บทความวิจัย

การเปรียบเทียบตัวแบบคณิตศาสตร์ในการหาความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมระหว่างแบบไม่จำกัดอัตราเข้าและจำกัดอัตราเข้าของสินค้า กรณีศึกษาคลังสินค้า ABC

โยษิตา กาญจนะ และ ปณิธาน พีรพัฒนา*
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6715 3906 อีเมล: panpee@kku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.13
รับเมื่อ 20 มิถุนายน 2561 แก้ไขเมื่อ 20 สิงหาคม 2561 ตอบรับเมื่อ 30 ตุลาคม 2561 เผยแพร่ออนไลน์ 13 ธันวาคม 2561
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ต้นทุนการบริหารจัดการด้านคลังสินค้าถือเป็นต้นทุนหลักในระบบโลจิสติกส์ โดยการจัดเก็บสินค้าถือว่าเป็นกิจกรรมหลักของคลังสินค้า ซึ่งโดยทั่วไปจะมีระบบการจัดเก็บที่หลากหลายตั้งแต่การจัดเก็บแบบวางกองซ้อนไปจนถึงการจัดเก็บแบบอัตโนมัติ การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาระบบการจัดเก็บแบบวางกองซ้อน เนื่องจากเป็นระบบที่ได้รับความนิยม มีความยืดหยุ่นสูง ต้นทุนต่ำ เหมาะกับสินค้าที่มีอัตราการหมุนเวียนสูง แม้ว่าจะเกิดความสูญเปล่าของพื้นที่โดยรวมมาก ทำให้มีอรรถประโยชน์ด้านพื้นที่ต่ำ การออกแบบรูปแบบการจัดเก็บที่มีประสิทธิภาพโดยการกำหนดความลึกช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมถือเป็นแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหา อย่างไรก็ตาม การกำหนดความลึกช่องเก็บสินค้าภายใต้อัตราการเข้ามาของสินค้าที่จำกัดยังไม่ค่อยพบในการศึกษาที่ผ่านมา งานวิจัยนี้จึงได้ใช้ตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับการหาความลึกช่องเก็บสินค้า ได้แก่ ตัวแบบไม่จำกัด คือตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ไม่พิจารณาอัตราการเข้ามาของสินค้า หรือ $P = \infty$ และตัวแบบจำกัด คือตัวแบบคณิตศาสตร์ที่มีการพิจารณาอัตราการเข้ามาของสินค้าด้วย หรือ $P \neq \infty$ เพื่อเปรียบเทียบว่าความลึกช่องเก็บสินค้าจากตัวแบบใดจะทำให้เกิดความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยน้อยที่สุด ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ตัวแบบจำกัดให้ความลึกช่องเก็บสินค้าที่ทำให้เกิดความสูญเปล่ารวมเฉลี่ยน้อยกว่าความลึกช่องเก็บสินค้าที่ได้จากตัวแบบไม่จำกัด

คำสำคัญ: การจัดการคลังสินค้า, การจัดเก็บแบบวางกองซ้อน, ความลึกช่องเก็บสินค้า, ความสูญเปล่าพื้นที่, ตัวแบบคณิตศาสตร์

การอ้างอิงบทความ: โยษิตา กาญจนะ และ ปณิธาน พีรพัฒนา, "การเปรียบเทียบตัวแบบคณิตศาสตร์ในการหาความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมระหว่างแบบไม่จำกัดอัตราเข้าและจำกัดอัตราเข้าของสินค้า กรณีศึกษาคลังสินค้า ABC," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 29, ฉบับที่ 2, หน้า 211–218, เม.ย.–มิ.ย. 2562.

วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 29 ฉบับที่ 2 เม.ย.–มิ.ย. 2562
The Journal of KMUTNB., Vol. 29, No. 2, Apr.–Jun. 2019

Research Article

A Comparative of Mathematical Model for Solving the Optimal Lane Depth with the Infinite and the Finite Production Rate Model: A Case Study of the ABC Warehouse

Yosita Karnjana and Panitarn Peerapattana*
Industrial and Logistics Engineering Management, Faculty of Engineering, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 6715 3906, E–mail: panpee@kku.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2018.12.13
Received 20 June 2018; Revised 20 August 2018; Accepted 30 October 2018; Published online: 13 December 2018
© 2019 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Warehouse management costs are the major cost in the logistics system. The main activity in the warehouse is storage, which comes with different storage systems ranging from block stacking to automated storage. This study are concentrated on block stacking system, because of its widespread use, high flexibility, low cost and suitability for high inventory turnover. However, it causes potential loss of storage space within the warehouse that affects the facility's space utilization. Designing a block stacking system by determining the optimal lane depth is one way to solve the problem. However, studies on determining the optimal lane depth under the finite production rate constraint has not been carried out so far. This research applied two mathematical models to compute the optimal lane depth, the infinite model ($P = \infty$) does not consider the production rate but the finite model ($P \neq \infty$) does in order to compare the average waste of storage space. It has been found that the finite model gives less average waste of storage space than its counterpart.

Keywords: Warehouse Management, Block Stacking, Lane Depth, Waste of Storage Space, Mathematical Model

Please cite this article as: Y. Karnjana and P. Peerapattana, "A comparative of mathematical model for solving the optimal lane depth with the infinite and the finite production rate model: A case study of the ABC warehouse," *The Journal of KMUTNB*, vol. 29, no. 2, pp. 211–218, Apr.–Jun. 2019 (in Thai).

1. บทนำ

จากรายงานโลจิสติกส์ของสหรัฐอเมริกา ประจำปี 2559 พบว่าค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บสินค้าเพิ่มขึ้น 1.8 เปอร์เซ็นต์ และพื้นที่ว่างของคลังสินค้าในสหรัฐอเมริกา ลดลงต่ำสุดในประวัติศาสตร์ที่ 8.2 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 1) ส่งผลให้ค่าเช่าพุ่งสูงขึ้นถึง 6.9 เปอร์เซ็นต์ [1] สอดคล้องกับรายงานโลจิสติกส์ของไทยประจำปี 2559 ที่พบว่าต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลังเพิ่มขึ้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ (รูปที่ 2) เมื่อเทียบกับปีที่แล้ว [2] ซึ่งสาเหตุหนึ่งก็เป็นเพราะแนวโน้มของพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์หรือ E-Commerce ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมาก

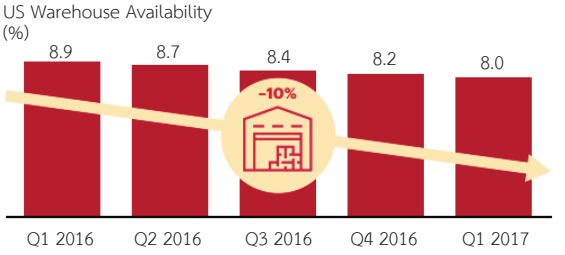
การจัดเก็บสินค้าเป็นหนึ่งกิจกรรมที่สำคัญในการบริหารจัดการคลังสินค้า เนื่องจากเป็นเรื่องที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานภายในคลังสินค้า เช่น ความลำบากและล่าช้าในการหาสินค้า ความผิดพลาดในการหยิบสินค้า ความล่าช้าในการขนส่ง การทำงานซ้ำซ้อน และการใช้พื้นที่จัดเก็บอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

การจัดเก็บแบบวางกองซ้อน หรือ Block Stacking (รูปที่ 3) เป็นหนึ่งในวิธีการจัดเก็บที่เป็นที่นิยมอย่างมาก โดยพาเลตของสินค้าแต่ละชนิดจะถูกจัดเก็บแบบวางซ้อนกันขึ้นไปในแนวดิ่ง แถวหรือช่องจัดเก็บสินค้าถูกสร้างขึ้นเพื่อจัดเก็บสินค้าที่ต่างชนิดกัน โดยที่วิธีการจัดเก็บแบบวางกองซ้อนนี้ไม่จำเป็นต้องมีชั้นวางหรืออุปกรณ์ช่วยในการจัดเก็บ ต้นทุนต่ำ มีความยืดหยุ่น และเหมาะสมกับสินค้าที่มีอัตราการหมุนเวียนสูง

