วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง ในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง

นางสาววิภาวี สีน้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2563

HYPER HEURISTIC APPROACH FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TWO-DIMENSIONAL BIN PACKING PROBLEM IN CONSTRUCTION MATERIAL STORE

Wipawee Sinoi

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Master of Engineering in Industrial Systems and Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2020

วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง และการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง ในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.นิวิท เจริญใจ)
ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
กรรมการ

(ผศ. ดร.จงกล ศรีธร)
กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิภาวี สีน้อย : วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง ในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง (HYPER HEURISTIC APPROACH FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TWO-DIMENSIONAL BIN PACKING PROBLEM IN CONSTRUCTION MATERIAL STORE) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์, 206 หน้า.

สถานการณ์ในปัจจุบันการแข่งขันทางด้านธุรกิจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง บริษัทต่าง ๆ ได้เริ่มพัฒนาระบบโลจิสติกส์ (Logistics) และห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain) เพื่อการจัดการด้านต้นทุนที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างขั้นตอนการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง โดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) เริ่มต้นแก้ไขปัญหาจากการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยเลือกใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ร่วมกับวิธีการกวาด (The Sweep Approach) จากนั้นทำการพิจารณาพร้อมกับการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบสองมิติ ด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งจะพิจารณาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด โดยมีรถขนส่งมี 2 ประเภท และออกจากคลังสินค้าพร้อมกันมากกว่า 1 คัน มีลูกค้าจำนวน 20 ราย และมีศูนย์กระจายสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) ส่วนปัญหาการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งแบบสองมิติประเภทของกล่องสินค้ามี 2 ประเภท คือ กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา ซึ่งนำโปรแกรม MATLAB มาช่วยในการแก้ไขปัญหานี้ โดยผลการศึกษาพบว่าในการจัดเส้นทางการขนส่งใช้รถทั้งหมด 5 คัน มีระยะทางรวม 258.13 กิโลเมตร และการจัดเรียงกล่องสินค้าลงบนรถขนส่งมีพื้นที่เหลือสามารถใช้ประโยชน์ได้คิดเป็นร้อยละ 10.33 พื้นที่ทั้งหมดหรือเหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ทั้งสิ้น 3,300,000 ตารางมิลลิเมตร แสดงว่าขั้นตอนการแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้ามีประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดี ผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนทางทางธุรกิจต่อไป

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนักศึกษา วิภาวี

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

WIPAWEE SINOI : HYPER HEURISTIC APPROACH FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TWO-DIMENSIONAL BIN PACKING PROBLEM IN CONSTRUCTION MATERIAL STORE. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PAVEE SIRIRUK, Ph.D., 206 PP.

HYPER HEURISTIC/BIN PACKING PROBLEM/VEHICLE ROUTING/ ALGORITHM

Nowadays, business competition is continuously increasing, companies started to utilize Logistics and Supply Chain system for development and optimize their cost efficiency. The objective of this thesis was to develop algorithm for vehicle routing problem (VRP) and two-dimensional bin packing problem (2DBPP) on delivery trucks using Hyper heuristic. The algorithm started from solving the vehicle routing problem by combining the Nearest neighbor algorithm and Sweep approach together. Next, the hyper heuristic algorithm for two-dimensional bin packing problem was developed. In this research, heterogeneous fleet vehicle routing problem was considered with 2 types of delivery trucks, leaving a warehouse at the same time. There are 20 customers and a single depot. For the two-dimensional bin packing problem, there are 2 types of product boxes, square and rectangular boxes which can be rotated 90 degrees. MATLAB was deployed to develop the algorithm. The result showed that the vehicle routing consisted of 5 trucks with total distance of 258.13 kilometers. For bin-packing on delivery trucks, the results showed that there were 10.33 % or 3,300,000 square millimeters of available useful space left on delivery trucks. The results implied that the algorithm for vehicle routing and bin-

packing problems had good efficiency to find solutions. The entrepreneurs can deploy this algorithm as a guideline for business planning in the future.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Industrial Engineering

Academic year 2020

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับโอกาส ความกรุณา และความเมตตาอย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำวิธีการศึกษาวิธีการดำเนินวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือตลอดจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ผู้วิจัยได้ตระหนักถึงความตั้งใจ ความทุ่มเทของอาจารย์เป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชวาล, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล ศรีธร และอาจารย์ ดร.นรา สมัตถภาพงศ์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ช่วยให้คำแนะนำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล ที่เมตตาและให้โอกาสทางการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการดำเนินการวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ พี่ ๆ และผองเพื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่งครอบครัวที่ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนมาตลอด ซึ่งเป็นแรงบันดาลใจมาโดยตลอด จนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

วิภาวี สีน้อย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ ..... ด

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 บทนำ 4
2.2 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) 4
2.2.1 การสร้างกลุ่มประชากรหรือการเข้ารหัสโครโมโซมและการสร้างคำตอบเริ่มต้นของประชากร (Population Initialization) 5
2.2.2 กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operation) 5
2.2.2.1 การไขว้เปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) 5
2.2.2.2 การกลายพันธ์ (Mutation) 7
2.2.3 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) 7
2.2.4 การหยุดกระบวนการ (Stop Criteria) 9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 วิธีทางฮิวริสติกส์ (Heuristic) 11
2.3.1 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) 11
2.3.1.1 First Fit (FF) 11
2.3.1.2 Best Fit (BF) 11
2.3.2 การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) 12
2.4 วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) 14
2.5 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP) 16
2.5.1 รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง 16
2.5.2 ฮิวริสติกส์ที่ใช้ในปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง 17
2.5.2.1 วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) 17
2.5.2.2 วิธีการกวาด (The Sweep Approach) 19
2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง 20
2.5.4 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาจัดเส้นทางขนส่งและ
การจัดเรียงกล่องสินค้า 22
2.5.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการขนส่ง 24
2.6 ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP) 25
2.6.1 รูปแบบปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า 25
2.6.1.1 การบรรจุแบบเรียงยาว (Strip Packing) 25
2.6.1.2 การบรรจุแบบใส่ถุง (Knapsack Loading) 25
2.6.1.3 การบรรจุแบบใส่ถัง (Bin Packing) 26
2.6.1.4 การบรรจุแบบหลายตู้คอนเทนเนอร์
(Multi-container Loading) 26
2.6.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า 26
3 วิธีดำเนินการวิจัย 44
3.1 บทนำ 44
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย 44
3.3 การดำเนินการวิจัย 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP) ... 45
3.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP) ... 52
4 ผลการดำเนินการวิจัย ... 62
4.1 บทนำ ... 62
4.2 กรณีศึกษาที่ทำการวิจัย ... 62
4.3 ผลการวิจัย ... 66
4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่ง ... 66
4.3.1.1 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 1 ... 66
4.3.1.2 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 2 ... 70
4.3.1.3 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 3 ... 77
4.3.1.4 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 4 ... 79
4.3.1.5 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 5 ... 80
4.3.1.6 สรุปผลของการจัดเส้นทางการขนส่งทุกคัน ... 84
4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง ... 86
4.3.2.1 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 1 ... 86
4.3.2.2 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 2 ... 119
4.3.2.3 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 3 ... 122
4.3.2.4 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 4 ... 125
4.3.2.5 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 5 ... 128
4.3.2.6 สรุปผลของการจัดเส้นทางการขนส่งทุกคัน ... 132
4.3.3 สรุปผลของการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง ... 134
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ ... 137
5.1 สรุปผลการวิจัย ... 137
5.2 ข้อเสนอแนะ ... 139

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 140
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการแบ่งกลุ่มจุดส่งสินค้าด้วยวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และระยะทางพิกัดผลต่างระหว่างลูกค้า 144
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ 147
ภาคผนวก ค. รูปการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งของลูกค้าแต่ละราย 156
ภาคผนวก ง. ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของลูกค้าแต่ละราย 169
ภาคผนวก จ. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 195
ประวัติผู้เขียน 206

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 ฟังก์ชั่นเงื่อนไข 24
2.2 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัจจัยต่าง ๆ 33
2.3 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย 35
2.4 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีแก้ผลเฉลย 40
3.1 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และความหมาย 54
3.2 การสุ่มจุดตัดภายใน 54
3.3 แสดงการแบ่งช่วงจำนวนกล่องและการกลายพันธ์ 55
3.4 การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย 56
3.5 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย 57
3.6 การเลือกค่าการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดมากที่สุด (Max Fitness) 59
4.1 ประเภทและขนาดของรถขนส่ง 63
4.2 ข้อมูลของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง 64
4.3 ประเภทข้อมูลของกล่องสินค้า 65
4.4 ข้อมูลปริมาณสินค้าที่ลูกค้าสั่งซื้อ 65
4.5 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 17 68
4.6 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 1 70
4.7 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 10 71
4.8 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 20 72
4.9 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 16 73
4.10 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 5 74
4.11 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 18 75
4.12 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 2 76
4.13 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 3 78
4.14 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 4 80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.15 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 5 84
4.16 ภาพรวมสรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่ง 85
4.17 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ที่เหมาะสมกับประเภทกล่องสินค้า..... 87
4.18 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากร(โครโมโซมพ่อแม่) รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1 88
4.19 เกณฑ์การสุ่มจุดตัดภายใน 89
4.20 การไขว้เปลี่ยนแบบ OX และการสุ่มจุดตัดรอบที่ 1 ของรถคันที่ 1..... 89
4.21 การแทนที่ตำแหน่งในหลุม ด้วยตัวอักษร H รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1 89
4.22 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1..... 90
4.23 แสดงคำตอบใหม่ของโครโมโซมพ่อและแม่ รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1..... 90
4.24 แสดงการแบ่งช่วงจำนวนกล่องและการกลายพันธ์..... 91
4.25 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อรอบที่ 1 ของรถคันที่ 1..... 91
4.26 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1 92
4.27 การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ที่เหมาะสมกับประเภทกล่องสินค้า 93
4.28 การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย..... 93
4.29 ประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1 94
4.30 การประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดมาก (Max Fitness) 95
4.31 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากร(โครโมโซมพ่อแม่) รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1 96
4.32 การไขว้เปลี่ยนแบบ OX และการสุ่มจุดตัด รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1..... 96
4.33 การแทนที่ตำแหน่งในหลุม ด้วยตัวอักษร H รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1 96
4.34 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1..... 97
4.35 แสดงคำตอบใหม่ของโครโมโซมพ่อและแม่ รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1..... 97
4.36 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อ รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1..... 99
4.37 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1 100
4.38 ประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1 100
4.39 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากร (โครโมโซมพ่อแม่) รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1 102
4.40 การไขว้เปลี่ยนแบบ OX และการสุ่มจุดตัด รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1..... 102
4.41 การแทนที่ตำแหน่งในหลุมด้วยตัวอักษร H รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1 103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.42 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1 103
4.43 แสดงคำตอบใหม่ของโครโมโซมพ่อและแม่ รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1 103
4.44 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อ รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1 105
4.45 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1 106
4.46 แสดงประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1 106
4.47 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากร (โครโมโซมพ่อแม่) รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1 108
4.48 การไขว้เปลี่ยนแบบ OX และการสุ่มจุดตัด รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1 109
4.49 การแทนที่ตำแหน่งในหลุมด้วยตัวอักษร H รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1 109
4.50 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1 109
4.51 แสดงคำตอบใหม่ของโครโมโซมพ่อและแม่ รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1 109
4.52 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อ รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1 111
4.53 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1 112
4.54 แสดงประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1 112
4.55 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ที่เหมาะสมกับประเภทกล่องสินค้า 115
4.56 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย 113
4.57 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 117
4.58 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 121
4.59 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 124
4.60 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 127
4.61 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5 130

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.62 การจัดเรียงกล่องสินค้าด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ 132
4.63 ผลรายละเอียดการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง 134
ก.1 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 3 145
ก.2 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 4 145
ก.3 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 5 146
ข.1 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของ
รถคันที่ 1 รอบที่ 1 148
ข.2 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของ
รถคันที่ 1 รอบที่ 2 149
ข.3 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของ
รถคันที่ 1 รอบที่ 3 150
ข.4 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของ
รถคันที่ 1 รอบที่ 100 151
ข.5 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของ
รถคันที่ 2 รอบที่ 100 152
ข.6 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของ
รถคันที่ 3 รอบที่ 100 153
ข.7 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของ
รถคันที่ 4 รอบที่ 100 154
ข.8 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของ
รถคันที่ 5 รอบที่ 100 155
ง.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1 170
ง.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2 175
ง.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3 180
ง.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4 185
ง.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5 190

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 สัดส่วนรูปแบบการขนส่งภายในประเทศ 2
2.1 แสดงโครโมโซมพ่อแม่ต้นแบบ 6
2.2 แสดงสุ่มจุดตัดและแทนค่าหลุม 6
2.3 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน 6
2.4 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการไขว้เปลี่ยน 6
2.5 แสดงการกลายพันธ์แบบสุ่มแทรกตำแหน่ง 7
2.6 แสดงพื้นที่ในการบรรจุกล่องสินค้าของการประเมินค่าความเหมาะสม 8
2.7 แสดงขนาดกล่องสินค้าของการประเมินค่าความเหมาะสม 8
2.8 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าของการประเมินค่าความเหมาะสม 8
2.9 แสดงการประเมินค่าความเหมาะสมของการจัดเรียงกล่องสินค้า 9
2.10 ขั้นตอนการทำงานวิธีเชิงพันธุกรรม 10
2.11 แสดงพื้นที่ในการบรรจุกล่องสินค้าการคัดเลือกฮิวริสติกส์ 11
2.12 แสดงขนาดกล่องสินค้าที่จะใช้บรรจุการคัดเลือกฮิวริสติกส์ 12
2.13 แสดงการเปรียบเทียบการจัดเรียงกล่องแบบ First Fit และ Best Fit 12
2.14 แสดงพื้นที่ในการบรรจุกล่องสินค้าการแทนที่ฮิวริสติกส์ 13
2.15 แสดงขนาดกล่องสินค้าที่จะใช้บรรจุการแทนที่ฮิวริสติกส์ 13
2.16 แสดงการเปรียบเทียบการจัดเรียงกล่องแบบ BL, BLR, BLF และBLFR 14
2.17 แสดงการทำงานภาพรวมวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ 15
2.18 ขั้นตอนการทำงาน Hyper heuristic 16
2.19 กำหนดจุดเริ่มหรือศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดอ้างอิง 18
2.20 แสดงจุดส่งสินค้าเริ่มต้น 18
2.21 แสดงการปิดเส้นทางหลัก 19
2.22 แสดงวิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธี Nearest Neighbor 19
2.23 การจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีการกวาด (The Sweep Approach) 20
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย 45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.2 ขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่ง 49
3.3 ขั้นตอนการจัดเรียงกล่องสินค้า 60
4.1 เส้นทางการขนส่งของลูกค้าแต่ละราย 63
4.2 กำหนดศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดเริ่มต้นและจุดหมุนของรถคันที่ 1 66
4.3 แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 90 องศาของรถคันที่ 1 67
4.4 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 30 องศา ของรถคันที่ 2 74
4.5 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 90 องศา ของรถคันที่ 3 77
4.6 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 90 องศา ของรถคันที่ 4 79
4.7 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 90 องศา ของรถคันที่ 5 80
4.8 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 30 องศา ของรถคันที่ 5 82
4.9 การคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ของการจัดเส้นทางขนส่ง 85
4.10 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และ ลูก 2 ในรอบที่ 1 94
4.11 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และ ลูก 2 ในรอบที่ 2 101
4.12 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 3 107
4.13 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 100 113
4.14 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 1 119
4.15 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 2 120
4.16 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 3 124
4.17 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 4 128
4.18 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 5 129
4.19 แสดงการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ของการจัดกล่องสินค้า 133
4.20 แสดงการสรุปจำนวนรถขนส่งที่ใช้ในการจัดเส้นทางการขนส่ง 135

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.21 แสดงการสรุปร้อยละของพื้นที่รถขนส่งที่ใช้ในการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง..... 136
ค.1 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 17 ของรถขนส่งคันที่ 1 157
ค.2 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 6 และ 17 ของรถขนส่งคันที่ 1..... 157
ค.3 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 10 ของรถขนส่งคันที่ 2 158
ค.4 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 10 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 2..... 158
ค.5 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 10, 16 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 2..... 159
ค.6 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 5, 10, 16 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 2..... 159
ค.7 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 5, 10, 16, 18 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 2..... 160
ค.8 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 12 ของรถขนส่งคันที่ 3 160
ค.9 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 12 และ 19 ของรถขนส่งคันที่ 3..... 161
ค.10 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 12 และ 19 ของรถขนส่งคันที่ 3..... 161
ค.11 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 15 ของรถขนส่งคันที่ 4 162
ค.12 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 8 และ 15 ของรถขนส่งคันที่ 4..... 162
ค.13 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1 ของรถขนส่งคันที่ 5 163
ค.14 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 5..... 163
ค.15 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 4 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 5..... 164
ค.16 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 3, 4 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 5..... 164
ค.17 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 5..... 165
ค.18 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4, 7 และ 14 ของรถขนส่งคันที่ 5..... 165
ค.19 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4, 7, 9, 11 และ 14 ของรถขนส่ง
คันที่ 5 166
ค.20 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้
(พื้นที่ลายทแยงเส้นสีเทา) 166
ค.21 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้
(พื้นที่ลายทแยงเส้นสีเทา) 167
ค.22 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 3 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้
(พื้นที่ลายทแยงเส้นสีเทา) 167

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

ค.23 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 4 และไม่มีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้..... 168
ค.24 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้
(พื้นที่ลายทแยงเส้นสีเทา) 168

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BPP	=	ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem)
VRP	=	ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Vehicle Routing Problem)
GA	=	วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)
2D	=	แบบ 2 มิติ (Two-Dimensional)
OX	=	การไขว้เปลี่ยนแบบ (Crossover OX)
Max Fitness	=	ค่าความเหมาะสมสูงสุด/การประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด/พื้นที่เหลือใช้ประโยชน์/Maximize Fitness
FF	=	First Fit
BF	=	Best Fit
BL	=	Bottom-Left
BLR	=	Bottom-Left Rotate
BLF	=	Bottom-Left Fill
BLFR	=	Bottom-Left Fill Rotate

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

สถานการณ์ในปัจจุบันการแข่งขันทางธุรกิจมีความเข้มข้นและเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าเกิดความต้องการสินค้ามากขึ้นตามไปด้วย ไม่ว่าจะเป็นปัจจัย 4 ประการ คือ อาหาร ที่อยู่อาศัย เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค ตลอดจนมีบริษัทใหม่ ๆ เกิดขึ้นมากมาย เนื่องจากประชากรเพิ่มขึ้น มนุษย์ก็ต้องการที่อยู่อาศัยมากขึ้นจึงทำให้บริษัทค้าวัสดุก่อสร้างต้องการใช้ต้นทุนการขนส่งให้ต่ำ เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ ในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าที่กระจายอยู่ตามจุดต่าง ๆ จึงทำให้เกิดการแข่งขันกันมากขึ้นในทางธุรกิจอย่างต่อเนื่อง บริษัทต่าง ๆ เริ่มนำระบบโลจิสติกส์ (Logistics) และโซ่อุปทาน (Supply Chain) เข้ามาเพื่อใช้พัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถในบริษัท อาทิเช่น บริษัทค้าวัสดุก่อสร้างขนาดกลาง ธุรกิจขนาดเล็ก และธุรกิจอีคอมเมิร์ซต่าง ๆ ประกอบกับปริมาณรถบรรทุกที่มากขึ้น และปัญหาการจราจรที่เริ่มแออัดในบางเส้นทาง โดยเฉพาะในเขตชานเมือง จึงเป็นส่วนหนึ่งของการจัดการด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ และในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าที่กระจายอยู่ตามจุดต่าง ๆ จึงทำให้เกิดการแข่งขันกันมากขึ้นในทางธุรกิจ

การขนส่งเปรียบเสมือนเป็นเส้นเลือดที่นำปัจจัยการผลิตและผลผลิตไปยังที่ต่าง ๆ ที่มีความต้องการ ดังนั้นการขนส่งที่มีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำจึงเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สนับสนุนการพัฒนาเศรษฐกิจและก่อให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจภายในประเทศอย่างยั่งยืน และยังเป็นการเสริมสร้างขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศได้อีกด้วย (เอกพล ใจเย็น และคณะ, 2556) รูปแบบการขนส่งทางรถยนต์ (ทางถนน) เป็นรูปแบบหลักของการขนส่งสินค้าในระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย ซึ่งมีสัดส่วนรูปแบบการขนส่งมากที่สุดเป็นร้อยละ 81.12 ของรูปแบบการขนส่งทั้งหมด ในปี 2559 ซึ่งเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 80.86 ในปี 2558 การขนส่งสินค้าทางน้ำภายในประเทศ และสินค้าทางชายฝั่งทะเล คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 8.39 และ 8.48 ตามลำดับ ในขณะที่การขนส่งสินค้าทางรางและอากาศปรับตัวสูงขึ้นเล็กน้อยคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 1.99 และ 0.02 ตามลำดับ (กระทรวงคมนาคม, 2560) ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งได้เริ่มปรากฏชัดเจนมากขึ้นโดยเฉพาะสภาวการณ์ด้านต้นทุนเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องประกอบกับปริมาณรถบรรทุกที่มากขึ้นปัญหาลักษณะนี้จึงทำให้ปัญหาการจราจรที่เริ่มแออัดในบางเส้นทาง โดยเฉพาะในเขตชานเมืองทำให้เกิดต้นทุนโลจิสติกส์สูงขึ้น

รูปที่ 1.1 สัดส่วนรูปแบบการขนส่งภายในประเทศ

ส่วนการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งเพื่อการขนส่งนับเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อบริษัทค้าวัสดุก่อสร้างขนาดกลางแห่งหนึ่งในประเทศไทยเพราะมีผลกระทบต่อค่าขนส่งซึ่งเป็นต้นทุนหลักข้างต้นที่กล่าวมา โดยกระบวนการจัดเรียงกล่องเพื่อการขนส่งมีผลกระทบต่อต้นทุนการดำเนินงานตั้งแต่นำเข้าจนกระทั่งส่งออก ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง โดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าประกันสินค้าเสียหาย และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งล้วนแปรผันตามจำนวนของรถขนส่งที่ใช้ ดังนั้นวิธีการจัดเรียงกล่องที่มีประสิทธิภาพ จะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้

ซึ่งงานวิจัยนี้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง เลือกใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และนำเสนอวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) แก้ไขปัญหาการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ของรถขนส่งทำให้เกิดการจัดเรียงที่ชิดกันมากขึ้น ส่งผลให้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาแนวทางการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยใช้รถขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ และการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งให้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การขนส่งสินค้าและเป็นแนวทางการจัดเรียงสินค้าในรูปแบบสองมิติ บนรถขนส่งภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด

1.2.3 เพื่อพัฒนาขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งในรูปแบบสองมิติ โดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้ในการวางแผนการขนส่งสินค้า

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem) โดยมีรถขนส่ง 2 ประเภท คือ ประเภทที่หนึ่งรถขนส่งขนาด 4 ล้อ มีขนาดความกว้าง 1,500 มิลลิเมตร ความยาว 2,100 มิลลิเมตร จำนวน 4 คัน และประเภทที่สองรถขนส่งขนาด 6 ล้อ ขนาดความกว้าง 2,500 มิลลิเมตร ความยาว 4,500 มิลลิเมตร จำนวนรถ 3 คัน และมีศูนย์กระจายสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) มีจำนวนลูกค้าทั้งหมด 20 ราย ส่วนปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งแบบสองมิติ (2D) มีกล่องสินค้า 2 ประเภท คือ ประเภทที่หนึ่งกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส แบ่งเป็น 2 ขนาดคือ ขนาดเล็กความกว้าง 300 มิลลิเมตร ความยาว 300 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่ความกว้าง 900 มิลลิเมตร ความยาว 900 มิลลิเมตร และประเภทที่สองกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีขนาดความกว้าง 500 มิลลิเมตร ความยาว 600 มิลลิเมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบแนวทางการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งให้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด โดยสามารถใช้รถขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.2 ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าในรูปแบบสองมิติ เป็นแนวทางสำหรับการวางแผนการการขนส่งและจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด

1.4.3 ได้ขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าในรูปแบบสองมิติโดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ให้เป็นแนวทางสำหรับการวางแผนขนส่งสินค้าต่อไป

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาการวิจัยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งและการบรรจุกล่องสินค้าแบบสองมิติในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ไว้ดังต่อไปนี้

2.1.1 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

2.1.2 วิธีทางฮิวริสติกส์ (Heuristic)

2.1.3 วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic)

2.1.4 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP)

2.1.5 ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP)

2.2 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

จิระเดช พลสวัสดิ์ (2546) ได้กล่าวถึง วิธีเชิงพันธุกรรมตามรูปที่ 2.1 เป็นการจำลองแนวคิดของสิ่งมีชีวิตวิวัฒนาการกระบวนการในชีววิทยา มาใช้พัฒนาขึ้นโดยจอร์น ฮอลแลน เป็นการเลือกสายพันธุ์ตามธรรมชาติจากรุ่นบรรพบุรุษสู่รุ่นลูกรุ่นหลาน ซึ่งจะมีลักษณะที่ถูกถ่ายทอดไว้ นำมาใช้ในการคำนวณ โดยได้รับความนิยมแพร่หลาย ได้มีการนำวิธีเชิงพันธุกรรมไปประยุกต์ใช้กับงานในรูปแบบต่าง ๆ หลายด้านอย่างแพร่หลาย การใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบให้มองเป็นเครื่องมือในการช่วยการคำนวณอย่างหนึ่งในการคำนวณข้อมูล โดยการขยายสายพันธุ์จะทำให้เกิดข้อมูลใหม่ ๆ และได้ค่าคำตอบที่ดีขึ้น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมช่วยในการค้นหาคำตอบโดยใช้หลักคัดเลือกตามธรรมชาติจะเริ่มชุดคำตอบจากการสุ่ม นำคำตอบเหล่านี้มาประเมินค่าความถูกต้องของคำตอบ หลังจากนั้นจะเลือกคำตอบที่ดีออกมาแล้วจึงใช้ธรรมชาติเริ่มชุดคำตอบจากการสุ่มนำคำตอบเหล่านี้มาประเมินค่าความถูกต้องของคำตอบ หลังจากนั้นจะเลือกคำตอบที่ดีออกมา โดยนำคำตอบที่ได้เลือกแล้วมาเป็นต้นแบบ จะได้คำตอบใหม่ที่มีคำตอบเก่าที่ดีเป็นพื้นฐาน ในขณะที่ข้อมูลที่ให้คำตอบประสิทธิภาพต่ำกว่าจะถูกกำจัดไป เมื่อได้คำตอบใหม่มาก็จะทำการประเมินค่าความถูกต้องของคำตอบนั้น และทำการคัดเลือกอีกครั้งและทำเช่นนี้ซ้ำไปเรื่อย ๆ จนได้คำตอบที่ต้องการตามเงื่อนไขที่ต้องการ

จากที่ได้กล่าวข้างต้นเป็นวิธีเชิงพันธุกรรมจะสร้างคำตอบใหม่จากคำตอบเก่าโดยใช้วิธีการเลียนแบบทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งวิธีดังกล่าวเกิดขึ้นกับโครโมโซม (Chromosome) ซึ่งจะเป็นลักษณะการเข้ารหัส การสร้างคำตอบใหม่โดยใช้วิธีการต่าง ๆ ที่เลียนแบบจากพันธุกรรม เช่น การไขว้ การกลายพันธ์ เมื่อได้คำตอบใหม่จะอยู่ในรูปโครโมโซมหรือถูกเรียกว่า “ประชากร (Population)” ของคำตอบที่เหมาะสมเพื่อประเมินค่าความถูกต้อง

ชุดคำตอบทั้งหมดที่ทำการประเมินค่าและเลือกประชากรที่ดีออกมานั้น แต่ละชุดจะถูกเรียกกว่า “รุ่น (Generation)” ในแต่รุ่นของประชากรจะต้องผ่านการประเมินค่าการเลือกประชากรที่ดีและการสร้างชุดคำตอบชุดใหม่ขึ้น โดยวิธีเชิงพันธุกรรมมีรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 การสร้างกลุ่มประชากรหรือการเข้ารหัสโครโมโซมและการสร้างคำตอบเริ่มต้นของประชากร (Population Initialization)

การสร้างกลุ่มประชากรหรือการเข้ารหัสโครโมโซมและการสร้างคำตอบเริ่มต้นของประชากร เป็นขั้นตอนในการกำหนดรูปแบบโครโมโซมหรือการเข้ารหัสโครโมโซม เช่น สัญลักษณ์เฉพาะ หมายเลขลำดับ ค่าของข้อมูล จำนวนเต็มหรือเลขฐานสอง ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกและมีความสำคัญ เพราะเป็นการออกแบบโครโมโซมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของคำตอบ เป็นขั้นตอนที่นิยมทำโดยการสุ่มสร้างโครโมโซมขึ้นมา ในการเริ่มสร้างประชากร คือ การหาคำตอบเริ่มต้น สามารถทำได้หลากหลายวิธี การหาคำตอบเริ่มต้นนี้เพื่อนำไปใช้ในการเริ่มต้นการหาคำตอบที่ดีที่สุด

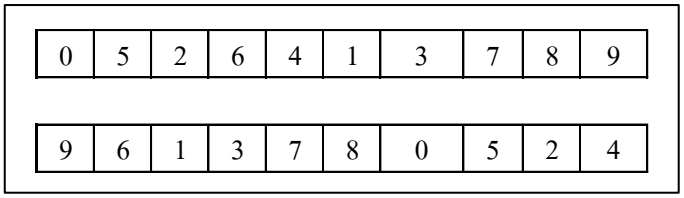
2.2.2 กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operation)

กระบวนการเชิงพันธุกรรมจะมีกระบวนการหลักอยู่ 2 ขั้นตอน คือ การไขว้เปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ซึ่งจะเป็นกระบวณการในการค้นหาคำตอบและแลกเปลี่ยนผลเฉลยให้ดีขึ้น ซึ่งสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ

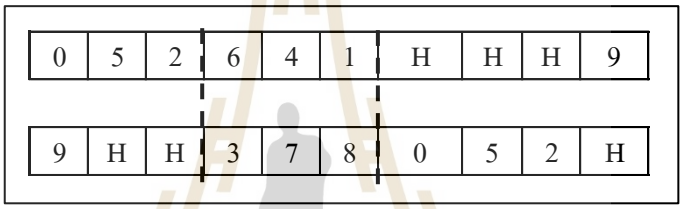
2.2.2.1 การไขว้เปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover)

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึง การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX) มีกระบวนการดังรูปที่ 2.1 ถึง 2.4 (จิระเดช พลสวัสดิ์, 2546) เป็นโครโมโซมพ่อแม่ต้นแบบที่เกิดจากการสุ่มดังรูปที่ 2.1 โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการไขว้เปลี่ยนเริ่มจากจุดตัดที่ได้จากการสุ่มจะแสดงเป็นเส้นประ สุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นประ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นประ) หมายเลขที่คู่กันของจุดตัดภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ตำแหน่งในหลุม (Hole) หรือตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ H นั้น ๆ ดังรูปที่ 2.2 แล้วทำการเลื่อนตำแหน่งมารวมกันดังแสดงในรูปที่ 2.3 แต่โครโมโซมใหม่จะเริ่มจากจุดตัดภายในจากนั้นจะแทนที่หลุมทั้งหมดด้วยส่วนที่ถูกแบ่งภายในจากอีกโครโมโซมกลายเป็นคำตอบสุดท้าย

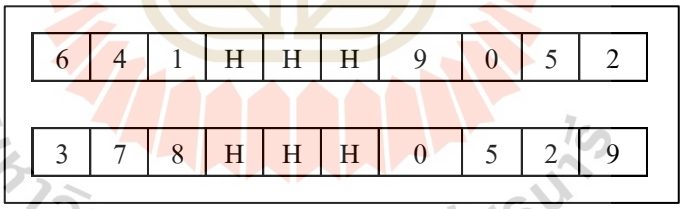
ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งวัตถุประสงค์ของการไขว้เปลี่ยนแบบนี้ คือ การพยายามรักษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งเดิมก่อนหลังของยีนต่าง ๆ ในโครโมโซมให้มีลำดับเหมือน ๆ เดิม



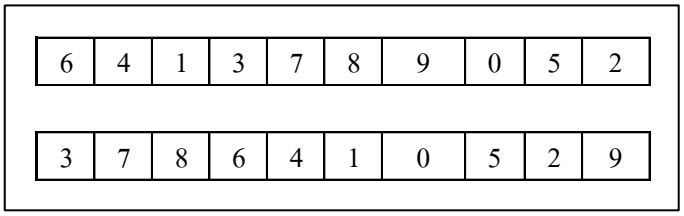
รูปที่ 2.1 แสดงโครโมโซมพ่อแม่ต้นแบบ



รูปที่ 2.2 แสดงสุ่มจุดตัดและแทนค่าหลุม



รูปที่ 2.3 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน



รูปที่ 2.4 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการไขว้เปลี่ยน

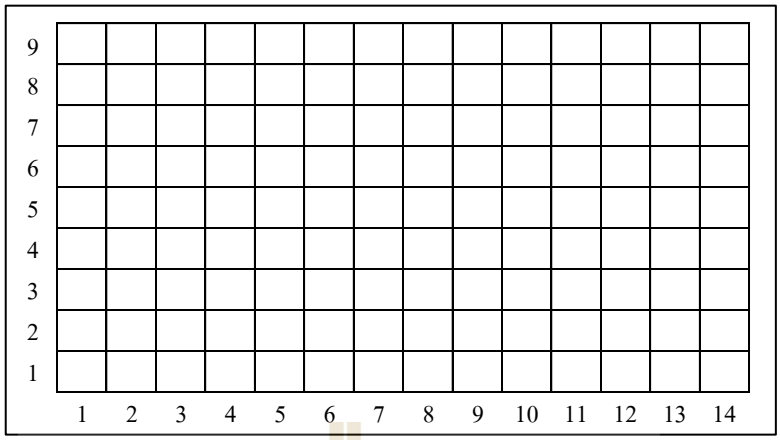
2.2.2.2 การกลายพันธ์ (Mutation)

รุณี ไกรทอง (2557) หลังจากวิธีการไขว้เปลี่ยนตำแหน่ง ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึง การกลายพันธ์แบบสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) เลือกประชากรหรือโครโมโซมที่ดีออกมาเพื่อทำการกลายพันธ์แบบสุ่มแทรกตำแหน่งเพื่อให้ได้ประชากรใหม่หรือโครโมโซมใหม่ เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งยีนของโครโมโซม แล้วทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่จะแทรก และทำการสุ่มเลือกยีนที่จะนำมาแทรก แล้วนำค่ายีนที่สุ่มได้ เข้ามาแทรกในตำแหน่งที่ถูกสุ่มจะได้ผลลัพธ์โครโมโซมผ่านการแทรก ดังรูปที่ 2.5

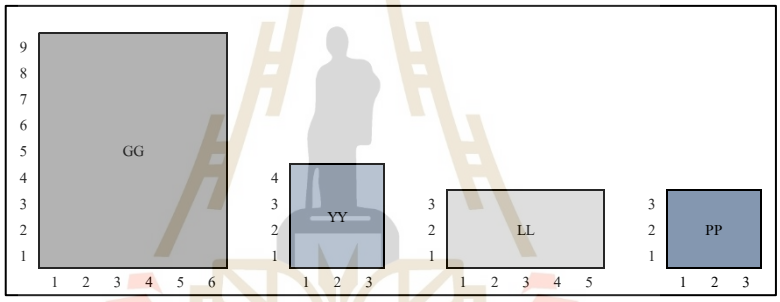
รูปที่ 2.5 แสดงการกลายพันธ์แบบสุ่มแทรกตำแหน่ง

2.2.3 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

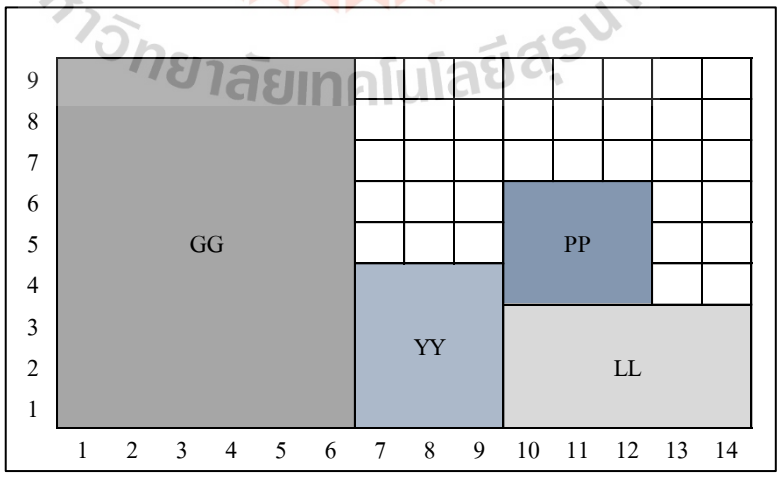
ในขั้นตอนนี้ เป็นการนำโครโมโซมหรือคำตอบที่ได้มาทดสอบ เพื่อวัดความถูกต้องของคำตอบ ค่าความถูกต้องนี้จะเรียกว่า ค่าความเหมาะสมหรือค่าความแข็งแรงของคำตอบ (Fitness) โดยประเมินตามเงื่อนไขที่กำหนด ค่าที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการคัดเลือกคำตอบที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการสร้างคำตอบรุ่น (Generation) ถัดไป ดังนั้น ค่าความเหมาะสมต้องบ่งบอกถึงความแตกต่างของคำตอบที่ดีและไม่ดีได้



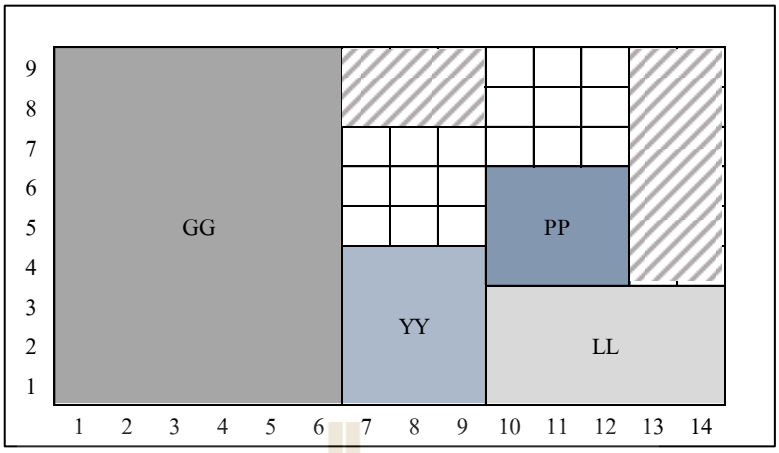
รูปที่ 2.6 แสดงพื้นที่ในการบรรจุกล่องสินค้าของการประเมินค่าความเหมาะสม



รูปที่ 2.7 แสดงขนาดกล่องสินค้าของการประเมินค่าความเหมาะสม



รูปที่ 2.8 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าของการประเมินค่าความเหมาะสม



รูปที่ 2.9 แสดงการประเมินค่าความเหมาะสมของการจัดเรียงกล่องสินค้า

พื้นที่ใช้งานไม่ได้ คือ ไม่มีกล่องสินค้าขนาดใดจัดเรียงลงรถขนส่งได้ แม้แต่กล่องสินค้าขนาดเล็กที่สุด (PP)

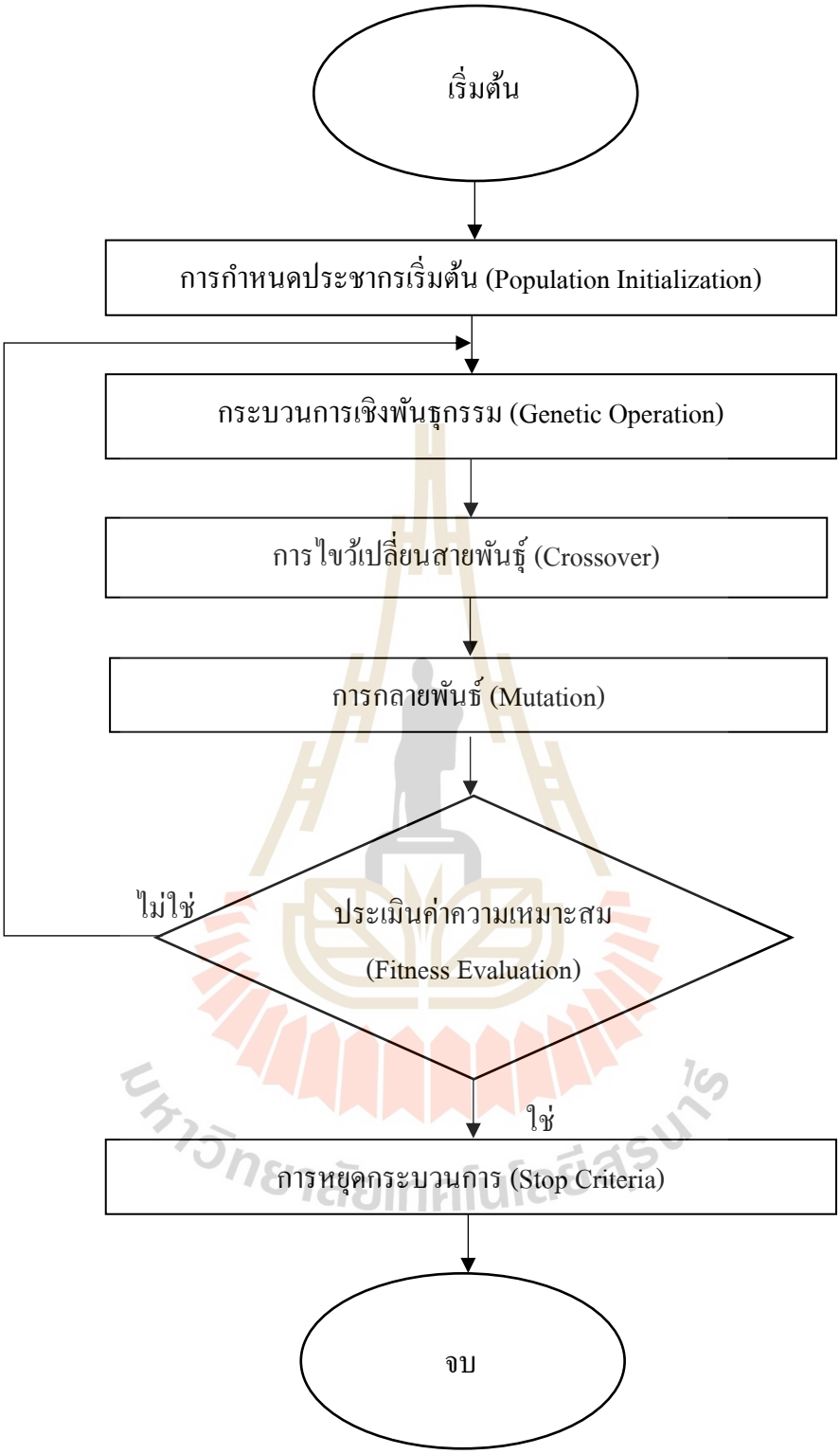
ค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) บางกรณีสามารถแทรกกล่องสินค้าได้

ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ในการจัดเรียงกล่องสินค้า โดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) เป็นวิธีที่แก้ไขปัญหาตามเงื่อนไขของปัญหานั้น ๆ ซึ่งในส่วนของการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) สามารถแทรกกล่องสินค้าได้

2.2.4 การหยุดกระบวนการ (Stop Criteria)

ในการหยุดกระบวนการของวิธีเชิงพันธุกรรม สามารถกำหนดโดยตั้งเงื่อนไขหยุด เช่น กำหนดรอบ (Iteration) ของกระบวณการ เป็นต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการทำงานวิธีเชิงพันธุกรรม

2.3 วิธีทางฮิวริสติกส์ (Heuristic)

วิธีทางฮิวริสติกส์ เป็นการแก้ปัญหาแบบสามัญสำนึกขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ทำวิจัย นำไปใช้กับสถานการณ์บางอย่างที่ต้องการวางเป้าหมายไว้ตั้งแต่ต้นเท่านั้น อาจจะไม่ใช่ทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุดเหมือนกับอัลกอริทึมอื่น ๆ โดยแท้จริง คือ การแก้ไขปัญหาโดยอาศัยกฎเกณฑ์ง่าย ๆ ซึ่งเกิดจากประสบการณ์ในการแก้ปัญหาลักษณะเดียวกันในอดีตจึงทำให้การแก้ปัญหามีความรวดเร็วมาก วิธีการนี้เลือกคำตอบที่เหมาะสมและมีคุณภาพที่สามารถยอมรับได้ให้กับการค้นหา แม้ว่าอาจจะไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยข้อดีของฮิวริสติกส์ ง่ายในการทำความเข้าใจการนำไปใช้และรวดเร็ว (พิเชษฐ์ ยงยิ่งประเสริฐ, 2557)

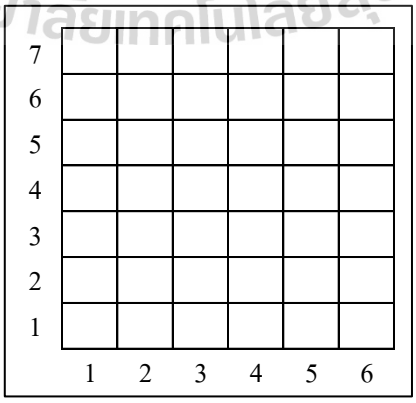
2.3.1 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic)

2.3.1.1 First Fit (FF)

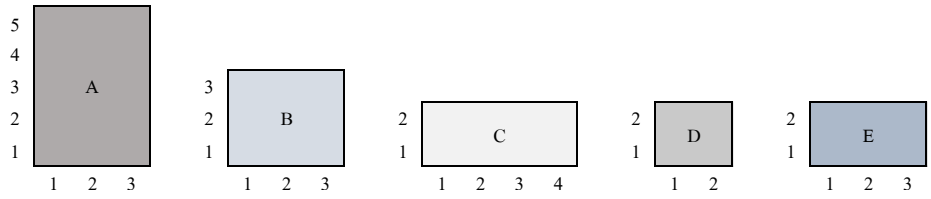
First Fit คือ การเลือกพื้นที่แรกที่บรรจุได้และมีขนาดใหญ่เพียงพอกับพื้นที่ที่ต้องการบรรจุ แต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้พิจารณาพื้นที่ถัดไป และถ้าไม่ได้เลยก็ให้ใช้รถคันใหม่ เป็นวิธีง่ายที่สุดและเสียเวลาน้อยที่สุด

2.3.1.2 Best Fit (BF)

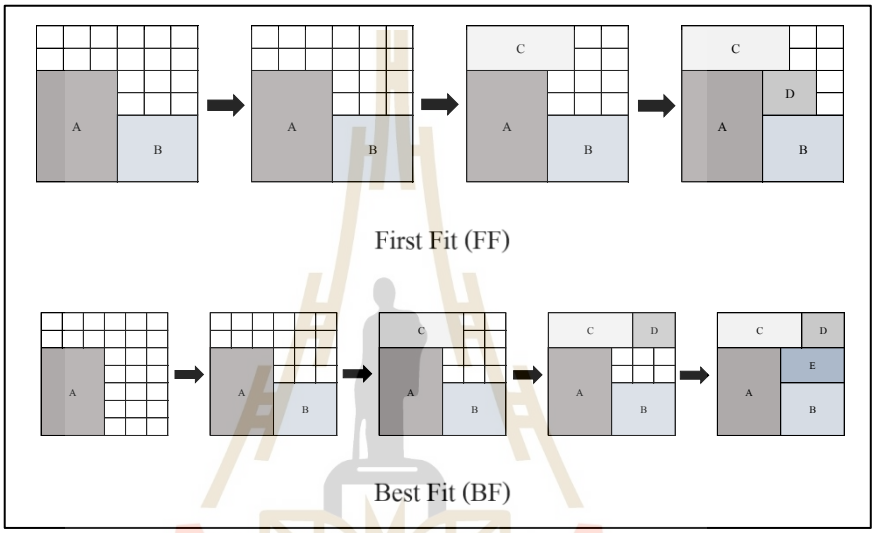
Best Fit คือ การเลือกพื้นที่บรรจุที่เหมาะสมที่สุด ทำการค้นหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่บรรจุว่างที่มีขนาดเท่ากันแต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ ให้ทำการพิจารณาคันถัดไป ข้อเสีย คือ ใช้เวลานาน เพราะต้องเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ว่างทั้งหมด โดยต้องหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมกับพื้นที่ที่บรรจุ ถ้าต้องการค้นหาให้เร็วขึ้นจะต้องเรียงจากขนาดเล็กไปใหญ่ เมื่อพบพื้นที่ว่างก็ทำการบรรจุลงพื้นที่นั้นได้ จึงเป็นการประหยัดเวลาได้เพราะไม่ต้องเปรียบเทียบพื้นที่ว่างทั้งหมด



รูปที่ 2.11 แสดงพื้นที่ในการบรรจุกล่องสินค้าการคัดเลือกฮิวริสติกส์



รูปที่ 2.12 แสดงขนาดกล่องสินค้าที่จะใช้บรรจุการคัดเลือกฮิวริสติกส์



รูปที่ 2.13 แสดงการเปรียบเทียบการจัดเรียงกล่องแบบ First Fit และ Best Fit

2.3.2 การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)

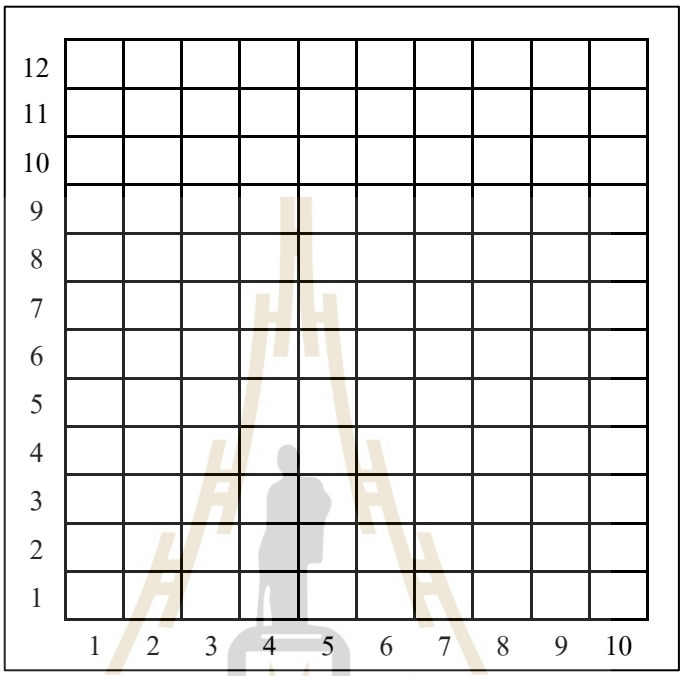
พิเชษฐ์ ยงยิ่งประเสริฐ (2557) หลังจากที่ทำการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ในหัวข้อ 2.3.1 และจะทำการแทนที่ฮิวริสติกส์ตามลักษณะของปัญหา ตามรูปแบบของแต่ละปัญหานั้น ๆ ดังนี้

1. Bottom-Left (BL) เรียงลำดับจากความสูง ขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้

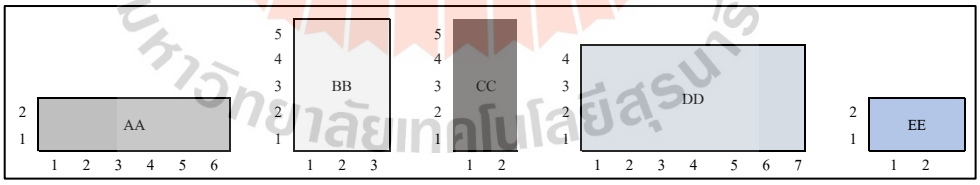
2. Bottom-Left Rotate (BLR) เรียงลำดับจากความสูง ขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบน เลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ สามารถหมุน 90 องศา

