การหาค่าที่ดีที่สุดในการกำหนดตำแหน่งภายใต้อุปสงค์และอุปทานที่แปรผันตามเวลา

Optimizing Storage Assignment Under Time-Varying Demand and Supply

สกุลชัย พรหมสร[1] ศิรวดี อรัญนารถ[1*] และอาทิตย์ อภิโชติธนกุล[1]

Sakulchai Promsorn[1] Sirawadee Arunyanart[1*] and Arthit Apichottanakul[1]

Received: *August 1, 2022;* ***Revised:*** *October 20, 2022;* ***Accepted:*** *October 20, 2022*

บทคัดย่อ

การจัดสินค้าเข้าที่ (Put-Away) และการหยิบสินค้า (Order Picking) ถือเป็นกิจกรรมในคลังสินค้าที่มีต้นทุนสูง โดยมีค่าใช้จ่ายสูงถึง 55 % ของค่าใช้จ่ายทั้งหมดภายในคลังสินค้า และเวลาส่วนใหญ่ที่เสียไปเกิดจากการเดินทางเพื่อจัดเก็บและหยิบสินค้าซึ่งสูงถึง 55 % ของเวลาทั้งหมด งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาตำแหน่งการจัดเก็บที่เหมาะสมสำหรับสินค้าในแต่ละช่วงเวลาเพื่อให้ระยะทางการหยิบและจัดเก็บสินค้าสั้นที่สุดภายใต้นโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งจัดเก็บและนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่ม โดยทำการศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพด้านระยะทางการหยิบและจัดเก็บ โดยการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับ Add-in Open Solver ของโปรแกรม Microsoft Excel โดยใช้ Solver Engine ของ Gurobi ในการหาค่าคำตอบ จากการทดสอบด้วยปัญหาภายใต้สมมุติฐานคลังสินค้าที่ทราบการเปลี่ยนแปลงของความต้องการของสินค้าที่ต้องหยิบและสินค้าที่ต้องรับเข้าเพื่อจัดเก็บล่วงหน้าพบว่านโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มมีประสิทธิภาพทางด้านการลดระยะทางการทำงานมากกว่านโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งภายในปัญหาที่ได้กำหนดขึ้น โดยระยะทางการหยิบและจัดเก็บสินค้าของนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มน้อยกว่านโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งถึง 11.2 %

คำสำคัญ : ปัญหาการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บ; กำหนดการเชิงเส้น; อุปสงค์และอุปทานที่แปรผันตามเวลา

[1] *คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น*

[1] *Faculty of Engineering, Khon Kaen University*

[*] *Corresponding Author, Tel. 09 4601 0222, E - mail: sirawadee@kku.ac.th*

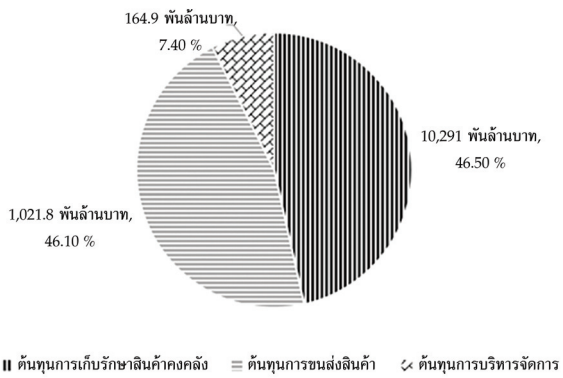
Abstract

Putaway and order picking are high-cost warehousing activities, accounting for up to 55 % of the total cost in the warehouse. Furthermore, most of the time is being wasted on trips to store and pick up, which can add up to 55 % of the total working time. This research proposed mathematical models to determine the optimal storage locations in each period by minimizing pick up and storage traveling distances under two storage policies, including dedicated storage and random storage. The efficiency in minimizing traveling distance was studied and compared by applying the mathematical model with Add-in Open Solver in Microsoft Excel using Gurobi Optimizer solver engine to solve the problem. Under the assumption that the warehouse knew the change in demand and supply in advance, the results indicated that the random storage policy was more efficient in minimizing traveling distance than the dedicated storage policy. In fact, the total traveling distance of the random storage policy was 11.2 % less than the dedicated storage policy.

Keywords: Storage Location Assignment Problem; Linear Programming; Time-Varying Demand and Supply

บทนำ

การจัดการคลังสินค้ามีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อระบบโลจิสติกส์ ในปี พ.ศ. 2563 ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลังมีมูลค่าสูงถึง 1,029.1 พันล้านบาท คิดเป็น 46.5 % ของต้นทุนโลจิสติกส์ ซึ่งสูงที่สุดดังรูปที่ 1 เป็นผลมาจากต้นทุนการถือครองสินค้าเพิ่มขึ้น เนื่องจากสัดส่วนสินค้าสำเร็จรูปคงคลังต่อปริมาณการจำหน่ายสินค้ามีค่าเพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณสินค้าที่ต้องเก็บรักษาเพิ่มมากขึ้น [1] และจากการขยายตัวของธุรกิจพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Commerce) ในปี พ.ศ. 2564 มีการเติบโตเพิ่มขึ้น 6.1 % ส่งผลให้ธุรกิจที่มีความเกี่ยวข้องอย่างคลังสินค้ามีอัตราการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน [2] โดย [3] ได้ศึกษาการคัดเลือกสถานที่ตั้งคลังสินค้าควบคุมพิเศษที่เหมาะสม ซึ่งมีการพิจารณาปัจจัยทางด้านต้นทุนคลังสินค้าและต้นทุนขนส่งสินค้า [4] ศึกษาระบบโลจิสติกส์เชิงดิจิทัลสำหรับการให้บริการด้านอาหารในธุรกิจร้านอาหารเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพทางด้านการจัดเตรียมวัตถุดิบภายในห้องจัดเก็บ และ [5] ได้ศึกษาการประยุกต์แนวคิดลีนซิกส์มาโลจิกสติกส์ในการควบคุมและลดต้นทุนในคลังวัสดุ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการจัดการคลังสินค้า



รูปที่ 1 โครงสร้างมูลค่าต้นทุนโลจิสติกส์ปี พ.ศ. 2563

ISSN 2672-9369 (Online)

การจัดการคลังสินค้าให้มีประสิทธิภาพสูงมีความสำคัญอย่างมากในการแข่งขันทางธุรกิจเพราะสามารถช่วยลดต้นทุนได้ โดยกิจกรรมที่มีต้นทุนการดำเนินงานมากที่สุดภายในคลังสินค้าคือ กิจกรรมการหยิบสินค้า (Order Picking) ซึ่งมีต้นทุนสูงถึง 55 % ของต้นทุนการบริหารคลังสินค้า เนื่องจากกิจกรรมการหยิบสินค้าเป็นกิจกรรมที่ต้องอาศัยเวลาในการเดินทางและค้นหาสินค้า โดยเวลาส่วนใหญ่ที่ใช้ในกิจกรรมการหยิบสินค้าคือการเดินทางเพื่อไปหยิบ ซึ่งสูงถึง 55 % ของเวลาทั้งหมดในกิจกรรมการหยิบสินค้า [6] ดังนั้นการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการหยิบสินค้า [7] คลังสินค้าสามารถลดระยะทางการทำงานได้หากมีการบริหารตำแหน่งการจัดเก็บที่เหมาะสมตั้งแต่แรก เนื่องจากการมีตำแหน่งการจัดเก็บที่เหมาะสมตั้งแต่แรกถือเป็นพื้นฐานในการพัฒนาประสิทธิภาพด้วยวิธีอื่น ๆ ต่อไป จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บ (Storage Location Assignment Problem: SLAP) ซึ่งเป็นวิธีการหาตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสมโดยมีเป้าหมายเพื่อลดระยะทางในการขนย้ายสินค้า โดย [8] ได้กล่าวว่าวิธีการแก้ปัญหา SLAP ที่ถูกนำมาใช้มากที่สุดก็คือ วิธีการหาค่าคำตอบแบบแม่นตรง (Exact Method) นอกจากนี้ [9] ได้กล่าวว่างานวิจัยส่วนใหญ่มักจะศึกษานโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่ง (Dedicated Storage) และนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่ม (Random Storage)

