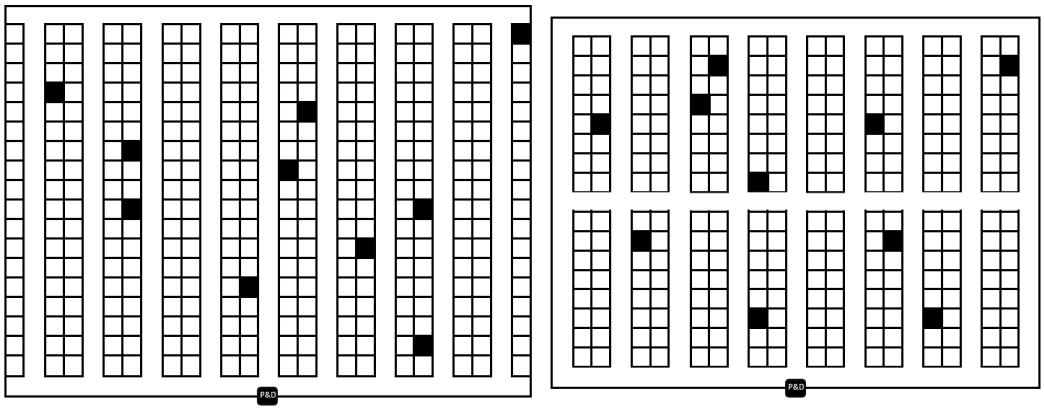
รูปที่ 4.5 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า 50
รูปที่ 4.6 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและขนาดคลังสินค้า 52
รูปที่ 4.7 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า 54
รูปที่ 4.8 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีปัจจัยของขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า 56
รูปที่ 4.9 แสดงระยะทางการเดินหยิบโดยเฉลี่ยของปัจจัยทั้ง 4 58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

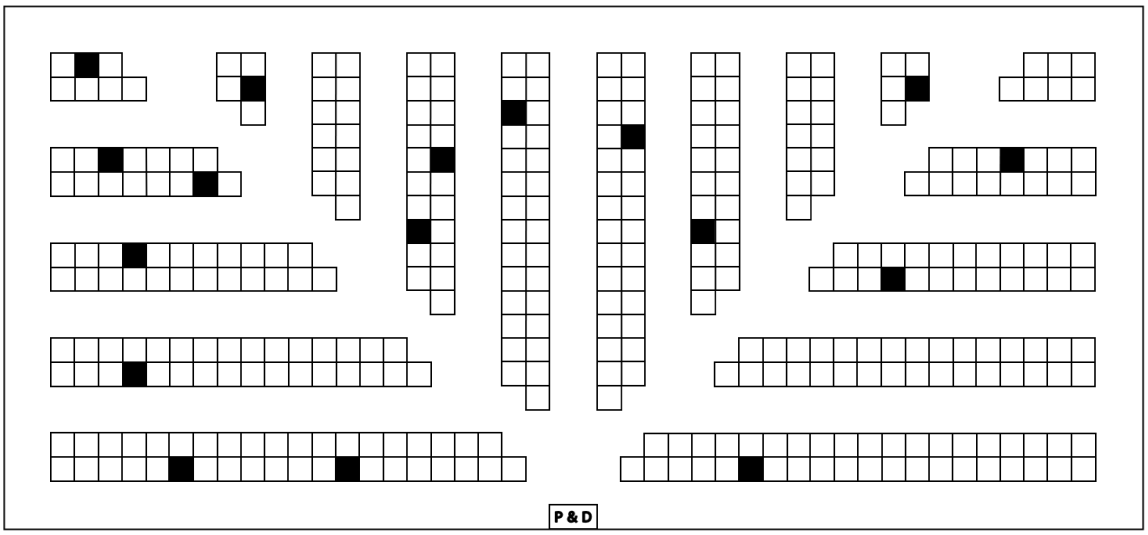
คลังสินค้ามีความสำคัญต่อการตอบสนองการบริการให้กับลูกค้า มีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อุปทาน (Supply chain) การบริหารคลังสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้การดำเนินการในคลังสินค้าของอุตสาหกรรมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ กิจกรรมหลักในคลังสินค้า (Warehouse operation) ประกอบด้วยการรับสินค้า (Receiving) การจัดเก็บสินค้า (Storage) การหยิบสินค้า (Order picking) และการส่งสินค้า (Shipping) (คำนาย อภิปรัชญาสกุล, 2553) ขั้นตอนการหยิบสินค้าเป็นขั้นตอนที่มีรายละเอียดมากและใช้ทรัพยากรมาก (ไชยศ ไชยมั่นคง และมยุขพันธ์ ไชยมั่นคง, 2556; Marchet, Melacini และ Perotti, 2015) ซึ่งงานวิจัยของ Tompkins และคณะ (2010) พบว่า ค่าใช้จ่ายในการหยิบสินค้าคิดเป็น 55% ของต้นทุนของคลังสินค้าทั้งหมด โดยมีหลายปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการหยิบสินค้า เช่น วิธีการจัดเก็บสินค้า วิธีการเดินหยิบสินค้า รูปแบบของคลังสินค้า ตำแหน่งของ P&D (Pickup and deposit) ที่เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดในการเดินหยิบสินค้า เป็นต้น จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่างานวิจัยส่วนมากจะมุ่งเน้นการศึกษาในคลังสินค้าที่มีลักษณะเป็นบล็อกๆ (Öztürkoğlu และ Hoser, 2019) ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะคลังสินค้าแบบหนึ่งบล็อก (ซ้าย) และแบบสองบล็อก (ขวา)

สำหรับคลังสินค้าที่มีลักษณะเป็นรูปก้างปลา ยังไม่ได้รับความสนใจและความนิยมในการศึกษามากนัก โดย Çelik และ Süral (2014) ได้ศึกษาการลดระยะทางเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา โดยพัฒนาวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบวิธีแม่นตรงและแบบ Heuristic และเปรียบเทียบผลลัพธ์ของระยะทางการเดินหยิบสินค้ากับคลังสินค้าทั่วไป และงานวิจัยของ Zhou และคณะ (2019) ได้พัฒนาวิธีการเดินแบบ Metaheuristic ทั้งหมด 3 วิธีคือ 1) วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm) 2) วิธีอาณานิคมมด (Ant colony optimization) และ 3) วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า (cuckoo search algorithm) มาใช้กับคลังสินค้ารูปก้างปลา การศึกษาของ Pohl และคณะ (2009) ได้ประเมินการเดินหยิบสินค้าภายใต้การจัดเก็บสินค้าแบบสุ่มในคลังสินค้ารูปก้างปลาที่มีการจัดเก็บสินค้าและหยิบสินค้าเป็นพาเลท (Pallet) จากผลการศึกษาพบว่าการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลาสามารถลดระยะทางการเดินหยิบได้มากกว่าคลังสินค้าแบบดั้งเดิม และยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาบนคลังสินค้ารูปก้างปลาเช่น Gue และ Meller (2009) Gue และคณะ (2012) Cardona และคณะ (2012) Pohl และคณะ (2011) แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นยังไม่มีการประเมินอิทธิพลหลัก (main effect) และอิทธิพลร่วม (interaction effect) ของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาอิทธิหลักและอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา ผลลัพธ์จากงานวิจัยสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของการหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลาและเป็นประโยชน์ในการนำไปปรับใช้กับอุตสาหกรรมที่มีคลังสินค้าแบบรูปก้างปลาต่อไป

โดยลักษณะคลังสินค้ารูปก้างปลาประกอบด้วย 3 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่มีทางเดินเป็นแนวตั้งโดยแทนเป็นพื้นที่ตรงส่วนกลาง ส่วนด้านซ้ายและส่วนด้านขวามีทางเดินเป็นแนวนอน โดยมีจุด P&D เป็นตำแหน่งที่เป็นจุดเริ่มต้นของการเดินหยิบสินค้าและหลังจากหยิบสินค้าจนครบตามคำสั่งซื้อ พนักงานจะกลับมาที่จุด P&D อีกครั้ง ซึ่งจุด P&D มีเพียงจุดเดียวอยู่ตรงกลางด้านหน้าคลังสินค้า มีทางเดินด้านหน้า (front aisle) และทางเดินด้านหลัง (back aisle) ยังมีทางเดินข้ามกลางแนวทแยงมุม (diagonal middle aisle) ทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวาดังรูปที่ 1.2 โดยขั้นตอนการเดินหยิบสินค้าเริ่มจากพนักงานหยิบสินค้ารับใบคำสั่งซื้อที่จุด P&D แล้วเดินไปหยิบสินค้าตามตำแหน่งต่างๆที่แทนด้วยกล่องสีดำและเมื่อหยิบสินค้าครบตามใบคำสั่งซื้อ พนักงานหยิบสินค้าจะกลับมาที่จุด P&D



รูปที่ 1.2 แสดงลักษณะคลังสินค้ารูปก้างปลา

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อออกแบบวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา
2. เพื่อประเมินอิทธิพลหลัก (main effect) และอิทธิพลร่วม (interaction effect) ของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา
3. เพื่อออกแบบการจัดการคลังสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบถึงวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการเดินหยิบสินค้าและการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา
2. ทราบถึงกระบวนการออกแบบคลังสินค้าที่เหมาะสมในคลังสินค้ารูปก้างปลา

1.4 กรอบแนวคิด

ตัวแปรอิสระ		ตัวแปรตาม
- ขนาดคลังสินค้า - วิธีการเดินหยิบสินค้า - วิธีการจัดเก็บสินค้า - ขนาดของใบสั่งซื้อ	→	ระยะทางการเดินเฉลี่ย

รูปที่ 1.3 กรอบแนวคิดงานวิจัย

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1. ขอบเขตด้านเนื้อหา ศึกษาคลังสินค้าที่มีลักษณะเป็นรูปก้างปลา โดยสมมติให้คลังสินค้ามี P&D เพียงตำแหน่งเดียว ณ จุดกึ่งกลางของทางเดินด้านหน้าและให้ทางเดินภายในคลังสินค้าเป็นทางแคบ เพื่อให้พนักงานสามารถหยิบสินค้าได้จากทั้งสองฝั่งโดยไม่เป็นการเพิ่มระยะทางในการเดินหยิบ และสมมติให้ในระบบการจำลองสถานการณ์มีพนักงานหยิบสินค้าเพียงคนเดียวและหยิบสินค้าจากเพียงใบคำสั่งซื้อเดียวต่อรอบการเดินหยิบสินค้า

2. ขอบเขตวิธีการในการศึกษา ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาได้จากการจำลองสถานการณ์การหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา โดยจะทำการจำลองข้อมูลในโปรแกรมไพทอน (Python) เพื่อที่จะประมาณค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้า

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

1) คลังสินค้า หมายถึง สถานที่สำหรับการวาง จัดเก็บ พัก และกระจายสินค้าคงคลัง

2) การเดินหยิบสินค้า หมายถึง การเดินไปเก็บสินค้าแต่ละตำแหน่งที่จัดเก็บสินค้าตามที่ปรากฏบนใบสั่งซื้อ

3) การจัดเก็บสินค้า หมายถึง การจัดระเบียบ การจัดวางสินค้าไว้ในสินค้าคงคลังเพื่อให้สินค้าพร้อมสำหรับขั้นตอนต่อไป หรือเพื่อจำหน่ายสินค้าให้กับลูกค้าได้สะดวกรวดเร็ว

4) ระยะทางการเดิน หมายถึง ระยะทางที่พนักงานเดินไปยังตำแหน่งที่จัดเก็บสินค้าในคลังสินค้าตามใบสั่งซื้อของลูกค้า

5) วิธีการเดินแบบแม่นตรง (Exact routing algorithm) เป็นวิธีการเดินหยิบสินค้าที่ให้ระยะทางการเดินสั้นที่สุด แต่ไม่มีรูปแบบการเดินหยิบสินค้าที่แน่นอน

6) วิธีการเดินแบบฮิวริสติก (Heuristic routing algorithm) เป็นวิธีการเดินหยิบสินค้าที่มีรูปแบบและวิธีการเดินที่ชัดเจนแต่ระยะทางการเดินไม่ใช่เส้นทางที่สั้นที่สุด เช่น การเดินหยิบสินค้าแบบ S-shape, Midpoint

7) วิธีการเดินแบบเมตาฮิวริสติก (Metaheuristics routing algorithm) เป็นวิธีการเดินหยิบสินค้าที่ถูกพัฒนามาจากวิธีการเดินแบบฮิวริสติก เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm)

1.7 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงานอยู่ในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ เดือนพฤศจิกายน 2563 – เดือนธันวาคม พ.ศ. 2565 แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงแผนการดำเนินงานและรายละเอียดกิจกรรม

รายละเอียดกิจกรรม	2563	2564						2565					
	พ.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-ก.พ.	มี.ค.-เม.ย.	พ.ค.-มิ.ย.	ก.ค.-ส.ค.	ก.ย.-ต.ค	พ.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-ก.พ.	มี.ค.-เม.ย.	พ.ค.-มิ.ย.	ก.ค.-ส.ค.	ก.ย.-ต.ค	พ.ย.-ธ.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีและหัวข้อที่เกี่ยวข้อง													
2. กำหนดสมมติฐานและขอบเขตของการวิจัย													
3. สร้างแบบการทดลอง													
4. วิเคราะห์ข้อมูล													
5. สรุปผลและเขียนรายงาน													
6. ส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์													
7. เขียนวิทยานิพนธ์													
8. นำเสนอรายงานฉบับสมบูรณ์													

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการคลังสินค้าด้วยวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิดและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 แนวคิดการจัดการคลังสินค้า

คลังสินค้า (Warehouse) โรงเก็บสินค้าหรือโกดัง คือ อาคารทางพาณิชย์ที่ใช้สำหรับเก็บสินค้าเพื่อรอการขนส่ง คลังสินค้าถูกใช้โดยผู้ผลิต ผู้นำเข้า ผู้ส่งออก ผู้ค้าส่ง ธุรกิจขนส่ง ศุลกากร ฯลฯ คลังสินค้ามักจะเป็นอาคารธรรมดาหลังใหญ่และกว้างตั้งอยู่ในเขตอุตสาหกรรม ภายในอาคารมีทางลาดเอียงสำหรับขนถ่ายสินค้าขึ้นหรือลงรถ หรือบางครั้งคลังสินค้าใช้รับถ่ายสินค้ามาจากสถานีรถไฟ สนามบิน หรือท่าเรือโดยตรง และมักจะมีเครนหรือโฟร์คลิฟต์เพื่อเคลื่อนย้ายสินค้าที่วางอยู่บนพาเลทขนาดมาตรฐาน ISO (คำนาย อภิปรัชญาสกุล,2550)

การจัดการคลังสินค้า (Warehouse Management) เป็นการจัดการในการรับ การจัดเก็บ และการจัดส่งสินค้าให้ผู้รับ ซึ่งกระบวนการในการดำเนินงานในคลังสินค้า มีดังนี้ (ไชยศ ไชยมั่นคง และมยุขพันธ์ ไชยมั่นคง,2556)

2.1.1 การรับสินค้า (Receiving)

การรับสินค้าเกี่ยวกับเรื่องต่าง ๆ ที่จะต้องปฏิบัติในขณะที่สินค้าได้ส่งเข้ามายังคลังสินค้าเพื่อการจัดเก็บรักษา การดำเนินกรรมวิธีในการแรกรับสินค้าที่ถูกส่งเข้ามาอย่างทันทีทันใดและถูกต้องอย่างแน่นอน ย่อมมีความสำคัญต่อการดำเนินงานในคลังสินค้าที่มีประสิทธิผลและการจัดเก็บรักษาเบื้องต้น รายละเอียดการปฏิบัติการรับสินค้าย่อมแตกต่างกันออกไป โดยขึ้นอยู่กับแบบสินค้าและแบบของสิ่งอำนวยความสะดวกในการเก็บรักษา สินค้าอาจได้รับเข้ามาจากแหล่งที่ต่างกัน การขนส่งสินค้ามายังคลังสินค้าอาจกระทำด้วยยานพาหนะที่แตกต่างกัน ด้วยภาชนะ บรรจุหีบห่อที่มีลักษณะแตกต่างกัน

2.1.2 การขนย้ายและจัดเก็บสินค้า (Transfer and storage)

การขนย้ายสินค้าจากพื้นที่ที่รับสินค้าเข้าไปยังตำแหน่งเก็บที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า และจัดวางสินค้านั้นไว้อย่างเป็นระเบียบ รวมทั้งการบันทึกเอกสารเก็บรักษาที่เกี่ยวข้อง เช่น บัตรตำแหน่งเก็บสินค้า ป้ายประจำกองสินค้า เป็นต้น ก่อนที่จะจัดวางสินค้าลงไปในที่เก็บอาจจำเป็นต้องจัดแจงสินค้านั้นให้เหมาะสม เพื่อที่สามารถจัดเก็บได้อย่างมั่นคงเป็นระเบียบและประหยัดเนื้อที่ เวลาและแรงงาน และง่ายแก่การดูแลรักษาและการนำออกเพื่อการจัดส่งออกในโอกาสต่อไป

2.1.3 การจัดเรียงสินค้า (Sortation)

การจัดเรียงสินค้า คือ การจัดลำดับความสำคัญของสินค้าให้ง่ายแก่ขั้นตอนต่อไปที่จะต้องปฏิบัติ ซึ่งจุดมุ่งหมายของการจัดเรียงสินค้า เพื่อที่จะช่วยลดระยะเวลาในการค้นหาและลดระยะเวลาในการเดินหยิบสินค้าของพนักงาน โดยทั่วไปคลังสินค้าส่วนใหญ่ นิยมจัดเรียงสินค้าที่มีความนิยมไว้ใกล้กับจุดที่จะต้องทำการขนส่งเพื่อความสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งได้มีการใช้ตัวอักษรและตัวเลขในการจัดเรียงความสำคัญสินค้า เป็นต้น

2.1.4 การหยิบสินค้า (Order picking)

การหยิบสินค้า คือ งานที่ต้องนำสินค้าจากสถานที่จัดเก็บมารวบรวมไว้ที่สถานที่จัดส่ง โดยมีหมายเลขสินค้าและปริมาณการหยิบจะได้รับการตรวจสอบจากรายละเอียดที่พิมพ์ไว้บนคำสั่งของการจัดส่ง (รายชื่อการหยิบสินค้า) และสินค้าที่พนักงานได้ทำการหยิบจนครบตามรายการหยิบในใบคำสั่งซื้อจะถูกรวบรวมไว้ที่ตำแหน่งการส่งออกเพื่อรอส่งออกไปยังสถานที่จัดส่งเป็นลำดับถัดไป

2.1.5 การส่งสินค้าผ่านคลังสินค้า (Cross-docking)

การส่งสินค้าผ่านคลังสินค้า เป็นการส่งสินค้าผ่านระหว่างจุดที่รับสินค้าเข้าและจุดที่ส่งสินค้าออก โดยไม่ต้องนำสินค้าเข้าไปในคลังสินค้า การส่งสินค้าผ่านคลังใช้กันอย่างแพร่หลายในกลุ่มผู้ค้าปลีก ซึ่งเป็นการรวมรวบผลิตภัณฑ์จากผู้ค้าส่งหลายรายเข้าด้วยกันเพื่อจัดส่งให้กับร้านค้าย่อยต่อไป ตัวอย่างเช่น ประมาณ 75% ของการกระจายสินค้าประเภทอาหารจะใช้การส่งสินค้าผ่านคลัง โดยที่เมื่อสินค้าจากซัพพลายเออร์แล้ว จะเตรียมส่งต่อไปร้านค้าปลีกทันที โดยไม่ต้องมีการนำสินค้าเข้าไปเก็บในคลังสินค้า การส่งผ่านคลังสินค้าจะช่วยลดเวลาและต้นทุนในการนำสินค้าเข้าเก็บในคลังสินค้า และทำให้ระดับการให้บริการสูงขึ้น (ไชยยศ ไชยมั่นคง, 2550)

2.1.6 การส่งสินค้า (Shipping)

การส่งสินค้าประกอบไปด้วยการตรวจสอบคำสั่งซื้อที่จะส่งไป การปรับปรุงรายงานสินค้าคงคลัง การแยกประเภทสินค้าและการจัดบรรจุภัณฑ์ตามคำสั่งซื้อ ซึ่งสินค้าจะถูกจัดเก็บในกล่อง หีบห่อ พาเลท หรือ ตู้คอนเทนเนอร์ และมีการติดสลาก ระบบบาร์โค้ด การบันทึกข้อมูลเพื่อเตรียมส่ง สินค้าออกจากคลัง เช่น ต้นทาง ปลายทาง ผู้ส่ง ผู้รับ และรายละเอียดสินค้าที่ส่ง เป็นต้น

2.2 แนวคิดการหยิบสินค้า

การหยิบสินค้า หมายถึง งานที่ต้องนำสินค้าจากสถานที่จัดเก็บมารวบรวมไว้ที่สถานที่จัดส่ง ซึ่งเริ่มด้วยการค้นหาจากใบคำสั่งซื้อสินค้า และต้องหยิบตามนโยบายการหยิบ เมื่อได้ใบสั่งซื้อสินค้าเรียบร้อยแล้ว ใบคำสั่งซื้อที่มีรายการหยิบสินค้าสามารถระบุพนักงานคลังที่รับผิดชอบในการหยิบ จากนั้นพนักงานจะทำการหยิบสินค้า ตามรายการหยิบสินค้าไปยังที่ตำแหน่งตรวจทานสินค้าในคลังสินค้าก่อนนำสินค้าส่งออก (คำนาย อภิปรัชญาสกุล,2557)

การหยิบสินค้ามีหลายแบบ วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด มี 4 วิธี (seopackhai, 2021) ดังนี้

2.2.1.การหยิบสินค้าเป็นชุด (Batch picking)

การหยิบเป็นชุด คือ การรวมใบคำสั่งซื้อหลายๆ คำสั่งซื้อเข้าด้วยกัน ส่วนใหญ่จะใช้ในธุรกิจ E-Commerce ที่มีจำนวนคำสั่งซื้อเยอะๆ หรือมีการสั่งซื้อบ่อยๆ เช่น สั่งสินค้าชนิดเดียวกัน แต่แยกมาเป็น 10 คำสั่งซื้อ ก็จะหยิบสินค้านั้นมา 10 ชิ้นพร้อมกันทีเดียว จากนั้นค่อยไปทำการแยกคำสั่งซื้อให้ลูกค้าเป็นลำดับถัดไป วิธีนี้ช่วยเพิ่มความรวดเร็วในการทำงาน และถือได้ว่าเป็นวิธีที่สะดวกมาก

2.2.2.การหยิบสินค้าแบบคลื่น (Wave picking)

วิธีการหยิบสินค้าแบบคลื่น หมายถึง เมื่อมีคำสั่งซื้อเข้ามาตามช่วงเวลาต่างๆ ซึ่งเป็นการกำหนดเวลาที่ชัดเจน เช่น ทุกชั่วโมง ทุกเช้า หรือทุกๆ ช่วงบ่าย พนักงานหยิบจะหยิบตามคำสั่งซื้อจนครบทุกโซน หลังจากนั้นจึงมาคัดแยกแบ่งตามลูกค้าอีกครั้ง วิธีนี้ก็ช่วยให้สะดวกและเพิ่มความรวดเร็วในการทำงานได้เช่นเดียวกัน

2.2.3.การหยิบสินค้าเป็นโซน (Zone picking)

การหยิบสินค้าเป็นโซน พนักงานหยิบจะถูกกำหนดให้หยิบเฉพาะโซนนั้นๆ สินค้าจะถูกหยิบพร้อมกันในทุกๆ โซน จนครบ โดยอาศัยสายพาน ช่วยลำเลียงสินค้าไปยังขั้นตอนต่อไป

2.2.4.การหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อ (Discrete picking)

การหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อ วิธีนี้เป็นวิธีที่พื้นฐานมาก คือ เมื่อมีคำสั่งซื้อเข้ามา พนักงานหยิบจะเดินไปหยิบสินค้าตามรายการที่อยู่ในใบคำสั่งซื้อ เมื่อหยิบสินค้าครบทุกรายการแล้ว ถ้ามีคำสั่งซื้อใหม่เข้ามาก็จะทำแบบเดิมไปเรื่อย ๆ วิธีนี้ค่อนข้างมีความล่าช้าพอสมควร เป็นการทำงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งคลังสินค้าหลายๆ แห่งไม่นิยมใช้

2.3 แนวคิดการเดินหยิบสินค้า

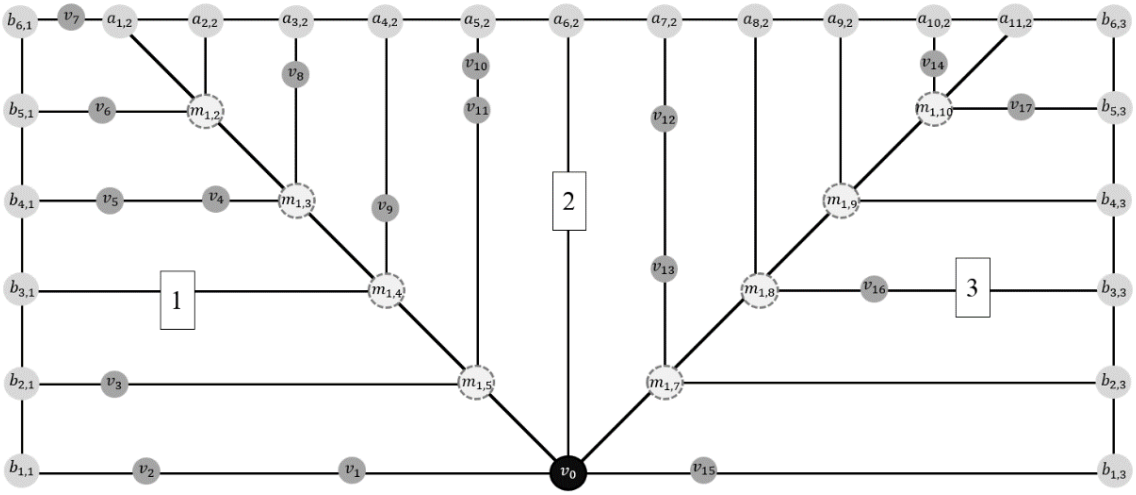
การเดินหยิบสินสินค้าเป็นหนึ่งในขั้นตอนที่สำคัญในการดำเนินงานกระบวนการจัดการคลังสินค้า เพื่อให้สินค้าได้ถูกจัดส่งให้แก่ลูกค้าได้ทันเวลาตามความต้องการ วิธีการเดินหยิบสินค้ามีหลากหลายวิธี ในงานวิจัยนี้สนใจวิธีแม่นตรง และวิธีเดินหยิบสินค้าแบบฮิวริสติก

2.3.1 วิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา

2.3.1.1 วิธีแม่นตรง (Exact algorithm)

งานวิจัยของ Çelik และ Süral (2014) ได้ศึกษาวิธีการเดินหยิบสินค้าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา โดยประยุกต์ใช้วิธีของ Ratliff และ Rosenthal (1983) และ Roodbergen และ De Koster (2001b) โดยใช้กราฟแสดงตัวแทนของตำแหน่งสินค้าเพื่อคำนวณหาระยะทางที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาในคลังสินค้า สมมติมีสินค้าทั้งหมดที่ต้องไปหยิบ m ชิ้น Çelik และ Süral (2014) ได้แปลงการหาเส้นทางการเดินหยิบสินค้า m ชิ้นในคลังสินค้าให้เป็นปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดบนกราฟตัวแทนของคลังสินค้า (graph representation) เริ่มต้น Çelik และ Süral (2014) ได้สร้างกราฟตัวแทนของปัญหา โดยจุด (vertex) แต่ละจุดในกราฟจะแทนตำแหน่งของสินค้าในใบสั่งซื้อ จุดตัดระหว่างทางเดิน และจุด P&D ส่วนเส้นเชื่อม (edge) แต่ละเส้นบนกราฟจะเชื่อมจุดสองจุดที่สามารถเดินถึงกันได้ โดยความยาวของเส้นเชื่อมมีค่าเท่ากับระยะห่างระหว่างจุดปลายทั้งสอง หรือระยะทางการเดินจริงในคลังสินค้า เนื่องจากพนักงานหยิบสินค้าต้องเดินผ่านทุกจุดที่แทนตำแหน่งของสินค้า (จุด v_k ในรูปที่ 2.1) และต้องเดินกลับมายังจุด

P&D (จุด v_0 ในรูปที่ 2.1) ดังนั้นปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดบนกราฟจึงถูกแปลงมาเป็นปัญหาการหากราฟย่อยเชื่อมโยงที่สั้นที่สุดที่บรรจุจุด P&D และทุกจุดที่แทนตำแหน่งของสินค้า โดยไม่จำเป็นต้องเดินผ่านจุดตัดระหว่างทางเดินทุกจุด ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จากทฤษฎีของกราฟออยเลอร์ (Eulerian graph theorem) ทำให้ทราบว่าทุกจุดในกราฟย่อยจะมีดีกรีเป็นจำนวนคู่ ซึ่งช่วยลดกรณีในการพิจารณาไปได้จำนวนหนึ่ง จากนั้น Çelik และ Süral (2014) ได้ประยุกต์ใช้กำหนดการพลศาสตร์ (dynamic programming) เพื่อหากราฟย่อยที่ต้องการ



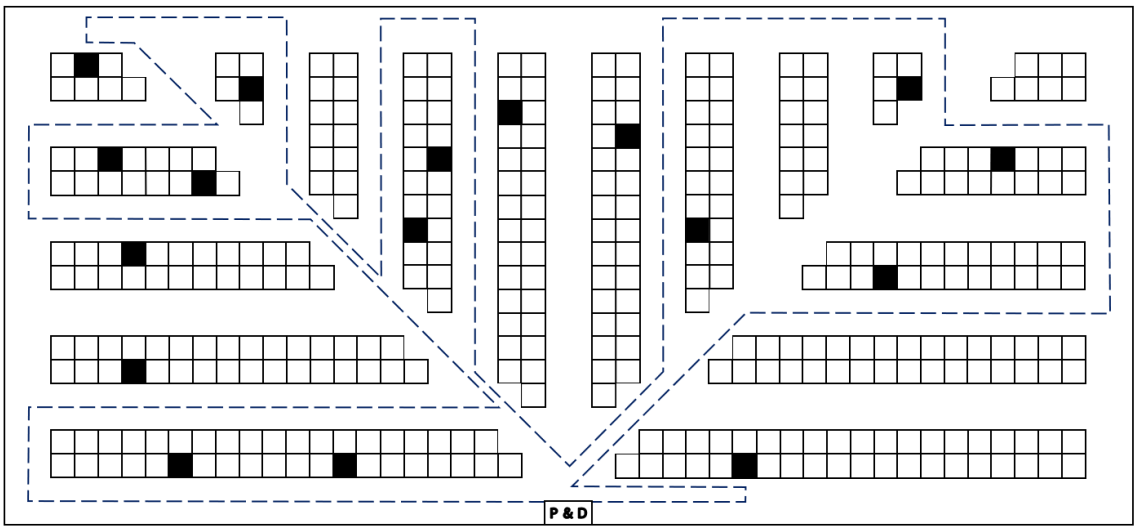
รูปที่ 2.1 แสดงกราฟเส้นทางของโครงร่างในคลังสินค้ารูปก้างปลา ในรูปที่ 1.2

2.3.1.2 ฮิวริสติก (Heuristic)

งานวิจัยของ Çelik และ Süral (2014) ได้ศึกษาวิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลาที่เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้าที่มีลักษณะเป็นบล็อกของ Roodbergen และ De Koster (2001b) และได้ดัดแปลงวิธีการเดินหยิบสินค้าร่วมกับลักษณะคลังสินค้ารูปแบบอื่น ๆ ของ Hall (1993), Vaughan และ Petersen(1999), และ Roodbergen และ De Koster (2001a) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา รูปแบบการเดินหยิบสินค้าแบบฮิวริสติกในคลังสินค้ารูปก้างปลาประกอบไปด้วย