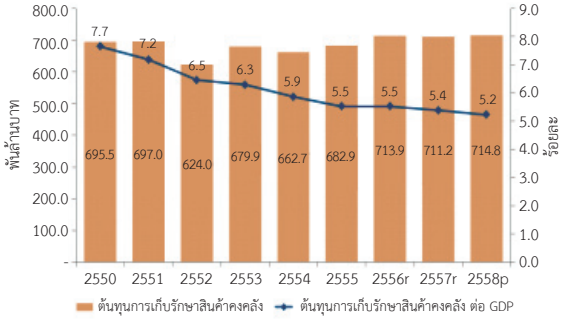
คลังสินค้าส่วนใหญ่จะกำหนดให้จัดเก็บสินค้าแบบหนึ่งช่องต่อหนึ่งสินค้า [4] เพื่อเลี่ยงการหยิบสินค้าซ้ำๆ หลายรอบ นอกจากนี้เมื่อพาเลตแรกถูกนำออกจากช่องจัดเก็บ ทำให้มีพื้นที่ว่างแต่ไม่สามารถเก็บสินค้าอื่นๆ ได้ เกิดเป็นความสูญเปล่าที่เรียกว่า ความสูญเปล่าแบบรังผึ้ง หรือ Honeycombing Waste (รูปที่ 4)

ทางวิ่งรถฟอล์คลิฟต์ มีไว้เพื่อให้เข้าถึงสินค้าต่างๆ ในคลังสินค้า แต่ก็ไม่สามารถใช้จัดเก็บสินค้าได้ เกิดเป็นความสูญเปล่าเนื่องจากทางวิ่งอุปกรณ์ขนถ่าย

การจัดเก็บแบบวางกองซ้อนใช้เพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้พื้นที่โดยมีการลงทุนต่ำ ส่วนใหญ่มักจะเป็นการซ้อน



รูปที่ 1 พื้นที่ว่างของคลังสินค้าในสหรัฐอเมริกา มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง [1]

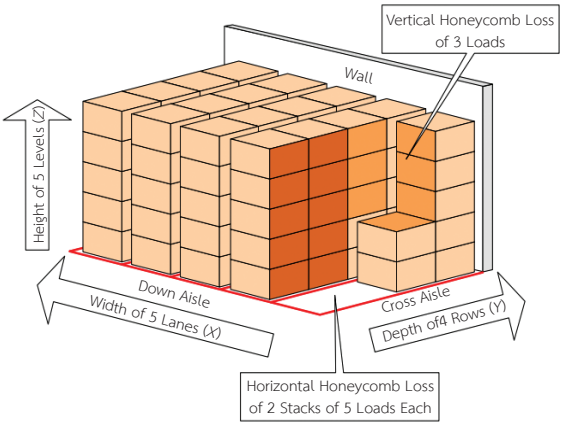


รูปที่ 2 ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง [2]

รูปที่ 3 การจัดเก็บแบบวางกองซ้อน

3 ชั้นที่ความลึก 10 พาเลตหรือมากกว่า ทำให้เกิดเป็นคำถามในการออกแบบพื้นที่จัดเก็บในคลังสินค้าว่า จริงๆ แล้วควรจัดเก็บสินค้าที่ความลึกกี่พาเลตต่อหนึ่งช่อง [4]

การเลือกความลึกของช่องที่เหมาะสมนั้น เป็นหนึ่งในการตัดสินขั้นพื้นฐานเพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างการใช้ประโยชน์พื้นที่และความสะดวกในการจัดเก็บ/จ่ายออกของ



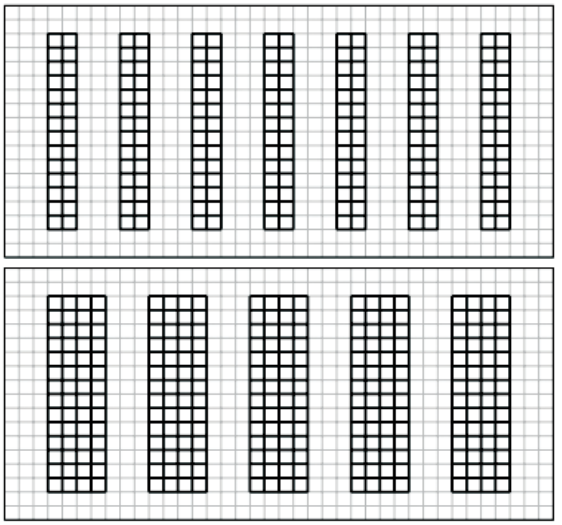
รูปที่ 4 ความสูญเปล่าแบบรังผึ้ง [3]