3. Bottom-Left Fill (BLF) กล่องบรรจุตาม BL แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่า “แก๊ปฟิลลิง (Gap Filling)” แก้ปัญหาก่อนหน้านี้ทำให้สามารถลดพื้นที่เปล่าประโยชน์สำหรับตู้รถขนส่งมากขึ้น

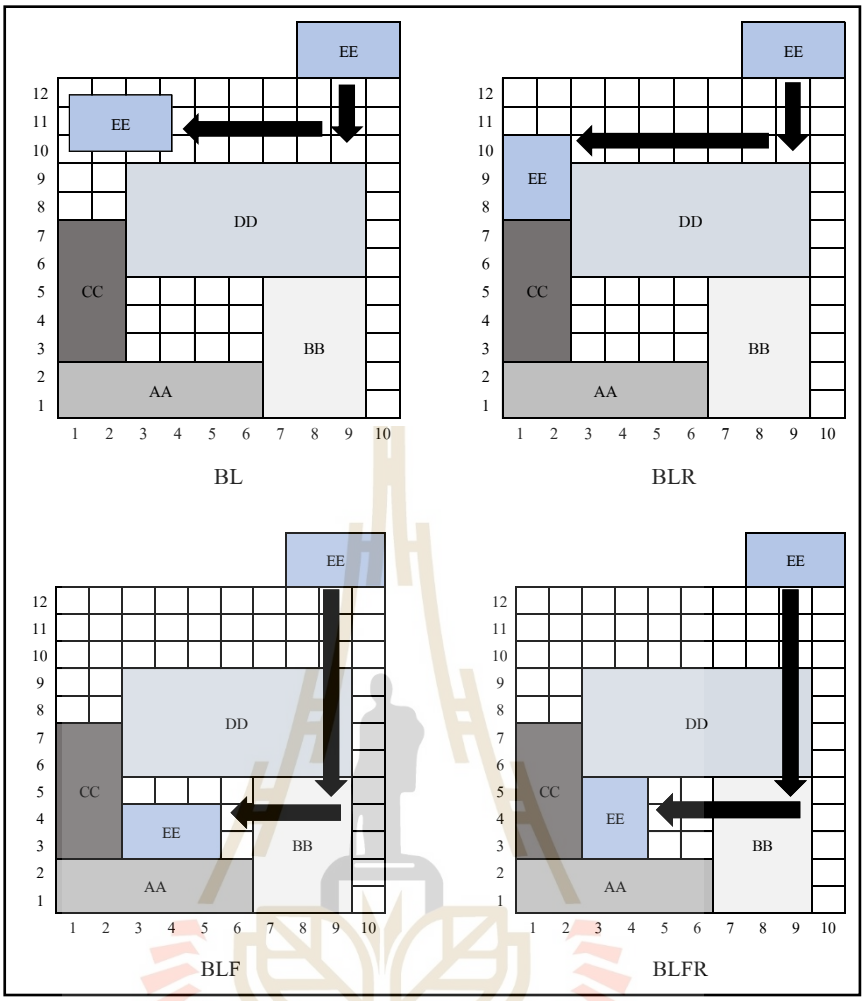
4. Bottom-Left Fill Rotate (BLFR) กล่องบรรจุตาม BLF แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่า “แก๊ปฟิลลิง (Gap Filling)” แก้ปัญหาก่อนหน้านี้ทำให้สามารถลดพื้นที่เปล่าประโยชน์ในตู้รถขนส่งมากขึ้นสามารถหมุน 90 องศาได้



รูปที่ 2.14 แสดงพื้นที่ในการบรรจุกล่องสินค้าการแทนที่ฮิวริสติกส์



รูปที่ 2.15 แสดงขนาดกล่องสินค้าที่จะใช้บรรจุการแทนที่ฮิวริสติกส์



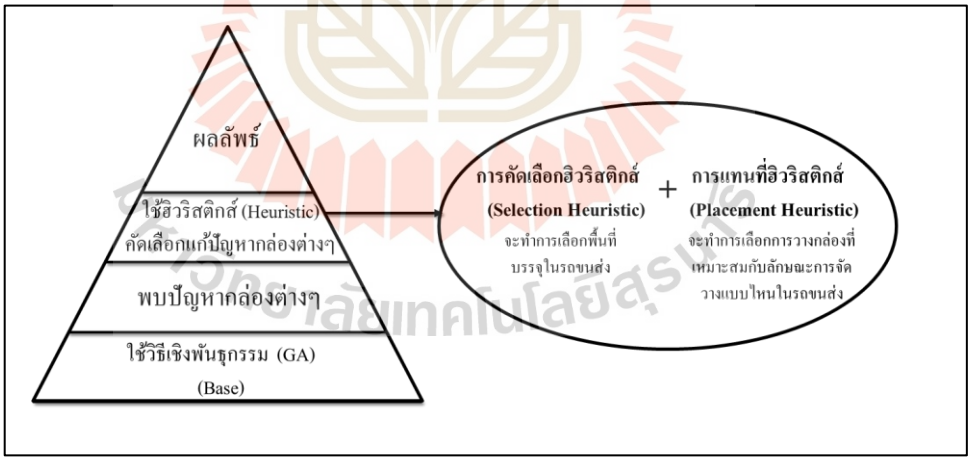
รูปที่ 2.16 แสดงการเปรียบเทียบการจัดเรียงกล่องแบบ BL, BLR, BLF และ BLFR

2.4 วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic)

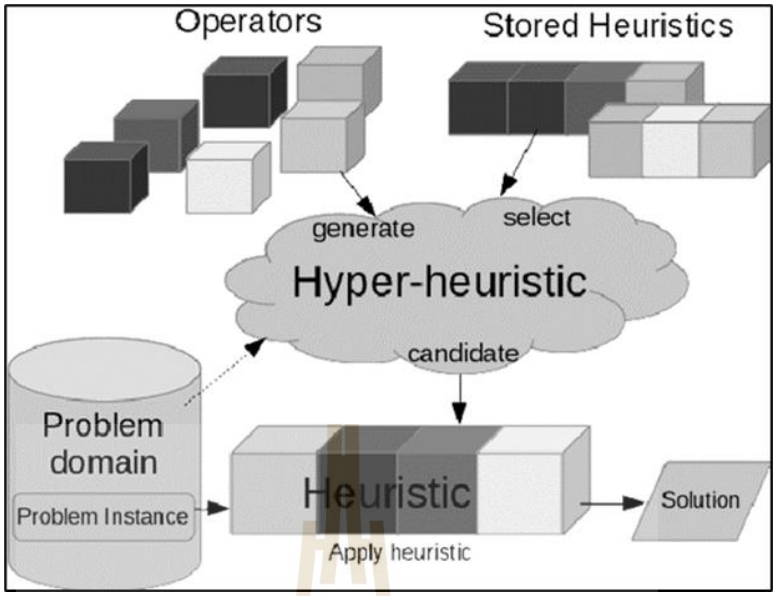
ขั้นตอนการทำงานวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ดังรูปที่ 2.17 เป็นการทำงานโดยการค้นหาฮิวริสติกส์ให้ตรงกับปัญหาขึ้นกับเงื่อนไขและข้อจำกัดนั้น ๆ แบบการวิเคราะห์ตรงจุด และนำมาประยุกต์ใช้กับอัลกอริทึมอื่น ๆ ให้เป็นวิธีเดียวกันจึงเรียกว่า “วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic)” โดยในงานวิจัยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นพื้นฐานการค้นหาคำตอบหรือผลลัพธ์ในการจัดเรียงกล่องสินค้า โดยทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเมื่อพบปัญหากล่องสินค้าในลักษณะต่าง ๆ จะทำการพิจารณาคัดเลือกในแต่ละปัญหา โดยจะใช้เป็นการทำงานระหว่างของฮิวริสติกส์ (Heuristic) ซึ่งแบ่งเป็นการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เพื่อใช้แก้ปัญหาที่หลากหลาย แทนที่จะค้นหาวิธีการแก้ปัญหาในลักษณะเดียวทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าการวิเคราะห์

ฮิวริสติกส์แบบเดียว ซึ่งแต่ละรอบของปัญหาจะมีวิธีฮิวริสติกส์รวมหลายเงื่อนไขรองรับไว้ แต่จะดึงวิธีฮิวริสติกส์ในแต่ละปัญหานั้น ๆ ของแต่ละรอบของปัญหาออกมาแก้ปัญหาในรอบนั้น ๆ จะสามารถแก้ไขปัญหาได้ตรงจุด เหมาะกับสถานการณ์นั้น ๆ จะได้ผลลัพธ์เข้าใกล้ค่า optimal (ดีที่สุด) ได้เร็วขึ้นและเร็วที่สุด ดังรูปที่ 2.18

Terashima, Ross, and Valenzuela (2007) ได้ทำการศึกษาและทำการวิเคราะห์พฤติกรรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ คือ การรวบรวมวิธีหลากหลายเข้าด้วยกัน วิเคราะห์แบบตรงไปตรงมาเพื่อแก้ปัญหาที่หลากหลาย ทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าการวิเคราะห์พฤติกรรมแบบเดี่ยวหรือแบบดั้งเดิม จุดมุ่งหมายของบทความนี้ คือ การวิเคราะห์และพัฒนาทางเลือกใหม่ในการวิวัฒนาการเพื่อสร้างพฤติกรรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper-Heuristic) ทำการแก้ปัญหาการตัดแบ่งส่วนแบบทรงสี่เหลี่ยม 2 มิติ บทความนี้นำเสนอพื้นฐานของกระบวนการเชิงพันธุกรรม ใช้ในการสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์แบบทั่วไป ในการแก้ปัญหาการแบ่งส่วนการตัดแบบสองมิติ โดยที่กระบวนการเชิงพันธุกรรมใช้การแสดงความยาวแปรผัน ซึ่งไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เกิดจากการรวมกันของฮิวริสติกส์แบบต่าง ๆ ซึ่งการแก้ปัญหาจะขึ้นกับเงื่อนไขข้อจำกัดนั้น ๆ แก้ไขปัญหาโดยตรงกับปัญหานั้น ๆ ส่งผลให้การวิเคราะห์แบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ดังกล่าวเมื่อทดสอบกับปัญหามาตรฐานจำนวนมากให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและใกล้เคียงที่สุด ทำงานได้ดีกว่าฮิวริสติกส์เดี่ยวหรือแบบดั้งเดิม



รูปที่ 2.17 แสดงการทำงานภาพรวมวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการทำงาน Hyper heuristic

2.5 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP)

2.5.1 รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย (Dantzig & Ramser, 1959) ครั้งแรกถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของรถบรรทุก (Truck Dispatching) โดยต้องค้นหาเส้นทางการจัดส่งสินค้าหรือลำดับการจัดส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปลูกค้าหลายรายที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่บริการ เพื่อส่งเสริมให้กับลูกค้าทุกคนโดยใช้ระยะทางการขนส่งรวมสั้นที่สุด ต่อมาได้มีนักวิจัยหลายท่านพัฒนาแบบจำลองให้มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะด้านต่าง ๆ กันไปมากมาย รูปแบบย่อยของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบ่งย่อยได้ 4 รูปแบบดังนี้

1. แบบจำลองที่มีการพิจารณาความจุของยานพาหนะ (Capacity-constrained Vehicle Routing Problem : CVRP) ใช้ในกรณีที่รถขนส่งไม่สามารถบรรทุกสินค้าไปส่งลูกค้าทุกคนในคราวเดียวกันได้ ดังนั้น ในการขนส่งแต่ละรอบจึงจำเป็นต้องพิจารณาความจุของรถขนส่ง หากเกินความจุต้องเพิ่มรอบในการขนส่งใหม่ (Laporte & Ramser, 1985)

2. แบบจำลองที่มีข้อจำกัดด้านระยะทางการขนส่งต่อรอบ (Distance-constrained Vehicle Routing Problem : DVRP) ใช้ในกรณีที่ลูกค้าไม่สามารถรอรับสินค้าได้นาน หากรถขนส่งมีขนาดใหญ่สามารถบรรทุกสินค้าไปส่งให้กับลูกค้าจำนวนหลายรายพร้อมกัน บางครั้งลูกค้ารายสุดท้ายอาจได้รับสินค้าช้าจนเกินไป ดังนั้นจำเป็นต้องเพิ่มจำนวนรถขนส่งหรือใช้ในกรณีที่มี

ข้อจำกัดในการขนส่งอื่น ๆ เช่น ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง ระยะเวลาในการปฏิบัติงานของพนักงานขับรถ หรือระยะเวลาที่รถบรรทุกสามารถวิ่งได้ตามกฎหมาย เป็นต้น จึงจำเป็นต้องพิจารณาระยะทางรวมในการขนส่งแต่ละรอบด้วย (Loprte et al., 1985)

3. แบบจำลองที่มีข้อจำกัดด้านเวลารับส่งที่ลูกค้าสามารถรอคอย (Vehicle Routing Problem with Time-Window : VRPTW) ใช้ในกรณีที่ลูกค้าแต่ละราย สามารถรอรับสินค้าได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น เช่น ลูกค้าสามารถรอรับในส่งเวลา 8.00 ถึง 9.00 น. ดังนั้นรถขนส่งจำเป็นต้องไปส่งสินค้าในช่วงที่ลูกค้าสามารถรอคอยได้เท่านั้น หากไปช้าหรือเร็วกว่ากำหนดเวลา จะไม่สามารถส่งสินค้าได้ หรือต้องเสียค่าปรับ ในกรณีที่มีการรับสินค้าจากผู้ผลิตหลายราย จึงจำเป็นต้องจองช่วงเวลาหรือจัดลำดับในการรับส่งที่ชัดเจน (Solomon, 1987)

4. แบบจำลองที่ยอมให้มีการแบ่งรับสินค้าทีละส่วน (Split Delivery Vehicle Routing Problem : SDVRP) เป็นกรณีที่ลูกค้าสามารถรอรับสินค้าได้มากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งอาจเป็นเพราะ มีต้นทางหรือผู้ผลิตหลายราย หรือปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการเกินความจุของยานพาหนะหรือความสามารถในการผลิตของผู้ผลิตรายใดรายหนึ่งซึ่งการเปิดเงื่อนไขให้ลูกค้าสามารถรับสินค้าได้มากกว่า 1 ครั้ง ทำให้เราสามารถจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นในแง่ของความยืดหยุ่นของคำตอบ ส่งผลให้คำตอบที่ได้มีค่าต่ำลงกว่ารูปแบบปัญหาที่จำกัดให้ลูกค้าต้องรับสินค้าเพียงครั้งเดียวในแบบจำลองพื้นฐาน (Frizzelt & Giffin, 1985)

2.5.2 ฮิวริสติกส์ที่ใช้ในปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

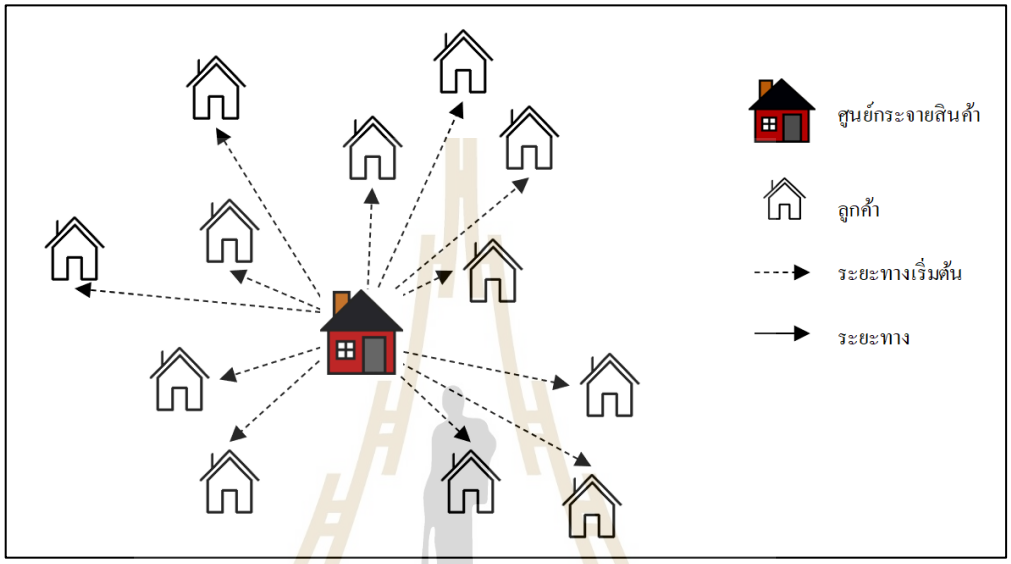
โดยในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะนำเสนอฮิวริสติกส์ที่ใช้ในการปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง จะกล่าวถึงวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach)

2.5.2.1 วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor)

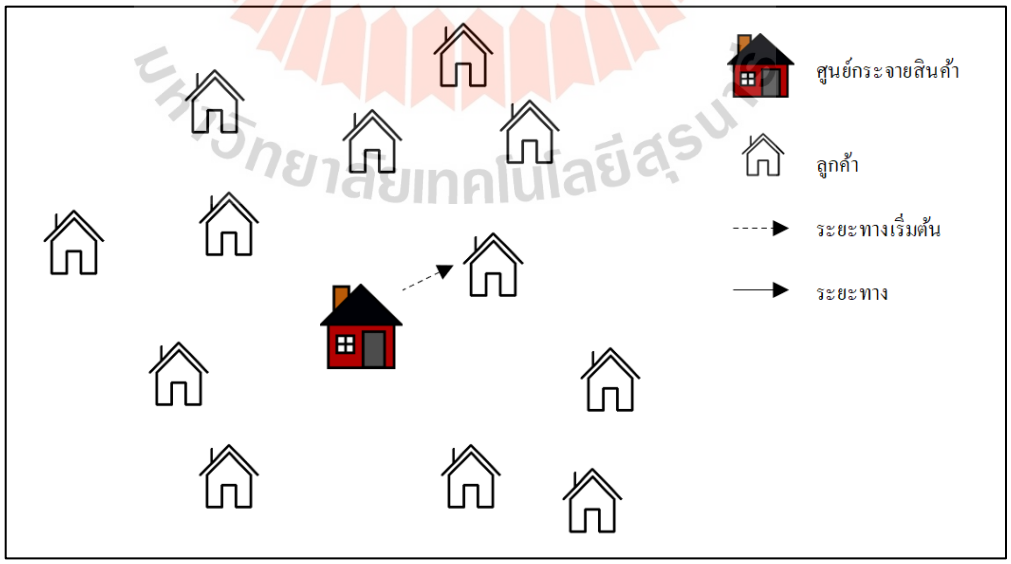
เป็นวิธีการค้นหาจุดส่งสินค้าของลูกค้าที่อยู่ใกล้กับศูนย์กระจายสินค้ามากที่สุด โดยการค้นหาจุดส่งสินค้าจะพิจารณาปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าต้องไม่เกินความจุของรถขนส่ง ถ้าปริมาณความต้องการสินค้าเกินความจุของรถขนส่งสินค้า ก็จะทำการเปลี่ยนรถขนส่งคันใหม่ โดยความใกล้อาจทำการพิจารณาระยะทางขนส่งสินค้าหรือระยะเวลาในการส่งสินค้าได้ตามความเหมาะสมที่จะพิจารณา (กนกวรรณ สุภักดี, 2556) มีขั้นตอนดังนี้

เริ่มต้นจาก กำหนดจุดเริ่มหรือศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดอ้างอิง เพื่อทำการค้นหาจุดสินค้าหรือค้นหาเส้นทางการขนส่งที่อยู่ใกล้มากที่สุด เป็นเส้นทางหลัก ดังรูปที่ 2.19 จากนั้นจะได้จุดส่งสินค้าเริ่มต้นดังรูปที่ 2.20 และทำการค้นหาจุดส่งสินค้าที่ยังไม่ถูกจัดเส้นทางที่ใกล้ที่สุดถัดไปที่มีความใกล้อ้างอิงสุดท้าย และพิจารณาปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าต้องไม่เกินความจุของรถขนส่ง ให้รวมจุดส่งสินค้าเข้ากับเส้นทางหลักแล้วปรับจุดส่งสินค้านั้น ๆ

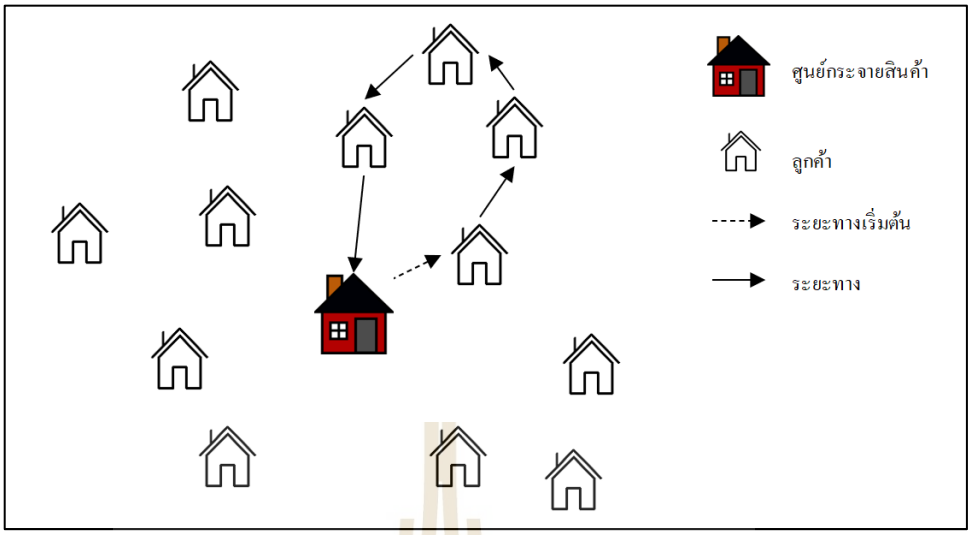
เป็นจุดส่งอ้างอิงถัดไป ดังรูปที่ 2.21 ถ้าหากปริมาณความต้องการสินค้าเกินความจุของรถขนส่งสินค้า ให้ทำการปิดเส้นทางหลัก จากนั้นตรวจสอบว่ายังมีจุดส่งสินค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทางก็จะทำการเปลี่ยนรถขนส่งคันใหม่ ให้ทำการค้นหาซ้ำ ดังรูปที่ 2.19, 2.20 และ 2.21 ทำการค้นหาเส้นทางจนกว่าจะได้ครบทุกเส้นทาง จะได้วิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธี Nearest Neighbor ดังรูปที่ 2.22



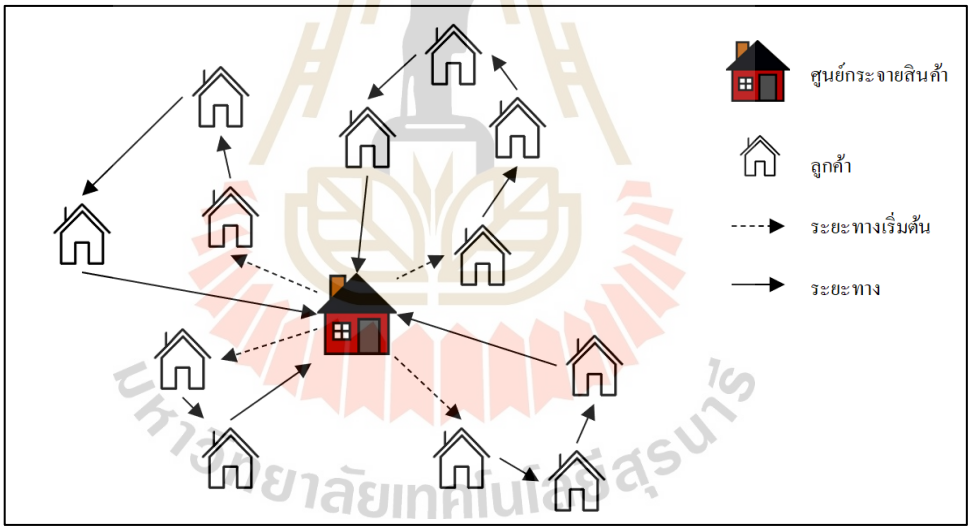
รูปที่ 2.19 กำหนดจุดเริ่มหรือศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดอ้างอิง



รูปที่ 2.20 แสดงจุดส่งสินค้าเริ่มต้น



รูปที่ 2.21 แสดงการปิดเส้นทางหลัก

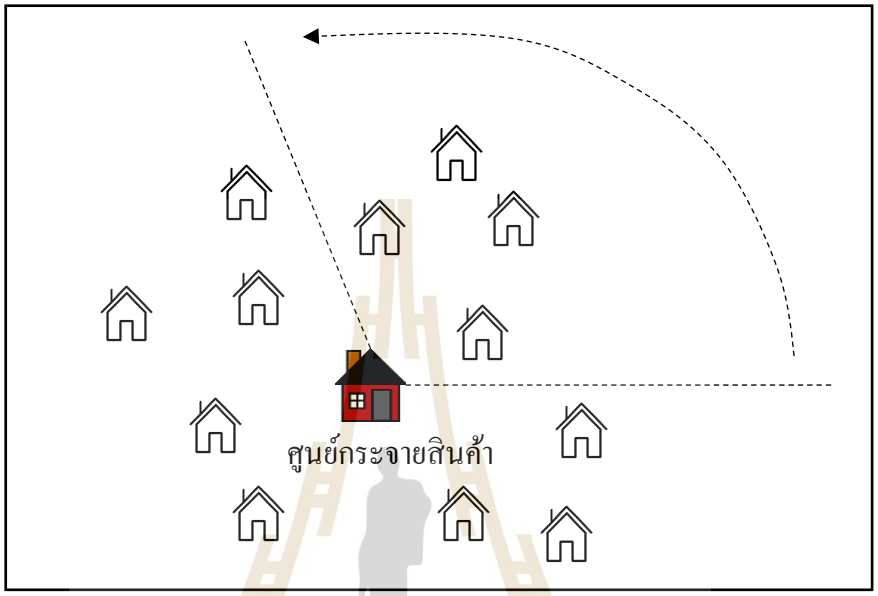


รูปที่ 2.22 แสดงวิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธี Nearest Neighbor

2.5.2.2 วิธีการกวาด (The Sweep Approach)

กนกวรรณ สุภักดี (2556) เป็นวิธีการหาจำนวนเส้นทางหรือจำนวนลูกค้าโดยการแบ่งกลุ่มรับผิดชอบ โดยมีขั้นตอนแรกจะต้องมีจุดอ้างอิง คือ ศูนย์กระจายสินค้า ขั้นตอนที่สองกำหนดทิศทางการหมุน ด้วยเส้นสมมุติในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาโดยองศาการหมุนนั้นตามเงื่อนไขที่ถูกกำหนด และทำการพิจารณาความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายอีกด้วย โดยใช้วิธีการกวาด (The Sweep Approach) ถ้าหากปริมาณสินค้าเกินความต้องการของรถขนส่งให้กลับมา

ยังจุดศูนย์กระจายสินค้าและขั้นตอนที่สามทำการหมุนเส้นสมมุติโดยใช้วิธีการกวาดพร้อมทำการเปลี่ยนรถคันใหม่ ทำซ้ำขั้นตอนที่หนึ่งและสองจนครบจำนวนจุดส่งสินค้าของลูกค้า จะได้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (VRP) สำหรับรถขนส่งแต่ละคัน ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีการกวาด (The Sweep Approach)

2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งได้มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาไว้รายละเอียดดังนี้

Kevin and Emma (2016) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP) ซึ่งผลลัพธ์ถือว่าเป็นไปในทางที่ดี วิธีการส่วนใหญ่ของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์จะเลือกฮิวริสติกส์ที่เหมาะสมจากชุดข้อมูลที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ในงานวิจัยนี้นำเสนอไฮเปอร์ฮิวริสติกแบบใหม่ที่เรียกว่า GP-MHH ทำงานในสองขั้นตอน ซึ่งขั้นตอนแรกใช้วิธีการเขียนโปรแกรมทางพันธุกรรมแบบใหม่ (GP) ในการพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์ให้ได้คำตอบที่มีคุณภาพ สามารถใช้กับวิธีการใด ๆ ที่แก้ปัญหาโดยทำการเลือกเป็นจุดเริ่มต้น ในขั้นตอนที่สองจะมีการนำไฮเปอร์ฮิวริสติกส์มาใช้ในการแก้ปัญหา โดยเป็นการสร้างขึ้นจากฮิวริสติกส์แบบใหม่ ฮิวริสติกส์แบบใหม่แสดงให้เห็นว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าฮิวริสติกส์แบบดั้งเดิม

Nasser, Xiuzhen, and Andy (2015) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP) เป็นปัญหาที่สำคัญในด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ปรับเส้นทางของยานพาหนะให้เหมาะกับกลุ่มของลูกค้า ส่งผลให้ต้นทุน

การจัดส่งน้อยที่สุดภายในช่วงเวลาที่กำหนด การศึกษาครั้งนี้นำเสนอวิธีการทางคณิตศาสตร์และไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น วิธีการประกอบด้วยสองขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ ขั้นตอนทางคณิตศาสตร์ จะเป็นการแก้ปัญหาภายในของปัญหาโดยใช้การสร้างเป็นตารางคำนวณขึ้นมา และขั้นตอนที่สอง คือ ขั้นตอนของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์เป็นการรวมกันและพัฒนาเพื่อแก้ปัญหา ปัญหาการกำหนดเส้นทางการขนส่งจะถูกกำหนดด้วยเวลาใช้ในการประเมินผล ผลการวิจัยพบว่า ประสิทธิผลของรูปแบบขั้นตอนทางคณิตศาสตร์ต่าง ๆ สามารถแก้ปัญหาได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกัน โดยเทียบจากทุกตัวอย่างที่ทำการวิจัย ทั้งยังช่วยลดต้นทุนในการคำนวณลงได้อีกด้วย

Ruibin, Edmund and Burke (2007) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ใช้วิธี Simulated Annealing (SA) ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษากลไกการปรับตัวในของปัญหาการกำหนดเส้นทางขนส่ง (VRP) เป็นปัญหาหนึ่งที่ได้รับการศึกษามากที่สุด ลักษณะของปัญหามีตัวแปรต่างกันออกไป เช่น กำหนดตามความจุ เวลา จุดรับสินค้า ระยะทาง และการส่งสินค้า อัลกอริทึมที่มีอยู่ส่วนใหญ่ต้องปรับให้เหมาะสมกับตัวแปรของปัญหาเฉพาะและโดยทั่วไปยากที่จะนำมาใช้ซ้ำ เนื่องจากสถานการณ์ต่างกัน ยังไม่มีการพัฒนาอัลกอริทึมที่สามารถปรับพารามิเตอร์ได้ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เพื่อศึกษาตามสภาพปัญหาที่ต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะทำการพิจารณาข้อจำกัดของปัญหาที่ได้รับความนิยมสูงสุด คือ ความจุ กับ เวลาที่กำหนด ต้องศึกษาตัวแปร และระยะทางในการค้นหาของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ 1) วิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สามารถปรับเข้ากับยานพาหนะทั้งสองประเภทนี้ได้อย่างไร สามารถกำหนดลักษณะของฮิวริสติกส์ได้หรือไม่ ทำการระบุฮิวริสติกส์อัตโนมัติที่เหมาะสมกับประเภทเส้นทางขนส่งได้หรือไม่ 2) วิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สามารถปรับเปลี่ยนการตัดสินใจเลือกระหว่างขั้นตอนต่าง ๆ ของการค้นหา เมื่อต้องการแก้ปัญหาโดยเฉพาะเจาะจงหรือไม่ สรุปได้ว่า วิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์แก้ปัญหา VRP ข้อจำกัดด้านความจุและกรอบเวลา สามารถให้ผลเฉลยที่มีคุณภาพ และสามารถแก้ปัญหาได้ตามแต่ละปัญหาโดยไม่ต้องทำการตั้งพารามิเตอร์ใหม่

Shahriar and Ender (2014) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์เป็นวิธีการค้นหาหรือกลไกการเรียนรู้ที่ควบคุมชุดฮิวริสติเพื่อสร้างฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาที่คำนวณยาก ในการศึกษานี้ตรวจสอบแนวทางการเรียนรู้แบบใหม่ที่ใช้เพื่อสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางขนส่ง (VRP) แบบอัตโนมัติ ผลการทดลองเกี่ยวกับการกำหนดเส้นทางขนส่งโดยใช้กรอบการทำงานไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ แสดงให้เห็นว่า ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ที่เน้นการทำซ้ำและมีประสิทธิภาพ

Yuxin, Mengjie, Yi, and Zili (2017) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหากากำหนดเส้นทางลักษณะโค้งที่มีความจุไม่แน่นอน (Uncertain Capacitated Arc Routing Problem : UCARP)

งานที่มุ่งเน้นไปที่การหาวิธีแก้ไขปัญหาที่มีประสิทธิภาพก่อน อย่างไรก็ตามการออกแบบฮิวริสติกส์ก็มีความสำคัญเช่นกันเพื่อปรับแก้ปัญหาแบบเรียลไทม์ ในบทความนี้ได้พัฒนาไฮเปอร์ฮิวริสติกที่ใช้การเขียนโปรแกรมทางพันธุกรรมใหม่ (Genetic Programmimg-based Hyper-Heuristic : GPHH) สำหรับการออกแบบการแก้ปัญหาอัตโนมัติสำหรับ UCARP ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า GPHH ที่เสนอมีประสิทธิภาพสูงกว่า ยิ่งไปกว่านั้นพบว่า สามารถกำจัดเส้นทางที่เป็นไปไม่ได้และลดการเสียเวลาลงไปได้

Enrique, Claudio, and Daniel (2015) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหา Dial a Ride กับ time windows (DARPTW) เกี่ยวข้องกับการขนส่งซึ่งจะต้องเลือกกลุ่มลูกค้าจากสถานที่ต้นทางและจะต้องส่งไปยังสถานที่ปลายทาง ต้องสร้างตารางเวลาการขนส่งสำหรับยานพาหนะที่มีอยู่และต้องพิจารณาข้อจำกัดหลายประการโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเวลาที่กำหนดและเวลาต่ำสุดสำหรับลูกค้าแต่ละรายที่ต้องการยานพาหนะมาถึงทันเวลา เนื่องจากความซับซ้อนของ DARPTW จึงมีการเสนออัลกอริทึมจำนวนมากเพื่อการแก้ปัญหา ได้รับการเสนอออกแบบและประเมินผลโดยวิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เป็นวิธีการแก้ปัญหาทางเลือกในการแก้ปัญหา เนื่องจากแทนที่จะค้นหาในพื้นที่ปัญหาโดยตรง แต่จะค้นหาในพื้นที่ของฮิวริสติกส์เพื่อค้นหากลยุทธ์ที่ดีที่สุดซึ่งสามารถหาวิธีแก้ปัญหาที่ดีได้ เมื่อเปรียบเทียบกับ Metaheuristic อื่น ๆ

2.5.4 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาจัดเส้นทางขนส่งและการจัดเรียงกล่องสินค้า

จากปัญหาการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง และปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งได้มีวรรณกรรมที่ได้ทำการศึกษาทั้งสองปัญหาที่กล่าวมา รายละเอียดโดยย่อมีดังนี้

Oscar, Angel, Barry, Javier, and Alba (2016) บทความนี้กล่าวถึงปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะสองมิติ (2L-CVRP) พิจารณายานพาหนะที่มีความหลากหลายซึ่งประกอบด้วยหน่วยความจุที่แตกต่างกันขนาดและค่าใช้จ่ายผันแปร

Jaromir and Jiri (2013) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สำหรับ CVRP โดยจะเรียกวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ว่า HyperPOEMS เป็นพื้นฐานของวิวัฒนาการกับขั้นตอนวิธีการค้นหาในท้องถิ่นแบบซ้ำ ลักษณะโดยธรรมชาติสามารถค้นหาพื้นที่ที่มีโครงสร้างของฮิวริสติกส์โดเมนแบบดั้งเดิมได้อัตโนมัติเพื่อหาชุดค่าที่เหมาะสม ได้รับการทดสอบตามเกณฑ์มาตรฐานและเปรียบเทียบวิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ แบ่งเป็นสองชุดคือ (Hill Climbing based hyperheuristic : HHC-VRP) และ (Evolutionary hyperheuristic : EHH-VRP) ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า HyperPOEMS มีประสิทธิภาพสูงกว่าไฮเปอร์ฮิวริสติกส์และแก้ปัญหาได้สำหรับ CVRP

Richard, Mark, and Mengile (2014) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์เป้าหมายในบทความนี้ คือ การใช้วิธีการวิเคราะห์พฤติกรรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์เพื่อพัฒนาฮิวริสติกส์ที่ดีและปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหาอย่างต่อเนื่องจนกว่าการแก้ปัญหาอย่างสมบูรณ์สำหรับตัวอย่าง

CVRP จะทำได้ในเวลาการคำนวณที่สมเหตุสมผล ปัญหาที่พบบ่อยเมื่อใช้การวิเคราะห์พฤติกรรม คือ ทำงานได้ดีในปัญหาบางกรณี พัฒนาวิธีไฮเปอร์ริสติกส์โดยใช้ Grammatical Evolution (GE) เพื่อสร้างฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางขนส่ง (VRP) ได้พัฒนาวิธีการที่นำไปสู่การแก้ปัญหาคุณภาพ

David, Jose, and Hugo (2016) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการกำหนดเส้นทางของการขนส่ง เป็นปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ ข้อจำกัดของการบริการภายในกรอบเวลาที่มีตัวคั่น เนื่องจากความซับซ้อนของปัญหาการกำหนดเส้นทางของการขนส่งมักจะถูกแก้ไขโดยใช้ฮิวริสติกส์ที่ไม่แน่นอน บทความนี้อธิบายถึงการวิเคราะห์สองมิติในการสร้างผลลัพธ์ที่เทียบเคียงได้กับวิธีการวิเคราะห์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด สำหรับการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางการขนส่ง time windows (VRPTW) มีการเสนอโมเดลแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สองแบบ คือ แบบที่หนึ่ง สำหรับการสร้างฮิวริสติกส์ใหม่และส่วนแบที่สอง สำหรับการบรรยายฮิวริสติกส์การปรับปรุงค่าที่เหมาะสมกับปัญหา

Emmanouil, Christos and Chris (2011) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการจัดวางพาเลตและการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยมีเงื่อนไขอยู่ภายใต้เวลาที่จำกัด วัตถุประสงค์ของการศึกษา เพื่อใช้ในการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาและศึกษาโดยอิงหลักความเป็นจริงใช้วิธีฮิวริสติกส์โดยใช้พื้นฐานเป็นวิธีการทาบู การจัดวางพาเลตนั้นในรูปแบบสามมิติมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า สามารถค้นหาและแก้ปัญหาเส้นทางที่เหมาะสมได้มีประสิทธิภาพน่าพึงพอใจ สามารถทำงานร่วมกันทั้งสองวิธีได้เป็นอย่างดี

Stephen, Xiyue, and Defu (2010) วัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาวิธีการแบบทาบู และฮิวริสติกส์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง และการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติมีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า ใช้วิธีการแบบฮิวริสติกส์ และการค้นหาแบบทาบู โดยมีเงื่อนไขข้อจำกัดด้านความจุ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า สามารถช่วยเพิ่มความน่าจะเป็นของการ และเพิ่มประสิทธิภาพแก้ปัญหาในตัวอย่างได้เป็นอย่างดี

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาขอบข่ายของปัญหาในส่วนของการจัดเส้นทางขนส่งเพื่อกระจายสินค้าโดยตรงจากคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว โดยใช้รถหลายขนาดและออกจากศูนย์กระจายสินค้าพร้อมกัน ซึ่งแต่ละคันรถจะมีความสามารถจำกัดในการบรรทุกสินค้า ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งกรณีนี้ คือ รถแต่ละคันมีข้อจำกัดด้านจำนวนสินค้าที่สามารถขนได้และรถแต่ละคันมีข้อจำกัดไม่เหมือนหรือไม่เท่ากัน (Capacitated Vehicle Routing Problem) อธิบายให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งมีพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองได้ดังนี้

2.5.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการขนส่ง

2.5.5.1 กำหนดการใช้พารามิเตอร์ สำหรับปัญหา CVRP จาก ธรณี มณีศรี (2552)

K : จำนวนรถบรรทุกทั้งหมด $k = 1, 2, ..., k$

W : จำนวนชนิดของรถบรรทุกที่แตกต่าง $W = \{1, 2, ..., K\}$; $k \in W$

P : จำนวนลูกค้าและคลังสินค้า (0 = คลังสินค้า)

S : ระยะทางของลูกค้าแต่ละคน

Q : พื้นที่บรรจุของกล่องสินค้า

A : พื้นที่บรรจุของรถบรรทุก

2.5.5.2 ตัวแปรตัดสินใจ

X_{0P}^{k} 1 เมื่อยานพาหนะ K มีการเดินทางจาก i ไป P

0 เมื่อยานพาหนะ K ไม่มีการเดินทางจาก P ไป j

2.5.5.3 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\sum_{k=1}^{N}\sum_{j=0}^{N}\sum_{i=0}^{N} d_{ij} x_{ij}^{k} \tag{2.1}$$

2.5.5.4 ฟังก์ชั่นเงื่อนไข (Constraints Function)

ตารางที่ 2.1 ฟังก์ชั่นเงื่อนไข

สมการ	ค่าคงที่	สมการที่
$\sum_{j=0}^{N} x_{oj}^{k} \le 1$	$k = 1...K$	(2.2)
$\sum_{i=0}^{N} X_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} X_{pj}^{k} = 0$	$p = 1...N, k = 1...K$	(2.3)
$\sum_{i=1}^{N} Y_{i}^{k} = 1$	$i = 1...N$	(2.4)
$\sum_{i=1}^{N} q_i Y_{i}^{k} \le a_k$	$k = 1...K$	(2.5)
$Y_{i}^{k} \le \sum_{j=0}^{N} x_{ij}^{k}$	$i = 1...N, k = 1...K$	(2.6)
$\sum_{k=1}^{k}\sum_{j=0}^{N} x_{ij}^{k} \ge 1$	$j = 1...N$	(2.7)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สมการที่ (2.1) ต้นทุนการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j โดยยานพาหนะ k สมการที่ (2.2) เป็นการประกันว่า ยานพาหนะ k จะเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้า 0 และเดินทางไปยังลูกค้า j อย่างน้อย 1 ราย สมการที่ (2.3) เป็นสมการที่รับประกันว่าลูกค้ารายหนึ่ง ๆ จะเดินทางเข้าและออกเท่ากัน (1 ครั้ง) สมการที่ (2.4) เป็นการรับประกันว่าเมืองหนึ่ง ๆ จะได้รับการเดินทางผ่านจากยานพาหนะอย่างน้อย 1 คัน สมการที่ (2.5) เป็นการประกันว่ายานพาหนะใด ๆ จะขนสินค้าไปส่งให้กับลูกค้าไม่เกินจำนวนที่สามารถบรรทุกได้ สมการ (2.6) รับประกันว่าการเดินทางเข้าเมือง i ได้ก็ต่อเมื่อยานพาหนะ k เดินทางผ่านเมือง i จากเส้นทางของเมือง j เมืองใดเมืองหนึ่งเท่านั้น และสมการ (2.7) รับประกันว่าเมือง j ใด ๆ จะได้รับการเดินทางผ่านโดยยานพาหนะใด อย่างน้อย 1 ครั้งโดยใช้เส้นทางที่ผ่านมากจากเมือง i ใด ๆ สมการที่ 2.1 ถึง 2.7 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งกรณีที่รถแต่ละคันมีข้อจำกัดด้านจำนวนสินค้าที่สามารถขนได้และรถแต่ละคันมีข้อจำกัดไม่เหมือนหรือไม่เท่ากัน (Capacitated Vehicle Routing Problem)

2.6 ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP)

พิเชษฐ์ ยงยิ่งประเสริฐ (2557) ปัญหาการจัดกล่องสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์มีหลากหลายปัญหา เพราะจุดประสงค์การบรรจุและเงื่อนไขอื่น ๆ แตกต่างกัน ปัญหาการบรรจุสินค้าลงตู้คอนเทนเนอร์แยกเป็นประเภทใหญ่ใหญ่ได้ 4 ประเภทดังนี้ (Pisinger, 2002)

2.6.1 รูปแบบปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า

2.6.1.1 การบรรจุแบบเรียงยาว (Strip Packing)

ตู้คอนเทนเนอร์ในการจัดแบบนี้มี 1 ตู้ และมีความกว้าง และความสูงคงที่ แต่มีความยาวอนันต์ จุดประสงค์การบรรจุคือ บรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงตู้คอนเทนเนอร์ โดยให้กล่องทั้งหมดมีความยาวน้อยที่สุด การจัดเรียงแบบยาวมีประโยชน์สำหรับกรณีที่กล่องสินค้าถูกแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ โดยแต่ละกลุ่มต้องขนลงที่จุดหมายปลายทางแตกต่างกัน

2.6.1.2 การบรรจุแบบใส่ถุง (Knapsack Loading)

มีตู้คอนเทนเนอร์ 1 ตู้ และมีกล่องสินค้าจำนวนมาก กล่องสินค้าแต่ละกล่องให้กำไรหรือผลตอบแทนต่างกัน จุดประสงค์การบรรจุ คือ เลือกกล่องมาบรรจุลงตู้คอนเทนเนอร์โดยให้กำไรสูงสุด กรณีพิเศษของการบรรจุแบบใส่ถุง คือ กรณีที่กำไรมีค่าเท่ากับปริมาตรของกล่อง กรณีนี้จุดประสงค์จะกลายเป็นเรื่องบรรจุกล่องลงตู้คอนเทนเนอร์ให้มีปริมาตรของกล่องมากที่สุด

2.6.1.3 การบรรจุแบบใส่ถัง (Bin Packing)

ใช้ตู้คอนเทนเนอร์หลายตู้ ซึ่งทุกตู้มีขนาดเท่ากันให้กล่องสินค้ามาจำนวนหนึ่ง จุดประสงค์การบรรจุคือ ให้บรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์ให้น้อยที่สุด

2.6.1.4 การบรรจุแบบหลายตู้คอนเทนเนอร์ (Multi-container Loading)

การบรรจุแบบนี้คล้ายกับการบรรจุแบบใส่ถัง ข้อแตกต่างคือ ตู้คอนเทนเนอร์มีขนาดแตกต่างกัน จุดประสงค์การบรรจุคือบรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดลงตู้คอนเทนเนอร์โดยให้ราคาขนส่งหรือราคาต้นทุนต่ำสุด

2.6.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า

จากปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าลงรถขนส่ง นักวิจัยหลายท่านได้พัฒนาปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าลงรถขนส่ง ได้มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษารายละเอียดมีดังนี้

Terashima, Ross, and Valenzuela (2006) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์พฤติกรรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ คือ การผสมผสานการวิเคราะห์แบบตรงไปตรงมาเพื่อแก้ปัญหาที่หลากหลาย การผสมผสานดังกล่าวทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าการวิเคราะห์พฤติกรรมแบบเดี่ยว จุดมุ่งหมายของบทความนี้ คือ การวิเคราะห์และพัฒนาทางเลือกใหม่ในการวิวัฒนาการเพื่อสร้างพฤติกรรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper-Heuristic) ทำการแก้ปัญหาการตัดแบ่งส่วนแบบทรงสี่เหลี่ยม 2 มิติ บทความนี้นำเสนอพื้นฐานของกระบวนการเชิงพันธุกรรม ใช้ในการสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์แบบทั่วไป ในการแก้ปัญหาการแบ่งส่วนการตัดแบบสองมิติ โดยที่กระบวนการเชิงพันธุกรรมใช้การแสดงความยาวแปรผัน ซึ่งไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เกิดจากการรวมกันของฮิวริสติกส์แบบต่าง ๆ ซึ่งการแก้ปัญหาจะขึ้นกับเงื่อนไขข้อจำกัดนั้น ๆ ส่งผลให้การวิเคราะห์แบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ดังกล่าวเมื่อทดสอบกับปัญหามาตรฐานจำนวนมากให้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมและใกล้เคียงที่สุด

Su, Mengjie, and Mark (2011) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์โปรแกรมเชิงพันธุกรรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (GPHH) ซึ่งได้รับความนิยมในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา วิธีการ GPHH ส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การสร้างฮิวริสติกส์ โดยทำการประยุกต์ใช้โปรแกรมทางพันธุกรรมแบบใหม่ (Genetic Programming : GP) เรียกว่า GPAM ซึ่งใช้ GP ในการพัฒนากลไกการปรับตัว (adaptive mechanisms : AM) ข้อได้เปรียบของวิธีนี้กับวิธีการเลือกฮิวริสติกส์อื่น ๆ คือ ความสามารถของกลไกการปรับตัว การผสมผสานฮิวริสติกส์ที่ซับซ้อน และเลือกใช้เงื่อนไขของแต่ละฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหา ซึ่งวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้ คือ เพื่อใช้ระบบ GP ในการแก้ปัญหาและปรับปรุงกระบวนการคัดเลือกฮิวริสติกส์เพื่อวิเคราะห์วิธีการนำเสนอเพื่อให้เข้าใจถึงพฤติกรรมรวมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับปรุงว่าระบบ GP ที่เสนอนั้นพัฒนากลไกการปรับตัวได้อย่างไร และปัจจัยใดบ้างที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานไม่ดีขึ้น

John Woodward (2010) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ระบบโปรแกรมเชิงพันธุกรรม (GP) เพื่อพัฒนาและวิเคราะห์พฤติกรรมแบบใช้ซ้ำสำหรับปัญหาการบรรจุหีบห่อแบบ 2 มิติ โดยเลือกชิ้นที่จะทำการบรรจุและตำแหน่งที่จะวางชิ้นส่วนถัดไป บทความนี้มีส่วนช่วยในการวิจัย ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงกระบวนวิธีการค้นหา แทนที่จะใช้วิธีเชิงวิวัฒนาการเพื่อค้นหาวิธีการแก้ปัญหา แต่จะใช้เพื่อค้นหาฮิวริสติกส์ที่เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาในแต่ละครั้ง โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดความยาวของแผ่นที่ต้องใช้ในการรองรับสิ่งของ แผ่นมีความกว้างคงที่และความยาวที่ต้องการของแผ่นวัดเป็นระยะทางจากฐานของแผ่นไปยังขอบชิ้นส่วนที่ห่างจากฐาน

Edmund, Matthew, Graham, and John (2008) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุแบบสองมิติที่ต้องวางสี่เหลี่ยมจำนวนหนึ่งลงบนแผ่นงานโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความยาวของแผ่นงานให้น้อยที่สุด โดยแผ่นที่มีความกว้างและความยาวคงที่เป็นแผ่นวัดระยะทางจากฐานของแผ่นถึงขอบชิ้นส่วน นำเสนอระบบการเขียนโปรแกรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ทางพันธุกรรมเพื่อพัฒนาการเลือกฮิวริสติกส์ สำหรับแต่ละกรณีที่มีปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์แบบสองมิติที่มีความหลากหลาย ฮิวริสติกส์ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นนั้นจะตัดสินใจเลือกว่าจะบรรจุชิ้นต่อไปอย่างไร วิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์นี้มีประโยชน์อย่างมาก สามารถสร้างฮิวริสติกส์ที่ปรับให้เข้ากับผลิตภัณฑ์โดยไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ แสดงให้เห็นว่าการเขียนโปรแกรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ทางพันธุกรรมสามารถนำไปใช้ในการสร้างฮิวริสติกส์อัตโนมัติซึ่งดีกว่าการสร้างฮิวริสติกส์แบบดั้งเดิม

Eunice, Hugo, and Peter (2011) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ คือ การค้นพบวิธีแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้งด้วยการเลือกใช้ฮิวริสติกส์ที่ดีที่สุด นำเสนอวิธีการที่ใช้พื้นฐานเป็นกระบวนการเชิงพันธุกรรม ที่ใช้สำหรับการสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์แบบหนึ่ง และสองมิติโดยไม่ต้องปรับพารามิเตอร์เพิ่มเติม ตัวอย่างของปัญหาแบบสองมิติโดยใช้รูปหลายเหลี่ยม ผลของการวิจัย คือ ในรูปแบบ 2D และมีรูปหลายเหลี่ยมต่าง ๆ สำหรับบางกรณีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์จะได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าฮิวริสติกส์เดี่ยว

