

ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสำหรับแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทหลายขนาด
กรณีศึกษา: โรงงานผลิตคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ส่องสว่าง

ธนกฤต ปิยะชยวัศ*¹, อนันต์ มุ่งวัฒนา², วิสุทธิ์ สุพิทักษ์³

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวง ลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

บทคัดย่อ

ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทภายในโรงงานผลิตคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ส่องสว่าง เป็นปัญหาที่ซับซ้อนอย่างมากในการค้นหาคำตอบ ด้วยขอบเขตด้านขนาดของกล่องสินค้าที่มีหลากหลายขนาด และขนาดพาเลทให้เลือกใช้หลายขนาด งานวิจัยฉบับนี้อาศัยขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสำหรับคำนวณจัดสรรกล่องสินค้าทั้งหมดที่ต้องขนย้ายในแต่ละเที่ยวลงในพาเลท และนำผลลัพธ์การจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทในอดีตของโรงงานกรณีศึกษา ผลการเปรียบเทียบแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์การจัดสรรกล่องสินค้าพาเลทที่ได้จากขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการที่ดัดแปลงขึ้นมาสามารถเอาชนะผลลัพธ์จริงในอดีตทั้งในด้านจำนวนของพาเลทที่ใช้และเวลาคำนวณ แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมแก่การนำขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการดังกล่าวไปใช้แก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทหลายขนาดในโรงงานกรณีศึกษา

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลท, พาเลทหลายขนาด, ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ

* Corresponding author. E-mail: tyrantton@hotmail.com

¹ นักศึกษาระดับชั้นปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

An Evolutionary Algorithm for solving the Multi-Size Pallet Loading Problem in a Lamps and Lighting Factory: a Case Study

Thanakrit Piyachayawat^{*1}, Anan Mungwattana², Wisut Supithak³

Kasetsart University, 50, Ngamwongwan Rd., Chatuchak, Bangkok 10900, Thailand

Abstract

The pallet loading problem in lamps and lighting factory is difficult to solve, due to the variance in the size of the boxes and pallets for use in the loading activity. In this paper, the problem is solved using a modified evolutionary algorithm for allocating all of the boxes to the pallet. The results were then compared with the actual results of the allocations in the past. The comparison showed that the results from the algorithm overcame the actual results in terms of the number of pallets used and the calculating time. That means that the algorithm is suitable for solving the multi-size pallet loading problem in this case study.

Keywords: pallet loading problem, multi-size pallet, evolutionary algorithm

* Corresponding author. E-mail: tyrantton@hotmail.com

1 Master Degree in Faculty of engineering, Kasetsart University

2 Associate Professor in Faculty of engineering, Kasetsart University

3 Assistant Professor in Faculty of engineering, Kasetsart University

1. บทนำ

สำหรับอุตสาหกรรมโดยทั่วไป พาเลทเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานบรรทุกกล้าเสียง โดยใช้เป็นฐานรองรับกล่องสินค้า ก่อนนำขึ้นพาหนะบรรทุก เนื่องจากสามารถที่จะรองรับกล่องสินค้าได้มาก มีความเป็นอิสระในการจัดเรียงกล่องสินค้า มีหลากหลายขนาดและรูปแบบวัสดุที่ใช้ รวมถึงสะดวกในการเคลื่อนย้าย เมื่อใช้ร่วมกับรถยกซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายเช่นกัน อย่างไรก็ตาม พาเลทยังคงมีข้อจำกัดด้านปริมาณการรองรับกล่องสินค้า

ในอุตสาหกรรมโรงงานผลิตคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ส่องสว่าง งานบรรจุกล่องสินค้าบนพาเลทนับเป็นปัญหาอันยุ่งยาก เนื่องจากโรงงานมีกล่องสินค้ามากกว่า 100 ขนาด วัสดุสำหรับรองรับสินค้ารวม 5,000 รายการ นอกจากนี้ พาเลทที่ใช้ยังมีอยู่ด้วยกันถึง 6 ขนาด แต่ละสัปดาห์ ใบบรรจุสินค้าที่ระบุข้อมูลกล่องสินค้าจำนวนหนึ่งจะมาถึงแผนกขนย้าย กล่องสินค้าเหล่านี้ต้องถูกจัดสรรลงสู่พาเลท มีเจ้าหน้าที่ขนย้ายเป็นผู้พิจารณาเลือกพาเลทที่ใช้ และดำเนินการบรรจุกล่องสินค้าทั้งหมด โดยอาศัยจากประสบการณ์เฉพาะตัว ก่อนที่จะขนขึ้นรถบรรทุกเพื่อรอการจัดส่งไปยังลูกค้าต่อไป อย่างไรก็ตาม การทำงานในลักษณะนี้ ก่อให้เกิดปัญหาในด้านเวลาการวางแผนจัดสรรที่นานเกินจำเป็น รวมถึงปัญหาการใช้พื้นที่ในรถบรรทุกที่มากเกินไป ดังนั้น จึงเห็นได้ชัดว่าวิธีการที่เจ้าหน้าที่ขนย้ายใช้ไม่มีความแน่นอน และส่งผลต่อต้นทุนการขนย้ายกล่องสินค้า

จากปัญหาที่เกิดขึ้น แนวคิดการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลท โดยอาศัยการคำนวณของโปรแกรมแอปพลิเคชันจึงเกิดขึ้น เพื่อที่จะลดปริมาณพาเลทที่ใช้ หากทำสำเร็จ ย่อมทำให้เวลาที่ใช้ในการขนย้ายขึ้นพาหนะบรรทุกลดลง และพาหนะสามารถขนส่งสินค้าได้มากขึ้นต่อเที่ยวรถ ส่งผลต่อต้นทุนการขนย้ายโดยตรง ดังนั้นแล้ว การออกแบบโปรแกรมแอปพลิเคชัน ที่คำนวณโดยอาศัยหลักการใด ๆ สำหรับช่วยในการค้นหารูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลท ด้วยจำนวนพาเลทน้อยที่สุด จึงเป็นสิ่งที่ตอบโจทย์ปัญหานี้

สำหรับงานวิจัยฉบับนี้ จะมีเนื้อหาเรียงตามลำดับ ได้แก่ การทบทวนวรรณกรรมจะกล่าวถึงในส่วนที่ 2 ส่วนที่ 3 เป็นการอธิบายถึงคุณลักษณะและขอบเขตของปัญหา ก่อนที่

จะบรรยายถึงลำดับขั้นตอนการคำนวณของแอปพลิเคชันในส่วนที่ 4 สำหรับส่วนที่ 5 จะกล่าวถึงรูปแบบการคำนวณแก้โจทย์ปัญหาและผลลัพธ์ที่ได้ จากนั้นจึงกล่าวสรุปในส่วนที่ 6 และเอกสารอ้างอิงจะอยู่ในส่วนที่ 7

