บทความวิจัย

การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการกำหนดวิธีการจัดเก็บวัสดุในระบบการจัดเก็บและเรียกค้นอัตโนมัติ กรณีศึกษาคลังสินค้าอัตโนมัติ ABC

อนวัชร ศรีสารคาม และ ปณิธาน พีรพัฒนา*
สาขาวิชาวิศวอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 6715 3906 อีเมล: panpee@kku.ac.th
DOI: 10.14416/j.kmutnb.2023.07.013
รับเมื่อ 31 มกราคม 2565 แก้ไขเมื่อ 7 เมษายน 2565 ตอบรับเมื่อ 10 พฤศจิกายน 2565 เผยแพร่ออนไลน์ 17 กรกฎาคม 2566
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงระบบจัดเก็บและเรียกค้นอัตโนมัติ (Automated Storage/Retrieval System; AS/RS) การกำหนดวิธีการจัดเก็บและเรียกค้นอัตโนมัติทำได้หลายวิธีด้วยกัน ทั้งการปรับปรุงขนาดคลังสินค้า ปรับปรุงรูปแบบการรับเข้าของสินค้า รวมไปถึงปรับปรุงการเคลื่อนที่ของเครื่องจักรจัดเก็บและเรียกค้น (S/R Machine) ดังนั้นผู้ให้บริการคลังสินค้า ต้องให้ความสำคัญเกี่ยวกับการกำหนดวิธีการจัดเก็บและเรียกค้นวัสดุเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด จากคลังสินค้าอัตโนมัติบริษัทกรณีศึกษาพบว่า มีช่วงเวลาที่สินค้าในระบบถูกรับเข้า-ออกในช่วงเวลาที่คาบเกี่ยวกันในลักษณะคำสั่งเดี่ยว (Single Command) คิดเป็นร้อยละ 52.20 ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเปล่าในการดำเนินการของ S/R Machine งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อกำหนดวิธีการจัดเก็บ และเรียกค้นในคลังสินค้าโดยมุ่งเน้นไปที่การลดเวลาในการทำงานของ S/R Machine ผู้วิจัยเลือกวิธีการทำงานแบบคำสั่งคู่ (Dual Command) คือ การที่ให้ S/R Machine นั้นสามารถทำงานได้ทั้งการจัดเก็บสินค้าและการเรียกค้นสินค้าในการเดินทางเพียง 1 รอบคำสั่ง โดยประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุกรรม (Genetics Algorithms; GA) ในการกำหนดตำแหน่งในการจัดเก็บและเรียกค้นเปรียบเทียบกับวิธีรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Math Model) ผ่านการทดลองทางตัวเลขกับปัญหาคลังสินค้าขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ พบว่าวิธีการที่นำเสนอใช้เวลาในการคำนวณเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดน้อยกว่าและได้คำตอบที่เข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด (Near Optimum)

คำสำคัญ: คลังสินค้าอัติโนมัติ วิธีการทำงานแบบคำสั่งคู่ วิธีการเชิงพันธุกรรม ระบบการจัดเก็บและเรียกค้นสินค้าอัตโนมัติ

การอ้างอิงบทความ: อนวัชร ศรีสารคาม และ ปณิธาน พีรพัฒนา, "การประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการกำหนดวิธีการจัดเก็บวัสดุในระบบการจัดเก็บและเรียกค้นอัตโนมัติ กรณีศึกษาคลังสินค้าอัตโนมัติ ABC," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 33, ฉบับที่ 4, หน้า 1–12, เลขที่บทความ 234-055784, ต.ค.–ธ.ค. 2566.

Research Article

An Application of Genetic Algorithm to Determine Storage Method for Materials in AS/RS a Case Study of an ABC Automated Warehouse

Anawat Srisarakam and Panitarn Peerapattana*
Department of Industrial Engineering, 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.2023.07.013
Received 31 January 2022; Revised 7 April 2022; Accepted 10 November 2022; Published online: 17 July 2023
© 2023 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This article discusses about the features of Automated Storage/Retrieval Systems. There are several ways to define automated storage and retrieval methods such as improving warehouse sizes, improving consolidated goods receipt patterns and improving the movement of the Storage/Retrieval machine (S/R machine). The warehouse operator must consider the determination of how materials are stored and retrieved for maximum efficiency. According to a case study of an automated warehouse, the time when goods in the system were in and out during the overlapping period as a single command accounted for 52.20%, causing operational waste of the S/R machine. This research study aims to define warehouse storage and retrieval methods with a focus on reducing the operating time of the S/R machine. We apply a dual command method in which the S/R machine can work for both storage and retrieval operations in just one cycle. We applied Genetics Algorithms (GA) to determine storage location and retrieval compared with the math model, through experiments with small, medium and large warehouses problems. It was found that the proposed method took less time to obtain the near optimum solution.

Keywords: Automated Warehouse, Dual Command, Genetic Algorithm, Automated Storage/Retrieval System

Please cite this article as: A. Srisarakam and P. Peerapattana, "An application of genetic algorithm to determine storage method for materials in AS/RS a case study of an ABC automated warehouse," *The Journal of KMUTNB*, vol. 33, no. 4, pp. 1–12, ID. 234-055784, Oct.–Dec. 2023 (in Thai).

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

อุตสาหกรรมโลจิสติกส์ในปัจจุบันมีการเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะคลังสินค้ามีการพัฒนานวัตกรรมและเทคโนโลยีที่ทันสมัย เช่น การสร้างระบบอัตโนมัติ (Automated) โดยการรองรับของ Algorithm รูปแบบต่างๆเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพและเกิดความคล่องตัวมากขึ้น นอกจากนี้ผู้ให้บริการคลังสินค้าส่วนใหญ่ [1] จะใช้ซอฟท์แวร์หรือแอปพลิเคชันเข้ามาช่วยในการทำงานร่วมด้วย เช่น WMS TMS ERP เป็นต้น