สินค้าแต่ละชนิด โดยความสูญเปล่าของรังผึ้งจะมากหรือน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับความลึกของช่องเก็บสินค้าและอัตราการออกของสินค้าแต่ละชนิดด้วย [5]

นอกจากความสูญเปล่าแบบรังผึ้งแล้ว ความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสม ยังเป็นเรื่องที่ควรนำมาพิจารณาด้วย จากงานวิจัย [6] พบว่าต้นทุนการขนถ่ายสินค้าส่งผลต่อความลึกช่องที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บสินค้า การกำหนดความลึกของช่องสำหรับสินค้าที่รับเข้ามานั้นมีผลต่อการใช้ประโยชน์พื้นที่และประสิทธิภาพด้านเวลาการทำงานด้วย [7] และสุดท้ายคือการจัดการช่องจัดเก็บสินค้าที่ดีมีผลอย่างนัยสำคัญต่อการใช้ประโยชน์พื้นที่จัดเก็บสินค้าและต้นทุนการขนถ่ายสินค้านั่นเอง [8]

การจัดเก็บที่ความลึกช่องเก็บสินค้ามากๆ จะช่วยลดพื้นที่สำหรับทางวิ่งรถฟอล์คลิฟต์ แต่ก็ทำให้เกิดการเสียประโยชน์ด้านพื้นที่เนื่องจากความสูญเปล่าแบบรังผึ้งเช่นกัน (รูปที่ 5) ซึ่งความลึกช่องที่เหมาะสมนั้นก็จะเป็นตัวช่วยในการปรับสมดุลระหว่างความสูญเปล่าทั้งสองชนิดนี้ ทำให้ [9] ได้เสนอตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณหาความลึกของช่องที่เหมาะสม โดยมีสมมติฐานคือ ความต้องการสินค้ามีค่าคงที่ภายใต้อัตราการเข้ามาของสินค้าแบบไม่จำกัด และไม่สนใจข้อจำกัดทางด้านพื้นที่ของคลังสินค้า

งานวิจัยเกี่ยวกับความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมหลายๆ งานมักกำหนดให้อัตราการเข้ามาของสินค้าเป็นแบบ

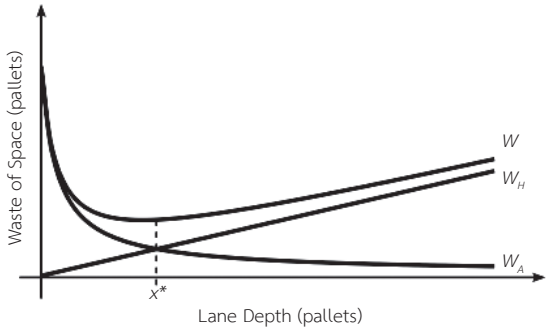


รูปที่ 5 การจัดเก็บสินค้าแบบลึก 1 พาเลตและการจัดเก็บสินค้าแบบลึก 2 พาเลต [9]

ไม่จำกัด [3], [4], [6], [7], [9] แต่ในสภาพความเป็นจริงแล้วอัตราการเข้ามาของสินค้าจะเป็นไปอย่างจำกัด ซึ่งในปัจจุบันมีเพียงงานวิจัย [10] ที่ได้กล่าวถึงข้อจำกัดนี้ พวกเขาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสินค้าชนิดเดียวและหลายชนิดที่ใช้วิธีการจัดเก็บแบบวางกองซ้อน ภายใต้เงื่อนไขอัตราการเข้ามาของสินค้าแบบจำกัด

การลดความสูญเปล่าของพื้นที่สามารถช่วยเพิ่มการใช้ประโยชน์พื้นที่ได้ และสามารถทำได้ด้วยการคำนวณหาความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดความสูญเปล่าน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยที่ WH คือความสูญเปล่าแบบรังผึ้ง และ WA คือความสูญเปล่าเนื่องจากทางวิ่งอุปกรณ์ขนถ่าย [10]