2. การทบทวนวรรณกรรม

ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลท เป็นปัญหาเกี่ยวกับการค้นหารูปแบบวิธีการที่เหมาะสม เพื่อบรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงบนพาเลท Dyckhoff [1] ระบุให้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาการบรรจุ (Packing Problem) เนื่องจากมีลักษณะปัญหาเป็นการพิจารณาพื้นที่ว่างขนาดใหญ่ และดำเนินการบรรจุวัตถุที่มีขนาดเล็กกว่าเข้าไปแทนพื้นที่ว่าง เสมือนกับการตัดแบ่งพื้นที่ว่างนั้นออกมา ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทสามารถจำแนกประเภทโดยพิจารณาถึงลักษณะปัญหา และวัตถุประสงค์ของคำตอบ

Hodgson [2] ได้จำแนกประเภทของปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลท 2 กลุ่ม โดยอาศัยลักษณะของปัญหา กลุ่มแรกคือปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเชิงผลิต หรือ MPLP (Manufacturer's Pallet Packing Problem) กลุ่มปัญหานี้พิจารณาถึงกล่องสินค้าทรงสี่เหลี่ยมที่ไม่ระบุจำนวน แต่ละกล่องมีขนาดเท่ากันทุกประการ กล่องสินค้าเหล่านี้ต้องได้รับการจัดสรรอยู่ในพื้นที่ว่างบนพาเลท คำตอบเป้าหมาย คือ การค้นหาขนาดของพาเลทที่สามารถบรรจุกล่องสินค้าได้มากที่สุด กลุ่มที่สองคือปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเชิงจัดส่งหรือ DPLP (Distributor's Pallet Packing Problem) กลุ่มปัญหานี้พิจารณาถึงกล่องสินค้าทรงสี่เหลี่ยมจำนวนหนึ่ง แต่ละกล่องอาจมีขนาดแตกต่างกัน กล่องสินค้าเหล่านี้ต้องได้รับการจัดสรรอยู่ในพื้นที่ว่างบนพาเลท โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อค้นหารูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้า ที่สามารถรองรับกล่องสินค้าได้เป็นจำนวนมากที่สุดในแต่ละพาเลท หรืออีกนัยหนึ่งคือ รูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าที่ใช้จำนวนพาเลทน้อยที่สุดในการรองรับกล่องสินค้าทั้งหมด จะเห็นได้ว่ากลุ่มปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเชิงจัดส่งต้องอาศัยความพยายาม

มากกว่าในการค้นหาคำตอบ เนื่องด้วยความหลากหลายของขนาดกล่องสินค้า

สำหรับการจำแนกประเภทของปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทด้วยวัตถุประสงคของคำตอบ Ram [3] ได้ระบุไว้ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ ได้แก่ การรักษาสภาพเสถียรของชั้นกล่องสินค้าที่จัดวางบนพาเลท, ประสิทธิภาพการใช้งานพาเลท และความสามารถในการเข้าถึงกล่องสินค้าที่จัดวางบนพาเลท โดยทั่วไปแล้ว วัตถุประสงค์ที่ได้รับความสนใจมากในการวิจัยคือ ประสิทธิภาพการใช้งานพาเลทเนื่องจากส่งผลกระทบต่อต้นทุนการขนย้ายโดยตรง

ตั้งแต่อดีต มีงานวิจัยจำนวนมากที่พัฒนาวิธีการค้นหาคำตอบ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเชิงจัดส่ง โดยมีตั้งแต่วิธีการสร้างตัวแบบกำหนดการจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed Integer Programming Model) [4] การนำฮิวริสติกที่ใช้แก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเชิงผลิตมาปรับปรุง ให้รองรับข้อจำกัดด้านความหลากหลายของชนิดขนาดกล่องสินค้า [5] และออกแบบเป็นขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทที่รองรับทุกลักษณะปัญหา [6] วิธีการสร้างแบบแผนการจัดสรรกล่องสินค้าที่ละชั้นด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมภ (Greedy heuristic) โดยพิจารณาแก้ปัญหาในพาเลทเดียว [7] ก่อนที่จะขยายไปสู่การแก้ปัญหาที่ต้องใช้จำนวนพาเลทมากกว่าเดิม [8] ทั้งนี้ วิธีการที่กล่าวถึงทั้งหมดล้วนสามารถสร้างรูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทที่ตอบวัตถุประสงค์ด้านประสิทธิภาพการใช้งานพาเลทได้อย่างเหมาะสมในปัญหาขนาดเล็ก แต่เมื่อปัญหามีจำนวนกล่องสินค้ามากขึ้น หรือมีความแตกต่างของจำนวนชนิดขนาดของกล่องสินค้ามากกว่าเดิม ทำให้วิธีการดังกล่าวต้องใช้เวลาในการคำนวณเพื่อค้นหารูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับขนาดของปัญหา จนอาจทำให้ไม่สามารถหาคำตอบดังกล่าวได้ด้วยเวลาที่เหมาะสมในบางกรณีปัญหา ดังนั้นแล้ว วิธีการที่กล่าวถึงทั้งหมดจึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน ซึ่งตรงกับสภาพปัญหาในความเป็นจริง

เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเชิงจัดส่ง ที่ใกล้เคียงกับสภาพปัญหาในความเป็นจริงมากขึ้น จึงเกิดความพยายามนำขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ

(Evolutionary Algorithm) มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากสามารถรองรับตัวแปรสำหรับคำนวณได้มาก ประยุกต์ใช้ได้กับหลากหลายปัญหา และมีประสิทธิภาพมากในการละทิ้งคำตอบที่เหมาะสมเฉพาะแห่ง (Local Optimum) เพื่อค้นหาคำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมโดยรวม (Global Optimum) เมื่อเทียบกับฮิวริสติกวิธีอื่น งานวิจัยที่นำขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการมาประยุกต์ใช้ในช่วงเริ่มแรก ได้แก่ งานวิจัยของ Koide, *et al.* [9] โดยใช้จัดกลุ่มของกล่องสินค้าที่จะต้องถูกจัดวางบนพาเลทแต่ละชั้นเบื้องต้น ร่วมกับการใช้วิธีการค้นหาแบบลำแสง (Beam Search) ในเวลาต่อมา จึงเกิดการนำขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการมาใช้ในการแก้ปัญหาอย่างเต็มตัว โดยประยุกต์ใช้กับกรณีปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทสำหรับเครื่องบินลำเลียงของกองทัพอากาศ [10] และสำหรับเครื่องบินเชิงพาณิชย์ [11] อย่างไรก็ตาม ลักษณะของพาเลทสำหรับใช้งานในการขนส่งทางอากาศยานแตกต่างจากพาเลทที่ใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไป ทำให้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยที่กล่าวถึง ยังไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเชิงจัดส่งทั่วไป