ระบบการจัดเก็บและเรียกค้นอัตโนมัติ (AS/RS) ใช้กันอย่างแพร่หลายในคลังสินค้าและศูนย์กระจายสินค้าทั่วโลก [2] จัดว่าเป็นระบบจัดเก็บสินค้าแบบอัตโนมัติเต็มรูปแบบ ซึ่งประกอบด้วยชั้นวางหนึ่งหรือหลายชั้นที่เข้าถึงได้โดยเครื่องจักรจัดเก็บและเรียกค้น (S/R) Machine เนื่องจากระบบดังกล่าวมีต้นทุนในการลงทุนค่อนข้างสูงมาก จึงต้องกำหนดวิธีจัดการที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ที่จะกำหนดวิธีการจัดเก็บสินค้าของระบบจัดเก็บสินค้าแบบอัตโนมัติของบริษัทกรณีศึกษาให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อลดต้นทุนและตอบสนองความต้องการของลูกค้าจากข้อมูลการดำเนินงานของคลังสินค้าอัตโนมัติบริษัทกรณีศึกษา [3] พบว่า มีช่วงเวลาที่สินค้าในระบบถูกรับเข้า-ออกในช่วงเวลาที่คาบเกี่ยวกันคิดเป็นร้อยละ 52.20 ในจำนวนนี้มากกว่าร้อยละ 80 ของเครื่องจักรจัดเก็บและเรียกค้น ทำงานเป็นแบบคำสั่งเดี่ยว (Single Command) ซึ่งก่อให้เกิดความสูญเปล่าในการดำเนินการของ S/R Machine โดยในการศึกษาของ [4] พบว่าในคลังสินค้าที่มีวิธีการกำหนดการจัดเก็บสินค้าเป็นรูปแบบคำสั่งคู่จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการขนถ่าย (Throughput) ได้ดีขึ้นถึงร้อยละ 48 ผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการทำงานของ S/R Machine แบบคำสั่งคู่ คือการที่ให้ S/R Machine นั้นสามารถทำงานได้ทั้งการจัดเก็บสินค้าและการเรียกค้นสินค้าในการเดินทางเพียง 1 รอบคำสั่ง และเนื่องจากตำแหน่งในการจัดเก็บและเรียกค้นมีจำนวนมากผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้วิธีทางพันธุกรรม [5] ซึ่งเป็นวิธีการทางเมตะฮิวริสติกส์มาช่วยในการกำหนดตำแหน่ง และเปรียบเทียบกับวิธีทางคณิตศาสตร์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบเมตะฮิวริสติกส์ ในการกำหนดตำแหน่งโดยใช้วิธีทางพันธุกรรม เพื่อลดเวลาในการคำนวณและเข้าถึงค่าคำตอบที่เข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด

1.3 ทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรม

จากการทบทวนทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่าส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการลดระยะเวลาในการเดินทางของ S/R Machine และอัลกอลิทึมในการลดเวลาการคำนวณตามลำดับ ผู้วิจัยจึงเลือกวิธีกำหนดปัญหาให้เหมาะกับคลังสินค้าในปัจจุบัน ดังนี้

[6] อธิบายเกี่ยวกับวิธีการคำนวณหาเวลาในการเดินทางของ S/R machine โดยใช้วิธีคำนวณจากความกว้างและยาวของคลังสินค้าโดยระบุว่ารูปแบบการเดินทางแบบคำสั่งคู่นั้นสมารถลดระยะเวลาในการเดินทางได้ดีกว่าคำสั่งเดี่ยว 52.20% เช่นเดียวกับ [7] ได้ทดลองวิธีรูปแบบการเดินทางคำสั่งคู่กับรูปแบบการเดินทาง Quadruple Command (4 คำสั่งจัดเก็บและเรียกค้นใน 1 รอบ) พบว่า 4 คำสั่งจัดเก็บและเรียกค้นใน 1 รอบ สามารถลดเวลาในการเดินทางเมื่อเทียบกับ คำสั่งคู่ ได้ 9.31% กรณีที่จะใช้ 4 คำสั่งจัดเก็บและเรียกค้นใน 1 รอบ จะต้องปรับแต่งลักษณะของ S/R Machine ให้รองรับการขนถ่ายสินค้ามากกว่า 1 ชิ้น ด้วย ในขณะที่ [8] อธิบายเกี่ยวกับวิธีการคำนวณหา เวลาในการเดินทางของ S/R Machine โดยใช้วิธีคำนวณ พิกัดจุดแบบเมทริกซ์ ซึ่งเป็นวิธีที่ปรับปรุงมาจาก [9] และใช้รูปแบบการเดินทางแบบ คำสั่งคู่ โดยประยุกต์ใช้วิธีการขอบเขตรอบข้างใกล้ที่สุด (Nearest Neighbour; NN) วิธีการขอบเขตรอบข้างใกล้ที่สุดย้อนกลับ (Reversed Nearest Neighbour; RNN) และเปรียบเทียบกับวิธีทางพันธุกรรมพบว่า จากการทดลอง 1000 คำสั่ง จะได้ค่าคำตอบที่ดีเรียงตามลำดับดังนี้ คือ NN, RNN และ GA

จากวรรณกรรมของ [10] ที่ระบุว่าวิธีนี้สามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าการระบุตำแหน่งแบบกว้างและยาวเนื่องจาก

ปัจจุบันมีโปรแกรมที่ช่วยในการจัดการข้อมูลของคลังสินค้า คือ (Warehouse Management System; WMS) จึงทำให้ง่ายต่อการหาระยะทางระหว่างจุด และผู้วิจัยเลือกรูปแบบการเดินทางแบบคำสั่งคู่ ถึงแม้ จะระบุว่า 4 คำสั่งจัดเก็บและเรียกค้นใน 1 รอบ นั้น สามารถลดเวลาในการเดินทางเมื่อเทียบกับแบบคำสั่งคู่ได้ 9.31% แต่การที่จะใช้ 4 คำสั่งจัดเก็บและเรียกค้นใน 1 รอบ จำเป็นต้องปรับแต่งลักษณะของ S/R Machine ให้รองรับการขนถ่ายสินค้ามากกว่า 1 ชิ้นด้วย ซึ่งจากราคาของ S/R Machine ในปัจจุบันราคาอยู่ที่ 1–5 ล้านบาท ซึ่งเมื่อเทียบกับ 9.31% ที่ลดเวลาได้และ S/R Machine ที่รองรับการขนถ่ายสินค้ามากกว่า 1 ชิ้น ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย ผู้วิจัยจึงเลือก วิธีคำสั่งคู่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และสุดท้ายผู้วิจัยเลือกวิธีทางพันธุกรรม มาใช้ในการคำนวณเนื่องจาก ได้เปรียบเทียบวิธีแบบฮิวริสติกส์ และเมตะฮิวริสติกส์ โดยสรุปว่า GA เหมาะกับการคำนวณ กับรูปแบบปัญหาแบบไม่เป็นโพลิโนเมียลแบบยาก (NP Hard) ในคลังสินค้าอัตโนมัติมากกว่า