1. S-shape

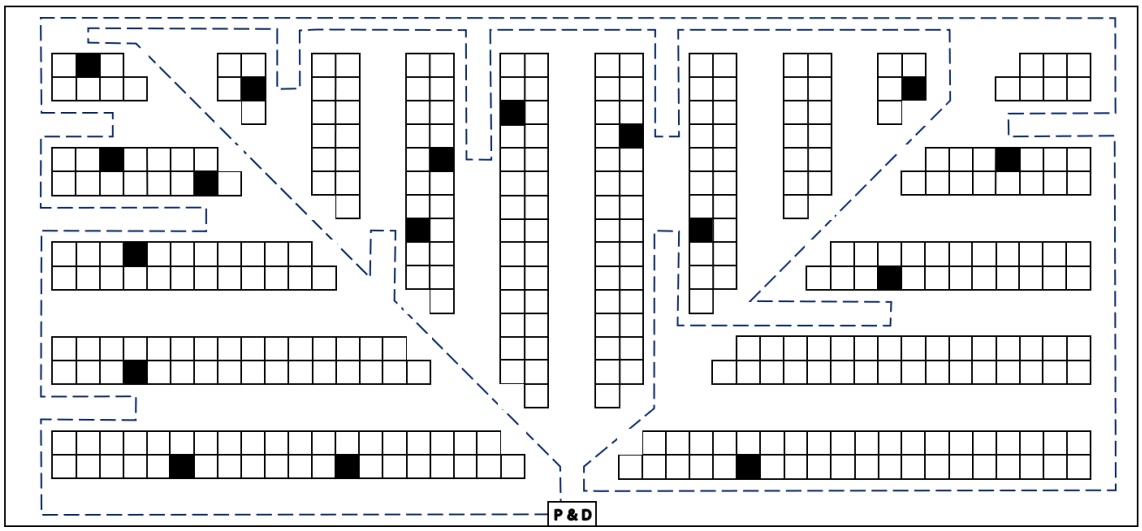
การเดินหยิบสินค้าแบบ S-shape (แทนด้วยสัญลักษณ์ SS) ดังรูปที่ 2.2 เป็นวิธีการเดินที่ง่ายและได้รับความนิยมที่สุดในการหยิบสินค้า มีลักษณะการเดินตามชื่อเรียกคือเดินในลักษณะรูปตัว s พนักงานหยิบสินค้าจะเริ่มต้นจากจุด P&D ที่อยู่ตรงกลางด้านหน้าของคลังสินค้า จากนั้นจะเริ่มเดินไปทางฝั่งซ้ายของคลังสินค้าเพื่อไปยังตำแหน่งแรกของสินค้าที่ต้องหยิบ หากทางเดินใดไม่มีสินค้าที่ต้องหยิบ พนักงานหยิบสินค้าจะเลี่ยงการเดินผ่านทางเดินนั้น เมื่อพนักงานหยิบสินค้าครบตามคำสั่งซื้อในพื้นที่ส่วนซ้ายของคลังสินค้า พนักงานหยิบสินค้าจะเดินหยิบสินค้าต่อในพื้นที่ส่วนกลางของคลังสินค้าและสิ้นสุดการเดินหยิบที่พื้นที่ขวาสุดตรงทางเดินด้านหน้าฝั่งขวาของคลังสินค้า ซึ่งจากการเดินหยิบในลักษณะรูปตัว S ทำให้พนักงานหยิบสินค้าสามารถใช้วิธีนี้ได้ง่ายและสะดวกเพราะมีรูปแบบที่ชัดเจนและไม่ซับซ้อน



รูปที่ 2.2 แสดงเส้นทางการเดินหยิบสินค้าแบบ S-shape (Çelik และ Süral, 2014)

2. Largest gap

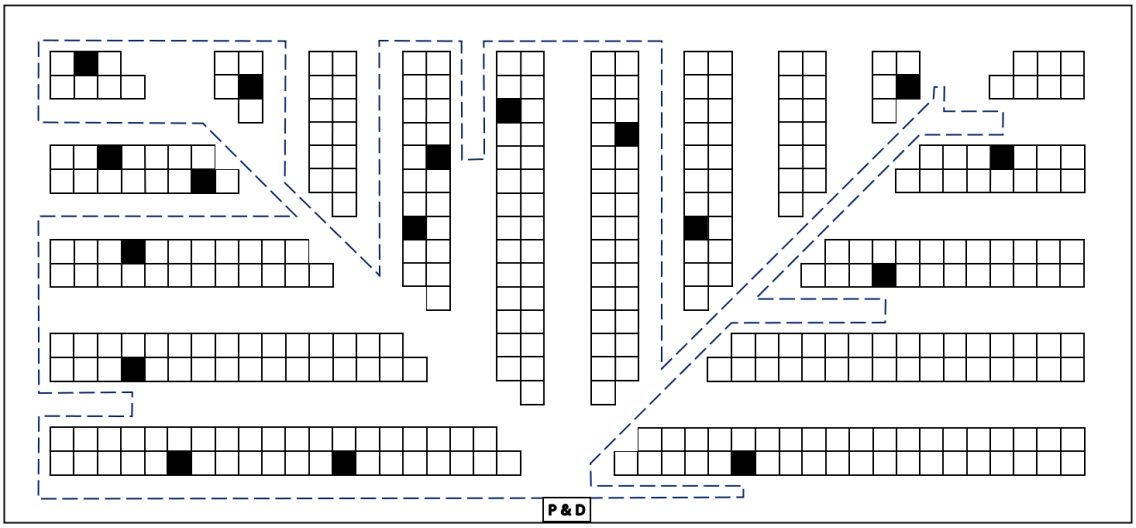
วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบ Largest gap (แทนด้วยสัญลักษณ์ LG) ในคลังสินค้ารูปก้างปลา จะแทนด้วย LL มีหลักการการเดินหยิบดังนี้ จะแบ่งทางเดินหยิบสินค้าออกเป็นสองส่วนโดยใช้ระยะห่างที่มากที่สุด (largest gap) ในทางเดินเป็นตัวแบ่ง โดยระยะห่างที่มากที่สุดนี้อาจจะเป็นระยะห่างระหว่างตำแหน่งของสินค้าสองตำแหน่งที่ต้องหยิบภายในทางเดินนั้น หรือเป็นระยะห่างระหว่างตำแหน่งของสินค้าที่ต้องหยิบกับทางออกของทางเดิน โดยการเดินหยิบสินค้าในแต่ละทางเดินที่มีสินค้าจะไม่ผ่านระยะห่างที่มากที่สุดนี้ ซึ่งพนักงานเดินหยิบสินค้าจะเริ่มเดินหยิบจากทางเดินแนวทแยงด้านซ้ายของคลังสินค้า ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงเส้นทางการเดินหยิบสินค้าแบบ Largest gap (Çelik และ Süral, 2014)

3. Aisle-by-aisle

การเดินหยิบสินค้าแบบ Aisle-by-aisle จะถูกแทนด้วยสัญลักษณ์ AA มีวิธีการเดินหยิบสินค้าที่ชัดเจน คือพนักงานเดินหยิบสินค้าจะต้องเดินหยิบสินค้าในทุก ๆ ทางเดินที่มีสินค้าที่ต้องทำการหยิบ หากภายในทางเดินนั้นไม่มีสินค้า พนักงานเดินหยิบจะเลี่ยงการเดินข้ามผ่านทางเดินในเส้นทางนั้น ซึ่งวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบ AA พนักงานหยิบสินค้าจะเริ่มเดินหยิบสินค้าตรงทางเดินข้ามด้านหน้าฝั่งขวาของคลังสินค้าที่จุด P&D ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงเส้นทางการเดินหยิบสินค้าแบบ Aisle-by-aisle (Çelik และ Süral, 2014)

2.4 แนวคิดการจัดเก็บสินค้า

การจัดเก็บสินค้า คือ การขนย้ายสินค้าจากพื้นที่รับสินค้าเข้าไปเก็บในสถานที่ที่กำหนดไว้ล่วงหน้าและจัดวางสินค้านั้นอย่างมีระเบียบ มีการบันทึกการเก็บรักษาบนเอกสารที่เกี่ยวข้อง เช่น บัตรตำแหน่งเก็บ ป้ายประจำกองสินค้า และปัจจุบันได้มีการนำระบบ RFID (Radio Frequency Identification) มาใช้ ก่อนที่จะจัดเก็บสินค้าต้องจัดแจงสินค้านั้นให้เหมาะสม เพื่อให้สามารถจัดเก็บได้อย่างเป็นระเบียบ ประหยัดเนื้อที่ เวลา แรงงาน ง่ายต่อการดูแลรักษาและง่ายต่อการนำออกเพื่อจัดส่งในโอกาสต่อไป (วราภรณ์, 2564)

วัตถุประสงค์ของการจัดการคลังสินค้า

1.การจัดเก็บสินค้าช่วยให้ลดระยะทางในการเคลื่อนย้ายสินค้ามากที่สุด

2.การจัดเก็บสินค้าช่วยในการคำนวณการใช้พื้นที่และปริมาณในการจัดเก็บให้เกิดประโยชน์สูงสุด

3.การจัดเก็บสินค้าช่วยสร้างความมั่นใจว่าแรงงาน เครื่องมือ อุปกรณ์ สาธารณูปโภคต่าง ๆ มีเพียงพอและสอดคล้อง กับระดับของธุรกิจที่ได้วางแผนไว้

4.การจัดเก็บสินค้าช่วยสร้างความพึงพอใจในการทำงานในแต่ละวันแก่ผู้เกี่ยวข้องในการเคลื่อนย้ายสินค้า ทั้งการรับเข้าและการจ่ายออก โดยใช้ปริมาณจากการจัดซื้อ และความต้องการในการจัดส่งให้แก่ลูกค้าเป็นเกณฑ์

5.การจัดเก็บสินค้าสามารถวางแผนได้อย่างต่อเนื่อง ควบคุม และรักษาระดับการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อให้เกิดการบริการภายใต้ต้นทุนที่เกิดประสิทธิภาพคุ้มค่าในการลงทุนตามขนาดธุรกิจที่กำหนด

การเก็บสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลาที่มีการศึกษามาแล้ว เช่น การจัดเก็บสินค้าแบบสุ่มและการจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งตามการหมุนเวียน

2.4.1 การจัดเก็บสินค้าแบบสุ่ม (Random storage)

การจัดเก็บสินค้าแบบสุ่มเป็นการเก็บสินค้า ณ ตำแหน่งที่ว่างในคลังสินค้า ณ เวลานั้น ซึ่งชนิดสินค้าที่จะเข้ามาเก็บในคลังสินค้า ณ ตำแหน่งใด ๆ ไม่จำเป็นต้องเป็นสินค้าที่เคยอยู่ที่ตำแหน่งนั้นมาก่อน หมายความว่าไม่มีการเจาะจงพื้นที่เก็บของสินค้าแต่ละชนิด การเก็บสินค้าวิธีนี้เป็นการเก็บสินค้าที่ง่ายเพราะไม่ต้องอาศัยการจัดระเบียบที่ซับซ้อน

2.4.2 การจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งตามการหมุนเวียน (Turnover-based storage)

การจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งตามการหมุนเวียนเป็นการเก็บสินค้าที่มีความต้องการสูงให้อยู่ใกล้กับตำแหน่ง P&D นั่นคือระยะทางจาก P&D ของสินค้าชนิดหนึ่ง ๆ จะแปรผันตรงกับความน่าจะเป็นที่สินค้าชนิดนั้นจะปรากฏอยู่ในใบสั่งซื้อ (Pohl และคณะ (2009) และ Çelik และ Süral (2014)) ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

กำหนดให้คลังสินค้ามีตำแหน่งเก็บสินค้าทั้งหมด N ตำแหน่ง เรียงตามระยะทางจาก P&D จากน้อยไปมาก นั่นคือ ตำแหน่งที่ 1 จะอยู่ใกล้กับ P&D ที่สุด และตำแหน่งที่ N จะอยู่ไกลที่สุด

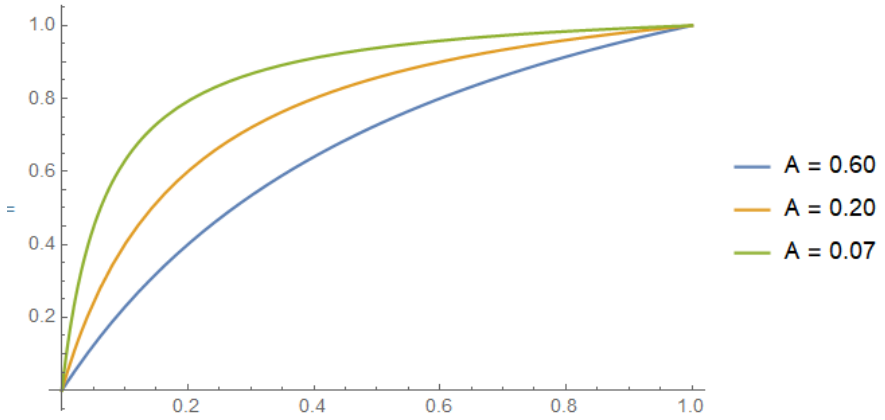
ให้ p_i แทนความต้องการของสินค้า (demand) ในตำแหน่งที่ i สำหรับ $i = 1,2,3,\dots,N$ จากนั้นจะจำลองค่า p_i ที่สินค้าในที่ตำแหน่งที่ i จะปรากฏในใบสั่งซื้อสำหรับทุก $i = 1,2,3,\dots,N$ โดยที่

$$p_i = F\left(\frac{i}{N}\right) - F\left(\frac{i-1}{N}\right) \quad (1)$$

เมื่อ $F(x)$ เป็นฟังก์ชันเพิ่มที่มีกราฟเว้าลง (concave down) (Bender, 1981) โดยที่

$$F(x) = \frac{(1+A)x}{A+x} \quad (2)$$

สำหรับ $x \in [0,1]$ และ $F(x)$ มีพารามิเตอร์ A ที่ทำให้ความเว้าของกราฟของฟังก์ชันเปลี่ยนไป โดยที่ A เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงรูปร่างซึ่งขึ้นอยู่กับความเบ้ของความต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟของ $F(x)$ ที่ $A = 0.60, A = 0.20$ และ $A = 0.07$

เนื่องจาก $F(x)$ เป็นฟังก์ชันเพิ่มที่มีกราฟเว้าลง จะได้ $p_1 \geq p_2 \geq \cdots \geq p_N$ ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.6 ในกรณี $A = 0.20$ และ $N = 10$ เช่น

$$p_1 = 0.4 - 0 = 0.4$$

$$p_2 = 0.6 - 0.4 = 0.2$$

$$p_3 = 0.72 - 0.6 = 0.12$$

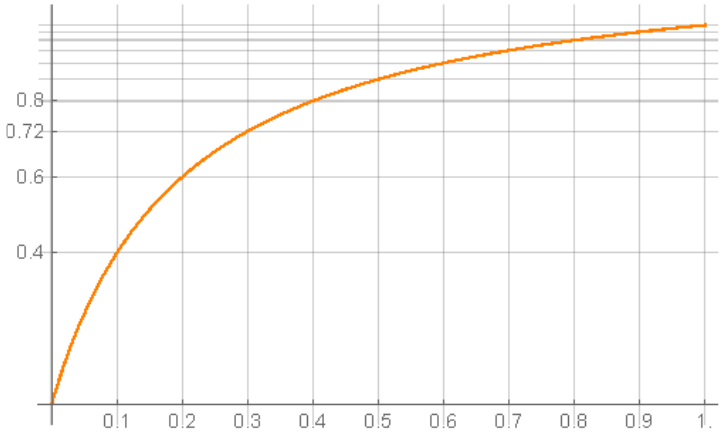
ในรูปที่ 2.5 จะพบว่า ถ้าค่า A ยิ่งน้อย กราฟของ $F(x)$ จะยิ่งมีค่าความเว้ามากขึ้น เราสามารถวัดค่าความเบ้ (skewness) ได้จากค่า $F(0.2)$ ซึ่งมีค่าเท่ากับความต้องการรวมของสินค้าที่มีความต้องการสูงสุด 20% แรก เช่น

สำหรับ $A = 0.60$ จะได้ $F(0.2) = 0.4 = 40\%$ เราใช้สัญลักษณ์ 20/40

สำหรับ $A = 0.20$ จะได้ $F(0.2) = 0.6 = 60\%$ เราใช้สัญลักษณ์ 20/60

สำหรับ $A = 0.07$ จะได้ $\mathrm{F}(0.2) \approx 0.8 = 80\%$ เราใช้สัญลักษณ์ 20/80

ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาการเก็บสินค้าตามการหมุนเวียนที่มีความเบ้ของความต้องการแบบ 20/80 โดยจะแทนด้วย TB



รูปที่ 2.6 กราฟของ $F(x)$ ที่ $A = 0.20$ และ $N = 10$

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 รูปแบบผังคลังสินค้า

จากงานทบทวนวรรณกรรมของ Masae และคณะ (2020a) พบว่ารูปแบบผังคลังสินค้าแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่คือ คลังสินค้าแบบดั้งเดิม (Conventional warehouse) และคลังสินค้าไม่ใช่แบบดั้งเดิม (Non-conventional warehouse)

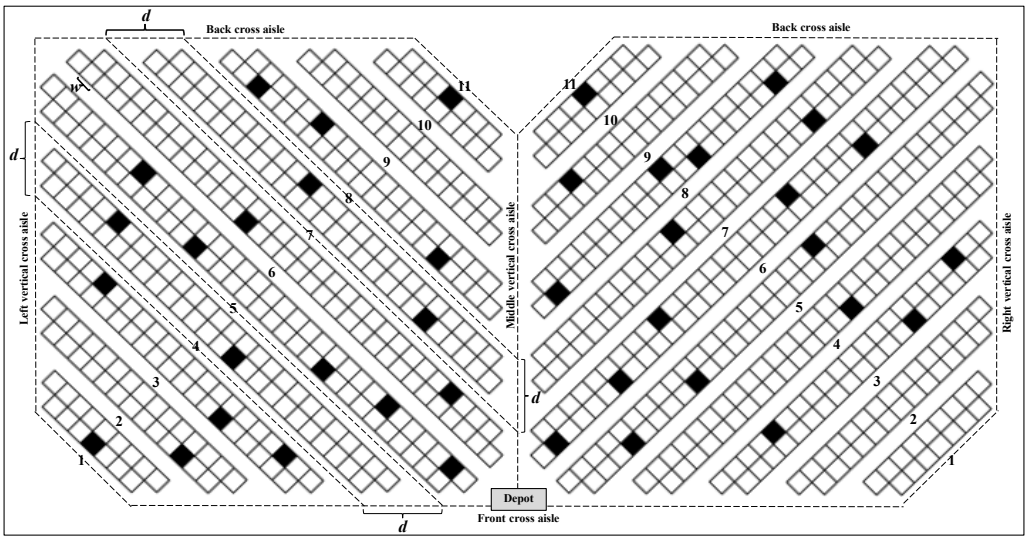
1. คลังสินค้าแบบดั้งเดิม

คลังสินค้าแบบดั้งเดิมเป็นคลังสินค้าที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมพร้อมทางเดินหยิบแบบขนานที่ตั้งฉากกับทางเดินตามขวางจำนวนหนึ่ง คลังสินค้าแบบดั้งเดิมที่มีทางเดินตามขวางที่ส่วนหน้าและส่วนหลังจะเรียกว่าคลังสินค้าแบบหนึ่งบล็อก ในขณะที่คลังสินค้าที่มีทางเดินตามขวางมากกว่าสองมักถูกเรียกว่าคลังสินค้าแบบหลายบล็อก ซึ่งแต่ละบล็อกในคลังสินค้าประกอบด้วยทางเดินย่อยจำนวนหนึ่ง ดังที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1.1

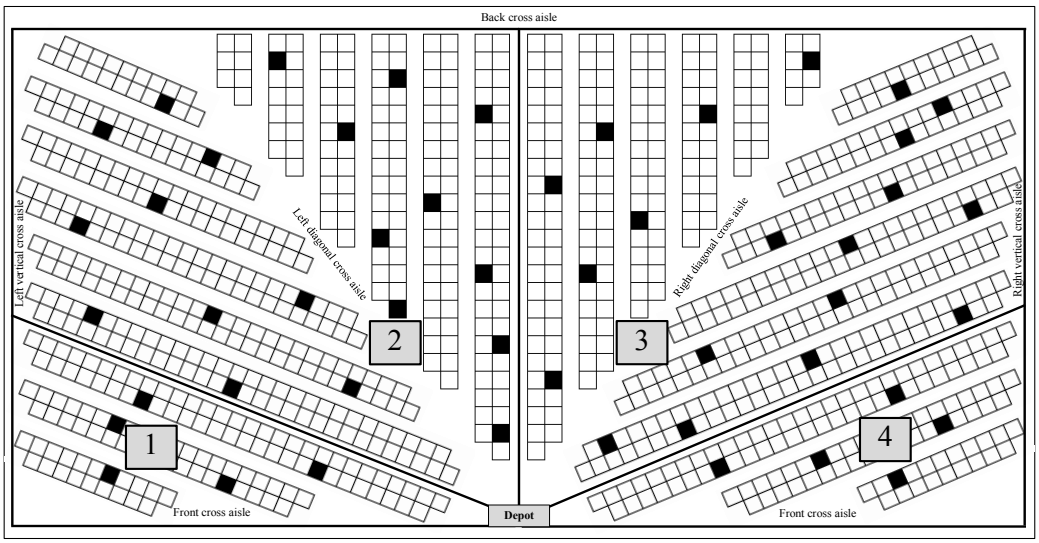
2. คลังสินค้าไม่ใช่แบบดั้งเดิม

คลังสินค้าไม่ใช่แบบดั้งเดิมเป็นคลังสินค้าที่ไม่ได้มีลักษณะเป็นบล็อก ซึ่งมีรูปร่างที่แตกต่างกันมากมาย เช่น คลังสินค้ารูปก้างปลา คลังสินค้ารูป flying-V (Çelik และ Süral, 2014) (ดังแสดงในภาคผนวก) และคลังสินค้ารูป U-shaped (Glock และ Grosse, 2012) (ดังแสดงใน

ภาคผนวก) คลังสินค้าแบบเชฟรอน (Chevron) (Masae และคณะ, 2020c) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 คลังสินค้ารูปใบไม้ (Masae และคณะ, 2021) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



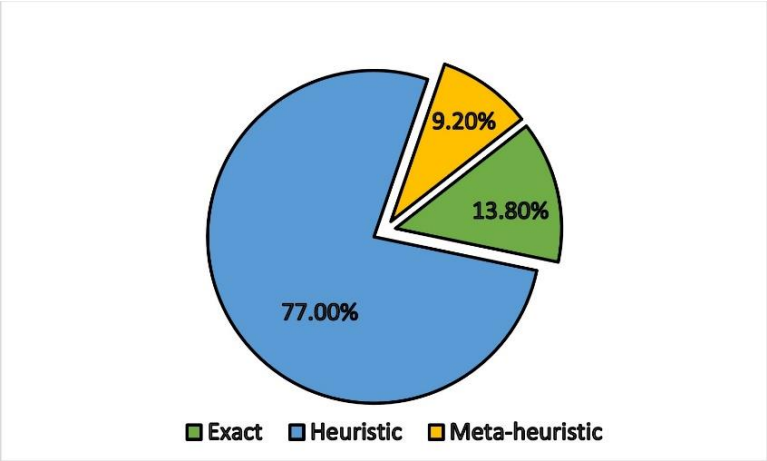
รูปที่ 2.7 คลังสินค้าแบบเชฟรอน (Chevron) (Masae และคณะ, 2020c)



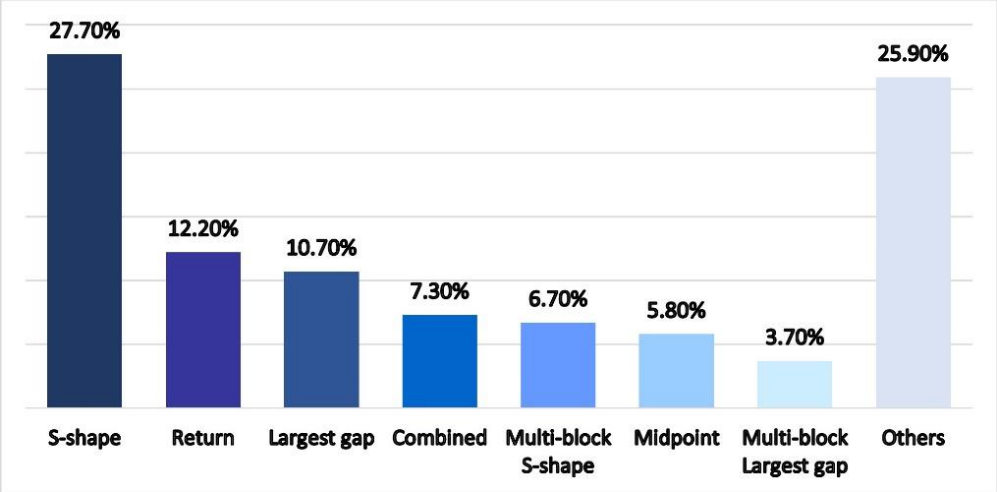
รูปที่ 2.8 คลังสินค้ารูปใบไม้ (Masae และคณะ, 2021)

2.5.2 วิธีการเดินหยิบสินค้า

จากงานทบทวนวรรณกรรมของ Masae และคณะ (2020a) พบว่าวิธีการเดินหยิบสินค้าแบ่งได้ออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ วิธีแม่นตรง (Exact algorithm) วิธีฮิวริสติก (Heuristic) และวิธีเมตาฮิวริสติก (Meta-heuristic) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการเดินหยิบสินค้า (Masae และคณะ, 2020a)



รูปที่ 2.10 แสดงวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบ Heuristic และเปอร์เซ็นต์ความนิยม (Masae และคณะ, 2020a)

จากรูปที่ 2.9 การศึกษาส่วนใหญ่จะเน้นใช้วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบฮิวริสติก เนื่องจากมีรูปแบบและวิธีการเดินหยิบที่ค่อนข้างชัดเจน ทำให้พนักงานหยิบสินค้าสามารถจดจำวิธีการเดินได้ง่าย โดยจากรูปที่ 2.10 วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบ S-shape เป็นวิธีการเดินแบบฮิวริสติกที่ได้รับความนิยมมากที่สุด วิธีการเดินหยิบสินค้าที่ได้รับความนิยมรองลงมาจากวิธีฮิวริสติก คือ วิธีแม่นตรง โดยเฉพาะวิธีที่ประยุกต์ใช้วิธีของ Ratliff และ Rosenthal (1983) งานวิจัยที่ได้ขยายงานวิจัยของ Ratliff และ Rosenthal (1983) ไปยังคลังสินค้ารูปแบบอื่นแสดงในตารางที่ 2 เช่น

Roodbergen และ De Koster (2001a) ได้ขยายไปยังคลังสินค้าที่มีลักษณะเป็นสองบล็อก ส่วน Masae และคณะ (2020c,2021) ได้ขยายไปบนคลังสินค้าที่ไม่ใช่แบบบล็อกที่มีชื่อว่าคลังสินค้าแบบเชฟรอนและรูปใบไม้ ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ตารางสรุปบทความวิจัยที่นำเสนอวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง

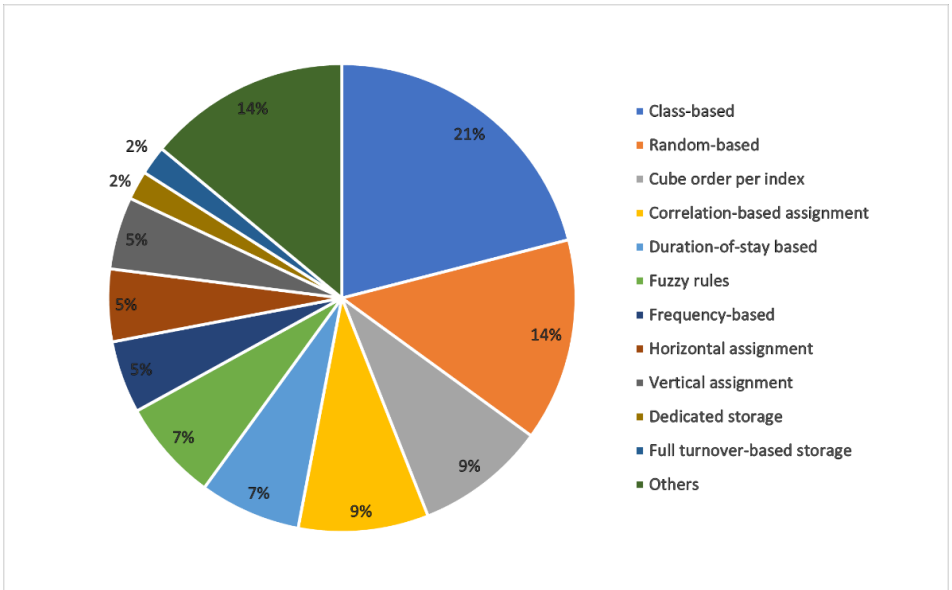
บทความวิจัย	ประเภทของคลังสินค้า		
	คลังสินค้าแบบดั้งเดิม		คลังสินค้าที่ไม่ใช่แบบดั้งเดิม
	หนึ่งบล็อก	หลายบล็อก	
Ratliff และ Rosenthal (1983)	x		
De Koster และ Van der Poort (1998)	x		
Roodbergen และ De Koster (2001a)		x	
Jang และ Sun (2012)		x	
Çelik และ Süral (2014)			x
Çelik และ Süral (2016)	x		
Lu และคณะ (2016)	x		
Pansart และคณะ (2018)		x	
Žulj และคณะ (2018)	x		
Öztürkoğlu และ Hoser (2019)			x
Masae และคณะ (2020b)		x	
Masae และคณะ (2020c)			x
Masae และคณะ (2021)			x

ส่วนวิธีการเดินแบบเมตาฮิวริสติก ถูกนิยมนำมาใช้โดยเฉพาะกับปัญหาแบบผสมที่รวมปัญหาการดำเนินการในคลังสินค้าเข้าด้วยกัน เช่น ปัญหาการเดินหยิบสินค้าผสมกับปัญหาการจัดเก็บสินค้า ตัวอย่างงานวิจัยที่ได้นำเสนอวิธีการเดินแบบเมตาฮิวริสติกได้แก่ งานวิจัยของ Tsai และคณะ (2008), Chen และคณะ (2015), Lin และคณะ (2016), Li และคณะ (2017), และ De Santis และคณะ (2018)

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยหลาย ๆ งานที่ได้พัฒนาวิธีการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้าไม่ใช่แบบดั้งเดิม เช่น การศึกษาวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบฮิวริสติกกับคลังสินค้าแบบ U-shape (Hen และคณะ, 2013) และการศึกษาของ Zhou และคณะ (2019) ได้พัฒนาวิธีการเดินแบบเมตาฮิวริสติกบนคลังสินค้ารูปก้างปลา

2.5.3 วิธีการจัดเก็บสินค้า

จากการทบทวนวรรณกรรมของ Reyes และคณะ (2019) พบว่าวิธีการจัดเก็บสินค้ามีหลากหลายวิธี ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงวิธีการจัดเก็บสินค้า

วิธีการจัดเก็บสินค้าแบ่งออกเป็นสี่ประเภทหลักๆ วิธีแรกเรียกว่าการจัดเก็บสินค้าแบบสุ่ม (Random storage) กรณีนี้สินค้าจะถูกจัดเก็บในตำแหน่งที่ว่างในคลังสินค้าอย่างสุ่ม (Petersen, 1997; De Koster และคณะ, 1999; Zaerpour และคณะ, 2013) วิธีที่สองเป็นการกำหนดพื้นที่จัดเก็บสินค้าเฉพาะ (Dedicated storage) สินค้าถูกจัดเก็บตามลักษณะสินค้าในพื้นที่เจาะจง (Brynzér และ Johansson, 1996; Frazelle, 2002) วิธีที่สามคือการจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งกลุ่ม (Class-Based storage) โดยที่คลังสินค้าแบ่งออกเป็นโซนตามลักษณะสินค้าโดยการกำหนดพื้นที่จัดเก็บในแต่ละโซนเป็นแบบสุ่ม โดยแบ่งแยกเป็นรูปแบบต่าง ๆ เช่น diagonal, within-

aisle หรือ across-aisle เป็นต้น และวิธีที่สี่คือการจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งตามการหมุนเวียน (Turnover-based) โดยสินค้าถูกจัดเก็บตามที่สำรองตำแหน่งไว้สำหรับให้สินค้าที่ถูกหยิบมากที่สุดไว้ใกล้จุด P&D (Çelik และคณะ, 2014; Van Gils และคณะ, 2018) และงานวิจัยของ Venkitasubramony และ Adil (2016) เพื่อหาผลลัพธ์ของระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา ด้วยวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบสุ่ม การจัดเก็บสินค้าแบบหมุนเวียน และการจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งกลุ่ม (Class-based storage) ซึ่งผลการวิจัยพบว่าวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งกลุ่มจะทำให้ระยะทางการเดินหยิบในคลังสินค้าสั้นที่สุด

ตารางที่ 3 คำอธิบายวิธีการจัดเก็บสินค้า

วิธีการจัดเก็บสินค้า	คำอธิบายวิธีการจัดเก็บสินค้า	บทความวิจัย
Class-based	สินค้าจะถูกแบ่งกลุ่มออกเป็นกลุ่มย่อยตามเกณฑ์ จากนั้นจึงกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บให้กับกลุ่มสินค้าแต่ละกลุ่ม ซึ่งสินค้าที่ได้รับความนิยมสูง จะถูกจัดเก็บไว้ใกล้กับจุด P&D	Ene และคณะ (2016); Qin และคณะ (2015); Sharma และ Shah (2015); Fontana และ Cavalcante (2014); Meneghetti และ Monti (2014); Zaerpour และคณะ (2013); Ene และ Öztürk (2012); Kovács (2011); Le-Duc และ de Koster (2005)
Cube order per index (COI)	จัดเก็บสินค้าด้วยการแบ่งกลุ่มตามดัชนี COI ซึ่งคำนวณจากพื้นที่ที่ต้องการใช้สำหรับจัดเก็บสินค้า (ลูกบาศก์) ต่อจำนวนรอบในการเดินหยิบสินค้าหรือความต้องการของลูกค้าในใบสั่งซื้อ	Fontana และ Cavalcante (2014); Kovács (2011); Rai และ Ettam (2016); Xiao และ Zheng (2010)
Correlation-based assignment	การจัดเก็บโดยอิงกับความสัมพันธ์ของสินค้าที่ถูกหยิบพร้อมกัน เช่น แนวความคิดของ Bindi และคณะ(2009) ที่จะจัดเก็บสินค้าที่ลูกค้ามักสั่งซื้อร่วมกันไว้ในกลุ่มเดียวกันเพื่อให้การเดินหยิบสินค้าตามใบสั่งซื้อมีประสิทธิภาพ	Glock และ Grosse (2012); Bindi และคณะ(2009); Hsieh และ Tsai (2006); Ho และ Liu (2005)
Full turnover - based storage	การจัดเก็บสินค้า โดยจัดเก็บสินค้าที่มีโอกาสจะปรากฏในใบสั่งซื้อสูงให้อยู่ใกล้ ๆ กับตำแหน่ง P&D	Yu และ de Koster (2013)
Random-based	การจัดเก็บสินค้าอย่างอิสระ เมื่อมีตำแหน่งสินค้าที่ว่างอยู่ สามารถนำสินค้าชิ้นถัดไปมาจัดเก็บในตำแหน่งนั้น โดยไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่น ๆ เช่น ความต้องการของใบสั่งซื้อ	Ene และคณะ(2016); Meneghetti และ Monti (2014); Zaerpour และคณะ(2013); Fumi และคณะ (2013); Gagliardi และคณะ (2012); Glock และ Grosse (2012)