งานวิจัยของ [10] ได้เปรียบเทียบความลึกของช่องเก็บสินค้าที่ได้จากตัวแบบคณิตศาสตร์ที่อัตราการเข้ามาที่ไม่จำกัดและตัวแบบคณิตศาสตร์ที่งานวิจัย [10] นำเสนอ พบว่าความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมที่คำนวณได้จากตัวแบบคณิตศาสตร์ที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ด้านการใช้ประโยชน์พื้นที่ที่ดีกว่าอีกตัวแบบประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ และได้ความลึกของช่องเก็บสินค้าที่น้อยกว่าด้วย (ตารางที่ 1–3)



รูปที่ 6 ความสูญเปล่าของพื้นที่จัดเก็บ

ตารางที่ 1 อัตราการเข้ามาที่จำกัดและไม่จำกัด สำหรับสินค้า 10 ชนิด [10]

Metric	10 SKUs		
	Min	Max	Avg.
Improvement Finite Model Achieved in Space Utilization	0.36%	3.67%	2.09%
Optimal Lane Depth (Finite Model)	14	21	17.8
Optimal Lane Depth (Infinite Model)	24	40	30.00

ตารางที่ 2 อัตราการเข้ามาที่จำกัดและไม่จำกัด สำหรับสินค้า 50 ชนิด [10]

Metric	50 SKUs		
	Min	Max	Avg.
Improvement Finite Model Achieved in Space Utilization	0.87%	3.25%	1.94%
Optimal Lane Depth (Finite Model)	15	19	17.60
Optimal Lane Depth (Infinite Model)	26	34	29.90

ตารางที่ 3 อัตราการเข้ามาที่จำกัดและไม่จำกัด สำหรับสินค้า 100 ชนิด [10]

Metric	100 SKUs		
	Min	Max	Avg.
Improvement Finite Model Achieved in Space Utilization	0.76%	2.68%	1.86%
Optimal Lane Depth (Finite Model)	16	19	17.43
Optimal Lane Depth (Infinite Model)	26	33	29.63

งานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่การเปรียบเทียบตัวแบบคณิตศาสตร์ในการคำนวณหาความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมระหว่างตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ไม่จำกัดอัตราการเข้ามาของสินค้าและตัวแบบที่จำกัด ภายใต้ปัญหาเดียวกัน หลังจากนั้นจะทำการคำนวณความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยจากผลลัพธ์ที่ได้ของทั้งสองตัวแบบ เพื่อเปรียบเทียบว่าตัวแบบใดให้ผลลัพธ์ด้านความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยน้อยที่สุด

2. วิธีการวิจัย

จากงานวิจัย [9], [10] สามารถกำหนดเงื่อนไขได้ ดังต่อไปนี้

2.1 สมมติฐาน

2.1.1 สามารถเข้าถึงสินค้าได้เพียงด้านเดียว และการหยิบสินค้าเป็นแบบเข้าทีหลังออกก่อน (LIFO – Last In First Out)

2.1.2 ไม่มีสินค้าคงคลังเผื่อขาด (Safety Stock) เก็บไว้ในคลังสินค้า

2.1.3 เลือกหยิบสินค้าจากช่องเก็บสินค้าที่มีสินค้าไม่เต็มก่อน จนกว่าจะหมด

2.1.4 ไม่สนใจข้อจำกัดทางด้านพื้นที่

2.2 คำอธิบาย

Q คือ ปริมาณสินค้า (พาเลต)

P คือ อัตราการผลิต/การเข้ามาของสินค้า (พาเลตต่อหน่วยเวลา)

D คือ ความต้องการสินค้า (พาเลต)

λ คือ อัตราการจ่ายสินค้า (พาเลตต่อหน่วยเวลา)

z คือ ความสามารถในการวางกองซ้อน (พาเลต)

a คือ ความกว้างทางวิ่งอุปกรณ์ขนถ่าย (พาเลต)

h คือ ความสูงของสินค้ารวมพาเลต (นิ้ว เมตร เป็นต้น)

e คือ Clear height ของคลังสินค้า (พาเลต)

n คือ จำนวนรายการสินค้า

x คือ ความลึกของช่องเก็บสินค้า (พาเลต)

W คือ ความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยจากตัวแบบที่ไม่จำกัดอัตราการเข้ามาของสินค้า (พาเลต)