1.4 วิธีการแก้ปัญหาแบบเมตะฮิวริสติกส์

โดยปกติระบบจริง (Real Practice) มักมีเงื่อนไขหรือข้อจำกัด (Constraints) รวมทั้งตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter) และตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) จำนวนมาก จึงทำให้ปัญหาดังกล่าวมีความซับซ้อนในการสร้างตัวแบบตัดสินใจ (Decision Model) ที่อาจจะไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ให้ครอบคลุมเงื่อนไขทั้งหมดของปัญหาได้ นอกจากนี้ ระบบที่มีความซับซ้อนยังทำให้วิธีหาผลเฉลย (Solution Method) มีความซับซ้อนตามไปด้วย ถึงแม้ในการหาผลเฉลยของปัญหาอาจต้องใช้เวลามากเกินไป โดย [10] ได้พัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ซึ่งมีความยืดหยุ่น รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นถึงแม้ผลเฉลยที่ได้อาจไม่ใช่ค่าเหมาะสมที่สุด หรือไม่สามารถรับประกันคุณภาพผลเฉลยให้ดีทุกครั้งที่ทำการประมวลผลได้ ถือเป็นวิธีการหาค่าผลเฉลยที่มีค่าโดยประมาณ ทั้งนี้ส่วนใหญ่การพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์จะเป็นวิธีการที่ขึ้นอยู่กับปัญหาหนึ่งๆ โดยเฉพาะ อย่างไรก็ตามก็มีการพัฒนาแนวทางในการแก้ปัญหาที่ดีที่เรียกว่าเมตะฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristics) ซึ่งสามารถหาผลเฉลยที่ดีได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม โดยไม่ขึ้นกับปัญหา (Probler-independent Techniques) การแก้ปัญหาโดยวิธีเมตะฮิวริสติกส์ได้จากการพัฒนาและดัดแปลงวิธีหาแบบศึกษาสำนึกให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาที่มีความซับซ้อนและจำนวนมากได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ได้พัฒนาเมตะฮิวริสติกส์เป็นเสมือนการสร้างรูปแบบทั่วไปที่ไม่จำเป็นต้องรู้ข้อมูลเฉพาะและสามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาที่กว้างขึ้น

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

ในการกำหนดวิธีการจัดเก็บวัสดุในคลังสินค้านั้น กิจกรรมที่มีความสำคัญที่จะต้องดำเนินการคือการวิเคราะห์การไหล [11] เนื่องจากการไหลเป็นข้อมูลที่สำคัญมากที่สุดอีกอย่างหนึ่งที่เชื่อมโยงกับระบบการผลิต หรือการบริการโดยตรงทั้งในกระบวนการผลิตและการบริการจะต้องมีเคลื่อนที่ของวัสดุหรือคนที่เกี่ยวข้องเสมอ ซึ่งการไหลนั้นเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเคลื่อนย้ายขนถ่ายวัสดุ [12] ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ไม่เกิดประโยชน์หรือมูลค่าเพิ่ม แต่ส่วนใหญ่ยังไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ทั้งหมดดังนั้นการจัดการการไหลที่ดีนั้นจึงเป็นเรื่องสำคัญอีกอย่างหนึ่งที่จะสนับสนุนระบบการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด [13] ปัญหาการจัดการเก็บสินค้าในคลังสินค้าเป็นรูปแบบปัญหาแบบไม่เป็นโพลิโนเมียลแบบยาก (NP Hard) โดยส่วนมากมักใช้วิธีเมตะฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) ในการหาตำแหน่งการจัดเก็บที่ดีที่สุด

2.1 ระเบียบวิจัย

2.1.1 การเก็บข้อมูลงานวิจัยซึ่งได้เก็บรวบรวมโดยวิศวกรของบริษัทกรณีศึกษาโดยแสดงตัวอย่างใน ตารางที่ 1

2.1.2 พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2020a บนระบบปฏิบัติการวินโดว์ 10 และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพดังนี้ Processor: AMD Ryzen™ 7 3700X CPU® Base Clock 3.6GHz. Installed Memory (RAM): RAM DDR4(2666) 16GB. System Type:

ตารางที่ 1 แสดงรายการตัวอย่างการจัดเก็บและเรียกค้นอัตโนมัติในคลังสินค้ากรณีศึกษา

Lot Date	Expiry Date	ผู้ทำรายการ	เวลาทำรายการ	ประเภท	Movement Type
15/03/2021	14/03/2023	Administrator	03/05/2021 10:14	รับอัตโนมัติ	PICK
15/03/2021	14/03/2023	Administrator	03/05/2021 10:14	รับอัตโนมัติ	PICK
15/03/2021	14/03/2023	Administrator	03/05/2021 10:16	รับอัตโนมัติ	STORE
08/04/2021	08/04/2022	Administrator	03/05/2021 15:10	รับอัตโนมัติ	PICK
06/04/2021	06/04/2022	Administrator	03/05/2021 15:11	รับอัตโนมัติ	PICK
06/04/2021	06/04/2022	Administrator	03/05/2021 15:12	รับอัตโนมัติ	STORE
06/04/2021	06/04/2022	Administrator	03/05/2021 15:13	รับอัตโนมัติ	STORE
15/12/2020	15/12/2022	Administrator	03/05/2021 15:56	รับอัตโนมัติ	STORE

64bit Operating System ในการประมวลผลเพื่อหาคำตอบ

2.1.3 ประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบเมตะฮิวริสติกส์ในการกำหนดตำแหน่ง และพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับการจัดลำดับ การจัดเก็บสินค้าในรูปแบบแบ่งขอบเขต วิธีขั้นตอนวิธีการขอบเขตรอบข้างใกล้ที่สุด รวมทั้งวิธีการขอบเขตรอบข้างใกล้ที่สุดย้อนกลับ (Reversed Nearest Neighbour) เพื่อเปรียบเทียบกับวิธีทางคณิตศาสตร์

2.2 อธิบายรายละเอียดของปัญหา

โดยปกติระบบคลังสินค้ากรณีศึกษาคลังสินค้าอัตโนมัติ ABC มีเงื่อนไข ค่าตัวแปรที่ทราบค่า และตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก เนื่องจากเป็นคลังสินที่เก็บสินค้าที่ต้องรักษาอุณหภูมิ และสินค้าบางชนิดไม่สามารถเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องได้นาน จึงทำให้ต้องมีการจัดเก็บ และเรียกค้น อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้สินค้าถูกจัดเก็บเข้าสู่อุณหภูมิที่เหมาะสม โดยไม่เกิดความเสียหาย ปัญหาดังกล่าวมีความซับซ้อนในการสร้างตัวแบบตัดสินใจ ที่ไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ให้คลอบคลุมเงื่อนไขทั้งหมดของปัญหาได้ นอกจากนี้ ระบบที่มีความซับซ้อนยังทำให้วิธีหาผลเฉลย (Solution Method) มีความซับซ้อนตามไปด้วย ถึงแม้ในการหาผลเฉลยของปัญหาอาจต้องใช้เวลานานมากเกินไป ดังนั้น ในการหาผลเฉลยของปัญหาที่ซับซ้อนนั้น วิธีฮิวริสติกส์จึงเป็นวิธีหนึ่งที่ถูกพัฒนาให้มีความยืดหยุ่นได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นถึงแม้ผลเฉลยที่ได้อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุด หรือไม่สามารถรับประกันคุณภาพผลเฉลยให้ดีทุกครั้ง โดยทั่วไปการพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์มักจะเป็นวิธีการที่ขึ้นอยู่กับปัญหาที่เข้าใจความคิดหรือกระบวนการปรับตัวตามธรรมชาติมาประยุกต์ร่วมกันกับศาสตร์ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์เพื่อนำมาพัฒนาเป็นอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาต่างๆ อย่างเป็นขั้นตอน เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำเสนอการประยุกต์ใช้เมตะฮิวริสติกส์ด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม ในการค้นหาคำตอบโดยอาศัยกลุ่มประชากรและการพัฒนาอัลกอริทึม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบได้ดียิ่งขึ้น