วิธีการจัดเก็บสินค้า	คำอธิบายวิธีการจัดเก็บสินค้า	บทความวิจัย
Duration-of-stay based	กำหนด unit loads ทั้งหมดภายในช่วงระยะเวลาการจัดเก็บสินค้าไปยังโซนในคลังสินค้า ซึ่งคล้ายกับการจัดเก็บ turnover-based แต่เกณฑ์ในการแบ่ง unit loads เพื่อกำหนดตำแหน่ง คือระยะเวลาในการจัดเก็บสินค้ามากกว่าความถี่ในการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้า	Meneghetti และ Monti (2014); Meneghetti และ Monti (2013); Chen และคณะ (2010)
Horizontal assignment, Vertical assignment	การแบ่งพื้นที่จัดเก็บสินค้าออกเป็นกลุ่มโดยแบ่งเป็นลักษณะแนวนอน (Horizontal) หรือแนวตั้ง (Vertical) ซึ่งจะจัดเก็บสินค้าที่มีความต้องการของลูกค้าในใบสั่งซื้อสูงไว้ในกลุ่มที่อยู่ใกล้กับจุด P&D	Sharma และ Shah (2015); Glock และ Grosse (2012)
Dedicated storage	การกำหนดสินค้าทุกตำแหน่งให้อยู่กับที่	Fumi และคณะ (2013)
Frequency-based	การจัดเก็บสินค้าตามความถี่ในการเดินหยิบสินค้า โดยสินค้าที่มีรอบความถี่ในการหยิบสูง จะจัดเก็บไว้ใกล้กับจุด P&D	Hsieh และ Tsai (2006); Yang (2008)
Fuzzy rules	จัดเก็บสินค้าตามการคำนวณของกฎ Fuzzy	Choy และคณะ (2017); Lam และคณะ (2009); Cheung และคณะ (2009)
Volume-based	จัดเก็บตามปริมาณสินค้า โดยสินค้าที่มีปริมาณมากจะถูกจัดเก็บไว้ใกล้กับจุด P&D ซึ่งวิธีการจัดเก็บ Volume-based มีอีกหลากหลายรูปแบบ เช่น diagonal, within-aisle เป็นต้น	Petersen และ Schmenner (1999)

วิธีการจัดเก็บสินค้า	คำอธิบายวิธีการจัดเก็บสินค้า	บทความวิจัย
Others	เช่น lower and upper assignment ซึ่งเป็นการจัดเก็บสินค้าโดยแบ่งพื้นที่จัดเก็บสินค้าออกเป็นแถวบนของชั้นวางสินค้า (upper) และแถวล่างของชั้นวางสินค้า (lower) ซึ่งวิธีนี้สินค้าจะถูกนำไปจัดเก็บในแถวบนของชั้นวางสินค้าก่อน เมื่อชั้นวางสินค้าถูกจัดเก็บจนเต็ม จึงจัดเก็บมาในแถวถัดไปจนจัดเก็บไปถึงแถวล่างของชั้นวางสินค้า	Gagliardi และคณะ (2012); Qin และคณะ (2015); Chen และคณะ (2010); Glock และ Grosse (2012); Carlo และ Giraldo (2012); Rai และ Ettam (2016); Meneghetti และ Monti (2014)

2.5.4 การประเมินผลของปัจจัยร่วมของวิธีการเดินหยิบสินค้าและการจัดเก็บสินค้า

มีงานวิจัยที่ศึกษาปัจจัยร่วมกันของวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า เช่น งานวิจัยของ Caron และคณะ (1998) ได้ศึกษาผลกระทบของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ cube-per-order index (COI) ต่อระยะการเดินทางที่คาดไว้โดยใช้การจำลอง Petersen และ Schmenner (1999) ได้ประเมินการใช้วิธีการเดินแบบ heuristics เทียบกับแบบ exact algorithm ในวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ volume-based storage ซึ่งพบว่าการรวมกันของการจัดเก็บสินค้าแบบ perimeter และวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบ largest gap โดยเฉลี่ยส่งผลให้ระยะเวลาเดินทางสั้นลง เมื่อเทียบกับการรวมกันของการจัดเก็บสินค้าแบบ within-aisle และวิธีการเดินแบบ S-shape และการจัดเก็บสินค้าแบบ across-aisle และวิธีการเดินแบบ return Dekker และคณะ (2004) ใช้แบบจำลองเพื่อพิจารณาวิธีเดินหยิบสินค้าและการจัดเก็บสินค้าสำหรับคลังสินค้าของ Ankor Hwang และคณะ (2004) ประเมินประสิทธิภาพของวิธีการเดินหยิบสินค้า 3 วิธี ประกอบด้วย return, traversal และ midpoint ในคลังสินค้าที่มีการจัดเก็บสินค้าแบบ COI และการศึกษาของ Van Gils และคณะ (2018) ศึกษาวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ turnover based ร่วมกับวิธีการเดินหยิบสินค้า 3 แบบ ซึ่งผลการศึกษาว่าพบว่าวิธีจัดเก็บสินค้าแบบ across-aisle และวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบ return ให้ระยะทางสั้นกว่าวิธีจัดเก็บสินค้าแบบ within-aisle และวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบ S-shape และวิธีจัดเก็บสินค้าแบบ Perimeter และวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบ largest gap และงานวิจัยของ Çelik และ Süral (2014) ได้ศึกษาคลังสินค้ารูปก้างปลาและคลังสินค้ารูป flying-V โดยพิจารณาการจัดเก็บสินค้าสองวิธี ได้แก่ การจัดเก็บแบบสุ่ม (Random storage) และการจัดเก็บแบบหมุนเวียน (Turnover-based storage) โดยพิจารณาร่วมกับวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง และวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบฮิวริสติก ได้ผลสรุปว่า วิธีการจัดเก็บสินค้าแบบสุ่มให้ผลได้ดีเมื่อในใบคำสั่งซื้อมีเพียงรายการเดียวที่ต้องหยิบ แต่เมื่อในใบคำสั่งซื้อมีรายการที่ต้องหยิบมากขึ้น การจัดเก็บแบบหมุนเวียนเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า

งานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาการเดินหยิบสินค้าของพนักงานหยิบสินค้าและการจัดเก็บสินค้าร่วมกันประกอบด้วย Petersen และคณะ (2004), Manzini และคณะ (2007), Theys และคณะ (2010), Chan และ Chan (2011), Shqair และคณะ (2014), Roodbergen และคณะ (2015), และ Dijkstra และ Roodbergen (2017)

2.6 ทฤษฎีของสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.6.1 สถิติพรรณนา

สถิติพรรณนา หมายถึง สถิติที่ว่าด้วยการสรุปลักษณะของข้อมูลเท่าที่มีอยู่โดยไม่ได้นำไปสรุปอ้างอิงถึงข้อมูลชุดอื่น ๆ ข้อมูลที่มีอยู่อาจเป็นข้อมูลของทุกหน่วยที่ศึกษาเรียกว่า ประชากร (Population) หรือข้อมูลจากบางหน่วยที่ถูกเลือกมาซึ่งเรียกว่า ตัวอย่าง (Sample) การสรุปข้อมูลด้วยสถิติพรรณนา ทำได้หลายวิธี เช่น สรุปเป็นตัวเลข (ค่าเฉลี่ย มัธยฐาน ฐานนิยม สัดส่วน ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) ตาราง หรือ กราฟ

- สูตรการหาค่าเฉลี่ย (Mean)

$$\bar{x} = \frac{\Sigma_{i=1}^{n} x_i}{n}$$

เมื่อ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของเลขคณิต

$\sum_{i=1}^{n} x_i$ คือ ผลบวกของข้อมูลทุกค่า

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

- สูตรการหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

เมื่อ S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x_i คือ ข้อมูลตัวที่ i โดยที่ $i = 1,2,3,\dots,n$

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

- สูตรการหาความแปรปรวน (Variance)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

เมื่อ S^2 คือ ความแปรปรวน

x_i คือ ข้อมูลตัวที่ i โดยที่ $i = 1,2,3,\dots,n$

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

2.6.2 สถิติอนุมาน

กัลยา นิติเรืองจรัส (2560) กล่าวว่าสถิติอ้างอิงหรือสถิติเชิงอนุมาน (Inferential Statistics) เป็นสถิติที่ใช้อธิบายคุณลักษณะของสิ่งที่ต้องการศึกษาในกลุ่มใดกลุ่มหนึ่ง แล้วสามารถอ้างอิงไปยังกลุ่มอื่น ๆ ได้ โดยกลุ่มที่นำมาศึกษาจะต้องเป็นตัวแทนที่ดีของประชากร ตัวแทนที่ดีของประชากรได้มาโดยวิธีการสุ่มตัวอย่าง และตัวแทนที่ดีของประชากรจะเรียกว่า “กลุ่มตัวอย่าง” สถิติอนุมานมีด้วยกัน 2 วิธี คือ การประมาณค่า (Estimation) และการทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) และสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. สถิติอิงพารามิเตอร์ (Parametric Statistics) เป็นวิธีการทางสถิติที่จะต้องเป็นไปตามข้อตกลงเบื้องต้น 3 ประการ ดังนี้

- ตัวแปรที่ต้องการวัดจะต้องอยู่ในมาตราการวัดระดับช่วง (interval scale) ขึ้นไป
- ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากกลุ่มตัวอย่างจะต้องมีการแจกแจงปรกติ
- กลุ่มประชากรแต่ละกลุ่มที่นำมาศึกษาจะต้องมีความแปรปรวนเท่ากัน

สถิติอิงพารามิเตอร์ เช่น t-test, ANOVA, Regression Analysis

2. สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ (Non-parametric Statistics) เป็นวิธีการทางสถิติที่ไม่มีข้อจำกัดใด ๆ นั่นก็คือ

- ตัวแปรที่ต้องการวัดอยู่ในมาตราการวัดระดับใดก็ได้ (nominal scale, ordinal scale, interval scale, ratio scale)
- ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้จากกลุ่มตัวอย่างมีการแจกแจงแบบใดก็ได้ (free distribution)
- กลุ่มประชากรแต่ละกลุ่มที่นำมาศึกษาไม่จำเป็นต้องมีความแปรปรวนเท่ากัน

สถิติไม่อิงพารามิเตอร์ เช่น ไคสแควร์, Mann Whitney U Test, Kruskal Wallis Test

โดยปกติแล้วนักวิจัยมักนิยมใช้สถิติอิงพารามิเตอร์ทั้งนี้เพราะผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้สถิติอิงพารามิเตอร์มีอำนาจการทดสอบ (power of test) สูงกว่าการใช้สถิติไม่อิงพารามิเตอร์

2.6.3 การทดลองแฟกทอเรียล (Factorial experiment)

ศรีวรรณ เมืองลอย บุญอ้อม โฉมที จุฑาภรณ์ สินสมบูรณ์ทอง และจันทร์ธา วงษ์อู่ทอง (2562) อธิบายว่า แผนแบบการทดลอง (experimental design) มีการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้าน เช่น ด้านวิทยาศาสตร์ ด้านเกษตรกรรม ซึ่งแผนแบบการทดลองทางสถิติมีหลายแบบ เช่น การทดลองแฟกทอเรียล เป็นแผนการทดลองที่สนใจศึกษาปัจจัย 2 ปัจจัยขึ้นไป ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และแต่ละปัจจัยแบ่งออกเป็นระดับ ตัวอย่าง เช่น แผนแบบการทดลอง 2^k

แฟกทอเรียล (2^k factorial experimental design) เป็นแผนแบบการทดลองที่สนใจศึกษาปัจจัยหลัก k ปัจจัยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง โดยแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ เช่น แผนแบบการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียล (2^3 factorial experimental design) เป็นแผนแบบการทดลองแฟกทอเรียล 3 ปัจจัย โดยที่แต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ หรืออาจเขียนเป็นแผนแบบการทดลอง 2 x 2 x 2 แฟกทอเรียล (2 x 2 x 2 factorial experimental design) ซึ่งการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลองแฟกทอเรียลชนิดนี้จะเป็นการวิเคราะห์ข้อมูลแบบสามทาง (three-way analysis) นั่นคือ จะสามารถสรุปผลจากการทดสอบสมมุติฐานของปัจจัยหลายปัจจัยที่ศึกษาพร้อมกัน นอกจากนี้ปัจจัยที่ศึกษาการทดลองแฟกทอเรียลนั้นสามารถศึกษาการมีอิทธิพลร่วมกันระหว่างปัจจัยได้

จักรินทร กลั่นเงิน และ อนุเชษฐ พลเยี่ยม (2558) อธิบายว่า การทดลองแฟกทอเรียล 3^k เป็นกระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีทางสถิติหรืออาจกล่าวได้ว่า การออกแบบการทดลอง คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่องโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า (Input variables) ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจ เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ที่ได้ (Response) (D.C. Montgomery, 2005; ประไพศรี สุทัศน ณ อยุธยา และ พงศชนัน เหลืองไพบูลย, 2551)

การทดลองแฟกทอเรียล 3^k คือ การออกแบบที่แต่ละระดับประกอบไปด้วย 3 ระดับ (ต่ำ ปานกลาง และสูง) ในการออกแบบเมื่อปัจจัยมีลักษณะเป็นเชิงปริมาณ สามารถแทนระดับต่ำ ปานกลาง และสูง ด้วย -1, 0 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งการใช้สัญลักษณ์เชนนี้จะทำให้ง่ายในการสร้างแบบจำลองการถดถอยของผลลัพธ์ที่เกิดจากแต่ละระดับของปัจจัย ถ้ากำหนดให้ x_1 แทนปัจจัย A และ x_2 แทนปัจจัย B แบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่าง y กับ x_1 และ x_2 (ปารเมศ ชุติมา, 2545) สามารถแสดงได้โดย

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{11} {x_1}^2 + \beta_{12} {x_2}^2 + \varepsilon$$

การวิเคราะห์ความแปรปรวน

กรณีที่ทำการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปนั้น จะต้องพิจารณาอิทธิพลร่วมของปัจจัยก่อนเสมอ และในการทดลองที่มากกวา 2 ปัจจัย จะไม่วิเคราะห์อิทธิพลร่วมตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป เนื่องจากถือวาอิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย มีอิทธิพลต่อความตอบสนองน้อยมาก ถ้าอิทธิพลร่วมมีนัยสำคัญ (p-value < α) จะไม่ทำการพิจารณาอิทธิพลหลัก ซึ่งเป็นอิทธิพลหลักที่มีความเกี่ยวข้องกับอิทธิพลร่วม การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบสมมติฐานทางสถิติในการทดลองที่มีปัจจัยที่สนใจศึกษา 2 ปัจจัย คือ A และ B คือ

1. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย A คือ

$\mathrm{H}_0 : \tau_1 = \tau_2 = \cdots = \tau_a = 0$
$\mathrm{H}_1 : \tau_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

2. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลหลักของปัจจัย B คือ

$\mathrm{H}_0 : \beta_1 = \beta_2 = \cdots = \beta_b = 0$
$\mathrm{H}_1 : \beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

3. การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับอิทธิพลร่วมของ 2 ปัจจัย คือ

$\mathrm{H}_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0 \; ; \; \forall \, i, j$
$\mathrm{H}_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า

การวิเคราะห์ความแปรปรวนในการทดสอบสมมติฐานทางสถิติทั้ง 3 ข้างต้น โดยอาศัยตรรกะของการวิเคราะห์ความแปรปรวน และใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดในการคำนวณความเบี่ยงเบนของข้อมูลแต่ละตัวจากคาเฉลี่ยทั้งหมด การคำนวณหาผลบวกกำลังสองของความแตกต่างทั้งหมดของข้อมูลแต่ละตัวที่เบี่ยงเบนไปจากคาเฉลี่ย (อนันตชัย เขื่อนธรรม, 2542; จักรินทร กลั่นเงิน และรัฐวุฒิ เพ็ชรแกว, 2557)

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยสนใจศึกษาคลังสินค้าที่มีลักษณะเป็นรูปก้างปลา โดยสมมติให้คลังสินค้ามี P&D เพียงตำแหน่งเดียว ณ จุดกึ่งกลางของทางเดินด้านหน้าและให้ทางเดินภายในคลังสินค้าเป็นทางแคบ เพื่อให้พนักงานสามารถหยิบสินค้าได้จากทั้งสองฝั่งโดยไม่เป็นการเพิ่มระยะทางในการเดินหยิบ และสมมติให้สนใจพนักงานหยิบสินค้าเพียงคนเดียวและเพียงใบคำสั่งซื้อเดียวต่อรอบการเดินหยิบสินค้า

3.1 การออกแบบการทดลอง

ส่วนนี้จะนำเสนอการออกแบบการทดลองเพื่อประเมินอิทธิหลัก (main effect) และอิทธิร่วม (interaction effect) ที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา จะประยุกต์ใช้แผนการออกแบบแฟกทอเรียลเต็มรูป (full factorial design) ซึ่งปัจจัยการทดลองและระดับที่ใช้ในการทดลองสามารถสรุปได้ดัง**ตารางที่ 4** จากนั้นนำปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัยมาทำการออกแบบการทดลองแบบ 4x5x3x3 แฟกทอเรียลเต็มรูป โดยแต่ละตัวแบบจะทำการจำลองข้อมูลในโปรแกรมไพทอน (Python) โดยมีการจำลองซ้ำ 30 ครั้งในแต่ละสถานการณ์ เพื่อที่จะประมาณค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้า แล้วจึงสรุปผลการวิเคราะห์ด้วยการใช้โปรแกรม Minitab 16

ตารางที่ 4 ปัจจัยการทดลองและระดับที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย (factor)	จำนวนระดับ (number of levels)	ระดับ (levels)
วิธีการเดินหยิบสินค้า (routing)	4	E, SS, LG ,AA
วิธีการเก็บสินค้า (storage)	5	R, TB, W, A, P
ขนาดคลังสินค้า (warehouse sizes)	3	7 aisles, 11 aisles, 15 aisles
ขนาดของใบสั่งซื้อ (pick-list sizes)	3	20, 30, 40

ตัวแบบสถิติสำหรับการทดลองแบบแฟกทอเรียลเต็มรูปที่มี 4 ปัจจัยเขียนได้ดังนี้

$$y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + \lambda_l + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\alpha\lambda)_{il} + (\beta\gamma)_{jk} + (\beta\lambda)_{jl} + (\gamma\lambda)_{kl} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + (\alpha\beta\lambda)_{ijl} + (\alpha\gamma\lambda)_{ikl} + (\beta\gamma\lambda)_{jkl} + (\alpha\beta\gamma\lambda)_{ijkl} + e_{ijkl}m$$
$$; i = 1,2,3,4; j = 1,2,3,4,5; k = 1,2,3; l = 1,2,3; m = 1,2,3, \dots ,30$$

โดยที่

y_{ijkl}	แทนระยะทางการเดินที่ได้รับทรีตเมนต์ i, j, k, l ตัวที่ m
μ	แทนค่าเฉลี่ยระยะทางการเดินทั้งหมด
α_i	แทนอิทธิพลของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้าที่มี 4 ระดับ
β_j	แทนอิทธิพลของปัจจัยวิธีการเก็บสินค้าที่มี 5 ระดับ
γ_k	แทนอิทธิพลของปัจจัยขนาดคลังสินค้าที่มี 3 ระดับ
λ_l	แทนอิทธิพลของปัจจัยขนาดของใบสั่งซื้อที่มี 3 ระดับ
$(\alpha\beta)_{ij}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้าและวิธีการเก็บสินค้า
$(\alpha\gamma)_{ik}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้าและขนาดคลังสินค้า
$(\alpha\lambda)_{il}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้าและขนาดของใบสั่งซื้อ
$(\beta\gamma)_{jk}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเก็บสินค้าและขนาดคลังสินค้า
$(\beta\lambda)_{jl}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเก็บสินค้าและขนาดของใบสั่งซื้อ
$(\gamma\lambda)_{kl}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยขนาดคลังสินค้าและขนาดของใบสั่งซื้อ
$(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการเก็บสินค้า และขนาดคลังสินค้า
$(\alpha\beta\lambda)_{ijl}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการเก็บสินค้า และขนาดของใบสั่งซื้อ
$(\alpha\gamma\lambda)_{ikl}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้า ขนาดคลังสินค้า และขนาดของใบสั่งซื้อ
$(\beta\gamma\lambda)_{jkl}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้า และขนาดของใบสั่งซื้อ
$(\alpha\beta\gamma\lambda)_{ijkl}$	แทนอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้า และขนาดของใบสั่งซื้อ
$e_{ijkl}m$	แทนความคลาดเคลื่อนสุ่มของการทดลอง

โดยต้องทดสอบสมมติฐานทางสถิติต่อไปนี้

3.1.1 การทดสอบอิทธิพลหลัก

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้า

$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = 0$

$H_1: \alpha_i \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $i = 1,2,3,4$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเก็บสินค้า

$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \beta_5 = 0$

$H_1: \beta_j \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $j = 1,2,3,4,5$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยขนาดคลังสินค้า

$H_0: \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 0$

$H_1: \gamma_k \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $k = 1,2,3$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยขนาดของใบสั่งซื้อ

$H_0: \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 0$

$H_1: \lambda_l \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $l = 1,2,3$

3.1.2 การทดสอบอิทธิพลร่วม

1.2.1 อิทธิพลร่วม 2 ปัจจัย

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้าและวิธีการเก็บสินค้า

$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0$

$H_1: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $i = 1,2,3,4$; $j = 1,2,3,4,5$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้าและขนาดคลังสินค้า

$H_0: (\alpha\gamma)_{ik} = 0$

$H_1: (\alpha\gamma)_{ik} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $i = 1,2,3,4$; $k = 1,2,3$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้าและขนาดของใบสั่งซื้อ

$H_0: (\alpha\lambda)_{il} = 0$

$H_1: (\alpha\lambda)_{il} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $i = 1,2,3,4$; $l = 1,2,3$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเก็บสินค้าและขนาดคลังสินค้า

$H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0$

$H_1: (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $j = 1,2,3,4,5$; $k = 1,2,3$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเก็บสินค้าและขนาดของใบสั่งซื้อ

$H_0: (\beta\lambda)_{jl} = 0$

$H_1: (\beta\lambda)_{jl} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $j = 1,2,3,4,5$; $l = 1,2,3$

การทดสอบสมมติฐานขนาดคลังสินค้าและขนาดของใบสั่งซื้อ

$H_0: (\gamma\lambda)_{kl} = 0$

$H_1: (\gamma\lambda)_{kl} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $k = 1,2,3 ; l = 1,2,3$

1.2.2 อิทธิพลร่วม 3 ปัจจัย

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการเก็บสินค้า และขนาดคลังสินค้า

$H_0: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} = 0$

$H_1: (\alpha\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $i = 1,2,3,4 ; j = 1,2,3,4,5 ; k = 1,2,3$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการเก็บสินค้า และขนาดของใบสั่งซื้อ

$H_0: (\alpha\beta\lambda)_{ijl} = 0$

$H_1: (\alpha\beta\lambda)_{ijl} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $i = 1,2,3,4 ; j = 1,2,3,4,5 ; l = 1,2,3$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้า ขนาดคลังสินค้า และขนาดของใบสั่งซื้อ

$H_0: (\alpha\gamma\lambda)_{ikl} = 0$

$H_1: (\alpha\gamma\lambda)_{ikl} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $i = 1,2,3,4 ; k = 1,2,3 ; l = 1,2,3$

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้า และขนาดของใบสั่งซื้อ

$H_0: (\beta\gamma\lambda)_{jkl} = 0$

$H_1: (\beta\gamma\lambda)_{jkl} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $j = 1,2,3,4,5 ; k = 1,2,3 ; l = 1,2,3$

1.2.3 อิทธิพลร่วม 4 ปัจจัย

การทดสอบสมมติฐานของปัจจัยวิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้า และขนาดของใบสั่งซื้อ

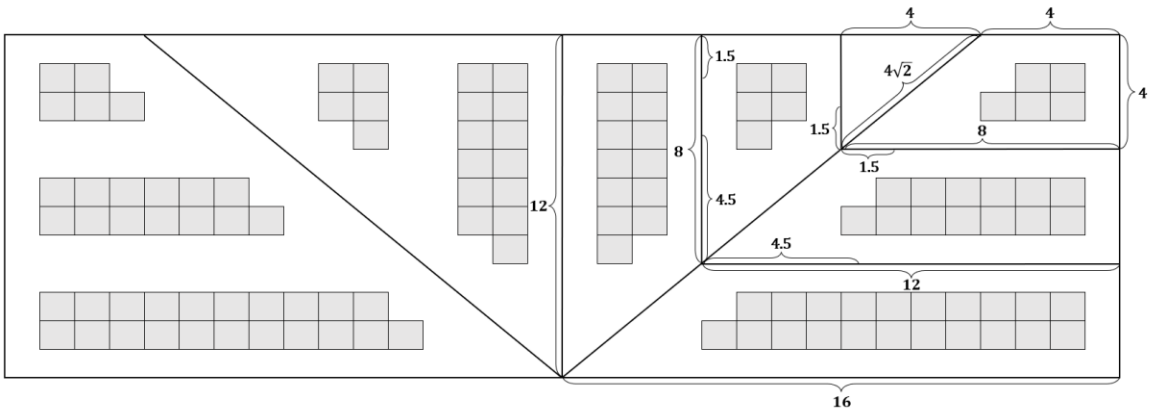
$H_0: (\alpha\beta\gamma\lambda)_{ijkl} = 0$

$H_1: (\alpha\beta\gamma\lambda)_{ijkl} \neq 0$ อย่างน้อย 1 ค่า เมื่อ $i = 1,2,3,4 ; j = 1,2,3,4,5$

$; k = 1,2,3 ; l = 1,2,3$

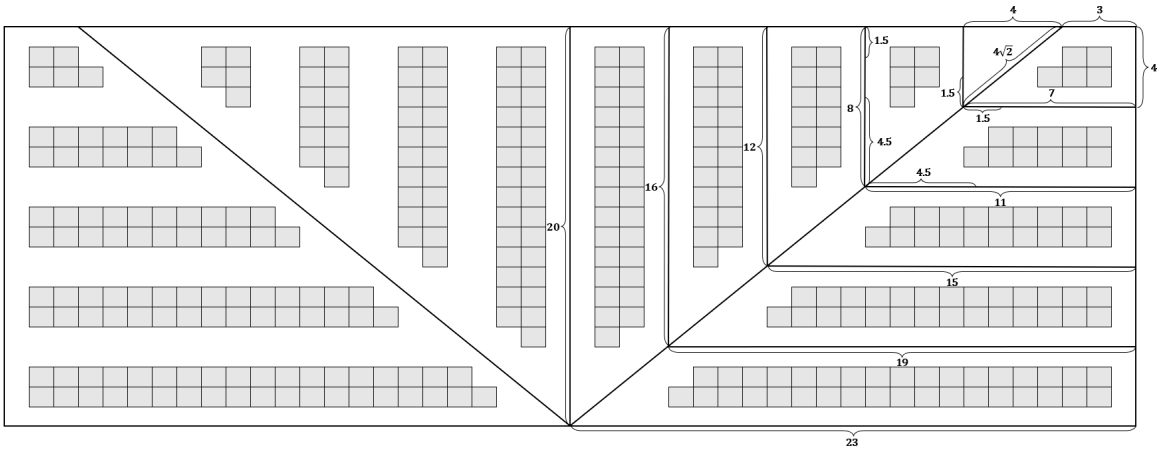
3.2 ขนาดคลังสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา

จาก**ตารางที่ 4** ปัจจัยของขนาดคลังสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลาที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ทั้งหมด 3 ระดับ คือ ขนาดคลังสินค้าที่มีจำนวน 7 ทางเดิน ขนาดคลังสินค้าที่มีจำนวน 11 ทางเดิน และขนาดคลังสินค้าที่มีจำนวน 15 ทางเดิน โดยจะพิจารณาขนาดคลังสินค้าจากจำนวนทางเดินแนวตั้งทั้งหมดในคลังสินค้ารูปก้างปลา ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.1 - 3.3



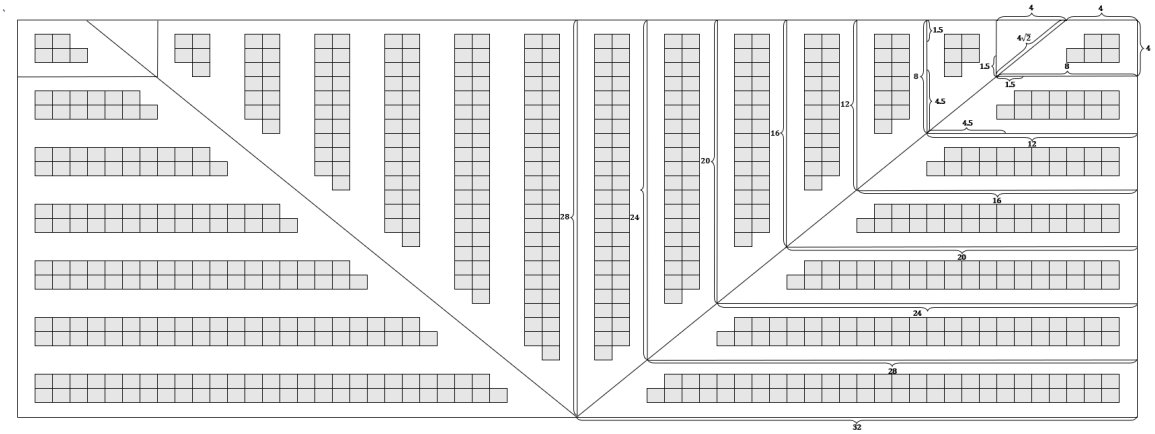
รูปที่ 3.1 แสดงขนาดคลังสินค้าที่มีจำนวนทางเดิน 7 ทางเดิน

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าที่คลังสินค้ามีจำนวนทางเดินแนวตั้งทั้งหมดในคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน มีขนาดคลังสินค้ากว้าง 12 เมตร ยาว 32 เมตร และสมมติให้ตำแหน่งในการจัดเก็บสินค้า (กล่องสี่เหลี่ยมแต่ละกล่อง) มีความกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร ทำให้ในคลังสินค้าขนาดเล็กมีตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าทั้งหมด 114 ตำแหน่ง โดยจะให้พนักงานหยิบสินค้าจากตรงกลางของตำแหน่งการจัดเก็บสินค้า ซึ่งพนักงานจะทำการเดินหยิบสินค้าด้วยรถเข็น (Picking cart) ที่ใช้สำหรับบรรทุกสินค้าที่หยิบจากคลังสินค้า



รูปที่ 3.2 แสดงขนาดคลังสินค้าที่มีจำนวนทางเดิน 11 ทางเดิน

จากรูปที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าที่คลังสินค้ามีจำนวนทางเดินแนวตั้งทั้งหมดในคลังสินค้าจำนวน 11 ทางเดิน มีขนาดคลังสินค้ากว้าง 20 เมตร ยาว 46 เมตร ทำให้ในคลังสินค้าขนาดกลางมีตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าทั้งหมด 346 ตำแหน่ง



รูปที่ 3.3 แสดงขนาดคลังสินค้าที่มีจำนวนทางเดิน 15 ทางเดิน

จากรูปที่ 3.3 จะเห็นได้ว่าที่คลังสินค้ามีจำนวนทางเดินแนวตั้งทั้งหมดในคลังสินค้าจำนวน 15 ทางเดิน มีขนาดคลังสินค้ากว้าง 28 เมตร ยาว 64 เมตร ทำให้ในคลังสินค้าขนาดใหญ่มีตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าทั้งหมด 706 ตำแหน่ง

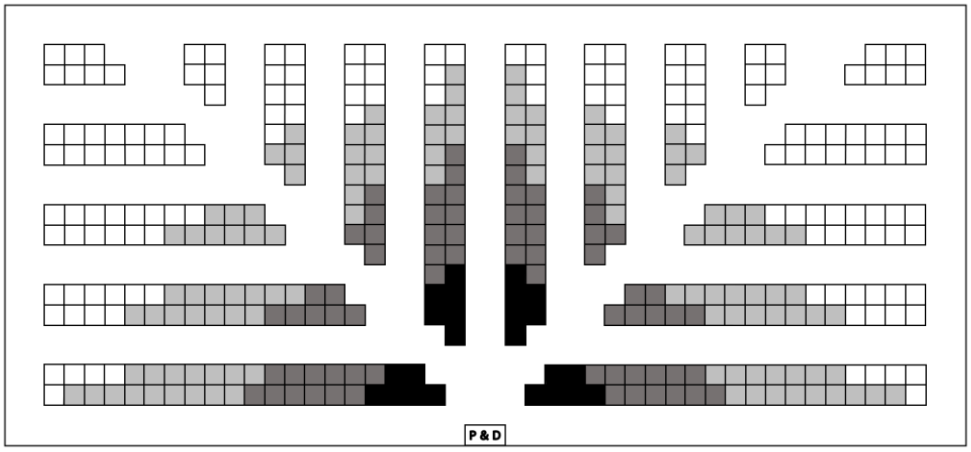
3.3 วิธีการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา

จาก**ตารางที่ 4** ปัจจัยของวิธีการจัดเก็บสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลาที่ได้พิจารณาทั้ง 5 วิธี สามารถสรุปได้ดังนี้

3.3.1 วิธีจัดเก็บสินค้าแบบสุ่ม (Random storage :R) เป็นการเก็บสินค้า ณ ตำแหน่งที่ว่างในคลังสินค้า ณ เวลานั้น ซึ่งชนิดสินค้าที่จะเข้ามาเก็บในคลังสินค้า ณ ตำแหน่งใด ๆ ไม่จำเป็นต้องเป็นสินค้าที่เคยอยู่ที่ตำแหน่งนั้นมาก่อน

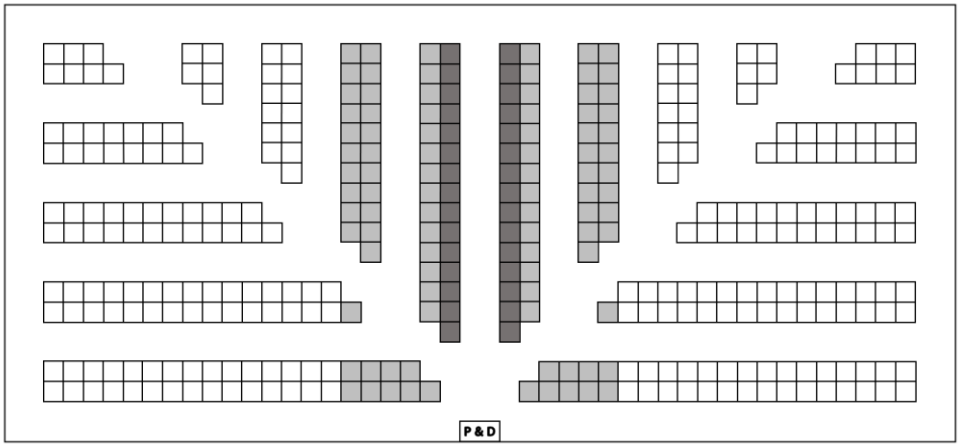
3.3.2 วิธีจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งตามการหมุนเวียน (Turnover-based storage :TB) การจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งตามการหมุนเวียนเป็นการเก็บสินค้าที่มีความต้องการสูงให้อยู่ใกล้กับ

ตำแหน่ง P&D นั่นคือระยะทางจาก P&D ของสินค้าชนิดหนึ่ง ๆ จะแปรผันตรงกับความน่าจะเป็นที่สินค้าชนิดนั้นจะปรากฏอยู่ในใบสั่งซื้อ ซึ่งจะแสดงให้เห็นดังรูปที่ 3.4



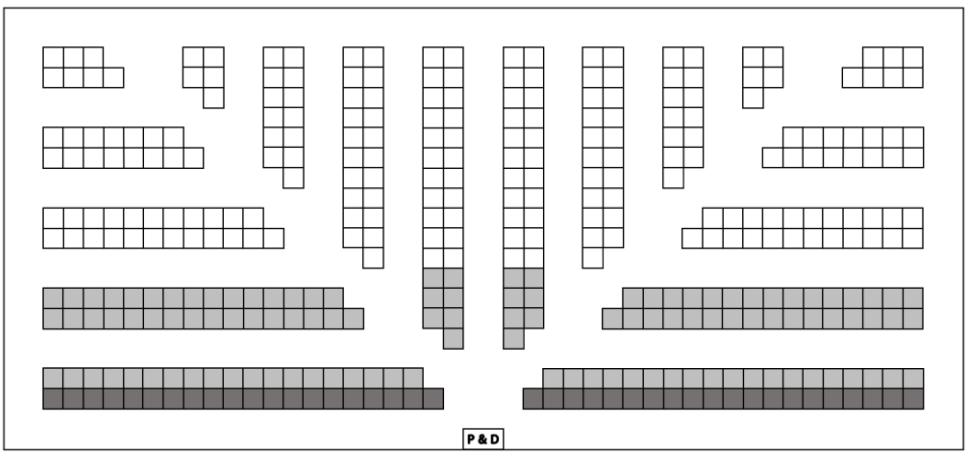
รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ Turnover-based

3.3.3 วิธีจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน (Within-aisle :W) Jarvis & McDowell (1991) ได้เสนอวิธีการจัดเก็บสินค้าที่แบ่งตามความต้องการของลูกค้า โดยสินค้าที่มีปริมาณความนิยมสูงจะถูกเก็บไว้ใกล้กับจุด P&D และสินค้าที่มีปริมาณความนิยมน้อยที่สุดจะถูกจัดเก็บไว้บริเวณทางเดินด้านข้างของคลังสินค้าซึ่งอยู่ไกลจากจุด P&D โดยจะจัดเก็บสินค้าเป็นแนวตรงจากคลังสินค้าด้านหน้าไปจนสุดคลังสินค้าด้านหลัง แล้วจะกระจายตำแหน่งจัดเก็บสินค้าไปตามด้านข้างของคลังสินค้าทั้งสองฝั่ง ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ Within-aisle

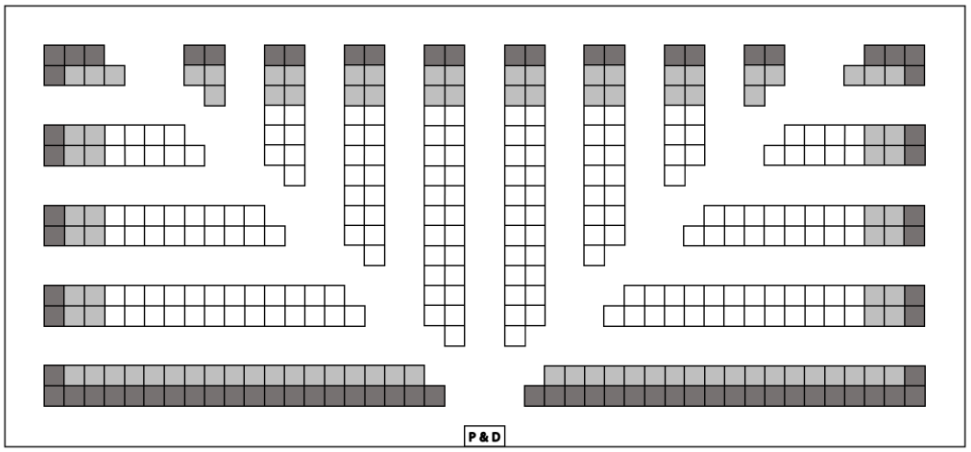
3.3.4 วิธีจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดิน (Across-aisle :A) เป็นวิธีการจัดเก็บสินค้าตามความนิยมที่ปรากฏบนใบคำสั่งซื้อสูง มีวิธีการเก็บสินค้าที่ได้รับความนิยมมากไว้ใกล้กับจุด P&D โดยเรียงระดับความนิยมจากด้านหน้าคลังสินค้าไปจนถึงด้านหลังคลังสินค้า ถ้าหากเปรียบเทียบกับวิธี Within-aisle จะมีความแตกต่างกันแค่เพียงแนวการจัดเก็บสินค้าเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ Across-aisle

3.3.5 วิธีจัดเก็บสินค้าแบบรอบรูป (Perimeter :P) เป็นการจัดเก็บสินค้าที่ได้รับความนิยมที่ปรากฏบนใบคำสั่งซื้อสูง ซึ่งสินค้าที่มีความนิยมมากจะถูกจัดเก็บในพื้นที่รอบๆ ขอบด้าน

นอกของคลังสินค้าทั้งหมด โดยจะเรียงลำดับสินค้าตามความนิยมจากกรอบนอกคลังสินค้าไปจนถึงพื้นที่คลังสินค้าภายใน ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบ Perimeter

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลลัพธ์ของการออกแบบการทดลองเพื่อประเมินปัจจัยหลักทั้งสี่และปัจจัยร่วมที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้า โดยวิเคราะห์ด้วย full factorial ANOVA ในโปรแกรม Minitab® 16 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ของการทดสอบ ANOVA สำหรับระยะทางการเดินเฉลี่ย

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	P
Main effects					
Storage	4	7131343	1782836	3070.63	0.000
Warehouse sizes	2	31867935	15933967	27443.55	0.000
Pick-list sizes	2	2491354	1245677	2145.47	0.000
Routing	3	3018713	1006238	1733.07	0.000
Two-way interactions					
Storage * Warehouse sizes	8	1603216	200402	345.16	0.000
Storage * Pick-list sizes	8	80608	10076	17.35	0.000
Storage * Routing	12	941321	78443	135.11	0.000
Warehouse sizes * Pick-list sizes	4	414393	103598	178.43	0.000
Warehouse sizes * Routing	6	724154	120692	207.87	0.000
Pick-list sizes * Routing	6	12740	2123	3.66	0.001
Three-way interactions					
Storage * Warehouse sizes * Pick-list sizes	16	126025	7877	13.57	0.000
Storage * Warehouse sizes * Routing	24	344756	14365	24.74	0.000

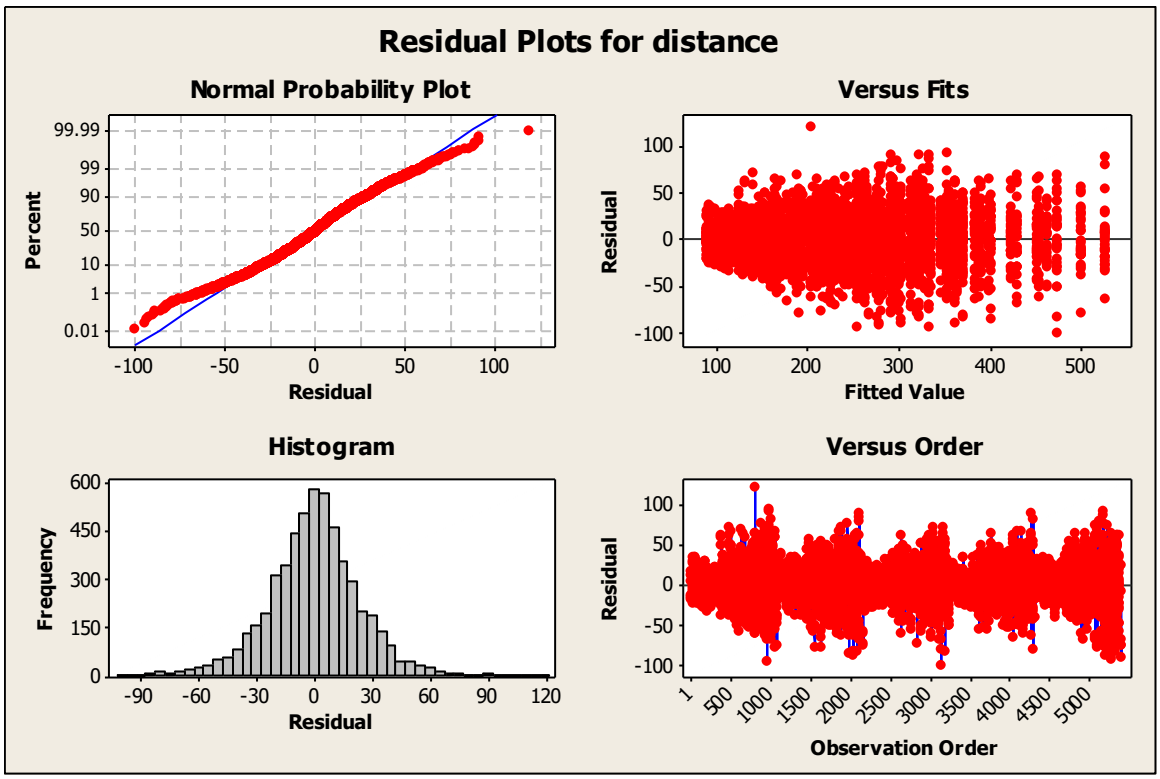
Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F	P
Storage * Pick-list sizes * Routing	24	35950	1498	2.58	0.000
Warehouse sizes * Pick-list sizes * Routing	12	11416	951	1.64	0.074
Four-way interactions					
Storage * Warehouse sizes * Pick-list sizes * Routing	48	26717	557	0.96	0.555
Error	5220	3030778	581		
Total	5399	51861419			
S = 24.0958 R-Sq = 94.16% R-Sq (adj) = 93.96%					
* Significant at α of 0.05					

จากตารางที่ 5 แสดงผลลัพธ์ของ ANOVA โดยปัจจัยหลัก (Main effects) ทุก ๆ ปัจจัยมีอิทธิพลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจะเห็นว่าจากการทดลองความแตกต่างของวิธีการจัดเก็บสินค้าทั้ง 5 วิธีให้ค่าสถิติ F เท่ากับ 3070.63 และค่า p – value เท่ากับ 0.000 แสดงว่าวิธีการจัดเก็บสินค้าทั้ง 5 วิธีมีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญ และผลการทดลองความแตกต่างของขนาดคลังสินค้า ให้ค่าสถิติ F เท่ากับ 27443.55 และค่า p – value เท่ากับ 0.000 แสดงว่าขนาดคลังสินค้าทั้ง 3 ระดับมีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทดสอบความแตกต่างของขนาดคำสั่งซื้อให้ค่าสถิติ F เท่ากับ 2145.47 และค่า p – value เท่ากับ 0.000 แสดงว่าขนาดคำสั่งซื้อทั้ง 3 ชุดรายการมีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญ ผลการทอสอบความแตกต่างของวิธีการเดินหยิบสินค้า ให้ค่าสถิติ F เท่ากับ 1733.07 และค่า p – value เท่ากับ 0.000 แสดงว่าวิธีการเดินหยิบสินค้าทั้ง 4 วิธีมีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะเห็นว่า ขนาดคลังสินค้า (Warehouse sizes) มีผลกระทบอย่างมากต่อระยะทางการเดินโดยเฉลี่ยโดยสังเกตได้จากค่า sum of square ที่มีค่าเยอะมาก ผลลัพธ์นี้เป็นไปตามที่คาดหวังไว้และมันสมเหตุสมผลกับความเป็นจริงที่ว่าระยะทางการเดินหยิบสินค้าเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของคลังสินค้า นอกจากนี้พบว่าขนาดคำสั่งซื้อ(จำนวนสินค้าที่พนักงานต้องทำการหยิบ) ในคลังสินค้ามีผลกระทบต่อระยะทางการเดินโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด

เมื่อสังเกตผลลัพธ์ของ ANOVA ในปัจจัยร่วม ทดสอบความแตกต่างปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย (Two-way interactions) ในทุก ๆ combination ได้แก่ มี 1) วิธีจัดเก็บสินค้าและขนาดคลังสินค้า 2) ขนาดคลังสินค้าและขนาดของคำสั่งซื้อ 3) วิธีจัดเก็บสินค้าและวิธีเดินหยิบสินค้า 4) ขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ 5) ขนาดคลังสินค้าและวิธีเดินหยิบสินค้า และ6) ขนาดของคำสั่งซื้อและวิธีเดินหยิบสินค้าได้ค่าสถิติ F เท่ากับ 1) 345.16 2) 17.35 3) 135.11 4) 178.43 5) 207.87 และ6) 3.66 มีค่า p-value เท่ากับ 0.000 ทั้งหมด ซึ่งน้อยกว่า 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ ทุก ๆ combination ของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยส่งผลกระทบต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งปัจจัยร่วมกันของวิธีการจัดเก็บสินค้ากับขนาดคลังสินค้า และวิธีการจัดเก็บสินค้ากับวิธีการเดินหยิบสินค้า เป็นปัจจัยร่วมกันที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบมากที่สุด สังเกตได้จากค่า sum of square ที่มีค่า 1603216 และ 941321 ตามลำดับ

ทดสอบความแตกต่างปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย (Three-way interactions) ได้แก่ 1) วิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ 2) วิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีเดินหยิบสินค้า 3) วิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีเดินหยิบสินค้า 4) ขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีเดินหยิบสินค้า โดยปัจจัยร่วม 3 ปัจจัยของ 1) 2) และ3) ได้ค่าสถิติ F เท่ากับ 1) 13.57 2) 24.74 และ 3) 2.58 มีค่า p-value เท่ากับ 0.000 นั่นคือ ความแตกต่างของปัจจัยร่วม 3 ปัจจัยมี ปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ ปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีเดินหยิบสินค้า และปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีเดินหยิบสินค้าส่งผลกระทบต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนการทดสอบความแตกต่างของปัจจัยร่วมขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีเดินหยิบสินค้าได้ค่าสถิติ F เท่ากับ 1.64 มีค่า p-value เท่ากับ 0.074 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่า ความแตกต่างของปัจจัยร่วมขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีเดินหยิบสินค้าไม่มีผลกระทบต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทดสอบความแตกต่างปัจจัยร่วมกันทั้ง 4 ปัจจัย (Four-way interactions) โดยมีปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า วิธีเดินหยิบสินค้า ขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ ได้ค่าสถิติ F เท่ากับ 0.96 มีค่า p-value เท่ากับ 0.555 ซึ่งมากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 แสดงว่า ความแตกต่างของปัจจัยร่วมกันทั้ง 4 ปัจจัย ไม่มีผลกระทบต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R-Squared) ของตัวแบบมีค่าเท่ากับ 94.16% หมายความว่าตัวแบบนี้สามารถอธิบายความผันแปรของข้อมูลได้ 94.16% แสดงให้เห็นว่าตัวแบบมีความเหมาะสมในการประมาณค่าระยะทางการเดินเฉลี่ยของพนักงานหยิบสินค้าในคลังสินค้า



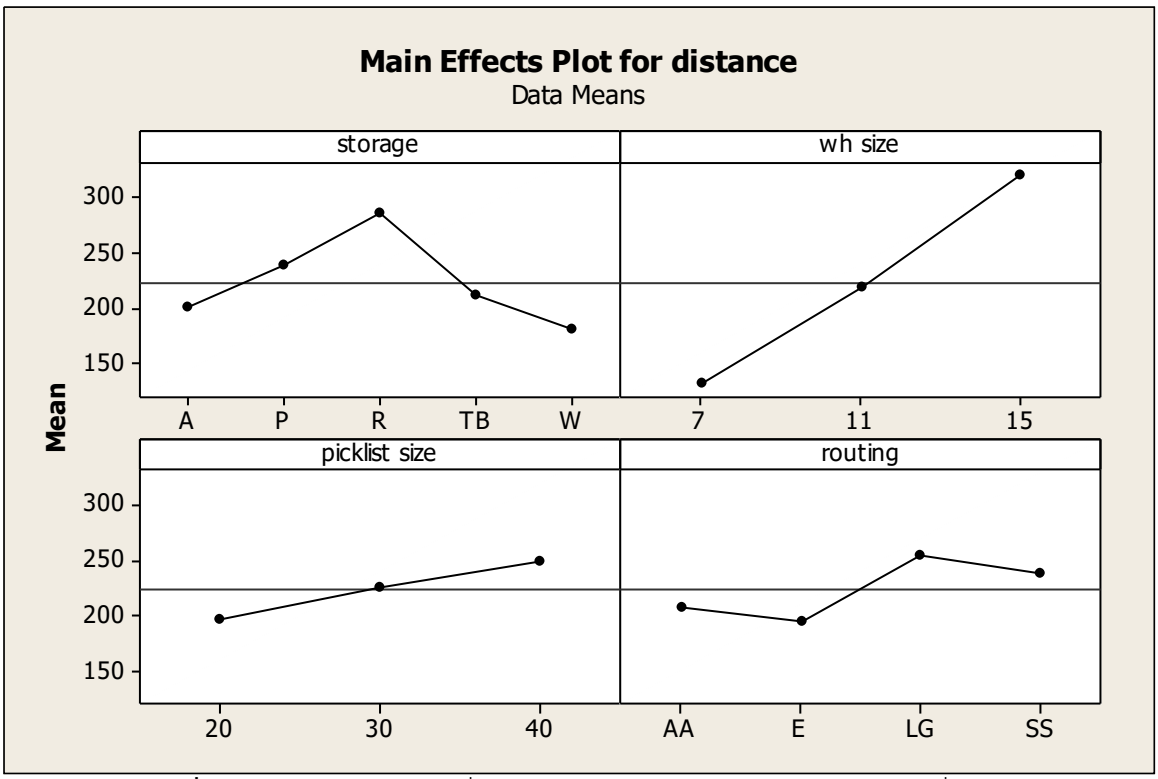
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟ residual ของระยะทางการเดินหยิบสินค้า

พิจารณาความเหมาะสมของตัวแบบชุดข้อมูลระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยอ้างอิงจากข้อสมมติฐานเบื้องต้นของ error term หรือ residual ประกอบไปด้วย ลักษณะการแจกแจง ความแปรปรวนของข้อมูล และการเป็นอิสระต่อกัน โดยพิจารณากราฟจากรูปที่ 4.1 ซึ่งมี normal probability plot, residual versus fits, histogram และ residuals versus order จากรูปที่ 4.1 normal probability plot แสดงให้เห็นการกระจายของข้อมูลที่มีลักษณะการกระจายใกล้เคียงอยู่ใกล้เส้นทแยงมุม และจากการใช้สถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ด้วย Kolmogorov-Smirnov ได้ค่าสถิติ 0.101 และค่า p-value เท่ากับ 0.087 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่า ชุดข้อมูลระยะทางการเดินหยิบสินค้ามีการแจกแจงปกติ กราฟ residual versus fits พบว่าข้อมูลมีลักษณะกระจายตัวรอบค่าศูนย์อย่างสุ่ม และจากการใช้สถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ด้วย Levene's Test ได้ค่าสถิติ 8.17 และค่า p-value เท่ากับ 0.179 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ชุดข้อมูลระยะทางการเดินหยิบสินค้ามีความแปรปรวนคงที่ จากนั้นพิจารณากราฟ histogram จะเห็นได้ว่า ชุดข้อมูลมีการกระจายที่มีลักษณะสมมาตร และชุดข้อมูลมีความเป็น

อิสระต่อกัน เมื่อพิจารณาจากกราฟ residuals versus order ที่มีการกระจายอย่างสุ่มรอบ ๆ ค่าศูนย์เช่นกัน

4.1 ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า

จากรูปที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของปัจจัยหลักแต่ละระดับที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีวิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้า และขนาดคำสั่งซื้อ และจากผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยที่ให้ค่าเฉลี่ยการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้าสั้นที่สุด คือคลังสินค้าที่มีขนาด 7 ทางเดิน ขนาดคำสั่งซื้อ 20 รายการ วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง และวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน ซึ่งจากรูปที่ 4.2 ปัจจัยที่มีผลตามที่คาดหวังไว้ คือ ขนาดของคลังสินค้าและขนาดใบคำสั่งซื้อ โดยผลลัพธ์ทั่วไปแสดงว่าเมื่อขนาดคลังสินค้าและขนาดใบสั่งซื้อเพิ่มขึ้น ระยะทางการเดินหยิบสินค้าก็จะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยจากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนขนาดของคลังสินค้าจะส่งผลให้ระยะทางการเดินหยิบสินค้าเพิ่มขึ้นมากกว่าการเพิ่มขนาดใบสั่งซื้อ



รูปที่ 4.2 แสดงอิทธิพลหลักที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าโดยเฉลี่ย

จากตารางที่ 6 ระยะทางการเดินหยิบสินค้าเฉลี่ย 132.04 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 26.43) 218.73 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 57.51 เมตร) และ 320.02 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 84.31 เมตร) ที่ขนาดคลังสินค้า 7 ทางเดิน 11 ทางเดิน และ 15 ทางเดินตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับคลังสินค้าที่ 7 ทางเดิน ระยะทางการเดินหยิบจะเพิ่มขึ้น 39.64 % และ 58.75 % เมื่อขนาดคลังสินค้าใหญ่ขึ้นเป็น 11 ทางเดินและ 15 ทางเดิน ตามลำดับ หรืออาจสรุปได้ว่า ระยะทางที่พนักงานต้องเดินหยิบสินค้าจะเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 35.64 % เมื่อขนาดคลังสินค้ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นทุก ๆ 4 ทางเดิน

สำหรับปัจจัยคำสั่งซื้อ จะให้ระยะทางการเดินหยิบสินค้าเฉลี่ยที่ 196.29 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 82.45 เมตร) 225.73 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 97.07 เมตร) และ 248.77 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 105.93 เมตร) ที่ขนาดคำสั่งซื้อ 20 30 และ 40 รายการตามลำดับ โดยเมื่อขนาดคำสั่งซื้อเพิ่มขึ้น จาก 20 รายการเป็น 30 และ 40 รายการ จะทำให้ระยะทางของพนักงานเดินหยิบสินค้าเพิ่มขึ้น 13.04 % และ 21.10 % ตามลำดับ โดยอาจสรุปได้ว่าการเพิ่มขึ้นของขนาดคำสั่งซื้อทุก ๆ 10 รายการ ระยะทางการเดินหยิบจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.15 %

ตารางที่ 6 แสดงผลการลัพธ์ของระยะทางการเดินหยิบสินค้าแต่ละขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ

warehouse sizes	Mean	S.D.	Percent over	pick-list sizes	Mean	S.D.	Percent over
7	132.04	26.43	*	**20**	196.29	82.45	*
11	218.73	57.51	39.64	**30**	225.73	97.07	13.04
15	320.02	84.31	58.745	**40**	248.77	105.93	21.10

ส่วนผลลัพธ์ของวิธีการจัดเก็บสินค้าจากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่าวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดินเป็นวิธีที่ดีที่สุด ที่สามารถลดระยะทางการเดินหยิบสินค้า ซึ่งให้ระยะทาง 180.45 เมตร (ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 71.68 เมตร) ส่วนวิธีรองลงมา ได้แก่ วิธีการจัดเก็บแบบข้ามผ่านทางเดิน วิธีการจัดเก็บแบบหมุนเวียน วิธีการจัดเก็บแบบรอบรูป และวิธีการจัดเก็บแบบสุ่ม ตามลำดับ ซึ่งให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับงานวิจัย Çelik และ Süral (2014) และ Venkitasubramony และ Adil (2016) ที่ว่าด้วยวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบสุ่มเป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมเมื่อ

ขนาดคำสั่งซื้อมีมากกว่าหนึ่งรายการ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการจัดเก็บแบบภายในทางเดินกับวิธีการจัดเก็บแบบอื่น ๆ สามารถช่วยลดระยะทางการเดินหยิบได้เฉลี่ย 10.14 – 36.83 %

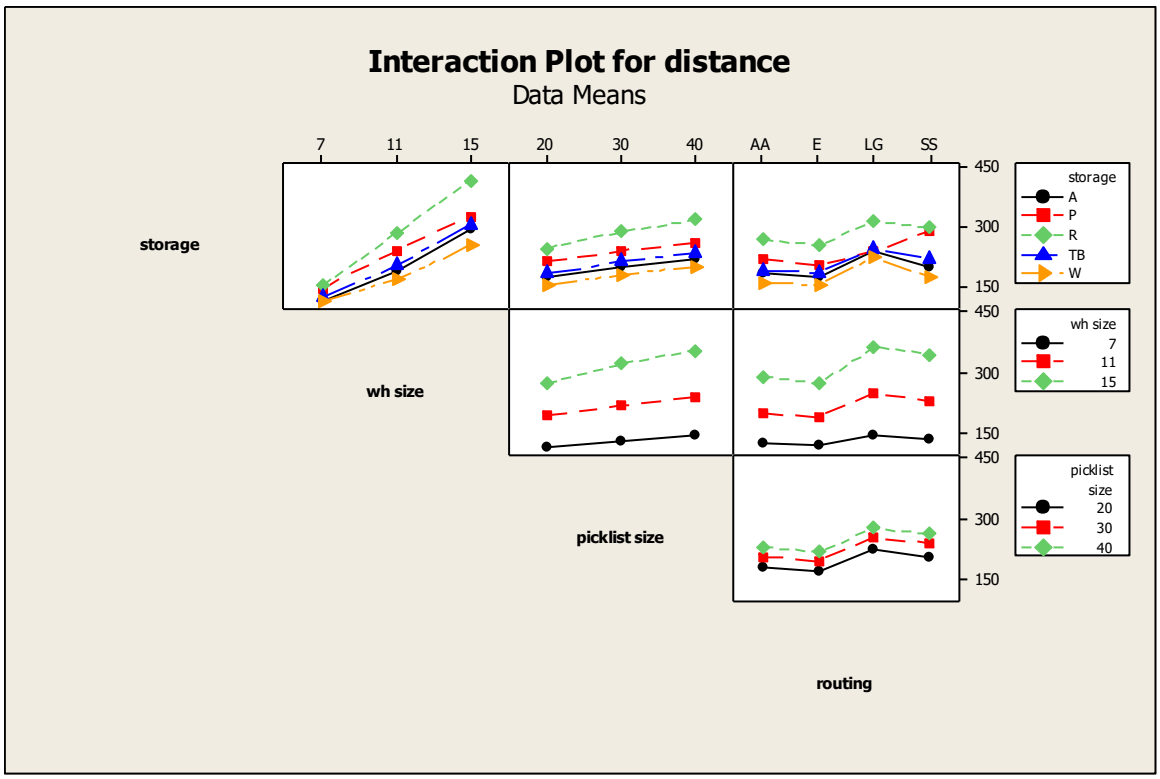
จากตารางที่ 7 ปัจจัยของวิธีการเดินหยิบสินค้า แสดงให้เห็นว่าวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง (Exact algorithm) เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด มีระยะทางการเดินหยิบสินค้าโดยเฉลี่ยที่ 195.33 เมตร (ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 79.45 เมตร) รองลงมาคือวิธีการเดินหยิบแบบ Aisle-by-aisle แบบ S-shape และแบบ Largest gap ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงกับวิธีการจัดเก็บแบบอื่น ๆ สามารถช่วยลดระยะทางการเดินหยิบได้เฉลี่ย 5.54 – 23.23 %

ตารางที่ 7 แสดงผลการลัพธ์ของระยะทางการเดินหยิบสินค้าแต่ละวิธีการจัดเก็บและการเดินหยิบสินค้า

storage	Mean	S.D.	Percent over W	routing	Mean	S.D.	Percent over E
A	200.82	85.66	10.14	AA	206.78	85.87	5.54
P	239.06	87.60	24.52	E	195.33	79.45	*
R	285.64	117.40	36.83	LG	254.45	102.48	23.23
TB	212.00	86.73	14.88	SS	237.81	109.63	17.86
W	180.45	71.68	*				

4.2 ปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า

จากการสรุปผลด้วยตาราง ANOVA พบว่าแต่ละปัจจัยในทุก ๆ combination มีอิทธิร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจากรูปที่ 4.3 จะแสดงผลลัพธ์ของปัจจัยร่วมในแต่ละระดับที่มีผลต่อการเดินหยิบสินค้าโดยเฉลี่ย

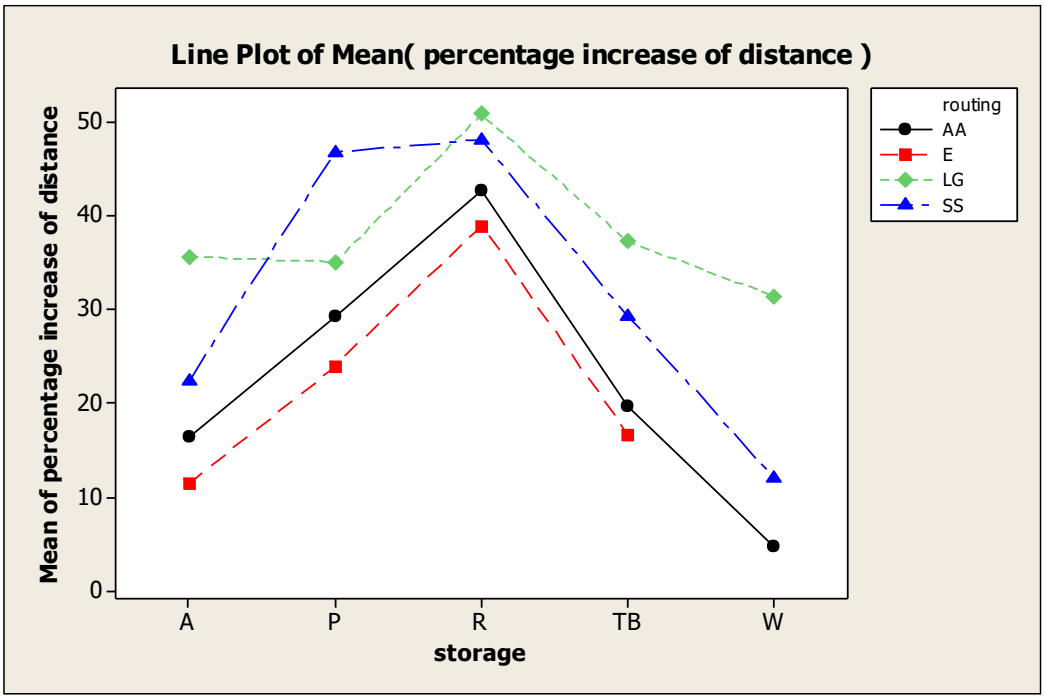


รูปที่ 4.3 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในแต่ละปัจจัย

จากรูปที่ 4.3 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการเดินหยิบสินค้า ผลลัพธ์ที่ได้จากความสัมพันธ์ของขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ กราฟมีค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบเพิ่มขึ้นอย่างขนานกัน เมื่อขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อมีค่าเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ของวิธีการเดินหยิบสินค้ากับขนาดคลังสินค้า และวิธีการเดินหยิบสินค้ากับขนาดคำสั่งซื้อ จะเห็นได้ว่า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดคลังสินค้าหรือขนาดคำสั่งซื้อกราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะทางการเดินหยิบในแต่ละวิธีการเดินหยิบสินค้าจะเพิ่มขึ้นอย่างขนานกัน ซึ่งจะให้ผลลัพธ์เป็นไปในทางเดียวกัน คือ วิธีการเดินหยิบแบบแม่นตรงให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางสั้นที่สุด ส่วนวิธีการเดินหยิบที่ให้ระยะทางสั้นรองลงมา คือวิธีการเดินแบบ Aisle-by-aisle แบบ S-shape และแบบ Largest gap ตามลำดับ ในทุก ๆ ระดับของขนาดคลังสินค้าและขนาดใบสั่งซื้อ