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บหลากหลายรูปแบบในหลากหลายสถานการณ์ แต่มีงานวิจัยจำนวนไม่มากนักที่ได้พิจารณาปัญหาด้านระดับของอุปสงค์และอุปทานที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาร่วมด้วย หรือปัญหาที่ในแต่ละช่วงเวลาสินค้าที่ต้องรับเข้าคลังสินค้ามีจำนวนไม่เท่ากันหรือสินค้าที่ต้องหยิบตามคำสั่งซื้อไม่เท่ากัน ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความใกล้เคียงกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริงมากยิ่งขึ้น จากสถานการณ์ข้างต้นส่งผลให้การกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บที่เหมาะสมมีความท้าทายมากยิ่งขึ้น เนื่องจากตำแหน่งการจัดเก็บที่ได้กำหนดไว้อาจไม่มีความเหมาะสมในแต่ละช่วงเวลา ยกตัวอย่างเช่น คลังสินค้าร้านค้าปลีก-ส่ง ที่มีอัตราการหมุนเวียนสินค้าอยู่ตลอด ส่งผลให้ต้องพิจารณาสินค้าเข้าออกเป็นรายวัน นอกจากนี้ร้านค้าประเภทนี้มักจะมีพื้นที่สำหรับจัดเก็บสินค้าไม่เพียงพอส่งผลให้ต้องมีการจัดเก็บสินค้าหลายชนิดไว้ภายในตำแหน่งเดียวกัน

เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บที่เหมาะสม [10] - [12] ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อกำหนดตำแหน่งจัดเก็บสินค้าด้วยนโยบายการจัดเก็บแบบระบุตำแหน่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะทางการหยิบสินค้าให้สั้นที่สุด โดยที่ [10] ได้พิจารณาจำนวนของประตู ประเภทของสินค้า ตำแหน่งช่องจัดเก็บและชั้นของช่องจัดเก็บ โดยใช้โปรแกรม Lingo ในการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าคำตอบที่เหมาะสม [11] ได้พิจารณากลุ่มของสินค้าเพื่อกำหนดตำแหน่งจัดเก็บเป็นโซน โดยใช้โปรแกรม Excel Solver ในการแก้ปัญหา และ [12] ได้ศึกษาเพื่อปรับปรุงระบบบริหารจัดการคลังสินค้าเพื่อกำหนดตำแหน่งในการจัดเก็บสินค้าภายใต้สมมุติฐานปริมาณความต้องการคงที่และไม่คงที่ ซึ่งได้ทำการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ร่วมกับโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo และทำการเปรียบเทียบนโยบายการจัดเก็บสินค้าแบบกำหนดตำแหน่งและแบบสุ่ม โดยนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มสามารถลดระยะทางจากเดิมได้ถึง 10 % จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ [10] - [12] นั้น พิจารณาความถี่ของสินค้าในการคำนวณหาระยะทางการทำงานภายในคลัง แต่ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยต้องการพิจารณาจำนวนชิ้นของสินค้าที่ต้องหยิบและจัดเก็บ เพื่อให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์หาค่าความถี่ที่เข้าไปยังตำแหน่งจัดเก็บในแต่ละช่วงเวลาที่สอดคล้องกับความจุต่อรอบในการขนย้าย

[13] ได้ศึกษาการวางแผนล่วงหน้าในการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสมให้กับสินค้าในคลังสินค้า โดยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming) และนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาด้วยการจับคู่แบบ 3 มิติ เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มที่สามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งจัดเก็บได้ตามช่วงเวลา แต่ในการศึกษานี้ไม่ได้พิจารณาจำนวนสินค้าที่ต้องจัดเก็บต่อตำแหน่งและจำนวนสินค้าที่หยิบออกจากตำแหน่ง จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า [10] - [13] ได้ทำการศึกษา

เพื่อแก้ไขปัญหาการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บแต่ไม่ได้พิจารณาจำนวนของสินค้าที่ต้องหยิบและจัดเก็บ โดย [12] – [13] ได้ศึกษาเกี่ยวกับนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่ม แต่ [12] ไม่ได้พิจารณาช่วงเวลาส่งผลให้ไม่สามารถกำหนดตำแหน่งจัดเก็บในแต่ละช่วงเวลาได้ จึงไม่สามารถหาค่าคำตอบล่วงหน้าได้ ทำให้ต้องหาค่าคำตอบใหม่อยู่เสมอ ในขณะที่ [13] มีการพิจารณาช่วงเวลาส่งผลให้สามารถกำหนดตำแหน่งจัดเก็บล่วงหน้าได้ [14] ได้ศึกษาการบริหารจัดการคลังสินค้าโดยการหาจำนวนสินค้าที่ต้องผลิตและตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาความไม่แน่นอนของระดับอุปทาน โดยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บสินค้าพร้อมกำหนดปริมาณการผลิต โดยมีการพิจารณาจำนวนของสินค้าและช่วงเวลา ซึ่งมีความใกล้เคียงกับปัญหาที่ผู้วิจัยต้องการแก้ไข แต่ปัญหาที่ผู้วิจัยต้องการแก้ไขคือการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บของคลังสินค้าที่ไม่ได้พิจารณาปริมาณการผลิต

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าการศึกษาปัญหาการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บที่พิจารณาทั้งระดับอุปสงค์และอุปทานยังมีอยู่น้อย เพื่อแก้ไขปัญหาการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บภายใต้นโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มโดยพิจารณาจำนวนสินค้าที่ต้องหยิบและจัดเก็บ ผู้วิจัยได้นำสมการของ [14] มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาคลังสินค้าที่มีนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มโดยมีเงื่อนไขของระดับอุปสงค์และอุปทานที่เปลี่ยนแปลงได้ตามช่วงเวลา โดยข้อดีของการพิจารณาการขนย้ายเป็นจำนวนชิ้นและช่วงเวลานั้น จะช่วยให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถหาค่าความถี่ของสินค้าต่อตำแหน่งจัดเก็บ และเนื่องจากมีการพิจารณาจำนวนของสินค้า ทำให้สามารถทราบระดับของสินค้าคงคลังในแต่ละตำแหน่งและสามารถวางแผนล่วงหน้าเพื่อเติมสินค้าไปยังตำแหน่งจัดเก็บที่มีพื้นที่ว่าง นอกจากนี้ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับนโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่ง เพื่อเปรียบเทียบนโยบายการจัดเก็บทั้งสองแบบ ซึ่งงานวิจัยนี้ต่างจาก [14] ที่เป็นการแก้ไขปัญหาการบริหารคลังสินค้าที่พิจารณาเพียงระดับความต้องการสินค้าและต้องการหาจำนวนการผลิตที่เหมาะสม