2.3 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

ดัชนี (Indices)

k คือ ดัชนีตำแหน่งในแนวนอน $k \in [1,m]$

j คือ ดัชนีตำแหน่งในแนวตั้ง $k \in [1,q]$

I คือ ประเภทของวัสดุ $i \in [1,n]$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

m คือ จำนวนของตำแหน่ง ในแถว

q คือ จำนวนของตำแหน่ง ในคอลัมพ์

S_h คือ ความเร็วแนวนอนของเครื่อง S/R ในแนวตั้ง หน่วยเป็น (m/s)

S_v คือ ความเร็วแนวตั้งของเครื่อง S/R ในแนวตั้ง หน่วยเป็น (m/s)

S_j คือ ความเร็วแนวนอนของเครื่อง S/R ในแนวนอน

หน่วยเป็น (m/s)

S_{kj} คือ เมทริกซ์สถานะชั้นวาง องค์ประกอบของเมทริกซ์นี้แสดงถึงประเภทวัสดุที่จัดเก็บในสถานที่ในคลังสินค้า

$S_{kj} = 1$, เมื่อ มีวัสดุใน Location นั้น

$S_{kj} = 0$, เมื่อ Location นั้นว่าง

$S_v =$

C คือ เวกเตอร์ของปริมาณประเภทวัสดุที่ลูกค้าร้องขอ เช่น $C = [q_1, q_2, \dots, q_n]$

q_j คือ จำนวนรายการที่ร้องขอ j สำหรับคำขอของลูกค้าทั้งหมด

X คือ ตัวการตัดสินใจอาร์เรย์หลายมิติ(Multidimensional Array)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$t_{kj} = max(k/sh, j/sv)$ คือ เวลาในการเดินทางตำแหน่งของพิกัด Travel Time (k,j)

$tdc_{k_1 k_2 j_1 j_2} = max(k_1/sh, j_1/sv) + max(k_2/sh, j_2/sv) + max(|k_1 - k_2|/sh, |j_1 - j_2|/sv)$ คือ เวลาในการเดิน 1 รอบ Cycle Time (Travel Time of Dual Cycle)

$X_{k_1 k_2 j_1 j_2} = 0$ หรือ $1, k_1 k_2 \epsilon [1,\dots m]$ และ $j_1 j_2 \epsilon [1,\dots q]$

$X_{k_1 k_2 j_1 j_2} = 1$ ถ้าตำแหน่งของพิกัด k_1, j_1 และตำแหน่งของพิกัด k_2, j_2 ใช้สำหรับ DC cycle

$X_{k_1 k_2 j_1 j_2} = 0$ อื่นๆ

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$Objective: \quad min \sum_{k_1=1}^{m} \sum_{k_2=1}^{m} \sum_{j_1=1}^{q} \sum_{j_2=1}^{q} X_{k_1 k_2 j_1 j_2} \times tdc_{k_1 k_2 j_1 j_2} \quad (1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{k_1=1}^{m} \sum_{k_2=1}^{m} \sum_{j_1=1}^{q} \sum_{j_2=1}^{q} X_{k_1 k_2 j_1 j_2} = 1 \quad (2)$$

$$X_{k_1 k_2 j_1 j_2} \le 1 \text{ ถ้า } (S_{k_1 j_1} = 0) \text{ และ และ } (C_1 > 0) \quad (3)$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 & 5 & 3 & 0 & 5 & 9 & 1 & 4 \\ 2 & 0 & 4 & 3 & 2 & 4 & 0 & 6 & 7 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 4 & 0 & 6 & 1 & 8 & 3 & 4 \\ 6 & 3 & 0 & 2 & 4 & 9 & 2 & 2 & 4 & 5 \\ 10 & 7 & 4 & 8 & 3 & 5 & 4 & 5 & 3 & 9 \end{bmatrix}$$

รูปที่ 1 ตำแหน่งชั้นวางของพิกัด

$$X_{k_1 k_2 j_1 j_2 1} \le 0 \text{ อื่นๆ} \quad (4)$$

สมการเป้าหมายที่แสดงในสมการที่ (1) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ค่าเวลาในการเดินทางในการจัดเก็บและเรียกค้นของ S/R Machine ต่ำที่สุด ส่วนสมการที่ (2) แสดงการทำงานของ S/R Machine จากพิกัด k_1, j_1 ไปยังพิกัด k_2, j_2 สมการที่ (3) แสดงถึงพิกัด k_1, j_1 และ k_2, j_2 ว่ามีความต้องการของลูกค้ามากกว่า 1 คำสั่ง สมการที่ (4) แสดงถึงพิกัด k_1, j_1 และ k_2, j_2 ต้องไม่มีค่าน้อยกว่า 0

2.4 การหาค่าเวลาในการเดินทางของ S/R Machine

งานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดขอบเขตของการวิจัยพร้อมกับขั้นตอนไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้แล้ว ในบทนี้จะแสดงรายละเอียดของวิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยกลุ่มประชากร (Population-based Search Metaheuristics) ที่ใช้ในการประมวลผลและผลลัพธ์ของการคำนวณหาเวลาในการเดินทางของ S/R Machine ต่ำสุด รวมทั้งใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการลดเวลาในการคำนวณเพื่อให้มี throughput ของคลังสินค้าเพิ่มขึ้น ดังนี้

กำหนดชั้นวางที่มี 10 ตำแหน่งต่อ Line และ 5 ตำแหน่งต่อ Column และ มีวัสดุ 10 ประเภท ดังนั้น

$m = 10$ คือ จำนวน Location ในแต่ละ Line

$q = 5$ คือ จำนวน Location ที่ในแต่ละ Column

$n = 10$ คือ จำนวนประเภทวัสดุในชั้นวาง

เมทริกซ์ S แสดงถึงสถานะชั้นวาง $S_{kj} = i$

ประเภทวัสดุในตำแหน่งชั้นวางของพิกัด (k,j) รูปที่ 1 แสดงถึงชั้นวางตามเมทริกซ์ S ที่พิจารณาในตัวอย่างนี้ และตัวเลขภายใน Location คือประเภทวัสดุ ดังรูปที่ 1

คำสั่งของลูกค้าจะได้รับในรูปแบบของเวกเตอร์คอลัมน์ที่ดังต่อไปนี้:

$C = 0111200000$

องค์ประกอบของเวกเตอร์นี้แสดงถึงปริมาณที่ความต้องการสำหรับวัสดุแต่ละประเภท คำขอนี้ประกอบด้วยวัสดุชนิดที่ 2 ต้องการ 1 ชิ้น วัสดุชนิดที่ 3 ต้องการ 1 ชิ้น วัสดุชนิดที่ 4 ต้องการ 1 ชิ้น วัสดุชนิดที่ 5 ต้องการ 2 ชิ้น กำหนดให้ $S_h = S_v = 1$ m/s สำหรับตัวอย่างนี้มีการร้องขอการดึงข้อมูล 5 รายการ มีสถานที่ตั้งหลายแห่งสำหรับวัสดุที่ร้องขอ สำหรับชนิดของวัสดุมี 4 ชนิดและช่องว่าง (Empty Location) โดยแสดงดังใน ตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 แสดงถึงตัวอย่างพิกัดตำแหน่งและวัสดุที่ถูกเลือกในรอบที่ 1 และตารางที่ 4 แสดงตัวอย่างการคำสั่งของลูกค้าและพิกัดหลังจากมีการจัดเก็บและเรียกค้นรอบที่ 1

ตารางที่ 2 แสดงชนิดคำสั่งของลูกค้าและพิกัด (x, y) ใน Rack

ชนิดคำสั่งของลูกค้าและช่องตำแหน่ง 0	พิกัด (x, y) ใน Rack
2	(1, 2), (1, 3), (4, 4), (5 ,2),(7,4), (8,4)
3	(2, 4), (4, 2), (5, 1), (5, 5), (9, 3), (9, 5)
4	(2, 1), (3, 2), (3, 5), (4, 3), (5, 4), (6, 2), (7, 5), (9, 4), (10, 1), (10, 3)
5	(3, 1), (4, 1), (6, 5), (7, 1), (8, 5), (10, 4)
0	(2, 2), (3, 3), (3, 4), (5, 3), (6, 1), (7, 2), (10, 2)

ตารางที่ 3 แสดงชนิดคำสั่งของลูกค้าและพิกัดในรอบคำนวณที่ 1

รอบ	ตำแหน่งการจัดเก็บ	ตำแหน่งการเรียกค้น	ชนิดของวัสดุที่เรียกค้น	เวลาในการเดินหนึ่งรอบ (s)
1	(2,2)	(1,2)	2	5
2				
3				
4				
5				

ตารางที่ 4 แสดงชนิดคำสั่งของลูกค้าและพิกัด

รอบ	ตำแหน่งการจัดเก็บ	ตำแหน่งการเรียกค้น	ชนิดของวัสดุที่เรียกค้น	เวลาในการเดินหนึ่งรอบ (s)
1	(2, 2)	(1,2)	2	5
2	(1,2)	(2,4)	3	8
3	(3,3)	(4,3)	4	8
4	(2,4)	(3,1)	5	10
5	(3,1)	(4,1)	5	8
				39

2.5 การใช้วิธีเชิงพันธุกรรม

จากจำนวนรอบการเดินทางของ S/R Machine มีจำนวน 5 รอบ ซึ่งระยะทางจากพิกัดหนึ่งไปยังอีกพิกัดหนึ่งเป็นการเดินทางแบบไม่สมดุลที่มีระยะทางไป-กลับไม่เท่ากัน จากปัญหาดังกล่าวจึงกำหนดให้การเดินทางของ SR/Machine ด้วยวิธี GA โดยกำหนดให้จำนวนรอบของคำตอบเท่ากับ 2 รอบ จำนวนประชากรเท่ากับ 4 และมีอัตราผสมข้ามพันธุ์ (Crossover Rate) และการกลายพันธุ์ (Mutation Rate) เท่ากับ 0.8 และ 0.2 ตามลำดับ โดยกำหนดให้ใช้วิธีข้ามพันธุ์แบบ 1 จุด (One-point Crossover) และใช้วิธีกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง (Swap Mutation)

2.5.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population)

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างประชากรเริ่มต้น และวิธีการเข้ารหัส (Initialization/Encoding) การสร้างประชากรเริ่มต้นในงานวิจัยนี้แบ่งการเข้ารหัสเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 การหาจำนวน และลำดับรอบในการจัดเก็บและเรียกค้นวัสดุที่เหมาะสม โดยการกำหนดยีนให้เท่ากับจำนวนของรอบที่จะต้องเดินทาง ส่วนที่ 2 เป็นการจัดสรรตำแหน่งการจัดเก็บ (Storage Location) โดยตามหลักควรเลือกตำแหน่งที่ใกล้จุดทางเข้าออกของวัสดุ (i/o Point) ส่วนที่ 3 เป็นการจัดสรรการเรียกค้นวัสดุ Retrieval Location (ตำแหน่งการเรียกค้น) โดยตามหลักควรเลือกตำแหน่งที่ใกล้กับตำแหน่งการจัดเก็บเพื่อให้ใช้เวลาน้อยที่สุดในการเดินทางของ S/R Machine

ส่วนที่ 1 เข้ารหัสด้วยการสุ่ม วิธีนี้จะทำการเข้ารหัสด้วยการสลับลำดับของตัวเลขจำนวนเต็ม (Permutation) ตั้งแต่

[1, n] เมื่อ n คือจำนวนชนิดของวัสดุที่พิจารณาทั้งหมด เช่น ลูกค้ามีความต้องการวัสดุชนิดที่ 2 จำนวน 1 ชิ้น วัสดุชนิดที่ 3 จำนวน 1 ชิ้น วัสดุชนิดที่ 4 จำนวน 1 ชิ้น วัสดุชนิดที่ 5 จำนวน 2 ชิ้น n = 5 ซึ่งลำดับที่สลับได้คือ [2, 3, 4, 5, 5]

ส่วนที่ 2 การจัดสรรตำแหน่งการจัดเก็บ (Storage Location)

ขั้นตอนนี้จะจัดสรรเวลาการเดินทางระหว่าง i/o Point ของคลังสินค้า มายังตำแหน่งจัดเก็บต่ำสุด ระหว่างพิกัดจุด (k_1, j_1) มายังพิกัดจุด (k_2, j_2) ของคลังสินค้า

ส่วนที่ 3 การจัดสรรตำแหน่งการเรียกค้น (Retrieval Location)

ขั้นตอนนี้จะจัดสรรเวลาการเดินทาง ระหว่างพิกัดจุด (k_1, j_1) มายังพิกัดจุด (k_2, j_2) ของคลังสินค้า