ความสัมพันธ์ของวิธีการจัดเก็บสินค้ากับกับขนาดคำสั่งซื้อ และวิธีการจัดเก็บสินค้ากับขนาดคำสั่งซื้อ สรุปได้ว่า วิธีการจัดเก็บสินค้าที่ให้ระยะทางเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ วิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน ระยะทางเฉลี่ยที่ให้ค่ารองลงมา ได้แก่ วิธีการจัดเก็บแบบข้ามผ่านทางเดิน วิธีการ

จัดเก็บแบบหมุนเวียน วิธีการจัดเก็บแบบรอบรูป และวิธีการจัดเก็บแบบสุ่ม ตามลำดับ ในทุก ๆ ระดับของขนาดใบสั่งซื้อ แต่เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้ากับขนาดคลังสินค้า มีผลลัพธ์ที่แตกต่างจากปัจจัยของวิธีการจัดเก็บสินค้ากับกับขนาดคำสั่งซื้อ นั่นคือ วิธีการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดินให้ระยะทางเฉลี่ยสั้นกว่าการจัดเก็บแบบภายในทางเดิน แต่เมื่อขนาดคลังสินค้าเพิ่มขึ้นจาก 7 ทางเดิน เป็น 11 และ 15 ทางเดิน ระยะทางการเดินหยิบสินค้าของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดินให้ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดเก็บแบบอื่น ๆ และจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อขนาดคลังสินค้า 15 ทางเดิน วิธีการจัดเก็บแบบสุ่มจะมีระยะทางการเดินเฉลี่ยมากที่สุด โดยมีระยะทางเฉลี่ยอยู่ที่ 417.69 เมตร (ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 67.85 เมตร) ในขณะที่วิธีการจัดเก็บแบบอื่น ๆ จะมีระยะทางเฉลี่ยระหว่าง 253.96 - 326.2 เมตร



รูปที่ 4.4 แสดงเปอร์เซ็นการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการเดินหยิบสินค้าในแต่ละวิธีการเดินหยิบสินค้าและวิธีการจัดเก็บสินค้าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงและวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน

จากรูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้าจะแสดงเพิ่มเติมในรูปที่ 4.4 จากรูปจะเห็นว่า วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงและวิธีการจัดเก็บ

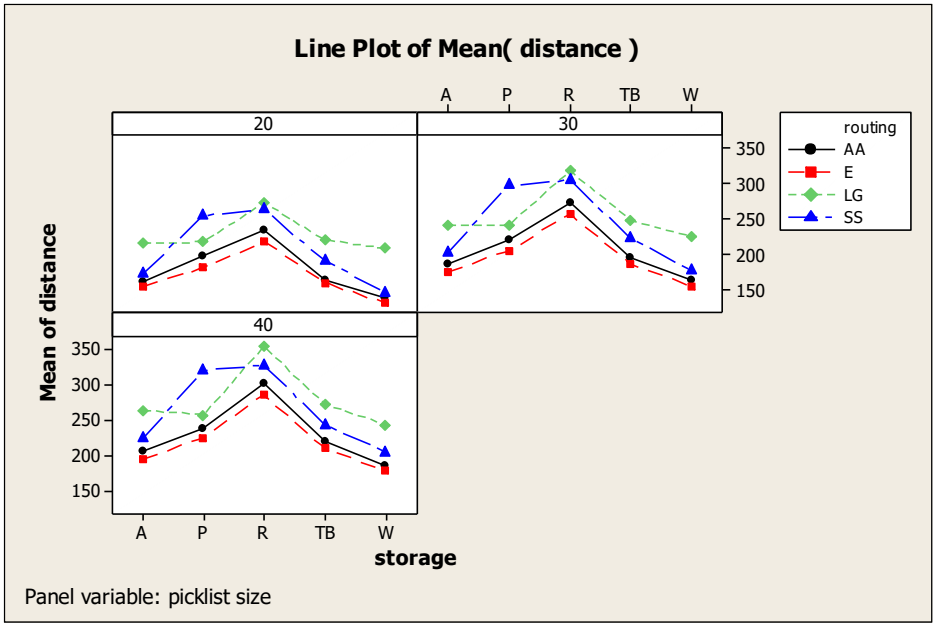
สินค้าแบบภายในทางเดิน จะให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบสินค้าสั้นที่สุด และเป็นปัจจัยร่วมที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเดินหยิบได้มากกว่า 4.62 -50.88% เมื่อเทียบกับวิธีการเดินหยิบและวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบอื่น ๆ โดยระยะทางเฉลี่ยสั้นที่สุดอยู่ที่ 155.54 เมตร (ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 53.65 เมตร) ซึ่งจากรูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของวิธีการจัดเก็บแบบภายในทางเดิน(W) แบบข้ามผ่านทางเดิน(A) แบบหมุนเวียน(TB) และแบบสุ่ม(R) จะให้ผลลัพธ์ที่เป็นไปในทางเดียวกัน คือ วิธีการเดินหยิบแบบแม่นตรง(E) แบบ Aisle-by-aisle (AA) แบบ S-shape (SS) และแบบ Largest gap (LG) เป็นวิธีการเดินหยิบสินค้าที่ให้ระยะทางการเดินหยิบน้อยสุดตามลำดับ ส่วนความสัมพันธ์ของวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบรอบรูปกับวิธีการเดินหยิบสินค้าจะแตกต่างกับวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบอื่น ๆ คือ เมื่อเดินหยิบสินค้าด้วยวิธีแบบ Largest gap จะให้ระยะทางการเดินหยิบสินค้าน้อยกว่าวิธีแบบ S-shape

งานวิจัยในครั้งนี้สนใจประเมินวิธีการเดินหยิบและวิธีการจัดเก็บสินค้าที่ส่งผลกระทบต่อคลังสินค้ารูปก้างปลา ผลลัพธ์ต่อไปจะแสดงให้เห็นแต่ละปัจจัยร่วมกันทั้ง 3 และ 4 ปัจจัยที่ส่งมีผลกระทบต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า

4.3 ปัจจัยร่วม 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า

จากการทดสอบความแตกต่างร่วมกันของทั้ง 3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา ซึ่งปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัย ได้แก่ ปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ ปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีเดินหยิบสินค้า และปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีเดินหยิบสินค้า ส่งผลกระทบต่อการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะแสดงความสัมพันธ์ร่วมกันของทั้ง 3 ปัจจัย ในรูปที่ 4.5 รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

4.3.1 ปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า



รูปที่ 4.5 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า

จากรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า จะเห็นว่าวิธีเดินหยิบสินค้าและวิธีจัดเก็บสินค้าในแต่ละขนาดคำสั่งซื้อ มีผลลัพธ์ของวิธีเดินหยิบสินค้าและวิธีจัดเก็บสินค้าเหมือนกันกับปัจจัยร่วม 2 ปัจจัยของวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า นั่นคือ วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง(E)และวิธีจัดเก็บแบบภายในทางเดิน(W) เป็นวิธีที่ดีที่สุดในทุก ๆ คำสั่งซื้อ

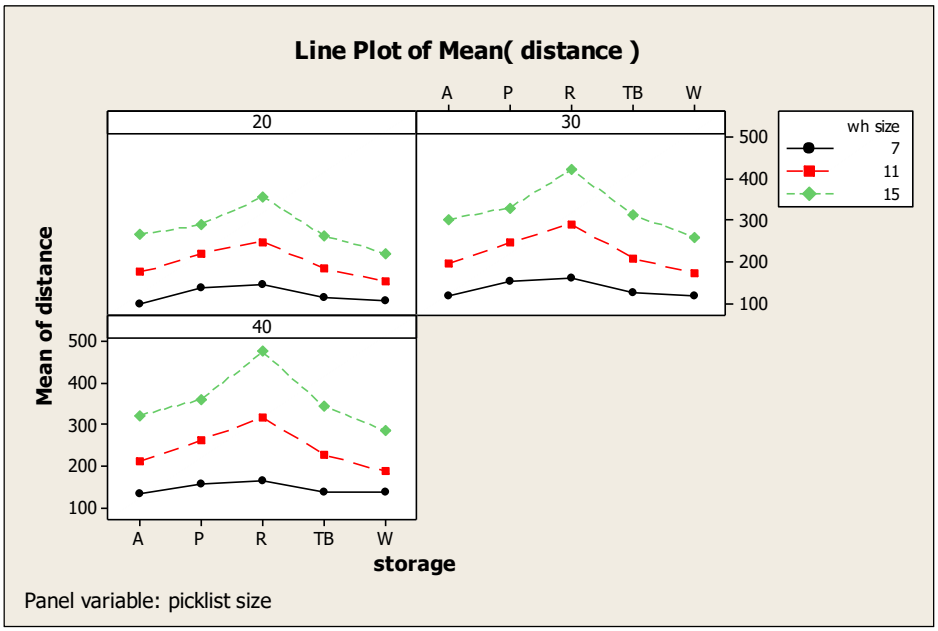
ตารางที่ 8 แสดงระยะทางของปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่ขนาดคำสั่งซื้อ 20 รายการ

pick-list sizes	routing	storage									
		A		P		R		TB		W	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
20	AA	163.37	66.12	199.23	59.41	235.83	83.60	164.44	54.20	138.82	47.68
	E	154.89	59.94	182.05	51.57	219.38	76.45	160.59	51.89	132.35	44.04
	LG	216.56	94.44	218.67	63.70	274.69	99.30	221.03	83.92	209.7	71.61
	SS	173.78	75.33	256.32	86.85	264.59	98.60	192.58	74.60	146.84	52.12

ระยะทางการเดินหยิบเฉลี่ยที่น้อยที่สุด คือวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน โดยพิจารณาร่วมกับวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง ในคำสั่งซื้อ 20 30 และ 40 รายการ ตามลำดับ มีค่า 132.35 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 44.04 เมตร) 156.36 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 51.84 เมตร) และ 177.92 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 54.97 เมตร) ซึ่งจากตารางที่ 8 แสดงระยะทางของปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่ขนาดคำสั่งซื้อ 20 รายการ จะเห็นว่าวิธีการจัดเก็บสินค้าที่ให้ระยะทางน้องรองลงมาจากวิธีการจัดเก็บแบบภายในทางเดิน คือ วิธีการจัดเก็บแบบข้ามผ่านทางเดิน แบบหมุนเวียน แบบรอบรูป และแบบสุ่ม ตามลำดับ ส่วนวิธีการเดินหยิบที่ให้ระยะทางการเดินรองมาจากวิธีการเดินหยิบแบบแม่นตรง คือ วิธีการเดินหยิบแบบ Aisle-by-aisle แบบ S-shape และแบบ Largest gap ตามลำดับ โดยเมื่อขนาดคำสั่งซื้อเพิ่มขึ้นเป็น 30 และ 40 รายการ ผลของปัจจัยร่วมกันทั้ง 3 ปัจจัยที่ขนาดคำสั่งซื้อเพิ่มขึ้นมีผลที่เหมือนกับขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่ขนาดคำสั่งซื้อ 20 รายการ

ซึ่งจากตารางที่ 8 สังเกตค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบสินค้าที่ให้ค่าน้อยที่สุด 3 ลำดับจากการไล่ความเข้มของสีแดง โดยสีอ่อนคือ ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่น้อย ส่วนสีที่เข้มขึ้นเรื่อย ๆ คือ ค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินที่เพิ่มขึ้น และเช่นเดียวกันกับค่าเฉลี่ยของปัจจัยร่วมกันทั้ง 3 ปัจจัยอื่น ๆ จะถูกเรียงลำดับตามสีเทาอ่อนไปจนเป็นสีดำ ซึ่งค่าเฉลี่ยของวิธีการที่คลุมด้วยสีดำ นั่นหมายถึงวิธีการของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัยนั้นเป็นวิธีการที่ให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบที่มากที่สุด

4.3.2 ปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและขนาดคลังสินค้า



รูปที่ 4.6 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและขนาดคลังสินค้า

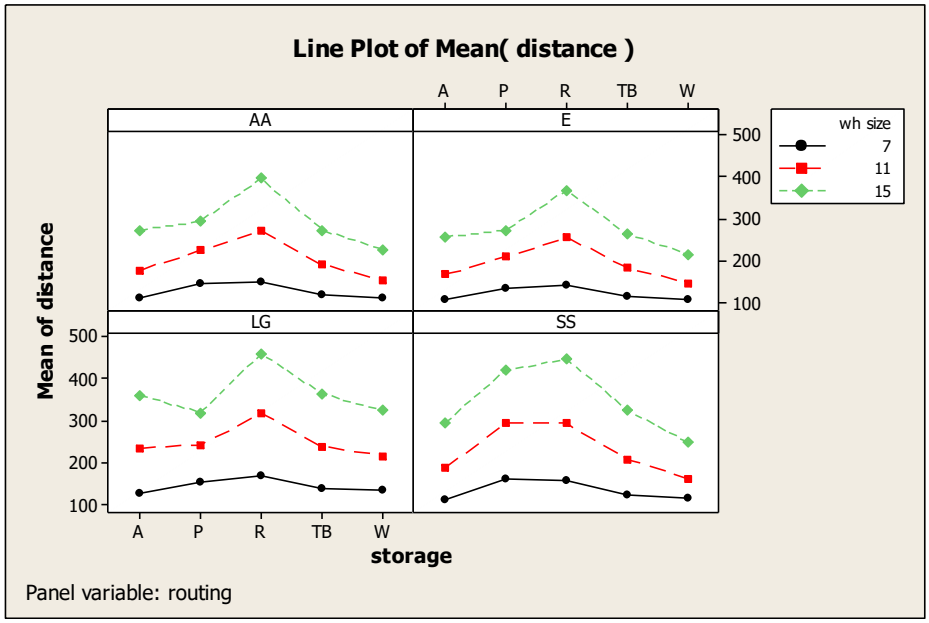
จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและขนาดคลังสินค้า จะเห็นว่า เมื่อขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อระยะทางในการเดินหยิบสินค้าจะเพิ่มขึ้นเล่นกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยผลลัพธ์ของวิธีการจัดเก็บสินค้าที่พิจารณาร่วมกับขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ ให้ผลลัพธ์เป็นไปในทางเดียวกัน คือ วิธีการจัดเก็บแบบข้ามผ่านทางเดินและภายในทางเดิน ให้ระยะทางการเดินหยิบที่ใกล้เคียงกัน รองลงมาคือ วิธีการจัดเก็บบแบบแบ่งกลุ่ม แบบรอบรูป และแบบสุ่ม ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยของขนาดคลังสินค้าส่งผลต่อระยะทางการเดินเฉลี่ยอย่างมากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเห็นได้ชัดในวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบสุ่มเมื่อมีขนาดคำสั่งซื้อและคลังสินค้าเพิ่มขึ้น ระยะทางการเดินหยิบเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 8.38 – 15.62

ตารางที่ 9 แสดงระยะทางของปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและขนาดคลังสินค้าที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน

warehouse sizes	pick-list sizes	storage									
		A		P		R		TB		W	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
7 aisles	20	94.74	14.35	136.08	16.95	143.66	14.91	110.2	15.49	101.89	21.17
	30	113.57	18.12	150.6	13.97	156.8	15.60	124.06	17.74	115.04	18.02
	40	135.48	20.00	158.29	13.20	164.08	16.61	139.44	15.86	136.62	14.21

จากตารางที่ 9 ความสัมพันธ์ร่วมของทั้ง 3 ปัจจัยที่ให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบสั้นที่สุด 3 ลำดับคือ ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดินและขนาดคำสั่งซื้อที่ 20 รายการ ของวิธีการจัดเก็บแบบข้ามผ่านทางเดิน(A) มีระยะทางเฉลี่ย 94.74 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 14.35 เมตร) วิธีจัดเก็บแบบภายในทางเดิน(W) มีระยะทางเฉลี่ย 101.89 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 21.17 เมตร) และวิธีจัดเก็บแบบหมุนเวียน(TB) มีระยะทางเฉลี่ย 110.20 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 15.49 เมตร) ตามลำดับ และเมื่อขนาดคำสั่งซื้อเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้ก็เหมือนกันกับขนาดคำสั่งซื้อที่ 20 รายการ ซึ่งการพิจารณาร่วมทั้ง 3 ปัจจัยกันมีความเหมือนกับ การพิจารณาร่วมกันทั้ง 2 ปัจจัย ของวิธีการจัดเก็บสินค้ากับขนาดคลังสินค้า นั่นคือ วิธีการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดินให้ระยะทางการเดินหยิบน้อยที่สุดในที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน แต่เมื่อขนาดคลังสินค้าเพิ่มขึ้นวิธีการจัดเก็บแบบภายในทางเดินเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่า และตารางที่ 9 ให้ผลแตกต่างกันกับปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย ของวิธีการจัดเก็บสินค้ากับขนาดคำสั่งซื้อ คือ วิธีการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดินให้ระยะทางสั้นกว่าวิธีการจัดเก็บแบบภายในทางเดินในแต่ละขนาดคำสั่งซื้อ

4.3.3 ปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า



รูปที่ 4.7 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า

จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า จะเห็นว่า ปัจจัยของขนาดคลังสินค้าส่งผลต่อระยะทางการเดินเฉลี่ยอย่างมากเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง โดยคิดเป็นร้อยละ 26.83 – 64.45 ของระยะทางเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นของวิธีการเดินหยิบสินค้าและวิธีจัดเก็บสินค้าเมื่อขนาดคลังสินค้ามีจำนวนทางเดินเพิ่มขึ้น ส่วนผลลัพธ์ของวิธีการจัดเก็บสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า มีผลที่เหมือนกับปัจจัยของแต่ละปัจจัย คือ วิธีการเดินหยิบที่ดีที่สุด ได้แก่ วิธีการเดินหยิบแบบแม่นตรงแบบ Aisle-by-aisle แบบ S-shape และแบบ Largest gap ตามลำดับ ส่วนวิธีการจัดเก็บที่ให้ระยะทางการเดินที่สั้นที่สุด ได้แก่ วิธีการจัดเก็บแบบภายในทางเดิน แบบข้ามผ่านทางเดิน แบบแบ่งกลุ่มแบบรอบรูป และแบบสุ่ม ตามลำดับ

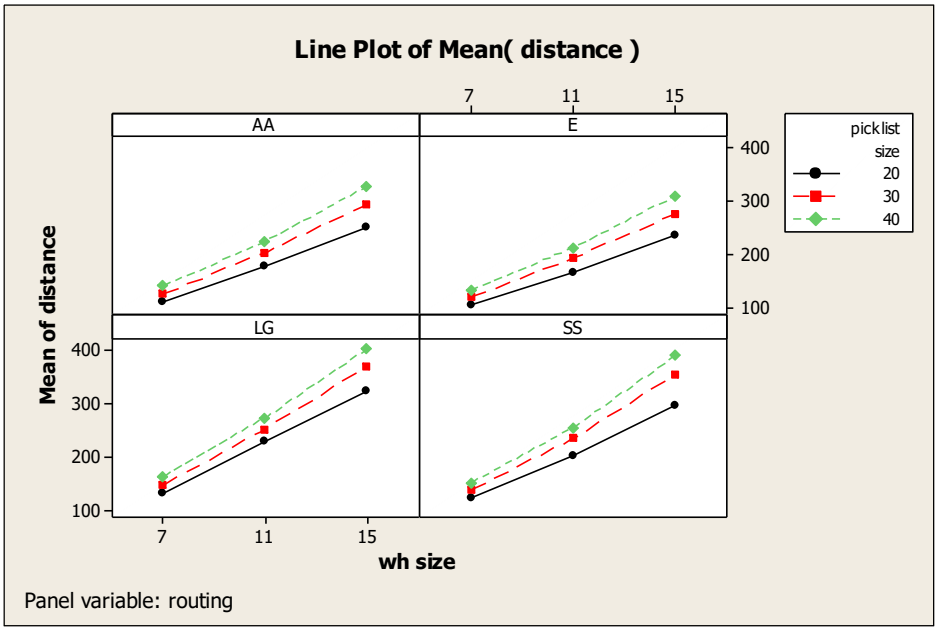
ตารางที่ 10 แสดงระยะทางของปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน

warehouse sizes	routing	storage									
		A		P		R		TB		W	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
7 aisles	AA	109.37	20.80	143.02	13.19	148.44	12.48	119.26	17.83	110.78	20.91
	E	104.48	16.99	133.9	12.61	140.44	12.27	114.33	17.38	106.28	18.71
	LG	129.44	26.42	154.58	16.39	171.74	18.48	138.92	20.68	137.99	17.24
	SS	115.08	24.43	161.79	12.55	158.77	9.47	125.75	18.92	116.33	21.20

จากตารางที่ 10 ความสัมพันธ์ร่วมของทั้ง 3 ปัจจัยที่ให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบสั้นที่สุด 3 ลำดับคือ 1)ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน วิธีการเดินหยิบแบบแม่นตรงและวิธีจัดเก็บแบบข้ามผ่านทางเดิน 104.48 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 16.99 เมตร) 2)ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน วิธีการเดินหยิบแบบแม่นตรงและวิธีจัดเก็บแบบภายในทางเดิน 106.28 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 20.80 เมตร) 3)ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน วิธีการเดินหยิบแบบ Aisle-by-aisle และวิธีจัดเก็บแบบข้ามผ่านทางเดิน 109.37 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 18.71 เมตร) ซึ่งเมื่อขนาดคลังสินค้ามีการเปลี่ยนแปลงเป็น 11 และ 15 ทางเดิน ผลลัพธ์ของวิธีการเดินหยิบสินค้ามีความเหมือนกันกับ ผลลัพธ์จากตารางที่ 10 นั่นคือ วิธีการเดินหยิบสินค้าเป็นวิธีที่ดีที่สุดในทุก ๆ วิธีการจัดเก็บสินค้าและขนาดสินค้า แต่ผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงขนาดคลังสินค้าของวิธีการจัดเก็บมีค่าที่เหมือนกันกับปัจจัย 2 ปัจจัยของ วิธีการจัดเก็บสินค้าและขนาดคลังสินค้า คือ เมื่อขนาดคลังสินค้ามีจำนวน 11 และ 15 ทางเดิน วิธีการจัดเก็บแบบภายในทางเดินเป็นวิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบที่น้อยกว่าวิธีการจัดเก็บแบบ อื่น ๆ

ปัจจัยของขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า เป็น combination เดียวที่ไม่ส่งผลกระทบต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าอย่างมีนัยสำคัญ จะแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.8

4.3.4 ปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยของขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า



รูปที่ 4.8 แสดงปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีปัจจัยของขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า

จากรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยร่วมที่มีผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า โดยมีขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า จะเห็นว่า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้าไม่ได้ส่งผลกระทบต่อระยะทางการเดินเฉลี่ยเท่าปัจจัยของขนาดคลังสินค้า ซึ่งจากรูป 4.8 กราฟในแต่ละปัจจัยของทุก ๆ combination มีลักษณะการเพิ่มขึ้นของระยะทางที่เหมือนกัน เมื่อทำการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นที่เพิ่มขึ้นของขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า ได้ผลลัพธ์ว่า ปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยจะมีระยะทางเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 4.76 – 27.37% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง ระยะทางเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 9.47 – 23.95% เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดคำสั่งซื้อที่ 20 รายการ และระยะทางเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 36.97 – 61.76% เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดคลังสินค้าที่ 7 ทางเดิน จะเห็นได้ว่าปัจจัยของขนาดคลังสินค้าส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบมากกว่าวิธีการเดินหยิบและขนาดคำสั่งซื้อ ซึ่งจากตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบวิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยการเดินน้อยที่สุด เมื่อมีขนาดคลังสินค้า 7 ทางเดินในแต่ละขนาดคำสั่งซื้อ ซึ่งผลลัพธ์เมื่อขนาดคลังสินค้ามีการเปลี่ยนแปลงไปเป็นขนาดจำนวน 11 และ 15 ทางเดิน ก็

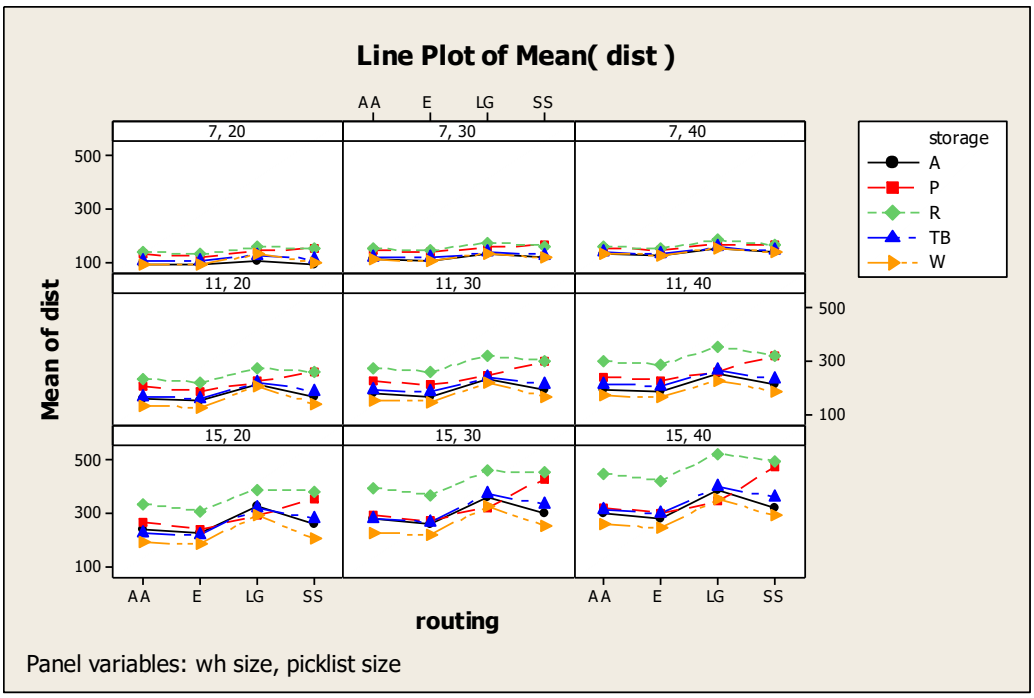
ยังให้ผลที่เหมือนเดิม ดังนั้นวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงจึงเป็นวิธีการเดินหยิบสินค้าที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ตารางที่ 11 แสดงระยะทางของปัจจัยร่วมกันของขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน

warehouse sizes	pick-list sizes	routing							
		AA		E		LG		SS	
		Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
7 aisles	20	111.02	22.90	105.74	19.00	131.54	22.13	120.95	28.97
	30	126.16	21.83	119.88	19.03	146	23.27	136.01	26.17
	40	141.35	15.99	134.04	14.54	162.07	19.79	149.67	17.96

4.4 ปัจจัยร่วมกันทั้ง 4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า

จากผลการวิเคราะห์จากตาราง ANOVA ให้ผลลัพธ์ว่าการพิจารณาปัจจัยทั้ง 4 ไม่มีความสำคัญต่อระยะทางการเดินหยิบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 แต่งานวิจัยจะทำการศึกษาเพื่อดูแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา ซึ่งผลลัพธ์ของระยะทางการเดินหยิบสินค้าในปัจจัยทั้ง 4 ได้แก่ วิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อ จะแสดงดังในรูปที่ 4.9 เห็นได้ว่า ขนาดคลังสินค้าขนาดเล็กที่มีจำนวน 7 ทางเดิน ในแต่ละขนาดคำสั่งซื้อ วิธีการจัดเก็บและวิธีการเดินหยิบสินค้า จะให้ค่าเฉลี่ยระยะทางการเดินหยิบสินค้าที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงระยะทางการเดินหยิบโดยเฉลี่ยของปัจจัยทั้ง 4

แต่จะเริ่มเห็นผลกระทบของระยะทางการเดินหยิบสินค้าที่แตกต่างกัน เมื่อขนาดคลังสินค้ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นขนาด 11 ทางเดินและ 15 ทางเดิน ผลลัพธ์ที่เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ง่ายที่สุดคือวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบสุ่ม จะมีค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบเพิ่มเสมอ เมื่อขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อเพิ่มขึ้น ในแต่ละวิธีการเดินหยิบสินค้า และยิ่งขนาดคลังสินค้าและคำสั่งซื้อเพิ่มมากขึ้น จะสังเกตเห็นว่าวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงและวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน เป็นวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบสินค้าสั้นที่สุด จะแสดงให้เห็นความสอดคล้องจากการแปรผลด้วยตารางที่ 12 แสดงผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยระยะทางการเดินหยิบสินค้าที่สั้นที่สุด ในแต่ละขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ

จากตารางที่ 12 แสดงให้เห็นว่า วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงเป็นวิธีที่ดีที่สุดในทุก ๆ กรณี ส่วนวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดิน เป็นวิธีที่เหมาะสมในกรณีที่ขนาดคลังสินค้ามี 7 ทางเดิน มีระยะทางเฉลี่ย 88.94 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 8.88 เมตร) 102.96 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 9.82 เมตร) และ 121.55เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 12.52 เมตร) ของขนาดคำสั่งซื้อที่ 20 30 และ 40 รายการ ตามลำดับ แต่เมื่อขนาดคลังสินค้าเพิ่มขึ้นเป็น 11

ทางเดินและ 15 ทางเดิน วิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดินเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดิน มีค่าเฉลี่ยของระยะทางในการเดินหยิบ 124.90 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 21.86 เมตร) 146.99 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 22.53 เมตร) และ 163.89 เมตร (ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 24.79 เมตร) ของขนาดคำสั่งซื้อที่ 20 30 และ 40 รายการ ตามลำดับ ที่ขนาดคลังสินค้ามีจำนวน 11 ทางเดิน และขนาดคลังสินค้าใหญ่สุดในการทดลองจำนวน 15 ทางเดิน มีระยะทางการเดินหยิบเฉลี่ย 182.92 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 25.63 เมตร) 217.62 เมตร (ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 28.68 เมตร) และ 244.70 เมตร(ส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐาน 30.20 เมตร) ของขนาดคำสั่งซื้อที่ 20 30 และ 40 รายการ (ผลลัพธ์จากการจำลองทั้งหมดจะแสดงในภาคผนวก)

ตารางที่ 12 แสดงผลลัพธ์ของระยะทางการเดินหยิบสินค้าโดยเฉลี่ยที่สั้นที่สุดของปัจจัยทั้ง 4

storage	warehouse sizes	pick-list sizes	routing							
			AA		E		LG		SS	
			Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
A	7	20	90.68	11.26	**88.94**	**8.88**	106.13	16.74	93.18	13.04
		30	107.79	12.86	**102.96**	**9.82**	129.63	19.60	113.90	16.83
		40	129.63	15.72	**121.55**	**12.52**	152.57	19.02	138.16	18.16
W	11	20	131.59	24.00	**124.90**	**21.86**	207.30	19.06	138.64	27.46
		30	153.12	24.48	**146.99**	**22.53**	217.66	18.56	164.69	28.69
		40	171.49	27.57	**163.89**	**24.79**	226.53	26.55	187.65	30.65
W	15	20	192.74	29.17	**182.92**	**25.63**	293.76	31.18	203.70	38.42
		30	229.02	29.15	**217.62**	**28.68**	327.00	33.95	254.10	41.58
		40	257.28	34.22	**244.70**	**30.20**	353.741	37.87	291.01	47.43

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยในคลังสินค้าที่มีลักษณะบล็อก ๆ ได้รับความนิยมในการศึกษามากกว่าคลังสินค้าที่ไม่ได้มีลักษณะเป็นบล็อก ซึ่งคลังสินค้าที่มีลักษณะเป็นรูปก้างปลาก็เป็นหนึ่งในรูปแบบที่ยังไม่ค่อยได้รับความนิยม งานวิจัยนี้จึงศึกษาผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์เพื่อประเมินระยะทางการเดินหยิบสินค้าในคลังสินค้ารูปก้างปลา โดยมี 4 ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ วิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อ และขนาดคลังสินค้า ซึ่งผลลัพธ์ของแต่ละปัจจัยที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้า สำหรับปัจจัยหลักพบว่า ขนาดคลังสินค้าที่เล็กที่สุดจำนวน 7 ทางเดิน ขนาดคำสั่งซื้อที่ 20 รายการ วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง และวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน โดยแต่ละปัจจัยเป็นวิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบสินค้าที่สั้นที่สุด มีผลการศึกษาที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Petersen และ Schmenner (1999) กล่าวว่า วิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดินดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการจัดเก็บแบบข้ามผ่านทางเดินและวิธีการจัดเก็บแบบรอบรูป ซึ่งปัจจัยของขนาดของคลังสินค้าเป็นปัจจัยที่สำคัญและมีผลกระทบต่อคลังสินค้ามากที่สุด เมื่อขนาดคลังสินค้ามีจำนวนเพิ่มขึ้นทุก ๆ 4 ทางเดิน ระยะทางการเดินหยิบจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 35.64 % และการเพิ่มขึ้นของขนาดคำสั่งซื้อทุก ๆ 10 รายการ ระยะทางการเดินหยิบจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 11.15 % ส่วนวิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรง และวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินหยิบสินค้าได้ 5.54 – 23.23 % และ 10.14 – 36.83 % ตามลำดับ

เมื่อศึกษาความสัมพันธ์ร่วมกัน 2 ปัจจัย โดยจับคู่กันทุก ๆ ปัจจัย ระยะทางเฉลี่ยในการเดินหยิบจะแปรผันตรงกับขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ และปัจจัยร่วมกันของวิธีการจัดเก็บสินค้ากับขนาดคลังสินค้า และวิธีการจัดเก็บสินค้ากับวิธีการเดินหยิบสินค้า เป็นปัจจัยร่วมกันที่ส่งผลต่อระยะทางการเดินหยิบมากที่สุด สำหรับความสัมพันธ์ของวิธีการเดินหยิบสินค้าและวิธีการจัดเก็บสินค้า สรุปได้ว่า วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงและวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เมื่อเทียบกับวิธีการจัดเก็บและวิธีการเดินหยิบแบบอื่น ๆ โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเดินหยิบสินค้าเฉลี่ยได้มากถึง 4.62 -50.88 %

ซึ่งความสัมพันธ์จากการศึกษาปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย โดยปัจจัยร่วมของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า ให้ผลลัพธ์ที่เหมือนกับความสัมพันธ์ร่วมกัน 2 ปัจจัยของวิธีจัดเก็บสินค้าและวิธีเดินหยิบสินค้า คือวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดินและวิธีเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงให้ระยะทางการเดินเฉลี่ยน้อยที่สุดในแต่ละขนาดคำสั่งซื้อ ส่วนปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและขนาดคลังสินค้า กับวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและวิธีการเดินหยิบสินค้า ให้ผลลัพธ์ของวิธีการจัดเก็บที่เหมือนกัน โดยให้ค่าเฉลี่ยของระยะทางการเดินหยิบที่สั้นที่สุด ซึ่งมีวิธีการจัดเก็บแบบข้ามผ่านทางเดิน รองลงมาคือ จัดเก็บแบบภายในทางเดิน ส่วนปัจจัยร่วมทั้ง 3 ปัจจัยที่ไม่ได้มีผลกระทบต่อระยะทางการเดินหยิบสินค้าของขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อและวิธีการเดินหยิบสินค้า เป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้เห็นผลต่อระยะทางการเดินเฉลี่ยเมื่อการเปลี่ยนแปลงขนาดคลังสินค้า ระยะทางการเดินเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นร้อยละ 36.97 – 61.76 ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของขนาดคำสั่งซื้อหรือวิธีการเดินหยิบสินค้า

แต่เมื่อศึกษาปัจจัยทั้ง 4 ร่วมกัน พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีความเหมือนกันที่วิธีการเดินหยิบสินค้าแบบแม่นตรงเป็นวิธีที่ดีที่สุด ในทุก ๆ กรณี ส่วนวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดินเป็นวิธีที่ดี เมื่อมีขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดินในแต่ละขนาดคำสั่งซื้อ แต่เมื่อขนาดคลังสินค้ามีจำนวนทางเดินเพิ่มขึ้นเป็น 11 และ 15 ทางเดิน วิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดินเป็นวิธีที่เหมาะสมกว่าในทุก ๆ ขนาดคำสั่งซื้อ สามารถสรุปได้ว่าวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดินเหมาะสมกับคลังสินค้ารูปก้างปลาที่มีขนาดเล็ก(7 ทางเดินหรือน้อยกว่า) ส่วนวิธีการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดินเหมาะกับคลังสินค้าที่มีขนาดใหญ่

5.1 ข้อเสนอแนะ

1. ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจจะใช้ตัวแปรหรือปัจจัยอื่น ๆ มาพิจารณาเพิ่มเติม เช่น การเพิ่มตัวแปรที่มีพนักงานเดินหยิบสินค้ามากกว่าหนึ่งคน เป็นต้น

2. พิจารณาในคลังสินค้าที่มีรูปแบบอื่น ๆ เช่นคลังสินค้ารูปใบไม้ (leaf warehouse) คลังสินค้าเชฟรอน (chevron warehouse) เป็นต้น

บรรณานุกรม

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2550). โลจิสติกส์และการจัดการซัพพลายเชน : กลยุทธ์เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มกำไร Logistics and Supply ChainManagement : Strategy for CostReduction and Profit Increasing.