W_c คือ ความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยจากตัวแบบที่จำกัดอัตราการเข้ามาของสินค้า (พาเลต)

T_1 คือ ช่วงเวลาตั้งแต่พาเลตมาถึงสินค้าและจัดเก็บจนครบ

T_2 คือ ช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มจ่ายพาเลตออกจนหมด

T คือ $T_1 + T_2$

2.3 กรณีศึกษา

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลของคลังสินค้า ABC ซึ่งตั้งอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย มีขนาดกว้าง 72 เมตร ยาว 144 เมตร สูง 7.35 เมตร และจัดเก็บแบบวางกองซ้อน โดยใช้พาเลตขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1.2 เมตร สูง 0.15 เมตร

รายการสินค้าที่นำมาคำนวณในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 106 รายการ เป็นสินค้าที่มีน้ำหนักมาก ไม่สามารถวางกองซ้อนกันได้เกิน 3 ชั้น เพราะอาจทำให้สินค้าเสียหายได้

ตารางที่ 4 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

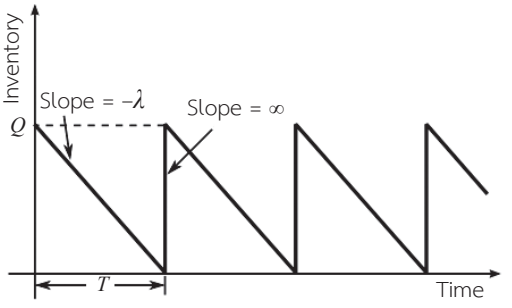
สินค้า	Q	P	D	λ	h	z
BE 005	86,285	27.7	62,787	18.3	1.3	3
WH 002	31,525	10.1	8,861	2.6	1.4	3
SP 009	24,514	7.9	44,286	12.9	1.8	3
SP 013	19,933	6.4	18,946	5.5	1.7	3
BE 011	18,708	6	6,565	1.9	1.5	3
WH 012	1	0.001	1	0.001	1.1	3
WH 013	1	0.001	1	0.001	1.7	3
WH 014	1	0.001	1	0.001	1.1	3
WH 015	1	0.001	1	0.001	1.5	3
WH 017	1	0.001	1	0.001	1.4	3

ซึ่งปริมาณสินค้า (Q) ความต้องการสินค้า (D) ความสูงของสินค้ารวมพาเลต (h) และความสามารถในการวางกองซ้อน (z) เป็นข้อมูลที่คลังสินค้าบันทึกไว้ช่วงเดือนตุลาคม 2559–กันยายน 2560 รวมระยะเวลา 1 ปี

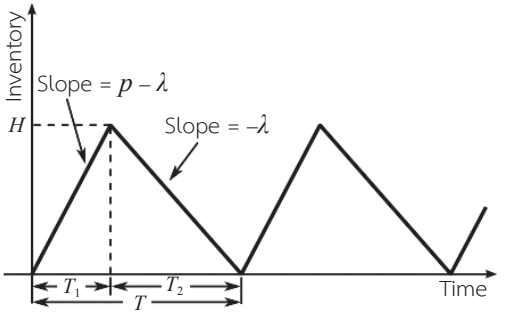
ส่วนอัตราการผลิต/การเข้ามาของสินค้า (P) และอัตราการจ่ายสินค้า (λ) คำนวณได้จากเวลาที่รถเข้ามาลงสินค้า 10 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 3,120 ชั่วโมงต่อปี และเวลาที่รถเข้ามารับสินค้า 11 ชั่วโมงต่อวัน หรือ 3,432 ชั่วโมงต่อปี โดยทั้ง อัตราการผลิต/การเข้ามาของสินค้า (P) และอัตราการจ่ายสินค้า (λ) มีหน่วยเป็นพาเลตต่อชั่วโมง

2.4 ตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมแบบไม่จำกัดอัตราการเข้ามาของสินค้า (The Infinite Production Rate Model)

ในตัวแบบคณิตศาสตร์นี้ พาเลตของสินค้าจะถูกรับเข้ามาพร้อมจัดเก็บในคลังสินค้าทันที และมีอัตราการจ่ายออกอย่างคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 7 [9]



รูปที่ 7 อัตราการเข้ามาของสินค้าแบบไม่จำกัด ($P = \infty$) [10]