การถอดรหัสเพื่อหาลำดับชนิดของวัสดุที่เหมาะสม Decoding ทำโดยการถอดรหัสด้วยการสุ่ม ขั้นตอนนี้จะทำการจัดเรียงลำดับตามที่สลับไว้ (Permutation) เช่น ลำดับและชนิดของวัสดุในการ จัดเก็บ และเรียกค้น โดยลำดับ 2-3-4-5-5 (เช่นลูกค้ามีความต้องการวัสดุชนิดที่ 2 จำนวน 1 ชิ้น วัสดุชนิดที่ 3 จำนวน 1 ชิ้น วัสดุชนิดที่ 4 จำนวน 1 ชิ้นวัสดุชนิดที่ 5 จำนวน 2 ชิ้น n = 5)

2.5.2 การประเมินความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

การประเมินค่าผลเฉลยจะบ่งชี้ว่าโครโมโซมแต่ละตัวมีค่าความเหมาะสม (Fitness Value) หรือให้คำตอบที่ดีเพียงใด ซึ่งจะนำไปสู่สัดส่วนความเป็นไปได้ที่จะถูกเลือกให้เป็นโครโมโซมพ่อแม่ที่จะใช้ในการดำเนินการทางพันธุกรรมเพื่อนำไปสู่การสร้างลูกหลานในรอบการคำนวณถัดไป (Offspring) ซึ่งประเมินได้ด้วยการอาศัยการคำนวณดังสมการเป้าหมาย จากปัญหานี้เป็นการหาเวลาการเดินทางที่ต่ำที่สุดในสมการที่ (5)

$$tdc_{k_1k_2j_1j_2} = max(k_1/sh, j_1/sv) + max(k_2/sh, j_2/sv) + max(|k_1 - k_2|/sh, |j_1 - j_2|/sv) \quad (5)$$

2.5.3 การผสมข้ามสายพันธุ์ (crossover Process)

ความน่าจะเป็นในการข้ามพันธุ์ (Crossover Probability) การข้ามพันธุ์นั้นเป็นการเปลี่ยนแปลงโครโมโซมที่สำคัญในขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เนื่องจากเป็นการสร้างโครโมโซมใหม่จากการผสมกันระหว่างโครโมโซมในรุ่นพ่อและแม่ โดยความน่าจะเป็นในการข้ามพันธุ์จะเป็นตัวควบคุมขีดความสามารถในการแสวงหาคำตอบ (Exploiting) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีค่าอยู่ในช่วง 0.5–0.9 ถ้าหากค่าความน่าจะเป็นในการข้ามพันธุ์สูงจะทำให้เกิดความรวดเร็วในการแสวงหาคำตอบที่ดี แต่ถ้าหากมีค่าที่สูงมากเกินไปก็จะเป็นการทำลายความสามารถในการแสวงหาคำตอบของแต่ละโครโมโซมเนื่องจากอาจทำให้โครโมโซมมีการเปลี่ยนแปลงตัวเองที่มากเกินไปจนอาจเข้าใกล้การสุ่ม (Random) จากการทดลองในโปรแกรม MATLAB ทดลองความน่าจะเป็นที่จะเกิดการ Crossover ตั้งแต่ 0.1–0.9 โดยพิจารณาจากจำนวนรุ่น (Generation) ที่มีค่าคำตอบเข้าใกล้ค่า mean มากที่สุด คือ 0.8 ในตัวอย่างนี้จะใช้วิธีการข้ามพันธุ์แบบแทนที่ด้วยสลับตำแหน่งของยีนโครโมโซมพ่อและแม่ 2 ตัว

เมื่อทำการผสมข้ามพันธุ์แบบแทนที่ระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ 2 โครโมโซม ผลที่ตามมาคือจะให้ลูกหลาน (Offspring) 2 โครโมโซม ที่มีโครงสร้างของยีนแตกต่างจากพ่อแม่ ซึ่งนำไปสู่ค่าผลเฉลยใหม่ แต่อย่างไรก็ตาม ผลจากการสลับยีนอาจทำให้ลูกหลานที่ได้มีความผิดปกติ (Illegalize Offspring) โดยเฉพาะในส่วนของการเข้ารหัสในการจัดสรรระยะเวลาการเดินทางที่หมายเลขรอบการจัดเก็บและเรียกค้น ไม่ครบตั้งแต่ $[1, n]$ (หมายเลขลำดับชนิดวัสดุซ้ำกัน) รวมทั้งการเข้ารหัสในการจัดสรรระยะเวลาการเดินทางไปยังตำแหน่งจัดเก็บ (ส่วนที่ 2) และการเข้ารหัสในการจัดสรรระยะเวลาการเดินทางไปยัง ตำแหน่งการเรียกค้น (ส่วนที่ 3) ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการตรวจสอบเงื่อนไข ข้อจำกัดและซ่อมแซมสำหรับ $C(t)$ ที่ผิดเงื่อนไขซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอน และแสดงตัวอย่างโครโมโซมที่ซ่อมแซมแล้วดังนี้

1) นำเข้าข้อมูล Offspring $C(t)$;

2) เริ่มต้น

// สำหรับการเข้ารหัสส่วนที่ 1

3) ตรวจสอบเพื่อหาหมายเลขรอบของวัสดุซ้ำกันในแต่ละโครโมโซม Offspring $C(t)$

4) ทำการแทนที่รอบของวัสดุที่มีหมายเลขซ้ำกันด้วยหมายเลขรอบวัสดุที่หายไป

// สำหรับการเข้ารหัสส่วนที่ 2 และ 3

5) ทำการแทนที่ตำแหน่ง ระยะเวลาการเดินทางระหว่างจุดที่ต่ำที่สุดก่อน

6) ทำการตรวจสอบระยะเวลาการเดินทางระหว่างจุดของรอบนั้นๆ

7) ดำเนินการซ้ำจนกระทั่งทุกรอบหมายเลขทั้งหมด

8) สิ้นสุดกระบวนการ;

9) ผลลัพธ์ : ได้ Offspring $C(t)$ ที่ผ่านเงื่อนไข (Legal Offspring);

2.5.4 การกลายพันธุ์ (Mutation)

ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ การกลายพันธุ์เป็นการทำให้เกิดความหลากหลายขึ้นในกลุ่มประชากร โดยมีผลทำให้คำตอบกระจายตัวครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการค้นหาคำตอบซึ่งทำให้เพิ่มขีดความสามารถในการสำรวจพื้นที่ (Exploring) มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเพราะจะมีผลต่อพฤติกรรมการทำงานของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์จะอยู่ในช่วง 0–0.4 โดย [13] ได้ศึกษาพบว่า อัตราการกลายพันธุ์จะขึ้นอยู่กับขนาดของประชากร เพื่อทำให้การสำรวจพื้นที่ในการค้นหาคำตอบเป็นไปอย่างทั่วถึง ดังนั้น การกำหนดอัตราการกลายพันธุ์จะต้องมีความเหมาะสมที่สุดต่อปัญหานั้นๆ ด้วยเพื่อก่อให้เกิดผลในการค้นหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ในตัวอย่างนี้จะใช้วิธีการกลายพันธุ์ 2 รูปแบบ คือ การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง และการกลายพันธุ์แบบสุ่มซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง จะเป็นการดำเนินการสลับหมายเลขรอบชนิดของวัสดุระหว่างสองรอบที่ถูกเลือก และเป็นการกลายพันธุ์แบบสุ่ม จะเป็นการสุ่มตัวเลขจำนวนเต็ม (ส่วนที่ 1) เพื่อเลือกรอบชนิดวัสดุในแต่ละรอบโดยจะต้องสอดคล้องกับความต้องการวัสดุของลูกค้า ทั้งนี้เพื่อเป็นการเพิ่มโอกาสในการปรับปรุงคำตอบและได้ค่าผลเฉลยที่หลากหลายขึ้น