จักรินทร์ กลั่นเงิน และอนุเชษฐ์ พลเยี่ยม. (2015). การควบคุมคุณภาพกระบวนการผลิตเนื้อสบู่เหลวด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล. Kasem Bundit Engineering Journal, 5(1), 1-12.

จักรินทร์ กลั่นเงิน และรัฐวุฒิ เพ็ชรแก้ว. (2557). การลดของเสียในกระบวนการฉีดสายไฟรถยนต์ด้วยการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล. การประชุมวิชาการข่ายงาน วิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2557, (pp. 813-818). สมุทรปราการ.

ไชยยศ ไชยมั่นคง และมยุขพันธ์ ไชยมั่นคง. (2550). กลยุทธ์โลจิสติกส์และซัพพลายเชนเพื่อแข่งขันในตลาดโลก. นนทบุรี : ซี.วาย.ซิซเทิม พริ้นติ้ง.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม (Vol. พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). การออกแบบและการวิเคราะห์ผลการทดลอง (Vol. พิมพครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ บริษัทสำนักพิมพ์ท็อปจำกัด.

วราภรณ์ สุขแสนชนานันท์. (31 สิงหาคม 2564). การจัดการคลังสินค้า ตอนที่ 5. เรียกใช้เมื่อ ตุลาคม 2565 จาก https://mgtsci.stou.ac.th/blog/warehouse-management-part-v

ศรีวรรณ เมืองลอย, บุญอ้อม โฉมที, จุฑาภรณ์ สินสมบูรณ์ทอง, และจันทร์ธา วงษ์อู่ทอง. (2019). การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวสถิติทดสอบไม่อิงพารามิเตอร์ 3 วิธี สำหรับแผนแบบการทดลอง 23 แฟกทอเรียล. Thai Science and Technology Journal, 601-613.

Bender, P. S. (1981). Mathematical modeling of the 20/80 rule: theory and practice. *Journal of Business Logistics, 2*(2), 139-157.

Bindi, F., Manzini, R., Pareschi, A., & Regattieri, A. (2009). Similarity-based storage allocation rules in an order picking system: an application to the food service

industry. *International Journal of Logistics: Research and Applications, 12*(4), 233-247.

Brynzér, H., & Johansson, M. I. (1996). Storage location assignment: Using the product structure to reduce order picking times. *International Journal of Production Economics, 46*, 595-603.

Cardona, L. F., Rivera, L., & Martínez, H. J. (2012). Analytical study of the fishbone warehouse layout. *International Journal of Logistics Research and Applications, 15*(6), 365-388.

Carlo, H. J., & Giraldo, G. E. (2012). Toward perpetually organized unit-load warehouses. *Computers & Industrial Engineering, 63*(4), 1003-1012.

Caron, F., Marchet, G., & Perego, A. (1998). Routing policies and COI-based storage policies in picker-to-part systems. *International journal of production research, 36*(3), 713-732.

Çelik, M., & Süral, H. (2014). Order picking under random and turnover-based storage policies in fishbone aisle warehouses. *IIE Transactions, 46*(3), 283-300.

Çelik, M., & Süral, H. (2016). Order picking in a parallel-aisle warehouse with turn penalties. *International Journal of Production Research, 54*(14), 4340-4355.

Çelik, M., & Süral, H. (2019). Order picking in parallel-aisle warehouses with multiple blocks: complexity and a graph theory-based heuristic. *International Journal of Production Research, 57*(3), 888-906.

Chan, F. T., & Chan, H. K. (2011). Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. *Expert systems with applications, 38*(3), 2686-2700.

Chen, F., Xu, G., & Wei, Y. (2019). Heuristic routing methods in multiple-block warehouses with ultra-narrow aisles and access restriction. *International Journal of Production Research, 57*(1), 228-249.

Chen, L., Langevin, A., & Riopel, D. (2010). The storage location assignment and interleaving problem in an automated storage/retrieval system with shared storage. *International Journal of Production Research, 48*(4), 991-1011.

Chen, T. L., Cheng, C. Y., Chen, Y. Y., & Chan, L. (2015). An efficient hybrid algorithm for integrated order batching. sequencing and routing problem. *International Journal of Production Economics, 159*, 158-167.

Cheung, M. Y., Choy, K. L., Tan, K. H., Lau, H. C., & Choy, E. L. (2009). The design of an RFIDenhanced autonomous storage planning system for 3PL warehouses. *International Journal of Value Chain Management, 3*(1), 108-128.

Choy, K. L., Ho, G. T., & Lee, C. K. H. (2017). A RFID-based storage assignment system for enhancing the efficiency of order picking. *Journal of Intelligent Manufacturing, 28*(1), 111-129.

D.C., Montgomery. (2005). Design and analysis of experiments. *6th ed. USA: John Wiley & Sons*.

De Koster, M. B. M., Van der Poort, E. S., & Wolte. (1999). Efficient orderbatching methods in warehouses. *International Journal of Production Research, 37*(7), 1479-1504.

De Koster, R., & Van der Poort, E. (1998). Routing orderpickers in a warehouse: a comparison between optimal and heuristic solutions. *IIE Transactions, 30*(5).

De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European journal of operational research, 182*(2), 481-501.

De Santis, R., Montanari, R., Vignali, G., & Botta. (2018). An adapted ant colony optimization algorithm for the minimization of the travel distance of pickers in manual warehouses. *European Journal of Operational Research, 267*(1), 120-137.

Dekker, R., De Koster, M. B. M., Roodbergen, K. J. (2004). Improving order-picking response time at Ankor's warehouse. *Interfaces, 34*(4), 303-313.

Dijkstra, A. S., & Roodbergen, K. J. (2017). Exact route-length formulas and a storage location assignment heuristic for picker-to-parts warehouses. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 102*, 38-59.

Ene, S., & Öztürk, N. (2012). Storage location assignment and order picking optimization in the automotive industry. *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology, 60*(5-8), 787-797.

Ene, S., Küçükoğlu, İ., Aksoy, A., & Öztürk, N. (2016). A genetic algorithm for minimizing energy consumption in warehouses. Energy. *114*, 973-980.

Fontana, M. E., & Cavalcante, C. A. V. (2014). Using the efficient frontier to obtain the best solution for the storage location assignment problem. *Mathematical Problems in Engineering, 2014*, 1-10.

Fumi, A., Scarabotti, L., & Schiraldi, M. M. (2013). Minimizing warehouse space with a dedicated storage policy. *International Journal of Engineering Business Management, 5*, 5-21.

Gagliardi, J. P., Renaud, J., & Ruiz, A. (2012). On storage assignment policies for unit-load automated storage and retrieval systems. *International Journal of Production Research, 50*(3), 879-892.

Glock, C. H., & Grosse, E. H. (2012). Storage policies and order picking strategies in U-shaped orderpicking systems with a movable base. *International Journal of Production Research, 50*(16), 4344-4357.

Gue, K. R., Ivanović, G., & Meller, R. D. (2012). A unit-load warehouse with multiple pickup and deposit points and non-traditional aisles. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 48*(4), 795-806.

Gue, K.R., & Meller, R. D. (2009). Aisle configurations for unit-load warehouses. *IIE Trans, 41*(3), 171–182.

Hall, R. W. (1993). Distance approximations for routing manual pickers in a warehouse. *IIE Transactions, 25*(4), 76-87.

Hausman, W. H., Schwarz, L. B., & Graves, S. C. (1976). Optimal storage assignment in automatic warehousing systems. *Management science, 22*(6), 629-638.

Henn, S., Koch, S., Gerking, H., & Wäscher, G. (2013). A U-shaped layout for manual order-picking systems. *Logistics Research, 6*(4), 245-261.

Ho, Y. C., & Liu, C. F. (2005). A design methodology for converting a regular warehouse into a zonepicking warehouse. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers, 22*(4), 332-345.

Hsieh, L. F., & Tsai, L. (2006). The optimum design of a warehouse system on order picking efficiency. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 28*(5-6), 626-637.

Hwang*, H., Oh, Y. H., & Lee, Y. K. (2004). An evaluation of routing policies for order-picking operations in low-level picker-to-part system. *International Journal of Production Research, 42*(18), 3873-3889.

Jang, H. Y., & Sun, J. U. (2012). A Graph Optimization Algorithm for Warehouses with Middle Cross Aisles. *In Applied Mechanics and Materials*(Vol. 145, pp. 354-358), Trans Tech Publications Ltd.

Jarvis, J. M., & McDowell, E. D. (1991). Optimal product layout in an order picking warehouse. *IIE Transactions, 23*(1), 93-102.

Kovács, A. (2011). Optimizing the storage assignment in a warehouse served by milkrun logistics. *International Journal of Production Economics, 133*(1), 312-318.

Lam, C. H. Y., Chung, S. H., Lee, C. K. M., Ho, G. T. S., & Yip, T. K. T. (2009). Development of an OLAP based fuzzy logic system for supporting put away decision. *International Journal of Engineering Business Management, 1*, 7-12.

Le-Duc, T., & de Koster, R. M. B. (2005). Travel distance estimation and storage zone optimization in a 2-block class-based storage strategy warehouse. *International Journal of Production Research, 43*(17), 3561-3581.

Li, J., Huang, R., & Dai, J. B. (2017). Joint optimisation of order batching and picker routing in the online retailer's warehouse in China. *International Journal of Production Research, 55*(2), 447-461.

Lin, C. C., Kang, J. R., Hou, C. C., & Cheng, C. Y. (2016). Joint order batching and picker Manhattan routing problem. *Computers & Industrial Engineering, 95*, 164-174.

Lu, W., McFarlane, D., Giannikas, V., & Zhang, Q. (2016). An algorithm for dynamic order-picking in warehouse operations. *European Journal of Operational Research, 248*(1), 107-122.

Manzini, R., Gamberi, M., & Persona, A., & Regattieri, A. (2007). Design of a class based storage picker to product order picking system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 32*(7-8), 811-821.

Marchet, G., Melacini, M., & Perotti, S. (2015). Investigating order picking system adoption: a case-study-based approach. *International Journal of Logistics Research and Applications, 18*(1), 82-98.

Masae, M., Glock, C. H., & Grosse, E. H. (2020). Order picker routing in warehouses: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics, 224*(C).

Masae, M., Glock, C. H., & Grosse, E. H. (2020a). Order picker routing in warehouses: A systematic literature review. *International Journal of Production Economics, 224*, 107564.

Masae, M., Glock, C. H., & Vichitkunakorn, P. (2020b). Optimal order picker routing in a conventional warehouse with two blocks and arbitrary starting and ending points of a tour. *International Journal of Production Research*, 1-22.

Masae, M., Glock, C. H., & Vichitkunakorn, P. (2020c). Optimal order picker routing in the chevron warehouse. *IISE Transactions, 52*(6), 665-687.

Meneghetti, A., & Monti, L. (2013). Sustainable storage assignment and dwell-point policies for automated storage and retrieval systems. *Production Planning & Control, 24*(6), 511-520.

Meneghetti, A., & Monti, L. (2014). Multiple-weight unit load storage assignment strategies for energyefficient automated warehouses. *International Journal of Logistics Research and Applications, 17*(4), 304-322.

Öztürkoğlu & Hoser. (2019). An Evaluation of Order-picking Tour Efficiency in Two-block Warehouses. *Operations and Supply Chain Management, 12*(2), pp. 74 - 87.

Pansart, L., Catusse, N., & Cambazard, H. (2018). Exact algorithms for the order picking problem. *Computers & Operations Research, 100*, 117-127.

Petersen, C. G. (1997). An evaluation of order picking routeing policies. *International Journal of Operations & Production Management, 17*(11), 1098-1111.

Petersen, C. G., & Aase, G. (2004). A comparison of picking, storage, and routing policies in manual order picking. *International Journal of Production Economics, 91*(1), 11-19.

Petersen, C. G., & Schmenner, R. W. (1999). An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation. *Decision Sciences, 30*(2), 481-501.

Petersen, C. G., & Schmenner, R. W. (1999). An evaluation of routing and volume-based storage policies in an order picking operation. *Decision Sciences, 30*(2), 481-501.

Petersen, C. G., Aase, G. R., & Heiser, D. R. (2004). Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

Pohl, L. M., Meller, R. D., & Gue, K. R. (2009). Optimizing fishbone aisles for dual-command operations in a warehouse. *Naval Research Logistics, 56*(5), 389-403.

Pohl, L. M., Meller, R. D., & Gue, K. R. (2011). Turnover-based storage in non-traditional unit-load warehouse designs. *IIE Transactions*, *43*(10), 703-720.

Qin, K., Chen, F. Y., & Ma, L. (2015). Cutting down the travel distance of put systems at Kunming International Flower Auction Market. *International Journal of Production Research, 53*(12), 3573-3585.

Rai, S., & Ettam, R. K. (2016). Autonomous Cell Based Storage Location Assignment Strategy in Print Production Environments. *International Journal of Performability Engineering, 12*(1), 45-54.

Ratliff, H. D., & Rosenthal, A. S. (1983). Order-picking in a rectangular warehouse: a solvable case of the traveling salesman problem. *Operations Research, 31*(3), 507-521.

Reyes, J., Solano-Charris, E., & Montoya-Torres, J. (2019). he storage location assignment problem: A literature review. *International Journal of Industrial Engineering Computations, 10*(2), 199-224.

Roodbergen, K. J., & De Koster, R. (2001a). Routing order pickers in a warehouse with a middle aisle. *European Journal of Operational Research, 133*(1), 32-43.

Roodbergen, K. J., & De Koster, R. (2001b). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research, 39*(9), 1865-1883.

Roodbergen, K. J., & De Koster, R. (2001b). Routing methods for warehouses with multiple cross aisles. *International Journal of Production Research, 39*(9), 1865-1883.

Roodbergen, K. J., Vis, I. F., & Taylor Jr, G. D. (2015). Simultaneous determination of warehouse layout and control policies. *International Journal of Production Research, 53*(11), 3306-3326.

Sharma, S., & Shah, B. (2015). A proposed hybrid storage assignment framework: a case study. *International Journal of Productivity and Performance Managemen, 64*(6), 870-892.

Shqair, M., Altarazi, S., & Al-Shihabi, S. (2014). A statistical study employing agent-based modeling to estimate the effects of different warehouse parameters on the distance traveled in warehouses. *Simulation Modelling Practice and Theory, 49*, 122-135.

Theys, C., Bräysy, O., Dullaert, W., & Raa, B. (2010). Using a TSP heuristic for routing order pickers in warehouses. *European Journal of Operational Research, 200*(3), 755-763.

Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., & Tanchoco, J. M. A. (2010). *Facilities planning.* John Wiley & Sons.

Tsai, C. Y., Liou, J. J., & Huang, T. M. (2008). Using a multiple-GA method to solve the batch picking problem: considering travel distance and order due time. *International Journal of Production Research, 46*(22), 6533-6555.

Van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., & de Koster, R. B. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research, 267*(1), 1-15.

Vaughan, T. S., & Petersen, C. G. (1999). The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency. *International Journal of Production Research, 37*(4), 881-897.

Venkitasubramony, R., & Adil,G. K. (2016). Analytical models for pick distances in fishbone warehouse based on exact distance contour. *International Journal of Production Research, 54*(14), 4305-4326.

Xiao, J., & Zheng, L. (2010). A correlated storage location assignment problem in a single-block-multiaisles warehouse considering BOM information. *International Journal of Production Research, 48*(5), 1321-1338.

Yang, M. F. (2008). Using simulation to object-oriented order picking system. *Information Technology Journal, 7*(1), 224-227.

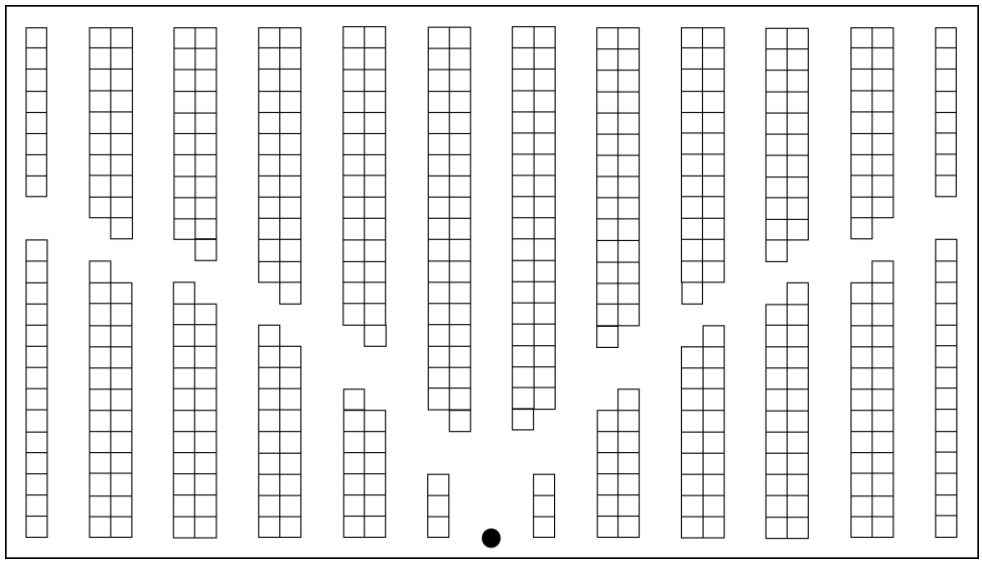
Yu, Y., & de Koster, R. B. (2013). On the suboptimality of full turnover-based storage. *International Journal of Production Research, 51*(6), 1635-1647.

Zaerpour, N., De Koster, R. B., & Yu, Y. (2013). Storage policies and optimal shape of a storage system. *International Journal of Production Research, 51*(23-24), 6891-6899.

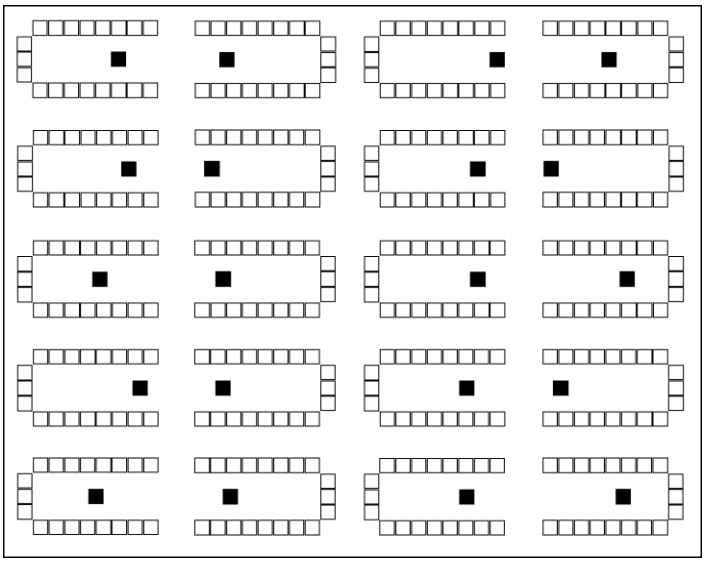
Zhou, L., Li, Z., Shi, N., Liu, S., & Xiong, K. (2019). Performance analysis of three intelligent algorithms on route selection of fishbone layout. *Sustainability, 11*(4), 1148.

Žulj, I., Glock, C. H., Grosse, E. H., & Schneider. (2018). Picker routing and storage-assignment strategies for precedence-constrained order picking. *Computers & Industrial Engineering, 123*, 338-347.

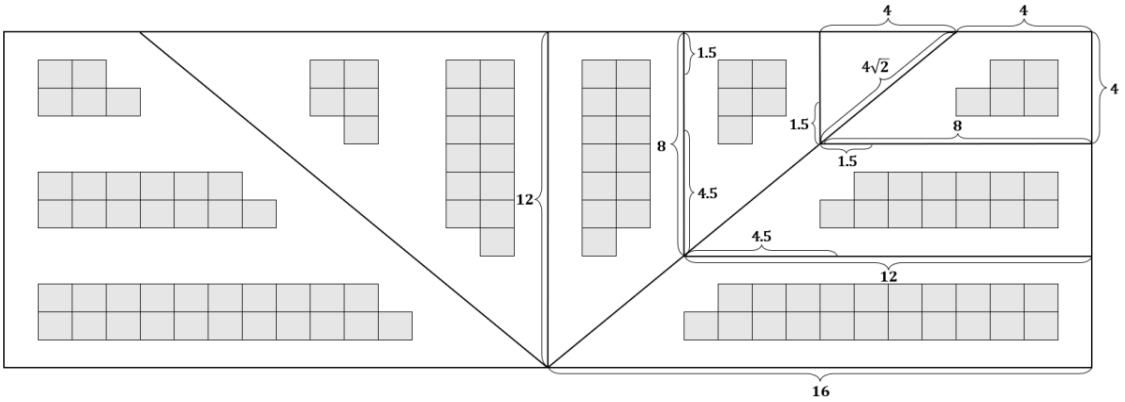
ภาคผนวก ก
รูปที่แสดงผลลัพธ์เพิ่มเติมของคลังสินค้า



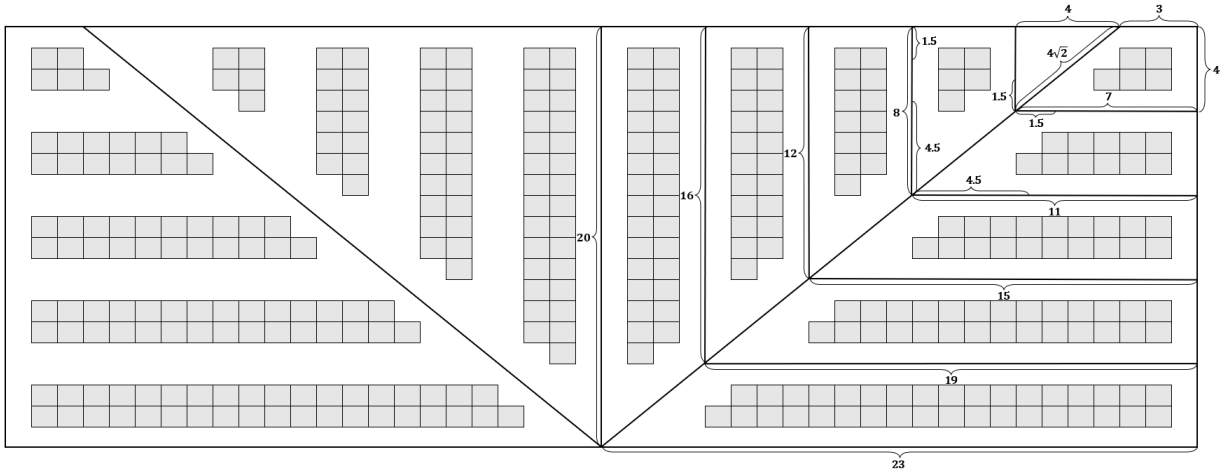
รูปแสดงคลังสินค้าที่มีลักษณะแบบ flying-v



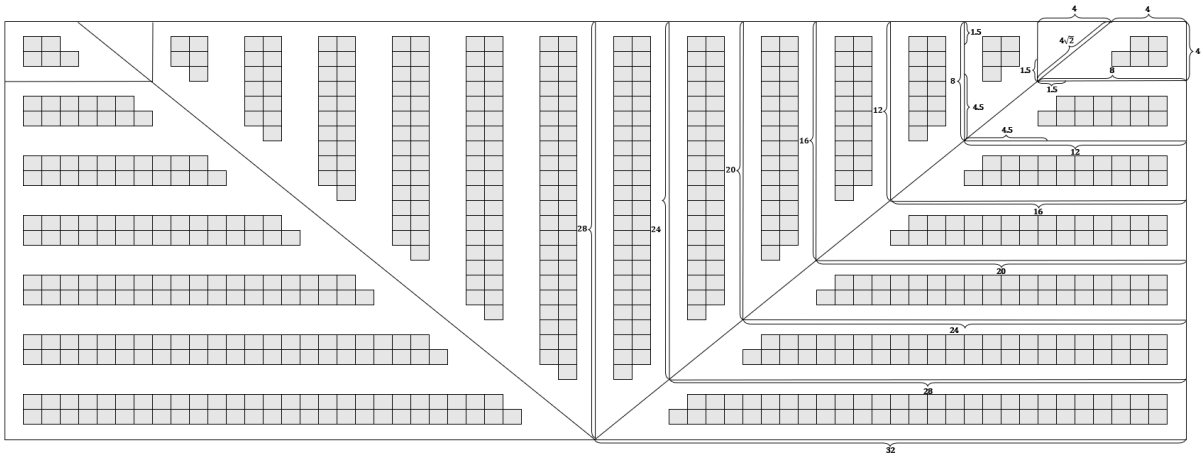
รูปแสดงคลังสินค้าที่มีลักษณะแบบ U-shape



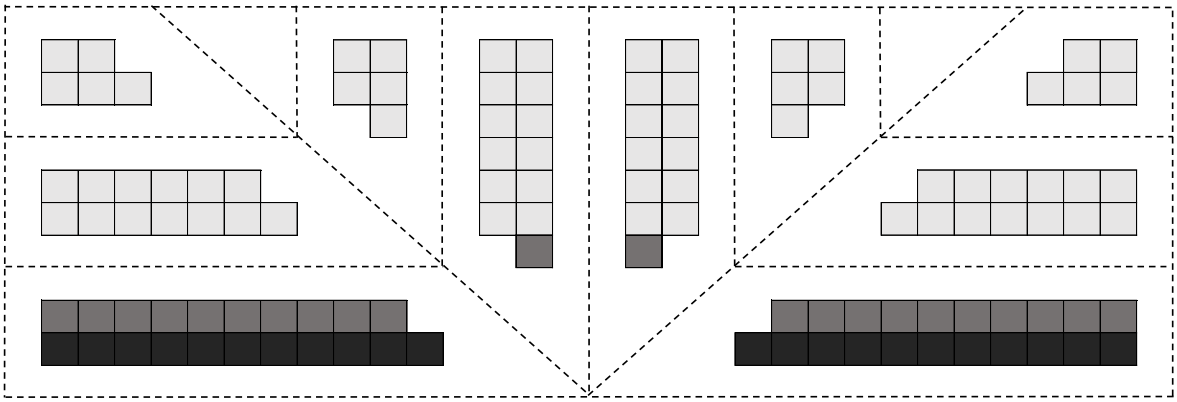
รูปแสดงขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน



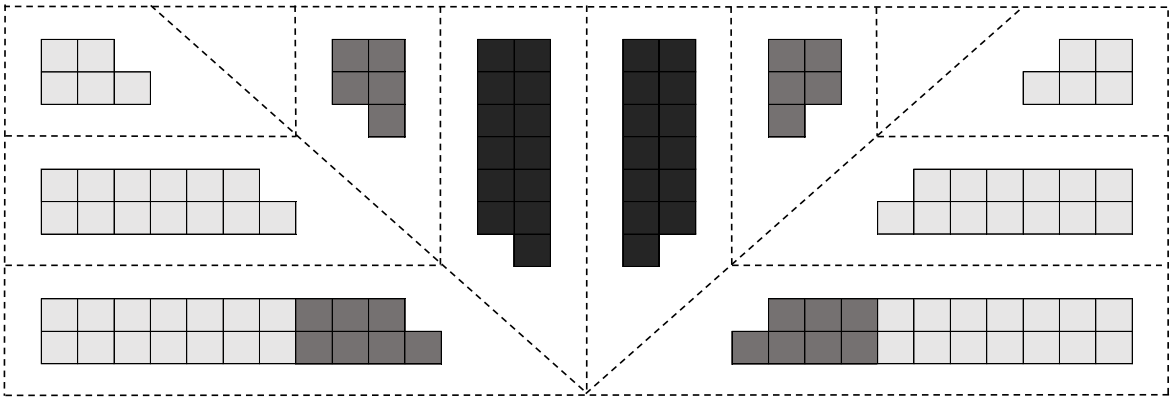
รูปแสดงขนาดคลังสินค้าจำนวน 11 ทางเดิน



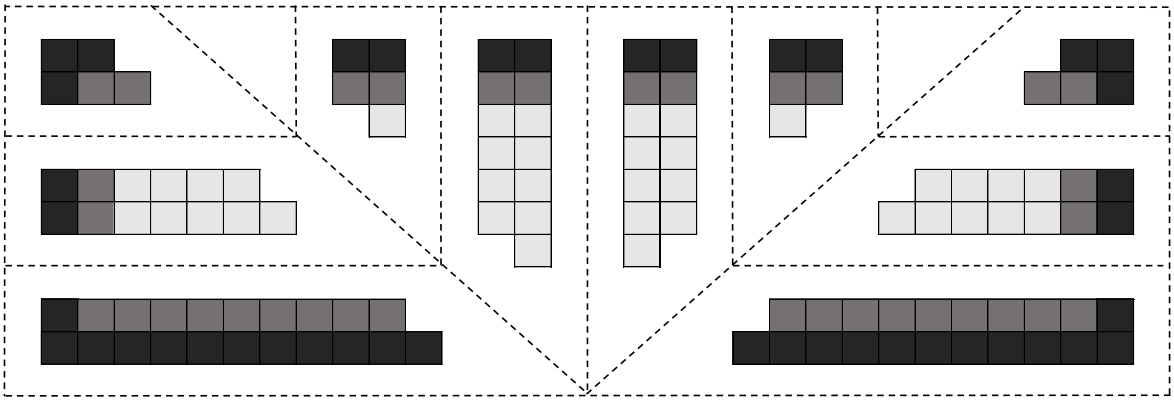
รูปแสดงขนาดคลังสินค้าจำนวน 15 ทางเดิน



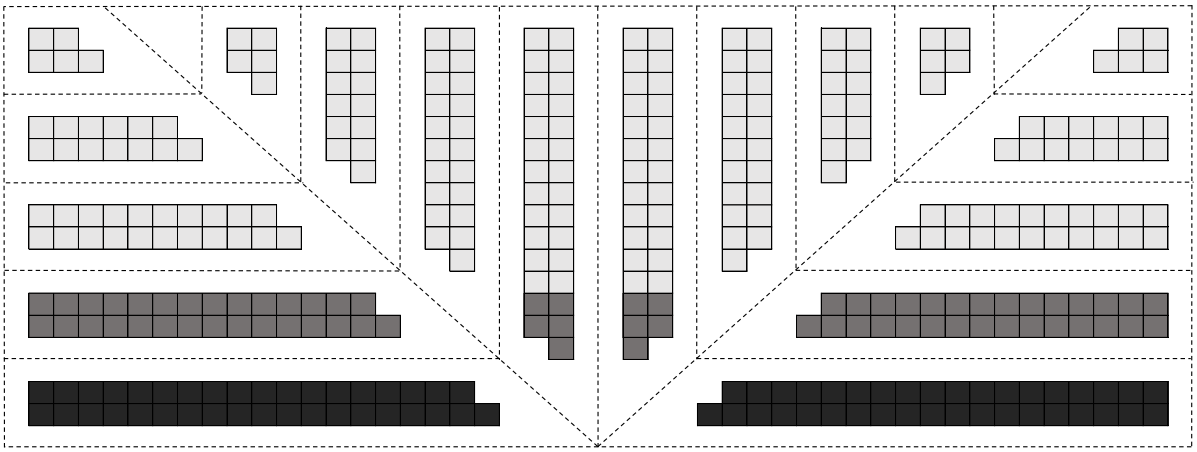
รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดิน ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน



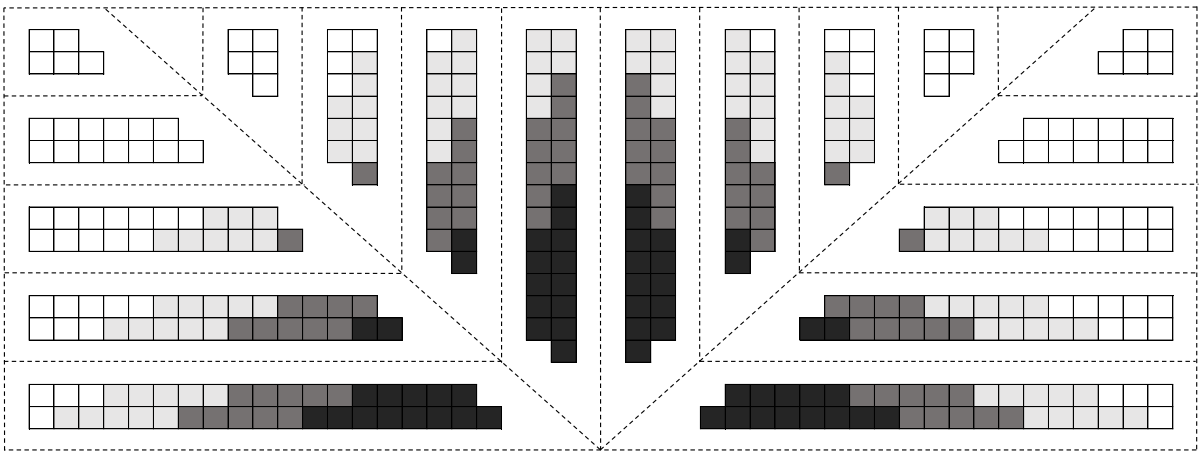
รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน



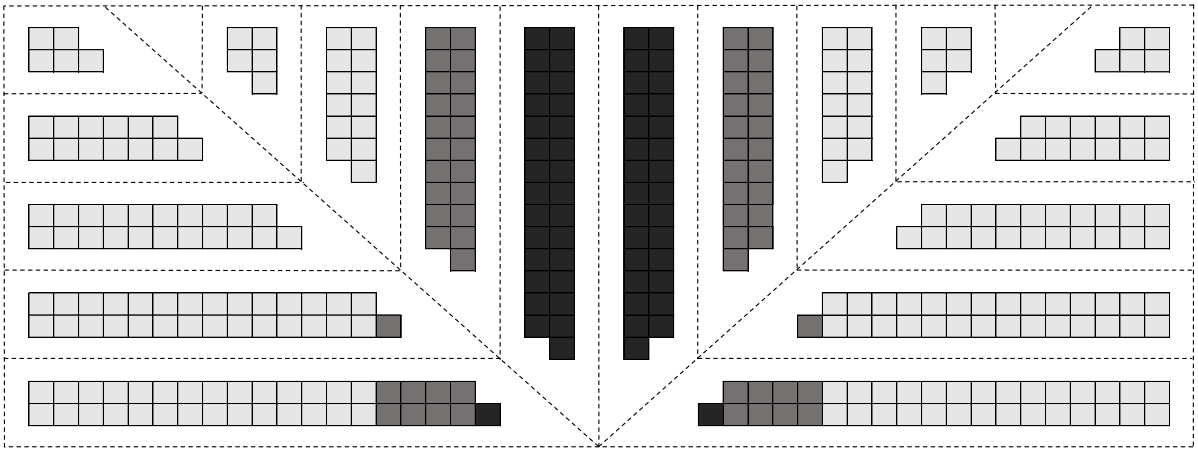
รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบรอบรูป ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 7 ทางเดิน



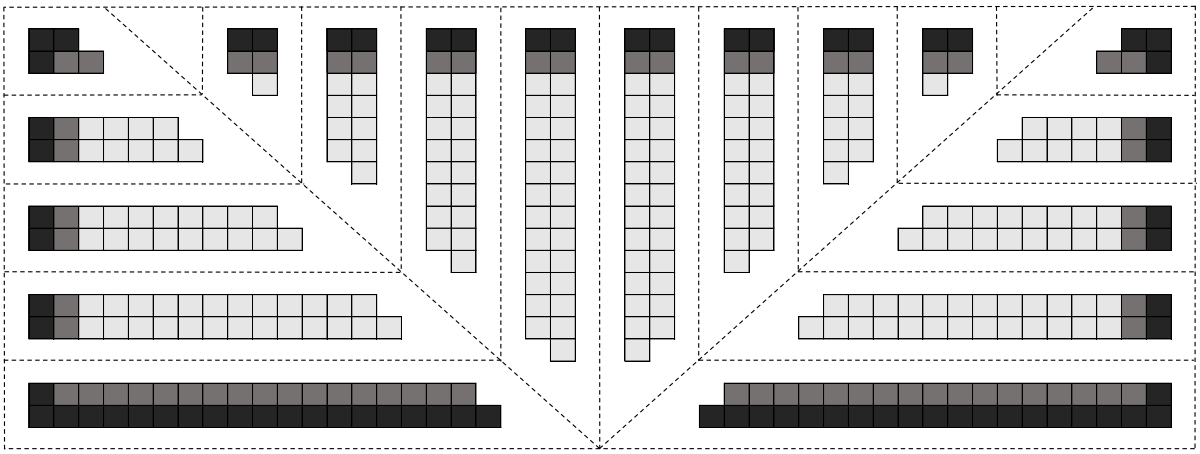
รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดิน ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 11 ทางเดิน



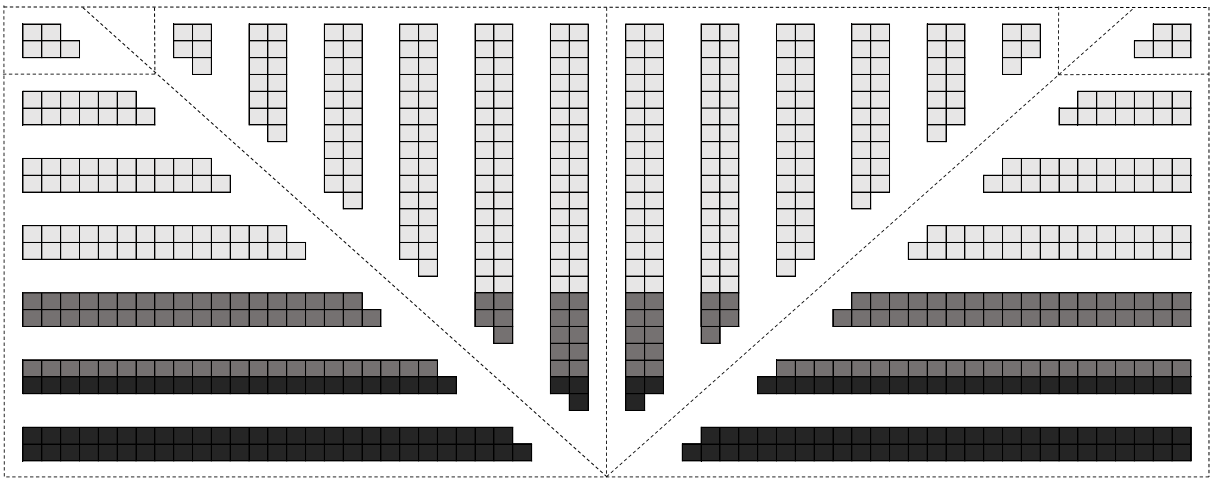
รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบแบ่งกลุ่ม ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 11 ทางเดิน



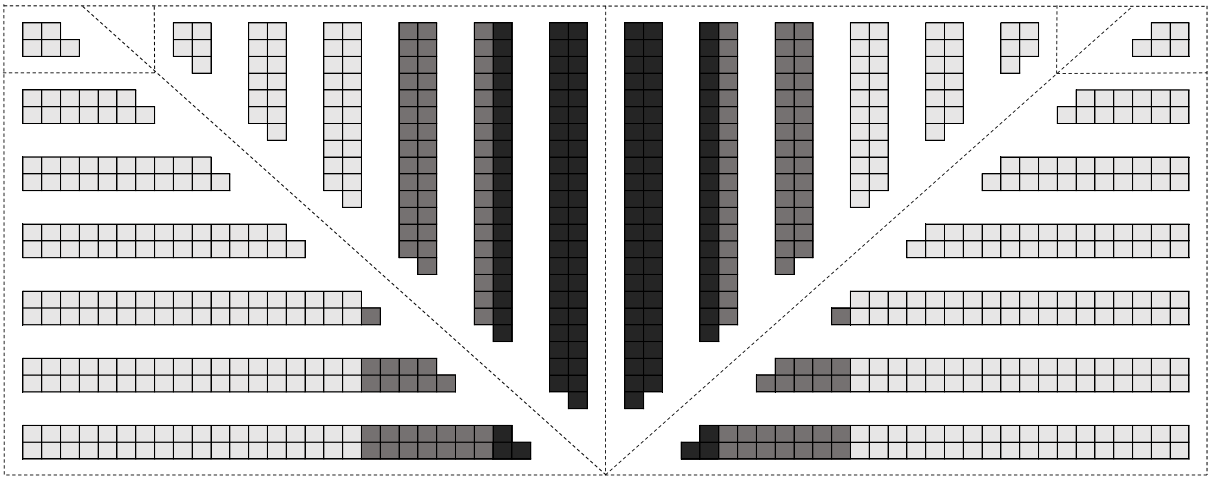
รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 11 ทางเดิน



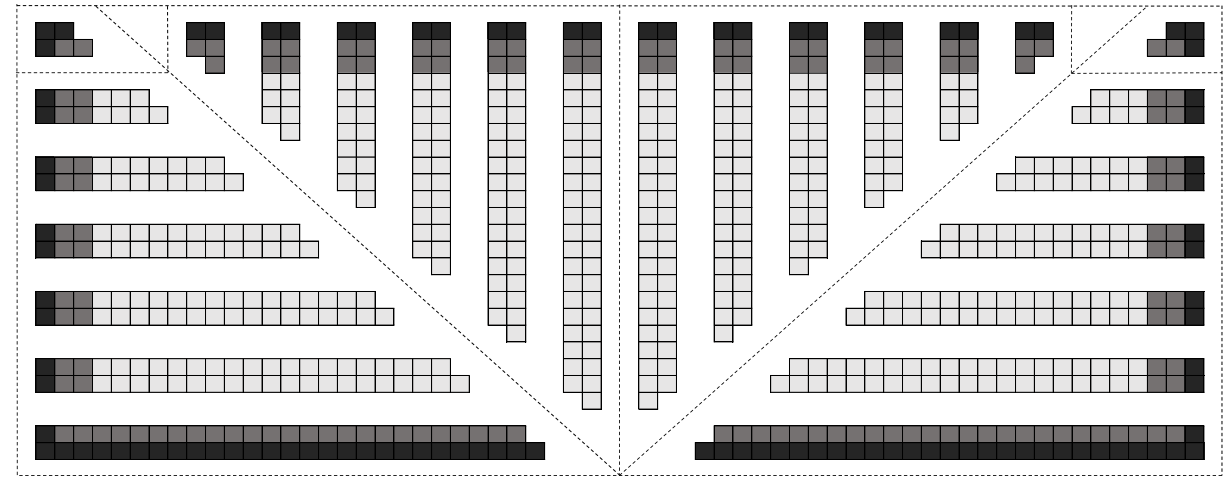
รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบรอบรูป ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 11 ทางเดิน



รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบข้ามผ่านทางเดิน ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 15 ทางเดิน



รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบภายในทางเดิน ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 15 ทางเดิน



รูปแสดงการจัดเก็บสินค้าแบบรอบรูป ที่ขนาดคลังสินค้าจำนวน 15 ทางเดิน

ภาคผนวก ข

ผลลัพธ์จากการจำลองสถานการณ์การเดินหยิบสินค้าด้วยโปรแกรม MINITAP 16

สถิติพรรณนาของปัจจัยหลัก

Descriptive Statistics: distance

Variable	storage	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	A	200.82	2.61	85.66	66.66	128.32	189.80	263.88
	P	239.06	2.67	87.60	103.66	161.96	231.32	296.00
	R	285.64	3.57	117.40	112.00	163.97	281.31	375.19
	TB	212.00	2.64	86.73	85.98	137.31	196.30	270.86
	W	180.45	2.18	71.68	66.32	125.64	161.32	224.51

Variable	storage	Maximum
distance	A	449.96
	P	543.56
	R	614.60
	TB	447.96
	W	445.30

Descriptive Statistics: distance

Variable	wh size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	7	132.04	0.623	26.43	66.32	112.32	132.66	151.97
	11	218.73	1.36	57.51	89.98	176.97	216.11	255.30
	15	320.02	1.99	84.31	137.32	258.39	308.58	373.98

Variable	wh size	Maximum
distance	7	218.64
	11	401.62
	15	614.60

Descriptive Statistics: distance

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	196.29	1.94	82.45	66.32	128.66	184.47	248.88
	30	225.73	2.29	97.07	72.66	145.64	208.48	291.38
	40	248.77	2.50	105.93	97.00	158.31	228.66	316.30

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	450.96
	30	520.26
	40	614.60

Descriptive Statistics: distance

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	206.78	2.34	85.87	66.32	138.97	191.94	262.38
	E	195.33	2.16	79.45	66.32	130.32	182.48	248.05
	LG	254.45	2.79	102.48	88.00	163.32	242.65	329.06
	SS	237.81	2.98	109.63	66.66	152.22	211.29	312.69

Variable	routing	Maximum
distance	AA	516.24
	E	484.94
	LG	614.60
	SS	556.24

สถิติพรรณนาของปัจจัยร่วม 2 ปัจจัย

Descriptive Statistics: distance

Results for storage = A

Variable	wh size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	7	114.59	1.28	24.24	66.66	93.66	112.00	130.55
	11	191.70	2.11	40.00	107.32	159.38	190.13	219.97
	15	296.16	2.99	56.66	168.32	254.34	295.62	335.31

Variable	wh size	Maximum
distance	7	175.32
	11	299.98
	15	449.96

Results for storage = P

Variable	wh size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	7	148.32	0.917	17.40	103.66	135.97	148.32	162.32
	11	242.67	2.24	42.55	161.00	214.41	236.32	265.32
	15	326.20	3.75	71.19	201.00	276.40	310.96	359.06

Variable	wh size	Maximum
distance	7	194.98
	11	360.26
	15	543.56

Results for storage = R

Variable	wh size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	7	154.85	0.944	17.91	112.00	142.40	154.66	163.99
	11	284.37	2.27	43.15	184.98	254.94	282.98	312.22
	15	417.69	3.58	67.85	270.64	367.78	412.97	467.85

Variable	wh size	Maximum
distance	7	218.64
	11	401.62
	15	614.60

Results for storage = TB

Variable	wh size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	7	124.57	1.07	20.25	85.98	112.00	124.32	138.72
	11	205.35	1.98	37.63	123.30	176.64	200.81	233.57
	15	306.08	3.41	64.78	154.30	257.12	303.10	351.19

Variable	wh size	Maximum
distance	7	175.98
	11	315.64
	15	447.96

Results for storage = W

Variable	wh size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	7	117.85	1.21	22.99	66.32	101.98	119.66	133.56
	11	169.54	2.14	40.63	89.98	135.32	165.95	203.13
	15	253.96	3.25	61.60	137.32	209.70	245.98	297.88

Variable	wh size	Maximum
distance	7	169.32
	11	282.98
	15	445.30

Descriptive Statistics: distance

Results for storage = A

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	177.15	4.14	78.46	66.66	100.64	168.14	231.14
	30	202.34	4.53	85.93	84.32	125.47	191.47	269.54
	40	222.96	4.55	86.35	97.00	147.88	209.32	291.24

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	372.64
	30	400.64
	40	449.96

Results for storage = P

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	214.07	3.79	71.94	103.66	148.48	212.15	265.53
	30	241.97	4.55	86.27	124.00	162.32	237.15	297.97
	40	261.16	5.09	96.55	126.66	168.32	251.32	323.16

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	404.90
	30	500.24
	40	543.56

Results for storage = R

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	248.62	4.87	92.34	112.00	155.31	243.96	323.05
	30	289.25	5.97	113.29	125.00	165.32	287.14	382.96
	40	319.04	6.98	132.52	137.66	169.96	312.27	436.51

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	450.96
	30	520.26
	40	614.60

Results for storage = TB

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	184.66	3.78	71.71	85.98	118.49	175.98	235.31
	30	214.22	4.60	87.20	92.32	134.72	198.47	274.96
	40	237.12	4.85	92.06	103.00	150.07	226.80	307.18

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	389.30
	30	423.92
	40	447.96

Results for storage = W

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	156.93	3.31	62.82	66.32	105.38	140.80	200.46
	30	180.86	3.71	70.30	72.66	122.32	161.97	226.90
	40	203.56	3.90	73.91	111.66	139.74	186.64	250.79

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	356.98
	30	401.64
	40	445.30

Descriptive Statistics: distance

Results for storage = A

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	186.12	4.50	73.90	66.66	120.07	177.46	242.03
	E	175.38	4.15	68.15	66.66	114.58	164.48	228.69
	LG	241.59	6.06	99.59	88.00	146.16	234.99	336.07
	SS	200.18	5.04	82.89	66.66	128.82	190.13	270.28

Variable	routing	Maximum
distance	AA	381.60
	E	359.32
	LG	449.96
	SS	411.94

Results for storage = P

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	219.84	4.09	67.13	109.00	151.98	224.14	265.62
	E	204.55	3.74	61.53	103.66	144.16	208.66	245.82
	LG	239.52	4.39	72.15	107.00	164.07	243.65	296.00
	SS	292.34	6.90	113.44	118.98	169.96	299.59	373.68

Variable	routing	Maximum
distance	AA	380.96
	E	350.30
	LG	387.28
	SS	543.56

Results for storage = R

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	271.24	6.57	107.91	117.98	158.30	272.12	352.94
	E	254.76	6.07	99.82	112.00	148.24	259.97	328.05
	LG	316.63	7.69	126.43	134.32	183.82	313.47	412.38
	SS	299.91	7.54	123.93	129.98	164.30	296.27	400.60

Variable	routing	Maximum
distance	AA	516.24
	E	484.94
	LG	614.60
	SS	556.24

Results for storage = TB

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	193.62	4.40	72.24	85.98	134.55	182.29	243.26
	E	186.42	4.17	68.45	85.98	125.50	179.14	234.54
	LG	247.85	6.00	98.62	112.00	158.07	240.16	331.57
	SS	220.11	5.51	90.51	93.32	140.88	204.29	279.20

Variable	routing	Maximum
distance	AA	373.90
	E	347.62
	LG	447.96
	SS	423.92

Results for storage = W

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	163.07	3.49	57.27	66.32	119.63	149.95	203.60
	E	155.54	3.27	53.65	66.32	115.15	142.30	194.96
	LG	226.66	5.00	82.10	104.00	151.82	216.14	295.82
	SS	176.53	4.14	68.01	69.98	125.56	158.30	218.03

Variable	routing	Maximum
distance	AA	317.28
	E	299.62
	LG	445.30
	SS	381.60

Descriptive Statistics: distance

Results for wh size = 7

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	117.31	1.04	25.46	66.32	94.06	115.99	135.88
	30	132.01	1.01	24.74	72.66	112.00	131.66	150.66
	40	146.78	0.819	20.06	97.00	131.38	146.80	161.32

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	181.98
	30	206.64
	40	218.64

Results for wh size = 11

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	194.04	1.99	48.75	89.98	158.40	192.32	228.00
	30	220.81	2.26	55.39	109.64	178.64	217.31	259.98
	40	241.33	2.37	57.98	114.32	197.64	233.49	281.56

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	323.30
	30	382.96
	40	401.62

Results for wh size = 15

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	277.50	2.75	67.33	137.32	226.71	275.81	328.20
	30	324.36	3.18	77.80	154.98	268.57	308.58	380.26
	40	358.20	3.53	86.43	194.96	293.80	341.12	419.53

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	450.96
	30	520.26
	40	614.60

Descriptive Statistics: distance

Results for wh size = 7

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	126.17	1.13	23.89	66.32	108.22	129.30	144.97
	E	119.89	0.993	21.07	66.32	103.58	121.82	135.08
	LG	146.54	1.18	25.06	88.00	128.66	148.82	163.32
	SS	135.55	1.29	27.40	66.66	114.99	139.30	160.64

Variable	routing	Maximum
distance	AA	172.96
	E	164.00
	LG	218.64
	SS	177.96

Results for wh size = 11

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	202.35	2.38	50.48	97.98	163.20	196.63	236.32
	E	191.57	2.22	47.03	89.98	157.13	187.66	221.05
	LG	250.75	2.20	46.69	136.00	218.57	243.32	271.65
	SS	230.24	3.03	64.37	97.98	179.32	222.79	285.77

Variable	routing	Maximum
distance	AA	335.26
	E	313.96
	LG	401.62
	SS	361.26

Results for wh size = 15

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	291.81	3.42	72.50	140.64	240.19	283.94	329.38
	E	274.54	3.09	65.60	137.32	228.00	270.97	305.31
	LG	366.07	3.19	67.61	232.00	318.49	355.97	398.64
	SS	347.65	4.37	92.66	140.64	279.12	337.95	419.02

Variable	routing	Maximum
distance	AA	516.24
	E	484.94
	LG	614.60
	SS	556.24

Descriptive Statistics: distance

Results for picklist size = 20

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	180.34	3.38	71.60	66.32	122.97	169.98	232.63
	E	169.85	3.06	64.83	66.32	117.32	162.48	216.40
	LG	228.13	4.08	86.58	88.00	148.83	221.83	295.99
	SS	206.82	4.30	91.27	66.66	131.56	186.79	272.04

Variable	routing	Maximum
distance	AA	376.28
	E	348.96
	LG	450.96
	SS	433.94

Results for picklist size = 30

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	208.47	3.97	84.16	76.32	138.96	193.13	267.28
	E	196.86	3.66	77.56	72.66	131.00	185.64	255.05
	LG	255.84	4.78	101.34	91.00	162.07	245.49	333.06
	SS	241.73	5.18	109.94	79.98	155.64	215.46	313.01

Variable	routing	Maximum
distance	AA	462.92
	E	411.62
	LG	504.62
	SS	520.26

Results for picklist size = 40

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	231.52	4.38	92.87	100.66	151.64	218.11	300.35
	E	219.28	4.09	86.72	97.00	143.91	206.49	281.98
	LG	279.39	5.26	111.66	112.00	171.32	264.98	364.64
	SS	264.89	5.57	118.24	100.66	161.96	237.63	336.37

Variable	routing	Maximum
distance	AA	516.24
	E	484.94
	LG	614.60
	SS	556.24

สถิติพรรณนาของปัจจัยร่วม 3 ปัจจัย

ปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้า และขนาดคำสั่งซื้อ

Results for storage = A, wh size = 7

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	94.73	1.31	14.35	66.66	84.73	92.32	100.64
	30	113.57	1.65	18.12	84.32	98.64	112.00	128.41
	40	135.47	1.83	20.00	97.00	119.06	133.63	151.06

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	132.66
	30	163.32
	40	175.32

Results for storage = A, wh size = 11

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	172.27	3.24	35.48	107.32	145.06	169.29	194.88
	30	192.44	3.48	38.14	110.32	158.72	191.47	219.56
	40	210.38	3.39	37.14	146.32	181.47	209.32	237.07

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	264.98
	30	287.98
	40	299.98

Results for storage = A, wh size = 15

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	264.44	4.61	50.52	168.32	225.38	255.30	304.86
	30	301.02	4.68	51.26	192.96	266.04	298.11	345.32
	40	323.03	4.78	52.34	220.98	284.71	312.30	364.05

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	372.64
	30	400.64
	40	449.96

Results for storage = P, wh size = 7

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	136.08	1.55	16.95	103.66	122.00	133.49	148.80
	30	150.60	1.28	13.97	124.00	138.98	148.65	162.55
	40	158.29	1.20	13.20	126.66	148.08	158.64	168.32

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	177.62
	30	177.96
	40	194.98

Results for storage = P, wh size = 11

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	218.27	3.19	34.98	161.00	189.97	214.96	234.96
	30	245.76	3.59	39.34	161.00	217.81	239.49	264.99
	40	264.00	3.68	40.27	198.66	232.81	252.80	289.21

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	323.26
	30	348.60
	40	360.26

Results for storage = P, wh size = 15

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	287.86	4.53	49.59	201.00	248.64	281.16	319.62
	30	329.55	6.15	67.41	222.66	279.32	307.48	358.35
	40	361.18	6.81	74.56	231.00	307.74	337.49	387.20

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	404.90
	30	500.24
	40	543.56

Results for storage = R, wh size = 7

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	143.66	1.36	14.91	112.00	132.15	142.82	155.32
	30	156.80	1.45	15.90	125.00	146.08	157.97	165.32
	40	164.08	1.52	16.61	137.66	153.75	161.47	169.96

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	181.98
	30	206.64
	40	218.64

Results for storage = R, wh size = 11

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	246.69	2.85	31.21	184.98	222.69	243.96	269.21
	30	289.61	2.89	31.63	238.64	265.21	287.14	311.87
	40	316.82	3.06	33.48	259.66	290.89	312.27	337.21

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	323.30
	30	382.96
	40	401.62

Results for storage = R, wh size = 15

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	355.52	3.97	43.46	270.64	321.81	352.61	393.89
	30	421.33	4.26	46.72	329.32	381.97	422.09	460.36
	40	476.22	4.52	49.49	381.30	436.37	478.28	515.29

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	450.96
	30	520.26
	40	614.60

Results for storage = TB, wh size = 7

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	110.20	1.41	15.49	85.98	96.32	110.65	118.82
	30	124.06	1.62	17.74	92.32	112.00	124.32	134.88
	40	139.44	1.45	15.86	103.00	127.41	136.81	150.89

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	156.32
	30	166.32
	40	175.98

Results for storage = TB, wh size = 11

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	182.37	2.84	31.12	123.30	155.30	178.13	203.65
	30	205.64	3.05	33.43	144.32	178.72	199.80	231.66
	40	228.05	3.07	33.68	157.32	198.64	228.46	247.32

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	255.98
	30	279.98
	40	315.64

Results for storage = TB, wh size = 15

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
distance	20	261.41	4.80	52.63	154.30	220.86	252.79	297.96	389.30
	30	312.95	5.33	58.37	185.28	272.58	304.77	354.86	423.92
	40	343.88	4.99	54.62	222.96	301.75	337.96	391.18	447.96

Results for storage = W, wh size = 7

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
distance	20	101.89	1.93	21.17	66.32	86.33	98.80	115.32	154.32
	30	115.04	1.65	18.02	72.66	103.74	113.31	125.30	156.32
	40	136.62	1.30	14.21	111.66	125.66	133.82	146.47	169.32

Results for storage = W, wh size = 11

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
distance	20	150.61	3.69	40.41	89.98	118.81	139.26	179.32	241.62
	30	170.61	3.34	36.59	109.64	141.40	164.29	202.66	264.32
	40	187.39	3.32	36.40	114.32	158.64	186.64	213.89	282.98

Results for storage = W, wh size = 15

Variable	picklist size	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	20	218.28	4.94	54.16	137.32	171.71	206.61	245.40
	30	256.94	4.95	54.18	154.98	218.44	248.42	297.57
	40	286.68	5.17	56.61	194.96	239.22	279.45	325.63

Variable	picklist size	Maximum
distance	20	356.98
	30	401.64
	40	445.30

ปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้า และวิธีเดินหยิบสินค้า

Results for storage = A, wh size = 7

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	109.37	2.19	20.80	66.66	93.66	108.31	125.05
	E	104.48	1.79	16.99	66.66	91.24	100.98	117.32
	LG	129.44	2.78	26.42	88.00	112.00	130.82	148.57
	SS	115.08	2.57	24.43	66.66	93.66	111.14	131.97

Variable	routing	Maximum
distance	AA	159.62
	E	146.32
	LG	175.32
	SS	169.30

Results for storage = A, wh size = 11

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	176.79	3.09	29.29	107.32	154.88	177.46	195.13
	E	166.23	2.80	26.58	107.32	147.22	164.48	186.22
	LG	234.66	3.20	30.35	136.00	209.66	234.99	256.57
	SS	189.11	3.67	34.84	107.32	160.31	190.13	220.38

Variable	routing	Maximum
distance	AA	241.94
	E	218.32
	LG	299.98
	SS	256.30

Results for storage = A, wh size = 15

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
distance	AA	272.20	4.32	40.96	190.64	241.10	277.95	303.85	381.60
	E	255.43	3.94	37.37	168.32	228.44	256.30	283.63	359.32
	LG	360.68	3.73	35.38	273.66	334.82	363.31	388.73	449.96
	SS	296.34	4.90	46.44	196.64	269.38	300.96	325.94	411.94

Results for storage = P, wh size = 7

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
distance	AA	143.02	1.39	13.19	109.00	135.23	144.14	152.39	167.64
	E	133.90	1.33	12.61	103.66	124.00	134.16	144.57	163.32
	LG	154.58	1.73	16.39	107.00	146.32	153.16	165.57	194.98
	SS	161.79	1.32	12.55	118.98	160.22	164.46	169.96	177.96

Results for storage = P, wh size = 11

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
distance	AA	223.70	2.58	24.47	169.32	207.57	225.81	241.05	275.62
	E	208.16	2.42	22.96	161.00	190.58	209.16	224.32	258.98
	LG	243.78	2.47	23.46	161.00	227.50	244.64	262.72	289.66
	SS	295.05	3.77	35.81	216.26	266.78	300.61	323.01	360.26

Results for storage = P, wh size = 15

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	292.81	4.06	38.49	210.64	263.47	295.62	318.34
	E	271.60	3.57	33.89	201.00	243.07	274.32	295.64
	LG	320.21	3.36	31.85	238.00	295.83	322.82	341.98
	SS	420.17	6.40	60.76	294.26	373.27	421.42	467.15

Variable	routing	Maximum
distance	AA	380.96
	E	350.30
	LG	387.28
	SS	543.56

Results for storage = R, wh size = 7

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	148.44	1.32	12.48	117.98	138.32	147.98	158.30
	E	140.44	1.29	12.27	112.00	131.98	141.49	148.41
	LG	171.74	1.95	18.48	134.32	156.32	169.82	183.98
	SS	158.77	0.998	9.47	129.98	153.30	159.64	164.30

Variable	routing	Maximum
distance	AA	172.96
	E	164.00
	LG	218.64
	SS	174.30

Results for storage = R, wh size = 11

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	269.53	3.53	33.47	189.96	245.71	272.12	298.04
	E	255.72	3.40	32.24	184.98	233.31	259.97	281.14
	LG	317.86	4.57	43.33	217.98	286.98	313.47	350.89
	SS	294.38	3.63	34.43	202.28	269.86	296.27	320.02