ในขณะเดียวกัน มีงานวิจัยที่ได้นำขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการไปใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดวางกล่องสินค้าลงในตู้บรรทุกสินค้า (Container Loading Problem) ซึ่งมีลักษณะปัญหาที่คล้ายคลึงกับปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทอันได้แก่ การดัดแปลงขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการในรูปของอัลกอริทึม BRKGA (Biased random-key genetic algorithm) เพื่อสร้างรูปแบบการจัดสรรในตู้บรรทุกสินค้าที่ใช้พื้นที่สำหรับบรรจุได้คุ้มค่าที่สุด [12] การแก้ปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าลงในตู้บรรทุกสินค้าที่คำนึงถึงหลายวัตถุประสงค์ โดยนำอัลกอริทึม FLC (Fuzzy logic controller) มาใช้ร่วมด้วย เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสามารถแก้ไขปัญหาลักษณะนี้ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น [13] หรือการนำขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการมาดัดแปลงเป็นอัลกอริทึม EP-HGA (Extended priority-based hybrid genetic algorithm) เพื่อใช้สร้างรูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าที่มาจากผู้ส่งหลากหลายแห่ง [14] เป็นการแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการนำขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการมาประยุกต์เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ

นอกจากนี้แล้ว ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการยังถูกนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าลงในถังแบบ 3 มิติ (3-Dimension Bin Packing Problem) ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทมากกว่า ปัญหาการจัดวางกล่องลงในตู้บรรทุกสินค้า เช่น การประยุกต์ใช้ร่วมกับฮิวริสติก DBLF (Deepest Bottom Left with Fill) ในการสร้างรูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้า [15] การนำอัลกอริทึม BRKGA มาดัดแปลงเพิ่มเติม ให้สามารถรองรับลักษณะการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลท ซึ่งมีลักษณะเป็นแนวตั้ง [16] และการประยุกต์อัลกอริทึมที่พัฒนามาจากขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการอย่างขั้นตอนวิธีวิวัฒนาการผลต่าง (Differential evolution) ร่วมกับวิธีฮิวริสติก BMF (Best match first heuristic) [17] วิธีการเหล่านี้ สามารถการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนใกล้เคียงกับปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเชิงจัดส่ง

จากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทเชิงจัดส่ง และปัญหาในโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา พบว่าขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการจากงานวิจัยของ Koide, et al. [9] มีความสามารถในการแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยวิธีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน เหมาะกับการนำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบแอปพลิเคชัน โดยจำเป็นต้องดัดแปลงขั้นตอนการคำนวณค้นหาคำตอบเพิ่มเติม เพื่อให้รองรับกับข้อจำกัดของปัญหาที่ต่างจากปัญหาในงานวิจัยที่ใช้ฮิวริสติกดั้งเดิม และเหมาะสมกับการนำมาใช้แก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทในกรณีศึกษาของงานวิจัยนี้ต่อไป

3. คุณลักษณะของปัญหา

3.1 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์

ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทในงานวิจัยฉบับนี้ สามารถกำหนดให้อยู่ในรูปของแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ โดยมีนิยามของตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้ดังต่อไปนี้

$$y_{ijk} = \begin{cases} 0, & \text{ถ้ากล่องประเภทที่ } i \text{ กล่องที่ } k \text{ ไม่ถูกจัดสรร} \\ & \text{ลงพาเลทที่ } j \\ 1, & \text{ถ้ากล่องประเภทที่ } i \text{ กล่องที่ } k \text{ ถูกจัดสรรลง} \\ & \text{พาเลทที่ } j \end{cases}$$

$$\forall i, i \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall j, j \in \{1, 2, \dots, n\},$$

$$\forall k, k \in \{1, 2, \dots, N_i\}$$

$$v_i = \text{ปริมาตรของกล่องสินค้าประเภทที่ } i$$

$$\forall i, i \in \{1, 2, \dots, m\}$$

$$w_{ik} = \text{น้ำหนักของกล่องสินค้าประเภทที่ } i \text{ กล่องที่ } k$$

$$\forall i, i \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k, k \in \{1, 2, \dots, N_i\}$$

$$x_j = \text{จำนวนพาเลทประเภทที่ } j \text{ ที่ถูกเลือกใช้}$$

$$\forall j, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$c_j = \text{ขนาดพื้นที่หน้าตัดของพาเลทประเภทที่ } j$$

$$\forall j, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$N_i = \text{จำนวนกล่องสินค้าประเภทที่ } i \text{ ที่ต้องบรรจุ}$$

$$\forall i, i \in \{1, 2, \dots, m\}$$

$$V_j = \text{ปริมาตรความจุสูงสุดของพาเลทประเภทที่ } j$$

$$\forall j, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$W_j = \text{ปริมาตรน้ำหนักสูงสุดของพาเลทประเภทที่ } j$$

$$\forall j, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

สำหรับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาคือการใช้พื้นที่หน้าตัดรวมทุกพาเลทสำหรับรองรับทุกกล่องสินค้าให้น้อยที่สุดที่เป็นไปได้

$$\text{Min} \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

3.3 สมการข้อจำกัด

ในส่วนของสมการข้อจำกัด มีลักษณะดังนี้

$$y_{ijk} \leq x_j \quad \forall i, i \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall j, j \in \{1, 2, \dots, n\},$$

$$\forall k, k \in \{1, 2, \dots, N_i\} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n y_{ijk} = 1$$

$$\forall i, i \in \{1, 2, \dots, m\}, \forall k, k \in \{1, 2, \dots, N_i\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{N_i} v_i y_{ijk} \leq \alpha V_j \quad \forall j, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{N_i} w_{ik} y_{ijk} \leq W_j \quad \forall j, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

$$x_j \geq 0 \quad \forall j, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

สมการที่ (1) และ (2) เป็นข้อจำกัดที่รับรองว่ากล่องทุกกล่องจะได้รับการจัดสรร และแต่ละกล่องจะถูกจัดสรรลงไปในเฉพาะพาเลทที่เลือกใช้แล้วเท่านั้น สมการที่ (3) และ (4) เป็นการจำกัดว่าในแต่ละพาเลท กล่องทุกกล่องที่ถูกจัดสรรลงไปแล้วจะไม่เกินความจุสูงสุดของพาเลทนั้น ๆ ทั้งในด้านปริมาตรและน้ำหนัก โดย α คือตัวเลขคงที่มีค่าตั้งแต่ $[0, 1]$ สำหรับจำกัดปริมาตรพาเลทเพื่อเพิ่มความเป็นไปได้ในการใช้งานภายใต้สถานการณ์จริงของรูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าที่คำนวณขึ้นมา

3.4 ขอบเขตปัญหา

ขอบเขตของปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา เป็นไปตามรายละเอียดดังนี้