2.5.5 การประเมินความเหมาะสมและการคัดเลือก (Selection)

จากผลค่าประเมินคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จะนำมาใช้ในการหาค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก ด้วยการหมุนวงล้อรูเลต (Roulette Wheel Selection) นั่นหมายถึงโครโมโซมใดมีค่าประเมินคำตอบที่ต่ำหรือมีต้นทุนน้อย ซึ่งถือเป็นโครโมโซมที่ให้ค่าผลเฉลยที่ดีกว่าโครโมโซมที่มีค่าประเมินคำตอบที่สูง ดังนั้นจะมีโอกาสในการถูกเลือกเพื่อไปเป็นพ่อแม่ในรุ่นถัดไปสูงกว่า ซึ่งตัวอย่างความน่าจะเป็นในการถูกเลือกแบบสะสมของ 4 โครโมโซม

3. ผลการทดลอง

จากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือใช้วิธีเมตะฮิวริสติกส์ในการกำหนดวิธีจัดเก็บที่ดีที่สุดในคลังสินค้าอัตโนมัติให้มีประสิทธิภาพสูงสุด ของปัญหาการใช้เวลาในการจัดเก็บและเรียกค้นอัตโนมัติโดยใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุดและมีปริมาณงานต่อหน่วยเวลาที่ดีที่สุด กรณีกำหนดตำแหน่งช่องจัดเก็บ 50 ตำแหน่ง 500 ตำแหน่ง และ 975 ตำแหน่ง ตามลำดับ และจำนวนวัสดุ 10 ชิ้น โดยในการทดลอง จะสรุปและอภิปรายผลลัพธ์ดังนี้

กำหนดวิธีจัดเก็บโดยใช้รูปแบบการจัดเก็บแบบสองคำสั่งใน 1 รอบการเดินโดย SR/Machine จะนำวัสดุเข้าไปจัดเก็บและเรียกค้นใน 1 รอบ เพื่อทำให้ประสิทธิภาพของ SR/Machine ทำได้สูงสุดโดยทั้งไป-กลับมีวัสดุอยู่ในเครน

การลดระยะเวลาในการเดินทางของ SR/Machine โดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผู้วิจัยได้นำเสนอตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2020a ในการหาคำตอบซึ่งมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เหมาะสม มีผลลัพธ์สำหรับคลังสินค้า 3 ขนาดดังนี้

จากตารางที่ 5–7 คำอธิบายตารางและกราฟ คอลัมน์จำนวนรุ่นลูกที่ทำซ้ำ คือ จำนวนรอบการคำนวณของวิธีทางพันธุกรรม คอลัมน์ ค่าคำตอบวิธีทางพันธุกรรมที่ดีที่สุด (GA Best Solution) คือ เวลาในการเดินทางของ SR/Machine ที่ดีที่สุดโดยวิธีทางพันธุกรรม มีหน่วยเป็น วินาที คอลัมน์ค่าคำตอบวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด (Math Model Best Solution) คือ เวลาในการเดินทางของ SR/Machine ที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5 ตารางเปรียบเทียบวิธีทางพันธุกรรมกับวิธีทางคณิตศาสตร์ในคลังขนาดเล็ก 50 ตำแหน่ง หน่วย: วินาที

จำนวนความต้องการของลูกค้า	จำนวนรุ่น	ค่าคำตอบวิธีทางพันธุกรรมที่ดีที่สุด	คำตอบวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีทางพันธุกรรม	เวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีทางคณิตศาสตร์	ร้อยละความแตกต่างของเวลาในการคำนวณ	ร้อยละความแตกต่างของค่าคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด
5	51	30	30	14.752	36.34	146.34	0
6	51	38	38	15.772	60.332	282.53	0
7	51	48	48	15.954	107.988	576.84	0
8	50	58	58	16.012	198.33	1138.63	0

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบวิธีทางพันธุกรรมกับวิธีทางคณิตศาสตร์ในคลังขนาดกลาง 500 ตำแหน่ง หน่วย: วินาที

จำนวนความต้องการของลูกค้า	จำนวนรุ่น	ค่าคำตอบวิธีทางพันธุกรรมที่ดีที่สุด	คำตอบวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีทางพันธุกรรม	เวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีทางคณิตศาสตร์	ร้อยละความแตกต่างของเวลาในการคำนวณ	ร้อยละความแตกต่างของค่าคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด
5	58	76	76	25.77	166.01	544.2	0
10	57	128	125	255.519	473.331	85.24	2.4
15	65	203	189	333.765	822.03	146.28	7.41
20	53	271	248	656.243	1993.123	203.72	9.27

ตารางที่ 7 ตารางเปรียบเทียบวิธีทางพันธุกรรมกับวิธีทางคณิตศาสตร์ในคลังขนาดใหญ่ 975 ตำแหน่ง หน่วย: วินาที

จำนวนความต้องการของลูกค้า	จำนวนรุ่น	ค่าคำตอบวิธีทางพันธุกรรมที่ดีที่สุด	คำตอบวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด	เวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีทางพันธุกรรม	เวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีทางคณิตศาสตร์	ร้อยละความแตกต่างของเวลาในการคำนวณ	ร้อยละความแตกต่างของค่าคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด
5	53	71	71	66.084	271.635	311.05	0
10	66	143	140	1162.67	1982.875	70.55	2.14
15	67	214	208	2503	3717.641	48.53	2.88
20	60	284	254	3643.02	5550.014	52.35	11.81