วิธีการดำเนินการวิจัย

เพื่อให้การดำเนินการวิจัยเป็นไปตามเป้าหมาย ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 2 และมีรายละเอียดดังนี้

1. **กำหนดลักษณะของปัญหา**

เพื่อให้สามารถพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ทั้งสองรูปแบบได้ ผู้วิจัยได้กำหนดลักษณะของปัญหาที่ต้องการพิจารณา โดยมีปัญหาที่ต้องการแก้ไขคือ ปัญหาการกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บภายในคลังสินค้าภายใต้สมมุติฐานคลังสินค้าทราบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณความต้องการของสินค้าและทราบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณสินค้าที่ต้องรับเข้าคลังเพื่อจัดเก็บล่วงหน้า โดยปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ระยะทางในการหยิบและจัดเก็บสินค้ามากเกินไปเนื่องจากปริมาณความต้องการของสินค้าและสินค้าที่ต้องรับเข้านั้นเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลา ทำให้การวางแผนการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บที่เหมาะสมเป็นไปได้ยากและซับซ้อนหากใช้เพียงประสบการณ์ของผู้ปฏิบัติงาน

วัตถุประสงค์ของการแก้ไขปัญหาคือ หาตำแหน่งการจัดเก็บที่เหมาะสมเพื่อให้มีระยะทางการหยิบและจัดเก็บสินค้าสั้นที่สุด โดยที่คลังสินค้ามีประตูรับส่งสินค้าเพียงประตูเดียว ชนิดของสินค้าที่ต้องจัดเก็บมีขนาดและน้ำหนักใกล้เคียงกัน ลักษณะการทำงานภายในคลังเป็นการขนย้ายสินค้าเป็นจำนวนชิ้น และกำหนดให้สามารถขนย้ายสินค้าได้เพียงชนิดเดียวต่อรอบ

2. **ขอบเขตของการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์**

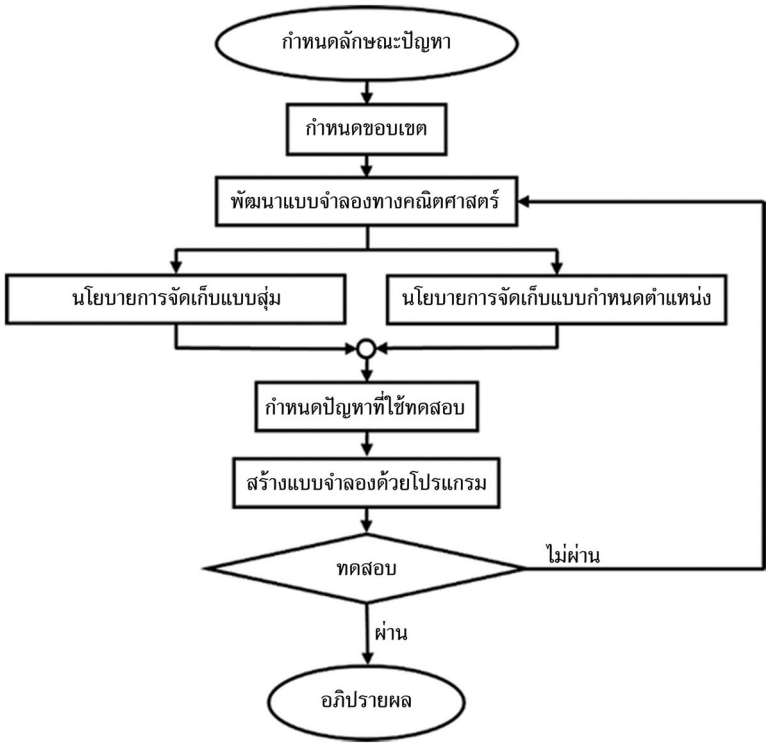
2.1 นโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งการจัดเก็บ กำหนดให้สามารถจัดเก็บสินค้าได้เฉพาะในตำแหน่งจัดเก็บที่ได้ถูกกำหนดไว้ ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

2.2 นโยบายการจัดเก็บแบบสุ่ม กำหนดให้สามารถจัดเก็บสินค้าไว้ที่ตำแหน่งใดก็ได้

ISSN 2672-9369 (Online)

2.3 กำหนดให้หลังจากการหยิบหรือจัดเก็บสินค้าจะต้องเดินทางกลับไปยังประตู จำนวนคนหรืออุปกรณ์เคลื่อนย้ายมีเพียงพอต่อการเคลื่อนย้าย จำนวนช่องจัดเก็บมีเพียงพอต่อการจัดเก็บสินค้า และสินค้ามีเพียงพอต่อความต้องการเสมอ

2.4 กิจกรรมภายในคลังสินค้าเริ่มด้วยการจัดเก็บสินค้าที่ต้องรับเข้าคลังสินค้าก่อนทั้งหมดแล้วจึงจะทำการหยิบสินค้าตามคำสั่งซื้อ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ เนื่องจากขอบเขตของนโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งทำให้จำเป็นที่จะต้องไม่มีสินค้าอยู่ภายในคลังก่อน ส่งผลให้ต้องเริ่มต้นด้วยกิจกรรมการจัดเก็บก่อน



รูปที่ 2 ผังงานวิธีการดำเนินงานวิจัย

3. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 นโยบายการจัดเก็บแบบสุ่ม

ดัชนี (Indices)

i ชนิดสินค้า ; $i = 1,2,3,\ldots,M$

j ตำแหน่งจัดเก็บ ; $j = 1,2,3,\ldots,N$

t ช่วงเวลา ; $t = 1,2,3,\ldots,T$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameters)

S_{it} : จำนวนสินค้า i ที่ต้องจัดเก็บเข้าคลังสินค้า ณ เวลา t

P_{it} : ความต้องการของสินค้า i ณ เวลา t

d_j : ระยะทางระหว่างประตูไปยังตำแหน่ง j

R_{ij0} : จำนวนของสินค้า i คงเหลือที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t ที่ 0 ซึ่ง 0 คือ ช่วงเวลาเริ่มต้น

$StorageCap$: ความจุต่อตำแหน่งจัดเก็บสินค้า

$CarryingCap$: ความจุต่อรอบที่สามารถขนย้ายสินค้าได้

ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

R_{ijt} : จำนวนของสินค้า i คงเหลือที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t หลังจากมีการหยิบสินค้าออก

u_{ijt} : จำนวนสินค้า i ที่จะถูกจัดเก็บที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

v_{ijt} : จำนวนสินค้า i ที่หยิบจากตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

x_{ijt} : จำนวนรอบในการเข้าไปจัดเก็บสินค้า i ที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

y_{ijt} : จำนวนรอบในการเข้าไปหยิบสินค้า i ที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$Min\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\left(d_j x_{ijt} + d_j y_{ijt}\right) \tag{1}$$