- รูปทรงของกล่องสินค้าที่พิจารณาจะมีลักษณะเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมทั้งหมด
- ข้อมูลความยาวในแต่ละด้านของทั้งกล่องสินค้าและพาเลททั้งหมด เป็นข้อมูลจริงที่รวบรวมมาจากโรงงานกรณีศึกษา โดยมีหน่วยเป็นเซนติเมตร
- ข้อจำกัดด้านความไม่เป็นอิสระต่อกันในการจัดวางระหว่างกล่องและพาเลท ไม่ได้นำมาพิจารณาใน

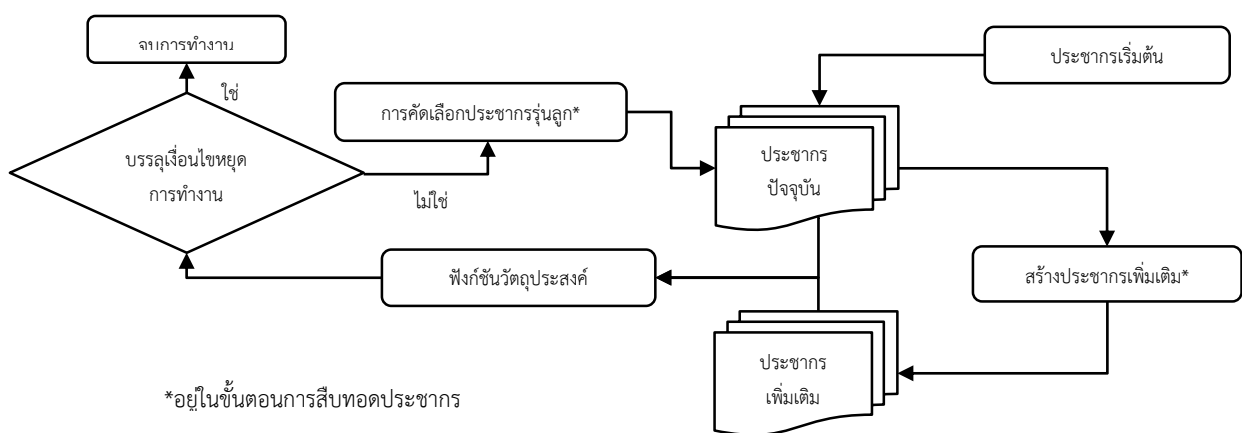
การคำนวณ หมายความว่า กล่องสินค้าแต่ละชนิดขนาดสามารถถูกจัดวางบนพาเลทได้ทุกขนาด และพาเลทแต่ละขนาดสามารถรองรับกล่องสินค้าได้ทุกชนิดขนาดเช่นเดียวกัน

- พาเลทที่พร้อมใช้งานในโรงงานกรณีศึกษามีจำนวนมาก จนละทิ้งข้อจำกัดด้านจำนวนพาเลทได้

จำนวนปริมาตรรวมกล่องสินค้าของกล่องสินค้าประเภทขนาดใด ๆ ต้องไม่เกินสองเท่าของปริมาตรความจุสูงสุดของพาเลทประเภทที่มีปริมาตรความจุน้อยที่สุด, $N_i v_i \leq 2\alpha V, V = \min \{V_1, \dots, V_n\}, \forall i, i \in \{1, \dots, m\}$

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm) [18] คือ วิธีการทางฮิวริสติกในการค้นหาคำตอบโดยเลียนแบบกลไกการถ่ายทอดพันธุกรรมทางธรรมชาติ มีโครงสร้างการทำงานทั้งหมด 3 ขั้นตอนตามลำดับ ได้แก่ การสร้างประชากรเริ่มต้น การคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และการสืบทอดประชากร หลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการสืบทอดประชากร โครงสร้างการทำงานดังกล่าวจะกลับไปขั้นตอนการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์อีกครั้ง วนไปเรื่อยจนกระทั่งบรรลุเงื่อนไขการหยุดทำงาน ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการจึงยุติการทำงาน ลักษณะการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นไปตามรูปที่ 1 รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน รวมถึงเงื่อนไขการหยุดทำงานจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ

4.1 การสร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้น เป็นการสร้างกลุ่มคำตอบของปัญหาเป็นกลุ่มตั้งต้นสำหรับการพัฒนาปรับปรุงคุณภาพของคำตอบต่อไป ประชากรเริ่มต้นสามารถสร้างขึ้นได้โดยการสุ่มตัวเลข ซึ่งนับได้ว่าประชากรแต่ละตัวเป็นคำตอบของปัญหาที่ถูกเข้ารหัส (Encoding) ให้อยู่ในรูปของชุดตัวเลข ซึ่งมีลักษณะการจัดเรียงคล้ายกับโครงสร้างรหัสพันธุกรรม หรือโครโมโซม (Chromosome) ที่มีตัวเลขประพุดอยู่ในรูปของยีนส์ (Gene) โครโมโซมดังกล่าวแต่ละตัวสามารถถอดรหัส (Decoding) เพื่อแปลเปลี่ยนกลับเป็นคำตอบของปัญหาได้ในภายหลัง

สำหรับงานวิจัยนี้ โครโมโซมจะมีลักษณะถูกแบ่งออกเป็นชุดของยีนส์ 3 ชุดด้วยกัน ชุดแรกเป็นลำดับการพิจารณาเพื่อจัดวางของกล่องสินค้าแต่ละประเภทขนาด โดยถูกเข้ารหัสในรูปของตัวแทนแบบออร์ดินัล (Ordinal Representation) ชุดที่สองเป็นสัดส่วนการแบ่งจำนวนกล่องสินค้าในแต่ละประเภทขนาดออกเป็นสองส่วน รหัสในชุดที่สองจะเป็นตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ [0,1] ชุดที่สามเป็นตัวเลขระบุถึงประเภทของพาเลทที่เลือกใช้ ซึ่งมีลำดับการใช้เรียงจากซ้ายไปขวา วิธีการเข้ารหัสและถอดรหัสสามารถแสดงได้ด้วยตัวอย่างโจทย์ปัญหา ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลจำนวนของกล่องสินค้าแต่ละประเภทที่มีขนาดแตกต่างกันสำหรับจัดสรรลงในพาเลท และประเภทของพาเลททั้งหมดแสดงดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ

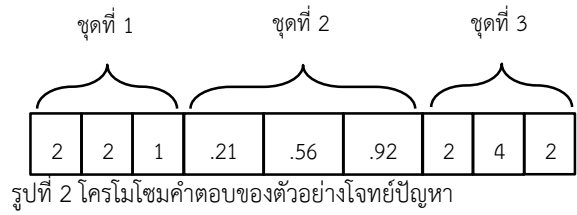
ตารางที่ 1 ข้อมูลกล่องสินค้าสำหรับตัวอย่างโจทย์ปัญหา