Variable	routing	Maximum
distance	AA	335.26
	E	313.96
	LG	401.62
	SS	361.26

Results for storage = R, wh size = 15

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	395.75	5.77	54.71	283.30	352.77	397.78	439.61
	E	368.12	5.49	52.09	270.64	327.95	369.46	411.37
	LG	460.30	6.66	63.20	338.98	411.63	463.47	507.21
	SS	446.59	5.98	56.70	318.28	400.60	452.92	487.92

Variable	routing	Maximum
distance	AA	516.24
	E	484.94
	LG	614.60
	SS	556.24

Results for storage = TB, wh size = 7

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	119.26	1.88	17.83	85.98	102.66	120.98	135.38
	E	114.33	1.52	14.38	85.98	102.66	116.82	126.49
	LG	138.92	2.18	20.68	112.00	119.75	135.66	158.32
	SS	125.75	1.99	18.92	93.32	106.66	127.64	141.38

Variable	routing	Maximum
distance	AA	148.96
	E	141.32
	LG	175.98
	SS	166.96

Results for storage = TB, wh size = 11

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	189.67	3.29	31.20	123.30	165.63	186.28	213.28
	E	182.46	2.91	27.61	123.30	161.66	182.13	203.73
	LG	240.28	3.35	31.80	176.00	219.41	240.32	263.74
	SS	209.01	3.23	30.66	147.98	184.98	205.63	230.97

Variable	routing	Maximum
distance	AA	265.60
	E	259.64
	LG	315.64
	SS	292.62

Results for storage = TB, wh size = 15

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
distance	AA	271.94	5.45	51.70	154.30	237.44	272.25	311.37	373.90
	E	262.46	4.80	45.52	154.30	228.45	267.61	295.37	347.62
	LG	364.35	4.92	46.65	240.00	329.57	369.97	399.81	447.96
	SS	325.57	5.86	55.55	202.66	277.06	326.46	363.20	423.92

Results for storage = W, wh size = 7

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
distance	AA	110.78	2.20	20.91	66.32	95.31	109.96	126.96	151.96
	E	106.28	1.97	18.71	66.32	92.32	106.15	121.41	139.66
	LG	137.99	1.82	17.24	104.00	125.50	138.00	152.32	169.32
	SS	116.33	2.24	21.20	69.98	101.32	116.97	131.64	155.96

Results for storage = W, wh size = 11

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
distance	AA	152.07	3.16	29.99	97.98	129.88	149.95	173.72	232.96
	E	145.26	2.94	27.91	89.98	123.07	143.14	170.66	204.32
	LG	217.16	2.41	22.87	168.00	204.66	216.14	227.41	282.98
	SS	163.66	3.69	35.01	97.98	135.32	162.97	187.30	255.30

Results for storage = W, wh size = 15

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	226.35	4.27	40.52	140.64	199.94	226.27	251.44
	E	215.08	3.98	37.76	137.32	185.64	213.82	242.60
	LG	324.82	4.43	42.04	232.00	295.16	318.49	356.98
	SS	249.60	5.84	55.43	140.64	207.27	246.30	288.36

Variable	routing	Maximum
distance	AA	317.28
	E	299.62
	LG	445.30
	SS	381.60

ปัจจัยร่วมกันของวิธีจัดเก็บสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อ และวิธีเดินหยิบสินค้า

Results for storage = A, picklist size = 20

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	163.37	6.97	66.12	66.66	95.64	161.30	211.03
	E	154.89	6.32	59.94	66.66	93.66	150.14	203.05
	LG	216.56	9.95	94.44	88.00	121.50	212.99	310.16
	SS	173.78	7.94	75.33	66.66	100.31	169.29	227.62

Variable	routing	Maximum
distance	AA	305.96
	E	278.32
	LG	372.64
	SS	331.96

Results for storage = A, picklist size = 30

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	187.40	7.85	74.47	84.32	115.66	180.79	259.37
	E	176.08	7.23	68.59	84.32	111.07	164.30	244.29
	LG	243.1	10.5	99.4	91.0	143.4	237.7	351.3
	SS	202.82	8.85	83.99	84.32	125.98	202.96	292.88

Variable	routing	Maximum
distance	AA	330.26
	E	305.98
LG	400.6	
	SS	378.92

Results for storage = A, picklist size = 40

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	207.59	7.89	74.82	100.66	142.47	195.29	278.68
	E	195.18	7.39	70.14	97.00	126.41	182.82	270.63
	LG	265.2	10.5	99.9	112.0	170.3	252.8	377.2
	SS	223.93	8.66	82.18	100.66	152.97	217.96	299.72

Variable	routing	Maximum
distance	AA	381.60
	E	359.32
	LG	450.0
	SS	411.94

Results for storage = P, picklist size = 20

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	199.23	6.26	59.41	109.00	135.98	202.98	246.97
	E	182.05	5.44	51.57	103.66	124.50	186.15	223.48
	LG	218.67	6.71	63.70	107.00	149.32	222.82	277.08
	SS	256.32	9.15	86.85	118.98	163.46	263.59	337.19

Variable	routing	Maximum
distance	AA	319.60
	E	290.64
	LG	335.64
	SS	404.90

Results for storage = P, picklist size = 30

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	220.78	6.69	63.43	131.32	147.88	225.65	269.90
	E	206.47	6.17	58.55	124.00	139.32	211.48	261.07
	LG	241.62	7.46	70.74	128.00	162.56	245.97	306.92
	SS	299.0	11.8	112.0	142.6	170.0	302.1	415.0

Variable	routing	Maximum
distance	AA	346.94
	E	311.64
	LG	350.64
	SS	500.2

Results for storage = P, picklist size = 40

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	239.51	7.64	72.44	129.66	158.64	239.48	306.23
	E	225.14	7.00	66.40	126.66	149.50	228.16	285.82
	LG	258.28	8.08	76.62	140.00	172.07	266.15	328.74
	SS	321.7	13.6	128.7	153.6	172.9	322.3	450.0

Variable	routing	Maximum
distance	AA	380.96
	E	350.30
	LG	387.28
	SS	543.6

Results for storage = R, picklist size = 20

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	235.83	8.81	83.60	117.98	145.89	235.12	317.34
	E	219.38	8.06	76.45	112.00	133.16	220.13	292.73
	LG	274.7	10.5	99.3	134.3	164.1	275.5	363.1
	SS	264.6	10.4	98.6	130.0	159.3	262.4	365.5

Variable	routing	Maximum
distance	AA	376.28
	E	348.96
	LG	451.0
	SS	433.9

Results for storage = R, picklist size = 30

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	274.5	10.9	103.8	132.3	158.3	274.8	383.4
	E	257.6	10.0	94.9	125.0	148.5	260.0	357.1
	LG	319.1	12.7	120.7	146.0	183.7	312.1	439.6
	SS	305.8	12.9	122.5	142.6	164.2	298.4	439.0

Variable	routing	Maximum
distance	AA	462.9
	E	411.6
	LG	504.6
	SS	520.3

Results for storage = R, picklist size = 40

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	303.4	13.0	122.9	139.3	162.2	302.1	436.9
	E	287.3	12.0	113.7	137.7	156.0	286.1	410.5
	LG	356.2	15.1	143.2	153.7	196.7	352.1	507.2
	SS	329.4	14.7	139.7	156.6	168.8	322.9	483.4

Variable	routing	Maximum
distance	AA	516.2
	E	484.9
	LG	614.6
	SS	556.2

Results for storage = TB, picklist size = 20

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	164.44	5.71	54.20	85.98	115.05	158.95	210.71
	E	160.59	5.58	52.89	85.98	109.58	155.63	203.39
	LG	221.03	8.85	83.92	112.00	129.66	220.16	296.32
	SS	192.58	7.86	74.60	93.32	121.48	185.80	258.20

Variable	routing	Maximum
distance	AA	282.26
	E	277.62
	LG	389.30
	SS	357.28

Results for storage = TB, picklist size = 30

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	196.16	7.55	71.62	92.32	130.71	183.78	255.27
	E	187.80	7.09	67.22	92.32	121.48	182.13	242.89
	LG	249.5	10.6	100.4	112.0	157.3	241.3	355.5
	SS	223.46	9.76	92.61	100.66	139.30	206.30	301.30

Variable	routing	Maximum
distance	AA	354.58
	E	308.58
	LG	421.6
	SS	423.92

Results for storage = TB, picklist size = 40

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	220.27	8.25	78.23	103.00	141.56	214.12	285.51
	E	210.86	7.86	74.59	103.00	132.41	204.97	281.30
	LG	273.1	11.0	104.5	112.0	166.8	264.1	388.9
	SS	244.3	10.1	96.2	104.7	151.3	231.6	326.3

Variable	routing	Maximum
distance	AA	373.90
	E	347.62
	LG	448.0
	SS	423.9

Results for storage = W, picklist size = 20

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	138.82	5.03	47.68	66.32	99.71	130.30	174.13
	E	132.35	4.64	44.04	66.32	96.08	120.96	166.47
	LG	209.70	7.55	71.61	104.00	137.91	210.66	279.41
	SS	146.84	5.49	52.12	69.98	103.64	135.97	187.63

Variable	routing	Maximum
distance	AA	244.60
	E	231.60
	LG	356.98
	SS	322.94

Results for storage = W, picklist size = 30

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	163.51	5.81	55.16	76.32	114.88	153.96	205.20
	E	156.36	5.46	51.84	72.66	111.07	146.14	197.88
	LG	225.99	8.77	83.20	104.00	148.07	216.16	301.66
	SS	177.59	6.91	65.58	79.98	121.48	162.79	226.30

Variable	routing	Maximum
distance	AA	287.60
	E	271.30
	LG	401.64
	SS	322.62

Results for storage = W, picklist size = 40

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	186.87	6.17	58.57	115.32	134.88	166.62	229.69
	E	177.92	5.79	54.97	111.66	127.66	159.99	218.80
	LG	244.29	9.26	87.85	128.66	161.32	223.99	323.07
	SS	205.17	7.63	72.38	115.32	142.05	186.64	255.71

Variable	routing	Maximum
distance	AA	317.28
	E	299.62
	LG	445.30
	SS	381.60

ปัจจัยร่วมกันของขนาดคลังสินค้า ขนาดคำสั่งซื้อ และวิธีเดินหยิบสินค้า

Results for wh size = 7, picklist size = 20

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	111.02	1.87	22.90	66.32	92.32	109.16	132.40
	E	105.74	1.55	19.00	66.32	90.22	105.82	121.99
	LG	131.54	1.81	22.13	88.00	112.00	132.49	149.32
	SS	120.95	2.37	28.97	66.66	94.16	116.81	148.97

Variable	routing	Maximum
distance	AA	156.30
	E	148.00
	LG	181.98
	SS	177.62

Results for wh size = 7, picklist size = 30

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	126.16	1.78	21.83	76.32	107.97	128.62	144.31
	E	119.88	1.55	19.03	72.66	103.58	118.99	135.66
	LG	146.00	1.90	23.27	91.00	127.50	148.32	162.32
	SS	136.01	2.14	26.17	79.98	113.48	135.47	161.30

Variable	routing	Maximum
distance	AA	167.62
	E	158.32
	LG	206.64
	SS	177.96

Results for wh size = 7, picklist size = 40

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	141.35	1.31	15.99	100.66	128.89	142.47	154.64
	E	134.04	1.19	14.54	97.00	123.90	132.99	146.41
	LG	162.07	1.62	19.79	112.00	149.41	161.99	171.57
	SS	149.67	1.47	17.96	100.66	135.22	152.64	164.30

Variable	routing	Maximum
distance	AA	172.96
	E	164.00
	LG	218.64
	SS	174.96

Results for wh size = 11, picklist size = 20

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	178.07	3.41	41.74	97.98	145.22	177.79	209.38
	E	167.76	3.02	37.00	89.98	139.88	166.81	191.72
	LG	227.84	2.76	33.76	136.00	205.66	221.83	244.82
	SS	202.49	4.57	55.94	97.98	159.38	196.44	252.01

Variable	routing	Maximum
distance	AA	261.60
	E	243.96
	LG	323.30
	SS	323.26

Results for wh size = 11, picklist size = 30

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	204.51	3.96	48.47	110.32	164.80	199.46	242.79
	E	193.53	3.64	44.63	109.64	157.97	189.65	221.47
	LG	251.67	3.50	42.82	176.00	223.32	245.49	269.23
	SS	233.53	5.18	63.43	110.32	179.32	225.46	292.46

Variable	routing	Maximum
distance	AA	313.28
	E	292.96
	LG	382.96
	SS	348.60

Results for wh size = 11, picklist size = 40

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	224.47	4.08	49.96	117.64	191.97	223.29	258.80
	E	213.40	3.87	47.43	114.32	180.47	209.48	240.49
	LG	272.73	4.15	50.81	176.00	239.16	264.98	291.07
	SS	254.71	5.13	62.81	128.96	202.55	242.80	316.34

Variable	routing	Maximum
distance	AA	335.26
	E	313.96
	LG	401.62
	SS	361.26

Results for wh size = 15, picklist size = 20

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	251.93	4.61	56.40	140.64	210.54	245.78	287.19
	E	236.05	3.98	48.79	137.32	201.48	230.61	267.14
	LG	325.01	3.76	46.03	232.00	291.16	319.97	355.96
	SS	297.02	6.06	74.16	140.64	235.79	296.95	360.43

Variable	routing	Maximum
distance	AA	376.28
	E	348.96
	LG	450.96
	SS	433.94

Results for wh size = 15, picklist size = 30

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	294.75	5.28	64.71	158.30	248.26	286.96	328.05
	E	277.18	4.69	57.45	154.98	239.74	272.28	301.70
	LG	369.84	4.71	57.66	280.00	325.16	361.15	400.89
	SS	355.66	6.99	85.63	158.30	287.77	351.12	436.18

Variable	routing	Maximum
distance	AA	462.92
	E	411.62
	LG	504.62
	SS	520.26

Results for wh size = 15, picklist size = 40

Variable	routing	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median	Q3
distance	AA	328.75	6.05	74.06	203.60	278.58	312.97	365.67
	E	310.38	5.47	67.05	194.96	269.54	295.31	343.15
	LG	403.37	5.90	72.25	287.00	352.74	387.96	429.80
	SS	390.29	7.56	92.55	211.28	314.45	382.45	483.44

Variable	routing	Maximum
distance	AA	516.24
	E	484.94
	LG	614.60
	SS	556.24

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงแบนมาตรฐานของระยะทางการเดินหยิบสินค้าทั้ง 4 ปัจจัย

- ผลลัพธ์ทั้ง 4 ปัจจัยร่วมกันของ ได้แก่ วิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ

ตารางแสดงค่าเฉลี่ยระยะทางการเดินหยิบสินค้าของปัจจัยทั้ง 4
คือ วิธีการเดินหยิบสินค้า วิธีการจัดเก็บสินค้า ขนาดคลังสินค้าและขนาดคำสั่งซื้อ

storage	warehouse sizes	pick-list sizes	routing							
			AA		E		LG		SS	
			Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
A	7	20	90.68	11.26	**88.94**	**8.88**	106.13	16.74	93.18	13.04
		30	107.79	12.86	**102.96**	**9.82**	129.63	19.60	113.90	16.83
		40	129.63	15.72	**121.55**	**12.52**	152.57	19.02	138.16	18.16
	11	20	158.58	23.92	149.87	20.42	214.66	27.03	165.99	28.85
		30	177.18	27.34	166.57	25.80	235.07	25.63	190.93	32.92
		40	194.59	25.32	182.27	23.29	254.24	25.08	210.42	27.96
	15	20	240.84	31.96	225.84	28.23	328.90	26.19	262.16	39.36
		30	277.21	33.10	258.71	31.41	364.49	25.41	303.64	37.96
		40	298.55	35.66	281.73	29.50	388.66	25.29	323.21	40.24
P	7	20	129.90	10.12	120.36	7.19	142.03	13.49	152.03	15.75

storage	warehouse sizes	pick-list sizes	routing							
			AA		E		LG		SS	
			Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
		30	145.21	7.81	135.92	6.95	155.74	11.41	165.52	7.12
		40	153.94	8.01	145.43	7.56	165.97	14.60	167.82	5.88
	11	20	202.51	18.93	185.14	13.18	223.15	18.62	262.26	26.92
		30	226.51	19.43	210.69	16.06	245.66	15.92	300.17	27.24
		40	242.07	16.72	228.65	14.05	262.53	16.76	322.73	23.17
	15	20	265.28	29.58	240.65	20.92	290.83	20.95	354.67	29.67
		30	290.64	30.29	272.80	22.27	323.46	19.98	431.31	34.42
		40	322.52	32.45	301.34	26.16	346.35	25.78	474.53	40.50
R	7	20	138.10	10.13	128.61	8.68	157.04	11.20	150.88	10.19
		30	150.01	9.84	142.22	8.55	174.13	15.11	160.86	6.64
		40	157.20	9.27	150.47	7.87	184.06	17.54	164.59	4.85
	11	20	233.24	20.15	219.07	16.42	275.78	27.87	258.66	23.37
		30	275.13	18.08	260.87	16.28	320.64	28.94	301.80	21.33
		40	300.22	18.33	287.22	14.52	357.17	26.63	322.68	20.80
	15	20	336.14	25.35	310.45	22.12	391.26	31.36	384.22	31.21
		30	398.41	27.35	369.77	22.11	462.39	26.27	454.75	28.94
		40	452.69	27.52	424.14	25.68	527.24	31.85	500.79	30.38
TB	7	20	104.27	12.56	101.58	10.24	124.45	14.94	110.52	13.24
		30	119.39	15.55	113.83	11.02	137.20	19.07	125.81	15.87
		40	134.14	10.69	127.58	7.65	155.11	15.31	140.92	13.91
	11	20	164.41	21.23	159.83	19.04	218.35	22.98	186.89	20.36
		30	190.63	25.65	182.56	20.54	239.31	27.01	210.07	28.29
		40	213.96	24.65	204.99	22.37	263.19	28.34	230.05	26.54
	15	20	224.64	30.24	220.37	28.62	320.30	31.77	280.34	39.30
		30	278.46	41.32	267.00	33.85	371.85	34.31	334.48	49.66
		40	312.71	38.78	300.01	32.88	400.91	32.32	361.89	43.79
W	7	20	92.13	15.30	89.22	13.80	128.04	13.64	98.16	15.58
		30	108.39	13.99	104.45	12.57	133.31	15.36	113.99	15.32

storage	warehouse sizes	pick-list sizes	routing							
			AA		E		LG		SS	
			Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.	Mean	S.D.
		40	131.83	9.41	125.18	7.23	152.62	11.99	136.85	10.94
	11	20	131.59	24.00	**124.90**	**21.86**	207.30	19.06	138.64	27.46
		30	153.12	24.48	**146.99**	**22.53**	217.66	18.56	164.69	28.69
		40	171.49	27.57	**163.89**	**24.79**	226.53	26.55	187.65	30.65
	15	20	192.74	29.17	**182.92**	**25.63**	293.76	31.18	203.70	38.42
		30	229.02	29.15	**217.62**	**28.68**	327.00	33.95	254.10	41.58
		40	257.28	34.22	**244.70**	**30.20**	353.741	37.87	291.01	47.43

Tests of Normality

การทดสอบว่าชุดข้อมูลมีการแจกจแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

H_0: ข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ

H_1: ข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงข้อมูลแบบอื่น ๆ

ตารางการทดสอบชุดข้อมูลว่ามีการแจกแจงปกติหรือไม่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

Warehouse sizes	Picklist sizes	Routing	Storage	Shapiro-Wilk			Normality
				Statistic	df	P	
7	20	AA	A	0.931	30	0.052	TRUE
			P	0.947	30	0.143	TRUE
			TB	0.944	30	0.120	TRUE
			W	0.971	30	0.579	TRUE
			R	0.975	30	0.675	TRUE
		LG	A	0.852	30	0.081	TRUE
			P	0.904	30	0.060	TRUE
			TB	0.801	30	0.200	TRUE
			W	0.950	30	0.165	TRUE
			R	0.979	30	0.806	TRUE
		SS	A	0.963	30	0.374	TRUE
			P	0.919	30	0.125	TRUE
			TB	0.909	30	0.314	TRUE
			W	0.976	30	0.701	TRUE
			R	0.958	30	0.273	TRUE
		E	A	0.951	30	0.179	TRUE
			P	0.979	30	0.785	TRUE
			TB	0.950	30	0.171	TRUE
			W	0.966	30	0.425	TRUE
			R	0.983	30	0.898	TRUE
	30	AA	A	0.956	30	0.246	TRUE
			P	0.950	30	0.166	TRUE
			TB	0.936	30	0.069	TRUE

Warehouse sizes	Picklist sizes	Routing	Storage	Shapiro-Wilk			Normality
				Statistic	df	P	
			W	0.971	30	0.568	TRUE
			R	0.966	30	0.445	TRUE
		LG	A	0.964	30	0.380	TRUE
			P	0.978	30	0.780	TRUE
			TB	0.887	30	0.094	TRUE
			W	0.933	30	0.060	TRUE
			R	0.966	30	0.435	TRUE
		SS	A	0.950	30	0.166	TRUE
			P	0.934	30	0.061	TRUE
			TB	0.917	30	0.222	TRUE
			W	0.969	30	0.501	TRUE
			R	0.957	30	0.267	TRUE
		E	A	0.962	30	0.353	TRUE
			P	0.962	30	0.349	TRUE
			TB	0.911	30	0.216	TRUE
			W	0.967	30	0.463	TRUE
			R	0.977	30	0.748	TRUE
	40	AA	A	0.969	30	0.513	TRUE
			P	0.952	30	0.185	TRUE
			TB	0.924	30	0.135	TRUE
			W	0.978	30	0.756	TRUE
			R	0.962	30	0.342	TRUE
		LG	A	0.899	30	0.078	TRUE
			P	0.968	30	0.495	TRUE
			TB	0.899	30	0.108	TRUE
			W	0.907	30	0.113	TRUE
			R	0.964	30	0.396	TRUE
		SS	A	0.967	30	0.464	TRUE
			P	0.925	30	0.236	TRUE
			TB	0.971	30	0.553	TRUE
			W	0.974	30	0.666	TRUE
			R	0.947	30	0.136	TRUE

Warehouse sizes	Picklist sizes	Routing	Storage	Shapiro-Wilk			Normality
				Statistic	df	P	
		E	A	0.974	30	0.652	TRUE
			P	0.969	30	0.523	TRUE
			TB	0.939	30	0.088	TRUE
			W	0.976	30	0.699	TRUE
			R	0.949	30	0.156	TRUE
11	20	AA	A	0.954	30	0.212	TRUE
			P	0.972	30	0.594	TRUE
			TB	0.972	30	0.598	TRUE
			W	0.924	30	0.335	TRUE
			R	0.940	30	0.090	TRUE
		LG	A	0.958	30	0.274	TRUE
			P	0.913	30	0.098	TRUE
			TB	0.950	30	0.173	TRUE
			W	0.955	30	0.235	TRUE
			R	0.968	30	0.477	TRUE
		SS	A	0.970	30	0.531	TRUE
			P	0.980	30	0.826	TRUE
			TB	0.970	30	0.526	TRUE
			W	0.954	30	0.216	TRUE
			R	0.976	30	0.705	TRUE
		E	A	0.975	30	0.674	TRUE
			P	0.986	30	0.952	TRUE
			TB	0.973	30	0.620	TRUE
			W	0.951	30	0.176	TRUE
			R	0.926	30	0.089	TRUE
	30	AA	A	0.966	30	0.443	TRUE
			P	0.938	30	0.083	TRUE
			TB	0.936	30	0.072	TRUE
			W	0.969	30	0.503	TRUE
			R	0.974	30	0.653	TRUE
		LG	A	0.971	30	0.576	TRUE
			P	0.974	30	0.667	TRUE

Warehouse sizes	Picklist sizes	Routing	Storage	Shapiro-Wilk			Normality
				Statistic	df	P	
			TB	0.957	30	0.257	TRUE
			W	0.954	30	0.222	TRUE
			R	0.950	30	0.172	TRUE
		SS	A	0.936	30	0.072	TRUE
			P	0.963	30	0.372	TRUE
			TB	0.950	30	0.173	TRUE
			W	0.982	30	0.877	TRUE
			R	0.961	30	0.331	TRUE
		E	A	0.960	30	0.317	TRUE
			P	0.954	30	0.212	TRUE
			TB	0.970	30	0.538	TRUE
			W	0.968	30	0.491	TRUE
			R	0.945	30	0.125	TRUE
	40	AA	A	0.963	30	0.362	TRUE
			P	0.980	30	0.823	TRUE
			TB	0.967	30	0.455	TRUE
			W	0.984	30	0.925	TRUE
			R	0.968	30	0.497	TRUE
		LG	A	0.969	30	0.506	TRUE
			P	0.967	30	0.454	TRUE
			TB	0.974	30	0.653	TRUE
			W	0.969	30	0.507	TRUE
			R	0.950	30	0.169	TRUE
		SS	A	0.957	30	0.260	TRUE
			P	0.937	30	0.075	TRUE
			TB	0.967	30	0.458	TRUE
			W	0.986	30	0.947	TRUE
			R	0.981	30	0.858	TRUE
		E	A	0.939	30	0.086	TRUE
			P	0.987	30	0.970	TRUE
			TB	0.986	30	0.949	TRUE
			W	0.963	30	0.367	TRUE

Warehouse sizes	Picklist sizes	Routing	Storage	Shapiro-Wilk			Normality
				Statistic	df	P	
			R	0.979	30	0.791	TRUE
15	20	AA	A	0.965	30	0.409	TRUE
			P	0.956	30	0.250	TRUE
			TB	0.965	30	0.417	TRUE
			W	0.967	30	0.467	TRUE
			R	0.963	30	0.361	TRUE
		LG	A	0.970	30	0.547	TRUE
			P	0.986	30	0.953	TRUE
			TB	0.967	30	0.449	TRUE
			W	0.970	30	0.546	TRUE
			R	0.963	30	0.368	TRUE
		SS	A	0.946	30	0.135	TRUE
			P	0.971	30	0.576	TRUE
			TB	0.976	30	0.703	TRUE
			W	0.936	30	0.071	TRUE
			R	0.925	30	0.237	TRUE
		E	A	0.972	30	0.591	TRUE
			P	0.970	30	0.530	TRUE
			TB	0.975	30	0.695	TRUE
			W	0.948	30	0.148	TRUE
			R	0.962	30	0.356	TRUE
	30	AA	A	0.950	30	0.166	TRUE
			P	0.983	30	0.897	TRUE
			TB	0.965	30	0.420	TRUE
			W	0.968	30	0.483	TRUE
			R	0.983	30	0.889	TRUE
		LG	A	0.925	30	0.136	TRUE
			P	0.939	30	0.088	TRUE
			TB	0.941	30	0.098	TRUE
			W	0.912	30	0.117	TRUE
			R	0.960	30	0.310	TRUE
		SS	A	0.945	30	0.121	TRUE

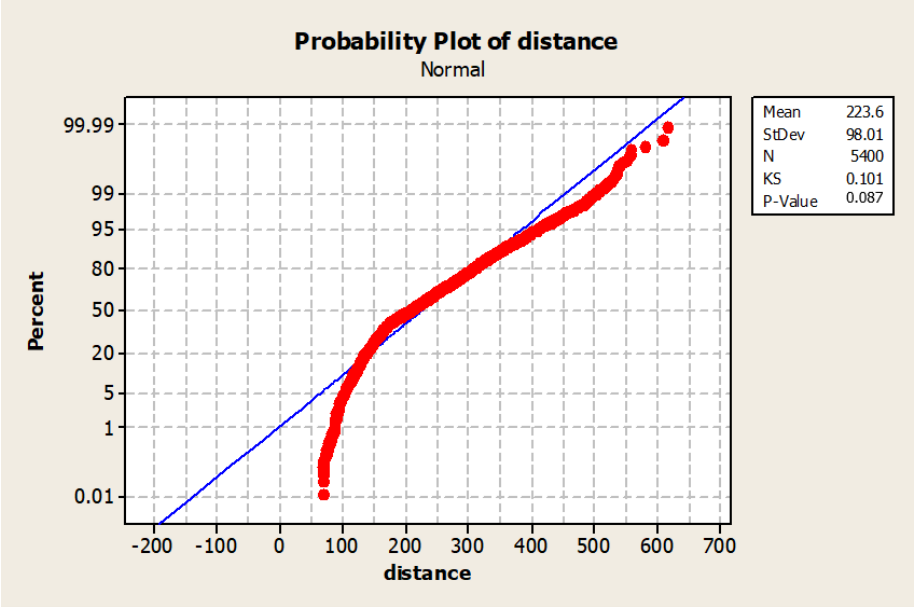
Warehouse sizes	Picklist sizes	Routing	Storage	Shapiro-Wilk			Normality
				Statistic	df	P	
			P	0.978	30	0.779	TRUE
			TB	0.971	30	0.556	TRUE
			W	0.973	30	0.615	TRUE
			R	0.986	30	0.951	TRUE
		E	A	0.922	30	0.331	TRUE
			P	0.976	30	0.724	TRUE
			TB	0.906	30	0.312	TRUE
			W	0.963	30	0.360	TRUE
			R	0.970	30	0.545	TRUE
	40	AA	A	0.980	30	0.828	TRUE
			P	0.970	30	0.527	TRUE
			TB	0.964	30	0.382	TRUE
			W	0.953	30	0.206	TRUE
			R	0.967	30	0.464	TRUE
		LG	A	0.983	30	0.897	TRUE
			P	0.967	30	0.453	TRUE
			TB	0.917	30	0.223	TRUE
			W	0.974	30	0.653	TRUE
			R	0.910	30	0.115	TRUE
		SS	A	0.986	30	0.955	TRUE
			P	0.971	30	0.574	TRUE
			TB	0.945	30	0.125	TRUE
			W	0.973	30	0.632	TRUE
			R	0.962	30	0.346	TRUE
		E	A	0.971	30	0.580	TRUE
			P	0.971	30	0.561	TRUE
			TB	0.964	30	0.388	TRUE
			W	0.952	30	0.194	TRUE
			R	0.973	30	0.632	TRUE

ผลการทดสอบการแจกแจงปกติรวมและการทดสอบความแปรปรวน

การทดสอบว่าชุดข้อมูลรวมว่ามีการแจกแจงแบบปกติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่

H_0: ข้อมูลของระยะทางการเดินหยิบสินค้าชุดนี้มีการแจกแจงข้อมูลแบบปกติ

H_1: ข้อมูลของระยะทางการเดินหยิบสินค้าชุดนี้มีการแจกแจงข้อมูลแบบอื่น ๆ

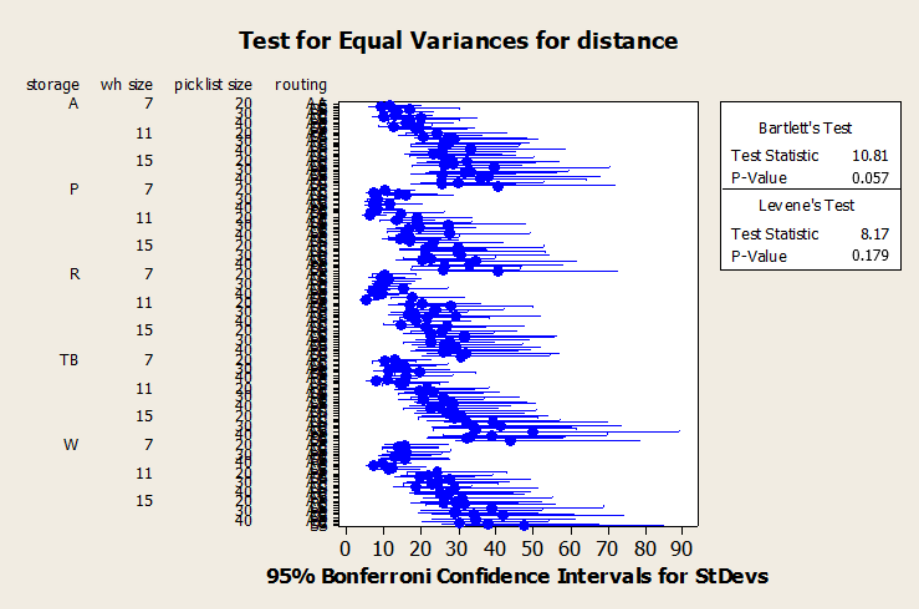


จากการใช้สถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ด้วย Kolmogorov-Smirnov ได้ค่าสถิติ 0.101 และค่า p-value เท่ากับ 0.087 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 สรุปได้ว่า ชุดข้อมูลระยะทางการเดินหยิบสินค้ามีการแจกแจงปกติอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การทดสอบว่าชุดข้อมูลว่ามีความแปรปรวนคงที่ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 หรือไม่

H_0: ข้อมูลของระยะทางการเดินหยิบสินค้าชุดนี้มีความแปรปรวนคงที่

H_1: ข้อมูลของระยะทางการเดินหยิบสินค้าชุดนี้มีความแปรปรวนไม่คงที่



จากการใช้สถิติทดสอบการแจกแจงของข้อมูล ด้วย Levene's Test ได้ค่าสถิติ 8.17 และค่า p-value เท่ากับ 0.179 ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 นั่นคือ ชุดข้อมูลระยะทางการเดินหยิบสินค้ามีความแปรปรวนคงที่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาววิชชุดา บุญเรือง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 6310220076

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (สถิติ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2563
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สถิติ)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

ทุนผู้ช่วยวิจัยจากหน่วยวิจัยสถิติและการประยุกต์ สาขาวิทยาศาสตร์การคำนวณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

1. Masae, M., Boonreung, W., Hmadhloo, P., & Vichitkunakorn, P., Factors affecting the picking travel distance in the leaf warehouse. *The Journal of Applied Science*, 21(1), 2022.