เงื่อนไข (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{M} u_{ijt} \le x_{ijt} CarryingCap \qquad \forall j,t \tag{2}$$

$$\sum_{i=1}^{M} v_{ijt} \le y_{ijt} CarryingCap \qquad \forall j,t \tag{3}$$

$$u_{ijt} \le \left(StorageCap - R_{ijt-1}\right) \qquad \forall i,j,t \tag{4}$$

$$v_{ijt} \le \left(R_{ijt-1} + u_{ijt}\right) \qquad \forall i,j,t \tag{5}$$

$$\sum_{j=1}^{N} u_{ijt} = S_{it} \qquad \forall i,t \tag{6}$$

$$\sum_{j=1}^{N} v_{ijt} = P_{it} \qquad \forall i,t \tag{7}$$

$$\sum_{i=1}^{M}\left(R_{ijt-1} + u_{ijt}\right) \le StorageCap \qquad \forall j,t \tag{8}$$

$$R_{ijt} = R_{ijt-1} + u_{ijt} - v_{ijt} \qquad \forall i,j,t \tag{9}$$

$$u_{ijt}, v_{ijt}, x_{ijt}, y_{ijt} = Integer \qquad \forall i,j,t \tag{10}$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายในการหาตำแหน่งจัดเก็บที่ให้ระยะทางการจัดเก็บและหยิบสินค้าสั้นที่สุด โดยสมการที่ (2) - (10) เป็นสมการเงื่อนไข สมการที่ (2) และ (3) กำหนดให้ไม่สามารถขนย้ายปริมาณสินค้าเกินความสามารถในการขนย้าย สมการที่ (4) จัดเก็บสินค้าได้เฉพาะตำแหน่งที่ว่าง สมการที่ (5) หยิบสินค้าได้เฉพาะที่ถูกจัดเก็บไว้ สมการที่ (6) สินค้าที่ต้องรับเข้าทุกชิ้นต้องถูกจัดเก็บ สมการที่ (7)

ISSN 2672-9369 (Online)

ต้องหยิบสินค้าให้ครบตามความต้องการ สมการที่ (8) จัดเก็บสินค้าได้ไม่เกินความจุของตำแหน่งจัดเก็บ สมการที่ (9) แสดงความสัมพันธ์ของสินค้าคงเหลือ และสมการที่ (10) กำหนดให้ตัวแปรดังกล่าวเป็นจำนวนเต็ม

3.2 นโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่ง

ดัชนี (Indices)

i ชนิดสินค้า ; $i = 1,2,3,\ldots,M$

j ตำแหน่งจัดเก็บ ; $j = 1,2,3,\ldots,N$

t ช่วงเวลา ; $t = 1,2,3,\ldots,T$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameters)

S_{it} : จำนวนสินค้า i ที่ต้องจัดเก็บเข้าคลังสินค้า ณ เวลา t

P_{it} : ความต้องการของสินค้า i ณ เวลา t

d_j : ระยะทางระหว่างประตูไปยังตำแหน่ง j

R_{ij0} : จำนวนของสินค้า i คงเหลือที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t ที่ 0 ซึ่ง 0 คือ ช่วงเวลาเริ่มต้น

$StorageCap$: ความจุต่อตำแหน่งจัดเก็บสินค้า

$CarryingCap$: ความจุต่อรอบที่สามารถขนย้ายสินค้าได้

ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

R_{ijt} : จำนวนของสินค้า i คงเหลือที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t หลังจากมีการหยิบสินค้าออก

u_{ijt} : จำนวนสินค้า i ที่จะถูกจัดเก็บที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

v_{ijt} : จำนวนสินค้า i ที่หยิบจากตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

$w_{ij} =$ 1 : กำหนดให้สินค้า i ถูกจัดเก็บไว้ที่ตำแหน่ง j ;

0, ในกรณีอื่น ๆ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

x_{ijt} : จำนวนรอบในการเข้าไปจัดเก็บสินค้า i ที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

y_{ijt} : จำนวนรอบในการเข้าไปหยิบสินค้า i ที่ตำแหน่ง j ณ ช่วงเวลา t มีค่าเป็นจำนวนเต็ม

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$Min \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\left(d_j x_{ijt} + d_j y_{ijt}\right) \tag{11}$$

เงื่อนไข (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{M} w_{ijt} \le 1 \qquad \forall j,t \tag{12}$$

$$u_{ijt} \le x_{ijt} CarryingCap \qquad \forall i,j,t \tag{13}$$

$$v_{ijt} \le y_{ijt} CarryingCap \qquad \forall i,j,t \tag{14}$$

$$u_{ijt} \le \left(\left(w_{ij} StorageCap\right) - R_{ijt-1}\right) \qquad \forall i,j,t \tag{15}$$

$$v_{ijt} \le \left(R_{ijt-1} + u_{ijt}\right) \qquad \forall i,j,t \qquad (16)$$

$$\sum_{j=1}^{N} u_{ijt} = S_{it} \qquad \forall i,t \qquad (17)$$

$$\sum_{j=1}^{N} v_{ijt} = P_{it} \qquad \forall i,t \qquad (18)$$

$$R_{ijt} = R_{ijt-1} + u_{ijt} - v_{ijt} \qquad \forall i,j,t \qquad (19)$$

$$u_{ijt}, v_{ijt}, x_{ijt}, y_{ijt} = Integer \qquad \forall i,j,t \qquad (20)$$

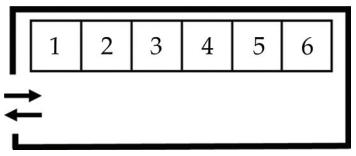
$$w_{ij} \in \{0,1\} \qquad (21)$$

สมการที่ (11) เป็นสมการเป้าหมายในการหาตำแหน่งจัดเก็บที่ให้ระยะทางการจัดเก็บและหยิบสินค้าสั้นที่สุด สมการที่ (12) - (21) เป็นสมการเงื่อนไข โดยสมการที่ (12) กำหนดให้ตำแหน่งจัดเก็บสามารถจัดเก็บสินค้าได้ชนิดเดียว สมการที่ (13) และ (14) กำหนดให้ไม่สามารถขนย้ายปริมาณสินค้าเกินความสามารถในการขนย้ายต่อรอบ สมการที่ (15) จัดเก็บสินค้าได้ไม่เกินความจุของตำแหน่งจัดเก็บ สมการที่ (16) หยิบสินค้าได้เฉพาะที่ถูกจัดเก็บไว้ สมการที่ (17) สินค้าที่ต้องรับเข้าทุกชิ้นต้องถูกจัดเก็บ สมการที่ (18) ต้องหยิบสินค้าให้ครบตามความต้องการ สมการที่ (19) แสดงความสัมพันธ์ของสินค้าคงเหลือ สมการที่ (20) กำหนดให้ตัวแปรดังกล่าวเป็นจำนวนเต็ม และสมการที่ (21) กำหนดให้ตัวแปรดังกล่าวเป็นตัวแปรฐานสอง

4. กำหนดปัญหาเพื่อทดสอบ

ในการทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้จำลองลักษณะของปัญหาขึ้นเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านระยะทางการทำงาน โดยปัญหาที่ได้กำหนดเป็นปัญหาขนาดเล็กที่ใช้เพื่อสาธิตวิธีการทำงานของแบบจำลองให้สามารถเข้าใจง่าย กำหนดให้ช่วงเวลาเริ่มต้นภายในคลังสินค้าไม่มีสินค้าจัดเก็บอยู่ (R_{ij0}) เนื่องจากขอบเขตของนโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งทำให้จำเป็นต้องไม่มีสินค้าค้างอยู่ในตำแหน่งจัดเก็บเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการกำหนดตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมเอาไว้ก่อนหน้า และกำหนดให้ระยะห่างระหว่างช่วงเวลาคือ 1 วัน โดยมีแผนผังของคลังสินค้าดังรูปที่ 3 ปริมาณสินค้าที่จัดเก็บและหยิบในตารางที่ 1 ระยะทางไปกลับจากประตูถึงตำแหน่งจัดเก็บดังตารางที่ 2 และตัวแปรนำเข้าดังนี้