จำนวนกล่อง	4	5	1
ประเภทขนาดกล่อง	1	2	3

ตารางที่ 2 ข้อมูลพาเลทสำหรับตัวอย่างโจทย์ปัญหา

ประเภทพาเลท	1	2	3	4	5	6
-------------	---	---	---	---	---	---

ชุดแรกประกอบไปด้วยเลข “221” สามารถถอดรหัสออกมาโดยพิจารณารหัสตัวเลขเริ่มจากยีนส์ด้านซ้ายสุด ยีนส์ดังกล่าวมีรหัสตัวเลข คือ เลข “2” ซึ่งแสดงถึงลำดับตำแหน่งในตารางข้อมูลกล่องเมื่อพิจารณาจากซ้าย



ไปขวา ดังนั้น รหัสตัวเลข “2” หมายถึง กล่องสินค้าประเภทที่อยู่ในลำดับตำแหน่งที่ 2 ในตารางข้อมูลกล่องสินค้า ทำให้สามารถถอดรหัสได้เป็น กล่องสินค้าประเภทที่ 2 จากนั้นจึงตัดกล่องสินค้าประเภทที่ 2 นี้ออกจากตารางข้อมูลกล่องสินค้า เนื่องจากกล่องประเภทดังกล่าวได้รับการพิจารณาแล้ว ในตารางข้อมูลกล่องสินค้า ณ ขณะนี้จะเหลือเพียงกล่องสินค้าประเภทที่ 1 และ 3 ตามลำดับเท่านั้น ต่อไปจะพิจารณายีนส์ลำดับถัดไป ที่บรรจุรหัสตัวเลข “2” ไว้ ซึ่งระบุถึงกล่องสินค้าประเภทที่อยู่ในลำดับตำแหน่งที่ 2 ในตารางข้อมูลกล่องสินค้าปัจจุบัน และสามารถถอดรหัสได้เป็นกล่องสินค้าประเภทที่ 3 ก่อนที่จะตัดกล่องประเภทที่ 3 นี้ออกจากตารางข้อมูลกล่องสินค้า แล้วจึงพิจารณาเพื่อถอดรหัสส่วนไปจนครบทุกเลข จะได้เป็นชุดเลขหลังถอดรหัสคือ “231” ซึ่งเป็นลำดับประเภทของกล่องสินค้าที่จะพิจารณาเพื่อจัดสรรลงในพาเลท ขั้นตอนการถอดรหัสทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การถอดรหัสยีนส์ชุดที่ 1

สำหรับขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสในยีนส์ชุดแรกจะอาศัยวิธีการสุ่มเลขลำดับอิงจากตารางข้อมูลกล่องสินค้า โดยเริ่มสุ่มทีละเลขรหัส ทุกครั้งที่สุ่ม ข้อมูลประเภทกล่องสินค้าในตารางข้อมูลประเภทสินค้าที่อยู่ ณ ลำดับตรงกับเลขที่ถูกสุ่ม จะถูกตัดออกจากตารางข้อมูล ทำให้ขอบเขตของเลขรหัสที่มากที่สุดที่สามารถสุ่มได้จะลดลงครั้งละ 1 จนถึงเลขรหัส

สุดท้ายในยีนส์ชุดที่ 1 ซึ่งจะต้องมีค่าเท่ากับ 1 ก็คือเป็นลำดับเดียวที่เหลืออยู่ในตารางข้อมูลประเภทกล่องสินค้าเสมอ

ชุดที่สองซึ่งเป็นเลขทศนิยมมาจากการสุ่มภายใต้ขอบเขตตั้งแต่ $[0,1]$ สามารถถอดรหัสได้เป็นจำนวนกล่องสินค้าแต่ละประเภทขนาดที่ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ซึ่งช่วยในการจัดสรรกล่องสินค้าประเภทที่มีจำนวนกล่องมากเกินไปกว่าจะจัดสรรลงในพาเลทเดียว โดยใช้เลขทศนิยมคูณกับจำนวนกล่องสินค้าประเภทที่มีตำแหน่งลำดับตรงกับในตารางข้อมูล เช่น กล่องสินค้าประเภทที่ 1 จะถูกแบ่งโดยมีจำนวนกล่องในแต่ละส่วนเป็น $0.21 \times 4 = 0.84$ ชิ้น และ $4 - 0.84 = 3.16$ ชิ้น ทั้งนี้ เนื่องด้วยจำนวนกล่องควรที่จะเป็นจำนวนเต็ม ดังนั้นจำเป็นต้องปัดเลขทศนิยม โดยเลือกที่จะปัดเลขจำนวนกล่องขึ้นของกล่องส่วนที่มีจำนวนมากกว่าเสมอ จะได้จำนวนกล่องในแต่ละส่วนของกล่องสินค้าประเภทที่ 1 ใหม่เป็น 0 ชิ้น และ 4 ชิ้น ตามลำดับ ด้วยวิธีเดียวกันนี้จะได้จำนวนกล่องในแต่ละส่วนของกล่องสินค้าประเภทที่ 2 เป็น $0.56 \times 5 = 2.80 \approx 3$ ชิ้น และ $5 - 2.80 = 2.20 \approx 2$ ชิ้น และกล่องสินค้าประเภทที่เหลือดังรูปที่ 4

ประเภทขนาดกล่อง	1	2	3
จำนวนกล่อง	4	5	1
ยีนส์ชุดที่ 2	.21	.56	.92

$\approx \quad \approx \quad \approx$

ส่วนของกล่องส่วนที่ 1	4	3	1
ส่วนของกล่องส่วนที่ 2	0	2	0

รูปที่ 4 การถอดรหัสยีนส์ชุดที่ 2

สำหรับชุดที่สาม การเข้ารหัสจะเป็นการสุ่มโดยอาศัยเลขที่ระบุถึงประเภทของพาเลท ตั้งแต่ 1 จนถึง 6 สามารถถอดรหัสได้โดยอิงตามข้อมูลพาเลทเรียงลำดับจากซ้ายไปขวา จากตัวอย่างโครโมโซมที่มีรหัสตัวเลขในส่วนที่สามเป็น “242” หมายถึง พาเลทแรกที่พิจารณาเพื่อรองรับกล่องสินค้าคือพาเลทประเภทที่ 2 พาเลทที่สองที่พิจารณาคือพาเลทประเภทที่ 4 และพาเลทประเภทที่ 2 เป็นลำดับสุดท้าย จำนวนความยาวของโครโมโซมส่วนที่สามหรือขอบเขตจำนวนพาเลทที่ใช้สำหรับโจทย์ปัญหานี้ กำหนดโดยใช้วิธี Next-Fit Heuristic ซึ่งเป็นวิธีการทางฮิวริสติกสำหรับแก้ไข