Edmund et al. (2009) ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ประกอบด้วยวิธีการการออกแบบ และปรับจูนวิธีการแก้ปัญหาอัตโนมัติ โดยมีเป้าหมายร่วมกัน คือ เพื่อแก้ปัญหาการคำนวณ และปัญหาในการค้นหา เป้าหมายหลัก คือ การสร้างวิธีการค้นหาที่ใช้งานได้โดยทั่วไปมากขึ้น กล่าวคือ ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สร้างขึ้นเพื่อเลือกวิธีทางฮิวริสติกส์ การเขียนโปรแกรมทางพันธุกรรมในการวิจัยแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ข้อดีคือ จะทำการค้นหาวิธีการแก้ปัญหาโดยทำการหาวิธีทางฮิวริสติกส์ แทนที่จะทำการค้นหาวิธีการแก้ปัญหาโดยตรงด้วยวิธีการคิดแบบเดิมทำซ้ำไปเรื่อย ๆ ด้วยรูปแบบเดิม

Eunice, Gabriela, Hugo, and Edmund (2013) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์การบรรจุผลิตภัณฑ์ ปัญหาของฮิวริสติกส์ของ Djang และ Finch (DJD) ออกแบบมาสำหรับหนึ่งมิติ ปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์ในกรณีสองมิติไม่เพียงแต่เป็นกรณีของชิ้นส่วน และขนาดต่าง ๆ แต่รูปร่างของมันมีความสำคัญอย่างมากเช่นกัน ดังนั้น DJD เป็นการเลือกฮิวริสติกส์ต้องจับคู่กับตำแหน่งฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาให้กับการบรรจุผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายประจำวันลดลง ซึ่งจากการคำนวณ และทดสอบเห็นได้ว่า รูปทรงหลากหลายเหลี่ยมสามารถจัดเรียงได้ดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับการใช้ฮิวริสติกส์แบบดั้งเดิม

Juan and Hugo (2012) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ Hyper-Heuristic Multi-Objective (MOHHs) โดยใช้ (Muti-Objective Evolutionary Algorithm NSGA-II) สำหรับการแก้ปัญหาการตัดแบ่งส่วนแบบสองมิติ ที่มีรูปร่างแบบผิดปกติ วัตถุประสงค์ของงานนี้คือ เพื่อทำให้จัดสรรจำนวนชิ้นงานให้พอดีกับจำนวนแผ่นงานที่ใช้ และลดเวลาในการจัดเรียงให้ลดลง โดยใช้วิธี Multi-Objective Hyper-Heuristics (MOHHs) ซึ่งแนวคิดหลักในการสร้างวิธีนี้ขึ้นมา คือ การรวมกันของวิธีการแบบฮิวริสติกส์กับวิธีการค้นหาแบบทั่ว ๆ ไป แทนการใช้ฮิวริสติกเดี่ยวในระหว่างกระบวนการถูกสร้างขึ้นหลังจากผ่านกระบวนการโดย NSGA-II บทความนี้นำเสนอเพื่อแก้ปัญหาด้วยโครงสร้างที่ซับซ้อนมากขึ้น เช่น ปัญหาการบรรจุแบบสามมิติ รวมถึงพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น น้ำหนัก และจำนวนการตัดแบ่งส่วน

Terashima, Ross, and Valenzuela (2007) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีการไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ คือ เป็นการรวบรวมวิธีหลากหลายเข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาที่หลากหลาย ผลที่ได้ควรมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบดั้งเดิม งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลอง 2 รูปแบบของกระบวนการวิวัฒนาการที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ที่แก้ปัญหาการบรรจุหีบห่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าแบบสองมิติ รูปแบบแรกใช้การรวมกันของฮิวริสติกส์ ระบบการเรียนรู้และจัดลำดับตามประเภทต่าง ๆ แก้ไขปัญหาโดยตรงกับปัญหานั้น ๆ รูปแบบที่ 2 ใช้กระบวนการเชิงพันธุกรรม ซึ่งใช้การแสดงความยาวแปรผันซึ่งเป็นการรวมกันแก้ปัญหาตามเงื่อนไขของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ทั้งสองวิธีเมื่อทดสอบ และเปรียบเทียบโดยใช้ชุดของปัญหาที่มีขนาดใหญ่อันเดียวกัน สามารถทำงานได้ดีกว่าฮิวริสติกส์เดี่ยวหรือแบบดั้งเดิม

Gisele et al. (2012) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรด้วยวิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ โดยทำการพัฒนาแยกจากอัลกอริทึมแบบวิวัฒนาการ (โดยเฉพาะการเขียนโปรแกรมเชิงพันธุกรรม) โดยมีเป้าหมายร่วมกัน คือ สร้างกระบวนการอัตโนมัติในการใช้อัลกอริทึมให้ได้มากที่สุด โดยรวบรวมการเรียนรู้ของเครื่องจักร (การจำแนกประเภท) และการเพิ่มประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาเพื่อให้เกิดความแตกต่างในการทำงานและยกระดับให้เป็นสากล

Eunice Camacho (2012) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ โดยการค้นหาปัญหาการบรรจุหีบห่อลงในกล่อง ทำงานร่วมกับกระบวนการวิวัฒนาการที่สร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สำหรับการแก้ปัญหาการบรรจุห่อลงในกล่องหลายประเภท วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อลดจำนวนวัตถุที่ต้องการ เมื่อพิจารณาถึงปัญหา NP-hard (ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน) ได้มีการเสนอวิธีแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์จำนวนมาก ในงานนี้เสนอรูปแบบการแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนเชิงพันธุกรรมเป็นพื้นฐานในการสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ซึ่งไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ที่ถูกสร้างขึ้นเป็นเกิดจากการรวมกันของฮิวริสติกส์หลากหลายรูปแบบ จึงถือว่าเป็นจุดแข็งของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สามารถใช้ประโยชน์เพื่อแก้ปัญหาเฉพาะกรณี

Juan and Hugo (2018) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ในบทความนี้จะมีการนำเสนอกรอบวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์เพื่อสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ โดยใช้ในการแก้ปัญหาการบรรจุหีบห่อแบบสองมิติ วิธีการดังกล่าวประกอบด้วยกระบวนการเรียนรู้เชิงวิวัฒนาการแบบหลายวัตถุประสงค์โดยใช้ตัวดำเนินการทางพันธุกรรมที่ปรับแต่งเฉพาะความยาวผันแปรที่เป็นตัวแทนของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ซึ่งไฮเปอร์ฮิวริสติกส์จะสร้างวิธีแก้ปัญหาให้เฉพาะเป็นกรณี วัตถุประสงค์ คือ สร้างวิธีการแก้ปัญหา ลดจำนวนและเวลาในการบรรจุหีบห่อ

Eunice and Hugo (2013) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิวัฒนาการที่แก้ปัญหาการบรรจุหีบห่อแบบหนึ่งและสองมิติ รูปแบบเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าและรูปหลายเหลี่ยม โดยการรวมการวิเคราะห์วิธีทางฮิวริสติกส์หลากหลาย วัตถุประสงค์ คือ การเลือกใช้ฮิวริสติกส์ที่เหมาะสมกับแต่ละขั้นตอนของกระบวนการแก้ปัญหา ในการเลือกฮิวริสติกส์ที่จะนำไปใช้ คือ ดูลักษณะของปัญหานั้น ๆ ทำการเลือกวิธีทางฮิวริสติกส์เพื่อใช้ในการเริ่มต้นแก้ไขให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสม ซึ่งในการวิจัยนี้จะเริ่มต้นจากรูปแบบการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ทำการเลือกวิธีแก้ปัญหาโดยอัตโนมัติในระหว่างกระบวนการวิวัฒนาการ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพดีมากขึ้นกว่าแบบดั้งเดิมไม่อัตโนมัติ

Hugo and Peter (2005) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีการรวมแนวคิดของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์และกระบวนการทางพันธุกรรมสำหรับการแก้ไขปัญหาการตัดแบ่งส่วนแบบสองมิติ แนวคิดของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ คือ การรวมวิธีทางฮิวริสติกส์เพื่อแก้ไขปัญหาที่หลากหลาย จึงควรเกิดประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีทางฮิวริสติกส์แบบเดียว งานวิจัยนี้ได้อธิบายถึงผลการทดลองในรูปแบบที่ใช้พื้นฐานของกระบวนการทางพันธุกรรมในการสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สำหรับปัญหาการตัดแบ่งส่วนจะใช้วิธีการรวมแล้วทำการเลือก และวิเคราะห์ตำแหน่งในการตัด ส่งผลให้แก้ไขปัญหาได้จำนวนมาก ในการวิจัยในอนาคตนำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหากับชิ้นส่วนที่เป็นรูปร่างผิดปกติและอื่น ๆ สำหรับปัญหาการตัดแบ่งส่วน และปัญหาการบรรจุหีบห่อ

Terashima, Ross, Farias, Lopez, and Valenzuela (2008) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์การนำเสนอแบบจำลองที่ใช้กระบวนการเชิงพันธุกรรม ซึ่งการสร้างวิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สำหรับการแก้ปัญหาการบรรจุกล่องแบบสองมิติ โดยพิจารณาปัญหาที่มีชิ้นสี่เหลี่ยมด้านหนึ่งและด้านที่ไม่สม่ำเสมอ (รูปหลายเหลี่ยมนูน) บทความนี้ได้อธิบายผลการทดลองของแบบจำลองโดยใช้ความยาวผันแปรของกระบวนการเชิงพันธุกรรม ซึ่งจะแก้ปัญหาตามเงื่อนไขของปัญหาที่เกิดขึ้น เรียกว่า การวิเคราะห์แบบหลายมิติ เมื่อนำไปใช้กับตัวอย่างที่หาวิธีการแก้ปัญหาซับซ้อน วิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์จะสามารถแก้ปัญหาส่วนใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและดีกว่าฮิวริสติกส์แบบเดียว

Terashima, Flores, and Ross (2005) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีการไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เป็นการรวบรวมวิธีหลากหลายเข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาที่หลากหลาย ผลที่ได้ควรมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบดั้งเดิม งานวิจัยนี้นำเสนอแบบจำลอง 2 รูปแบบของกระบวนการวิวัฒนาการที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ที่แก้ปัญหาการตัดแบ่งส่วนแบบสองมิติ โดยใช้ระบบการเรียนรู้และจัดลำดับตามประเภทต่าง ๆ แก้ไขปัญหาโดยตรงกับปัญหานั้น ๆ รูปแบบที่ 2 ใช้กระบวนการเชิงพันธุกรรม ซึ่งใช้การแสดงความยาวแปรผันซึ่งเป็นการรวมกันแก้ปัญหาตามเงื่อนไขของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ทั้งสองวิธีเมื่อทดสอบและเปรียบเทียบโดยใช้ชุดของปัญหาที่มีขนาดใหญ่อันเดียวกัน สามารถทำงานได้ดีกว่าการรวมของฮิวริสติกส์เดี่ยวหรือแบบดั้งเดิมวัตถุประสงค์หลักของบทความนี้ คือ เป็นการพัฒนาต่อจากปัญหาการบรรจุหีบห่อแบบหนึ่งมิติ และได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหาการตัดแบ่งส่วนชิ้นงานแบบสองมิติเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งงานวิจัยทั้งสองงานนี้มีความคล้ายคลึงกัน ดังนั้นจึงสามารถนำกลไกกระบวนการแก้ปัญหาใช้ด้วยกันได้ โดยใช้ระบบการเรียนรู้และจัดลำดับตามประเภทต่าง ๆ ในการแก้ปัญหา ได้อธิบายถึงผลการทดลองในรูปแบบที่ใช้วิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สร้างระบบการจำแนกประเภทสำหรับปัญหาการตัดแบ่งส่วนแบบสองมิติ โดยรวมการวิเคราะห์การแก้ปัญหาของตัวอย่างการทดสอบที่ใช้ได้อย่างเหมาะสม

Terashima, Ross, and Valenzuela (2008) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์จุดประสงค์ของบทความนี้ คือ การสำรวจทางเลือกใหม่ในการใช้วิธีการวิวัฒนาการเพื่อสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดลำดับตัวแปรแบบไดนามิก (Constraint Satisfaction Problem : CSP) วิธีการไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เป็นการรวบรวมวิธีหลากหลายเข้าด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาที่หลากหลาย ผลที่ได้ควรมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบดั้งเดิม บทความนี้นำเสนอกระบวนการเชิงพันธุกรรมเป็นพื้นฐานในการสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สำหรับปัญหาการจัดเรียงตัวแบบไดนามิกภายใต้ข้อจำกัดที่มีอยู่ เมื่อทดสอบกับปัญหาส่วนใหญ่จำนวนมากให้ผลลัพธ์ที่น่าพอใจและเหมาะสม

Matthew Hyde (2010) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์โปรแกรมเชิงพันธุกรรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์เพื่อทำให้กระบวนการออกแบบฮิวริสติกส์เป็นอัตโนมัติสำหรับปัญหาการบรรจุกล่องแบบหนึ่งสองและสามมิติ รูปแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) โดยปกติแล้ววิธีการค้นหาแบบฮิวริสติกส์จะใช้ค้นหาวิธีการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ ในทางตรงกันข้ามกันไฮเปอร์ฮิวริสติกส์เป็นการค้นหาพื้นที่การแก้ปัญหาโดยตรง ทำการเลือกวิธีฮิวริสติกส์ หรือเลือกลำดับวิธีการฮิวริสติกส์ จากรูปแบบปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ จากการศึกษาพบว่า ความเป็นไปได้น้อยมากที่วิธีแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สามารถสร้างฮิวริสติกส์แบบใหม่จากปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ได้ โปรแกรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ทางพันธุกรรมแบบอัตโนมัติสำหรับปัญหาการบรรจุกล่องที่มีความกว้างหลากหลาย การเขียนโปรแกรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ทางพันธุกรรม ต้องมีการคิดให้ครอบคลุมกับปัญหา โดยมนุษย์เป็นผู้สร้างโปรแกรมขึ้นมา ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ถูกนำไปใช้กับการบรรจุในถังขยะหนึ่งมิติ แสดงให้เห็นว่า สามารถนำมาใช้ซ้ำกับปัญหาที่มองไม่เห็น จากนั้นจะใช้กับปัญหาการบรรจุแบบสองและสามมิติเพื่อพิจารณาว่าการสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์แบบอัตโนมัติเป็นไปได้หรือไม่ แสดงให้เห็นว่าเขียนโปรแกรมแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ทางพันธุกรรมแบบอัตโนมัติสามารถแก้ปัญหา ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนพารามิเตอร์หรือรหัสระหว่างการรัน สิ่งนี้แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนวิธีการบรรจุหีบห่อหลากหลายในวรรณกรรมที่อ้างถึง

Eunice, Peter, and Manuel (2010) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ในวิธีการต่าง ๆ สำหรับการปรับให้เหมาะสมที่สุดโดยการรวมกันของปัญหา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรวมลักษณะที่เกี่ยวข้องมากที่สุดของปัญหาที่เกี่ยวข้อง ในบทความนี้เสนอวิธีการในการแสดงเวกเตอร์เชิงตัวเลขของปัญหาที่กำหนด สำหรับการบรรจุหีบห่อ โดยกำหนดรูปร่างแบบผิดปกติแบบสองมิติ แสดงให้เห็นว่า ไฮเปอร์ฮิวริสติกส์สามารถนำเสนอผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบเดิมมากยิ่งขึ้น

Eunice, Hugo, and Santiago (2012) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ วิธีการค้นพบข้อมูลเชิงลึกเกี่ยวกับลักษณะของปัญหาการการบรรจุหีบห่อและความสัมพันธ์ในการทำงานของแบบจำลองวิวัฒนาการแบบไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ โดยเป็นรวมวิธีการแบบฮิวริสติกส์กำหนดให้มี 6 วิธี ในระหว่างการแก้ปัญหาที่กำหนด การใช้วิธีการวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (Principal Component Analysis : PCA) เราเห็นภาพในสองมิติทุกกรณีที่มีลักษณะมากขึ้น ส่งผลให้กราฟเติบโตขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของไฮเปอร์ฮิวริสติกส์มีคุณภาพ

Eunice, Hugo, Gabriela, and Santiago (2013) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างของปัญหาการบรรจุกล่องอย่างละเอียดและวิธีการนี้เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์ การศึกษาพิจารณาฮิวริสติกส์ทั้งหมด 6 วิธีทำการสร้างไฮเปอร์ฮิวริสติกส์แบบวิวัฒนาการ มีการพิจารณากรณีปัญหาหลากหลายรวมถึงปัญหาปกติและผิดปกติหนึ่งมิติและสองมิติ จากการวิเคราะห์ระบุว่า

บางกรณี ที่เป็นปัญหาแบบซับซ้อน จะสามารถแก้ปัญหาได้อย่างชัดเจนกว่ากรณีอื่น ๆ สำหรับฮิวริสติกส์และไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ซึ่งฮิวริสติกส์จะสามารถแก้ปัญหาที่ง่ายกว่าและเร็วกว่าสามารถทำได้ดีกว่าในบางกรณี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแก้ปัญหาหนึ่งมิติที่มีจำนวนชิ้นไม่มาก

ซึ่งจากการศึกษายังพบงานวิจัยที่ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP) และการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง (Bin packing problem : BPP) กับวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ยังพบจำนวนน้อย พบเพียงแต่การแก้ปัญหาเพียงอย่างใดอย่างหนึ่งโดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์เท่านั้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการศึกษาใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper-Heuristic) ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงสินค้า (Bin packing problem : BPP) จาก Terashima, Ross, and Valenzuela (2006, 2007) ส่วนปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP) ได้ทำการศึกษาจาก พิมพ์ชนก (2552) ซึ่งเลือกใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) โดยผู้วิจัยได้นำวิธีการกวาด (The Sweep Approach) มาประยุกต์ใช้ในงานเพื่อให้ได้คำตอบที่ดี รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

จากการศึกษาปัญหาข้างต้นที่กล่าวมาทั้งหมด ทำการวิเคราะห์และสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัจจัยต่าง ๆ รูปแบบของปัญหา และวิธีในการแก้ผลเฉลยดังตาราง ดังนี้ ตารางที่ 2.2 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สำหรับปัจจัยต่าง ๆ ตารางที่ 2.3 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย และตารางที่ 2.4 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีแก้ผลเฉลย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัจจัยต่าง ๆ

ที่	ผู้วิจัย (ปี)	ลักษณะรูปทรงของกล่อง					มิติ		
		square	rectangular	circle	triangle	irregular	1D	2D	3D
1	Terashima, H., Ross, P., and Valenzuela, M., (2006)		√					√	
2	Su, N., Mengjie, Z., and Mark, J., (2011)								
3	John Woodward (2010)							√	
4	Edmund, B., et al. (2008)							√	
5	Eunice, Hugo, and Peter (2011)		√			√	√	√	
6	Edmund et al. (2009)								
7	Eunice, L., et al. (2013)					√		√	
8	Juan, G., Hugo, M., (2012)					√		√	
9	Terashima, H., Ross, P., and Valenzuela, M., (2007)		√					√	
10	Gisele,et al. (2012)								
11	Eunice Camacho (2012)					√		√	
12	Juan, G., Hugo, M., (2018)					√		√	
13	Eunice, C., Hugo, M., (2013)						√	√	
14	Hugo, M., Armando, S., and Peter, R., (2005)							√	
15	Terashima, H., et al. (2008)		√			√		√	
16	Terashima, H., Flores, E., and Ross, P., (2005)							√	
17	Terashima, H., Ross, P., and Valenzuela, M., (2008)								

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

ที่	ผู้วิจัย (ปี)	ลักษณะรูปทรงของกล่อง					มิติ		
		square	rectangular	circle	triangle	irregular	1D	2D	3D
18	Matthew Hyde (2010)						√	√	√
19	Eunice, C., et al. (2010)					√		√	
20	Eunice, C., Hugo, M., and Santiago, C., (2012)							√	
21	Eunice, C., et al. (2013)					√	√	√	
22	Kevin, S., Emma, H., (2016)							√	
23	Nasser, S., Xiuzhen, Z., and Andy, S., (2015)							√	
24	Ruibin, B., Edmund, B., (2007)							√	
25	Shahriar, A., Ender, O., (2014)							√	
26	Yuxin, L., Mengjie, Z., Yi, M., and Zili, Z., (2017)							√	
27	Jaromir, M., Jiri, K., (2013)							√	
28	Richard, M., Mark, J., and Mengjie, Z., (2014)							√	
29	David, N., Jose, O., and Hugo, T., (2016)							√	
30	Enrique, U., Claudio, C., and Daniel, C., (2015)							√	
งานวิจัยนี้		√	√					√	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย

ที่-	ผู้วิจัย(ปี)	ปัญหา									
		Vehicle Routing Problem (VRP)	Capacitated Vehicle Routing Problem	Uncertain Capacitated Arc Routing Problem (UCARP)	dial-a-ride problem with time windows	bin packing problem (BPP)	Cutting Stock Problem	SPP (strip-packing problem)	Constraint Satisfaction Problems	dynamic variable ordering	state representation
1	Terashima, H., Ross, P., and Valenzuela, M., (2006)						√				
2	Su, N., Mengjie, Z., and Mark, J., (2011)										
3	John Woodward (2010)							√			
4	Edmund, B., et al. (2008)							√			
5	Eunice, Hugo, and Peter (2011)					√					
6	Edmund et al. (2009)										
7	Eunice, L., et al. (2013)					√					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย (ต่อ)

ที่	ผู้วิจัย(ปี)	ปัญหา									
		Vehicle Routing Problem (VRP)	Capacitated Vehicle Routing Problem	Uncertain Capacitated Arc Routing Problem (UCARP)	dial-a-ride problem with time windows	bin packing problem (BPP)	Cutting Stock Problem	SPP (strip-packing problem)	Constraint Satisfaction Problems	dynamic variable ordering	state representation
8	Juan, G., Hugo, M., (2012)						√				
9	Terashima, H., Ross, P., and Valenzuela, M., (2007)					√					
10	Gisele,et al. (2012)							√			
11	Eunice Camacho (2012)					√					
12	Juan, G., Hugo, M., (2018)					√					
13	Eunice, C., Hugo, M., (2013)					√					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย (ต่อ)

ที่	ผู้วิจัย(ปี)	ปัญหา									
		Vehicle Routing Problem (VRP)	Capacitated Vehicle Routing Problem	Uncertain Capacitated Arc Routing Problem (UCARP)	dial-a-ride problem with time windows	bin packing problem (BPP)	Cutting Stock Problem	SPP (strip-packing problem)	Constraint Satisfaction Problems	dynamic variable ordering	state representation
14	Hugo, M., Armando, S., and Peter, R., (2005)						√				
15	Terashima, H., et al. (2008)					√					
16	Terashima, H., Flores, E., and Ross, P., (2005)						√				
17	Terashima, H., Ross, P., and Valenzuela, M., (2008)								√	√	
18	Matthew Hyde (2010)					√					
19	Eunice, C., et al. (2010)										√

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย (ต่อ)

ที่	ผู้วิจัย(ปี)	ปัญหา									
		Vehicle Routing Problem (VRP)	Capacitated Vehicle Routing Problem	Uncertain Capacitated Arc Routing Problem (UCARP)	dial-a-ride problem with time windows	bin packing problem (BPP)	Cutting Stock Problem	SPP (strip-packing problem)	Constraint Satisfaction Problems	dynamic variable ordering	state representation
20	Eunice, C., Hugo, M., and Santiago, C., (2012)					√					
21	Eunice, C., et al. (2013)					√					
22	Kevin, S., Emma, H., (2016)	√									
23	Nasser, S., Xiuzhen, Z., and Andy, S., (2015)	√									
24	Ruibin, B., Edmund, B., (2007)	√									
25	Shahriar, A., Ender, O., (2014)	√									

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย (ต่อ)

ที่	ผู้วิจัย(ปี)	ปัญหา									
		Vehicle Routing Problem (VRP)	Capacitated Vehicle Routing Problem	Uncertain Capacitated Arc Routing Problem (UCARP)	dial-a-ride problem with time windows	bin packing problem (BPP)	Cutting Stock Problem	SPP (strip-packing problem)	Constraint Satisfaction Problems	dynamic variable ordering	state representation
26	Yuxin, L., Mengjie, Z., Yi, M., and Zili, Z., (2017)			√							
27	Jaromir, M., Jiri, K., (2013)		√								
งานวิจัยนี้		√				√					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีแก้ผลเฉลย

ที่	ผู้วิจัย (ปี)	วิธีแก้ผลเฉลย										
		Genetic Algorithm (GA)	Heuristic Algorithm	Evolutionary Algorithm	Genetic Programming (GP)	Hyper Heuristic	Math-Hyper-Heuristic (MHH)	Meta-Leaning	Heuristic	Principal Component Analysis	Grammatical Evolution (GE)	Search Methodologies
1	Terashima, H., Ross, P., and Valenzuela, M., (2006)					√						
2	Su, N., Mengjie, Z., and Mark, J., (2011)				√	√						
3	John Woodward (2010)				√	√						
4	Edmund, B., et al. (2008)				√	√						
5	Eunice, Hugo, and Peter (2011)					√						
6	Edmund et al. (2009)					√						√
7	Eunice, L., et al. (2013)								√			
8	Juan, G., Hugo, M., (2012)	√		√		√						
9	Terashima, H., Ross, P., and Valenzuela, M., (2007)					√						

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีแก้ผลเฉลย (ต่อ)

ที่	ผู้วิจัย (ปี)	วิธีแก้ผลเฉลย										
		Genetic Algorithm (GA)	Heuristic Algorithm	Evolutionary Algorithm	Genetic Programming (GP)	Hyper Heuristic	Math-Hyper-Heuristic (MHH)	Meta-Leaning	Heuristic	Principal Component Analysis	Grammatical Evolution (GE)	Search Methodologies
10	Gisele,et al. (2012)					√		√				
11	Eunice Camacho (2012)					√						
12	Juan, G., Hugo, M., (2018)					√						
13	Eunice, C., Hugo, M., (2013)											
14	Hugo, M., Armando, S., and Peter, R., (2005)	√				√						
15	Terashima, H., et al. (2008)					√						
16	Terashima, H., Flores, E., and Ross, P., (2005)					√						
17	Terashima, H., Ross, P., and Valenzuela, M., (2008)					√						

ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีแก้ผลเฉลย (ต่อ)

ที่	ผู้วิจัย (ปี)	วิธีแก้ผลเฉลย										
		Genetic Algorithm (GA)	Heuristic Algorithm	Evolutionary Algorithm	Genetic Programming (GP)	Hyper Heuristic	Math-Hyper-Heuristic (MHH)	Meta-Leaning	Heuristic	Principal Component Analysis	Grammatical Evolution (GE)	Search Methodologies
18	Matthew Hyde (2010)				√	√						
19	Eunice, C., et al. (2010)					√						
20	Eunice, C., Hugo, M., and Santiago, C., (2012)					√				√		
21	Eunice, C., et al. (2013)					√				√		
22	Kevin, S., Emma, H., (2016)				√	√						
23	Nasser, S., Xiuzhen, Z., and Andy, S., (2015)					√	√					
24	Ruibin, B., Edmund, B., (2007)					√						
25	Shahriar, A., Ender, O., (2014)					√						
26	Yuxin, L., Mengjie, Z., Yi, M., and Zili, Z., (2017)				√	√						

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีแก้ผลเฉลย (ต่อ)

ที่	ผู้วิจัย (ปี)	วิธีแก้ผลเฉลย										
		Genetic Algorithm (GA)	Heuristic Algorithm	Evolutionary Algorithm	Genetic Programming (GP)	Hyper Heuristic	Math-Hyper-Heuristic (MHH)	Meta-Leaning	Heuristic	Principal Component Analysis	Grammatical Evolution (GE)	Search Methodologies
27	Jaromir, M., Jiri, K., (2013)			√		√						
28	Richard, M., Mark, J., and Mengjie, Z., (2014)				√	√					√	
29	David, N., Jose, O., and Hugo, T., (2016)	√			√	√						
30	Enrique, U., Claudio, C., and Daniel, C., (2015)					√						
งานวิจัยนี้		Hyper Heuristic										

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

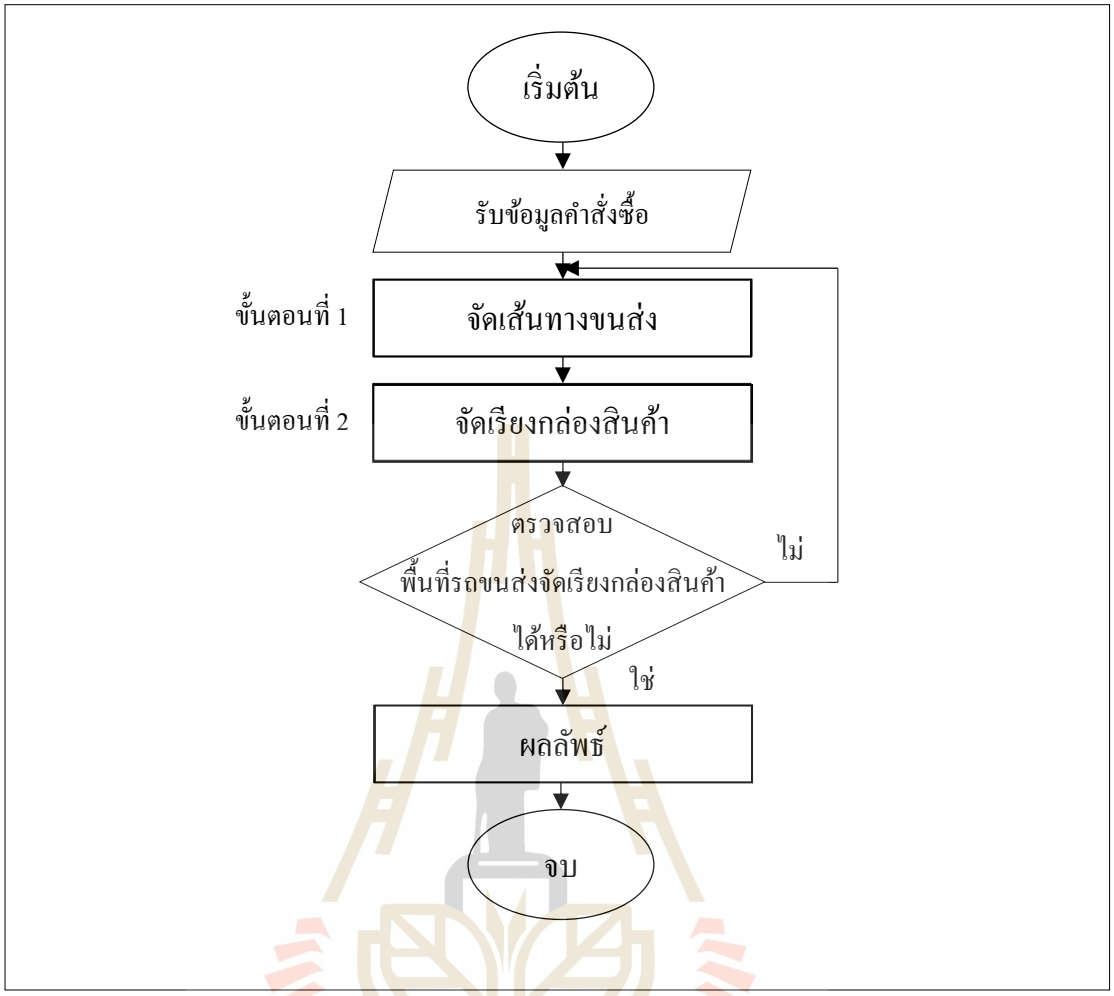
ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบสองมิติในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง ซึ่งจะกล่าวข้างต้นในวิธีการดำเนินงานวิจัย พร้อมทั้งในส่วนของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง เลือกใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และการแก้ปัญหาการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติ โดยวิธีนำเสนอในงานวิจัยเล่มนี้ คือ วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ซึ่งใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้าโดยการทำงานระหว่างการรวมกันของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 จากการรับข้อมูลคำสั่งซื้อจากลูกค้า นำมาพิจารณาการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP) โดยใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

ขั้นตอนที่ 2 ทำการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP) โดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า โดยทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ

หลังจากนั้นทำการตรวจสอบพื้นที่รถขนส่งสามารถจัดเรียงกล่องสินค้าได้ให้ทำการจัดเรียงกล่องสินค้าต่อไป แต่หากพื้นที่รถขนส่งไม่สามารถจัดเรียงกล่องสินค้าได้ ให้ทำการจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ โดยให้ไปทำขั้นตอนที่ 1 หลังจากที่ทำขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ครบแล้วจะใช้โปรแกรม MATLAB พัฒนาเพื่อช่วยในการหาคำตอบและการแก้ปัญหาจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงกล่องสินค้าต่อไป



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP)

ในส่วนของการจัดเส้นทางการขนส่งนั้นจะเป็นส่วนแรกของการดำเนินการวิจัย โดยใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ทำการพิจารณาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem) มีรถขนส่งประเภทที่ 1 ขนาดเล็ก z ล้อ และรถขนส่งประเภทที่ 2 ขนาดใหญ่ r ล้อ และออกจากคลังสินค้าพร้อมกันมากกว่า 1 คัน มีลูกค้าจำนวน n ราย และมีศูนย์กระจายสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) โดยกำหนดพารามิเตอร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง ดังต่อไปนี้

n คือ ลำดับลูกค้าทั้งหมด $n = 1, 2, ..., n$

k คือ จำนวนรถขนส่งสินค้าทั้งหมด $k = 1, 2, ..., k$ (คัน)

s_0 คือ ศูนย์กระจายสินค้า

s_n คือ ระยะทางขนส่งลำดับลูกค้ารายที่ n

q_n คือ พื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลำดับลูกค้ารายที่ n

q_k คือ พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ k

s_k คือ ระยะทางรวมของลูกค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ k

c_k คือ กลุ่มคลัสเตอร์ของกลุ่มลูกค้าในรถขนส่งคันที่ k

L_v คือ เก็บพื้นที่ของลูกค้าในกลุ่มคลัสเตอร์ โดยที่ $v = 1, 2, ..., v$

w คือ มุมกวาดรอบจุดศูนย์กลางในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นมุมแหลม ที่ w องศา

t คือ มุมกวาดรอบจุดศูนย์กลางในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นมุมฉาก ที่ t องศา

z คือ รถขนส่งประเภทที่ 1 ขนาดเล็ก z ล้อ

r คือ รถขนส่งประเภทที่ 2 ขนาดเล็ก r ล้อ

e คือ ค่าพื้นที่เผื่อ e ตารางมิลลิเมตร ของรถขนส่งประเภทที่ 1

g คือ ค่าพื้นที่เผื่อ g ตารางมิลลิเมตร ของรถขนส่งประเภทที่ 2

ซึ่งในขั้นตอนที่ 1 ในการจัดเส้นทางการขนส่ง จะใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1.1 เริ่มต้นกำหนดรถขนส่งคันที่ k และกำหนดจุดส่งศูนย์กระจายสินค้า (s_0) เป็นจุดเริ่มต้นและจุดหมุน

ขั้นตอนที่ 1.2 ทำการแบ่งกลุ่มคลัสเตอร์ของรถขนส่งคันที่ k (c_k) ในมุมกวาด โดยทำการเก็บค่าโดยให้ L_v เก็บพื้นที่ของการบรรจุกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ n (q_n) โดยการแบ่งกลุ่มคลัสเตอร์ของรถขนส่งสินค้าใช้วิธีการกวาด (Sweep Approach) โดยการกวาดจะมีจุดหมุน คือ s_0 ในการแบ่งกลุ่มตามที่ได้อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.5.2.2

ขั้นตอนที่ 1.3 ทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าจากจุด (s_0) เป็นมุมกวาด t องศาถัดไปทิศทวนเข็มนาฬิกา

ขั้นตอนที่ 1.4 ค้นหาระยะทางขนส่งสินค้าลำดับลูกค้าที่ n (s_n) ถัดไปที่มีระยะทางใกล้จุดเริ่มต้นมากที่สุด ด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ตามที่ได้อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.5.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนที่ 1.5 ตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ากับรถขนส่งคันที่ k ว่าพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลำดับลูกค้าคนที่ n (q_n) < พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ k (q_k) ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.6 ถ้าหากไม่ใช่ให้ไปทำขั้นตอนที่ 1.10

ขั้นตอนที่ 1.6 อัปเดตค่า q_k ปัจจุบันโดยที่ $q_k = q_k - q_n$

ขั้นตอนที่ 1.7 ตรวจสอบว่ายังมีลูกค้าในมุมกวาด t องศา และพื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ k ยังเหลือพื้นที่ $q_k > e$ หรือ g ตารางเซนติเมตรใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.8 ถ้าหากไม่ใช่ให้ไปทำขั้นตอนที่ 1.10

ขั้นตอนที่ 1.8 ค้นหาระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลำดับลูกค้า s_n ถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.9 ตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ากับรถขนส่งคันที่ k ว่าพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลำดับลูกค้าคนที่ n (q_n) > พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ k (q_k) ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.10 ถ้าหากไม่ใช่ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 1.6

ขั้นตอนที่ 1.10 ตรวจสอบลูกค้าว่าเป็นลูกค้าคนสุดท้ายภายในมุมกวาด t องศา ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.11 ถ้าหากไม่ใช่ให้ไปทำขั้นตอนที่ 1.12

ขั้นตอนที่ 1.11 แบ่งกลุ่มลูกค้าจากจุดมุมกวาดสุดท้ายให้กวาดมุมเพิ่ม w องศาถัดไปทิศทวนเข็มนาฬิกา

ขั้นตอนที่ 1.11.1 ค้นหาระยะทางขนส่งสินค้าลำดับลูกค้าที่ n (s_n) ถัดไปที่มีระยะทางใกล้จุดเริ่มต้นมากที่สุด ด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor)

ขั้นตอนที่ 1.11.2 ตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ากับรถขนส่งคันที่ k ว่า พื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลำดับลูกค้าคนที่ n (q_n) < พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ k (q_k) ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 1.11.3 ถ้าหากไม่ใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.11.7

ขั้นตอนที่ 1.11.3 อัปเดตค่า q_k ปัจจุบันโดยที่ $q_k = q_k - q_n$

ขั้นตอนที่ 1.11.4 ตรวจสอบว่ายังมีลูกค้าในมุมกวาด w องศา และพื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ k ยังเหลือพื้นที่ $q_k > e$ หรือ g ตารางมิลลิเมตรใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.11.5 ถ้าหากไม่ใช่ให้ไปทำขั้นตอนที่ 1.11.7

ขั้นตอนที่ 1.11.5 ค้นหาระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลำดับลูกค้า s_n ถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.11.6 ตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลำดับลูกค้ากับรถขนส่งคันที่ k ว่า $q_n > q_k$ ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.11.7 ถ้าหากไม่ใช่ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 1.11.3

ขั้นตอนที่ 1.11.7 ตรวจสอบลูกค้าว่าเป็นลูกค้าคนสุดท้ายภายในมุมกวาด w องศา ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.11.1 ถ้าหากไม่ใช่ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 1.11.8

ขั้นตอนที่ 1.11.8 ทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าจากจุด (s_0) เป็นมุมกวาด t องศาถัดไปทิศทวนเข็มนาฬิกา

ขั้นตอนที่ 1.12 อัปเดตค่า q_k ปัจจุบัน โดยที่ $q_k = q_k - q_n$

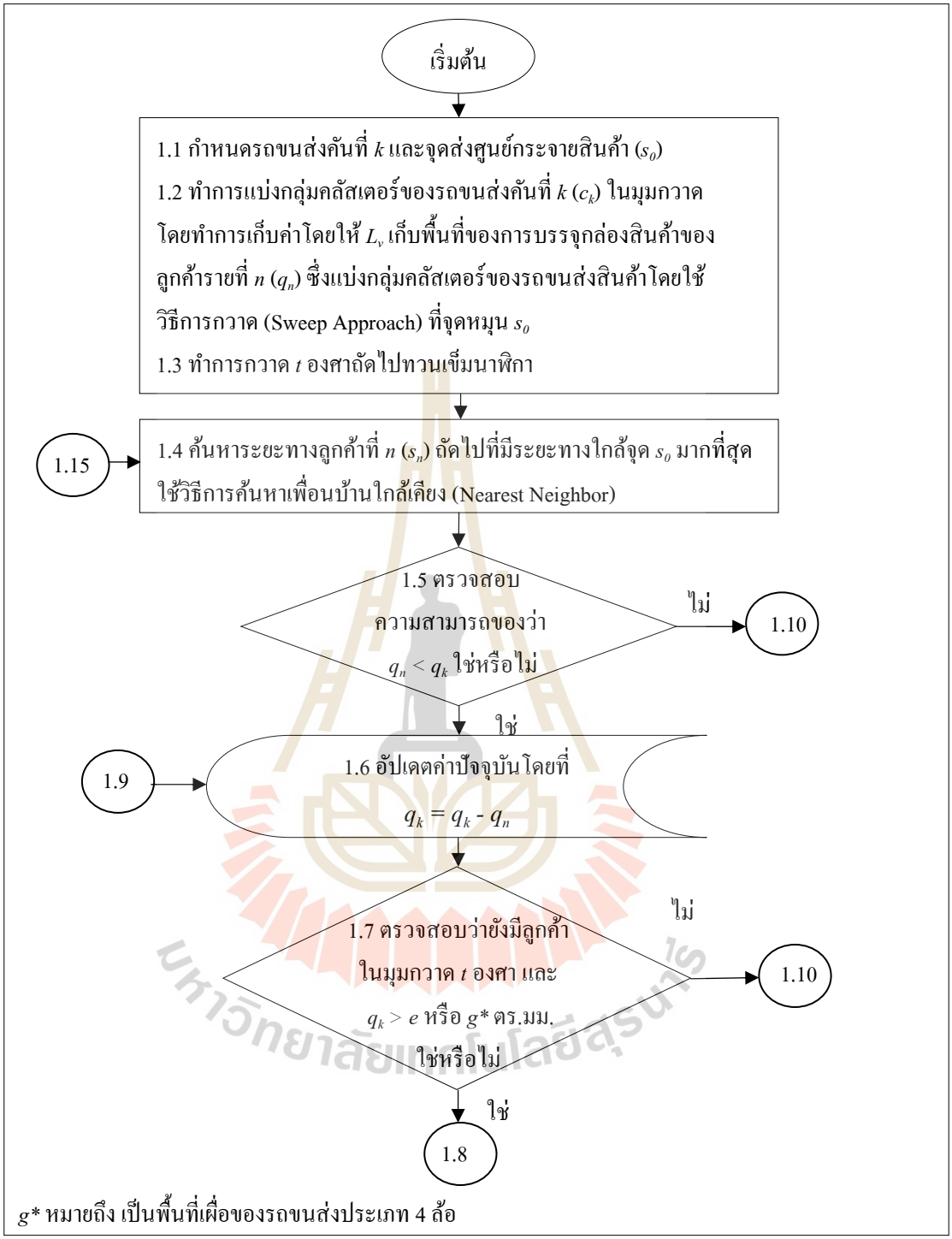
ขั้นตอนที่ 1.13 อัปเดตกลุ่มจุดขนส่งสินค้า หรือ เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถคันที่ k ทำการเก็บค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ k (c_k) และจะได้ค่า L_v ในการเก็บพื้นที่ของการบรรจุกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ n (q_n)

ขั้นตอนที่ 1.14 อัปเดตรถขนส่งคันถัดไป $k = k + 1$ และระบุพื้นที่รถขนส่งของรถคันที่ k (q_k)

ขั้นตอนที่ 1.15 ตรวจสอบการว่าส่งครบจำนวนลูกค้าใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.16 ถ้าหากไม่ใช่ให้วนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1.4

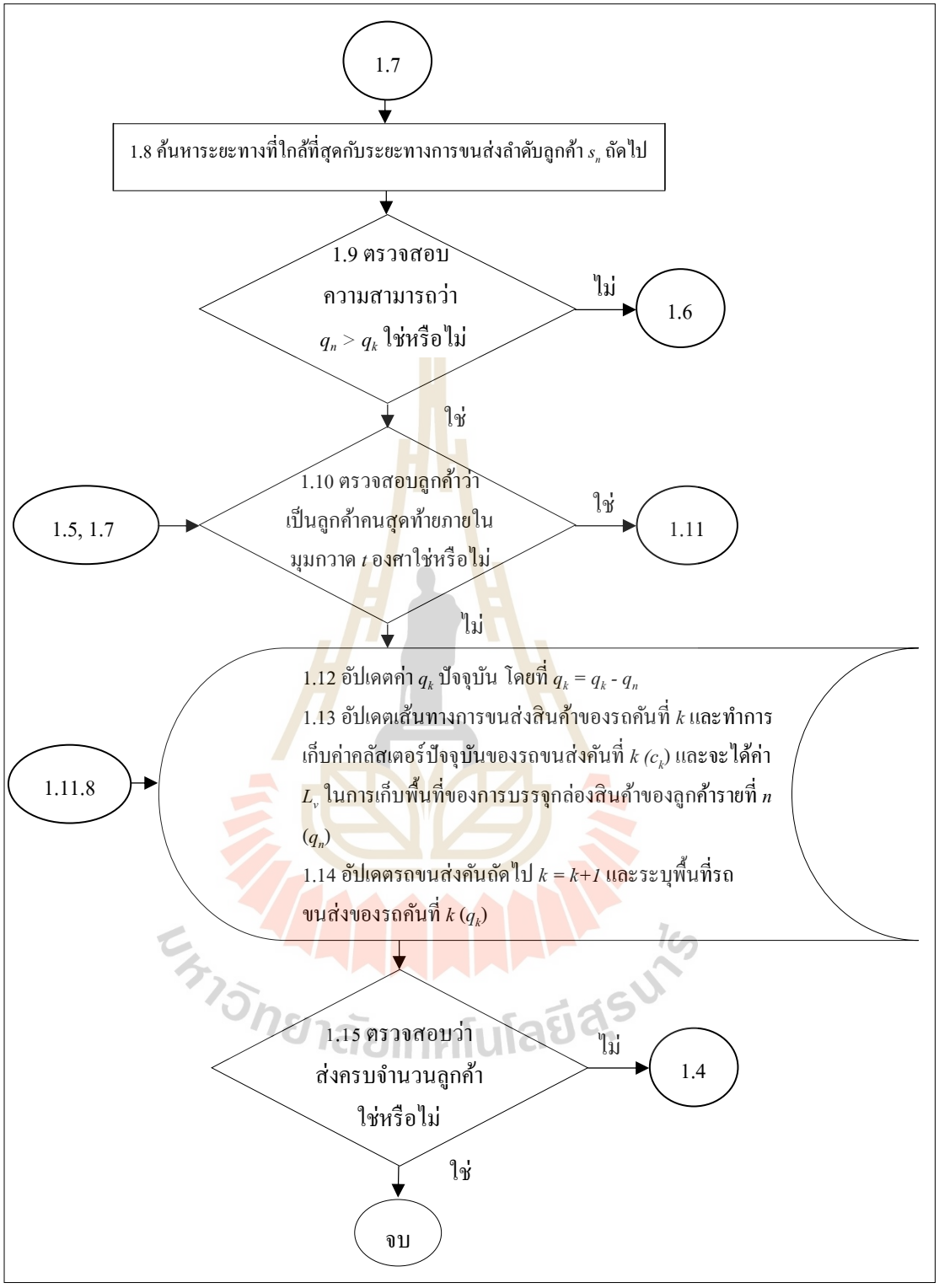
ขั้นตอนที่ 1.16 สิ้นสุดกระบวนการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

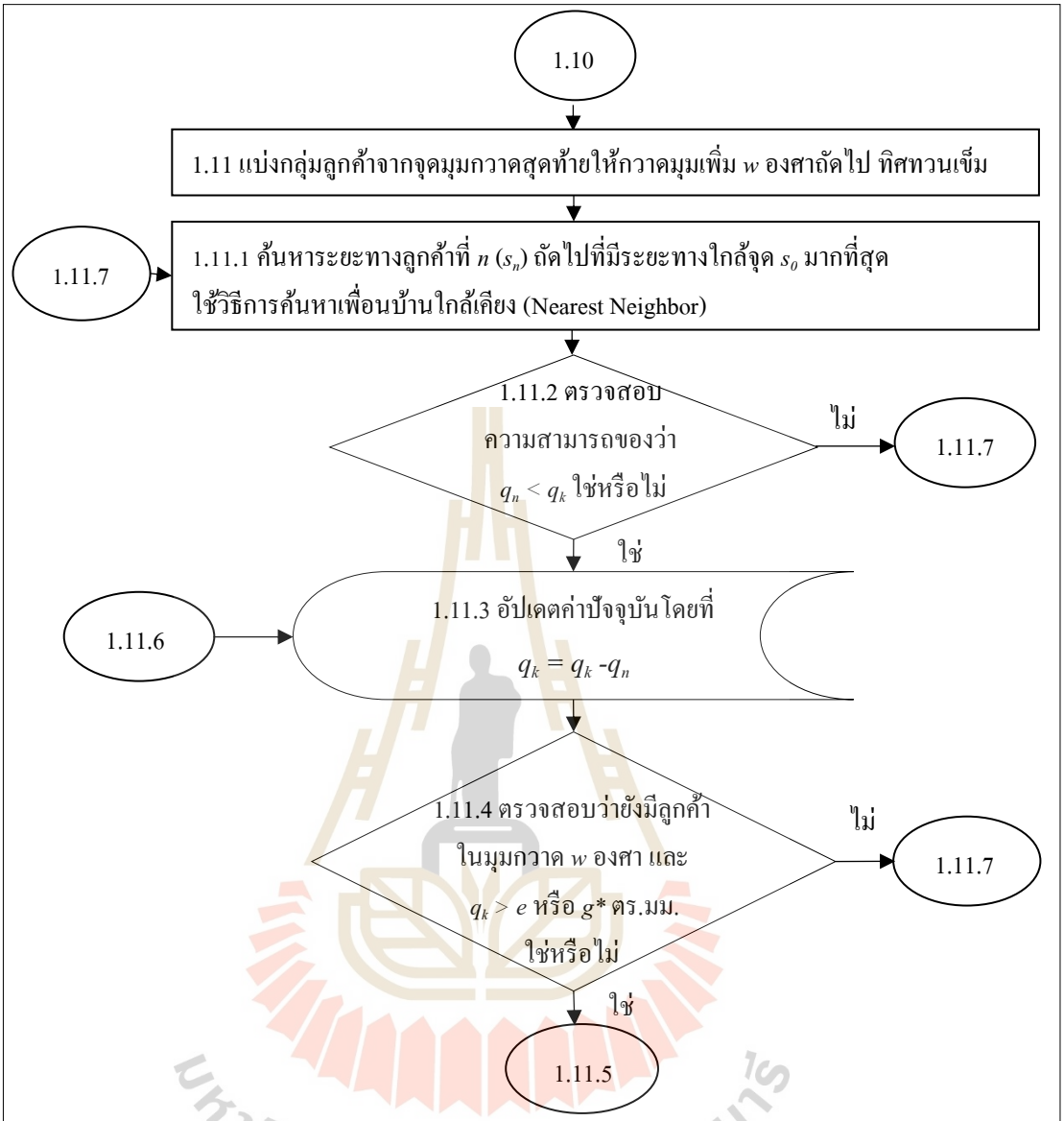


g^* หมายถึง เป็นพื้นที่เผื่อของรถขนส่งประเภท 4 ล้อ

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่ง



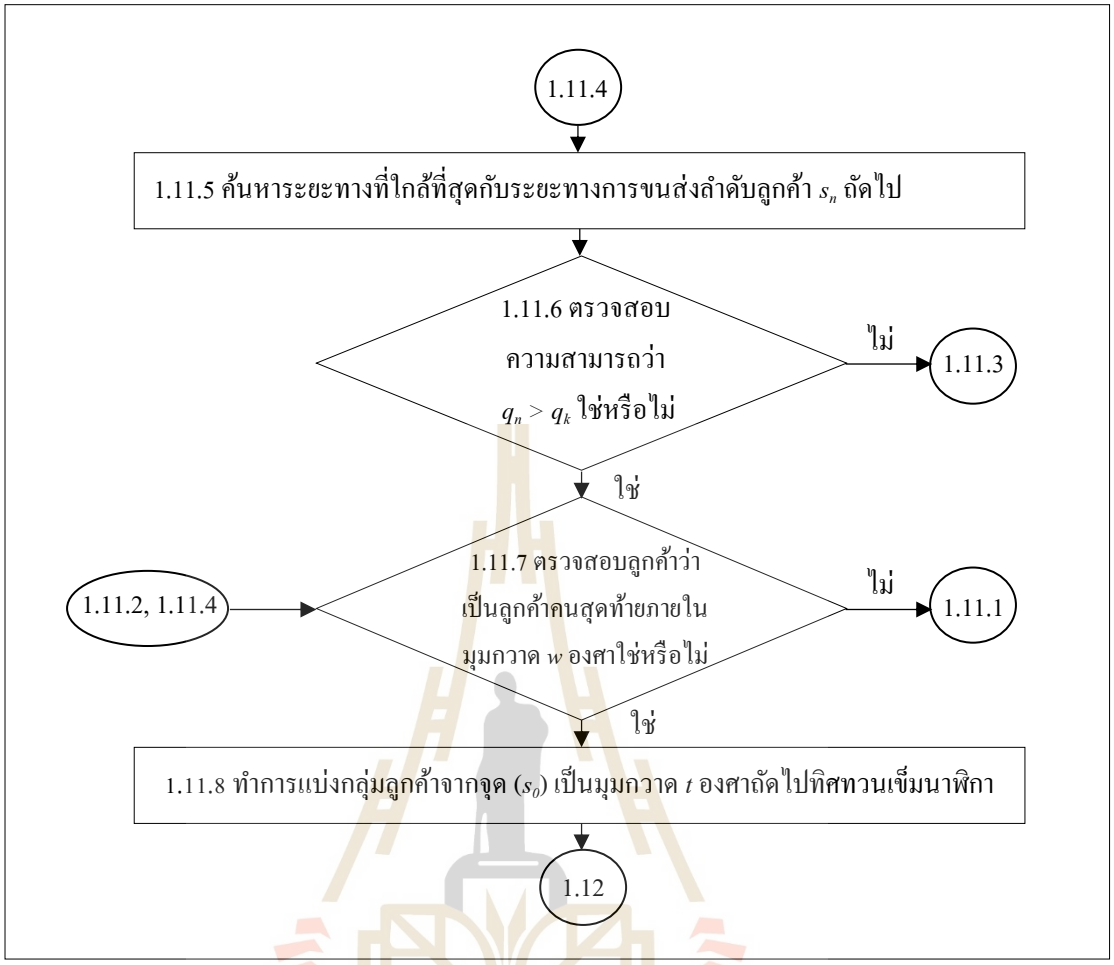
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่ง (ต่อ)



g* หมายถึง ใช้กรณีที่เป็นพื้นที่เผื่อของรถขนส่งประเภท 4 ล้อ

w หมายถึง เป็นมุมกวาดทวนเข็มนาฬิกา 30 องศา

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่ง (ต่อ)