4.1 สินค้า (i) ภายในคลังสินค้าทั้งหมด 5 ชนิด
4.2 ตำแหน่งจัดเก็บ (j) ทั้งหมด 6 ตำแหน่ง
4.3 ช่วงเวลา (t) ทั้งหมด 6 ช่วงเวลา
4.4 ความจุต่อตำแหน่งจัดเก็บ ($StorageCap$) คือ 50 ชิ้นต่อตำแหน่งจัดเก็บ
4.5 ความจุต่อรอบการขนย้าย ($CarryingCap$) คือ 10 ชิ้นต่อรอบการขนย้าย
4.6 ระยะทางไปกลับจากประตูถึงตำแหน่งจัดเก็บ (d_j) ดังตารางที่ 1
4.7 ปริมาณสินค้าที่ต้องจัดเก็บ (S_{it}) และหยิบ (P_{it}) ดังตารางที่ 2



รูปที่ 3 แผนผังของคลังสินค้า

ISSN 2672-9369 (Online)

ตารางที่ 1 ปริมาณสินค้าที่จัดเก็บ (S_{it}) และหยิบ (P_{it}) หน่วย: จำนวนชิ้น

สินค้า (i)	ช่วงเวลา (t) หน่วย: วันที่												
	จัดเก็บ (S_{it})							หยิบ (P_{it})					
	วันที่	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1		50	-	-	40	-	-	5	15	20	15	-	15
2		50	-	-	40	-	-	15	15	10	10	20	-
3		50	-	-	40	-	-	10	-	10	15	10	25
4		50	-	-	40	-	-	20	10	10	10	25	10
5		50	-	-	20	-	-	10	-	10	10	10	-

ตารางที่ 2 ระยะทางไปกลับจากประตูถึงตำแหน่งจัดเก็บ (d_j) หน่วย: เมตร

(d_j)	ตำแหน่งการจัดเก็บ (j)					
	1	2	3	4	5	6
ระยะทาง หน่วย: เมตร	5	10	15	20	25	30

5. **ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วย Solver Engine**

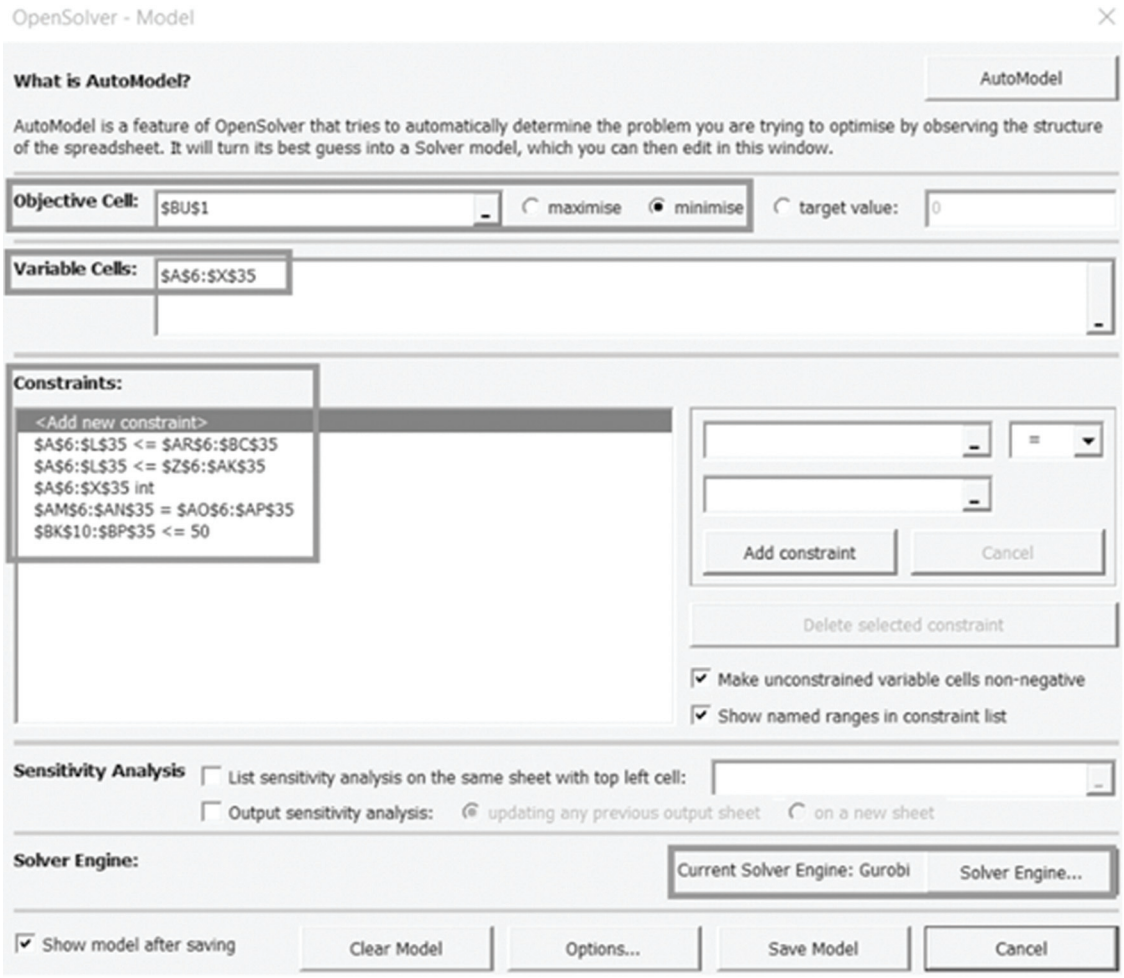
หลังจากได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และกำหนดปัญหาขึ้นเพื่อทดสอบแล้ว ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นด้วย Add-in Open Solver ของโปรแกรม Microsoft Excel ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย [15] ดังรูปที่ 4 และ 5 และมีรายละเอียดดังนี้

เซลล์วัตถุประสงค์ (Objective Cell) กำหนดให้หาค่าที่ต่ำที่สุด (Minimize) ซึ่งภายในเซลล์จะเป็นสมการวัตถุประสงค์ $Min\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}\left(d_j x_{ijt} + d_j y_{ijt}\right)$ สมการที่ (1) และ (11)

เซลล์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ (Variable Cell) สามารถกำหนดจำนวนของเซลล์ที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อให้ Solver Engine เปลี่ยนแปลงค่าในเซลล์ที่กำหนดเพื่อใช้หาค่าคำตอบที่เหมาะสม โดยตัวแปรตัดสินใจจะต้องอยู่ภายใน Variable Cell ซึ่งจะประกอบไปด้วย ตัวแปร $u_{ijt}, v_{ijt}, x_{ijt}, y_{ijt} \forall i, j, t$ และ $w_{ij} \forall i, j$

ข้อจำกัด (Constraints) คือส่วนที่ใช้กำหนดสมการข้อจำกัด ซึ่งสามารถกำหนดจำนวนของเซลล์ให้เป็นไปตามข้อจำกัดได้ โดยจะมีการกำหนดให้ มากกว่าหรือเท่ากับ น้อยกว่าหรือเท่ากับ และเท่ากับ ซึ่งจำนวนของเซลล์ที่อยู่ฝั่งซ้ายของสมการต้องเท่ากับจำนวนของเซลล์ที่อยู่ฝั่งขวาของสมการ หรือสามารถกำหนดให้เซลล์นั้น ๆ มีค่าเป็นจำนวนเต็ม มีค่าที่แตกต่างกัน หรือมีค่าเป็นเลขฐานสอง