ปัญหาการจัดวางกล่องสินค้าลงในถังแบบ 1 มิติ (1-Dimension Bin Packing Problem) คำนวณโดยอาศัยพาเลทที่มีปริมาตรความจุ้น้อยที่สุดเป็นความจุของถัง และไม่มี การแบ่งสัดส่วนกล่องสินค้าแต่อย่างใด

4.2 การคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือการนำแต่ละโครโมโซมในประชากรเข้าสู่อัลกอริทึมการคำนวณด้วยวิธีที่ออกแบบขึ้นมา เพื่อประเมินคุณภาพของคำตอบ โดยในงานวิจัยฉบับนี้มีขั้นตอนการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากกลุ่มประชากรที่สามารถถอดรหัสให้อยู่ในรูปคำตอบของปัญหาดังรหัสเทียมที่ 1 โดยมีดัชนีชี้วัดเพื่อประเมินคุณภาพของคำตอบคือค่าผลรวมตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้กล่าวถึงก่อนหน้านี้

รหัสเทียมที่ 1. การคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์

Input: ประชากรเริ่มต้น IP

Output: รูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้า

- 1 For each โครโมโซม C ใน IP
- 2 ถอดรหัสยีนส์ชุดที่ 1 และ 3
- 3 ถอดรหัสยีนส์ชุดที่ 2 ตามลำดับยีนส์ชุดที่ 1
- 4 For each ประเภทกล่อง Bxt ตามลำดับยีนส์ชุดที่ 1
- 5 For each ส่วนของกล่องสินค้า Pbx
- 6 For each พาเลท Pt ตามลำดับยีนส์ชุดที่ 3
- 7 If ส่วนของกล่องสินค้า Pbx ไม่เกินความจุ้น้ำหนักและปริมาตร Then
- 8 จัดส่วนของกล่องสินค้า Pbx ลงในพาเลท Pt
- 9 Exit For (พาเลท)
- 10 End if
- 11 Next Pt
- 12 Next Pbx
- 13 Next Bxt
- 14 บันทึกค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของโครโมโซมนี้
- 15 Next C
- 16 เรียงลำดับโครโมโซมตามค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์
- 17 ส่งคืนผลลัพธ์รูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้า

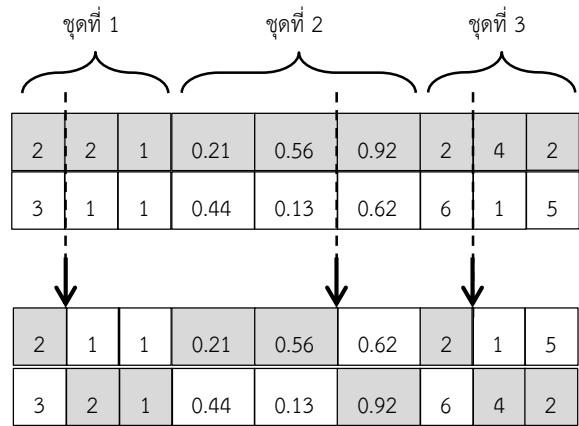
4.3 การสืบทอดประชากร

การสืบทอดประชากร เป็นการจัดตั้งประชากรในรุ่นถัดไป เพื่อเป็นการพัฒนาคุณภาพของคำตอบ ประกอบด้วยสองขั้นตอน ได้แก่ การสร้างประชากรเพิ่มเติม และการคัดเลือกประชากรรุ่นลูก ซึ่งมีลักษณะขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้

4.3.1 การสร้างประชากรเพิ่มเติม

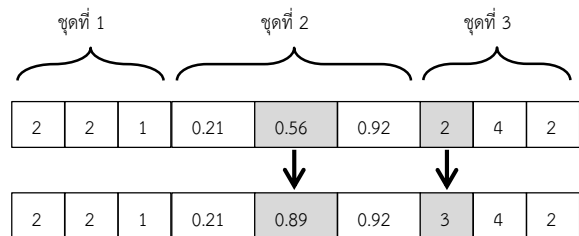
การสร้างประชากรเพิ่มเติมเป็นการสร้างประชากรชุดใหม่ขึ้นมาจากโครโมโซมของประชากรกลุ่มปัจจุบัน สำหรับเพิ่มโอกาสในการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบ การเกิดของประชากรชุดใหม่นี้เปรียบเสมือนการถ่ายทอดรหัสพันธุกรรมจากประชากรรุ่นพ่อแม่ วิธีการในการถ่ายทอดรหัสพันธุกรรมมีอยู่ 2 วิธีด้วยกัน คือ การแลกเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมข้ามโครโมโซม (Crossover) และการปรับเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมภายในโครโมโซม (Mutation)

การแลกเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมข้ามโครโมโซม ในส่วนนี้จะใช้วิธี Single Point Crossover โดยเริ่มจากการเลือกโครโมโซมในประชากรกลุ่มปัจจุบัน 5 โครโมโซมที่มีคุณภาพคำตอบที่ดีที่สุด 5 อันดับแรกเป็นกลุ่มโครโมโซมพ่อ และสุ่มโครโมโซมในประชากรกลุ่มปัจจุบันใด ๆ ที่ไม่ซ้ำกับ 5 โครโมโซมดังกล่าวอีก 6 โครโมโซมเป็นกลุ่มโครโมโซมแม่ จากนั้นจับคู่โครโมโซมระหว่างสองกลุ่ม จะได้ทั้งหมด 30 คู่ แล้วจึงเลือกสุ่มตำแหน่งยีนส์ในโครโมโซมเพียงตำแหน่งเดียวต่อหนึ่งชุดรูปแบบของโครโมโซม ทำให้ได้ทั้งหมด 3 ตำแหน่งต่อหนึ่งโครโมโซมต่อไปคือการตัดโครโมโซมทั้งพ่อและแม่ ณ ตำแหน่งดังกล่าว ก่อนที่จะนำชิ้นส่วนยีนส์ที่มาจากโครโมโซมพ่อต่อกับชิ้นส่วนยีนส์ที่มาจากโครโมโซมแม่ในทั้งสามชุด ทำให้ได้โครโมโซมใหม่ขึ้นมา 2 โครโมโซมต่อหนึ่งการจับคู่ และแลกเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมแบบนี้จนครบทุกคู่ ในที่สุดจะได้ประชากรเพิ่มเติมขึ้นมา 60 โครโมโซม รูปแบบการแลกเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมข้ามโครโมโซมที่กล่าวมาเป็นไปตามตัวอย่างในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การแลกเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมข้ามโครโมโซม