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่ง (ต่อ)

3.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP)

ส่วนปัญหาการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งแบบสองมิติ (2D) ประเภทของกล่องสินค้ามี 2 ประเภท คือ กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา ทำการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP) โดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการหาคำตอบเบื้องต้น โดยเป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของ การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เป็นการช่วยหาคำตอบให้ดีขึ้น ซึ่งในส่วนของขั้นตอนการจัดเรียงกล่องสินค้าดังต่อไปนี้ และตามรูปที่ 3.2

กำหนดการใช้พารามิเตอร์ สำหรับปัญหาการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

q_k คือ พื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ k

q_{kd} คือ พื้นที่ไม่สามารถวางกล่องสินค้าได้ของรถขนส่งคันที่ k

N คือ จำนวนรอบสูงสุดของวิธีวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์

p คือ กล่องสินค้าลำดับที่ p ของกล่องสินค้าทั้งหมด เมื่อ $p = 1, 2, 3, \ldots, p$ หรือจำนวนเต็มบวก

f_n คือ จำนวนกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ n เมื่อ $f = 1, 2, 3, \ldots, f$

m คือ ช่วงของจำนวนกล่องสินค้าของจุดตัดภายในและการกลายพันธ์

b คือ ตำแหน่งการสุ่มแทรกกลายพันธ์ (Insertion Mutation)

j คือ ตำแหน่งการสุ่มจุดตัดภายใน

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) = $q_k - c_k - q_{kd}$

ซึ่งในขั้นตอนที่ 2 สำหรับปัญหาการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง จะใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 2.1 รับข้อมูลจากการเก็บค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ k (c_k) และจะได้ค่า L_v ในการเก็บพื้นที่ของการบรรจุกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ n (q_n) จากการจัดเส้นทางการขนส่ง จากหัวข้อที่ 3.3.1 ในขั้นตอนที่ 1 การจัดเส้นทางขนส่งในขั้นตอนที่ 1.13 และลูกค้ารายที่ j มีจำนวนกล่องสินค้า f_n กล่อง

ขั้นตอนที่ 2.2 เข้าสู่กระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ได้อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.4 รอบที่ N โดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการหาคำตอบเบื้องต้น โดยเป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เป็นการช่วยหาคำตอบให้ดีขึ้น

ขั้นตอนที่ 2.3 ทำการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้าจะทำการอธิบายฮิวริสติกส์ที่ถูกใช้ในการเลือกฮิวริสติกส์ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และความหมาย

การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic)	**ความหมายของของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic)**
First Fit (FF)	เลือกพื้นที่แรกที่บรรจุได้และมีขนาดใหญ่เพียงพอกับพื้นที่ที่ต้องการบรรจุ แต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้พิจารณาพื้นที่ถัดไป
Best Fit (BF)	เลือกพื้นที่บรรจุที่เหมาะสมที่สุด ทำการค้นหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่บรรจุว่างที่มีขนาดเท่ากันแต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้ทำการพิจารณาคันถัดไป

ขั้นตอนที่ 2.4 สุ่มสร้างกลุ่มประชากร (โครโมโซมพ่อแม่) เริ่มต้นหรือกล่องสินค้าเริ่มต้นและเข้ารหัสกล่องสินค้า ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ได้อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.2.1

ขั้นตอนที่ 2.5 การไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Order Crossover (OX) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เริ่มจากจุดตัดที่ได้จากการสุ่มตาม m จำนวนช่วงของกล่องสินค้า จะได้ตำแหน่งการสุ่มของจุดตัดภายใน j ตำแหน่ง แบ่งช่วงได้ตามตารางที่ 3.2 จะแสดงเป็นเส้นประ สุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นประ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นประ) หมายเลขที่คู่กันของจุดตัดภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ตำแหน่งในหลุม (Hole) หรือตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ H นั้น ๆ แล้วทำการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน แต่โครโมโซมใหม่จะเริ่มจากจุดตัดภายใน จากนั้นจะแทนที่หลุมทั้งหมดด้วยส่วนที่ถูกแบ่งภายในจากอีกโครโมโซมกลายเป็นคำตอบสุดท้าย ซึ่งวัตถุประสงค์ของการไขว้เปลี่ยนแบบนี้ คือ การพยายามรักษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งเดิมก่อนหลังของยีนต่าง ๆ ในโครโมโซมให้มีลำดับเหมือน ๆ เดิม

ตารางที่ 3.2 การสุ่มจุดตัดภายใน

ช่วงของจำนวนกล่องสินค้า (m)	**จำนวนจุดตัดภายใน (j)**
10 - 12	2 - 4
13 - 15	2 - 6
16 - 18	2 - 7
19 - 21	2 - 8
22 - 24	2 - 10
25 - 27	2 - 11
28 - 30	2 - 13

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขั้นตอนที่ 2.6 การค้นหาคำตอบให้ดีขึ้น โดยการกลายพันธ์ (Mutation) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์จะใช้วิธี Insertion Mutation คือ การสุ่มแทรกตำแหน่งจะทำการกลายพันธ์ตาม *m* จำนวนตามช่วงของกล่องสินค้า จะได้ตำแหน่งสุ่มแทรกของการกลายพันธ์ (Insertion Mutation) *b* ตำแหน่งตามช่วงของกล่องสินค้าตามตารางที่ 3.3 โดยพิจารณาการจัดเรียงจากกล่องใหญ่ไปกล่องเล็กจะทำการคัดเลือกฮิวริสติกส์ก่อนแล้วจึงทำการสุ่มแทรกตำแหน่ง จะใช้การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ตามที่ได้กล่าวไว้ในขั้นตอนที่ 2.3 มาช่วยในการพิจารณา และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.3.2 มาช่วยในการพิจารณา ซึ่งความหมายของการแทนที่ฮิวริสติกส์ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.3 แสดงการแบ่งช่วงจำนวนกล่องและการกลายพันธ์

ช่วงของจำนวนกล่องสินค้า (*m*)	**ช่วงจำนวน Mutation (*b*)**
10 - 12	1 - 3
13 - 15	
16 - 18	1 - 5
19 - 21	
22 - 24	1 - 7
25 - 27	
28 - 30	1 - 9

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.4 การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย

การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)	**ความหมายของการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)**
Bottom-Left (BL)	ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้
Bottom-Left Fill (BLF)	ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่า แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)
Bottom-Left Fill Rotate (BLR)	ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจาก ขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบน เลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ สามารถหมุน 90 องศาได้
Bottom-Left Fill Rotate (BLFR)	ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจาก ขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบน เลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ สามารถหมุน 90 องศาได้ แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่า “แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)”

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) มีค่าหรือไม่ จะทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) = q_k - c_k - q_{kd} ถ้าหากไม่มีไปทำต่อขั้นตอนที่ 2.9 หากมีค่าความเหมาะสมให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.8 ได้อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.2.3

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบว่าค่า Fitness ได้คำตอบครบจำนวน N รอบหรือไม่ หากไม่ครบให้ไปทำต่อขั้นตอนที่ 2.11 ถ้าหากครบรอบให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.10

ขั้นตอนที่ 2.9 ทำการสุ่มโครโมโซมของพ่อหรือแม่ตั้งต้นใหม่ทำต่อขั้นตอน 2.2

ขั้นตอนที่ 2.10 ทำการจัดเรียงกล่องสินค้าลงบนรถขนส่งคันที่ k โดยเบื้องต้นได้ทำการค้นหาคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า ซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 2.3 ดังตารางที่ 3.1 และขั้นตอนที่ 2.6 ดังตารางที่ 3.4 ซึ่งนำวิธีการมารวมกัน เพื่อแบ่งลักษณะการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบเจาะจงและความหมายซึ่งในขั้นตอนที่ 2.10 นี้ จะทำการค้นหาการแทนที่ฮิวริสติกส์แบบเฉพาะเจาะจงมากขึ้น ซึ่งจะได้ลักษณะเจาะจงของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ในการจัดเรียงกล่องสินค้าลงรถขนส่ง

โดยรายละเอียดดังตารางที่ 3.5 โดยจะต้องพิจารณาการจัดเรียงกล่องสินค้าให้ลูกค้ารายเดียวกันเรียงชิดติดกันให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.12

ตารางที่ 3.5 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย

การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)	**ความหมายของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)**
First Fit Bottom-Left (FFBL)	การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) โดยเลือกพื้นที่แรกที่บรรจุได้และมีขนาดใหญ่เพียงพอกับพื้นที่ที่ต้องการบรรจุ แต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้พิจารณาพื้นที่ถัดไป และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็ก กล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้
Best Fit Bottom-Left (BFBL)	การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) โดยเลือกพื้นที่แรกที่บรรจุได้และมีขนาดใหญ่เพียงพอกับพื้นที่ที่ต้องการบรรจุ แต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้พิจารณาพื้นที่ถัดไป และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็ก กล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้
Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)	การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) เลือกพื้นที่บรรจุที่เหมาะสมที่สุด ทำการค้นหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่บรรจุว่างที่มีขนาดเท่ากันแต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ ให้ทำการพิจารณาคันถัดไปและการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ลักษณะกล่องเหมาะสมกับ การเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็ก กล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่า “แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)”

ตารางที่ 3.5 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย (ต่อ)

การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)	**ความหมายของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)**
Best Fit Bottom-Left Rotate (BFBLR)	การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) เลือกพื้นที่บรรจุที่เหมาะสมที่สุด ทำการค้นหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่บรรจุว่างที่มีขนาดเท่ากันแต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้ทำการพิจารณาคันถัดไป และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ลักษณะกล่องเหมาะสมกับ การเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบน เลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ สามารถหมุน 90 องศาได้
Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)	เลือกพื้นที่บรรจุที่เหมาะสมที่สุด ทำการค้นหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่บรรจุว่างที่มีขนาดเท่ากันแต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ ให้ทำการพิจารณาคันถัดไป และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ลักษณะกล่องเหมาะสมกับ การเรียงลำดับจาก ขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ สามารถหมุน 90 องศาได้ แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่า “แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)”

ขั้นตอนที่ 2.11 เปรียบเทียบโครโมโซมลูก 1 หรือลูก 2 ก่อนหน้ากับปัจจุบันว่าจากตารางที่ 3.6 ใช้ในการพิจารณาการเปรียบเทียบหรือการเลือกค่าการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดมากที่สุด (Max Fitness) เพื่อนำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไป แล้วทำต่อขั้นตอนที่ 2.2 ต่อไป และเพิ่มจำนวนรอบ $N = N+1$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

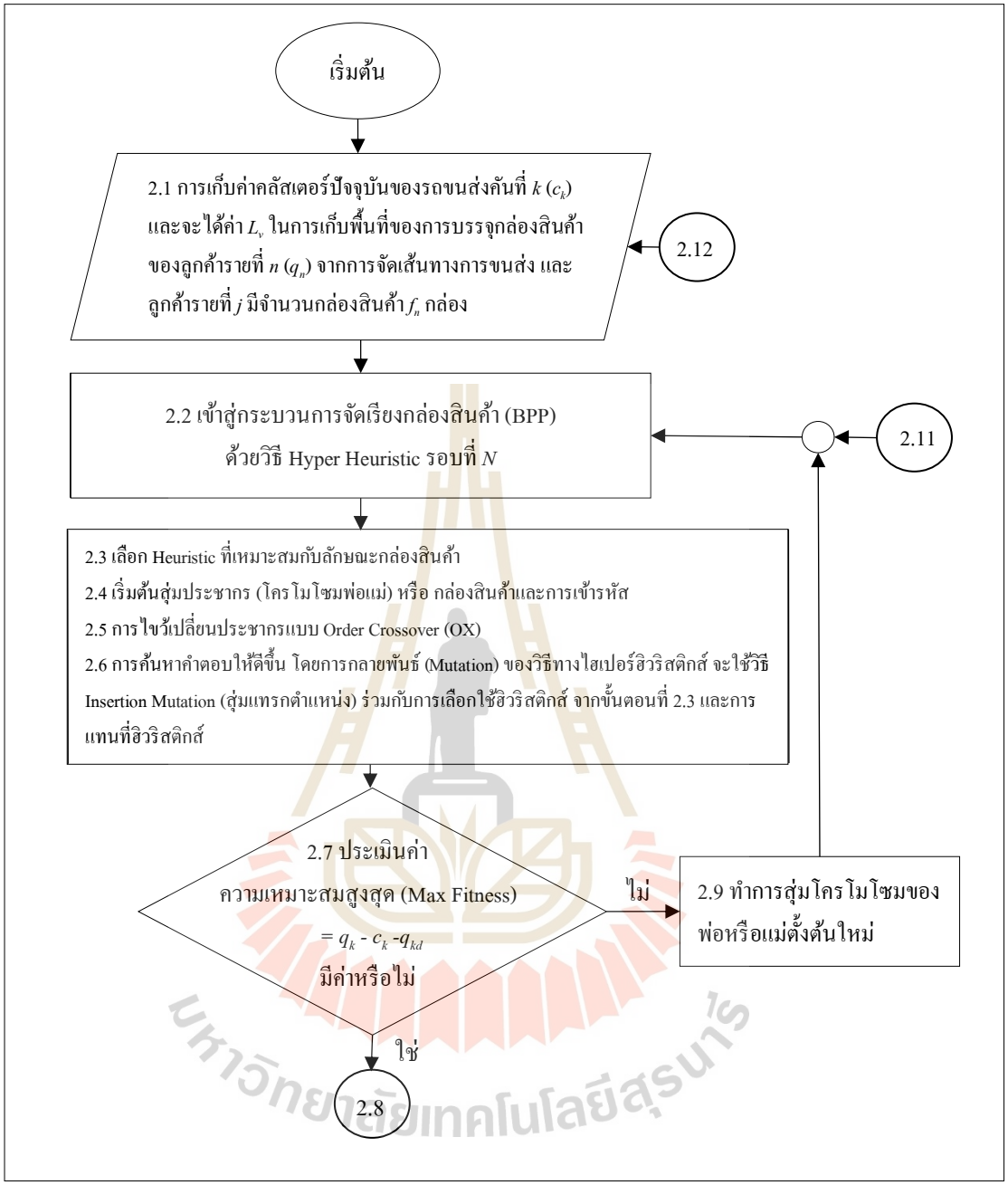
ตารางที่ 3.6 การเลือกค่าการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดมากที่สุด (Max Fitness)

กรณีที่	**ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness)**	**ตำแหน่งสุ่มแทรกของการกลายพันธ์ (Insertion Mutation)**
1	Max Fitness ไม่มีค่า	ทำการสุ่มกล่องใหม่ทั้งหมดเพื่อนำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้น
2	Max Fitness ค่าเท่ากัน	พิจารณาตำแหน่งสุ่มแทรกที่มีจำนวนครั้งที่น้อยกว่า
3	Max Fitness ค่ามาก	ไม่พิจารณา

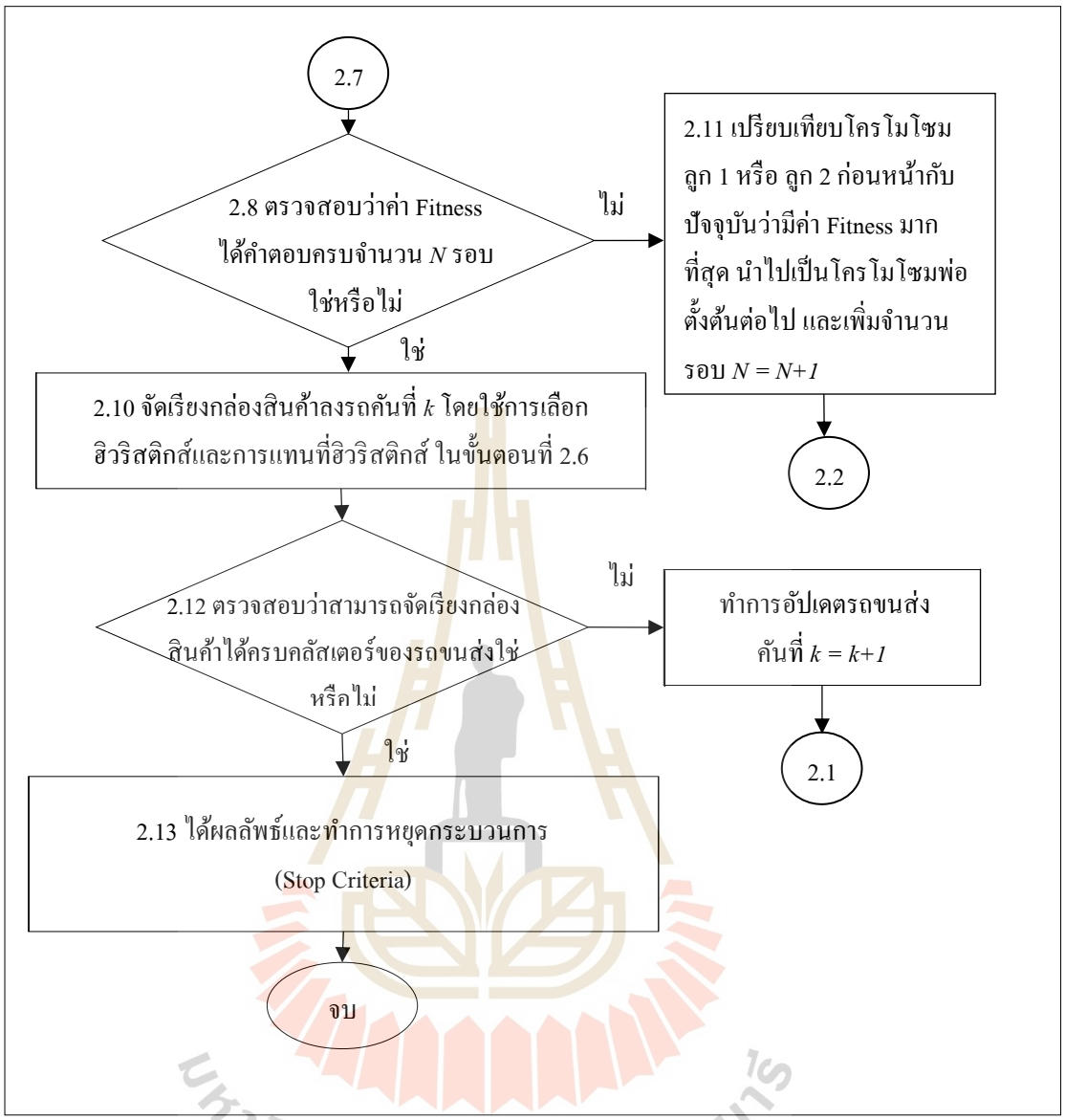
ขั้นตอนที่ 2.12 ตรวจสอบว่าสามารถจัดเรียงกล่องสินค้าได้ครบคลัสเตอร์ของรถขนส่งใช่หรือไม่ ถ้าหากไม่ใช่ให้ทำการอัปเดตรถขนส่งคันที่ $k = k+1$ และวนกลับไปทำขั้นตอนที่ 2.1 และทำการพิจารณาคลัสเตอร์ที่เหลือในมุมกวาดต่อไป ถ้าใช่ให้ทำต่อข้อ 2.13

ขั้นตอนที่ 2.13 ได้ผลลัพธ์และทำการหยุดกระบวนการ (Stop Criteria)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการจัดเรียงกล่องสินค้า



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการจัดเรียงกล่องสินค้า (ต่อ)

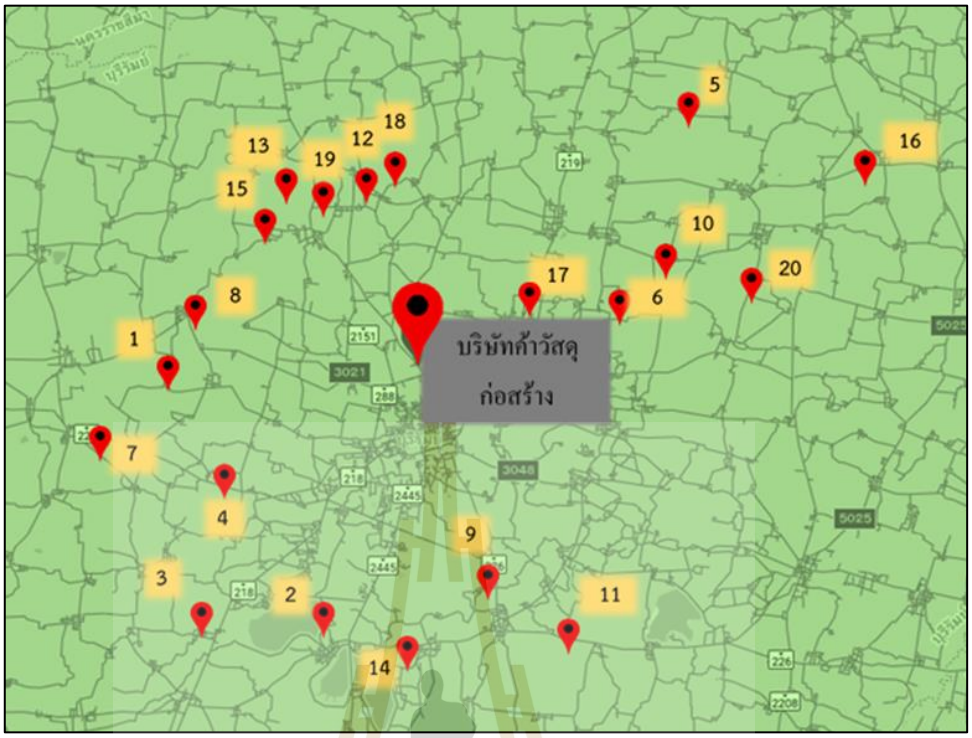
บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 บทนำ

บทนี้จะนำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP) และปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง (Bin Packing Problem : BPP) โดยปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งจะใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ร่วมกับวิธีการกวาด (The Sweep Approach) ในการแก้ปัญหา ส่วนปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งโดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการหาคำตอบเบื้องต้น เป็นวิธีที่แก้ปัญหาขนาดใหญ่ และหาผลเฉลยได้แม่นยำ ใช้แก้ปัญหาพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เป็นการช่วยหาคำตอบให้ดีขึ้นให้ผลดี และหาผลเฉลยได้รวดเร็วขึ้น

4.2 กรณีศึกษาที่ทำการวิจัย

โดยงานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งทำการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem) มีศูนย์กระจายสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) และออกจากศูนย์กระจายสินค้าพร้อมกันมากกว่า 1 คัน โดยมีรถขนส่ง 2 ประเภท คือ รถขนส่งประเภท $z = 6$ ล้อ เป็นค่าพื้นที่เหลือ 9 เปอร์เซ็นต์ โดยบรรจุสินค้าของรถขนส่ง $e = 1{,}012{,}500$ ตารางมิลลิเมตร และรถขนส่งประเภท $r = 4$ ล้อ เป็นค่าพื้นที่เหลือ 8 เปอร์เซ็นต์ โดยบรรจุสินค้าของรถขนส่ง $g = 252{,}000$ ตารางมิลลิเมตร โดยวิธีการกวาด (The Sweep Approach) ค่าคงที่ตัวแปรมุมแหลมในมุมกวาดทวนเข็มนาฬิกาที่ 30 องศา และค่าคงที่ตัวแปรมุมฉากในมุมกวาดทวนเข็มนาฬิกา 90 องศา ซึ่งข้อมูลของรถขนส่งตามตารางที่ 4.1 มีลูกค้าจำนวน 20 ราย ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร (จากกรมทางหลวง) และข้อมูลของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ดังตารางที่ 4.3 และในส่วนที่สอง คือ ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้าจะจัดเรียงรูปแบบสองมิติ (2D) มีประเภทกล่องสินค้า 2 ประเภท กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะหมุน 90 องศาได้ ซึ่งประเภทข้อมูลของกล่องสินค้าในรูปแบบต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.5 แสดงการจัดเรียงกล่องของลูกค้าลงรถขนส่งคันที่ 1



รูปที่ 4.1 เส้นทางการขนส่งของลูกค้าแต่ละราย

ตารางที่ 4.1 ประเภทและขนาดของรถขนส่ง

ข้อมูล / ประเภทรถขนส่ง	จำนวน (คัน)	ขนาดรถขนส่ง (ตร.มม.)		พื้นที่รถขนส่ง (ตร.มม.)
		กว้าง (มม.)	ยาว (มม.)	
รถ 4 ล้อ	4	1,500	2,100	3,150,000
รถ 6 ล้อ	3	2,500	4,500	11,250,000

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

ลูกค้ารายที่ (s_n)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0.00	18.86	32.78	35.07	19.17	27.54	16.49	21.66	12.96	26.63	18.51	49.05	11.84	15.42	30.14	10.68	37.04	6.48	9.35	14.22	24.39
1	18.86	0.00	13.92	16.22	0.315	8.69	6.775	4.32	5.69	7.77	0.345	30.2	7.02	13.31	21.24	12.53	18.18	11.7	2.41	4.635	5.54
2	32.78	13.92	0.00	12.03	17.18	24.08	11.06	3.62	11.43	1.26	2.46	2.28	5.60	5.90	8.70	6.21	22.11	19.82	13.75	21.55	36.09
3	35.07	16.22	12.03	0.00	11.63	18.53	8.51	9.17	5.88	4.29	3.09	7.83	12.03	0.35	3.15	0.66	16.56	14.27	5.09	12.48	30.54
4	19.17	0.315	17.18	11.63	0.00	6.90	16.63	2.37	5.75	15.92	6.40	8.41	11.58	11.28	8.47	10.97	4.66	2.64	18.30	3.51	18.92
5	27.54	8.69	24.08	18.53	6.90	0.00	9.50	13.32	6.17	7.44	6.24	10.98	3.10	2.81	17.82	2.49	13.41	11.12	9.83	4.97	27.39
6	16.49	6.775	11.06	8.51	16.63	9.50	0.00	18.86	3.15	13.32	12.12	16.86	11.06	8.69	5.88	8.37	7.53	5.24	10.99	10.77	21.51
7	21.66	4.32	3.62	9.17	2.37	13.32	18.86	0.00	15.05	4.88	4.05	5.71	9.22	9.51	12.32	9.83	2.41	23.43	2.49	17.28	39.71
8	12.96	5.69	11.43	5.88	5.75	6.17	3.15	15.05	0.00	10.17	8.97	13.71	5.83	5.54	22.36	5.22	10.68	16.65	12.56	2.24	24.66
9	26.63	7.77	1.26	4.29	15.92	7.44	13.32	4.88	10.17	0.00	1.20	3.54	4.34	4.64	7.44	10.15	20.85	9.10	2.39	12.41	12.79
10	18.51	0.345	2.46	3.09	6.40	6.24	12.12	4.05	8.97	1.20	0.00	2.92	3.14	3.44	6.24	3.75	1.9	17.36	3.59	11.21	33.63
11	49.05	30.2	2.28	7.83	8.41	10.98	16.86	5.71	13.71	3.54	2.92	0.00	7.88	8.18	10.98	8.49	3.86	22.1	1.16	15.95	38.37
12	11.84	7.02	5.60	12.03	11.58	3.10	11.06	9.22	5.83	4.34	3.14	7.88	0.00	12.38	15.18	12.69	28.59	26.3	5.36	20.15	42.57
13	15.42	13.31	5.90	0.35	11.28	2.81	8.69	9.51	5.54	4.64	3.44	8.18	12.38	0.00	2.81	2.31	16.23	13.92	7.02	7.77	4.32
14	30.14	21.24	8.70	3.15	8.47	17.82	5.88	12.32	22.36	7.44	6.24	10.98	15.18	2.81	0.00	17.87	1.97	4.26	25.20	10.41	12.02
15	10.68	12.53	6.21	0.66	10.97	2.49	8.37	9.83	5.22	10.15	3.75	8.49	12.69	2.31	17.87	0.00	15.90	11.61	7.34	7.46	10.88
16	37.04	18.18	22.11	16.56	4.66	13.41	7.53	2.41	10.68	20.85	1.9	3.86	28.59	16.23	1.97	15.90	0.00	2.29	23.24	8.45	13.98
17	6.48	11.7	19.82	14.27	2.64	11.12	5.24	23.43	16.65	9.10	17.36	22.1	26.3	13.92	4.26	11.61	2.29	0.00	20.94	6.15	17.57
18	9.35	2.41	13.75	5.09	18.30	9.83	10.99	2.49	12.56	2.39	3.59	1.16	5.36	7.02	25.20	7.34	23.24	20.94	0.00	9.76	37.22
19	14.22	4.635	21.55	12.48	3.51	4.97	10.77	17.28	2.24	12.41	11.21	15.95	20.15	7.77	10.41	7.46	8.45	6.15	9.76	0.00	22.43
20	24.39	5.54	36.09	30.54	18.92	27.39	21.51	39.71	24.66	12.79	33.63	38.37	42.57	4.32	12.02	10.88	13.98	17.57	37.22	22.43	0.00

ตารางที่ 4.3 ประเภทข้อมูลของกล่องสินค้า

ประเภทกล่องสินค้า	**สี่เหลี่ยมจัตุรัส**		**สี่เหลี่ยมผืนผ้า**	
	เล็ก	**ใหญ่**	**กลาง**	
สัญลักษณ์	A	C	B	D
ขนาดกล่องสินค้า (ตร.มม.)	300 × 300	900 × 900	500 × 600	600 × 500

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลปริมาณสินค้าที่ลูกค้าสั่งซื้อ

ลำดับลูกค้า(n)	**ปริมาณสินค้าที่ลูกค้าสั่งซื้อ**				**จำนวนกล่องสินค้า(กล่อง)**	**พื้นที่ของกล่องสินค้า (q_n) (ตร.มม.)**
	กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส		**กล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า**			
	A	**C**	**B**	**D**		
1	0	0	0	1	1	300,000
2	0	1	0	0	1	810,000
3	0	2	0	1	3	1,920,000
4	0	0	0	1	1	300,000
5	0	5	0	0	5	3,330,000
6	4	1	0	1	6	1,530,000
7	2	0	0	1	3	480,000
8	3	2	0	0	5	1,080,000
9	0	3	0	0	3	2,430,000
10	2	0	0	2	4	4,050,000
11	0	1	0	0	1	810,000
12	6	0	2	2	10	1,740,000
13	4	0	0	0	4	360,000
14	0	2	0	0	2	1,620,000
15	2	0	0	3	5	1,890,000
16	0	3	1	2	6	870,000
17	8	1	0	0	9	1,470,000
18	4	1	0	0	5	1,170,000
19	6	0	0	0	6	540,000
20	3	0	1	1	5	780,000
รวม	44	22	4	15	85	27,480,000

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

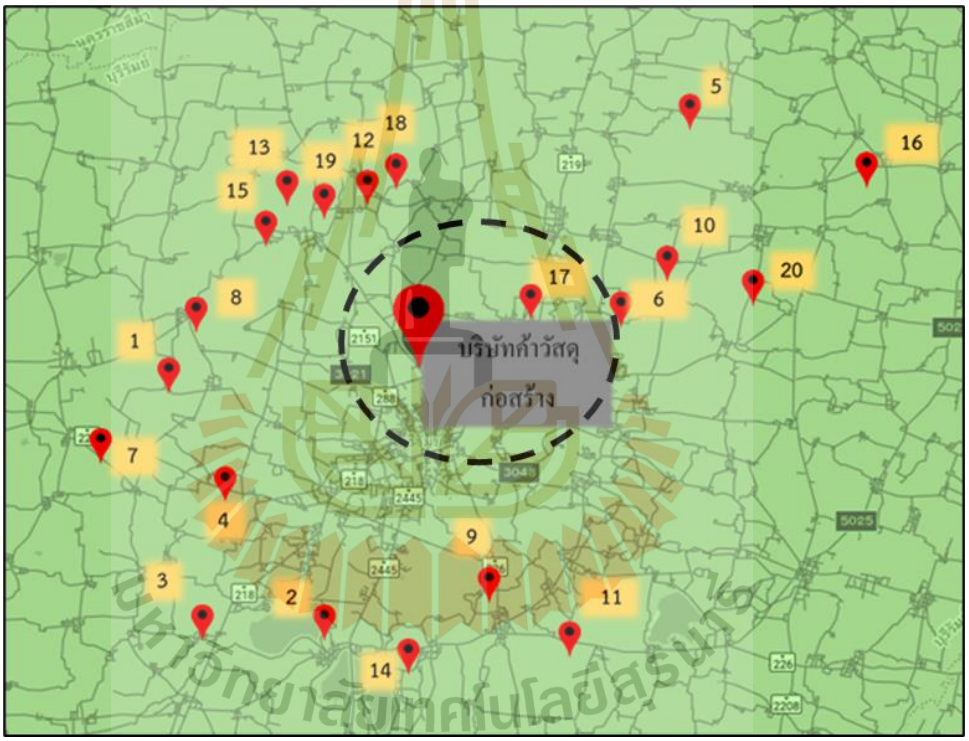
4.3 ผลการวิจัย

4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่ง

การจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP) นั้นทำตามขั้นตอนกระบวนการหัวข้อที่ 3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การจัดเส้นทางขนส่ง ดังนี้

4.3.1.1 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 1

ขั้นตอนที่ 1.1 เริ่มต้นกำหนดรถขนส่งคันที่ $k = 1$ มีพื้นที่รถขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.1 ข้างต้น และกำหนดจุดส่งศูนย์กระจายสินค้า (s_0) เป็นจุดเริ่มต้นและจุดหมุนดังรูปที่ 4.2

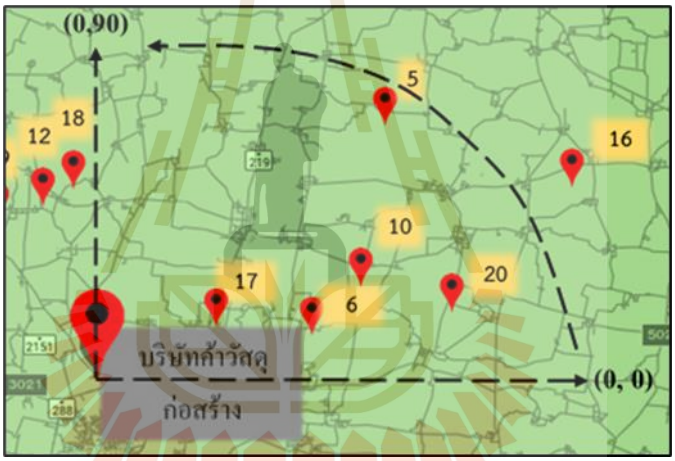


รูปที่ 4.2 กำหนดศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดเริ่มต้นและจุดหมุนของรถคันที่ 1

ขั้นตอนที่ 1.2 ทำการแบ่งกลุ่มจุดขนส่งสินค้าโดยใช้วิธีการกวาด (Sweep Approach) หาจำนวนเส้นทางหรือจำนวนลูกค้าโดยการแบ่งกลุ่มรับผิดชอบ โดยจะต้องมีจุดอ้างอิง เป็นศูนย์กระจายสินค้า แล้วกำหนดทิศทางการหมุน ด้วยเส้นสมมุติในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาโดยองศาการหมุน 90 องศาถัดไปตามเงื่อนไขที่ถูกกำหนด ทำการแบ่งกลุ่มคลัสเตอร์ของรถขนส่งคันที่ 1 (c_1) ในมุมกวาด โดยทำการเก็บค่าโดยให้ L_v เก็บพื้นที่ของการบรรจุกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ n (q_n) ซึ่งจะมีลูกค้ารายที่ 5, 6, 10, 16, 17 และ 20 อยู่ในมุมกวาด 90 องศา ให้ ให้ L_1 เก็บ

ค่าลูกค้ารายที่ 5 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_5 = 3{,}330{,}000$ ตารางมิลลิเมตร ให้ L_2 เก็บ
ค่าลูกค้ารายที่ 6 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_6 = 1{,}530{,}000$ ตารางมิลลิเมตร ให้ L_3 เก็บ
ค่าลูกค้ารายที่ 10 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_{10} = 4{,}050{,}000$ ตารางมิลลิเมตร ให้ L_4 เก็บ
ค่าลูกค้ารายที่ 16 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_{16} = 870{,}000$ ตารางมิลลิเมตร ให้ L_5 เก็บ
ค่าลูกค้ารายที่ 17 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_{17} = 1{,}470{,}000$ ตารางมิลลิเมตร ให้ L_6 เก็บ
ค่าลูกค้ารายที่ 20 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_{20} = 780{,}000$ ตารางมิลลิเมตร
โดยการแบ่งกลุ่มคลัสเตอร์ของรถขนส่งสินค้าใช้วิธีการกวาด (Sweep Approach) โดยการกวาดจะมีจุดหมุนคือ s_0 ในการแบ่งกลุ่ม

ขั้นตอนที่ 1.3 ทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าจากจุด (s_0) เป็นมุมกวาด 0 ถึง 90 องศาถัดไปทิศทวนเข็มนาฬิกา ดังรูปที่ 4.3 จะมีลูกค้ารายที่ 5, 6, 10, 16, 17 และ 20



รูปที่ 4.3 แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 90 องศาของรถคันที่ 1

ขั้นตอนที่ 1.4 ค้นหาระยะทางของลำดับลูกค้าถัดไปที่มีระยะทางขนส่งใกล้จุดเริ่มต้นศูนย์กระจายสินค้ามากที่สุดด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) พบว่า ลูกค้ารายที่ 17 มีระยะทาง ($s_{n=17}$) ใกล้กับศูนย์กระจายสินค้ามากที่สุด 6.48 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า ($f_{n=17}$) = 9 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า ($q_{n=17}$) = 1,470,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น

ขั้นตอนที่ 1.5 ทำการตรวจสอบค่าความสามารถพื้นที่บรรจุของลำดับลูกค้าคนที่ $n = 17$ น้อยกว่ารถขนส่งคันที่ $k = 1$ พบว่าค่าของ $q_{n=17} = 1{,}470{,}000 < q_{k=1} = 3{,}150{,}000$ ตารางมิลลิเมตร

จะเห็นได้ว่า พื้นที่กล่องสินค้าของลูกค้าน้อยกว่าพื้นที่รถขนส่ง (ไม่เกินพื้นที่บรรจุรถขนส่ง) จึงสามารถบรรจุลงรถขนส่งได้

ขั้นตอนที่ 1.6 ทำการอัปเดตค่า $q_{k=1}$ ปัจจุบัน โดยที่ $q_k = q_k - q_n$ จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 1$;

$$q_{k=1} = q_{k=1} - q_{n=17}$$
$$= 3,150,000 - 1,470,000$$
$$= 1,680,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

จะเห็นได้ว่า พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 1$ เหลือพื้นที่ว่างใช้ประโยชน์ 1,680,000 ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.7 ทำการตรวจสอบ 2 เงื่อนไขพบว่ายังมีลูกค้าในมุมกวาด 90 องศา และพบว่าค่าของ $q_{k=1} = 1,680,000 > g = 252,000$ ตารางมิลลิเมตร หมายถึง พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ของค่าคงที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดของรถขนส่ง 4 ล้อ ดังนั้นเงื่อนไขทั้งสองเป็นจริงจึงทำต่อขั้นตอน 1.8 ถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.8 ค้นหาระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลำดับลูกค้า $s_{n=17}$ ถัดไป ทำการตรวจลูกค้าถัดไปที่อยู่ในมุมกวาด 90 องศา ได้แก่ 5, 6, 10, 16 และ 20 ที่ใกล้กับระยะทางของลูกค้ารายที่ 17 ด้วยวิธีค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 17

ระยะทางลูกค้ารายที่ 17 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=17} - s_n$)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=17} - s_{n=5}$	21.55
$s_{n=17} - s_{n=6}$	5.60
$s_{n=17} - s_{n=10}$	11.06
$s_{n=17} - s_{n=16}$	13.75
$s_{n=17} - s_{n=20}$	12.03

จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 6 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 17 มากที่สุด มีกล่องสินค้า 6 กล่อง ซึ่งมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,530,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น

ขั้นตอนที่ 1.9 ทำการตรวจสอบค่าความสามารถพื้นที่บรรจุของลำดับลูกค้าคนที่ $n = 6$ มากกว่ารถขนส่งคันที่ $k = 1$ พบว่าค่าของ $q_{n=6} = 1,530,000 < q_{k=1} = 1,680,000$

ตารางมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า พื้นที่กล่องสินค้าของลูกค้าน้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งจึงสามารถบรรจุลงรถขนส่งได้ (ไม่เกินพื้นที่บรรจุรถขนส่ง) ดังนั้นจึงวนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1.6

ขั้นตอนที่ 1.6 ทำการอัปเดตค่า $q_{k=1}$ จุบัน โดยที่ $q_k = q_k - q_n$ จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 1$;

$$q_{k=1} = q_{k=1} - q_{n=6}$$
$$= 1{,}680{,}000 - 1{,}530{,}000$$
$$= 150{,}000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

จะเห็นได้ว่า พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 1$ เหลือพื้นที่ว่างใช้ประโยชน์ 150,000 ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.7 ทำการตรวจสอบ 2 เงื่อนไขพบว่ายังมีลูกค้าในมุมกวาด 90 องศา และพบว่าค่าของ $q_{k=1} = 150{,}000 < g = 252{,}000$ ตารางมิลลิเมตร หมายถึง พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 มีพื้นที่น้อยกว่าพื้นที่ของค่าคงที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดของรถขนส่ง 4 ล้อ (ไม่เกินพื้นที่ที่กำหนดไว้) ดังนั้นเงื่อนไขที่สองเป็นเท็จ จึงทำต่อขั้นตอน 1.10

ขั้นตอนที่ 1.10 ทำการตรวจสอบพบว่า มีลูกค้าที่เหลือ 4 ราย ได้แก่ลูกค้ารายที่ 5, 10, 16 และ20 จึงไม่ใช่ลูกค้าคนสุดท้ายในมุมกวาด 90 องศา จึงทำต่อขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.12 ทำการอัปเดตค่า $q_{k=1}$ ปัจจุบัน โดยที่ $q_{k=1} = q_{k=1} - q_{n=6}$ จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 1$ คือ $q_{k=1} = 150{,}000$ จะเห็นได้ว่า พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 1$ เหลือพื้นที่ว่างใช้ประโยชน์ 150,000 ตารางมิลลิเมตร และผลรวมของระยะทางจากคลังสินค้าถึงลูกค้าแต่ละรายในรถขนส่งคันที่ 1 ($s_{k=1}$) คือ 28.57 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 1.13 อัปเดตกลุ่มจุดขนส่งสินค้า หรือเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถคันที่ $k = 1$ โดยเรียงลูกค้าที่ถูกส่งก่อนไปยังลูกค้ารายสุดท้ายตามลำดับ จะได้เส้นทางขนส่งสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 คือ 0-17-6-0 หรือ s_0 - s_{17} -s_6 -s_0 ได้ระยะทางรวม คือ $s_0 + s_{17} + s_6 + s_0$ เท่ากับ $[(s_0 \rightarrow s_{17}) + (s_{17} \rightarrow s_6) + (s_6 \rightarrow s_0)]$ เพราะฉะนั้น ระยะทางรวมของรถขนส่งคันที่ 1 ($s_{k=1}$) เท่ากับ 6.48 + 5.60 + 16.49 คือ 28.57 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร คือ ระยะทางรวมของรถขนส่งคันที่ 1 คือ 28.57 กิโลเมตร คูณลิตรละ 4 บาท จะได้ 114 บาท เป็นต้นทุนการขนส่งสินค้า และทำการเก็บค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 1 (c_1) และจะได้ค่า L_2 เก็บค่าลูกค้ารายที่ 6 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_6 = 1{,}530{,}000$ ตารางมิลลิเมตร ให้ L_5 เก็บค่าลูกค้ารายที่ 17 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_{17} = 1{,}470{,}000$ ตารางมิลลิเมตร จะได้พื้นที่บรรจุกล่องสินค้ารวมทั้งหมด 1,470,000 + 1,530,000 เท่ากับ 3,000,000 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้น ค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 1 (c_1) คือ 3,000,000 ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.14 อัปเดตรถขนส่งคันถัดไป $k = 1 + 1 = 2$ และพื้นที่รถขนส่งของรถคันที่ $k = 2$ โดย q_k = 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร จะขึ้นรถขนส่งคันใหม่ คือ คันที่ 2

ขั้นตอนที่ 1.15 จากการตรวจสอบยังเหลือลูกค้าที่ยังไม่จัดเส้นทางการขนส่งครบในมุมกวาด 90 องศา ดังนั้น ให้วนทำซ้ำขั้นตอนที่ 1.4 ที่ผ่านมา

ตารางที่ 4.6 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 1

ลำดับลูกค้า (n)	รถขนส่งคันที่ k	การจัดเส้นทางการขนส่ง	รวมระยะทางลูกค้าไปกลับ (กิโลเมตร)	พื้นที่ของกล่องสินค้า q_n (ตร.มม.)	พื้นที่รวมแต่ละคัน (ตร.มม.)
17	1	0-17-6-0	28.57	1,470,000	3,000,000
6				1,530,000	

4.3.1.2 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 2

จากข้างต้น ในมุมกวาด 0 ถึง 90 องศา ดังรูปที่ 4.3 ยังเหลือลูกค้า ได้แก่ รายที่ 5, 10, 16 และ 20 ซึ่งจะทำการค้นหาเส้นทางใหม่ โดยเปลี่ยนรถคันใหม่ขึ้นรถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่รถขนส่งของรถคันที่ $k = 2$ โดย q_k = 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร จะพิจารณาลูกค้าที่อยู่ในเฉพาะมุมกวาดและลูกค้าที่ถูกจัดขึ้นรถขนส่งแล้วจะไม่พิจารณา โดยทำตามกระบวนการดังขั้นตอนที่ 1.4

ขั้นตอนที่ 1.4 ค้นหาระยะทางขนส่งสินค้าลำดับลูกค้าที่ n (s_n) ด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ที่มีระยะทางใกล้จุดเริ่มต้นศูนย์กระจายสินค้ามากที่สุด เพื่อทำการค้นหาจุดสินค้าหรือค้นหาเส้นทางการขนส่งที่อยู่ใกล้มากที่สุด เป็นเส้นทางหลัก จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 10 มีระยะทาง ($s_{n=10}$) ใกล้กับศูนย์กระจายสินค้ามากที่สุด 18.51 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า ($f_{n=10}$) = 4 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า ($q_{n=10}$) = 4,050,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น

ขั้นตอนที่ 1.5 ทำการตรวจสอบค่าความสามารถพื้นที่บรรจุของลำดับลูกค้าคนที่ $n = 10$ น้อยกว่ารถขนส่งคันที่ $k = 1$ พบว่าค่าของ $q_{n=10} = 4{,}050{,}000 < q_{k=2} = 11{,}250{,}000$ ตารางมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า พื้นที่กล่องสินค้าของลูกค้าน้อยกว่าพื้นที่รถขนส่ง (ไม่เกินพื้นที่บรรจุรถขนส่ง) จึงสามารถบรรจุลงรถขนส่งได้

ขั้นตอนที่ 1.6 ทำการอัปเดตค่า $q_{k=1}$ ปัจจุบัน โดยที่ $q_k = q_k - q_n$ จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 2$;

$$q_{k=2} = q_{k=2} - q_{n=10}$$

= 11,250,000 - 4,050,000

= 7,200,000 ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.7 ทำการตรวจสอบ 2 เงื่อนไขพบว่ายังมีลูกค้าในมุมกวาด 90 องศา และพบว่าค่าของ $q_{k=2}$ = 7,200,000 > e = 1,012,500 ตารางมิลลิเมตร หมายถึง พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ของค่าคงที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดของรถขนส่ง 6 ล้อ ดังนั้นเงื่อนไขทั้งสองเป็นจริงจึงทำต่อขั้นตอน 1.8 ถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.8 ค้นหาระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลำดับลูกค้า $s_{n=10}$ ถัดไป ทำการตรวจลูกค้าถัดไปที่อยู่ในมุมกวาด 90 องศา ได้แก่ 5, 16 และ 20 ที่ใกล้กับระยะทางของลูกค้ารายที่ 17 ด้วยวิธีค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 10

ระยะทางลูกค้ารายที่ 10 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=10}$ - s_n)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=10}$ - $s_{n=5}$	12.48
$s_{n=10}$ - $s_{n=16}$	8.51
$s_{n=10}$ - $s_{n=20}$	5.09

จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 20 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 10 มากที่สุด มีกล่องสินค้า 5 กล่อง ซึ่งมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 780,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น

ขั้นตอนที่ 1.9 ทำการตรวจสอบค่าความสามารถพื้นที่บรรจุของลำดับลูกค้าคนที่ n = 20 มากกว่ารถขนส่งคันที่ k = 2 พบว่าค่าของ $q_{n=20}$ = 780,000 < $q_{k=20}$ = 7,200,000 ตารางมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า พื้นที่กล่องสินค้าของลูกค้าน้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งจึงสามารถบรรจุลงรถขนส่งได้ (ไม่เกินพื้นที่บรรจุรถขนส่ง) ดังนั้นจึงวนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1.6

ขั้นตอนที่ 1.6 ทำการอัปเดตค่า $q_{k=20}$ ปัจจุบัน โดยที่ $q_k = q_k - q_n$ จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ k = 2 ;

$q_{k=2}$ = $q_{k=2}$ - $q_{n=20}$

= 7,200,000 - 780,000

= 6,420,000 ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.7 ทำการตรวจสอบ 2 เงื่อนไขพบว่ายังมีลูกค้าในมุมกวาด 90 องศา และพบว่าค่าของ q_k = 7,200,000 > e = 1,012,500 ตารางมิลลิเมตร หมายถึง พื้นที่บรรจุ

สินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ของค่าคงที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดของรถขนส่ง 6 ล้อ ดังนั้นเงื่อนไขทั้งสองเป็นจริงจึงทำต่อขั้นตอน 1.8 ถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.8 ค้นหาระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลำดับลูกค้า $s_{n=20}$ ถัดไป ทำการตรวจลูกค้าถัดไปที่อยู่ในมุมกวาด 90 องศา ได้แก่ 5 และ 16 ที่ใกล้กับระยะทางของลูกค้ารายที่ 20 ด้วยวิธีค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 20

ระยะทางลูกค้ารายที่ 20 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=20} - s_n$)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=20} - s_{n=5}$	10.95
$s_{n=20} - s_{n=16}$	9.76

จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 16 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 20 มากที่สุด มีกล่องสินค้า 6 กล่อง ซึ่งมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 870,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น

ขั้นตอนที่ 1.9 ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลำดับลูกค้ากับรถขนส่งคันที่ $k = 2$ ว่าพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลำดับลูกค้าคนที่ $n = 16$ ($q_{n=16}$) > พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 2$ ($q_{k=2}$) ใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 1.6 ถ้าหากไม่ใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.10 ดังนั้นค่า ($q_{n=16} = 870,000 < q_{k=2} = 6,420,000$ ตารางมิลลิเมตร) จึงวนกลับทำขั้นตอนที่ 1.6

ขั้นตอนที่ 1.6 ทำการอัปเดตค่า $q_{k=2}$ ปัจจุบัน โดยที่ $q_k = q_k - q_n$ จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 2$;

$$q_{k=2} = q_{k=2} - q_{n=16}$$
$$= 6,420,000 - 870,000$$
$$= 5,550,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

ขั้นตอนที่ 1.7 ทำการตรวจสอบ 2 เงื่อนไขพบว่ายังมีลูกค้าในมุมกวาด 90 องศา และพบว่าค่าของ $q_{k=2} = 5,550,000 > e = 1,012,500$ ตารางมิลลิเมตร หมายถึง พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ของค่าคงที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดของรถขนส่ง 6 ล้อ ดังนั้นเงื่อนไขทั้งสองเป็นจริงจึงทำต่อขั้นตอน 1.8 ถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.8 ค้นหาระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลำดับลูกค้า $s_{n=5}$ ถัดไป ทำการตรวจลูกค้าถัดไปที่อยู่ในมุมกวาด 90 องศา ได้แก่ลูกค้ารายที่ 5 ที่ใกล้กับระยะทางของลูกค้ารายที่ 16 ด้วยวิธีค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 16

ระยะทางลูกค้ารายที่ 16 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=16} - s_n$)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=16} - s_{n=5}$	10.77

จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 5 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 16 มากที่สุด มีกล่องสินค้า 5 กล่อง ซึ่งมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 3,330,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น

ขั้นตอนที่ 1.9 ทำการตรวจสอบค่าความสามารถพื้นที่บรรจุของลำดับลูกค้าคนที่ $n = 5$ มากกว่ารถขนส่งคันที่ $k = 2$ พบว่าค่าของ $q_{n=5} = 3,330,000 < q_{k=2} = 5,550,000$ ตารางมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า พื้นที่กล่องสินค้าของลูกค้าน้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งจึงสามารถบรรจุลงรถขนส่งได้ (ไม่เกินพื้นที่บรรจุรถขนส่ง) ดังนั้นจึงวนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1.6

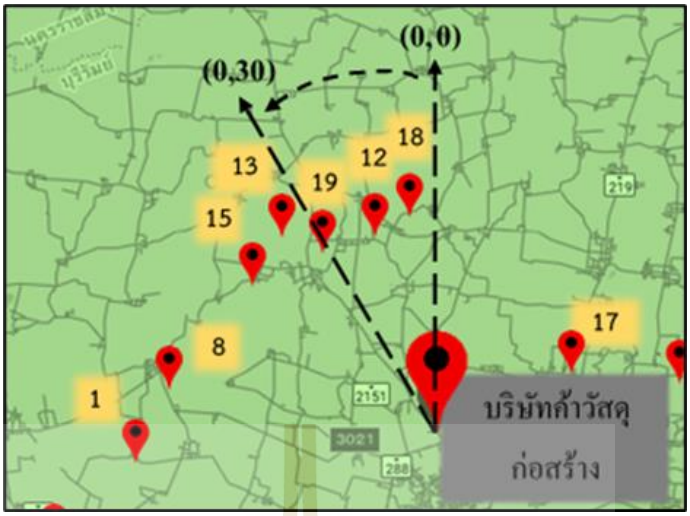
ขั้นตอนที่ 1.6 ทำการอัปเดตค่า $q_{k=2}$ ปัจจุบัน โดยที่ $q_k = q_k - q_n$ จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 2$;

$$q_{k=2} = q_{k=2} - q_{n=5}$$
$$= 5,550,000 - 3,330,000$$
$$= 2,220,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

ขั้นตอนที่ 1.7 ทำการตรวจสอบ 2 เงื่อนไขพบว่าไม่มีลูกค้าในมุมกวาด 90 องศา และพบว่าค่าของ $q_{k=2} = 2,220,000 > e = 1,012,500$ ตารางมิลลิเมตร หมายถึง พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ของค่าคงที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดของรถขนส่ง 6 ล้อ ดังนั้นเงื่อนไขแรกเป็นเท็จ จึงทำต่อขั้นตอน 1.10 ถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.10 ทำการตรวจสอบพบว่า ลูกค้ารายที่ 5 เป็นลูกค้าคนสุดท้ายในมุมกวาด 90 องศา จึงทำต่อขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.11 แบ่งกลุ่มลูกค้าจากจุดมุมกวาดสุดท้ายให้กวาดมุมเพิ่ม $w = 30$ องศาถัดไป



รูปที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 30 องศาของรถคันที่ 2

ขั้นตอนที่ 1.11.1 ค้นหาระยะทางขนส่งสินค้าลำดับลูกค้าที่ n (s_n) ถัดไปที่มีระยะทางใกล้กับลูกค้าคนที่ 5 มากที่สุด ด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 18 มีระยะทาง ($s_{n=18}$) ใกล้กับลูกค้าคนที่ 5 มากที่สุด 16.63 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.10 ข้างต้น มีกล่องสินค้า $f = 5$ กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า (q_n) = 1,170,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor)

ตารางที่ 4.10 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 5

ระยะทางลูกค้ารายที่ 5 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=5} - s_n$)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=5} - s_{n=12}$	18.86
$s_{n=5} - s_{n=18}$	16.63

ขั้นตอนที่ 1.11.2 ทำการตรวจสอบค่าความสามารถพื้นที่บรรจุของลำดับลูกค้าคนที่ $n = 18$ น้อยกว่ารถขนส่งคันที่ $k = 2$ พบว่าค่าของ $q_{n=18} = 1,170,000 < q_{k=2} = 2,220,000$ ตารางมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า พื้นที่กล่องสินค้าของลูกค้าน้อยกว่าพื้นที่รถขนส่ง (ไม่เกินพื้นที่บรรจุรถขนส่ง) จึงสามารถบรรจุลงรถขนส่งได้

ขั้นตอนที่ 1.11.3 ให้ทำการอัปเดตค่าปัจจุบัน โดยที่ $q_k = q_k - q_n$ จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ k =2 ;

$q_{k=2}$ $= q_{k=2} - q_{n=18}$

$= 2{,}220{,}000 - 1{,}170{,}000$

$= 1{,}050{,}000$ ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.11.4 ทำการตรวจสอบ 2 เงื่อนไขพบว่ายังมีลูกค้าในมุมกวาด 90 องศา และพบว่าค่าของ $q_{k=2} = 1{,}050{,}000 > e = 1{,}012{,}500$ ตารางมิลลิเมตร หมายถึง พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ของค่าคงที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดของรถขนส่ง 6 ล้อ ดังนั้นเงื่อนไขทั้งสองเป็นจริง จึงทำต่อขั้นตอน 1.11.5 ถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.11.5 ค้นหาระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลำดับลูกค้า $s_{n=18}$ ถัดไป ทำการตรวจลูกค้าถัดไปที่อยู่ในมุมกวาด 30 องศา คือ ลูกค้ารายที่ 12 ที่ใกล้กับระยะทางของลูกค้ารายที่ 18 ด้วยวิธีค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงของลูกค้ารายที่ 18

ระยะทางลูกค้ารายที่ 18 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป $(s_{n=18} - s_n)$	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=18} - s_{n=12}$	2.34

ขั้นตอนที่ 1.11.6 ทำการตรวจสอบค่าความสามารถพื้นที่บรรจุของลำดับลูกค้าคนที่ $n = 12$ น้อยกว่ารถขนส่งคันที่ $k = 2$ พบว่าค่าของ $q_{n=12} = 1{,}740{,}000 > q_{k=2} = 1{,}050{,}000$ ตารางมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า พื้นที่กล่องสินค้าของลูกค้ามากกว่าพื้นที่รถขนส่ง (เกินพื้นที่บรรจุรถขนส่ง) จึงไม่สามารถบรรจุลงรถขนส่งได้

ขั้นตอนที่ 1.11.7 ทำการตรวจสอบพบว่า ลูกค้ารายที่ 12 เป็นลูกค้าคนสุดท้ายในมุมกวาด 30 องศา จึงทำต่อขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.11.8 ทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าจากจุด (s_0) เป็นมุมกวาด 90 องศา ถัดไป ทิศทวนเข็มนาฬิกา แล้วทำต่อขั้นตอนที่ 1.12

ขั้นตอนที่ 1.12 ทำการอัปเดตค่า q_k ปัจจุบัน โดยที่ $q_k = q_k - q_n$ จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ $k = 2$;

$q_{k=2}$ $= q_{k=2} - q_{n=2}$

$= 1{,}050{,}000 - 1{,}740{,}000$

$= -690{,}000$ ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.13 อัปเดตกลุ่มจุดขนส่งสินค้า หรือเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถคันที่ $k = 1$ โดยเรียงลูกค้าที่ถูกส่งก่อนไปยังลูกค้ารายสุดท้ายตามลำดับ จะได้เส้นทางขนส่ง

สินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 คือ 0-10-20-16-5-18-0 หรือ s_0-s_{10}-s_{20}-s_{16}-s_5-s_{18}-s_0 ได้ระยะทางรวม คือ $s_0 + s_{10} + s_{20} + s_{16} + s_5 + s_{18} + s_0$ เท่ากับ $[(s_0 \rightarrow s_{10}) + (s_{10} \rightarrow s_{20}) + (s_{20} \rightarrow s_{16}) + (s_{16} \rightarrow s_5) + (s_5 \rightarrow s_{18}) + (s_5 \rightarrow s_0)]$ เพราะฉะนั้น ระยะทางรวมของรถขนส่งคันที่ 2 เท่ากับ 18.51 + 11.57 + 9.76 + 10.77 + 16.63 + 2.34 คือ 51.07 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร คือ ระยะทางรวมของรถขนส่งคันที่ 1 คือ 51.07 กิโลเมตร คูณลิตรละ 4 บาท จะได้ 204.28 บาท เป็นต้นทุนการขนส่งสินค้า และทำการเก็บค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 2 (c_2) และจะได้ค่า L_3 เก็บค่าลูกค้ารายที่ 10 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า q_{10} = 4,050,000 ตารางมิลลิเมตร L_6 เก็บค่าลูกค้ารายที่ 20 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า q_{20} = 780,000 ตารางมิลลิเมตร ให้ L_4 เก็บค่าลูกค้ารายที่ 16 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า q_{16} = 870,000 ตารางมิลลิเมตร ให้ L_1 เก็บค่าลูกค้ารายที่ 5 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า q_5 = 3,330,000 ตารางมิลลิเมตร ให้ L_7 เก็บค่าลูกค้ารายที่ 18 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า q_{18} = 1,170,000 ตารางมิลลิเมตร จะได้พื้นที่บรรจุกล่องสินค้ารวมทั้งหมด 4,050,000 + 780,000 + 870,000 + 3,330,000 + 1,170,000 เท่ากับ 9,030,000 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้น ค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 2 (c_2) คือ 9,030,000 ตารางมิลลิเมตร

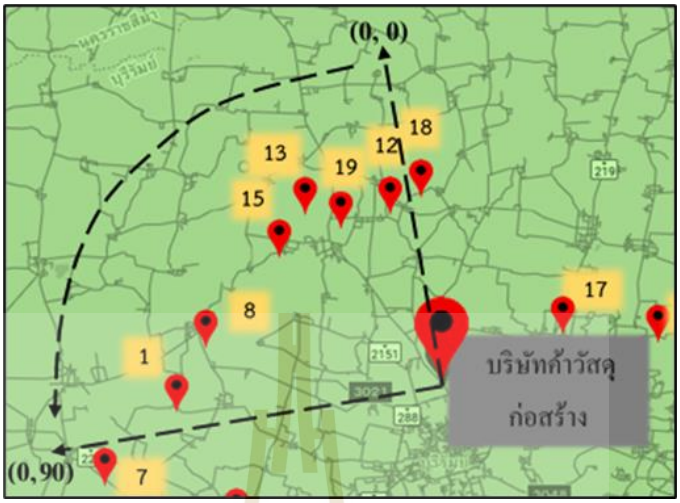
ขั้นตอนที่ 1.14 อัปเดตรถขนส่งคันถัดไป $k = 2 + 1 = 3$ และพื้นที่รถขนส่งของรถคันที่ $k = 3$ โดย q_k = 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร จะขึ้นรถขนส่งคันใหม่ คือ คันที่ 3

ขั้นตอนที่ 1.15 ตรวจสอบว่าส่งครบจำนวนลูกค้าใช่หรือไม่ ทำการตรวจสอบยังเหลือลูกค้าที่เหลือ ดังนั้นให้วนทำซ้ำขั้นตอนที่ 1.4 ที่ผ่านมา

ตารางที่ 4.12 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 2

ลำดับลูกค้า (n)	รถขนส่งคันที่ k	การจัดเส้นทางการขนส่ง	รวมระยะทางลูกค้าไปกลับ (กิโลเมตร)	พื้นที่ของกล่องสินค้า q_n (ตร.มม.)	พื้นที่รวมแต่ละคัน (ตร.มม.)
10	2	0-10-20-16-5-18-0	51.07	4,050,000	10,200,000
20				780,000	
16				870,000	
5				3,330,000	
18				1,170,000	

4.3.1.3 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 3



รูปที่ 4.5 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 90 องศาของรถคันที่ 3

จากการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 3 รถขนส่งขนาด 4 ล้อ มีพื้นที่ของรถขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร จะได้ว่า เริ่มต้นค้นหาเส้นทางหรือลูกค้า ทำการกวาดมุม 90 องศา หมุนทวนเข็มนาฬิกา จะพบว่ามีลูกค้ารายที่ 1, 8, 12, 13, 15 และ 19 ในมุมกวาด จากรูปที่ 4.5 ทำการพิจารณาลูกค้าคนแรกที่อยู่ใกล้ศูนย์กระจายสินค้า (บริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง) จะเห็นได้ลูกค้ารายที่ 12 มีระยะทางใกล้กับศูนย์กระจายสินค้ามากที่สุด 9.35 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 10 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,740,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 12 กับรถขนส่งคันที่ 3 ($q_{n=12}$ = 1,740,000 < $q_{k=3}$ = 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 12 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 3 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 3 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ คือ 1,410,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 9.35 กิโลเมตร จากตารางภาคผนวก ก.1 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 12 ได้ลูกค้ารายที่ 19 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 12 คือ 2.34 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 6 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 540,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 19 กับรถขนส่งคันที่ 3 ($q_{n=19}$ = 540,000 < $q_{k=3}$ = 1,410,000 ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 19 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 3 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 3 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 870,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 11.69 กิโลเมตร

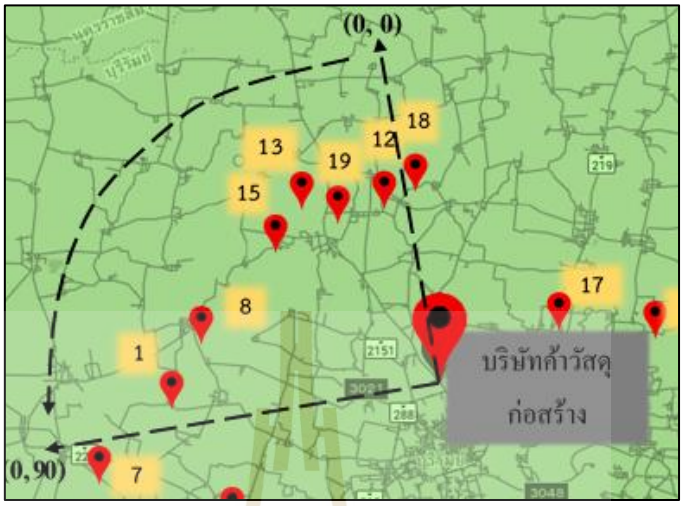
จากภาคผนวกตารางที่ ก.1 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 19 ได้ลูกค้ารายที่ 13 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 19 คือ 4.66 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 4 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 360,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 13 กับรถขนส่งคันที่ 3 ($q_{n=13}$ = 360,000 < $q_{k=3}$ = 870,000 ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 13 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 3 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 3 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 510,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 16.35 กิโลเมตร จากตารางภาคผนวกที่ ก.1 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 13 ได้ลูกค้ารายที่ 15 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 13 คือ 1.90 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้นมีกล่องสินค้า 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,890,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 15 กับรถขนส่งคันที่ 3 ($q_{n=15}$ = 1,890,000 > $q_{k=3}$ = 510,000 ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 15 มากกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 3 จึงไม่สามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ จึงทำการเปลี่ยนรถขนส่งคันใหม่

ดังนั้น จะได้การบรรจุของลูกค้ารายที่ 12, 13 และ 19 ของรถขนส่งคันที่ 3 มีพื้นที่เหลือ ใช้ประโยชน์ 510,000 ตารางมิลลิเมตร มีระยะทางรวม 31.77 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร จะได้ 127 บาท และได้เส้นทางการขนส่ง 0-12-19-13-0 โดยการจัดเส้นทางขนส่งที่ได้ จะเรียงลูกค้ารายที่ส่งก่อนไปยังลูกค้ารายสุดท้ายตามลำดับ ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 3

ลำดับลูกค้า (*n*)	**รถขนส่งคันที่ *k***	**การจัดเส้นทางการขนส่ง**	**รวมระยะทางลูกค้าไปกลับ (กิโลเมตร)**	**พื้นที่ของกล่องสินค้า q_n (ตร.มม.)**	**พื้นที่รวมแต่ละคัน (ตร.มม.)**
12	3	0-12-19-13-0	31.77	1,740,000	2,640,000
19				540,000	
13				360,000	

4.3.1.4 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 4



รูปที่ 4.6 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 90 องศาของรถคันที่ 4

เริ่มการจัดเส้นทางของรถขนส่งคันที่ 4 รถขนส่งขนาด 4 ล้อ มีพื้นที่ของรถขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร พิจารณาให้กวาดที่มุม 90 องศาหมุนทวนเข็มนาฬิกา เนื่องจากลูกค้ายังเหลือในมุมกวาดเดียวกับรถคันที่ 3 และลูกค้าที่ถูกจัดขึ้นรถขนส่งแล้วจะไม่พิจารณา จะมีลูกค้ารายที่ 1, 8 และ 15 ในการจัดเรียงเส้นทางของรถขนส่งคันที่ 4 ทำการพิจารณาลูกค้าคนแรกที่อยู่ใกล้ศูนย์กระจายสินค้า (บริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง) จะเห็นได้ลูกค้าที่ 15 มีระยะทางใกล้กับศูนย์กระจายสินค้ามากที่สุด 14.22 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,890,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 15 กับรถขนส่งคันที่ 4 ($q_{n=15}$ = 1,890,000 < $q_{k=4}$ = 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 15 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 3 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 4 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 1,260,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 14.22 กิโลเมตร จากภาคผนวกตาราง ก.2 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 15 ได้ลูกค้ารายที่ 8 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 15 คือ 6.14 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,080,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 8 กับรถขนส่งคันที่ 3 ($q_{n=18}$ = 1,080,000 < $q_{k=4}$ = 1,260,000 ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 8 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 4

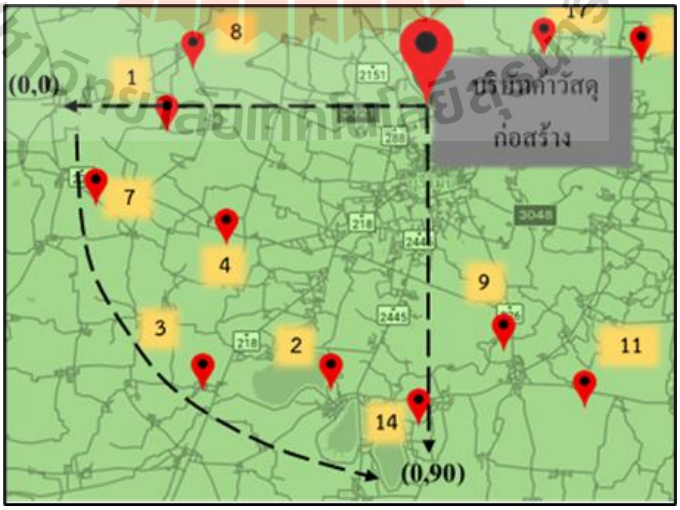
จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 4 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ คือ 180,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 33.32 กิโลเมตร

พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ 4 ยังเหลือพื้นที่แต่น้อยกว่า 250,000 ตารางมิลลิเมตร จึงทำการอัปเดตรถคันถัดไปตามเงื่อนไขที่กำหนดและทำการกวาดลูกค้าที่เหลือในมุม 90 องศา จะได้การบรรจุของลูกค้ารายที่ 8 และ 15 ของรถขนส่งคันที่ 4 มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 180,000 ตารางเซนติเมตร มีระยะทางรวม 33.32 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร จะได้ 133 บาท และได้เส้นทางการขนส่ง 0-15-8-0 โดยการจัดเส้นทางขนส่งที่ได้ จะเรียงลูกค้ารายที่ส่งก่อนไปยังลูกค้ารายสุดท้ายตามลำดับดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 4

ลำดับลูกค้า (n)	**รถขนส่งคันที่ k**	**การจัดเส้นทางการขนส่ง**	**รวมระยะทางลูกค้าไปกลับ (กิโลเมตร)**	**พื้นที่ของกล่องสินค้า q_n (ตร.มม.)**	**พื้นที่รวมแต่ละคัน (ตร.มม.)**
15	4	0-15-8-0	33.32	1,890,000	2,970,000
8				1,080,000	

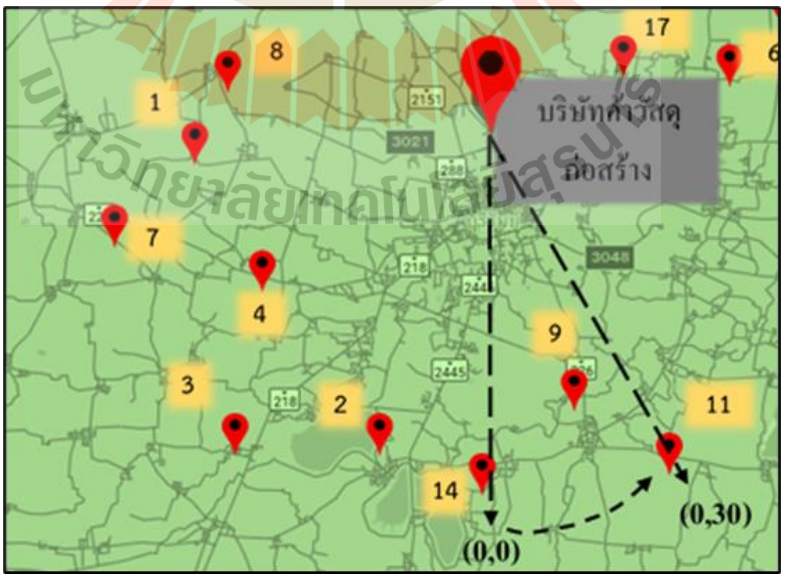
4.3.1.5 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่ 5



รูปที่ 4.7 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 90 องศาของรถคันที่ 5

จากข้างต้นในมุมกวาด 0 ถึง 90 องศา ดังรูปที่ 4.6 ยังเหลือลูกค้า ได้แก่ รายที่ 1 ซึ่งจะทำการค้นหาเส้นทางใหม่ โดยเปลี่ยนรถคันใหม่ ขึ้นรถขนส่งคันที่ 5 คือรถขนส่งขนาด 6 ล้อ มีพื้นที่ของรถขนส่ง 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร และเริ่มทำการกวาด 90 องศาถัดไป จะมีลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4, 7 และ 14 ในการจัดเรียงเส้นทางของรถขนส่งคันที่ 5 ทำการพิจารณาลูกค้าคนแรกที่อยู่ใกล้ศูนย์กระจายสินค้า (บริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง) จะเห็นได้ลูกค้าที่ 1 มีระยะทางใกล้กับศูนย์กระจายสินค้ามากที่สุด 18.86 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 300,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 1 กับรถขนส่งคันที่ 5 ($q_{n=1} = 300,000 < q_{k=5} = 11,250,000$ ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 1 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 5 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 5 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 10,950,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 18.86 กิโลเมตร จากตารางภาคผนวก ก.3 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 1 ได้ลูกค้ารายที่ 7 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 1 คือ 5.69 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 3 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 480,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 7 กับรถขนส่งคันที่ 5 ($q_{n=7} = 480,000 < q_{k=5} = 10,950,000$ ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 7 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 5 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 5 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 10,470,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 24.55 กิโลเมตร จากตารางภาคผนวก ก.3 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 7 ได้ลูกค้ารายที่ 4 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 1 คือ 7.79 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 1 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 300,000 ตารางเซนติเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 4 กับรถขนส่งคันที่ 5 ($q_{n=4} = 300,000 < q_{k=5} = 10,470,000$ ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 4 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 5 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 5 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 10,170,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 32.34 กิโลเมตร จากตารางภาคผนวก ก.3 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 3 ได้ลูกค้ารายที่ 4 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 4 คือ 7.81 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 1 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,920,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 3 กับรถขนส่งคันที่ 5 ($q_{n=3} = 1,920,000 < q_{k=5} = 10,170,000$ ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 3 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 5 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ จึงสามารถ

จัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 5 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 8,250,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 40.15 กิโลเมตร จากตารางภาคผนวก ก.3 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 3 ได้ลูกค้ารายที่ 2 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 3 คือ 7.01 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 1 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 810,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 2 กับรถขนส่งคันที่ 5 ($q_{n=2} = 810,000 < q_{k=5} = 8,250,000$ ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 2 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 5 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 5 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 7,440,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 47.16 กิโลเมตร จากตารางภาคผนวก ก.3 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 2 ได้ลูกค้ารายที่ 14 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 2 คือ 5.26 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 2 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,620,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 14 กับรถขนส่งคันที่ 5 ($q_{n=14} = 1,620,000 < q_{k=5} = 7,440,000$ ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 14 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 5 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 5 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 5,820,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 52.42 กิโลเมตร จากตารางภาคผนวก ก.3



รูปที่ 4.8 แสดงผลลัพธ์แบ่งกลุ่มลูกค้าจากศูนย์กระจายสินค้าด้วยมุมกวาด 30 องศาของรถคันที่ 5

ในมุมกวาด 90 องศา ได้จัดลูกค้าขึ้นรถขนส่งครบทุกคนแล้ว แต่ยังเหลือพื้นที่ของรถขนส่ง จึงทำการกวาด 30 องศาถัดไป ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 14 ซึ่งลูกค้ารายที่ 9 และ 11 มีระยะทางใกล้กับลูกค้าที่ 14 ซึ่งลูกค้ารายที่ 9 มีระยะทางใกล้มากที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 14 คือ 6.37 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 3 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 2,430,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 9 กับรถขนส่งคันที่ 5 ($q_{n=9}$ = 2,430,000 < $q_{k=5}$ = 5,820,000 ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 9 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 5 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 5 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 3,390,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 58.79 กิโลเมตร จากตารางภาคผนวก ก.3 ทำการค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 9 ได้ลูกค้ารายที่ 11 ใกล้ที่สุด มีระยะทางห่างจากลูกค้ารายที่ 9 คือ 5.56 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.2 ข้างต้น มีกล่องสินค้า 1 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 810,000 ตารางมิลลิเมตร จากตารางที่ 4.4 ข้างต้น ทำการตรวจสอบความสามารถพื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 11 กับรถขนส่งคันที่ 5 ($q_{n=11}$ = 810,000 < $q_{k=5}$ = 3,390,000 ตารางมิลลิเมตร) แสดงว่า พื้นที่บรรจุของลูกค้ารายที่ 2 น้อยกว่าพื้นที่รถขนส่งคันที่ 5 จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ จึงสามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ ในส่วนของรถขนส่งคันที่ 5 เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์คือ 2,580,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางรวม 113.34 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร จะได้ 454 บาท จากภาคผนวกตาราง ก.3

ดังนั้น จะได้การบรรจุของลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4, 7, 9, 11 และ 14 ของรถขนส่งคันที่ 5 มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 2,580,000 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางการขนส่ง 0-1-7-4-3-2-14-9-11-0 โดยการจัดเส้นทางขนส่งที่ได้ จะเรียงลูกค้ารายที่ส่งก่อนไปยังลูกค้ารายสุดท้ายตามลำดับ ดังตารางที่ 4.15

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.15 สรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่งคันที่ 5

ลำดับลูกค้า (n)	รถขนส่งคันที่ k	การจัดเส้นทางการขนส่ง	รวมระยะทางลูกค้าไปกลับ (กิโลเมตร)	พื้นที่ของกล่องสินค้า q_n (ตร.มม.)	พื้นที่รวมแต่ละคัน (ตร.มม.)
1	5	0-1-7-4-3-2-14-9-11-0	113.4	300,000	8,670,000
7				480,000	
4				300,000	
3				1,920,000	
2				810,000	
14				1,620,000	
9				2,430,000	
11				810,000	

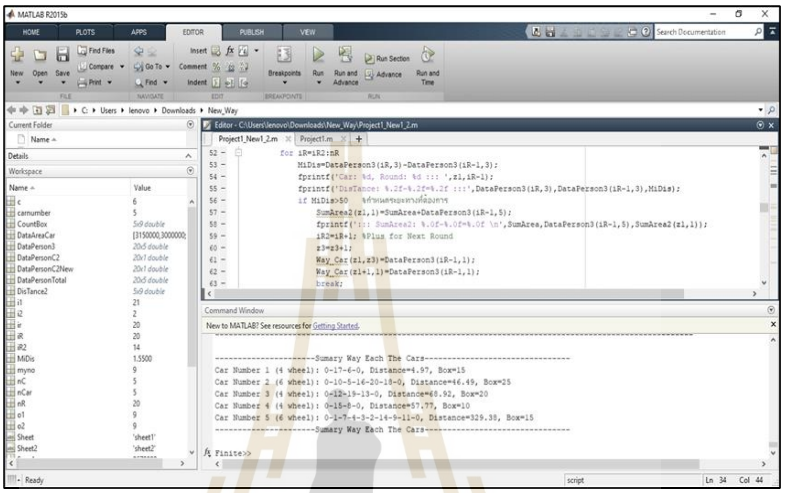
4.3.1.6 สรุปผลของการจัดเส้นทางการขนส่งทุกคัน

การจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ร่วมกับวิธีการกวาด (The Sweep Approach) ทิศทวนเข็มนาฬิกาในการแก้ปัญหาพบว่า ได้ทำการจัดเส้นทางขนส่งที่ได้จะเรียงลูกค้ารายที่ส่งก่อนไปยังลูกค้ารายสุดท้ายตามลำดับ แล้วพิจารณาด้วยว่าระยะทางระหว่างลูกค้าอีกรายไปยังลูกค้าอีกราย ต้องมีระยะทางห่างกันไม่เกิน 50 กิโลเมตร ถึงจะจัดเส้นทางการขนส่งได้

ดังนั้น ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งทุกคันจะมีรถขนส่งประเภท 4 ล้อ มีพื้นที่ขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร พบว่าทำการจัดเส้นทางขนส่งได้คันที่ 1, 3 และ 4 โดยมีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-17-6-0, 0-12-19-13-0 และ 0-15-8-0 ตามลำดับ แล้วมีระยะทางขนส่งไปกลับศูนย์กระจายสินค้า คือ 28.57, 31.77 และ 33.32 กิโลเมตรตามลำดับ ส่วนต้นทุนการขนส่ง คือ 114, 127 และ 133 บาทตามลำดับ และมีพื้นที่รวมของกล่องสินค้าแต่ละคัน คือ 3,000,000, 2,640,000 และ 2,970,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ

ส่วนรถขนส่งประเภท 6 ล้อ 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร พบว่าทำการจัดเส้นทางขนส่งได้คันที่ 2 และ 5 โดยมีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-10-20-16-5-18-0 และ 0-1-7-4-3-2-14-9-11-0 ตามลำดับ แล้วมีระยะทางขนส่งไปกลับศูนย์กระจายสินค้า คือ 51.07 และ 113.4 กิโลเมตรตามลำดับ ส่วนต้นทุนการขนส่ง คือ 204 และ 454 บาทตามลำดับ และมีพื้นที่รวมของกล่องสินค้าแต่ละคัน คือ 10,200,000 ตารางมิลลิเมตร และ 8,670,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ

เพราะฉะนั้นการจัดเส้นทางการขนส่งมีระยะทางขนส่งรวมทั้งหมดทุกคัน คือ 258.13 กิโลเมตร และมีพื้นที่รวมของกล่องสินค้าทุกคัน คือ 27,480,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.16 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการค้นหาคำตอบและส่วนหน้าต่างของโปรแกรม MATLAB แสดงผลดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ของการจัดเส้นทางขนส่ง

ตารางที่ 4.16 ภาพรวมสรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่ง

ลำดับลูกค้า (n)	รถขนส่งคันที่ k	การจัดเส้นทางการขนส่ง	รวมระยะทางลูกค้าไปกลับ (กิโลเมตร)	พื้นที่ของกล่องสินค้า q_n (ตร.มม.)	พื้นที่รวมแต่ละคัน (ตร.มม.)
17	1	0-6-17-0	28.57	1,470,000	3,000,000
6				1,530,000	
10	2	0-18-5-16-20-0	51.07	4,050,000	10,200,000
20				780,000	
16				870,000	
5				3,330,000	
18				1,170,000	
12	3	0-13-19-12-0	31.77	1,740,000	2,640,000
19				540,000	
13				360,000	

ตารางที่ 4.16 ภาพรวมสรุปข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของรถขนส่ง (ต่อ)

ลำดับลูกค้า (n)	รถขนส่งคันที่ k	การจัดเส้นทางการขนส่ง	รวมระยะทางลูกค้าไปกลับ (กิโลเมตร)	พื้นที่ของกล่องสินค้า q_n (ตร.มม.)	พื้นที่รวมแต่ละคัน (ตร.มม.)
15	4	0-8-15-0	33.32	1,890,000	2,970,000
8				1,080,000	
1	5	0-11-9-14-2-3-4-7-1-0	113.4	300,000	8,670,000
7				480,000	
4				300,000	
3				1,920,000	
2				810,000	
14				1,620,000	
9				2,430,000	
11				810,000	
รวม			258.13	27,480,000	27,480,000

4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

ในหัวข้อที่ 4.3.2 จะทำการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง (BPP) เป็นภาพรวมของแต่ละคัน ซึ่งการรับข้อมูลของลูกค้าแต่ละรายนั้น จะทำการรับข้อมูลเบื้องต้นของลูกค้าแต่ละคนจากการจัดเรียงเส้นทางขนส่ง ดังนี้

4.3.2.1 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1

แสดงการค้นหารอบที่ 1 ($N = 1$) ของรถคันที่ 1

ขั้นตอนที่ 2.1 รับข้อมูลจากคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 1 (c_1) และจะได้ค่า L_2 เก็บค่าลูกค้ารายที่ 6 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_6 = 1{,}530{,}000$ ตารางมิลลิเมตร ให้ L_5 เก็บค่าลูกค้ารายที่ 17 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า $q_{17} = 1{,}470{,}000$ ตารางมิลลิเมตร จะได้พื้นที่บรรจุกล่องสินค้ารวมทั้งหมด 1,470,000 + 1,530,000 เท่ากับ 3,000,000 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้น ค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 1 (c_1) คือ 3,000,000 ตารางมิลลิเมตร และมีกล่องสินค้าของลูกค้าในคลัสเตอร์ คือ มีกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ $n = 6$ ($f_{n=6} = 6$ กล่อง) และมีกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ $n = 17$ ($f_{n=17} = 9$ กล่อง) มีกล่องสินค้ารวมทั้งหมด 15 กล่อง

ขั้นตอนที่ 2.2 เข้าสู่กระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) รอบที่ $N = 1$ โดยผู้วิจัยได้ใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการหาคำตอบเบื้องต้น โดยเป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของ การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เป็นการช่วยหาคำตอบให้ดีขึ้น ซึ่งจะแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้ตรงกับปัญหาเฉพาะแต่ละปัญหา ซึ่งขึ้นกับเงื่อนไขและข้อจำกัดนั้น ๆ จึงเรียกว่า วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) โดยจะทำให้การวิเคราะห์แก้ปัญหาที่หลากหลายได้ตรงจุดต่อไป

ขั้นตอนที่ 2.3 ทำการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า คือ การแก้ไขปัญหาโดยอาศัยหลักเกณฑ์ง่าย ๆ แบบสามัญสำนึกขึ้นอยู่กับการตัดสินใจ นำไปใช้กับสถานการณ์ที่ต้องการวางเป้าหมายไว้ตั้งแต่ต้นในการแก้ไขปัญหาเฉพาะจุด ซึ่งรถคันที่ $k = 1$ มีกล่องสินค้าทั้งหมด 15 กล่อง โดยลูกค้ารายที่ 6 มีกล่องขนาด A, C, และ D คือ 4, 1 และ 1 กล่อง ส่วนลูกค้ารายที่ 17 มีกล่องขนาด A และ C คือ 8 และ 1 กล่อง โดยที่การคัดเลือกฮิวริสติกส์ให้เหมาะสมกับประเภทของกล่องสินค้า จะกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.17 พบว่า ได้ทำการคัดเลือกฮิวริสติกส์ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้าซึ่งเป็นการตั้งเกณฑ์ในการเลือกประเภทของกล่องสินค้า เพื่อเป็นการประยุกต์ใช้ฮิวริสติกส์ร่วมกับขั้นตอนเชิงพันธุกรรมในการเริ่มต้นในการจัดเรียงกล่องสินค้าให้สามารถแก้ปัญหาเฉพาะจุดได้ดียิ่งขึ้น ได้ทำการศึกษาจาก Terashima, Ross, and Valenzuela (2006, 2007) ซึ่งกล่อง A, B และ D ได้ทำการคัดเลือกฮิวริสติกส์ให้เหมาะสมกับลักษณะของกล่องสินค้า คือ แบบ Best Fit (BF) เพราะว่าการเลือกพื้นที่บรรจุที่เหมาะสมที่สุด ทำการค้นหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่บรรจุว่างที่มีขนาดเท่ากันแต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ ให้ทำการพิจารณาคันถัดไป ส่วนกล่อง C ได้ทำการคัดเลือกฮิวริสติกส์ให้เหมาะสมกับลักษณะของกล่องสินค้า คือ แบบ First Fit (FF) เพราะว่า การเลือกพื้นที่แรกที่บรรจุได้ และมีขนาดใหญ่เพียงพอกับพื้นที่ที่ต้องการบรรจุ แต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้พิจารณาพื้นที่ถัดไป

ตารางที่ 4.17 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ที่เหมาะสมกับประเภทกล่องสินค้า

ประเภทกล่องสินค้า	**Selection Heuristic**
A	Best Fit (BF)
B	Best Fit (BF)
C	First Fit (FF)
D	Best Fit (BF)

ขั้นตอนที่ 2.4 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากร (โครโมโซมพ่อแม่) เริ่มต้นหรือกล่องสินค้าเริ่มต้น และทำการเข้ารหัสกล่องสินค้าของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ คือ การกำหนดเป็นตัวเลข 2 ตัวแรก และตัวอักษรตามลำดับ เพื่อบ่งบอกสินค้าของลูกค้าแต่ละราย โดยกำหนดให้ตัวเลขหลักที่หนึ่งหรือสอง คือ ลูกค้ารายที่ n เมื่อ $n = 1, 2, 3, \ldots, 20$ ส่วนตัวเลขหลักที่สองหรือสาม คือ กล่องสินค้าลำดับที่ p ของกล่องสินค้าทั้งหมด เมื่อ $p = 1, 2, 3, \ldots p$ หรือจำนวนเต็มบวก ส่วนตัวอักษร คือ ประเภทของกล่องของสินค้า A, B, C และ D เช่น 176A หมายถึง ลูกค้ารายที่ 17 มีกล่องสินค้าอยู่ลำดับที่ 6 ของกล่องสินค้าทั้งหมด และเป็นกล่องประเภท A เป็นต้น ดังนั้นเป็นการออกแบบโครโมโซมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของคำตอบได้ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากร (โครโมโซมพ่อแม่) รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	176A	177A	172A	173A	65C	66D	61A	62A	63A	64A	175A	179C	171A	174A	178A
แม่	177A	61A	62A	178A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	65C	66D	63A	64A

ขั้นตอนที่ 2.5 การไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Order Crossover (OX) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ซึ่งวัตถุประสงค์ของการไขว้เปลี่ยนแบบ OX นี้ คือ การพยายามรักษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งเดิมก่อนหลังของยีนต่าง ๆ ในโครโมโซมให้มีลำดับเหมือน ๆ เดิม เริ่มจากการสุ่มโครโมโซมพ่อแม่ต้นแบบที่เกิดจากการสุ่มนั้น นำมาไขว้เปลี่ยนแบบ OX เริ่มจากการสุ่มจุดตัด โดยเกณฑ์แสดงการตัดสินใจ โดยทำการสุ่มตามช่วงจำนวนกล่อง ซึ่งรถคันที่ $k = 1$ ในรอบที่ 1 มีกล่องทั้งหมด 15 กล่อง ซึ่งจะตรงกับช่วงของจำนวนกล่องสินค้า 13-15 กล่อง จะสามารถสุ่มหาจุดตัดภายในได้ 2-6 ตำแหน่ง ข้อมูลดังตารางที่ 4.19 ซึ่งในการค้นหารอบที่ 1 สามารถสุ่มได้ $j = 6$ ตำแหน่ง ซึ่งตรงกับโครโมโซมตำแหน่งที่ 5-10 จะแสดงอยู่ภายในเป็นเส้นประ และจะทำการแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นประ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นประ) ได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 เกณฑ์การสุ่มจุดตัดภายใน

ช่วงของจำนวนกล่องสินค้า (*m*)	จำนวนจุดตัดภายใน (*j*)
10 - 12	2 - 4
13 - 15	2 - 6
16 - 18	2 - 7
19 - 21	2 - 8
22 - 24	2 - 10
25 - 27	2 - 11
28 - 30	2 - 13

ตารางที่ 4.20 การไขว้เปลี่ยนแบบ OX และการสุ่มจุดตัดรอบที่ 1 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	176A	177A	172A	173A	65C	66D	61A	62A	63A	64A	175A	179C	171A	174A	178A
แม่	177A	61A	62A	178A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	65C	66D	63A	64A

ต่อมาทำการพิจารณารหัสกล่องสินค้าที่คู่กัน แล้วทำการแทนที่ตำแหน่งในหลุม (Hole) หรือตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ H นั้น ๆ มีหลักการดังนี้ รหัสกล่องสินค้าที่คู่กันของโครโมโซมพ่อกับแม่ คือ ถ้ารหัสกล่องสินค้าของโครโมโซมพ่อจุดตัดภายในมีรหัสกล่องสินค้าซ้ำกับจุดตัดภายนอกของโครโมโซมแม่ ให้ทำการแทนที่ตำแหน่งในหลุม (Hole) หรือตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ H นั้น ๆ และรหัสกล่องสินค้าของโครโมโซมแม่ทำการพิจารณาเช่นเดียวกัน ได้ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 การแทนที่ตำแหน่งในหลุม ด้วยตัวอักษร H รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	176A	177A	H	H	65C	66D	61A	62A	63A	64A	H	H	H	H	178A
แม่	177A	H	H	178A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	H	H	H	H

แล้วทำการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน มีหลักดังนี้ ให้นำตำแหน่งจุดตัดภายในมาแทรกข้างหน้าสุด ถัดมาให้วางนำตำแหน่งที่เป็นหลุม (H) และสุดท้ายให้นำกล่องสินค้าที่เหลือมาเรียงต่อตามลำดับ โดยโครโมโซมพ่อ จะเรียงจากตำแหน่งโครโมโซมที่ 15 และต่อด้วยตำแหน่งที่เหลือของจุดตัดภายนอก คือ ตำแหน่งที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งโครโมโซมแม่จะทำเช่นเดียวกัน ได้ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	66D	61A	62A	63A	64A	H	H	H	H	H	H	178A	176A	177A
แม่	179C	171A	172A	173A	174A	175A	H	H	H	H	H	H	176A	177A	178A

จากนั้นจะแทนที่หลุม (H) ทั้งหมดด้วยจุดตัดภายใน ซึ่งตัวอักษร H ของโครโมโซมของพ่อ จากตารางที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าอยู่ตำแหน่งที่ 7-12 จะถูกแทนที่ด้วยจุดตัดภายในของโครโมโซมแม่ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 1-6 แสดงดังตารางที่ 4.23 ส่วนตัวอักษร H ของโครโมโซมของแม่จะทำเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.23 แสดงคำตอบใหม่ของโครโมโซมพ่อและแม่ รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A
แม่	179C	171A	172A	173A	174A	175A	65C	66D	61A	62A	63A	64A	176A	177A	178A

ขั้นตอนที่ 2.6 การค้นหาคำตอบให้ดีขึ้น โดยการกลายพันธ์ (Mutation) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ จะใช้วิธีสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) คือ การสุ่มแทรกตำแหน่ง เพื่อให้ได้ประชากรใหม่หรือโครโมโซมใหม่ เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งยีนของโครโมโซมแล้วทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่จะแทรกที่อยู่เป็นโครโมโซมพ่อหรือแม่ และทำการสุ่มเลือกยีนที่จะแทรกแล้วนำค่ายีนที่สุ่มได้ เข้ามาแทรกในตำแหน่งที่ถูกสุ่มไว้ โดยหลักการสุ่มแทรก 2 ตำแหน่งของตำแหน่งของยีน หรือเรียกว่าตำแหน่ง (x, y) โดยจะใช้การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) มาช่วยในการสุ่มแทรกตำแหน่ง เพื่อให้ได้พบคำตอบที่รวดเร็วขึ้น และเพื่อช่วยในการค้นหาการจัดเรียงกล่องสินค้าให้เป็นตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยเรียงจากกล่องใหญ่ไปกล่องเล็กได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้าจะอยู่ในขั้นตอนที่ 2.3 ที่ได้กล่าวมาเพื่อใช้ในการสุ่มแทรกตำแหน่ง และทำการเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) โดยจะเป็นการทำงานไปพร้อมกัน

ผู้วิจัยได้พิจารณาจำนวนกล่องสินค้าในรถขนส่ง โดยการใช้เกณฑ์การแบ่งช่วงจำนวน Mutation (b) ในการสุ่มแทรกตำแหน่ง ดังตารางที่ 4.24 ซึ่งในรถคันที่ 1 รอบที่ 1 มีกล่องสินค้าทั้งหมด 15 กล่อง ซึ่งตรงกับช่วงของจำนวนกล่องสินค้า (m) 13-15 กล่อง ใช้เกณฑ์การแบ่งช่วงจำนวน Mutation (b) ได้ 1-3 ครั้ง จากตารางที่ 4.25 ทำการค้นหาการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) รอบที่ $N = 1$ (ลูก 1) อ้างอิงมาจากโครโมโซมพ่อ จะสุ่มได้ช่วงจำนวน Mutation 1 ครั้ง โดยสุ่มได้โครโมโซมตำแหน่งที่ 2 ของพ่อคือ 66D เป็นตำแหน่งที่จะถูกแทรก ส่วน

โครโมโซมตำแหน่งที่ 3 ของพ่อคือ 61A ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 2 จะทำให้ตำแหน่งที่ 3 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกัน คือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 2 จะเลื่อนมาทางขวา เนื่องจากถูกแทรกตำแหน่ง จึงทำการพิจารณาเกณฑ์การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยส่งลูกค้าลำดับแรกก่อน ซึ่งลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 1 คือ ลูกค้ารายที่ 6 และ 17 โดยลูกค้ารายที่ 17 เป็นลูกค้าลำดับแรกที่จะถูกจัดส่งสินค้าก่อนจะจัดกล่องสินค้าไว้นอกสุดของรถขนส่ง และส่งลำดับถัดไป คือ ลูกค้ารายที่ 6 จะถูกจัดไว้ในสุดของรถขนส่ง จึงให้เกิดการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) ของตำแหน่ง 3 ถูกนำไปแทรกยังตำแหน่งที่ 2 ซึ่งคำตอบของการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อ จะได้ลูก 1 ดังการสุ่มรอบที่ 1 ตามรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.24 แสดงการแบ่งช่วงจำนวนกล่องและการกลายพันธ์

ช่วงของจำนวนกล่องสินค้า (*m*)	**ช่วงจำนวน Mutation (*b*)**
10 - 12	1 - 3
13 - 15	
16 - 18	1 - 5
19 - 21	
22 - 24	1 - 7
25 - 27	
28 - 30	1 - 9

ตารางที่ 4.25 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อรอบที่ 1 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A
สุ่มรอบที่ 1	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	177A	178A

จากตารางที่ 4.26 ในส่วนของการค้นหาการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) รอบที่ $N = 1$ (ลูก 2) อ้างอิงมาจากโครโมโซมแม่จะได้ช่วงจำนวน Mutation 1 ครั้ง โดยจะสุ่มได้โครโมโซมตำแหน่งที่ 1 ของแม่คือ 179C เป็นตำแหน่งที่จะถูกแทรก ส่วนโครโมโซมตำแหน่งที่ 7-12 ของแม่คือ 65C, 66D, 61A, 62A, 63A และ 64A ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูก

แทรกในตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ตำแหน่งที่ 7-12 จะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกัน คือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 1 จะเลื่อนมาทางขวา เนื่องจากถูกแทรกตำแหน่ง จึงทำการพิจารณาเกณฑ์การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยส่งลูกค้าลำดับแรกก่อน ซึ่งลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 1 คือ ลูกค้ารายที่ 6 และ 17 โดยลูกค้ารายที่ 17 เป็นลูกค้าลำดับแรกที่จะถูกจัดส่งสินค้าก่อนจะจัดกล่องสินค้าไว้นอกสุดของรถขนส่ง และส่งลำดับถัดไป คือ ลูกค้ารายที่ 6 จะถูกจัดไว้ในสุดของรถขนส่ง จึงให้เกิดการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) ของตำแหน่ง 7-12 ถูกนำไปแทรกยังตำแหน่งที่ 1 ซึ่งคำตอบของการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ จะได้ลูก 2 ดังการสุ่มรอบที่ 1 ตามรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.26 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
แม่	179C	171A	172A	173A	174A	175A	65C	66D	61A	62A	63A	64A	178A	176A	177A
สุ่มรอบที่ 1	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	177A	178A

จากตารางที่ 4.27 พบว่า ได้ทำการเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) เมื่อสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) เรียบร้อย จะทำการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) เนื่องจากมีการคำนึงถึงการจัดเส้นทางการขนส่ง จึงต้องพิจารณาด้วยว่ากล่องสินค้าของลูกค้าเป็นรายเดียวกันเรียงชิดติดกัน โดยจะต้องพิจารณาไปพร้อมกับการเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ตามเงื่อนไขที่กำหนด จากตารางที่ 4.27 กล่องสินค้า A เป็นการเลือกการแทนที่แบบ Bottom-Left (BL) และBottom-Left Fill (BLF) เนื่องจากลักษณะกล่องเป็นกล่องขนาดเล็กสุดสามารถแทรกบรรจุลงช่องว่างได้เรียกว่า “แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)” ส่วนกล่อง C คือ เป็นการแทนที่แบบ Bottom-Left Fill (BL) เนื่องจากลักษณะกล่องใหญ่สุดเหมาะสมกับ การเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็ก กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ แต่จะไม่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ ส่วนกล่อง B และ D เป็นการแทนที่แบบ Bottom-Left Fill (BL), Bottom-Left Fill (BLF) และBottom-Left Fill Rotate (BLFR) เนื่องจากลักษณะกล่องขนาดกลาง ซึ่งกล่องเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา และสามารถแทรกได้ ซึ่งความหมายการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบต่าง ๆ จะแสดงดังตารางที่ 4.28 ในส่วนของการเลือกการแทนที่ (Placement Heuristic)