รูปที่ 8 อัตราการเข้ามาของสินค้ามีค่ามากกว่าอัตราการจ่ายออก ($P > \lambda$) [10]

$$x \approx \sqrt{\left(\frac{a}{2}\right)\left(\frac{1}{n}\right)\left(\sum_{i=1}^{n}\frac{Q_i}{z_i}\right)} \qquad (1)$$

2.5 ตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมแบบจำกัดอัตราการเข้ามาของสินค้า (The Finite Production Rate Model)

ในตัวแบบคณิตศาสตร์นี้ พาเลตของสินค้าจะถูกจัดเก็บและจ่ายออกในอัตราที่จำกัด โดยที่อัตราการเข้ามาของสินค้ามีค่ามากกว่าอัตราการจ่ายออก ($P > \lambda$) และความต้องการมีค่าคงที่ (รูปที่ 8) ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่พบได้ทั่วไปในการผลิตสินค้า [10]

$$x \approx \sqrt{\frac{a\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{e_i h_i}{z_i P_i}\right)\left(Q\left(P_i-\lambda_i\right)-2\lambda_i\right)}{2\sum_{i=1}^{n} e_i h_i}} \qquad (2)$$

2.6 ความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่

ความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่ประกอบด้วย ผลรวมของความสูญเปล่า 3 ชนิด ได้แก่ ความสูญเปล่าแบบรังผึ้ง ความสูญเปล่าเนื่องจากทางวิ่งอุปกรณ์ขนถ่าย และความสูญเปล่าเนื่องจากพื้นที่ด้านบนของช่องเก็บสินค้า [10] ได้แก่

$$W \approx \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{h_i}{4z_i x}\right)\left(Q_i e_i(2x+a)+z_i x(2e_i x+ae_i-2Q_i-2)\right) \quad (3)$$

$$W_c \approx \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{h_i}{4P_i z_i x}\right)\Big(P_i\left(Q_i e(2x+a)+z_i x(2ex-2Q_i + ae-2)\right)-\lambda_i(Q_i+2)(2x(e-z_i)+ae)\Big) \quad (4)$$

3. ผลการวิเคราะห์

ผลของการคำนวณความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมและความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่จัดเก็บโดยใช้ข้อมูลดังแสดงตัวอย่างในตารางที่ 4 มีขั้นตอนดังนี้

เริ่มต้น

1. นำเข้าข้อมูลเริ่มต้น (Q_i, P_i, D_i, h_i, z_i)

2. รับค่าความกว้างของทางวิ่งรถฟอล์คลิฟต์มาเก็บไว้ในตัวแปร a

3. รับค่า Clear Height ของคลังสินค้ามาเก็บไว้ในตัวแปร e

4. คำนวณความลึกของช่องเก็บสินค้าโดยใช้สมการที่ (1) และ (2)

5. นำค่า x ที่ได้จากขั้นตอนที่ 5 ไปแทนค่าในสมการที่ (3) และ (4)

6. แสดงผล W และ W_c

จบ

จะได้ผลลัพธ์ดังนี้ ความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมจากตัวแบบที่จำกัดอัตราการเข้ามาของสินค้า มีค่าเท่ากับ 31 พาเลต ในขณะที่ตัวแบบที่ไม่จำกัดอัตราการเข้ามาของสินค้า ได้ความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมเท่ากับ 46 พาเลต หลังจากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณต่อเพื่อหาความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่จัดเก็บ ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่จัดเก็บจากความลึกของช่องที่เหมาะสมที่คำนวณได้

ความลึกของช่อง (พาเลต)	ความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่จัดเก็บ (พาเลตต่อปี)	
	แบบไม่จำกัด	แบบจำกัด
46	70,076,215,855	2,048,116
31	32,077,320,025	2,029,158

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่า ความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมที่คำนวณได้จากตัวแบบที่จำกัดอัตราการเข้ามาของสินค้า (31 พาเลต) ทำให้เกิดความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่จัดเก็บน้อยกว่าตัวแบบที่ไม่จำกัด (46 พาเลต)