ในส่วนของการปรับเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมภายในโครโมโซม ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อพบว่าโครโมโซมที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดในการประชากรปัจจุบัน มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แตกต่างจากโครโมโซมที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดในการประชากรรุ่นก่อนหน้าอยู่ต่ำกว่า 0.1 % และใช้เฉพาะกับกลุ่มโครโมโซมในประชากรกลุ่มปัจจุบันที่มีคุณภาพคำตอบที่ดีที่สุด 5 อันดับแรกหรือกลุ่มโครโมโซมพ่อ ขั้นตอนการทำงานในส่วนนี้แสดงดังรูปที่ 6 โดยเริ่มจากการสุ่มตำแหน่งยีนส์ในยีนส์ชุดที่สองและยีนส์ชุดที่สามเพียงชุดละหนึ่งตำแหน่ง จากนั้นจึงปรับเปลี่ยนค่าตัวเลขในยีนส์ตำแหน่งดังกล่าว โดยการสุ่มค่าตัวเลขใหม่ตามลักษณะของยีนส์แต่ละชุด ทำแบบเดียวกันนี้จนครบทั้ง 5 โครโมโซม ถือได้ว่าเสร็จสิ้นขั้นตอน กลุ่มโครโมโซมเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการแลกเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมข้ามโครโมโซมที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ต่อไป



รูปที่ 6 การปรับเปลี่ยนรหัสพันธุกรรมภายในโครโมโซม

4.3.2 การคัดเลือกประชากรรุ่นลูก

การคัดเลือกประชากรรุ่นลูก เป็นขั้นตอนที่เกิดขึ้นเพื่อจัดตั้งกลุ่มประชากรรุ่นถัดไป โดยคัดสรรโครโมโซมจาก

ภายในกลุ่มประชากรปัจจุบันรวมกับกลุ่มประชากรเพิ่มเติม การคัดสรรดังกล่าวกระทำโดยการเลือกโครโมโซมที่มีค่า คุณภาพคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มประชากรที่พิจารณาทั้งหมด และสุ่มเลือกโครโมโซมในกลุ่มประชากรดังกล่าวที่เหลือ จน ได้จำนวนโครโมโซมเท่ากับขนาดประชากรที่ต้องการ

สำหรับเงื่อนไขหยุดการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิง วิวัฒนาการที่กล่าวถึงนี้ มีอยู่ 2 เงื่อนไขด้วยกันคือ

- 1) ครบจำนวนรอบที่กำหนด หมายถึงขั้นตอนวิธีเชิง วิวัฒนาการได้สืบทอดประชากรจนถึงรุ่นที่กำหนดไว้ให้ เป็นรุ่นสุดท้ายที่จะดำเนินการ
- 2) ค่าดัชนีชี้วัดคุณภาพของคำตอบมีแนวโน้มการปรับปรุง ให้ดีขึ้นเป็นอัตราที่ต่ำกว่า 0.1 % เมื่อเทียบกับค่าดัชนีชี้ วัดคุณภาพของคำตอบ ณ 10 รอบก่อนหน้า

5. ผลการทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน กระทำ โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์รูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าที่ ได้จากแอปพลิเคชันดังกล่าว กับผลลัพธ์จากประสบการณ์ ของเจ้าหน้าที่ขนย้าย ในด้านฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเวลาใน การคำนวณ ข้อมูลโจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบถูกรวบรวม และเรียบเรียงจากข้อมูลรายงานผลการจัดสรรกล่องสินค้า บนพาเลทจริงของโรงงานกรณีศึกษา ทั้งหมด 10 โจทย์ ปัญหา มีลักษณะดังตารางที่ 3 โดยที่ v_{iMin} , v_{iMax} คือ ปริมาตรกล่องประเภทขนาดที่น้อยที่สุดและที่มากที่สุด ตามลำดับ หน่วยเป็น cm^3 และ N_{iMin} , N_{iMax} คือจำนวน กล่องประเภทขนาดที่น้อยที่สุดและที่มากที่สุดตามลำดับ รวมถึงกำหนดค่าต่าง ๆ ในขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการ ได้แก่ จำนวนรอบการคำนวณเท่ากับ 100 รอบ จำนวนประชากร ในแต่ละรอบเท่ากับ 100 โครโมโซม และค่า $\alpha = 0.8$

แอปพลิเคชันในงานวิจัยฉบับนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยใช้ ภาษาโปรแกรม Visual Basic จากชุดคำสั่ง .NET Framework 4.6.1 ผ่านโปรแกรมพัฒนาแอปพลิเคชัน Microsoft Visual Studio Community 2015 และ ดำเนินการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กที่มีหน่วย ประมวลผล Intel® Core™ i7-4700MQ ขนาด 2.40 GHz

ขนาดหน่วยความจำ 16.0 GB ประเภทระบบ 64-Bit ใช้งาน ร่วมกับระบบปฏิบัติการ Windows 8.1

ตารางที่ 3 คุณลักษณะของโจทย์ปัญหาที่ใช้ทดสอบ

โจทย์ที่	1	2	3	4	5
จำนวนกล่องรวม	98	84	161	79	138
i	5	21	18	16	12
v_{iMin}	2,536	2,536	2,536	2,536	2,536
v_{iMax}	68,324	89,780	77,896	68,324	101,738
N_{iMin}	1	1	1	1	1
N_{iMax}	50	13	48	25	37
โจทย์ที่	6	7	8	9	10
จำนวนกล่องรวม	28	65	116	129	51
i	9	7	3	16	5
v_{iMin}	2,536	2,536	16,582	2,536	2,536
v_{iMax}	68,324	68,324	62,458	68,324	13,388
N_{iMin}	1	1	25	1	1
N_{iMax}	9	26	58	33	18

จากการทดสอบประสิทธิภาพ โดยอาศัยการคำนวณ 10 ครั้งต่อหนึ่งโจทย์ปัญหา ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4 โดยที่ Z = ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของผลลัพธ์รูปแบบการจัดสรร กล่องสินค้า LB คือขอบเขตล่างสุดของผลลัพธ์จากผลลัพธ์ ทั้งหมด และ UB คือขอบเขตบนสุดของผลลัพธ์จากผลลัพธ์ ทั้งหมด รวมถึงสามารถแปลงค่า Z ดังกล่าวให้อยู่ในรูปของ ค่าเฉลี่ยและ % ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยต่อค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ของผลลัพธ์รูปแบบการจัดสรรของเจ้าหน้าที่ดัง ตารางที่ 5 พบว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากรูปแบบการ จัดสรรกล่องสินค้าที่คำนวณด้วยแอปพลิเคชันสามารถ เอาชนะค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากรูปแบบการจัดสรรที่เกิด จากประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่ขนย้ายในทุกโจทย์ปัญหา โดยเฉพาะในโจทย์ปัญหาที่ 1 และ 9 ที่สามารถให้ค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ที่น้อยกว่าเดิมมากที่สุดด้วยค่า %