ตารางที่ 4.27 การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ที่เหมาะสมกับประเภทกล่องสินค้า

ประเภทกล่องสินค้า	Selection Heuristic	Placement Heuristic
A	Best Fit (BF)	Bottom-Left (BL)
		Bottom-Left Fill (BLF)
B	Best Fit (BF)	Bottom-Left (BL)
		Bottom-Left Fill (BLF)
		Bottom-Left Fill Rotate (BLFR)
C	First Fit (FF)	Bottom-Left (BL)
D	Best Fit (BF)	Bottom-Left (BL)
		Bottom-Left Fill (BLF)
		Bottom-Left Fill Rotate (BLFR)

ตารางที่ 4.28 การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย

การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)	ความหมายของการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)
Bottom-Left (BL)	ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็ก กล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้
Bottom-Left Fill (BLF)	ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็ก กล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่า แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)
Bottom-Left Fill Rotate (BLR)	ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจาก ขนาดใหญ่ไปเล็ก กล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบน เลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ สามารถหมุน 90 องศาได้
Bottom-Left Fill Rotate (BLFR)	ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจาก ขนาดใหญ่ไปเล็ก กล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบน เลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ สามารถหมุน 90 องศาได้ แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่า แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) จากตารางที่ 4.29 ทำการประเมินค่าความเหมาะสมดังนี้ โดยพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และลูก 2 (พื้นที่สีแดง) แสดงดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.29 ประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 รอบที่ 1 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ลูก 1	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A
ลูก 2	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	177A	178A

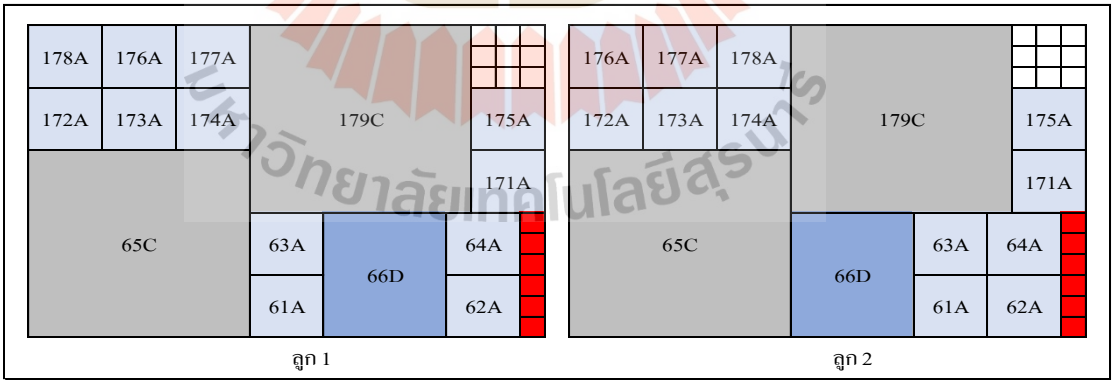
ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 (Max Fitness)

$$\textit{Max Fitness} = q_1 - c_1 - q_{1d}$$
$$= 3{,}150{,}000 - 3{,}000{,}000 - 60{,}000$$
$$= 90{,}000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 2 (Max Fitness)

$$\textit{Max Fitness} = q_1 - c_1 - q_{1d}$$
$$= 3{,}150{,}000 - 3{,}000{,}000 - 60{,}000$$
$$= 90{,}000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

เพราะฉะนั้น โครโมโซมลูก 1 และลูก 2 มีค่าความเหมาะสม



รูปที่ 4.10 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 1

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบพบว่าค่า Fitness ยังไม่ครบจำนวน $N = 100$ รอบ ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.11

ขั้นตอนที่ 2.11 เปรียบเทียบโครโมโซมลูก 1 หรือลูก 2 ก่อนหน้ากับปัจจุบันว่ามีค่า Fitness มากที่สุด นำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไป ทำการเปรียบเทียบโครโมโซมลูก 1 หรือลูก 2 จากตารางที่ 4.30 กรณีที่ประเมินค่าความเหมาะสมได้ค่าเท่ากัน ซึ่งในรอบการค้นหานี้ จากการประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 ได้ค่าความเหมาะสม 90,000 ตารางมิลลิเมตร จะทำการพิจารณาต่อโดยการดูจำนวนการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมของพ่อและแม่เทียบกันว่ามีการสุ่มแทรกตำแหน่งมากหรือน้อยกว่ากัน เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการเลือกค่าความหมาะสมสูงสุด ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาแล้วโครโมโซมของพ่อและแม่ การสุ่มแทรกตำแหน่ง 1 ครั้งเท่ากัน ตามตารางที่ 4.25 และ 4.26 ดังนั้นจะทำการเลือกโครโมโซมลูก 1 หรือลูก 2 เพื่อใช้ในการตั้งต้นเป็นโครโมโซมของพ่อในรอบการค้นหาถัดไป แล้วจะทำการวนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 2.2-2.12 ต่อไป และเพิ่มจำนวนรอบ $N = 1 + 1 = 2$

ตารางที่ 4.30 การประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดมาก (Max Fitness)

กรณีที่	**ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness)**	**ตำแหน่งสุ่มแทรกของการกลายพันธ์ (Insertion Mutation)**
1	Max Fitness ไม่มีค่า	ทำการสุ่มกล่องใหม่ทั้งหมด
2	Max Fitness ค่าเท่ากัน	พิจารณาตำแหน่งสุ่มแทรกที่มีจำนวนครั้งที่น้อยกว่า
3	Max Fitness ค่ามาก	ไม่พิจารณา

แสดงการค้นหารอบที่ 2 ($N = 2$) ของรถขนส่งคันที่ 1

จากการแสดงการค้นหาที่ผ่านมารอบที่ 1 ($N = 1$) เมื่อได้โครโมโซมลูกที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดที่ต้องการ จะทำการค้นหาต่อไปให้ครบเงื่อนไขที่กำหนด 100 รอบ ($N = 100$) ซึ่งในรอบต่อไปนี้จะเป็นแสดงการค้นหารอบที่ 2 ($N = 2$) เริ่มต้นทำตามขั้นตอนที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 2.2 เข้าสู่กระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) รอบที่ $N = 2$ โดยผู้วิจัยได้ใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการหาคำตอบเบื้องต้นโดยเป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของ การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เป็นการช่วยหาคำตอบให้ดีขึ้น ซึ่งจะแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้ตรงกับปัญหาเฉพาะแต่ละปัญหา ซึ่งขึ้นกับเงื่อนไขและข้อจำกัดนั้น ๆ จึงเรียกว่า วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) โดยจะทำให้การวิเคราะห์แก้ปัญหาที่หลากหลายได้ตรงจุดต่อไป

ขั้นตอนที่ 2.3 ทำการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า คือ การแก้ไขปัญหาโดยอาศัยหลักเกณฑ์ง่าย ๆ แบบสามัญสำนึกขึ้นอยู่กับการตัดสินใจ นำไปใช้กับสถานการณ์ที่ต้องการวางเป้าหมายไว้ตั้งแต่ต้น ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.17

ขั้นตอนที่ 2.4 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากรในรอบที่ 2 ทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ ส่วนโครโมโซมพ่อนำผลลัพธ์ที่เลือกไว้ในรอบที่แล้วมาตั้งต้นเป็นโครโมโซมพ่อ ดังนั้นเป็นการออกแบบโครโมโซมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของคำตอบ ได้ดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากร(โครโมโซมพ่อแม่) รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	172A	171A	173A	174A	175A	178A	176A	177A
แม่	174A	176A	64A	179C	177A	66D	175A	178A	61A	62A	65C	63A	172A	171A	173A

ขั้นตอนที่ 2.5 การไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Order Crossover (OX) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เริ่มจากการสุ่มจุดตัดได้ตำแหน่งที่ 5 ถึง 10 จะแสดงเป็นเส้นประ และจะทำการแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นประ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นประ) ซึ่งในการค้นหารอบที่ 2 สามารถสุ่มได้ $j = 6$ ตำแหน่ง ซึ่งตรงกับโครโมโซมตำแหน่งที่ 5-10 จะแสดงอยู่ภายในเป็นเส้นประ และจะทำการแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นประ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นประ) ได้ดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 การไขว้เปลี่ยนแบบ OX และการสุ่มจุดตัด รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	172A	171A	173A	174A	175A	178A	176A	177A
แม่	174A	176A	64A	179C	177A	66D	175A	178A	61A	62A	65C	63A	172A	171A	173A

ถ้ารหัสกล่องสินค้าของโครโมโซมพ่อจุดตัดภายในมีรหัสกล่องสินค้าซ้ำกับจุดตัดภายนอกของโครโมโซมแม่ ให้ทำการแทนที่ตำแหน่งในหลุม (Hole) หรือตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ H นั้น ๆ และรหัสกล่องสินค้าของโครโมโซมแม่ทำการพิจารณาเช่นเดียวกัน ได้ดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 การแทนที่ตำแหน่งในหลุม ด้วยตัวอักษร H รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	H	H	H	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	H	H	176A	H
แม่	174A	176A	H	H	177A	66D	175A	178A	61A	62A	65C	H	H	H	H

แล้วทำการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน มีหลักดังนี้ ให้นำตำแหน่งจุดตัดภายในมาแทรกข้างหน้าสุด ถัดมาให้วางนำตำแหน่งที่เป็นหลุม และสุดท้ายให้นำกล่องสินค้าที่เหลือมาเรียงต่อตามลำดับ โดยโครโมโซมพ่อ จะเรียงจากตำแหน่งโครโมโซมที่ 11 และต่อด้วยตำแหน่งที่เหลือของจุดตัดภายนอก คือ ตำแหน่งที่ 14 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งโครโมโซมแม่จะทำเช่นเดียวกัน ได้ดังตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	63A	64A	179C	172A	171A	173A	H	H	H	H	H	H	174A	176A	65C
แม่	177A	66D	175A	178A	61A	62A	H	H	H	H	H	H	65C	174A	176A

จากนั้นจะแทนที่หลุม (H) ทั้งหมดด้วยจุดตัดภายใน ซึ่งตัวอักษร H ของโครโมโซมของพ่อ จากตารางที่ 4.34 จะเห็นได้ว่าอยู่ตำแหน่งที่ 7-12 จะถูกแทนที่ด้วยจุดตัดภายในของโครโมโซมแม่ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 1-6 แสดงดังตารางที่ 4.35 ส่วนตัวอักษร H ของโครโมโซมของแม่จะทำเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.35 แสดงคำตอบใหม่ของโครโมโซมพ่อและแม่ รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	63A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	66D	175A	178A	61A	62A	174A	176A	65C
แม่	177A	66D	175A	178A	61A	62A	63A	64A	179C	172A	171A	173A	65C	174A	176A

ขั้นตอนที่ 2.6 การค้นหาคำตอบให้ดีขึ้น โดยการกลายพันธ์ (Mutation) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์จะใช้วิธีสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) คือ การสุ่มแทรกตำแหน่ง เพื่อให้ได้ประชากรใหม่หรือโครโมโซมใหม่ เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งยีนของโครโมโซม แล้วทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่จะแทรกที่อยู่เป็นโครโมโซมพ่อหรือแม่ และทำการสุ่มเลือกยีนที่จะแทรกแล้วนำค่ายีนที่สุ่มได้ เข้ามาแทรกในตำแหน่งที่ถูกสุ่มไว้ โดยหลักการสุ่มแทรก 2 ตำแหน่งของตำแหน่งของยีน หรือเรียกว่าตำแหน่ง (x, y) โดยจะใช้การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) มาช่วยในการสุ่มแทรกตำแหน่ง เพื่อให้ได้พบคำตอบที่รวดเร็วขึ้น และเพื่อช่วยในการค้นหาการจัดเรียงกล่องสินค้าให้เป็นตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยเรียงจากกล่องใหญ่ไปกล่องเล็กได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้าจะอยู่ในขั้นตอนที่ 2.3 ที่ได้กล่าวมาเพื่อใช้ในการสุ่มแทรกตำแหน่ง และทำการเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) โดยจะเป็นการทำงานไปพร้อมกัน

ผู้วิจัยได้พิจารณาจำนวนกล่องสินค้าในรถขนส่ง โดยการใช้เกณฑ์การแบ่งช่วงจำนวน Mutation (b) ในการสุ่มแทรกตำแหน่ง ดังตารางที่ 4.24 ซึ่งในรถคันที่ 1 รอบที่ 1 มีกล่องสินค้าทั้งหมด 15 กล่อง ซึ่งตรงกับช่วงของจำนวนกล่องสินค้า (m) 13-15 กล่อง ใช้เกณฑ์การแบ่งช่วงจำนวน Mutation (b) ได้ 1-3 ครั้ง จากตารางที่ 4.36 ทำการค้นหาการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) ในรถคันที่ 1 รอบที่ $N = 2$ ของโครโมโซมลูก 1 อ้างอิงมาจากโครโมโซมพ่อ จะได้ช่วงจำนวน Mutation 3 ครั้ง โดยสุ่มรอบที่ 1 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 1 เป็นตำแหน่งถูกแทรก คือ 63A และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 15 คือ 65C ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ตำแหน่งที่ 15 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 1 จะเลื่อนมาทางขวา แล้วทำการสุ่มรอบที่ 2 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 1 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 3 คือ 64A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 12 และ 13 คือ 61A และ 62A ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 3 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) สำหรับตำแหน่งยีนที่ 12 คือ 61A และจะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left Fill (BLF) สำหรับตำแหน่งยีนที่ 13 คือ 62A ใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 3 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 3 จะเลื่อนมาทางขวา แล้วทำการสุ่มรอบที่ 3 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 2 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 2 คือ 63A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 11 คือ 66D ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 2 จะทำให้ตำแหน่งที่ 11 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 2 จะเลื่อนมาทางขวา เนื่องจากถูกแทรกตำแหน่งจึงทำการพิจารณาเกณฑ์การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยส่งลูกค้าลำดับแรกก่อน ซึ่งลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 1 คือ ลูกค้ารายที่ 6 และ 17 โดยลูกค้ารายที่ 17 เป็นลูกค้าลำดับแรกที่จะถูกจัดส่งสินค้าก่อนจะจัดกล่องสินค้าไว้นอกสุดของรถขนส่ง และส่งลำดับถัดไป คือ ลูกค้ารายที่ 6 จะถูกจัดไว้ในสุดของรถขนส่ง ซึ่งคำตอบของการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อในรอบที่ $N = 2$ จะได้ลูก 1 ดังการสุ่มรอบที่ 3 ดังตารางที่ 4.36 และดังรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.36 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อ รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	63A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	66D	175A	178A	61A	62A	174A	176A	65C
สุ่มรอบที่ 1	65C	63A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	66D	175A	178A	61A	62A	174A	176A
สุ่มรอบที่ 2	65C	63A	61A	62A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	66D	175A	178A	174A	176A
สุ่มรอบที่ 3	65C	66D	63A	61A	62A	64A	179C	172A	171A	172A	177A	175A	178A	174A	176A

ในส่วนรถคันที่ 1 รอบที่ $N = 2$ ของโครโมโซมลูก 2 จะได้ช่วงจำนวน Mutation 3 ครั้ง ได้ทำการสุ่มรอบที่ 1 อ้างอิงมาจากโครโมโซมแม่ โดยสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 1 ของแม่คือ 177A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 13 ของแม่คือ 65C ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ตำแหน่งที่ 13 จะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 1 จะเลื่อนมาทางขวา แล้วทำการสุ่มรอบที่ 2 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 1 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 15 คือ 176A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 4-5 คือ 175A และ 178A ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 15 จะทำให้ตำแหน่งที่ 4-5 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left Fill (BLF) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกัน คือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 15 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ แบบ Bottom-Left Fill (BLF) แล้วตำแหน่งที่ 15 จะเลื่อนมาทางซ้าย แล้วทำการสุ่มรอบที่ 3 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 2 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 9 คือ 172A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 2 คือ 177A ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 9 จะทำให้ตำแหน่งที่ 2 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 9 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left Fill (BLF) แล้วตำแหน่งที่ 9 จะเลื่อนมาทางขวา เนื่องจากถูกแทรกตำแหน่ง จึงทำการพิจารณาเกณฑ์การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยส่งลูกค้าลำดับแรกก่อน ซึ่งลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 1 คือ ลูกค้ารายที่ 6 และ 17 โดยลูกค้ารายที่ 17 เป็นลูกค้าลำดับแรกที่จะถูกจัดส่งสินค้าก่อนจะจัดกล่องสินค้าไว้นอกสุดของรถขนส่ง และส่งลำดับถัดไป คือ ลูกค้ารายที่ 6 จะถูกจัดไว้ในสุดของรถขนส่ง ซึ่งคำตอบของการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ในรอบที่ $N = 2$ จะได้ลูก 2 ดังการสุ่มรอบที่ 3 ดังตารางที่ 4.37 และดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.37 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
แม่	177A	66D	175C	178A	61A	62A	63A	64A	179A	172A	171A	173A	65A	174A	176A
สุ่มรอบที่ 1	65C	177A	66D	175A	178A	61A	62A	63A	64A	179C	172A	171A	173A	174A	176A
สุ่มรอบที่ 2	65C	177A	66D	61A	62A	63A	64A	179A	172A	171A	173A	174A	176A	175A	178A
สุ่มรอบที่ 3	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	177A	172A	171A	173A	174A	176A	175A	178A

เมื่อสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) เรียบร้อยจะทำการแทนที่ (Placement Heuristic) เนื่องจากมีการคำนึงถึงการจัดเส้นทางการขนส่ง จึงต้องพิจารณาด้วยว่ากล่องสินค้าของลูกค้าเป็นรายเดียวกันเรียงชิดติดกัน โดยจะต้องพิจารณาไปพร้อมกับการเลือกการแทนที่ตามเงื่อนไขที่กำหนด จากตารางที่ 4.27 กล่อง A เป็นการเลือกการแทนที่แบบ Bottom-Left (BL) และ Bottom-Left Fill (BLF) เนื่องจากลักษณะกล่องเป็นกล่องขนาดเล็กสุด สามารถแทรกบรรจุลงช่องว่างได้เรียกว่า “แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)” ส่วนกล่อง C คือ เป็นการแทนที่แบบ Bottom-Left Fill (BL) เนื่องจากลักษณะกล่องใหญ่สุดเหมาะสมกับ การเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ แต่จะไม่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ ส่วนกล่อง B และ D เป็นการแทนที่แบบ Bottom-Left Fill (BL), Bottom-Left Fill (BLF) และBottom-Left Fill Rotate (BLFR) เนื่องจากลักษณะกล่องขนาดกลาง ซึ่งกล่องเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา และสามารถแทรกได้ ซึ่งความหมายการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบต่าง ๆ จะแสดงดังตารางที่ 4.28 ในส่วนของการเลือกการแทนที่ (Placement Heuristic)

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) จากตารางที่ 4.38 โดยพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และลูก 2 (พื้นที่สีแดง) ทำการประเมินค่าความเหมาะสมดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.38 ประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 รอบที่ 2 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ลูก 1	65C	63A	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	173A	177A	175A	174A	176A
ลูก 2	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	177A	172A	171A	173A	174A	176A	175A	178A

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 (Max Fitness)

$$\textit{Max Fitness} = q_1 - c_1 - q_{1d}$$
$$= 3{,}150{,}000 - 3{,}000{,}000 - 60{,}000$$
$$= 90{,}000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

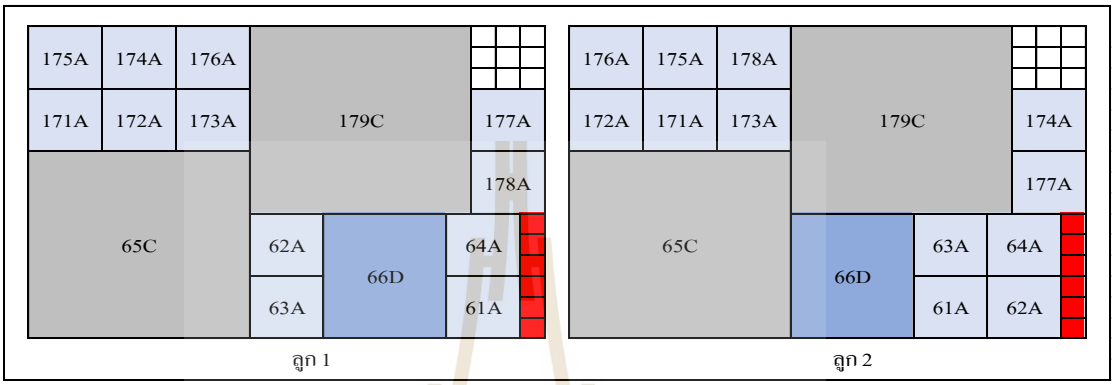
ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 2 (Max Fitness)

$$Max\ Fitness = q_1 - c_1 - q_{1d}$$

$$= 3{,}150{,}000 - 3{,}000{,}000 - 60{,}000$$

$$= 90{,}000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

เพราะฉะนั้น โครโมโซมลูก 1 และลูก 2 มีค่าความเหมาะสม



รูปที่ 4.11 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 2

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบพบว่าค่า Fitness ยังไม่ครบจำนวน $N = 100$ รอบ ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.11

ขั้นตอนที่ 2.11 เปรียบเทียบโครโมโซมลูก 1 หรือลูก 2 ก่อนหน้ากับปัจจุบันว่ามีค่า Fitness มากที่สุด นำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไป ทำการเปรียบเทียบโครโมโซมลูก 1 หรือลูก 2 จากตารางที่ 4.30 กรณีที่ประเมินค่าความเหมาะสมได้ค่าเท่ากัน ซึ่งในรอบการค้นหานี้ จากการประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 ได้ค่าความเหมาะสม 90,000 ตารางมิลลิเมตร จะทำการพิจารณาต่อโดยการดูจำนวนการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมของพ่อและแม่เทียบกันว่ามีการสุ่มแทรกตำแหน่งมากหรือน้อยกว่ากัน เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการเลือกค่าความหมาะสมสูงสุด ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาแล้วโครโมโซมของพ่อและแม่ การสุ่มแทรกตำแหน่ง 3 ครั้งเท่ากัน ตามตารางที่ 4.36 และ 4.37 ดังนั้นจะทำการเลือกโครโมโซมลูก 1 หรือลูก 2 เพื่อใช้ในการตั้งต้นเป็นโครโมโซมของพ่อในรอบการค้นหาถัดไป แล้วจะทำการวนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 2.2-2.12 ต่อไป และเพิ่มจำนวนรอบ $N = 2 + 1 = 3$

แสดงการค้นหารอบที่ 3 ($N = 3$) ของรถขนส่งคันที่ 1

จากการแสดงการค้นหาที่ผ่านมารอบที่ 2 ($N = 2$) เมื่อได้โครโมโซมลูกที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดที่ต้องการ จะทำการค้นหาต่อไปให้ครบเงื่อนไขที่กำหนด 100 รอบ ($N = 100$) ซึ่งในรอบต่อไปนี้จะเป็นแสดงการค้นหารอบที่ 3 ($N = 3$) เริ่มต้นทำตามขั้นตอนที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 2.2 เข้าสู่กระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการหาคำตอบเบื้องต้น โดยเป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของ การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เป็นการช่วยหาคำตอบให้ดีขึ้น ซึ่งจะแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้ตรงกับปัญหาเฉพาะแต่ละปัญหา ซึ่งขึ้นกับเงื่อนไขและข้อจำกัดนั้น ๆ จึงเรียกว่า วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) โดยจะทำให้การวิเคราะห์แก้ปัญหาที่หลากหลายได้ตรงจุดต่อไป

ขั้นตอนที่ 2.3 ทำการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า คือ การแก้ไขปัญหาโดยอาศัยหลักเกณฑ์ง่าย ๆ แบบสามัญสำนึกขึ้นอยู่กับการตัดสินใจ นำไปใช้กับสถานการณ์ที่ต้องการวางเป้าหมายไว้ตั้งแต่ต้น ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.17

ขั้นตอนที่ 2.4 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากรในรอบที่ 3 ทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ ส่วนโครโมโซมพ่อนำผลลัพธ์ที่เลือกไว้ในรอบที่แล้วมาตั้งต้นเป็นโครโมโซมพ่อ ดังนั้นเป็นการออกแบบโครโมโซมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของคำตอบ ได้ดังตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากร(โครโมโซมพ่อแม่) รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	66D	63A	61A	62A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	175A	178A	174A	176A
แม่	173A	63A	172A	64A	178A	171A	66D	176A	177A	174A	62A	61A	65C	179C	175A

ขั้นตอนที่ 2.5 การไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Order Crossover (OX) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เริ่มจากการสุ่มจุดตัดได้ตำแหน่งที่ 5 ถึง 7 จะแสดงเป็นเส้นประ และจะทำการแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นประ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นประ) ซึ่งในการค้นหารอบที่ 3 สามารถสุ่มได้ $j = 3$ ตำแหน่ง ซึ่งตรงกับโครโมโซมตำแหน่งที่ 5-7 จะแสดงอยู่ภายในเป็นเส้นประ และจะทำการแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นประ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นประ) ได้ดังตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.40 การไขว้เปลี่ยนแบบ OX และการสุ่มจุดตัด รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	66D	63A	61A	62A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	175A	178A	174A	176A
แม่	173A	63A	172A	64A	178A	171A	66D	176A	177A	174A	62A	61A	65C	179C	175A

ถ้ารหัสกล่องสินค้าของโครโมโซมพ่อจุดตัดภายในมีรหัสกล่องสินค้าซ้ำกับจุดตัดภายนอกของโครโมโซมแม่ ให้ทำการแทนที่ตำแหน่งในหลุม (Hole) หรือตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ H นั้น ๆ และรหัสกล่องสินค้าของโครโมโซมแม่กับพ่อทำการพิจารณาเช่นเดียวกัน ได้ดังตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 การแทนที่ตำแหน่งในหลุมด้วยตัวอักษร H รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	H	63A	61A	62A	64A	179C	172A	H	173A	177A	175A	H	174A	176A
แม่	173A	63A	172A	H	178A	171A	66D	176A	177A	174A	H	61A	65C	H	175A

แล้วทำการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน มีหลักดังนี้ ให้นำตำแหน่งจุดตัดภายในมาแทรกข้างหน้าสุด ถัดมาให้วางนำตำแหน่งที่เป็นหลุม และสุดท้ายให้นำกล่องสินค้าที่เหลือมาเรียงต่อตามลำดับ โดยโครโมโซมพ่อ จะเรียงจากตำแหน่งโครโมโซมที่ 8 และต่อด้วยตำแหน่งที่เหลือของจุดตัดภายนอก คือ ตำแหน่งที่ 10, 11, 12, 14, 15, 1, 5 และ 4 ตามลำดับ ซึ่งโครโมโซมแม่จะทำเช่นเดียวกัน ได้ดังตารางที่ 4.42

ตารางที่ 4.42 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	62A	64A	179C	H	H	H	172A	173A	177A	175A	174A	176A	65C	63A	61A
แม่	178A	171A	66D	H	H	H	176A	63A	174A	61A	65C	175A	173A	63A	172A

จากนั้นจะแทนที่หลุม (H) ทั้งหมดด้วยจุดตัดภายใน ซึ่งตัวอักษร H ของโครโมโซมของพ่อ จากตารางที่ 4.42 จะเห็นได้ว่าอยู่ตำแหน่งที่ 4-6 จะถูกแทนที่ด้วยจุดตัดภายในของโครโมโซมแม่ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 1-3 แสดงดังตารางที่ 4.43 ส่วนตัวอักษร H ของโครโมโซมของแม่จะทำเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.43 แสดงคำตอบใหม่ของโครโมโซมพ่อและแม่ รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	62A	64A	179C	178A	171A	66D	172A	173A	177A	175A	174A	176A	65C	63A	61A
แม่	178A	171A	66D	62A	64A	179C	176A	63A	174A	61A	65C	175A	173A	63A	172A

ขั้นตอนที่ 2.6 การค้นหาคำตอบให้ดีขึ้น โดยการกลายพันธ์ (Mutation) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์จะใช้วิธีสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) คือ การสุ่มแทรกตำแหน่ง เพื่อให้ได้ประชากรใหม่หรือโครโมโซมใหม่ เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งยีนของโครโมโซม

แล้วทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่จะแทรกที่อยู่เป็นโครโมโซมพ่อหรือแม่ และทำการสุ่มเลือกยีนที่จะแทรกแล้วนำค่ายีนที่สุ่มได้ เข้ามาแทรกในตำแหน่งที่ถูกสุ่มไว้ โดยหลักการสุ่มแทรก 2 ตำแหน่งของตำแหน่งของยีน หรือเรียกว่าตำแหน่ง (x, y) โดยจะใช้การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) มาช่วยในการสุ่มแทรกตำแหน่ง เพื่อให้ได้พบคำตอบที่รวดเร็วขึ้น และเพื่อช่วยในการค้นหาการจัดเรียงกล่องสินค้าให้เป็นตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยเรียงจากกล่องใหญ่ไปกล่องเล็กได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้าจะอยู่ในขั้นตอนที่ 2.3 ที่ได้กล่าวมาเพื่อใช้ในการสุ่มแทรกตำแหน่ง และทำการเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) โดยจะเป็นการทำงานไปพร้อมกัน

ผู้วิจัยได้พิจารณาจำนวนกล่องสินค้าในรถขนส่ง โดยการใช้เกณฑ์การแบ่งช่วงจำนวน Mutation (b) ในการสุ่มแทรกตำแหน่ง ดังตารางที่ 4.24 ซึ่งในรถคันที่ 1 รอบที่ $N = 3$ มีกล่องสินค้าทั้งหมด 15 กล่อง ซึ่งตรงกับช่วงของจำนวนกล่องสินค้า(m) 13-15 กล่อง ใช้เกณฑ์การแบ่งช่วงจำนวน Mutation (b) ได้ 1-3 ครั้ง จากตารางที่ 4.44 ทำการค้นหาการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) ในรถคันที่ 1 รอบที่ $N = 3$ (ลูก 1) อ้างอิงมาจากโครโมโซมพ่อ จะสุ่มได้ช่วงจำนวน Mutation 2 ครั้ง โดยสุ่มรอบที่ 1 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 1 เป็นตำแหน่งถูกแทรกเป็นโครโมโซมตำแหน่งที่ 1 ของพ่อคือ 62A เป็นตำแหน่งที่จะถูกแทรก ส่วนโครโมโซมตำแหน่งที่ 13-15 ของพ่อคือ 65C, 63A และ 62A ตามลำดับ ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ตำแหน่งที่ 13-14 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และตำแหน่งที่ 15 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์แบบ Bottom-Left Fill (BLF) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 1 จะเลื่อนมาทางขวาแล้วทำการสุ่มรอบที่ 2 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 1 เลือกตำแหน่งยีนที่ 3 คือ 61A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 9 คือ 66D ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 3 จะทำให้ตำแหน่งที่ 9 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) ใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 3 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 3 จะเลื่อนมาทางขวา เนื่องจากถูกแทรกตำแหน่ง จึงทำการพิจารณาเกณฑ์การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยส่งลูกค้าลำดับแรกก่อน ซึ่งลูกค้าในรถขนส่ง คันที่ 1 คือ ลูกค้ารายที่ 6 และ 17 โดยลูกค้ารายที่ 17 เป็นลูกค้าลำดับแรกที่จะถูกจัดส่งสินค้าก่อนจะจัดกล่อง

สินค้าไว้นอกสุดของรถขนส่ง และส่งลำดับถัดไป คือ ลูกค้ารายที่ 6 จะถูกจัดไว้ในสุดของรถขนส่ง ซึ่งคำตอบของการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อในรอบที่ $N = 3$ จะได้ลูก 1 ดังการสุ่มรอบที่ 2 ดังตารางที่ 4.44 และดังรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.44 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อ รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	62A	64A	179C	178A	171A	66D	172A	173A	177A	175A	174A	176A	65C	63A	61A
สุ่มรอบที่ 1	65C	63A	61A	62A	64A	179C	178A	171A	66D	172A	173A	177A	175A	174A	176A
สุ่มรอบที่ 2	65C	63A	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	173A	177A	175A	174A	176A

ในส่วนรถคันที่ 1 รอบที่ $N = 3$ ของโครโมโซมลูก 2 จะได้ช่วงจำนวน Mutation 3 ครั้ง ได้ทำการสุ่มรอบที่ 1 อ้างอิงมาจากโครโมโซมแม่ โดยสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 1 ของแม่คือ 178A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 11 ของแม่คือ 65C ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ตำแหน่งที่ 11 จะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 1 จะเลื่อนมาทางขวา แล้วทำการสุ่มรอบที่ 2 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 1 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 5 คือ 62A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 14 คือ 63A ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 5 จะทำให้ตำแหน่งที่ 14 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 5 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ แบบ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 5 จะเลื่อนมาทางขวา แล้วทำการสุ่มรอบที่ 3 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 2 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 12 คือ 61A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 4 คือ 66D ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 12 จะทำให้ตำแหน่งที่ 4 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 9 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 12 จะเลื่อนมาทางขวา เนื่องจากถูกแทรกตำแหน่ง จึงทำการพิจารณาเกณฑ์การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยส่งลูกค้าลำดับแรกก่อน ซึ่งลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 1 คือ ลูกค้ารายที่ 6

และ 17 โดยลูกค้ารายที่ 17 เป็นลูกค้าลำดับแรกที่จะถูกจัดส่งสินค้าก่อนจะจัดกล่องสินค้าไว้นอกสุดของรถขนส่ง และส่งลำดับถัดไป คือ ลูกค้ารายที่ 6 จะถูกจัดไว้ในสุดของรถขนส่ง ซึ่งคำตอบของการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ในรอบที่ $N = 3$ จะได้ลูก 2 ดังการสุ่มรอบที่ 3 ดังตารางที่ 4.45 และดังรูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.45 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	178A	171A	66D	62A	64A	179C	176A	63A	174A	61A	65C	175A	173A	63A	172A
สุ่มรอบที่ 1	65C	178A	171A	66D	62A	64A	179C	176A	177A	174A	61A	175A	173A	63A	172A
สุ่มรอบที่ 2	65C	178A	171A	66D	63A	62A	64A	179A	176A	177A	174A	61A	175A	173A	172A
สุ่มรอบที่ 3	65C	178A	171A	61A	66D	63A	62A	64A	179C	176A	177A	174A	175A	173A	172A

เมื่อสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) เรียบร้อย จะทำการแทนที่ (Placement Heuristic) เนื่องจากมีการคำนึงถึงการจัดเส้นทางการขนส่ง จึงต้องพิจารณาด้วยว่ากล่องสินค้าของลูกค้าเป็นรายเดียวกันเรียงชิดติดกัน โดยจะต้องพิจารณาไปพร้อมกับการเลือกการแทนที่ตามเงื่อนไขที่กำหนด จากตารางที่ 4.27 กล่อง A เป็นการเลือกการแทนที่แบบ Bottom-Left (BL) และBottom-Left Fill (BLF) เนื่องจากลักษณะกล่องเป็นกล่องขนาดเล็กสุด สามารถแทรกบรรจุลงช่องว่างได้เรียกว่า “แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)” ส่วนกล่อง C คือ เป็นการแทนที่แบบ Bottom-Left Fill (BL) เนื่องจากลักษณะกล่องใหญ่สุดเหมาะสมกับ การเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ แต่จะไม่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ ส่วนกล่อง B และ D เป็นการแทนที่แบบ Bottom-Left Fill (BL), Bottom-Left Fill (BLF) และBottom-Left Fill Rotate (BLFR) เนื่องจากลักษณะกล่องขนาดกลาง ซึ่งกล่องเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา และสามารถแทรกได้ ซึ่งความหมายการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบต่าง ๆ จะแสดงดังตารางที่ 4.28 ในส่วนของการเลือกการแทนที่ (Placement Heuristic)

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) จากตารางที่ 4.46 โดยแสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ q_{1d} ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 3 ทำการประเมินค่าความเหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 4.46 แสดงประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 รอบที่ 3 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ลูก 1	65C	63A	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	173A	177A	175A	174A	176A
ลูก 2	65C	178A	171A	61A	66D	63A	62A	64A	179C	176A	177A	174A	175A	173A	172A

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 (Max Fitness)

$$Max\ Fitness = q_1 - c_1 - q_{1d}$$

$$= 3{,}150{,}000 - 3{,}000{,}000 - 60{,}000$$

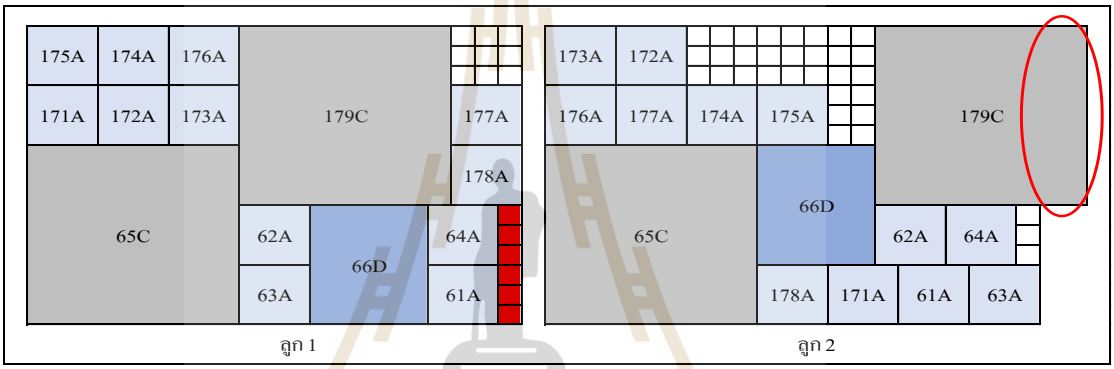
$$= 90{,}000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 2 (Max Fitness)

$$Max\ Fitness = q_1 - c_1 - q_{1d}$$

= ไม่สามารถจัดเรียงได้ (ตามที่วงกลมไว้ดังรูปที่ 4.12)

เพราะฉะนั้น โครโมโซมลูก 1 มีค่าความเหมาะสม และลูก 2 ไม่มีค่าความเหมาะสม



รูปที่ 4.12 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 3

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบพบว่าค่า Fitness ยังไม่ครบจำนวน $N = 100$ รอบ ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.11

ขั้นตอนที่ 2.11 เปรียบเทียบโครโมโซมลูก 1 หรือลูก 2 ก่อนหน้ากับปัจจุบันว่ามีค่า Fitness มากที่สุด นำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไป ทำการเปรียบเทียบโครโมโซมลูก 1 หรือลูก 2 จากตารางที่ 4.30 ซึ่งในการกลายพันธ์ดูจำนวนการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมของพ่อและแม่เทียบกันว่ามีการสุ่มแทรกตำแหน่งมากหรือน้อยกว่ากัน เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการเลือกค่าความหมาะสมสูงสุด ซึ่งในขั้นตอนที่ 2.7 จากการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดได้ค่าคำตอบใหม่เป็นลูก 1 คือ 90,000 ตารางมิลลิเมตร และลูก 2 ไม่สามารถจัดเรียงได้ (ไม่มีค่าความเหมาะสม) จึงทำการเลือกโครโมโซมลูก 1 เป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไป เมื่อได้คำตอบแล้วจะทำการวนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 2.2-2.12 ต่อไป และเพิ่มจำนวนรอบไปเรื่อย ๆ จนถึงเงื่อนไขที่กำหนดไว้

แสดงการค้นหารอบที่ 100 ($N = 100$) ของรถขนส่งคันที่ 1

จากการแสดงการค้นหาที่ผ่านมา เมื่อได้โครโมโซมลูกที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดที่ต้องการ จะทำการค้นหาต่อไปให้ครบเงื่อนไขที่กำหนด 100 รอบ ($N = 100$) ซึ่งในรอบต่อไปนี้จะเป็นแสดงการค้นหารอบที่ 100 ($N = 100$) เริ่มต้นทำตามขั้นตอนที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 2.2 เข้าสู่กระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) รอบที่ $N = 100$ โดยผู้วิจัยได้ใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการหาคำตอบเบื้องต้นโดยเป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เป็นการช่วยหาคำตอบให้ดีขึ้น ซึ่งจะแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ให้ตรงกับปัญหาเฉพาะแต่ละปัญหา ซึ่งขึ้นกับเงื่อนไขและข้อจำกัดนั้น ๆ จึงเรียกว่า วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) โดยจะทำให้การวิเคราะห์แก้ปัญหาที่หลากหลายได้ตรงจุดต่อไป

ขั้นตอนที่ 2.3 ทำการเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า คือ การแก้ไขปัญหาโดยอาศัยหลักเกณฑ์ง่าย ๆ แบบสามัญสำนึกขึ้นอยู่กับการตัดสินใจนำไปใช้กับสถานการณ์ที่ต้องการวางเป้าหมายไว้ตั้งแต่ต้น ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.17

ขั้นตอนที่ 2.4 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากรในรอบที่ 100 ทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ ส่วนโครโมโซมพ่อนำผลลัพธ์ที่เลือกไว้ในรอบที่แล้วมาตั้งต้นเป็นโครโมโซมพ่อ ดังนั้น เป็นการออกแบบโครโมโซมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของคำตอบได้ดังตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 การสุ่มสร้างกลุ่มประชากร(โครโมโซมพ่อแม่) รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	63A	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	173A	177A	175A	174A	176A
แม่	62A	174A	177A	179C	175A	173A	63A	64A	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A

ขั้นตอนที่ 2.5 การไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Order Crossover (OX) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ เริ่มจากการสุ่มจุดตัดได้ตำแหน่งที่ 6 ถึง 7 จะแสดงเป็นเส้นประและจะทำการแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นประ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นประ) ซึ่งในการค้นหารอบที่ 100 สามารถสุ่มได้ $j = 2$ ตำแหน่ง ซึ่งตรงกับโครโมโซมตำแหน่งที่ 6-7 จะแสดงอยู่ภายในเป็นเส้นประ และจะทำการแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นประ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นประ) ได้ดังตารางที่ 4.48

ตารางที่ 4.48 การไขว้เปลี่ยนแบบ OX และการสุ่มจุดตัด รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	63A	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	173A	177A	175A	174A	176A
แม่	62A	174A	177A	179C	175A	173A	63A	64A	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A

ถ้ารหัสกล่องสินค้าของโครโมโซมพ่อจุดตัดภายในมีรหัสกล่องสินค้าซ้ำกับจุดตัดภายนอกของโครโมโซมแม่ ให้ทำการแทนที่ตำแหน่งในหลุม (Hole) หรือตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ H นั้น ๆ และรหัสกล่องสินค้าของโครโมโซมแม่กับพ่อทำการพิจารณาเช่นเดียวกัน ได้ดังตารางที่ 4.49

ตารางที่ 4.49 การแทนที่ตำแหน่งในหลุม ด้วยตัวอักษร H รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	65C	H	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	H	177A	175A	174A	176A
แม่	62A	174A	177A	H	175A	173A	63A	H	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A

แล้วทำการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน มีหลักดังนี้ ให้นำตำแหน่งจุดตัดภายในมาแทรกข้างหน้าสุด ถัดมาให้วางนำตำแหน่งที่เป็นหลุม และสุดท้ายให้นำกล่องสินค้าที่เหลือมาเรียงต่อตามลำดับ โดยโครโมโซมพ่อจะเรียงจากตำแหน่งโครโมโซมที่ 8 และต่อด้วยตำแหน่งที่เหลือของจุดตัดภายนอก คือ ตำแหน่งที่ 9, 10, 12, 13, 14, 15, 1, 3 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งโครโมโซมแม่จะทำเช่นเดียวกันได้ดังตารางที่ 4.50

ตารางที่ 4.50 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	64A	179C	H	H	178A	64A	179C	177A	175A	174A	176A	65C	66D	61A	62A
แม่	173A	63A	H	H	172A	173A	63A	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A

จากนั้นจะแทนที่หลุม (H) ทั้งหมดด้วยจุดตัดภายใน ซึ่งตัวอักษร H ของโครโมโซมของพ่อ จากตารางที่ 4.50 จะเห็นได้ว่าอยู่ตำแหน่งที่ 6-7 จะถูกแทนที่ด้วยจุดตัดภายในของโครโมโซมแม่ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 1-2 แสดงดังตารางที่ 4.51 ส่วนตัวอักษร H ของโครโมโซมของแม่จะทำเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4.51 แสดงคำตอบใหม่ของโครโมโซมพ่อและแม่ รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	64A	179C	173A	63A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	65C	66D	61A	62A
แม่	173A	63A	64A	179C	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A

ขั้นตอนที่ 2.6 การค้นหาคำตอบให้ดีขึ้น โดยการกลายพันธ์ (Mutation) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์จะใช้วิธีสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) คือ การสุ่มแทรกตำแหน่ง เพื่อให้ได้ประชากรใหม่หรือโครโมโซมใหม่ เป็นการเปลี่ยนตำแหน่งยีนของโครโมโซมแล้วทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่จะแทรกที่อยู่เป็นโครโมโซมพ่อหรือแม่ และทำการสุ่มเลือกยีนที่จะแทรกแล้วนำค่ายีนที่สุ่มได้ เข้ามาแทรกในตำแหน่งที่ถูกสุ่มไว้ โดยหลักการสุ่มแทรก 2 ตำแหน่งของตำแหน่งของยีน หรือเรียกว่าตำแหน่ง (x, y) โดยจะใช้การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) มาช่วยในการสุ่มแทรกตำแหน่ง เพื่อให้ได้พบคำตอบที่รวดเร็วขึ้น และเพื่อช่วยในการค้นหาการจัดเรียงกล่องสินค้าให้เป็นตามเงื่อนไขที่กำหนดโดยเรียงจากกล่องใหญ่ไปกล่องเล็กได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้าจะอยู่ในขั้นตอนที่ 2.3 ที่ได้กล่าวมาเพื่อใช้ในการสุ่มแทรกตำแหน่ง และทำการเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) โดยจะเป็นการทำงานไปพร้อมกัน

ผู้วิจัยได้พิจารณาจำนวนกล่องสินค้าในรถขนส่ง โดยการใช้เกณฑ์การแบ่งช่วงจำนวน Mutation (b) ในการสุ่มแทรกตำแหน่ง ดังตารางที่ 4.24 ซึ่งในรถคันที่ 1 รอบที่ $N = 100$ มีกล่องสินค้าทั้งหมด 15 กล่อง ซึ่งตรงกับช่วงของจำนวนกล่องสินค้า (m) 13-15 กล่อง ใช้เกณฑ์การแบ่งช่วงจำนวน Mutation (b) ได้ 1-3 ครั้ง จากตารางที่ 4.52 ทำการค้นหาการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) ในรถคันที่ 1 รอบที่ $N = 100$ (ลูก 1) อ้างอิงมาจากโครโมโซมพ่อจะสุ่มได้ช่วงจำนวน Mutation 2 ครั้ง โดยสุ่มรอบที่ 1 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 2 เป็นตำแหน่งถูกแทรก เป็นโครโมโซมตำแหน่งที่ 2 ของพ่อคือ 179C เป็นตำแหน่งที่จะถูกแทรก ส่วนโครโมโซมตำแหน่งที่ 4 ของพ่อคือ 63A ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 2 จะทำให้ตำแหน่งที่ 4 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 2 จะเลื่อนมาทางขวา แล้วทำการสุ่มรอบที่ 2 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 1 เลือกตำแหน่งยีนที่ 3 คือ 179C เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 12-15 คือ 65C, 66D, 61A และ 62A ตามลำดับทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 3 จะทำให้ตำแหน่งที่ 12-13 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และตำแหน่งที่ 14-15 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left Fill (BLF) ใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 3 ซึ่งจะเลือกการ

แทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 3 จะเลื่อนมาทางขวา แล้วทำการสุ่มรอบที่ 3 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 2 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 1 คือ 64A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 3 คือ 65C ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ตำแหน่งที่ 3 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกัน คือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 1 จะเลื่อนมาทางขวา เนื่องจากถูกแทรกตำแหน่ง จึงทำการพิจารณาเกณฑ์การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยส่งลูกค้าลำดับแรกก่อน ซึ่งลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 1 คือ ลูกค้ารายที่ 6 และ 17 โดยลูกค้ารายที่ 17 เป็นลูกค้าลำดับแรกที่จะถูกจัดส่งสินค้าก่อนจะจัดกล่องสินค้าไว้นอกสุดของรถขนส่ง และส่งลำดับถัดไป คือ ลูกค้ารายที่ 6 จะถูกจัดไว้ในสุดของรถขนส่ง ซึ่งคำตอบของการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อในรอบที่ $N = 100$ จะได้ลูก 1 ดังการสุ่มรอบที่ 3 ดังตารางที่ 4.52 และดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.52 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมพ่อ รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
พ่อ	64A	179C	173A	63A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	65C	66D	61A	62A
สุ่มรอบที่ 1	64A	63A	179C	173A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	65C	66D	61A	62A
สุ่มรอบที่ 2	64A	63A	65C	66D	61A	62A	179C	173A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A
สุ่มรอบที่ 3	65C	64A	63A	66D	61A	62A	179C	173A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A

ในส่วนรถคันที่ 1 รอบที่ $N = 100$ ของโครโมโซมลูก 2 จะได้ช่วงจำนวน Mutation 3 ครั้ง ได้ทำการสุ่มรอบที่ 1 อ้างอิงมาจากโครโมโซมแม่ โดยสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 4 ของแม่คือ 179C เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 6-7 ของแม่คือ 66D และ65C ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 4 จะทำให้ตำแหน่งที่ 6-7 จะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 4 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 4 จะเลื่อนมาทางขวา แล้วทำการสุ่มรอบที่ 2 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 1 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 1 คือ 173A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 2-5 คือ 63A, 64A, 66D และ 65C ตามลำดับ ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ตำแหน่งที่ 2-5 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้

จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 1 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ แบบ Bottom-Left (BL) แล้ว ตำแหน่งที่ 1 จะเลื่อนมาทางขวา แล้วทำการสุ่มรอบที่ 3 อ้างอิงมาจากการสุ่มรอบที่ 2 สุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 5 คือ 173A เป็นตำแหน่งถูกแทรก และทำการสุ่มเลือกตำแหน่งยีนที่ 11-15 คือ 61A, 62A, 174A, 177A และ 175A ทำการแทรกไปยังตำแหน่งที่จะถูกแทรกในตำแหน่งที่ 5 จะทำให้ตำแหน่งที่ 11-15 จะได้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) แบบ Bottom-Left (BL) และใช้หลักการของลำดับการส่งสินค้าก่อนหลัง เนื่องจากเป็นกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกัน คือ ลูกค้ารายที่ 6 กล่องสินค้าจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ จะแทนที่ในตำแหน่งที่ 5 ซึ่งจะเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะได้ Bottom-Left (BL) แล้วตำแหน่งที่ 5 จะเลื่อนมาทางขวา เนื่องจากถูกแทรกตำแหน่ง จึงทำการพิจารณาเกณฑ์การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยส่งลูกค้าลำดับแรกก่อน ซึ่งลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 1 คือ ลูกค้ารายที่ 6 และ 17 โดยลูกค้ารายที่ 17 เป็นลูกค้าลำดับแรกที่จะถูกจัดส่งสินค้าก่อนจะจัดกล่องสินค้าไว้นอกสุดของรถขนส่ง และส่งลำดับถัดไป คือ ลูกค้ารายที่ 6 จะถูกจัดไว้ในสุดของรถขนส่ง ซึ่งคำตอบของการสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ในรอบที่ $N = 100$ จะได้ลูก 2 ดังการสุ่มรอบที่ 3 ดังตารางที่ 4.53 และดังรูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.53 การสุ่มแทรกตำแหน่งของโครโมโซมแม่ รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
แม่	173A	63A	64A	179C	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A
สุ่มรอบที่ 1	173A	63A	64A	66D	65C	179C	172A	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A
สุ่มรอบที่ 2	63A	64A	66D	65C	179C	173A	172A	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A
สุ่มรอบที่ 3	63C	64A	66D	65C	61A	62A	179C	173A	172A	171A	178A	176A	174A	177A	175A