4. อภิปรายผลและสรุป

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทนำว่า ความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมของการจัดเก็บแบบวางกองซ้อนส่งผลต่อความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่ การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากตัวแบบที่อัตราการเข้ามาของสินค้าไม่จำกัดและตัวแบบที่จำกัดอัตราการเข้ามาของสินค้า ซึ่งพบว่าความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมที่ได้จากตัวแบบจำกัดให้ผลลัพธ์ด้านความสูญเปล่าของพื้นที่น้อยกว่าความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมที่ได้จากตัวแบบไม่จำกัดในกรณีศึกษานี้

ความลึกของช่องที่เก็บสินค้าได้จากตัวแบบจำกัดให้ความลึกที่น้อยกว่าตัวแบบไม่จำกัด 48.39 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ ความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่จัดเก็บที่ได้จากความลึกช่องเก็บสินค้าของตัวแบบจำกัดยังน้อยกว่าที่ได้จากความลึกช่องเก็บสินค้าของตัวแบบไม่จำกัดถึง 54.23 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่งานวิจัยได้เสนอไว้ ว่าตัวแบบจำกัดจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าตัวแบบไม่จำกัดทั้งในด้านความลึกของช่องเก็บสินค้าและความสูญเปล่าโดยรวมเฉลี่ยของพื้นที่

โดยปกติแล้ว คลังสินค้าในประเทศไทยไม่ได้พิจารณาเรื่องของความลึกของช่องเก็บสินค้าที่เหมาะสมในการจัดเก็บสินค้าแบบวางกองซ้อน และไม่ทราบว่าจริงๆ แล้ว มีความสูญเปล่าด้านพื้นที่เกิดขึ้นภายในคลังสินค้า ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ คลังสินค้าต่างๆ จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบการวางผังคลังสินค้า เพื่อช่วยในการลดความสูญเปล่าของพื้นที่จัดเก็บได้

สำหรับงานวิจัยต่อไปที่จะศึกษาเพิ่มเติม อาจพิจารณาในเรื่องของสินค้าคงคลังเผื่อขาดและต้นทุนการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ขนถ่ายสินค้าด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] S. Monahan, J. Ward, M. Zimmerman, B. Sonthalia, and M. Vanhencxthoven. (2017, June). 28th Annual State of Logistics Report. Rosario Capital Ltd. Tel Aviv, Israel [Online]. Available: http://www.rosario-capital.co.il/media/files/0566 448001518943585.pdf.

[2] Office of the National Economic and Social Development Board. (2017, July). Thailand's Logistics Report 2016. Office of the National Economic and Social Development Board. Bangkok, Thailand [Online]. Available: http://www.nesdb.go.th

[3] M. G. Kay. (2015, April). Warehousing. Fitts Department of Industrial and Systems Engineering, North Carolina State University. North Carolina State, USA [Online]. Available: https://people.engr.ncsu.edu/kay/Warehousing.pdf

[4] J. A. Tompkins, J. A. White, Y. A. Bozer, and J. M. A. Tanchoco, *Facilities Planing*, 4th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010.

[5] J. Gu, M. Goetschalckx, and L. F. McGinnis, "Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review," *European Journal of Operational Research*, vol. 203, no. 3, pp. 539–549, 2010.

[6] J. A. White, J. J. Sonnentag, and J. O. Matson, "New insights regarding block stacking," in *Proceedings of IIE Annual Conference*, 2013, pp. 1225–1234.

[7] R. Accorsi, G. Baruffaldi, and R. Manzini, "Design and manage deep lane storage system layout. An iterative decision – support model," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 92, no. 1–4, pp. 57–67, 2017.

[8] S. Derhami, J. Smith, and K. Gue, "A simulation model to evaluate the layout for block stacking warehouses," in *Proceedings of 14th International Material Handling Research*, 2016, pp. 1–27.

[9] J. J. Bartholdi, III and S. T. Hackman. (2017, August). Warehouse & Distribution Science Release 0.98. The Supply Chain & Logistics Institute, Georgia Institute of Technology, Atlanta, USA [Online]. Available: https://www.warehouse-science.com/book/editions/wh-sci-0.98.pdf

[10] S. Derhami, J. Smith, and K. Gue, "Optimising space utilization in block stacking warehouses," *International Journal of Production Research*, vol. 55, no. 21, pp. 6436–6452, 2016.