โดยวิธีคำนวนทางคณิตศาสตร์ มีหน่วยเป็น วินาที คอลัมน์เวลาที่ใช้ในการคำนวนหาคำตอบของวิธีทางพันธุกรรม (GA Computational Time) คือ เวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีทางพันธุกรรมเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด หน่วยเป็นวินาที คอลัมน์เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีทางคณิตศาสตร์ (Math Model Computational Time) คือ เวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด หน่วยเป็นวินาที ช่อง ร้อยละความแตกต่างของเวลาในการคำนวณ (Time Deviative Rate) (คำนวณจากเวลาของวิธีทางพันธุกรรม และวิธีทางคณิตศาสตร์ที่แตกต่างกัน) สมการที่ (5) คือค่าร้อยละของเวลาในการคำนวณเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดระหว่างวิธีทางพันธุกรรม และวิธีทางคณิตศาสตร์

$$\%\ deviative\ rate = \frac{(Math\ model\ computational\ time - GA\ computational\ time)}{GA\ computational\ time} \times 100\% \quad (5)$$

และ ร้อยละความแตกต่างของค่าคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด (Objective Deviative Rate) สมการที่ (6) คือ ร้อยละเวลาการเดินทางของ SR/Machine ระหว่างวิธีทางพันธุกรรม และวิธีทางคณิตศาสตร์ คำนวนได้ดังนี้

$$\%\ deviative\ rate = \frac{\left(GA\ Best\ Sol - Math\ Model\ Best\ Sol\right)}{Math\ Model\ Best\ Solution} \times 100\% \quad (6)$$

4. อภิปรายผลและสรุป

จากผลลัพธ์ข้างต้นจะเห็นว่ากรณีปัญหาคลังสินค้าขนาดเล็ก วิธีที่นำเสนอ (GA) ได้ค่าคำตอบไม่แตกต่างจากวิธีทางคณิตศาสตร์ (Math Model) ทุกความต้องการของลูกค้า ส่วนกรณีปัญหาคลังสินค้าขนาดกลางและขนาดใหญ่ วิธีที่นำเสนอได้ค่าคำตอบแตกต่างจากวิธีทางคณิตศาสตร์ไม่เกินร้อยละ 11.81 ทุกความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้ถ้าความต้องการของลูกค้าไม่เกิน 15 ชิ้น จะให้ค่าที่แตกต่างจากค่าที่ได้จากวิธีทางคณิตศาสตร์ หรือค่าในอุดมคติ (Optimum Solution) ไม่เกินร้อยละ 7.41 นอกจากนี้ผลที่ได้ยังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าวิธีที่นำเสนอจะใช้เวลาในการคำนวนหาคำตอบน้อยกว่าอย่างมากสำหรับปัญหาทั้ง 3 ขนาดคลังสินค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัญหาขนาดเล็กและขนาดกลาง

ข้อเสนอแนะ

การประยุกต์วิธีเมตะฮิวริสติกส์ในการกำหนดวิธีจัดเก็บโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม นั้นเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถนำไปใช้ในการจัดการคลังสินค้าขนาดกลางและขนาดใหญ่เพื่อลดเวลาในการหาคำตอบ และทำให้ได้คำตอบที่เข้าใกล้ค่าที่ดีที่สุด (Near Optimum) โดยในกรณีศึกษาคลังสินค้าอัตโนมัติ ABC นี้ ผู้วิจัยเลือกวิธีคำสั่งคู่เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ถึงแม้จะระบุว่า 4 คำสั่งจัดเก็บและเรียกค้นใน 1 รอบ นั้น สามารถลดเวลาในการเดินทางเมื่อเทียบกับแบบคำสั่งคู่ได้ 9.31% แต่การที่จะใช้ 4 คำสั่งจัดเก็บและเรียกค้นใน 1 รอบ จำเป็นต้องปรับแต่งลักษณะของ S/R Machine ให้รองรับการขนถ่ายสินค้ามากกว่า 1 ชิ้น ด้วย ซึ่งจากราคาของ S/R Machine ในปัจจุบันมีราคาที่สูงซึ่งเมื่อเทียบกับ 9.31% ที่ลดเวลาได้ โดยในอนาคตนักวิจัยที่ได้อ่านบทความนี้สามารถต่อยอดไปประยุกต์ใช้ในคลังสินค้าอัตโนมัติในคำสั่งจัดเก็บและเรียกค้นที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้เหมาะกับลักษณะธุรกิจ เช่น ธุรกิจสินค้าแช่แข็ง ธุรกิจพืชผลทางการเกษตร ธุรกิจกล้วยไม้ ที่มีข้อจำกัดในเรื่องของการหมดอายุหรือเปลี่ยนสภาพของสินค้าที่จะต้องส่งสินค้าให้ถึงลูกค้าให้เร็วที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] 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, 2019 (in Thai).

[2] G. Zhou and L. Mao, “Design and simulation of storage location optimization module in AS/RS based on FLEXSIM,” *I.J. Intelligent Systems and Applications*, vol. 2, pp. 33–40, 2010.

[3] T. Wautersa, F. Villab, J. Christiaens, R. A. Valdesc, and G. V. Berghe, “A decomposition approach to dual shuttle automated storage and retrieval systems,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 101, pp. 325–337, 2016.

[4] P. Yang, K. Yang, M. Qi, L. Miao, and B. Ye, “Designing the optimal multi-deep AS/RS storage rack under full turnover-based storage policy based on non-approximate speed model of S/R machine,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*, vol. 104, pp. 113–130, 2017.

[5] Y. Xiaohui and Z. Zhicong, “An NSABC algorithm for multi-aisle AS/RS scheduling optimization,” *Computers & Industrial Engineering*, vol. 156, pp. 107254, 2021.

[6] J. A. Tompkins, J. A. White and Y. A. Bozer. *Facilities Planning*, 3rd ed, United State of America, John Wiley & Son, inc, 2003.

[7] A. Azzia, D. Battinia, M. Facciob, A. Personaa, and F. Sgarbossab, “Innovative travel time model for dual-shuttle automated storage/

retrieval systems," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 61, no. 3, pp. 600–607, 2011.

[8] K. Hachemi, Z Sari, and N. Ghoualic, "A step-by-step dual cycle sequencing method for unit-load automated storage and retrieval systems," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 63, no. 1, pp. 980–984, 2012.

[9] D. Popovic, M. Vidovic, and N. Bjelic, "Application of genetic algorithms for sequencing of AS/RS with a triple-shuttle module in class-based storage," *Flexible Services and Manufacturing Journal*, vol. 26, pp. 432–453, 2014.

[10] K. Sethanan, *Metaheuristics and applications for industry*. Khon Kaen: Industrial Engineering, Khon Kaen university, 2015 (in Thai).

[11] P. Peerapattana, *Plant layout*. Khon Kaen: Industrial Engineering, Khon Kaen university, 2014 (in Thai).

[12] L. Ghomri and Z. Sari, "Mathematical modeling of the average retrieval time for flow-rack automated storage and retrieval systems," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 44, pp. 165–178, 2017.

[13] P. Yang, L. Miao, Z. Xue, and B. Ye, "Variable neighborhood search heuristic for storage location assignment and storage/retrieval scheduling under shared storage in multi-shuttle automated storage/retrieval systems" *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 79, pp. 164–177, 2015.