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) จากตารางที่ 4.54 โดยแสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 100 ทำการประเมินค่าความเหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 4.54 แสดงประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 รอบที่ 100 ของรถคันที่ 1

โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ลูก 1	65C	64A	63A	66D	61A	62A	179C	173A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A
ลูก 2	63A	64A	66D	65C	61A	62A	179C	173A	172A	171A	178A	176A	174A	177A	175A

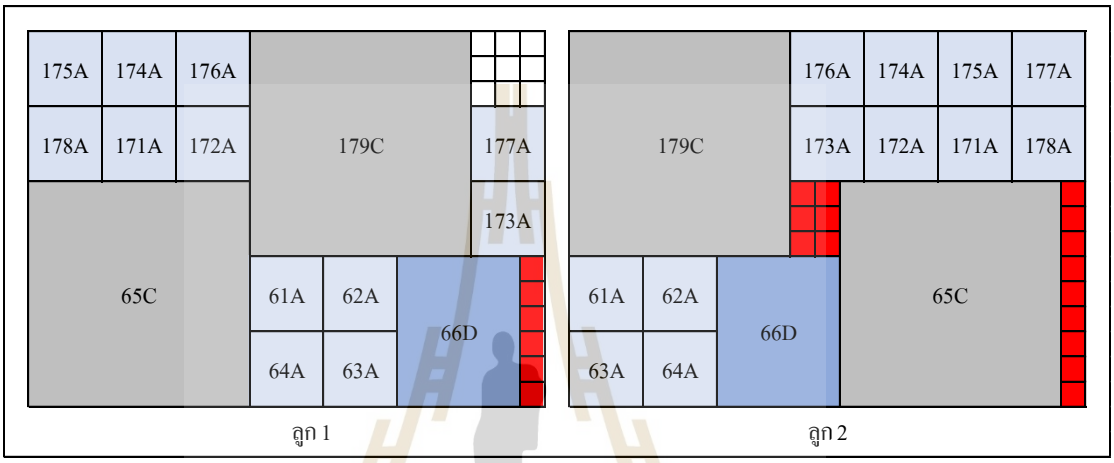
ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 (Max Fitness)

$$\begin{aligned} \textit{Max Fitness} &= q_1 - c_1 - q_{1d} \\ &= 3{,}150{,}000 - 3{,}000{,}000 - 60{,}000 \\ &= 90{,}000 \text{ ตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 2 (Max Fitness)

$$Max\ Fitness = q_1 - c_1 - q_{1d}$$
$$= 3{,}150{,}000 - 3{,}000{,}000 - 150{,}000$$
$$= 0 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

เพราะฉะนั้น โครโมโซมลูก 1 และลูก 2 มีค่าความเหมาะสม



รูปที่ 4.13 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ (q_{1d}) ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 100

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบพบว่าค่า Fitness ครบจำนวน $N = 100$ รอบให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.10

ขั้นตอนที่ 2.10 ทำการจัดเรียงกล่องสินค้าลงบนรถขนส่งคันที่ $k = 1$ โดยเบื้องต้นได้ทำการค้นหาคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า ซึ่งได้จากขั้นตอนที่ 2.3 ดังตารางที่ 4.17 และขั้นตอนที่ 2.6 ดังตารางที่ 4.24 ซึ่งนำวิธีการมารวมกัน เพื่อแบ่งลักษณะการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบเจาะจง ดังตารางที่ 4.55 และความหมาย ดังตารางที่ 4.56 นี้จะทำการค้นหาการแทนที่ฮิวริสติกส์แบบเฉพาะเจาะจงมากขึ้น ซึ่งจะได้ลักษณะเจาะจงของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ในการจัดเรียงกล่องสินค้าลงรถขนส่ง โดยจะต้องพิจารณาการจัดเรียงกล่องสินค้าให้ลูกค้ารายเดียวกันต้องเรียงชิดติดกัน ซึ่งจากตารางที่ 4.55 ประเภทของกล่อง A ในการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) คือ Best Fit (BF) และBottom-Left Fill (BLF) ตามลำดับ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบเจาะจง คือ Best Fit Bottom-Left (BFBL) และ Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF) ซึ่งรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4.56 ส่วนประเภทของกล่อง B

จากตารางที่ 4.55 ในการคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์คือ Best Fit (BF) และ Bottom-Left Fill Rotate (BLFR) ตามลำดับ สามารถแบ่งลักษณะการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบเจาะจง คือ Best Fit Bottom-Left (BFBL), Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF), Best Fit Bottom-Left Rotate (BFBLR) และ Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR) ซึ่งรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4.56 ส่วนประเภทของกล่อง C จากตารางที่ 4.55 ในการคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์คือ First Fit (FF) และ Bottom-Left (BL) ตามลำดับ สามารถแบ่งลักษณะการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบเจาะจง คือ First Fit Bottom-Left (FFBL) ซึ่งรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4.56 และส่วนประเภทของกล่อง D จากตารางที่ 4.55 ในการคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์ คือ Best Fit (BF) และ Bottom-Left Fill Rotate (BLFR) ตามลำดับ สามารถแบ่งลักษณะการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบเจาะจง คือ Best Fit Bottom-Left (BFBL), Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF), Best Fit Bottom-Left Rotate (BFBLR) และ Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR) ซึ่งรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4.56 หลังจากนั้นทำการจัดเรียงกล่องสินค้าลงบนรถขนส่งและพิจารณาการคัดเลือกฮิวริสติกส์และการแทนที่ฮิวริสติกส์ โดยจะต้องพิจารณาการจัดเรียงกล่องสินค้าให้ลูกค้ารายเดียวกันต้องเรียงชิดติดกัน ซึ่งการพิจารณาการวางกล่องสินค้าลงรถขนส่งดังตารางที่ 4.57 ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.12

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.55 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ที่เหมาะสมกับประเภทกล่องสินค้า

ประเภทกล่องสินค้า	การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic)	การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)	แบ่งลักษณะการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบเจาะจง
A	Best Fit (BF)	Bottom-Left Fill (BLF)	BFBL
			BFBLF
B	Best Fit (BF)	Bottom-Left Fill Rotate (BLFR)	BFBL
			BFBLF
			BFBLR
			BFBLFR
C	First Fit (FF)	Bottom-Left (BL)	FFBL
D	Best Fit (BF)	Bottom-Left Fill Rotate (BLFR)	BFBL
			BFBLF
			BFBLR
			BFBLFR

ตารางที่ 4.56 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย

การคัดเลือกฮิวริสติกส์และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic and Placement Heuristic)	ความหมายของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic and Placement Heuristic)
First Fit Bottom-Left (FFBL)	การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) โดยเลือกพื้นที่แรกที่บรรจุได้และมีขนาดใหญ่เพียงพอกับพื้นที่ที่ต้องการบรรจุ แต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้พิจารณาพื้นที่ถัดไป และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้

ตารางที่ 4.56 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย (ต่อ)

การคัดเลือกฮิวริสติกส์และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic and Placement Heuristic)	**ความหมายของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic and Placement Heuristic)**
Best Fit Bottom-Left (BFBL)	การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) โดยเลือกพื้นที่แรกที่บรรจุได้และมีขนาดใหญ่เพียงพอกับพื้นที่ที่ต้องการบรรจุ แต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้พิจารณาพื้นที่ถัดไป และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้
Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)	การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) เลือกพื้นที่บรรจุที่เหมาะสมที่สุด ทำการค้นหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่บรรจุว่างที่มีขนาดเท่ากันแต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ ให้ทำการพิจารณาคันถัดไปและการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ลักษณะกล่องเหมาะสมกับการเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็ก กล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่าแก็ปฟิลลิง (Gap Filling)
Best Fit Bottom-Left Rotate (BFBLR)	การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) เลือกพื้นที่บรรจุที่เหมาะสมที่สุด ทำการค้นหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่บรรจุว่างที่มีขนาดเท่ากันแต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ให้ทำการพิจารณาคันถัดไป และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)ลักษณะกล่องเหมาะสมกับ การเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบน เลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ สามารถหมุน 90 องศาได้

ตารางที่ 4.56 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) และความหมาย (ต่อ)

การคัดเลือกฮิวริสติกส์และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic and Placement Heuristic)	**ความหมายของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic and Placement Heuristic)**
Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)	เลือกพื้นที่บรรจุที่เหมาะสมที่สุด ทำการค้นหาพื้นที่ว่างทั้งหมดเพื่อหาพื้นที่บรรจุว่างที่มีขนาดเท่ากันแต่ถ้าพื้นที่ไม่สามารถบรรจุได้ ให้ทำการพิจารณาคันถัดไป และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic)ลักษณะกล่องเหมาะสมกับ การเรียงลำดับจากขนาดใหญ่ไปเล็กกล่องจะถูกนำเข้าจากรถมุมขวาบนเลื่อนไปล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ สามารถหมุน 90 องศาได้ แต่สามารถบรรจุลงช่องว่างได้ เรียกว่า แก็ปฟิลลิง (Gap Filling)

ตารางที่ 4.57 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1

ลำดับการวางกล่องสินค้าที่	**กล่องสินค้า**	**ประเภทกล่องสินค้า**				**การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์**						
						แบ่งประเภทกล่องสินค้า						
						A		**C**	**B, D**			
		A	**B**	**C**	**D**	**Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)**		**First Fit Bottom-Left Fill (FFBLF)**	**Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)**			
						BFBL	**BFBLF**	**FFBL**	**BFBL**	**BFBLF**	**BFBLR**	**BFBLF**
1	65C			✓				✓				
2	64A	✓				✓						
3	63A	✓				✓						
4	66D				✓				✓			
5	61A	✓					✓					

ตารางที่ 4.57 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

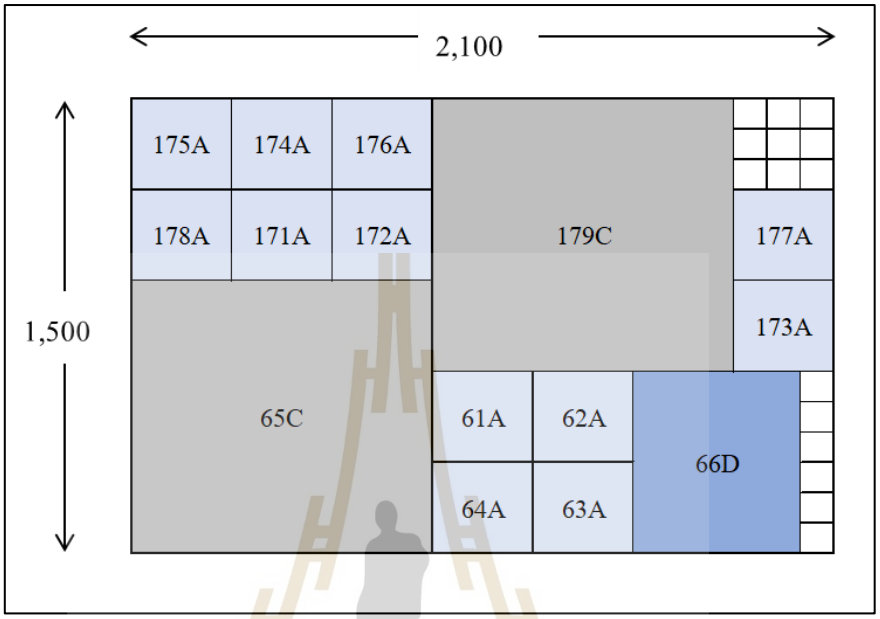
ลำดับการวางกล่องสินค้าที่	กล่องสินค้า	ประเภทกล่องสินค้า				การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์							
						แบ่งประเภทกล่องสินค้า							
						A		C	B, D				
		A	B	C	D	Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)		First Fit Bottom-Left Fill (FFBLF)	Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)			
						BFBL	BFBLF	FFBL	BFBL	BFBLF	BFBL	BFBLF
6	62A	✓					✓					
7	179C			✓				✓				
8	173A	✓				✓						
9	178A	✓					✓					
10	171A	✓					✓					
11	172A	✓					✓					
12	177A	✓				✓						
13	175A	✓					✓					
14	174A	✓					✓					
15	176A	✓					✓					
ประเมินค่าสูงสุด (Max Fitness ความเหมาะสม)								90,000 ตารางมิลลิเมตร				

ขั้นตอนที่ 2.12 ตรวจสอบว่าสามารถจัดเรียงกล่องสินค้าได้ครบคลัสเตอร์ของรถขนส่งใช่หรือไม่ จากการตรวจสอบได้ครบคลัสเตอร์ จึงทำต่อข้อ 2.13

ขั้นตอนที่ 2.13 ได้ผลลัพธ์และทำการหยุดกระบวนการ (Stop Criteria)

ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 1 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 6 และ 17 รวมทั้งหมด 3,000,000 ตารางมิลลิเมตร จากการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด ได้เลือกลูก 1 มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 90,000 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 60,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ค.20

และได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-6-17-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า รูปที่ 4.14 แสดงภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 1



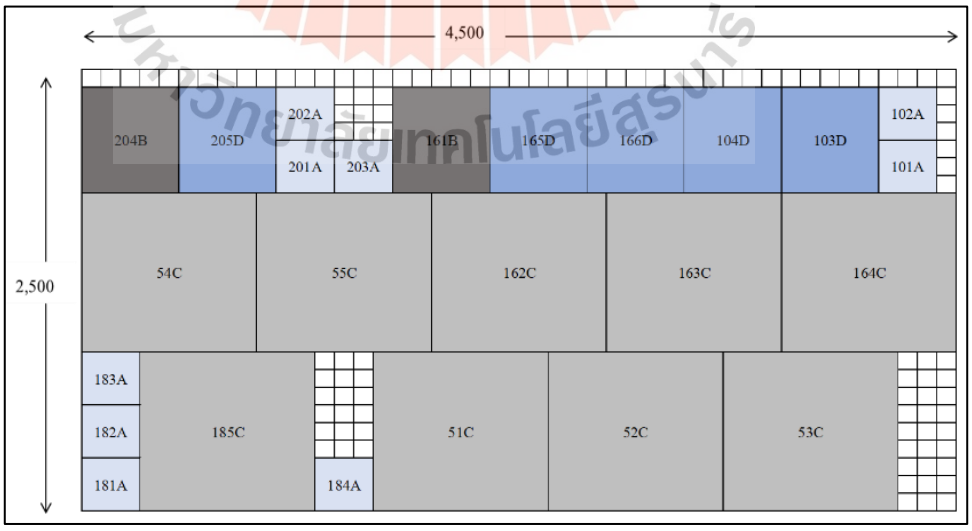
รูปที่ 4.14 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 1

4.3.2.2 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2

จากการรับข้อมูลของการจัดเรียงเส้นทางการขนส่ง ลูกค้าคนแรกของรถขนส่งคันที่ $k = 2$ เริ่มต้นลูกค้าทั้งหมดของรถขนส่งคันที่ 2 คือ 5, 10, 16, 18 และ 20 มีกล่องสินค้าจำนวน 5, 4, 6, 5 และ 5 กล่องตามลำดับ ตามตารางข้อมูลที่ 4.4 ข้อมูลแสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ตามตารางที่ ข.5 ของรถคันที่ 2 รอบที่ 100 สรุปว่า เมื่อทำการสุ่มครบจำนวน $N = 100$ แล้วจะเห็นได้ว่า มีกล่องสินค้าทั้งหมด 25 กล่อง เริ่มต้นทำการเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.17 ต่อไปจะได้โครโมโซมพ่อตั้งต้นมาจากรอบที่ $N = 99$ และทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ ต่อไปทำการสุ่มจุดตัดได้ตำแหน่งที่ 5-12 และเข้าสู่กระบวนการไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Order Crossover (OX) คือ พยายามรักษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งเดิมก่อนหลังของยีนต่าง ๆ ในโครโมโซมให้มีลำดับเหมือน ๆ เดิม เมื่อทำกระบวนการนี้เรียบร้อยแล้ว เข้าสู่การค้นหาคำตอบให้ดีขึ้นโดยการกลายพันธ์ (Mutation) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ใช้วิธีการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation)

พิจารณาใช้จำนวนกล่องสินค้าในรถขนส่งเป็นช่วงการแบ่งช่วงการสุ่มแทรกตำแหน่งได้ช่วงการสุ่มแทรกตำแหน่ง 1-7 ครั้ง ดังตารางที่ 4.24 และเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.27 โดยวิธีการสุ่มแทรกตำแหน่ง และเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะทำงานไปพร้อมกัน ซึ่งโครโมโซมพ่อและแม่จะสุ่มแทรกตำแหน่งได้ 6 และ 7 ครั้งตามลำดับ จะได้ลูก 1 และลูก 2 ตามลำดับ ทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) พบว่า ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 และลูก 2 (Max Fitness) ได้ค่า 540,000 ตารางมิลลิเมตร และไม่พบค่าความเหมาะสม (หมายความว่า ไม่สามารถจัดเรียงกล่องสินค้าได้) ตามลำดับ ดังนั้น จึงทำการเลือกค่าความเหมาะสมมากที่สุดและสามารถจัดเรียงสินค้าลงรถขนส่งได้ ดังนั้น เลือกค่าความเหมาะสมสูงสุดคือ ลูก 1 คือ 181A, 185C, 182A, 183A, 184A, 51C, 52C, 53C, 54C, 55C, 162C, 163C, 164C, 161B, 165D, 166D, 204B, 205D, 202A, 201A, 203A, 104D, 103D, 101A และ 102A นำมาพิจารณาในการจัดเรียงลงรถขนส่ง โดยได้พิจารณาจากการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ดังตารางที่ 4.58 เพื่อใช้ในการจัดเรียงกล่องสินค้าลงรถขนส่งต่อไป

เพราะฉะนั้น รถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร จะได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-18-5-16-20-10-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 5, 10, 16, 18 และ 20 รวมทั้งหมด 10,200,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 540,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ค.21 และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 510,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ 4.15 แสดงภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 2



รูปที่ 4.15 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 2

ตารางที่ 4.58 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2

ลำดับการวางกล่องสินค้าที่	กล่องสินค้า	ประเภทกล่องสินค้า				การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์						
						แบ่งประเภทกล่องสินค้า						
						A		C	B, D			
		A	B	C	D	Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)		First Fit Bottom-Left Fill (FFBLF)	Best Fit Bottom–Left Fill Rotate (BFBLFR)			
						BFBL	BFBLF	FFBL	BFBL	BFBLF	BFBL	BFBLF
1	181A	✓				✓						
2	185C			✓				✓				
3	182A	✓					✓					
4	183A	✓					✓					
5	184A	✓				✓						
6	51C			✓				✓				
7	52C			✓				✓				
8	53C			✓				✓				
9	54C			✓				✓				
10	55C			✓				✓				
11	162C			✓				✓				
12	163C			✓				✓				
13	164C			✓				✓				
14	161B		✓						✓			
15	165D				✓				✓			
16	166D				✓				✓			
17	204B		✓							✓		
18	205D				✓					✓		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.58 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

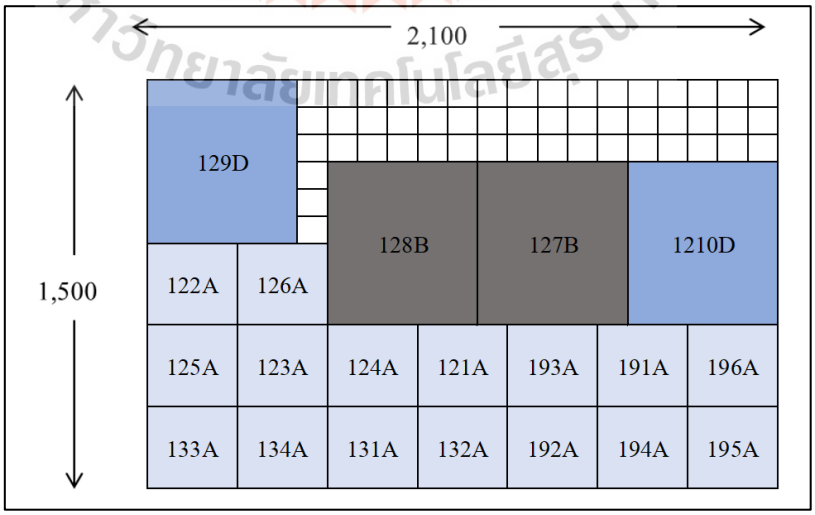
ลำดับการวางกล่องสินค้าที่	กล่องสินค้า	ประเภทกล่องสินค้า				การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์							
						แบ่งประเภทกล่องสินค้า							
						A		C	B, D				
		A	B	C	D	Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)		First Fit Bottom-Left Fill (FFBLF)	Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)			
						BFBL	BFBLF	FFBL	BFBL	BFBLF	BFBL	BFBLF
19	202A	✓					✓					
20	201A	✓					✓					
21	203A	✓					✓					
22	104D				✓				✓			
23	103D				✓				✓			
24	101A	✓				✓						
25	102A	✓				✓						
ประเมินค่าสูงสุด (Max Fitness ความเหมาะสม)								540,000 ตารางมิลลิเมตร				

4.3.2.3 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3

จากการรับข้อมูลของการจัดเรียงเส้นทางการขนส่ง ลูกค้าคนแรกของรถขนส่งคันที่ $k = 3$ เริ่มต้นลูกค้าทั้งหมดของรถขนส่งคันที่ 3 คือ 12, 13 และ 19 มีกล่องสินค้าจำนวน 10, 4 และ 6 กล่องตามลำดับ ตามตารางข้อมูลที่ 4.4 ข้อมูลแสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ตามตารางที่ ข.6 ของรถคันที่ 3 รอบที่ 100 สรุปว่า เมื่อทำการสุ่มครบจำนวน $N = 100$ แล้วจะเห็นได้ว่า มีกล่องสินค้าทั้งหมด 20 กล่อง เริ่มต้นทำการเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.17 ต่อไปจะได้โครโมโซมพ่อตั้งต้นมาจากรอบที่ $N = 99$ และทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ ต่อไปทำการสุ่มจุดตัดได้ตำแหน่งที่ 10-14 และเข้าสู่กระบวนการไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Order Crossover (OX) คือ พยายามรักษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งเดิมก่อนหลังของยีนต่าง ๆ ในโครโมโซมให้มีลำดับ

เหมือน ๆ เดิม เมื่อทำกระบวนการนี้เรียบร้อยแล้ว เข้าสู่การค้นหาคำตอบให้ดีขึ้น โดยการกลายพันธ์ (Mutation) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ใช้วิธีการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) พิจารณาใช้จำนวนกล่องสินค้าในรถขนส่งเป็นช่วงการแบ่งช่วงการสุ่มแทรกตำแหน่ง ได้ช่วงการสุ่มแทรกตำแหน่ง 1-5 ครั้ง ดังตารางที่ 4.24 และเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.27 โดยวิธีการสุ่มแทรกตำแหน่ง และเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะทำงานไปพร้อมกัน ซึ่งโครโมโซมพ่อและแม่จะสุ่มแทรกตำแหน่งได้ 3 และ 5 ครั้งตามลำดับ จะได้ลูก 1 และลูก 2 ตามลำดับ ทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) พบว่า ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 และลูก 2 (Max Fitness) ได้ค่า 450,000 ตารางเซนติเมตร ทั้งลูก 1 และลูก 2 ดังนั้น จึงทำการเลือกค่าความเหมาะสมมากที่สุดและสามารถจัดเรียงสินค้าลงรถขนส่งได้ ดังนั้น เลือกค่าความเหมาะสมสูงสุดคือ ลูก 2 คือ 133A, 134A, 131A, 132A, 192A, 194A, 195A, 193A, 191A, 196A, 125A, 123A, 124A, 121A, 122A, 126A, 128B, 127B, 1210D นำมาพิจารณาในการจัดเรียงลงรถขนส่ง โดยได้พิจารณาจากการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ดังตารางที่ 4.59 เพื่อใช้ในการจัดเรียงกล่องสินค้าลงรถขนส่งต่อไป

เพราะฉะนั้น รถขนส่งคันที่ 3 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร จะได้เส้นทางการขนส่ง คือ 0-13-19-12-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 12, 13 และ 19 รวมทั้งหมด 2,640,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 450,000 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 330,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ค.22 และแสดงภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 3 ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 3

ตารางที่ 4.59 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3

ลำดับการวางกล่องสินค้าที่	กล่องสินค้า	ประเภทกล่องสินค้า				การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์						
						แบ่งประเภทกล่องสินค้า						
						A		C	B, D			
		A	B	C	D	Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)		First Fit Bottom-Left Fill (FFBLF)	Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)			
						BFBL	BFBLF	FFBL	BFBL	BFBLF	BFBL	BFBLF
1	133A	✓				✓						
2	134A	✓				✓						
3	131A	✓				✓						
4	132A	✓				✓						
5	192A	✓				✓						
6	194A	✓				✓						
7	195A	✓				✓						
8	193A	✓				✓						
9	191A	✓				✓						
10	196A	✓				✓						
11	125A	✓				✓						
12	123A	✓				✓						
13	124A	✓				✓						

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.59 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

ลำดับการวางกล่องสินค้าที่	กล่องสินค้า	ประเภทกล่องสินค้า				การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์						
						แบ่งประเภทกล่องสินค้า						
						A		C	B, D			
		A	B	C	D	Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)		First Fit Bottom-Left Fill (FFBLF)	Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)			
						BFBL	BFBLF	FFBL	BFBL	BFBLF	BFBL	BFBLF
14	121A	✓				✓						
15	122A	✓				✓						
16	126A	✓				✓						
17	128B		✓						✓			
18	127B		✓						✓			
19	1210D				✓				✓			
20	129D				✓					✓		
ประเมินค่าสูงสุด (Max Fitness ความเหมาะสม)								540,000 ตารางมิลลิเมตร				

4.3.2.4 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4

จากการรับข้อมูลของการจัดเรียงเส้นทางการขนส่ง ลูกค้าคนแรกของรถขนส่งคันที่ $k = 4$ เริ่มต้นลูกค้าทั้งหมดของรถขนส่งคันที่ 4 คือ 8 และ 15 มีกล่องสินค้าจำนวน 5 และ 5 กล่องตามลำดับ ตามตารางข้อมูลที่ 4.4 ข้อมูลแสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ตามตารางที่ ข.7 ของรถคันที่ 4 รอบที่ 100 สรุปว่า เมื่อทำการสุ่มครบจำนวน $N = 100$ แล้วจะเห็นได้ว่า มีกล่องสินค้าทั้งหมด 10 กล่อง เริ่มต้นทำการเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.17 ต่อไปจะได้โครโมโซมพ่อตั้งต้นมาจากรอบที่ $N = 99$ และทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ ต่อไปทำการสุ่มจุดตัดได้ตำแหน่งที่ 5-7 และเข้าสู่กระบวนการไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Order Crossover (OX) คือพยายามรักษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งเดิมก่อนหลังของยีนต่าง ๆ ในโครโมโซมให้มีลำดับ

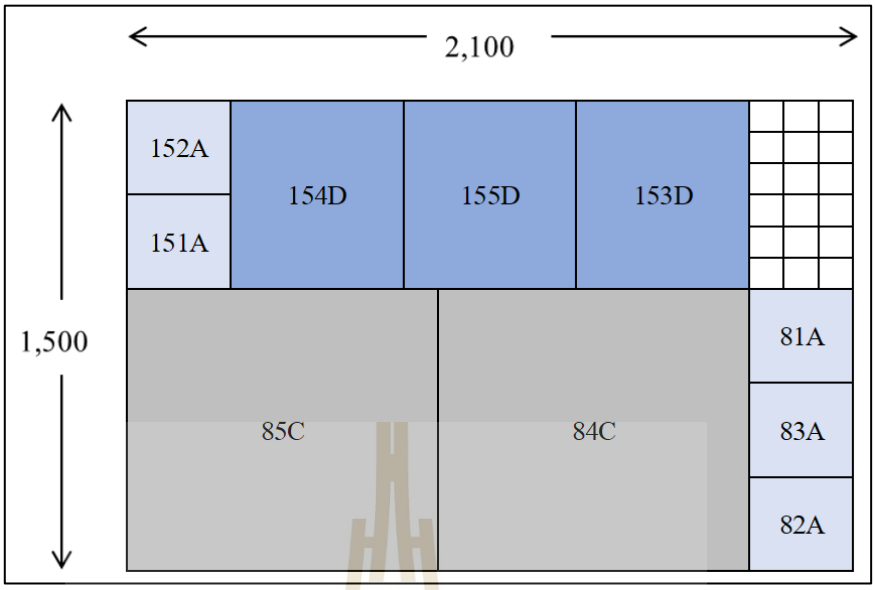
เหมือน ๆ เดิม เมื่อทำกระบวนการนี้เรียบร้อยแล้ว เข้าสู่การค้นหาคำตอบให้ดีขึ้น โดยการกลายพันธ์ (Mutation) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ใช้วิธีการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation)พิจารณาใช้จำนวนกล่องสินค้าในรถขนส่งเป็นช่วงการแบ่งช่วงการสุ่มแทรกตำแหน่ง ได้ช่วงการสุ่มแทรกตำแหน่ง 2-4 ครั้ง ดังตารางที่ 4.24 และเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.27 โดยวิธีการสุ่มแทรกตำแหน่ง และเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะทำงานไปพร้อมกัน ซึ่งโครโมโซมพ่อและแม่จะสุ่มแทรกตำแหน่งได้ 3 และ 2 ครั้งตามลำดับ จะได้ลูก 1 และลูก 2 ตามลำดับ ทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) พบว่า ประเมิน ค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก1 และลูก 2 (Max Fitness) ได้ค่า 180,000 ตารางมิลลิเมตร ทั้งลูก 1 และลูก 2 ดังนั้น จึงทำการเลือกค่าความเหมาะสมมากที่สุดและสามารถจัดเรียงสินค้าลงรถขนส่งได้ ดังนั้นเลือกค่าความเหมาะสมสูงสุดคือ ลูก 2 คือ 85C, 84C, 82A, 83A, 81A, 151A, 154D, 155D, 152A และ 153D นำมาพิจารณาในการจัดเรียงลงรถขนส่ง โดยได้พิจารณาจากการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ดังตารางที่ 4.60 เพื่อใช้ในการจัดเรียงกล่องสินค้าลงรถขนส่งต่อไป

เพราะฉะนั้น รถขนส่งคันที่ 4 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร จะได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-8-15-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 8 และ 15 รวมทั้งหมด 2,970,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 180,000 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 0 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ค.23 และแสดงภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 4 ดังรูปที่ 4.17

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.60 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4

ลำดับการวางกล่องสินค้าที่	กล่องสินค้า	ประเภทกล่องสินค้า				การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์							
						แบ่งประเภทกล่องสินค้า							
						A		C	B, D				
		A	B	C	D	Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)		First Fit Bottom-Left Fill (FFBLF)	Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)			
						BFBL	BFBLF	FFBL	BFBL	BFBLF	BFBL	BFBLF
1	85C			✓				✓				
2	84C			✓				✓				
3	82A	✓				✓						
4	83A	✓				✓						
5	81A	✓				✓						
6	151A	✓				✓						
7	154D				✓				✓			
8	155D				✓				✓			
9	152A	✓							✓			
10	153D				✓				✓			
ประเมินค่าสูงสุด (Max Fitness ความเหมาะสม)								180,000 ตารางมิลลิเมตร				



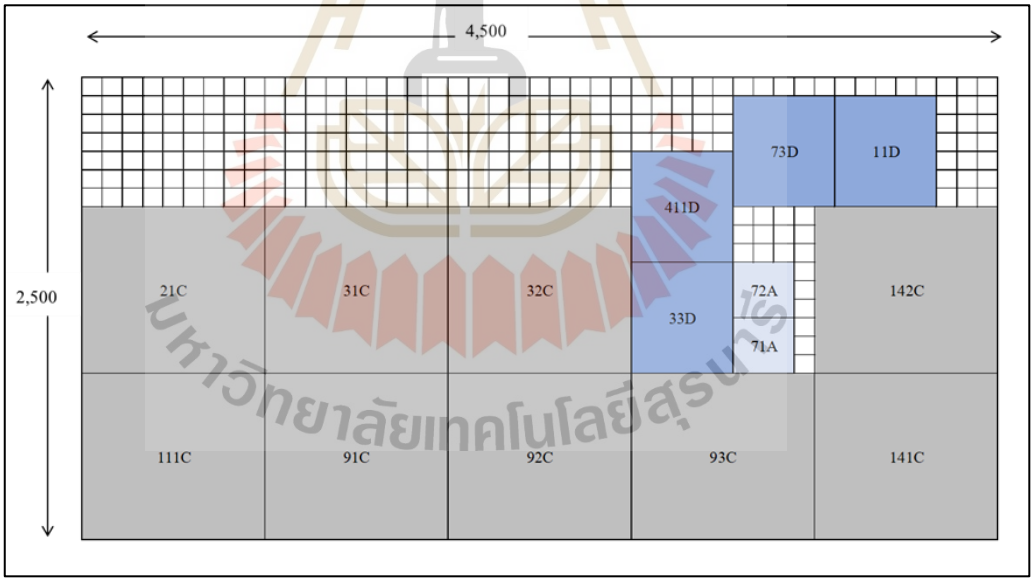
รูปที่ 4.17 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 4

4.3.2.5 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5

จากการรับข้อมูลของการจัดเรียงเส้นทางการขนส่ง ลูกค้าคนแรกของรถขนส่งคันที่ $k = 5$ เริ่มต้นลูกค้าทั้งหมดของรถขนส่งคันที่ คือ 8 และ 15 มีกล่องสินค้าจำนวน 5 และ 5 กล่องตามลำดับ ตามตารางข้อมูลที่ 4.4 ข้อมูลแสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ตามตารางที่ ข.8 ของรถคันที่ 5 รอบที่ 100 สรุปว่า เมื่อทำการสุ่มครบจำนวน $N = 100$ แล้วจะเห็นได้ว่า มีกล่องสินค้าทั้งหมด 10 กล่อง เริ่มต้นทำการเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) ที่เหมาะสมกับลักษณะกล่องสินค้า ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.17 ต่อไปจะได้โครโมโซมพ่อตั้งต้นมาจากรอบที่ $N = 99$ และทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ ต่อไปทำการสุ่มจุดตัดได้ตำแหน่งที่ 5-8 และเข้าสู่กระบวนการไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Order Crossover (OX) คือพยายามรักษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งเดิมก่อนหลังของยีนต่างๆในโครโมโซมให้มีลำดับเหมือน ๆ เดิม เมื่อทำกระบวนการนี้เรียบร้อยแล้ว เข้าสู่การค้นหาคำตอบให้ดีขึ้น โดยการกลายพันธ์ (Mutation) ของวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ใช้วิธีการสุ่มแทรกตำแหน่ง (Insertion Mutation) พิจารณาใช้จำนวนกล่องสินค้าในรถขนส่งเป็นช่วงการแบ่งช่วงการสุ่มแทรกตำแหน่ง ได้ช่วงการสุ่มแทรกตำแหน่ง 2-6 ครั้ง ดังตารางที่ 4.24 และเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ซึ่งกำหนดไว้ดังตารางที่ 4.27 โดยวิธีการสุ่มแทรกตำแหน่ง และเลือกการแทนที่ฮิวริสติกส์จะทำงานไปพร้อมกัน ซึ่งโครโมโซมพ่อและแม่จะสุ่มแทรกตำแหน่งได้ 3 ครั้งเท่ากัน จะได้ลูก 1 และลูก 2 ตามลำดับ ทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) พบว่า ประเมินค่าความเหมาะสม

สูงสุดของลูก 1 และลูก 2 (Max Fitness) ได้ค่า 204,000 ตารางมิลลิเมตร และไม่พบค่าความเหมาะสม (หมายความว่า ไม่สามารถจัดเรียงกล่องสินค้าได้) ตามลำดับ ดังนั้น จึงทำการเลือกค่าความเหมาะสมมากที่สุดและสามารถจัดเรียงสินค้าลงรถขนส่งได้ ดังนั้น เลือกค่าความเหมาะสมสูงสุดคือ ลูก 1 คือ 111C, 91C, 92C, 93C, 141C, 142C, 21C, 31C, 32C, 33D, 41D, 73D, 71A, 72A และ 11D นำมาพิจารณาในการจัดเรียงลงรถขนส่ง โดยได้พิจารณาจากการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ดังตารางที่ 4.61 เพื่อใช้ในการจัดเรียงกล่องสินค้าลงรถขนส่งต่อไป

เพราะฉะนั้น รถขนส่งคันที่ 5 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร จะได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-11-9-14-2-3-4-7-1-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4, 7, 9, 11, และ 14 รวมทั้งหมด 8,670,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 2,040,000 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 540,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ค.24 และแสดงภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 5 ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ภาพรวมการจัดเรียงของรถคันที่ 5

ตารางที่ 4.61 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5

ลำดับการวางกล่องสินค้าที่	กล่องสินค้า	ประเภทกล่องสินค้า				การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์							
						แบ่งประเภทกล่องสินค้า							
						A		C	B, D				
		A	B	C	D	Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)		First Fit Bottom-Left Fill (FFBLF)	Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)			
						BFBL	BFBLF	FFBL	BFBL	BFBLF	BFBL	BFBLF
1	111C			✓				✓				
2	91C			✓				✓				
3	92C			✓				✓				
4	93C			✓				✓				
5	141C			✓				✓				
6	142C			✓				✓				
7	21C			✓				✓				
8	31C			✓				✓				
9	32C			✓				✓				
10	33D				✓					✓		
11	41D				✓					✓		
12	73D				✓				✓			
13	71A	✓					✓					

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.61 การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และการแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ใช้ในการวางกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5 (ต่อ)

ลำดับการวางกล่องสินค้าที่	กล่องสินค้า	ประเภทกล่องสินค้า				การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และการแทนที่ฮิวริสติกส์						
						แบ่งประเภทกล่องสินค้า						
						A		C	B, D			
		A	B	C	D	Best Fit Bottom-Left Fill (BFBLF)		First Fit Bottom-Left Fill (FFBLF)	Best Fit Bottom-Left Fill Rotate (BFBLFR)			
						BFBL	BFBLF	FFBL	BFBL	BFBLF	BFBL	BFBLF
14	72A	✓					✓					
15	11D				✓				✓			
ประเมินค่าสูงสุด (Max Fitnessความเหมาะสม)								2,040,000 ตารางมิลลิเมตร				

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.3.2.6 สรุปผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งทุกคัน

ตารางที่ 4.62 การจัดเรียงกล่องสินค้าด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์

จำนวนกล่องสินค้าและการจัดเรียงกล่องสินค้าด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์	**รถขนส่งคันที่ k**					**รวม**
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	
1	65C	181A	133A	85C	111C	
2	64A	185C	134A	84C	91C	
3	63A	182A	131A	82A	92C	
4	66D	183A	132A	83A	93C	
5	61A	184A	192A	81A	141C	
6	62A	51C	194A	151A	142C	
7	179C	52C	195A	154D	21C	
8	173A	53C	193A	155D	31C	
9	178A	54C	191A	152A	32C	
10	171A	55C	196A	153D	33D	
11	172A	162C	125A		41D	
12	177A	163C	123A		73D	
13	175A	164C	124A		71A	
14	174A	161B	121A		72A	
15	176A	165D	122A		11D	
16		166D	126A			
17		204B	128B			
18		205D	127B			
19		202A	1210D			
20		201A	129D			
21		203A				
22		104D				
23		103D				
24		101A				
25		102A				
Max Fitness (ตร.มม.)	90,000	540,000	450,000	180,000	2,040,000	3,300,000

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง โดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการหาคำตอบเบื้องต้น โดยเป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เป็นการช่วยหาคำตอบให้ดีขึ้น ในการค้นหาคำตอบหรือผลลัพธ์และนำวิธีฮิวริสติกส์ใช้ให้ตรงกับปัญหา ซึ่งขึ้นกับเงื่อนไขและข้อจำกัดนั้น ๆ ของลักษณะหรือปัญหาของกล่องสินค้า เพื่อนำมารวมกับวิธี GA ให้เป็นวิธีเดียวกันในการจัดเรียงกล่องสินค้า จึงเรียกว่าวิธี Hyper Heuristic จะได้ผลลัพธ์ทั้งหมดของรถขนส่งสินค้าคันที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 จะทำการแสดง ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า รอบทั้งหมด 100 รอบ ของค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) หมายความว่า พื้นที่ที่เหลือใช้ประโยชน์สูงสุดของรถขนส่งแต่ละคัน ของรถขนส่งคันที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 คือ 90,000, 540,000, 450,000, 180,000 และ 2,040,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับและมีลำดับการจัดเรียงกล่องสินค้าลงรถขนส่ง ดังตารางที่ 4.62 และผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการค้นหาคำตอบ 100 รอบแสดงข้อมูลดังภาคผนวก ง และส่วนหน้าต่างของโปรแกรม MATLAB แสดงดังรูปที่ 4.19

รูปที่ 4.19 แสดงการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ของการจัดกล่องสินค้า

4.3.3 สรุปผลของการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

ตารางที่ 4.63 ผลรายละเอียดการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

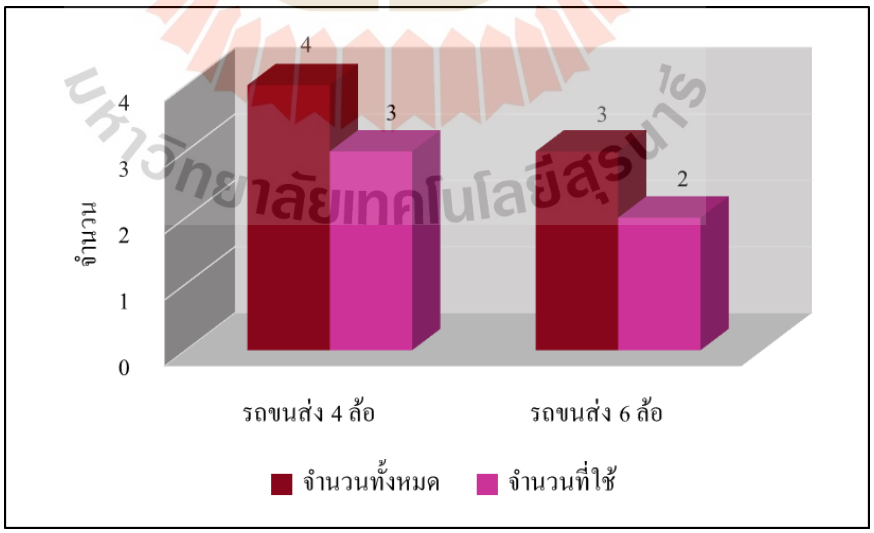
รถขนส่งคันที่ k	Max Fitness (ตร.มม.)	พื้นที่รถขนส่ง (ตร.มม.)	พื้นที่กล่องสินค้า (ตร.มม.)	พื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (ตร.มม.)	ประเภทรถขนส่ง	การจัดเส้นทางการขนส่ง	รวมระยะทางลูกค้าไปกลับ (กิโลเมตร)	ต้นทุนการขนส่ง (4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร)
1	90,000	3,150,000	3,000,000	60,000	4 ล้อ	0-17-6-0	28.57	114
2	540,000	11,250,000	10,200,000	510,000	6 ล้อ	0-10-20-16-5-18-0	51.07	204
3	450,000	3,150,000	2,640,000	60,000	4 ล้อ	0-12-19-13-0	31.77	127
4	180,000	3,150,000	2,970,000	0	4 ล้อ	0-15-8-0	33.32	133
5	2,040,000	11,250,000	8,670,000	540,000	6 ล้อ	0-1-7-4-3-2-14-9-11-0	113.40	454
รวม	3,300,000	31,950,000	27,480,000	1,170,000	5 คัน	5 เส้นทาง	258.13	1,033

การจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ร่วมกับวิธีการกวาด (The Sweep Approach) ทิศทวนเข็มนาฬิกา และการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งโดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นการหาคำตอบเบื้องต้น โดยเป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของ การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ เป็นการช่วยหาคำตอบให้ดีขึ้น ในการแก้ปัญหาพบว่า การจัดเส้นทางขนส่งและการเรียงกล่องสินค้าจะเรียงลูกค้ารายที่ส่งก่อนไปยังลูกค้ารายสุดท้ายตามลำดับ แล้วพิจารณาด้วยว่าระยะทางระหว่างลูกค้าอีกรายไปยังลูกค้าอีกราย ต้องมีระยะทางห่างกันไม่เกิน 50 กิโลเมตร ถึงจะจัดเส้นทางการขนส่งได้

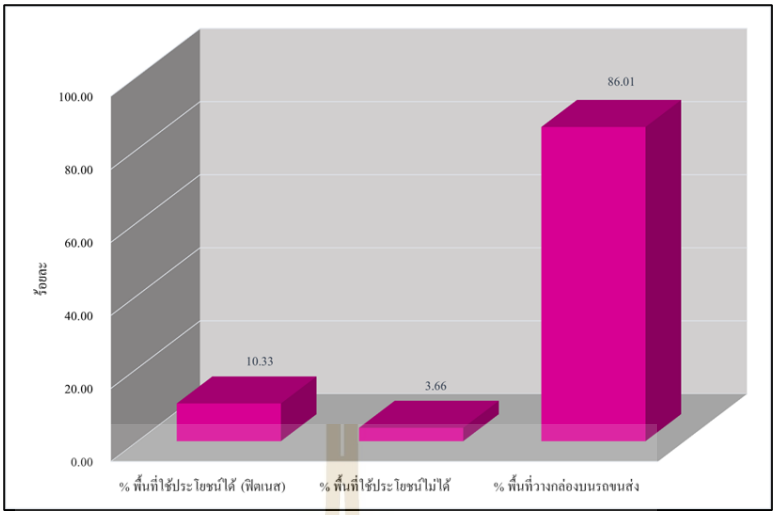
พบว่ามีรถขนส่งทั้งหมด 7 คัน ใช้รถขนส่ง 4 ล้อ ทั้งหมด 4 คัน และใช้รถขนส่ง 6 ล้อ 2 คัน รวมรถขนส่งที่ใช้บรรจุสินค้าทั้งสิ้น 5 คัน แสดงดังรูปที่ 4.20 ดังนั้น ผลของการจัดเส้นทางการขนส่ง และการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งทุกคัน ดังตารางที่ 4.63

มีรถขนส่งประเภท 4 ล้อมีพื้นที่ขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร พบว่าทำการจัดเส้นทางขนส่งได้คันที่ 1, 3 และ 4 โดยมีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-17-6-0, 0-12-19-13-0 และ 0-15-8-0 ตามลำดับ แล้วมีระยะทางขนส่งไปกลับศูนย์กระจายสินค้า คือ 28.57, 31.77 และ 33.32 กิโลเมตรตามลำดับ ส่วนต้นทุนการขนส่ง คือ 114, 127 และ 133 บาทตามลำดับ ส่วนพื้นที่รวมของกล่องสินค้าแต่ละคัน คือ 3,000,000, 2,640,000 และ 2,970,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละทั้งหมด 86.01 ดังรูปที่ 4.21 ส่วนพื้นที่ที่เหลือใช้ประโยชน์สูงสุดของรถขนส่งแต่ละคัน (Max Fitness) คือ 90,000, 450,000 และ180,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละทั้งหมด 10.33 ดังรูปที่ 4.21 และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้บนรถขนส่งรวมทุกคัน คือ 60,000, 60,000 และ 0 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละทั้งหมด 3.66 ดังรูปที่ 4.21

ส่วนรถขนส่งประเภท 6 ล้อ 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร พบว่าทำการจัดเส้นทางขนส่งได้คันที่ 2 และ 5 โดยมีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-10-20-16-5-18-0 และ 0-1-7-4-3-2-14-9-11-0 ตามลำดับ แล้วมีระยะทางขนส่งไปกลับศูนย์กระจายสินค้า คือ 51.07 และ 113.4 กิโลเมตรตามลำดับ ส่วนต้นทุนการขนส่ง คือ 204 และ 454 บาท ตามลำดับ ส่วนพื้นที่รวมของกล่องสินค้าแต่ละคัน คือ 10,200,000 และ 8,670,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่เหลือใช้ประโยชน์สูงสุดของรถขนส่งแต่ละคัน (Max Fitness) คือ 540,000 และ 2,040,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้บนรถขนส่งรวมทุกคัน คือ 510,000 และ 540,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 แสดงการสรุปจำนวนรถขนส่งที่ใช้ในการจัดเส้นทางการขนส่ง



รูปที่ 4.21 แสดงการสรุปร้อยละของพื้นที่รถขนส่งที่ใช้ในการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP) และการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) แบบสองมิติ (2D) บนรถขนส่ง โดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า โดยทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของ การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ โดยหาแนวทางการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยใช้จำนวนรถขนส่งให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งแต่ละคันให้เหลือที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาในส่วนการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ร่วมกับวิธีการกวาด (The Sweep Approach) จะพิจารณารถขนส่งหลายขนาด โดยมีรถขนส่ง 2 ประเภท 4 และ 6 ล้อ ในการขนส่งกล่องสินค้า มีคลังสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) แล้วรถขนส่งจะออกจากคลังสินค้าพร้อมกันมากกว่า 1 คัน ส่วนการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (วิธีทางพันธุกรรมและฮิวริสติกส์) แบบสองมิติ จะพิจารณาประเภทของกล่องสินค้ามี 2 ประเภท คือ กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส (กล่อง A และ C) และกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า (กล่อง B และ D) สามารถหมุนได้ 90 องศา และมีกล่องสินค้าทั้งหมด 85 กล่อง ซึ่งนำโปรแกรม MATLAB ช่วยแก้ไขปัญหานี้

โดยผลการศึกษาพบว่า ของการจัดเส้นทางการขนส่ง และการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งทุกคัน ดังตารางที่ 4.22 พบว่ามีรถขนส่งทั้งหมด 7 คัน ใช้รถขนส่ง 4 ล้อ ทั้งหมด 4 คัน และใช้รถขนส่ง 6 ล้อ 2 คัน รวมรถขนส่งที่ใช้บรรจุสินค้าทั้งสิ้น 5 คัน โดยรถขนส่งประเภท 4 ล้อมีพื้นที่ขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร พบว่าทำการจัดเส้นทางขนส่งได้คันที่ 1, 3 และ 4 โดยมีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-17-6-0, 0-12-19-13-0 และ 0-15-8-0 ตามลำดับ แล้วมีระยะทางขนส่งไปกลับศูนย์กระจายสินค้า คือ 28.57, 31.77 และ 33.32 กิโลเมตรตามลำดับ ส่วนพื้นที่รวมของกล่องสินค้าแต่ละคัน คือ 3,000,000, 2,640,000 และ 2,970,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่เหลือใช้ประโยชน์สูงสุดของรถขนส่งแต่ละคัน (Max Fitness) คือ 90,000, 450,000 และ18,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้บนรถขนส่งรวมทุกคัน คือ 60,000, 60,000 และ 0 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนรถขนส่งประเภท 6 ล้อ 1,1250,000 ตารางมิลลิเมตร

พบว่าทำการจัดเส้นทางขนส่งได้คันที่ 2 และ 5 โดยมีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-10-20-16-5-18-0 และ 0-1-7-4-3-2-14-9-11-0 ตามลำดับ แล้วมีระยะทางขนส่งไปกลับศูนย์กระจายสินค้า คือ 51.07 และ 113.4 กิโลเมตรตามลำดับ ส่วนพื้นที่รวมของกล่องสินค้าแต่ละคัน คือ 10,200,000 และ 8,670,000 ตารางมิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่เหลือใช้ประโยชน์สูงสุดของรถขนส่งแต่ละคัน (Max Fitness) คือ 540,000 และ 204,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้บนรถขนส่งรวมทุกคัน คือ 510,000 และ 540,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการศึกษาในส่วนปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (VRP) และการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) นั้น ในการจัดเส้นทางการขนส่งใช้รถทั้งหมด 5 คันจากรถขนส่งรวมทั้งสิ้น 7 คัน มีระยะทางรวม คือ 258.13 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งจะได้ 1,033 บาท มีพื้นที่รถขนส่งรวมทุกคัน คือ 31,950,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่การจัดเรียงกล่องสินค้ารวมทุกคัน คือ 27,480,000 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 86.01 ของพื้นที่รถขนส่งรวมทุกคัน ส่วนของการจัดเรียงกล่องทำการประมวลผลโปรแกรม 100 รอบ มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ (Max Fitness) รวมทุกคัน คือ 3,300,000 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 10.33 ของพื้นที่รถขนส่งรวม และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้บนรถขนส่งรวมทุกคัน คือ 1,170,000 ตารางเซนติเมตร คิดเป็นร้อยละ 3.66 ของพื้นที่รถขนส่งรวม

ดังนั้น การศึกษาในส่วนปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (VRP) และการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) พบว่าการจัดเส้นทางขนส่งมีการใช้จำนวนรถขนส่งทั้งหมด 7 คัน มีการใช้รถขนส่งเพียง 5 คัน ส่งผลทำให้มีประสิทธิภาพในการขนส่งเนื่องจากใช้จำนวนรถขนส่งจำนวนน้อยคันและการจัดเรียงกล่องสินค้าได้ร้อยละ 86.01 ของพื้นที่รถขนส่งทุกคันและมีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ (Max Fitness) คิดเป็นร้อยละ 10.33 ของพื้นที่รถขนส่งรวมจะเห็นว่าผลให้การจัดเรียงกล่องสินค้ามีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน เมื่อนำวิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ที่ใช้การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ที่มีหลายเงื่อนไขไปใช้กับปัญหาลักษณะกล่องที่มีหลายขนาดจะสามารถแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่พบ เพื่อหาคำตอบที่ดีขึ้นได้เป็นอย่างดีและมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ที่ใช้การคัดเลือกฮิวริสติกส์ และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์แบบเดียวจึงทำให้เหลือพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์อีกด้วย โดยการนำโปรแกรม MATLAB มาช่วยในการแก้ไขปัญหานี้ทำให้เจอผลคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบ โดยพบคำตอบเริ่มต้นที่ดีจึงทำให้ปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นในรอบต่อ ๆ ไปได้เสมอ ส่งผลให้เจอการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าที่ดีจึงเป็นประโยชน์สำหรับเป็นแนวทางในการวางแผนทางธุรกิจต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นี้เสนอการออกแบบวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งและการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง ในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้างมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาแนวทางการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งให้เหลือที่ใช้ประโยชน์มากที่สุดโดยใช้รถขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมีวิธีการนำเสนอการทำงานการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ร่วมกับวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และการแก้ปัญหาการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติ โดยใช้วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ (Hyper Heuristic) ใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) เป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า โดยทำการจัดเรียงกล่องสินค้าเป็นการทำงานระหว่างการรวมกันของ การคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ต่าง ๆ โดยวิธีนำเสนอในงานวิจัยเล่มนี้ คือ วิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ซึ่งใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) เป็นพื้นฐานในการจัดเรียงกล่องสินค้า แนวทางงานวิจัยต่อไป คือ ทำการออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีอื่นนอกเหนือจากใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) เป็นพื้นฐานในการทำงานวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ และการคัดเลือกฮิวริสติกส์ (Selection Heuristic) และใช้การแทนที่ฮิวริสติกส์ (Placement Heuristic) ให้ศึกษาหาวิธีที่ที่แตกต่างและหลายหลายกว่างานวิจัยนี้ เพื่อที่จะเห็นการเปลี่ยนการจัดเรียงกล่องสินค้าได้มากขึ้นอีกด้วย ซึ่งวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริวติกส์ยังไม่ค่อยแพร่หลายมากเท่าที่ควร เพื่อที่จะได้หาแนวทางที่ดีกว่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

ประดิษฐวงค์, ค., & ทะเลทอง, ธ. (2559). ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและการค้นเฉพาะที่สำหรับการแก้ปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์ในสามมิติ. **วารสารวิชาการศิลปากร,** 3.