เครื่องมือสำหรับแก้ไขปัญหา (Solver Engine) สามารถเลือกเครื่องมือสำหรับใช้แก้ไขปัญหาได้ โดยเครื่องมือแต่ละรูปแบบจะเหมาะสมตามแต่ละปัญหา ผู้วิจัยเลือก Gurobi Optimizer ซึ่งมีความเหมาะสมกับปัญหาการกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มและแบบผสม



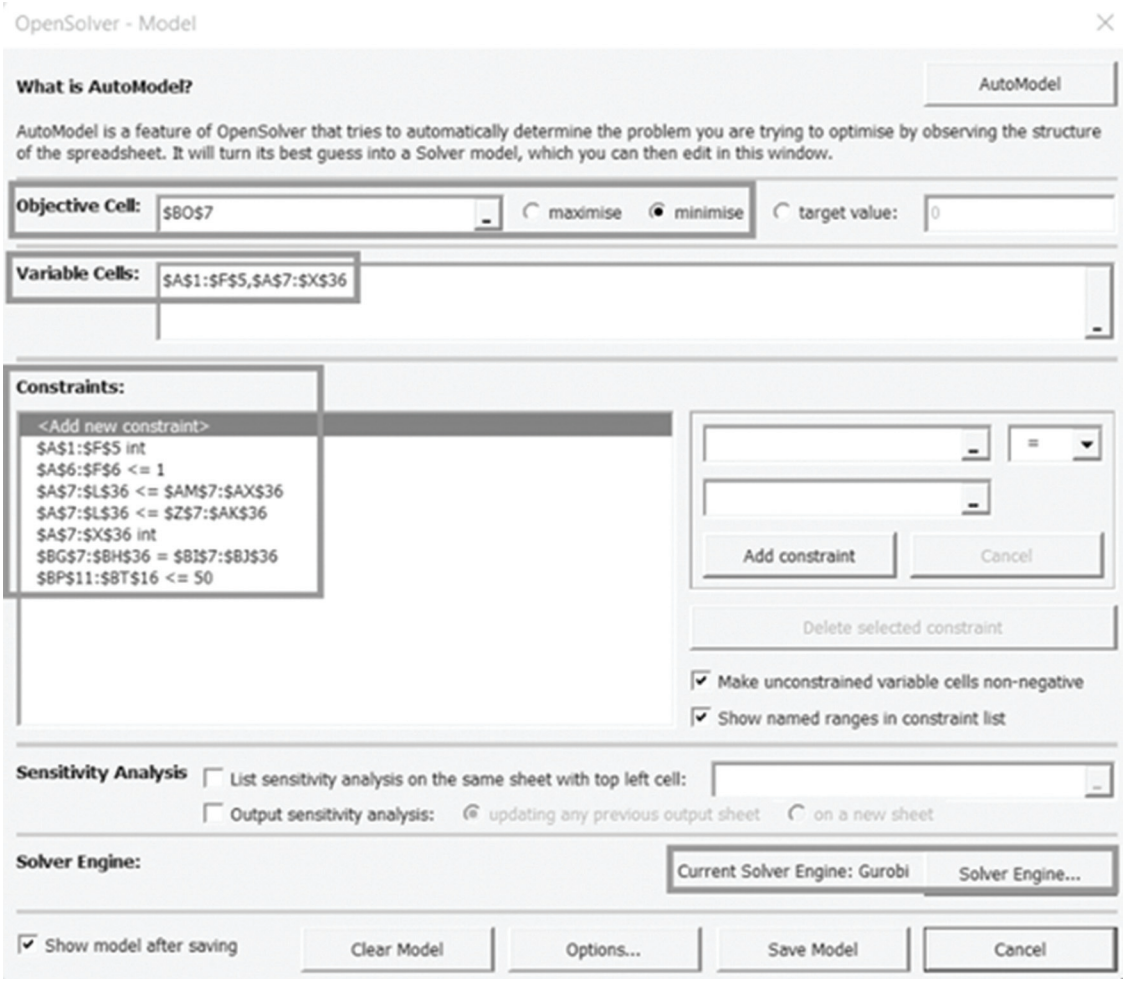
รูปที่ 4 การสร้างแบบจำลองนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่ม

ผลการทดลอง

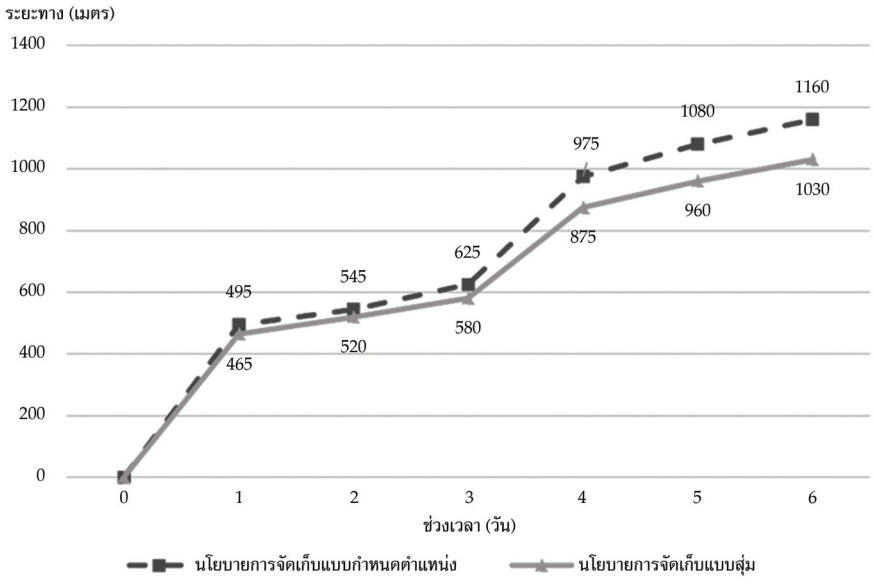
จากการทดสอบแบบจำลองด้วยปัญหาที่ได้กำหนดขึ้นพบว่านโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มให้ผลด้านการลดระยะทางการทำงานได้มากกว่านโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งในทุก ๆ ช่วงเวลา โดยมีระยะทางในการทำงานรวมทั้งหมด 1,030 เมตร ในขณะที่นโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งมีระยะทางทำงานรวมทั้งหมดสูงถึง 1,160 เมตร ดังรูปที่ 6