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การจัดสรรกล่องสินค้า

โจทย์ ที่	เจ้าหน้าที่ Z (cm ²)	แอปพลิเคชัน			
		Z (cm ²)		เวลาคำนวณ (s)	
		LB	UB	LB	UB
1	63,456	27,960	29,376	135	194
2	35,556	25,200	26,160	293	325
3	40,596	30,336	31,356	846	1,087
4	25,200	17,016	17,016	156	222
5	34,416	23,400	24,816	414	518
6	12,000	7,800	7,800	14	22
7	19,800	15,600	17,016	82	115
8	43,716	25,992	27,000	183	230
9	38,616	18,360	19,776	361	610
10	23,400	7,800	15,600	42	57

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

โจทย์ ที่	เจ้าหน้าที่ Z (cm ²)	แอปพลิเคชัน	
		ค่าเฉลี่ย Z (cm ²)	% ความแตกต่าง
1	63,456	28,798	54.62
2	35,556	25,884	27.20
3	40,596	30,595	24.64
4	25,200	17,016	32.48
5	34,416	23,651	31.28
6	12,000	7,800	35.00
7	19,800	15,742	20.49
8	43,716	26,127	40.23
9	38,616	18,677	51.63
10	23,400	13,780	41.11

ความแตกต่างที่มากกว่า 50 % เนื่องจากเจ้าหน้าที่พยายามเลือกพาเลทประเภทที่มีความยาวมากที่สุดไว้รองรับกล่องสินค้าประเภทหนึ่งในโจทย์ โดยไม่ได้คำนึงถึงกล่องสินค้าประเภทขนาดอื่น ทำให้ใช้พาเลทมากเกินไปจนทำให้เป็นการรองรับกล่องสินค้าทั้งหมด สำหรับเวลาที่ใช้คำนวณจะเห็นว่ามีความเหมาะสมเพิ่มขึ้นสำหรับโจทย์ปัญหาที่มีจำนวนกล่องรวมหรือจำนวนประเภทขนาดกล่องมาก อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้คำนวณของเจ้าหน้าที่ขนย้าย ซึ่งใช้เวลาคำนวณโดยทั่วไปเฉลี่ย 20 - 45 นาที ถือได้ว่าการ

จัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทด้วยแอปพลิเคชันมีประสิทธิภาพมากกว่าในด้านความเร็ว

6. สรุป

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสำหรับแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทหลายขนาดในโรงงานผลิตคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ส่องสว่าง อัลกอริทึมดังกล่าวสามารถคำนวณเพื่อสร้างรูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าที่มีการใช้พื้นที่หน้าตัดรวมทุกพาเลทสำหรับรองรับทุกกล่องสินค้าให้น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ ผลการวิจัยจากโจทย์ปัญหาจริงแสดงให้เห็นว่า รูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าที่มาจากขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสามารถให้ค่าวัตถุประสงค์น้อยกว่ารูปแบบการจัดสรรกล่องสินค้าที่เกิดขึ้นจากการคำนวณของเจ้าหน้าที่ขนย้าย ภายใต้ระยะเวลาการคำนวณที่สั้นกว่า

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Dyckhoff, "A typology of cutting and packing problems," *European Journal of Operational Research.*, Vol. 44, pp.145-159, 1990.
- [2] T. J. Hodgson, "A Combined Approach to the Pallet Loading Problem," *IIE Transactions.*, Vol. 14, pp.175-182, 1982.
- [3] B. Ram, "The pallet loading problem: A survey," *International Journal of Production Economics.*, Vol. 28, pp.217-225, 1992.
- [4] R. D. Tsai, E. M. Malstrom, and W. A. Y. Kuo, "Three Dimensional Palletization of Mixed Box Sizes," *IIE Transactions.*, Vol. 25, pp.64-75, 1993.
- [5] G. Scheithauer and U. Sommerweiß, "4-Block heuristic for the rectangle packing problem," *European Journal of Operational Research.*, Vol. 108, pp.509-526, 1996.
- [6] J. Terno, G. Scheithauer, U. Sommerweiß and J. Riehme, "An efficient approach for the multi-pallet loading problem," *European Journal of*

- Operational Research.*, Vol. 123, pp.372-381, 2000.
- [7] E. E. Bischoff, F. Janetz and M. S. W. Ratcliff, "Loading pallets with non-identical items," *European Journal of Operational Research.*, Vol. 84, pp.681-692, 1995.
- [8] E. E. Bischoff and M. S. W. Ratcliff, "Loading multiple pallets," *The Journal of the Operational Research Society.*, Vol. 46, pp.1322-1336, 1995.
- [9] S. Koide, S. Suzuki and S. Degawa, "A Palletize-planning system for multiple kinds of loads using GA search and traditional search," *Proceedings 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 'Human Robot Interaction and Cooperative Robots'*. 5-9 August. Pittsburgh, Pennsylvania USA: pp.510-515, 1995.
- [10] B. P. Ballew, *The distributor's three-dimensional pallet packing problem: A mathematical formulation and heuristic solution approach*. Master's Thesis. Graduate School of Engineering and Management (AFIT/EN). Air Force Institute of Technology, 2000.
- [11] H. C. W. Lau, T. M. Chan, W. T. Tsui, G. T. S. Ho, and K. L. Choy, "An AI approach for optimizing multi-pallet loading operations," *Expert Systems with Applications.*, Vol. 36, pp.4296-4312, 2009.
- [12] M. G. C. Resende and J. F. Gonçalves, "A Parallel Multi-Population Biased Random-Key Genetic Algorithm for a Container Loading Problem," *Computers & Operations Research.*, Vol. 39, pp.179-190, 2012.
- [13] C. F. Chien, J. N. Zheng and M. Gen, "Multi-Objective Multi-Population Biased Random-Key Genetic Algorithm for the 3-D Container Loading Problem," *Computers & Industrial Engineering.*, Vol. 89, pp.80-87, 2015.
- [14] C. F. Chien and T. Jamrus, "Extended Priority-Based Hybrid Genetic Algorithm for the Less-than-Container Loading Problem," *Computers & Industrial Engineering.*, Vol. 96, pp.227-236, 2016.
- [15] K. Kang, I. Moon and H. Wang, "A hybrid Genetic Algorithm with a New Packing Strategy for the Three-Dimensional Bin Packing Problem," *Applied Mathematics and Computation.*, Vol. 219, pp.1287-1299, 2012.
- [16] J. F. Gonçalves and M. G. C. Resende, "A Biased Random Key Genetic Algorithm for 2D and 3D Bin Packing Problems," *International Journal of Production Economics.*, Vol. 145, pp.500-510, 2013.
- [17] X. Li and K. Zhang. "A Hybrid Differential Evolution Algorithm for Multiple Container Loading Problem with Heterogeneous Containers," *Computers & Industrial Engineering.*, Vol. 90, pp.305-313, 2015.
- [18] R. Storn and P. Kenneth, "Differential Evolution – a Simple and Efficient Heuristic for Global Optimization over Continuous Spaces," *Journal of Global Optimization.*, Vol. 11, pp.341-359, 1997.