นอกจากนี้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นยังสามารถแสดงค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้ จำนวนสินค้าคงคลังที่คงเหลือในตำแหน่งจัดเก็บต่าง ๆ ในทุก ๆ ช่วงเวลา ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากตัวแปร R_{ijt} ดังรูปที่ 7 และ 8 จำนวนสินค้าที่จะถูกจัดเก็บและหยิบที่ตำแหน่งจัดเก็บในช่วงเวลาต่าง ๆ u_{ijt}, v_{ijt} จำนวนรอบที่ใช้ในการจัดเก็บและหยิบ x_{ijt}, y_{ijt} ดังตารางที่ 3 สามารถอ่านค่าได้โดยเริ่มจากคอลัมน์ซ้ายไปขวายกตัวอย่างได้ดังนี้ ในแถวที่ช่วงเวลาที่ 1 สินค้าที่ 1 มีการจัดเก็บเข้าตำแหน่งจัดเก็บที่ 1 จำนวน 5 ชิ้น โดยต้องขนย้ายทั้งหมด 1 รอบ เข้าตำแหน่งจัดเก็บที่ 2 จำนวน 35 ชิ้น โดยต้องขนย้ายทั้งหมด 4 รอบ และเข้าตำแหน่งจัดเก็บที่ 3 จำนวน 10 ชิ้น โดยต้องขนย้ายทั้งหมด 1 รอบและมีการหยิบสินค้าจากตำแหน่งที่ 1 จำนวน 5 ชิ้น โดยต้องขนย้ายทั้งหมด 1 รอบ

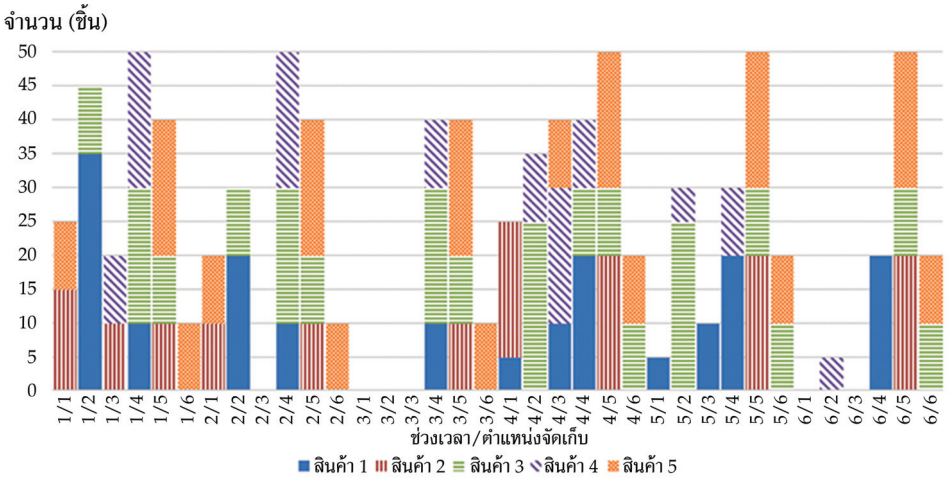
ISSN 2672-9369 (Online)



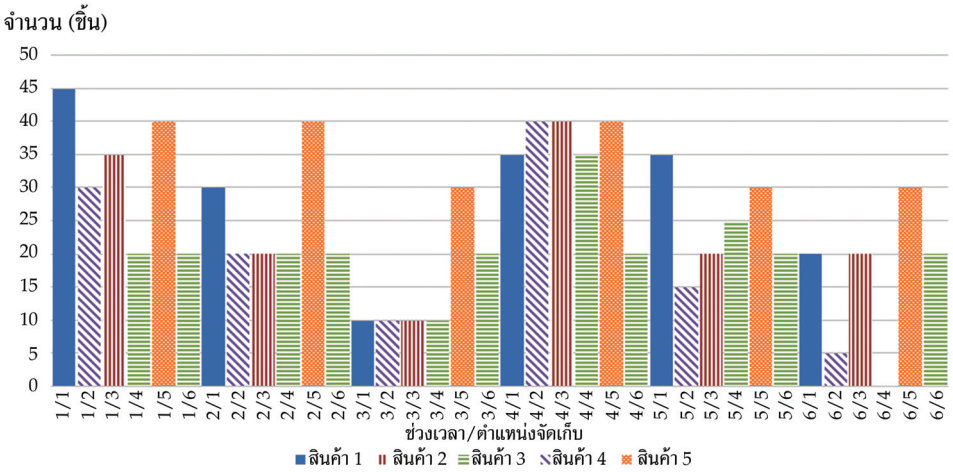
รูปที่ 5 การสร้างแบบจำลองนโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่ง



รูปที่ 6 ระยะทางการทำงานรวม



รูปที่ 7 สินค้าคงคลังของนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่ม



รูปที่ 8 สินค้าคงคลังของนโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่ง

สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาตำแหน่งการจัดเก็บที่เหมาะสมสำหรับสินค้าในแต่ละช่วงเวลาและได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างนโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งและนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่ม จากการทดสอบแบบจำลองภายใต้ปัญหาที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นพบว่านโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มมีความเหมาะสมมากกว่านโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่ง เนื่องจากนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มมีประสิทธิภาพทางด้านการลดระยะทางการจัดเก็บและหยิบสินค้ามากกว่านโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่ง โดยภายใต้ปัญหาที่ได้ทดสอบนโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มให้ผลลัพธ์ด้านระยะทางรวมที่ใช้ในการจัดเก็บและหยิบสินค้าน้อยกว่านโยบายการจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่งถึง 11.2 % งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบบจำลองสถานการณ์ภายใต้ปัญหาที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้น เพื่อให้สามารถเห็นตัวอย่างการทำงานและเข้าใจการทำงานได้ง่ายมากขึ้น อย่างไรก็ตามในกรณีอื่น ๆ นโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มก็มีแนวโน้มที่จะให้ระยะทางการทำงานสั้นกว่าเนื่องจากใช้ช่องจัดเก็บขั้นต่ำน้อยกว่าเพราะสามารถจัดเก็บสินค้าหลายชนิดไว้ในตำแหน่งจัดเก็บเดียวกันได้

ISSN 2672-9369 (Online)

ตารางที่ 3 รูปแบบการหยิบและจัดเก็บสินค้า

ช่วงเวลา	สินค้า	การจัดเก็บแบบสุ่ม		การจัดเก็บแบบกำหนดตำแหน่ง	
		จัดเก็บ	หยิบ	จัดเก็บ	หยิบ
		ตำแหน่ง/จำนวน/รอบ	ตำแหน่ง/จำนวน/รอบ	ตำแหน่ง/จำนวน/รอบ	ตำแหน่ง/จำนวน/รอบ
1	1	1/5/1 2/35/4 3/10/1	1/5/1	1/50/5	1/5/1
	2	1/15/2 2/5/1 3/20/2 4/10/1	2/5/1 3/10/1	3/50/5	3/15/2
	3	1/10/1 2/10/1 4/20/2 5/10/1	1/10/1	4/30/3, 6/20/2	4/10/1
	4	3/30/3 4/20/2	3/20/2	2/50/5	2/20/2
	5	1/20/2 5/20/2 6/10/1	1/10/1	5/50/5	5/10/1
2	1	-	2/15/2	-	1/15/2
	2	-	1/5/1 3/10/1	-	3/15/2
	3	-	-	-	-
	4	-	3/10/1	-	2/10/1
	5	-	-	-	-
3	1	-	2/20/2	-	1/20/2
	2	-	1/10/1	-	3/10/1
	3	-	2/10/1	-	4/10/1
	4	-	4/10/1	-	2/10/1
	5	-	1/10/1	-	5/10/1
4	1	1/10/1 3/20/2 4/10/1	1/5/1 3/10/1	1/40/4	1/15/2
	2	1/30/3 5/10/1	1/10/1	3/40/4	3/10/1
	3	2/30/3 6/10/1	2/5/10 4/10/1	4/40/4	4/15/2
	4	1/10/1 2/10/1 3/20/2	1/10/1	2/40/4	2/10/1
	5	2/10/1 3/10/1	2/10/1	5/20/2	5/10/1
5	1	-	-	-	1/15/2
	2	-	1/20/2	-	3/10/1
	3	-	4/10/1	-	4/15/2
	4	-	2/5/1 3/20/2	-	2/10/1
	5	-	3/10/1	-	5/10/1
6	1	-	1/5/1 3/10/1	-	1/15/2
	2	-	-	-	-
	3	-	2/25/3	-	3/25/3
	4	-	4/10/1	-	2/10/1
	5	-	-	-	-

แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นเหมาะสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในคลังสินค้าธุรกิจค้าปลีก-ส่ง เนื่องจากปัญหาส่วนใหญ่ที่ธุรกิจค้าปลีก-ส่งพบเจอมักเป็นปัญหาด้านการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บที่ไม่เหมาะสมทำให้ต้องเดินหยิบสินค้าไกล นอกจากนี้ธุรกิจประเภทนี้มักมีพื้นที่การจัดเก็บไม่เพียงพอดังนั้นจำเป็นที่ต้องมีการจัดเก็บสินค้าหลายชนิดรวมกันในตำแหน่งจัดเก็บเดียวกัน นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ใช้ โปรแกรม Microsoft Excel ที่สามารถเข้าถึงและเรียนรู้ได้ง่ายส่งผลให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ โดยปัญหาที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้นเป็นปัญหาขนาดเล็ก เพื่อใช้สาธิตหลักการและวิธีการทำงานของแบบจำลองให้เข้าใจได้ง่าย แต่หากต้องการนำไปใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ขึ้น เช่น มีชนิดของสินค้าจำนวนมากขึ้น จำนวนของตำแหน่งจัดเก็บมากขึ้น และจำนวนของช่วงเวลามากขึ้น ก็สามารถทำได้ แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ใช้นำเข้าก็จำเป็นต้องมีความสอดคล้องกัน โดยที่จำนวนสินค้าที่ต้องรับเข้าคลัง ความต้องการของสินค้า และจำนวนตำแหน่งจัดเก็บนั้นจะต้องมีความสอดคล้องและเหมาะสม

ถึงแม้ว่านโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มจะให้ประสิทธิภาพด้านการลดระยะทางที่ดีกว่าในกรณีที่ได้ทดสอบด้วยปัญหาที่ผู้วิจัยได้กำหนดขึ้น แต่ควรมีการนำแบบจำลองไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในรูปแบบอื่น ๆ หรือนำไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริง โดยการวิจัยในอนาคตนั้นผู้วิจัยจะทำการประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ใกล้เคียงกับการทำงานจริงมากยิ่งขึ้นเพื่อศึกษานโยบายการจัดเก็บแบบสุ่มที่พิจารณาการจัดเก็บแบบแยกชนิดของสินค้าต่อตำแหน่งการจัดเก็บเพื่อให้สามารถนำนโยบายการจัดเก็บไปประยุกต์ใช้ในสถานการณ์จริงได้ง่ายมากยิ่งขึ้น หรือเพิ่มการพิจารณาองค์ประกอบต่าง ๆ เพิ่มเติม เช่น ขนาดของสินค้า นอกจากนี้จะพิจารณาการรวมการกำหนดคำสั่งซื้อและการกำหนดตำแหน่งจัดเก็บเข้าด้วยกันเพื่อใช้ลดต้นทุนการบริหารคลังสินค้าให้ได้ต่ำที่สุด

References

[1] Office of the National Economic, and Social Development Council. (2020). **Thailand's Logistics Report 2020**. Access (30 June 2022). Available (https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=11803)

[2] Electronic Transactions Development Agency, and Ministry of Digital Economy and Society. (2021). **Value of E-Commerce Survey in Thailand 2021**. Access (30 June 2022). Available (https://www.etda.or.th/th/pr-news/ETDA-Reveals-the-Value-of-e-Commerce-in-2021.aspx)

[3] Pimpatchim, A., Supattananon, N., and Akararungrunngkul, R. (2020). Warehouse Location Selection Using Analytic Hierarchy Process for Special Controlled Warehouse. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 13, No. 2, pp. 56-71 (in Thai)

[4] Ramjan, S. (2019). Digital Logistics for Food Service in Service Business by Fuzzy Logic: A Case Study of Japanese Teppanyaki Kitchen. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 12, No. 2, pp. 115-137 (in Thai)

[5] Nanthasamroeng, N., Phayatham, P., and Suwandee, M. (2021). An Application of Lean Six Sigma Logistics for an Improvement for Supplies Warehouse in a Body & Paint Repairing Center. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 14, No. 2, pp. 14-27 (in Thai)

[6] Bartholdi, J. and Hankman, S. (2019). **Warehouse and Distribution Science Release 0.98.1**. Supply Chain Logist. Inst

ISSN 2672-9369 (Online)

[7] van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., and de Koster, R. B. M. (2018). Designing Efficient Order Picking Systems by Combining Planning Problems: State-of-the-Art Classification and Review. **European Journal of Operational Research**. Vol. 267, Issue 1, pp. 1-15. DOI: 10.1016/j.ejor.2017.09.002

[8] Bahrami, B., Piri, H., and Aghezzaf, E. H. (2019). Class-Based Storage Location Assignment: An Overview of the Literature. In O. Gusikhin, K. Madani, & J. Zaytoon (Eds.). In **Proceedings of the 16th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics - Volume 1: ICINCO**. pp. 390-397. Setubal, Portugal: Scitepress. DOI: 10.5220/0007952403900397

[9] Reyes, J. J. R., Solano-Charris, E. L., and Montoya-Torres, J. R. (2019). The Storage Location Assignment Problem: A Literature Review. **International Journal of Industrial Engineering Computations**. Vol. 10, No. 2, pp. 199-224. DOI: 10.5267/j.ijiec. 2018.8.001

[10] Khaiwthong, P. and Pitiruek, K. (2022). Layout Design to Determine Storage Location for an Agriculture Warehouse. **FEAT JOURNAL Farm Engineering and Automation Technology Journal**. Vol. 8, No. 1, pp. 69-77

[11] Na Chiangmai, N. and Pongsathornwiwat, A. (2022). Efficiency Improvement of Raw-Materials Warehouse by Designing of Optimal Layout and Storage Location Assignment in a Diaper Manufacturing. **Thai Industrial Engineering Network Journal**. Vol. 8, No. 1, pp. 28-38

[12] Cherdchom, U. and Peerapattana, P. (2019). The Improvement of Warehouse Management System to Determine Storage Location for the Product: A Case Study of Northeast Distribution Cen. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**. Vol. 21, No. 2, pp. 65-74 (in Thai)

[13] Jienwatcharamongkhol, V. and Yaowasuwanchai, S. (2015). Planning in Advance for Determine Appropriate Location for Product in the Warehouse. **Kasetsart Egineering Journal**. pp. 73-86 (in Thai)

[14] Thi, N. T., Phung, P. T. K., and Tham, T. T. (2020). Optimizing Warehouse Storage Location Assignment under Demand Uncertainty. In **5th International Conference on Green Technology and Sustainable Development (GTSD)**. pp. 562-568. DOI: 10.1109/ GTSD50082.2020.9303113

[15] Taiji, E. (2021). **OpenSolver 2.9.4 Beta Release**. Access (30 June 2022). Available (https://opensolver.org/tag/google-sheets)