ปิยะชยวัศ, ธ., มุ่งวัฒนา, อ., & สุพิทักษ์, ว. (2560). ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสำหรับแก้ปัญหาการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทหลายขนาด กรณีศึกษา: โรงงานผลิตโคมไฟและอุปกรณ์ส่องสว่าง. **วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน,** 1.

มณีศรี, ธ. (2553). **การประยุกต์ขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง กรณีมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกสินค้าได้.** มหาวิทยาลัยศรีปทุม,

ยศวังใจ, ศ., & คำเมือง, ข. (2559). แบบจำลองกำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต. **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,** 2, 223-238.

ลิ้มวัฒนากูล, ก. (2558). **การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าและการจัดการพื้นที่รถบรรทุก 4 ล้อสำหรับขนส่งน้ำมันหล่อลื่น.** (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, ศรีแก้ว, อ. (2545). จีนเนติกอัลกอริทึม ตอนที่ 1. **วารสารเทคโนโลยีสุรนารี,** 1.

เอกพล ใจเย็น, คมกฤต เล็กสกุล, กรกฎ ทิพยาวงศ์, ทัตพงศ์ สัจจะวาที และธนพรรณ ศรีฉันทะมิตร. (2556). การแก้ปัญหาจัดเส้นทางขนส่ง กรณีศึกษา บริษัท ลานนาอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด. **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ.**

Asta, S., & Ozcen, E. (2014). An apprenticeship learning hyper-heuristic for vehicle routing in HyFlex an apprenticeship learning hyper-heuristic for vehicle routing in HyFlex. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation.**

Bai, R. B., Edmund K. (2007). A Simulated Annealing Hyper-Heuristic Adaptive Heuristic. **The Multidisciplinary International Scheduling Conference Theory and Applications.**

Burke, E. K., Hyde, M., Kendall, G., Ochoa, G., Ozcan, E., & Qu, R. (2009). **A Survey of Hyper heuristics.** University of Nottingham.

Burke, E. K., Hyde, M., Kendall, G., & Woodward, J. (2010). A Genetic Programming Hyper-Heuristic Approach for Evolving 2-D Strip Packing Heuristics. **IEEE Transactions Evolutionary Computation,** 14(6), 942-958.

Burke, E. K., Hyde, M. K., Graham, & Woodward, J. (2008). A Genetic Programming Hyper-Heuristic Approach for Evolving. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation.**

Carlos Gomez, u. T.-M., Hugo. (2012). Building General Hyper-Heuristics for multi objective cutting stock problem. **Computation Sistemas,** 16, 321-334.

Espinoza-Nevárez, D., Ortiz-Bayliss, J. C., Terashima-Marín, H., & Gatica, G. (2016). Selection and Generation Hyper heuristics for Solving the Vehicle Routing Problem with Time Windows**. Paper presented at the Proceedings of the 2016 on Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion - GECCO '16 Companion**.

Gomez, J. C., & Terashima-Marín, H. (2017). Evolutionary hyper-heuristics for tackling bi-objective 2D bin packing problems. **Genetic Programming and Evolvable Machines,** 19(1-2), 151-181.

Hyde, M., & BSc. (2010). **A Genetic Programming Hyper-Heuristic Approach to Automated Packing.** (Doctor of Philosophy), University of Nottingham,

Liu, Y., Mei, Y., Zhang, M., & Zhang, Z. (2017). Automated heuristic design using genetic programming hyper-heuristic for uncertain capacitated arc routing problem. **Paper presented at the Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on GECCO 17**.

Lopez Camacho, E. (2012). **An Evolutionary Framework for Producing Hyper-heuristics for Solving the 2D Irregular Bin Packing Problem.** (Doctor of Philosophy), Instituto Tecnológicoy de Estudios Superiores de Monterrey Campus Monterrey,

Lopez-Camacho, E., erashima-Marin, H., & Ross, P. (2011). A hyper-heuristic for solving one and two-dimensional bin packing problems. **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO 11.**

Lopez-Camacho, E., Ochoa, G., Terashima-Marin, H., & Burke, E. K. (2013). An effective heuristic for the two-dimensional irregular bin packing problem. **Annals of Operations Research,** 206(1), 241-264.

Lopez-Camacho, E., Terashima-Marín, H., Ochoa, G., & Conant-Pablos, S. E. (2013). Understanding the structure of bin packing problems through principal component analysis. **International Journal of Production Economics,** 145(2), 488-499.

Lopez-Camacho, E., Terashima-Marin, H., Ross, P., & Valenzuela-Rendon, M. (2010). Problem state representations in a hyper-heuristic approach for the 2D irregular BPP. **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO '10.**

Lopez-Camacho, E. T.-M., Hugo. (2013). Evolving feature selection for characterizing and solving the 1D and 2D bin packing problem. **IEEE Congress on Evolutionary Computation.**

Lopez-Camacho, E. T.-M., Hugo, & Conant-Pablos, S. E. (2012). The impact of the bin packing problem structure in hyper- heuristic performance. **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO '12.**

Marshall, R. J., Johnston, M., & Zhang, M. (2014). Hyper-heuristics, grammatical evolution and the capacitated vehicle routing problem. **Paper presented at the Proceedings of the 2014 conference companion on Genetic and evolutionary computation companion GECCO Comp '14**.

Mlejnek, J., & Kubalík, J. (2013). Evolutionary hyper heuristic for capacitated vehicle routing problem.pdf. **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO '13.**

Nguyen, S., Zhang, M., & Johnston, M. (2011). A genetic programming based hyper- heuristic approach for combinatorial optimization. **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO '11.**

Pappa, G. L., Ochoa, G., Hyde, M. R., Freitas, A. A., Woodward, J., & Swan, J. (2013). Contrasting meta-learning and hyper-heuristic research: the role of evolutionary algorithms. **Genetic Programming and Evolvable Machines,** 15(1), 3-35.

Sabar, N. R. Z., Xiuzhen , & Song, A. (2015). A math-hyper-heuristic approach for large-scale vehicle routing problems with time windows. **Crown.**

Sim, K., & Hart, E. (2016). A Combined Generative and Selective Hyper-heuristic for the Vehicle Routing Problem. **Paper presented at the Proceedings of the 2016 on Genetic and Evolutionary Computation Conference - GECCO '16**.

Terashima-Marin, H., Farias Zarate, C. J., Ross, P., & Valenzuela-Rendon, M. (2006). A GA-based method to produce generalized hyper-heuristics for the 2D-regular cutting stock problem. **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO '06.**

Terashima-Marin, H., Farias Zarate, C. J., Ross, P., & Valenzuela-Rendon, M. (2007). Comparing two models to generate hyper- heuristics for the 2d- regular bin- packing problem. **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO '07.**

Terashima-Marin, H., Farias Zarate, C. J., Ross, P., & Valenzuela-Rendon, M. (2008). Hyper - heuristics for the dynamic variable ordering in constraint satisfaction problems Hyper- heuristics for the dynamic variable ordering in constraint satisfaction problems. **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on GECCO '08.**

Terashima-Marin, H., Flores-Alvarez, E. J., & Ross, P. (2005). Hyper-heuristics and classifier systems for solving 2D-regular cutting stock problems. **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO '05.**

Terashima-Marin, H., Moran-Saavedra, A., & Ross, P. (2005). Forming hyper-heuristics with GAs when solving 2D-regular cutting stock problems. **IEEE Transactions on Evolutionary Computation.**

Terashima-Marin, H., Ross, P., Farias-Zarate, C. J., Lopez-Camacho, E., & Valenzuela-Rendon, M. (2008). Generalized hyper-heuristics for solving 2D Regular and Irregular Packing Problems. **Annals of Operations Research,** 179(1), 369-392.

Urra, E., Cubillos, C., & Cabrera-Paniagua, D. (2015). A Hyper heuristic for the Dial-a-Ride Problem with Time Windows. **Mathematical Problems in Engineering,** 2015, 1-12.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการแบ่งกลุ่มจุดส่งสินค้าด้วยวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และระยะทางพิกัดผลต่างระหว่างลูกค้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 3

ระยะทางลูกค้ารายที่ 12 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป $(s_{n=12} - s_n)$	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=12} - s_{n=1}$	14.55
$s_{n=12} - s_{n=1}$	5.71
$s_{n=12} - s_{n=13}$	2.41
$s_{n=12} - s_{n=15}$	4.05
$s_{n=12} - s_{n=19}$	2.34
ระยะทางลูกค้ารายที่ 19 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป $(s_{n=19} - s_n)$	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=19} - s_{n=1}$	13.31
$s_{n=19} - s_{n=8}$	8.41
$s_{n=19} - s_{n=13}$	4.66
$s_{n=19} - s_{n=15}$	6.40
ระยะทางลูกค้ารายที่ 13 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป $(s_{n=13} - s_n)$	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=13} - s_{n=1}$	12.53
$s_{n=13} - s_{n=8}$	3.86
$s_{n=13} - s_{n=15}$	1.90

ตารางที่ ก.2 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 4

ระยะทางลูกค้ารายที่ 15 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป $(s_{n=15} - s_n)$	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=15} - s_{n=1}$	9.90
$s_{n=15} - s_{n=8}$	6.14

ตารางที่ ก.3 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 5

ระยะทางลูกค้ารายที่ 1 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=1}$ - s_n)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=1}$ - $s_{n=2}$	16.86
$s_{n=1}$ - $s_{n=3}$	14.11
$s_{n=1}$ - $s_{n=1}$	7.09
$s_{n=1}$ - $s_{n=7}$	5.69
$s_{n=1}$ - $s_{n=14}$	21.24
ระยะทางลูกค้ารายที่ 7 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=7}$ - s_n)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=7}$ - $s_{n=2}$	16.50
$s_{n=7}$ - $s_{n=3}$	12.19
$s_{n=7}$ - $s_{n=4}$	7.79
$s_{n=7}$ - $s_{n=14}$	21.81
ระยะทางลูกค้ารายที่ 4 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=4}$ - s_n)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=4}$ - $s_{n=2}$	10.06
$s_{n=4}$ - $s_{n=3}$	7.81
$s_{n=4}$ - $s_{n=14}$	14.98
ระยะทางลูกค้ารายที่ 3 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=3}$ - s_n)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=3}$ - $s_{n=2}$	7.01
$s_{n=3}$ - $s_{n=14}$	12.23
ระยะทางลูกค้ารายที่ 2 ห่างจากลูกค้า s_n ถัดไป ($s_{n=2}$ - s_n)	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**
$s_{n=2}$ - $s_{n=14}$	5.26

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของรถคันที่ 1 รอบที่ 1

ตำแหน่ง / โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	อธิบาย
	Loop 1															
สุ่มโครโมโซมและการเข้ารหัส																
พ่อ	176A	177A	172A	173A	65C	66D	61A	62A	63A	64A	175A	179C	171A	174A	178A	สุ่มจุดตัดที่ 5 - 10
แม่	177A	61A	62A	178A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	65C	66D	63A	64A	
การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																
พ่อ	176A	177A	H	H	65C	66D	61A	62A	63A	64A	H	H	H	H	178A	ใส่ตัว H = จำนวนจุดตัด
แม่	177A	H	H	178A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	H	H	H	H	
พ่อ	65C	66D	61A	62A	63A	64A	H	H	H	H	H	H	178A	176A	177A	ย้ายจุดตัดแทรกข้างหน้า, ตัว H
แม่	179C	171A	172A	173A	174A	175A	H	H	H	H	H	H	176A	177A	178A	ตาม, ใส่กล่องที่เหลือตาม
พ่อ	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	ไขว้สลับจุดตัดกัน แทน
แม่	179C	171A	172A	173A	174A	175A	65C	66D	61A	62A	63A	64A	176A	177A	178A	ตำแหน่ง H
กลายพันธ์ (Mutation)																ตำแหน่ง Insertion Mutation
ตำแหน่งของยีน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
พ่อ	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	4, 2
สุ่มรอบที่ 1	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	
แม่	179C	171A	172A	173A	174A	175A	65C	66D	61A	62A	63A	64A	176A	177A	178A	กลุ่ม (7 - 12), 1
สุ่มรอบที่ 1	65C	66D	61A	62A	64A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	177A	178A	
ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)																Max Fitness
ลูก 1	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	90,000
ลูก 2	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	176A	177A	178A	90,000

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของรถคันที่ 1 รอบที่ 2

ตำแหน่ง / โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	อธิบาย
	Loop 2															
สุ่มโครโมโซมและการเข้ารหัส																
พ่อ	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	172A	171A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	สุ่มจุดตัดที่ 5 - 10
แม่	174A	176A	64A	179C	177A	66D	175A	178A	61A	62A	65C	63A	172A	171A	173A	
การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																
พ่อ	65C	H	H	H	63A	64A	179C	172A	171A	173A	174A	H	H	176A	H	ใส่ตัว H = จำนวนจุดตัด
แม่	174A	176A	H	H	177A	66D	175A	178A	61A	62A	65C	H	H	H	H	
พ่อ	63A	64A	179C	172A	171A	173A	H	H	H	H	H	H	174A	176A	65C	ย้ายจุดตัดแทรกข้างหน้า, ตัว H ตาม, ใส่กล่องที่เหลือตาม
แม่	177A	66D	175A	178A	61A	62A	H	H	H	H	H	H	65C	174A	176A	
พ่อ	63A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	66D	175A	178A	61A	62A	174A	176A	65C	ไขว้สลับจุดตัดกัน แทนตำแหน่ง H
แม่	177A	66D	175A	178A	61A	62A	63A	64A	179C	172A	171A	173A	65C	174A	176A	
กลายพันธ์ (Mutation)																ตำแหน่ง Insertion Mutation
ตำแหน่งของยีน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
พ่อ	63A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	66D	175A	178A	61A	62A	174A	176A	65	15, 1
สุ่มรอบที่ 1	65C	63A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	66D	175A	178A	61A	62A	174A	176A	กลุ่ม (12 - 13), 3
สุ่มรอบที่ 2	65C	63A	61A	62A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	66D	175A	178A	174A	176A	11, 2
สุ่มรอบที่ 3	65C	66D	63A	61A	62A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	175A	178A	174A	176A	
แม่	177A	66D	175A	178A	61A	62A	63A	64A	179C	172A	171A	173A	65C	174A	176A	13, 1
สุ่มรอบที่ 1	65C	177A	66D	175A	178A	61A	62A	63A	64A	179C	172A	171A	173A	174A	176A	กลุ่ม (4 - 5), 15
สุ่มรอบที่ 2	65C	177A	66D	61A	62A	63A	64A	179C	172A	171A	173A	174A	176A	175A	178A	2, 9
สุ่มรอบที่ 3	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	177A	172A	171A	173A	174A	176A	175A	178A	
ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)																Max Fitness
ลูก 1	65C	66D	63A	61A	62A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	175A	178A	174A	176A	90,000
ลูก 2	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	177A	172A	171A	173A	174A	176A	175A	178A	90,000

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของรถคันที่ 1 รอบที่ 3

ตำแหน่ง / โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	อธิบาย
	Loop 3															
สุ่มโครโมโซมและการเข้ารหัส																
พ่อ	65C	66D	63A	61A	62A	64A	179C	172A	171A	173A	177A	175A	178A	176A	177A	สุ่มจุดตัดที่ 5 - 7
แม่	173A	63A	172A	64A	178A	171A	66D	176A	177A	174A	62A	63A	172A	171A	173A	
การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																
พ่อ	65C	H	63A	61A	62A	64A	179C	172A	H	173A	177A	175A	174A	174A	176A	ใส่ตัว H = จำนวนจุดตัด
แม่	173A	63A	172A	H	178A	171A	66D	176A	177A	174A	H	61A	65C	H	175A	
พ่อ	62A	64A	179C	H	H	H	172A	173A	177A	175A	174A	176A	65C	63A	61A	ย้ายจุดตัดแทรกข้างหน้า, ตัว H
แม่	178A	171A	66D	H	H	H	176A	63A	174A	61A	65C	175A	173A	63A	172A	ตาม, ใส่กล่องที่เหลือตาม
พ่อ	62A	64A	179C	178A	171A	171A	172A	173A	177A	175A	174A	176A	65C	63A	61A	ไขว้สลับจุดตัดกัน แทนตำแหน่ง H
แม่	178A	171A	66D	62A	64A	64A	176A	63A	174A	61A	65C	175A	173A	63A	172A	
กลายพันธ์ (Mutation)																ตำแหน่ง Insertion Mutation
ตำแหน่งของยีน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
พ่อ	62A	64A	179C	178A	171A	66D	172A	173A	177A	175A	174A	176A	65C	63A	61A	กลุ่ม (13 - 15), 1
สุ่มรอบที่ 1	65C	63A	61A	62A	64A	179C	178A	171A	66D	172A	173A	177A	175A	174A	176A	9, 3
สุ่มรอบที่ 2	65C	63A	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	173A	177A	175A	174A	176A	
แม่	178A	171A	66D	62A	64A	179C	176A	177A	174A	61A	65C	175A	173A	63A	172A	11, 1
สุ่มรอบที่ 1	65C	178A	171A	66D	62A	64A	179C	176A	177A	174C	61A	175A	173A	63A	172A	14, 15
สุ่มรอบที่ 2	65C	178A	171A	66D	63A	62A	64A	179C	176A	177A	174A	61A	175A	173A	172A	12, 4
สุ่มรอบที่ 3	65C	178A	171A	61A	66D	63A	62A	64A	179C	176A	177A	174A	175A	173A	172A	
ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)																Max Fitness
ลูก 1	65C	63A	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	173A	177A	175A	174A	176A	90,000
ลูก 2	65C	178A	171A	61A	66D	63A	62A	64A	179C	176A	177A	174A	175A	173A	172A	No

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของรถคันที่ 1 รอบที่ 100

ตำแหน่ง / โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	อธิบาย
	Loop 100															
สุ่มโครโมโซมและการเข้ารหัส																
พ่อ	65C	63A	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	173A	177A	175A	174A	176A	สุ่มจุดตัดที่ 6 - 7
แม่	62A	174A	177A	179C	175A	173A	63A	64A	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A	
การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																
พ่อ	65C	H	66D	61A	62A	64A	179C	178A	171A	172A	H	177A	175A	174A	176A	ใส่ตัว H = จำนวนจุดตัด
แม่	62A	174A	177A	H	175A	173A	63A	H	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A	
พ่อ	64A	179C	H	H	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	65C	66D	61A	62A	ย้ายจุดตัดแทรกข้างหน้า, ตัว H ตาม, ใส่กล่องที่เหลือตาม
แม่	173A	63A	H	H	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A	
พ่อ	64A	179C	173A	63A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	65C	66D	61A	62A	ไขว้สลับจุดตัดกัน แทนตำแหน่ง H
แม่	173A	63A	64A	179C	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A	
กลายพันธ์ (Mutation)																ตำแหน่ง Insertion Mutation
ตำแหน่งของยีน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
พ่อ	64A	179C	173A	63A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	65C	66D	61A	62A	4, 2
สุ่มรอบที่ 1	64A	63A	179A	173A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	65C	66D	61A	62A	กลุ่ม (12 - 15), 3
สุ่มรอบที่ 2	64A	63A	65C	66D	61A	62A	179C	173A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	3, 1
สุ่มรอบที่ 3	65C	64A	63A	66D	61A	62A	179C	173A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	
แม่	173A	63A	64A	179C	172A	66D	65C	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A	กลุ่ม (6 - 7), 4
สุ่มรอบที่ 1	173A	63A	64A	66D	65C	179C	172A	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A	กลุ่ม (2 - 5), 1
สุ่มรอบที่ 2	63A	64A	66D	65C	173A	179C	172A	171A	178A	176A	61A	62A	174A	177A	175A	กลุ่ม (11 - 15), 5
สุ่มรอบที่ 3	63A	64A	66D	65C	61A	62A	173A	179C	172A	171A	178A	176A	174A	177A	175A	
ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)																Max Fitness
ลูก 1	65C	64A	63A	66D	61A	62A	179C	173A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	90,000
ลูก 2	63A	64A	66D	65A	61A	62A	173A	179C	172A	171A	178A	176A	174A	177A	175A	0

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของรถคันที่ 2 รอบที่ 100

ตำแหน่ง / โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	อธิบาย
	Loop 100																									
สุ่มโครโมโซมและการเข้ารหัส																										
พ่อ	102A	161B	165D	166D	181A	185C	182A	204B	205D	162C	163C	164C	183A	184A	104D	103D	51C	52C	53C	202A	201A	203A	54C	55C	101A	สุ่มจุดตัดที่ 5 - 12
แม่	183A	181A	185C	182A	51C	52C	53C	161B	165D	166D	101A	102A	204B	205D	54C	55C	104D	202A	162C	163C	164C	103D	201A	184A	203A	
การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																										
พ่อ	H	H	H	H	181A	185C	182A	204B	205D	162C	163C	164C	183A	184A	104D	103D	H	H	H	202A	201A	203A	54C	55C	H	ใส่ตัว H = จำนวน
แม่	183A	H	H	H	51C	52C	53C	161B	165D	166D	101A	102A	H	H	54C	55C	104D	202A	H	H	H	103D	201A	184A	203A	จุดตัด
พ่อ	181A	185C	182A	204B	208D	162C	163C	164C	H	H	H	H	H	H	H	H	183A	184A	104D	103D	202A	201A	203A	54C	55C	ย้ายจุดตัดแทรก
แม่	51C	52C	53C	161B	165D	166D	101A	102A	H	H	H	H	H	H	H	H	54C	55C	104D	202A	103D	201A	184A	203A	183A	ข้างหน้า, ตัว H ตาม, ใส่กล่องที่เหลือตาม
พ่อ	181A	185C	182A	204B	205D	162C	163C	164C	51C	52C	53C	161B	165D	166D	101A	102A	183A	184A	104D	103D	202A	201A	203A	54C	55C	ไขว้สลับจุดตัดกัน
แม่	51C	52C	53C	161B	165D	166D	101A	102A	181A	185C	182A	204B	205D	162C	163C	164C	54C	55C	104D	202A	103D	201A	184A	203A	183A	แทนตำแหน่ง H
กลายพันธ์ (Mutation)																										ตำแหน่ง Insertion Mutation
พ่อ	181A	185C	182A	204B	205D	162C	163C	164C	51C	52C	53C	161B	165D	166D	101A	102A	183A	183A	184A	104D	103D	202A	201A	203A	54C	กลุ่ม (9 - 11), 4
สุ่มรอบที่ 1	181A	185C	182A	51C	52C	53C	204B	205D	162C	163C	164C	161B	165D	166D	101A	102A	183A	183A	184A	104D	103D	202A	201A	203A	54C	กลุ่ม (24- 25), 7
สุ่มรอบที่ 2	181A	185C	182A	51C	52C	53C	54C	55C	204B	205D	162C	163C	164C	161B	165D	166D	166D	101A	102A	183A	184A	104D	103D	202A	201A	กลุ่ม (11 - 16), 9
สุ่มรอบที่ 3	181A	185C	182A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	205D	101A	102A	183A	184A	104D	103D	202A	201A	กลุ่ม (21 - 22), 17
สุ่มรอบที่ 4	181A	185C	182A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	205D	104D	103D	101A	102A	183A	184A	202A	201A	กลุ่ม (21 - 22), 4
สุ่มรอบที่ 5	181A	185C	182A	183A	184A	51C	54C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	166D	204B	205D	104D	103D	101A	102A	202A	201A	กลุ่ม (23 - 25), 19
สุ่มรอบที่ 6	181A	185C	182A	183A	184A	51C	54C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	166D	204B	205D	202A	201A	203A	104D	202A	101A	
แม่	51C	52C	53C	161B	165D	166D	101A	102A	181A	185C	182A	204B	205D	162C	163C	164C	54C	55C	104D	202A	103D	201A	184A	203A	183A	กลุ่ม (17 - 18), 4
สุ่มรอบที่ 1	51C	52C	53C	54C	55C	161B	165D	166D	101A	102A	181A	185C	182A	204B	205D	162C	163C	164C	104D	202A	103D	201A	184A	203A	183A	19, 9
สุ่มรอบที่ 2	51C	52C	53C	54C	55C	161B	165D	166D	104D	101A	102A	81A	185C	182A	204B	205D	162C	163C	163C	202A	103D	201A	184A	203A	183A	21, 10
สุ่มรอบที่ 3	51C	52C	53C	54C	55C	161B	165D	166D	104D	103D	101A	102A	181A	185C	182A	204B	205D	162C	162C	164C	202A	201A	184A	203A	183A	กลุ่ม (18 - 20), 6
สุ่มรอบที่ 4	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	104D	103D	101A	102A	181A	185C	182A	182A	204B	202A	201A	184A	203A	183A	กลุ่ม (16 - 18), 1
สุ่มรอบที่ 5	181A	185C	182A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	104D	103D	101A	102A	102A	204B	202A	201A	184A	203A	183A	กลุ่ม (19 - 22), 15
สุ่มรอบที่ 6	181A	185C	182A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	202A	201A	201A	104D	101A	102A	184A	203A	183A	24, 19
สุ่มรอบที่ 7	181A	185C	182A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	202A	201A	201A	203A	103D	101A	102A	184A	183A	
ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)																										Max Fitness
ลูก 1	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	202A	201A	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
ลูก 2	181A	185C	182A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	202A	201A	203A	104D	103D	101A	102A	184A	183A	No

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของรถคันที่ 3 รอบที่ 100

ตำแหน่ง / โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	อธิบาย
	Loop 100																				
สุ่มโครโมโซมและการเข้ารหัส																					
พ่อ	133A	134A	131A	132A	196A	193A	191A	194A	195A	192A	124A	121A	122A	126A	129D	128B	127B	1210D	123A	125A	สุ่มจุดตัดที่ 10 - 14
แม่	191A	124A	121A	122A	126A	192A	196A	133A	134A	131A	128B	127B	1210D	129D	132A	194A	195A	193A	125A	123A	
การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																					
พ่อ	133A	134A	H	132A	196A	193A	191A	194A	195A	192A	124A	121A	122A	126A	H	H	H	H	123A	125A	ใส่ตัว H = จำนวนจุดตัด
แม่	191A	H	H	H	H	H	196A	133A	134A	131A	128B	127B	1210D	129D	132A	194	195A	193A	125A	123A	
พ่อ	192A	124A	121A	122A	126A	H	H	H	H	H	123A	125A	133A	134A	132A	196A	193A	191A	194A	195A	ย้ายจุดตัดแทรกข้างหน้า, ตัว H ตาม, ใส่
แม่	131C	128B	127B	1210D	129D	H	H	H	H	H	132A	194A	195A	193A	125A	123A	191A	196A	133A	134A	กล่องที่เหลือตาม
พ่อ	192A	124A	121A	122A	126A	131A	128B	127B	1210D	129D	123A	125A	133A	134A	132A	196A	193A	191A	194A	195A	ไขว้สลับจุดตัดกัน แทนตำแหน่ง H
แม่	131A	128B	127B	1210D	129D	192A	124A	121A	122A	126A	132A	194A	195A	193A	125A	123A	191A	196A	133A	134A	
กลายพันธุ์ (Mutation)																					ตำแหน่ง Insertion Mutation
พ่อ	192A	124A	121A	122A	126A	131A	128B	127B	1210D	129D	123A	125A	133A	134A	132A	196A	193A	191A	194A	195A	กลุ่ม (13 - 15), 1
สุ่มรอบที่ 1	133A	134A	132A	192A	124A	121A	122A	126A	131A	128B	127B	1210D	129D	123A	125A	196A	193A	191A	194A	195A	9, 4
สุ่มรอบที่ 2	133A	134A	132A	131A	192A	124A	121A	122A	126A	128B	127B	1210D	129D	123A	125A	196A	193A	191A	194A	195A	กลุ่ม (16 - 20), 6
สุ่มรอบที่ 3	133A	134A	132A	131A	192A	196A	193A	191A	194A	195A	124A	121A	122A	126A	128B	127B	1210D	129D	123A	125A	
แม่	131A	128B	127B	1210D	129D	192A	124A	121A	122A	126A	132A	194A	195A	193A	125A	125A	191A	196A	133A	134A	กลุ่ม (19 - 20), 1
สุ่มรอบที่ 1	133A	134A	131A	128B	127B	1210D	129D	192A	124A	121A	122A	126A	132A	194A	195A	195A	125A	123A	191A	196A	13, 4
สุ่มรอบที่ 2	133A	134A	131A	132A	128B	127B	1210D	129D	192A	124A	121A	122A	126A	194A	191A	195A	125A	123A	191A	196A	กลุ่ม (5 - 8), 20
สุ่มรอบที่ 3	133A	134A	131A	132A	192A	124A	121A	122A	126A	194A	195A	193A	125A	123A	122A	191A	128B	127B	1210D	129D	กลุ่ม (6 - 9), 17
สุ่มรอบที่ 4	133A	134A	131A	132A	192A	194A	195A	193A	125A	123A	191A	196A	124A	121A	122A	122A	128B	127B	1210D	129D	กลุ่ม (9 - 10), 13
สุ่มรอบที่ 5	133A	134A	131A	132A	192A	194A	195A	193A	191A	196A	125A	123A	124A	121A	104D	122A	128B	127B	1210D	129D	
ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)																					Max Fitness
ลูก 1	133A	134A	132A	131A	192A	196A	193A	191A	194A	195A	124A	121A	122A	126A	128B	127B	1210D	129D	123A	125A	450,000
ลูก 2	133A	134A	131A	132A	192A	194A	195A	193A	191A	196A	125A	123A	124A	121A	122A	126A	128B	127B	1210D	129D	450,000

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของรถคันที่ 4 รอบที่ 100

ตำแหน่ง / โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	อธิบาย
	Loop 100										
สุ่มโครโมโซมและการเข้ารหัส											
พ่อ	153D	83A	85C	84C	154D	155D	82A	151A	152A	81A	สุ่มจุดตัดที่ 5 - 7
แม่	153D	154D	155D	81A	85C	84C	151A	83A	82A	152A	
การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)											
พ่อ	153D	83A	H	H	154D	155D	82A	H	152A	81A	ใส่ตัว H = จำนวนจุดตัด
แม่	153D	H	H	81A	85C	84C	151A	83A	H	152A	
พ่อ	154D	155D	82A	H	H	H	152A	81A	153D	83A	ย้ายจุดตัดแทรกข้างหน้า, ตัว H
แม่	85C	84C	151A	H	H	H	83A	152A	153D	83A	ตาม, ใส่กล่องที่เหลือตาม
พ่อ	154D	155D	82A	85C	84C	151A	152A	81A	153D	83A	ไขว้สลับจุดตัดกัน แทน
แม่	85C	84C	151A	154D	155D	82A	83A	152A	153D	81A	ตำแหน่ง H
กลายพันธ์ (Mutation)											ตำแหน่ง Insertion Mutation
พ่อ	154D	155D	82A	85C	84C	151A	152A	81A	153D	83A	กลุ่ม (3 - 5), 1
สุ่มรอบที่ 1	82A	85C	84C	154D	155D	151A	152A	81A	153D	83A	8, 4
สุ่มรอบที่ 2	82A	85C	84C	81A	154D	155D	151A	152A	153D	83A	10, 5
สุ่มรอบที่ 3	82A	85C	84C	81A	83A	154D	155D	151A	152A	153D	
แม่	85C	84C	151A	1540D	155D	82A	83A	152A	153D	81A	กลุ่ม (6 - 7), 3
สุ่มรอบที่ 1	85C	84C	82A	83A	151A	154D	155D	152A	153D	81A	10, 5
สุ่มรอบที่ 2	85C	84C	82A	83A	81A	151A	154D	155D	152A	153D	
ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)											Max Fitness
ลูก 1	82A	85C	84C	81A	83A	154D	155D	151A	152A	153D	18,000
ลูก 2	85C	84C	82A	83A	81A	151A	154D	155D	152A	153D	18,000

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีทางไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ของรถคันที่ 5 รอบที่ 100

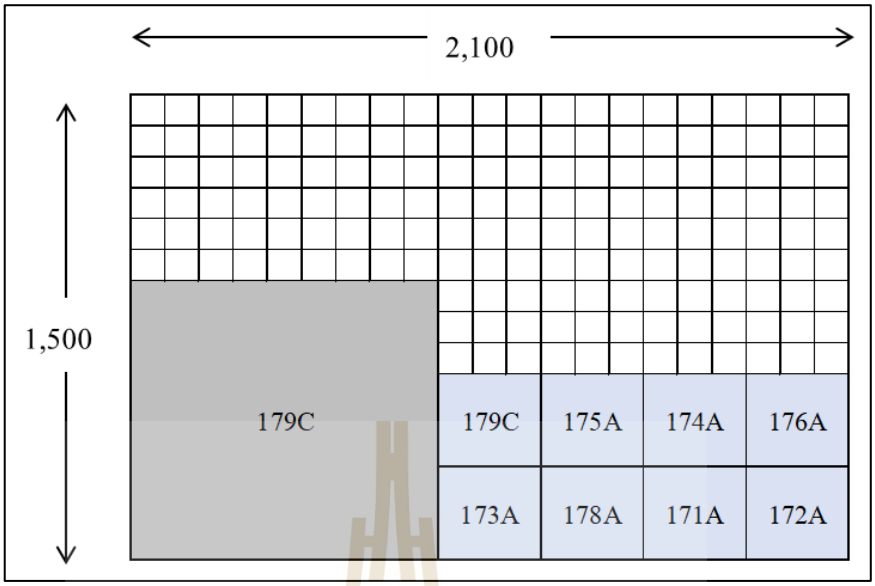
ตำแหน่ง / โครโมโซม	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	อธิบาย
	Loop 100															
สุ่มโครโมโซมและการเข้ารหัส																
พ่อ	21C	72A	31C	32C	111C	91C	92C	141C	41D	93C	73D	33D	11D	142C	71A	สุ่มจุดตัดที่ 5 - 8
แม่	71A	92C	141 C	41D	142C	31C	32C	33D	21C	73D	111C	91C	72A	93C	11D	
การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																
พ่อ	21C	72A	H	H	111C	91C	92C	141C	41D	93C	73D	H	11D	H	71A	ใส่ตัว H = จำนวนจุดตัด
แม่	71A	H	H	41D	142C	31C	32C	33D	21C	73D	H	H	72A	93C	11D	
พ่อ	111C	91C	92C	141C	H	H	H	H	41D	93C	11D	11D	71A	21C	72A	ย้ายจุดตัดแทรกข้างหน้า, ตัว
แม่	142C	31C	32C	33D	H	H	H	H	21C	73D	93C	93C	11D	71A	41D	H ตาม, ใส่กล่องที่เหลือตาม
พ่อ	11C	91C	92C	141C	142C	31C	32C	33D	41D	93C	11D	11D	71A	21C	72A	ไขว้สลับจุดตัดกัน แทน
แม่	142C	31C	32C	33D	111C	91C	92C	141C	21C	73D	93C	93C	11D	71A	41D	ตำแหน่ง H
กลายพันธ์ (Mutation)																ตำแหน่ง Insertion Mutation
พ่อ	111C	91C	92C	141C	142C	31C	32C	33D	41D	93C	73D	11D	71A	21C	72A	10, 4
สุ่มรอบที่ 1	111C	91C	92C	93C	141C	142C	31C	32C	33D	41D	73D	11D	71A	21C	72A	14, 7
สุ่มรอบที่ 2	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	11D	71A	72A	13, 15
สุ่มรอบที่ 3	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	
แม่	142C	31C	32C	33D	111C	91C	92C	141C	21C	73D	72A	93C	11D	71A	41D	5, 1
สุ่มรอบที่ 1	111C	142C	31C	32C	33D	91C	92C	141C	21C	73D	72A	93C	11D	71A	41D	กลุ่ม (6 - 7), 3
สุ่มรอบที่ 2	111C	142C	91C	92C	31C	32C	33D	141C	21C	73D	72A	93C	11D	71A	41D	12, 5
สุ่มรอบที่ 3	111C	142C	91C	92C	93C	31C	32C	33D	141C	21C	73D	72A	11D	71A	41D	
ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)																Max Fitness
ลูก 1	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	204,000
ลูก 2	111C	142C	91C	92C	93C	31C	32C	33D	141C	21C	73D	72A	11D	71A	41D	No

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

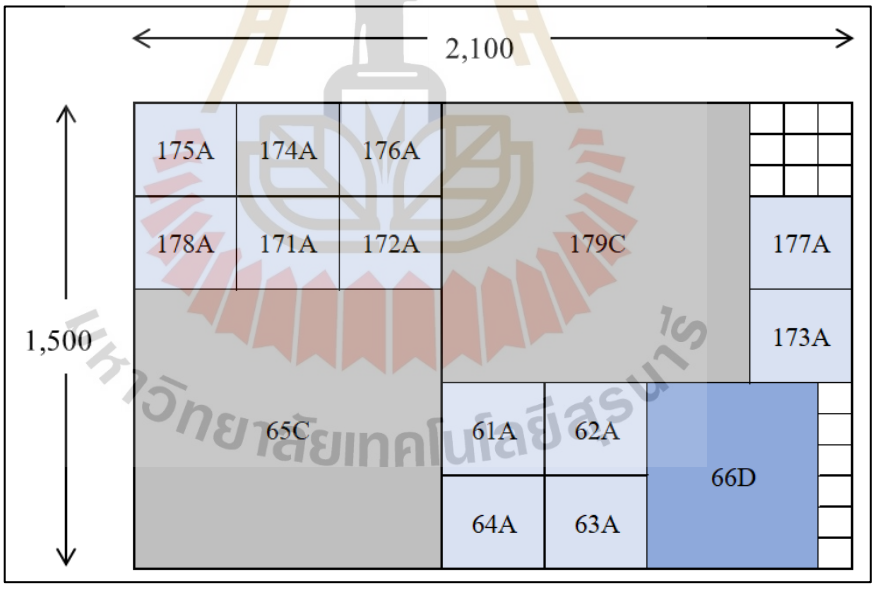
ภาคผนวก ค

รูปการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งของลูกค้าแต่ละราย

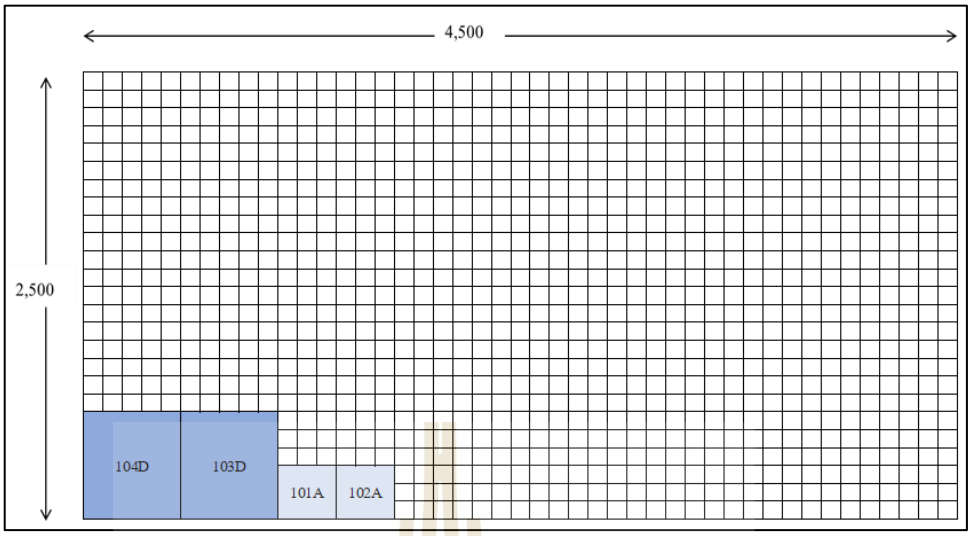
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



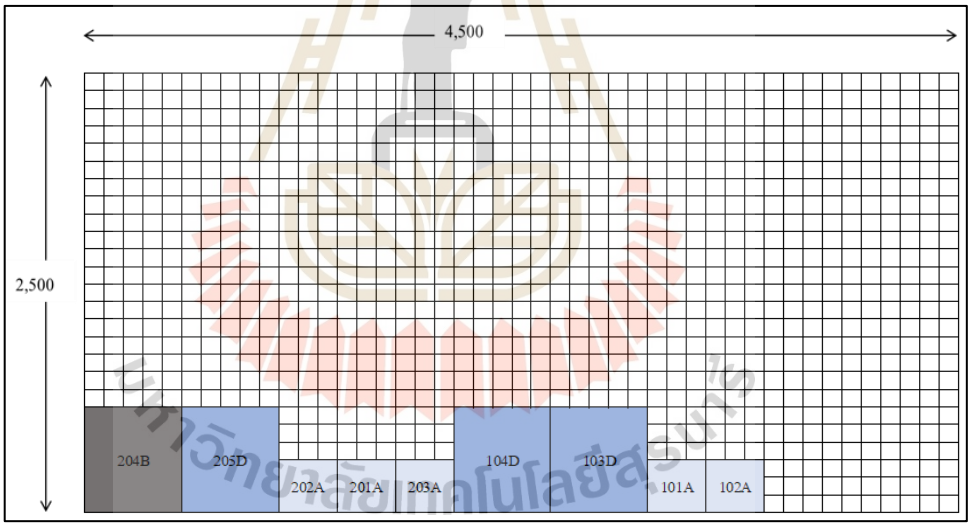
รูปที่ ค.1 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 17 ของรถขนส่งคันที่ 1



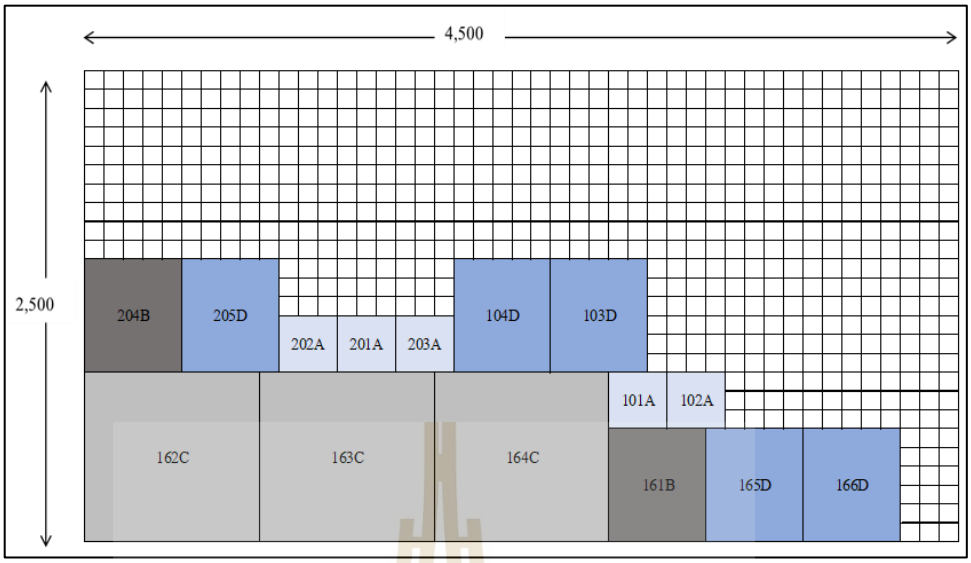
รูปที่ ค.2 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 6 และ 17 ของรถขนส่งคันที่ 1



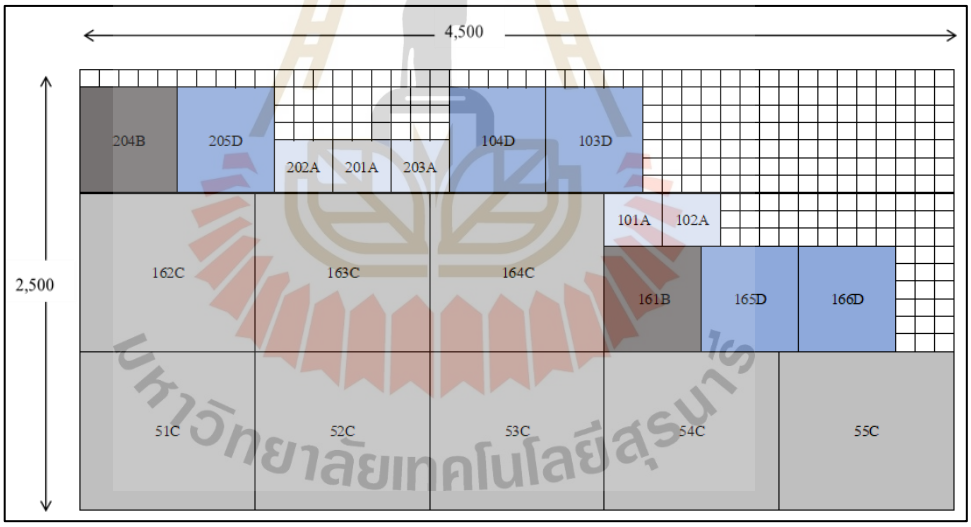
รูปที่ ค.3 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 10 ของรถขนส่งคันที่ 2



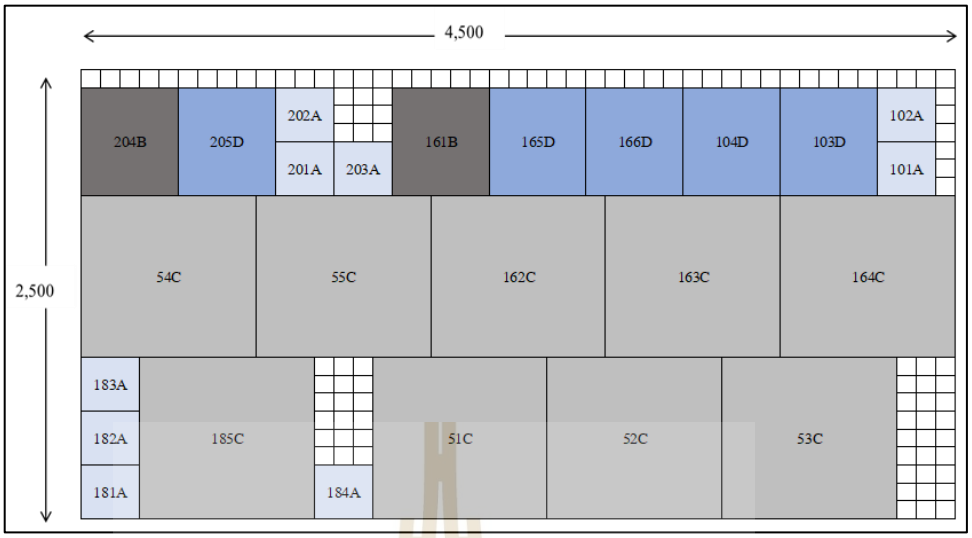
รูปที่ ค.4 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 10 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 2



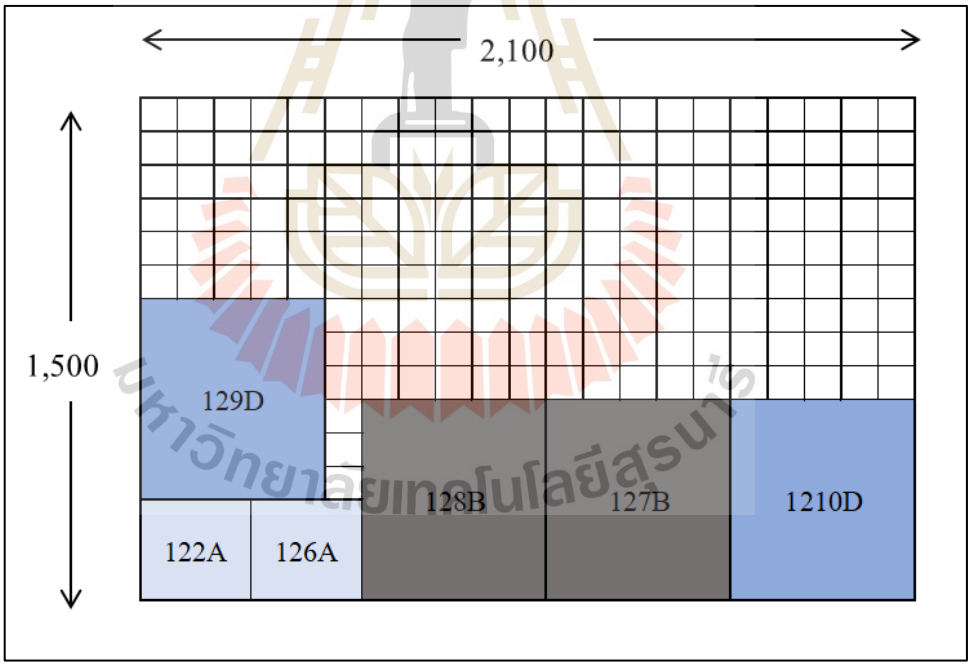
รูปที่ ค.5 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 10, 16 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 2



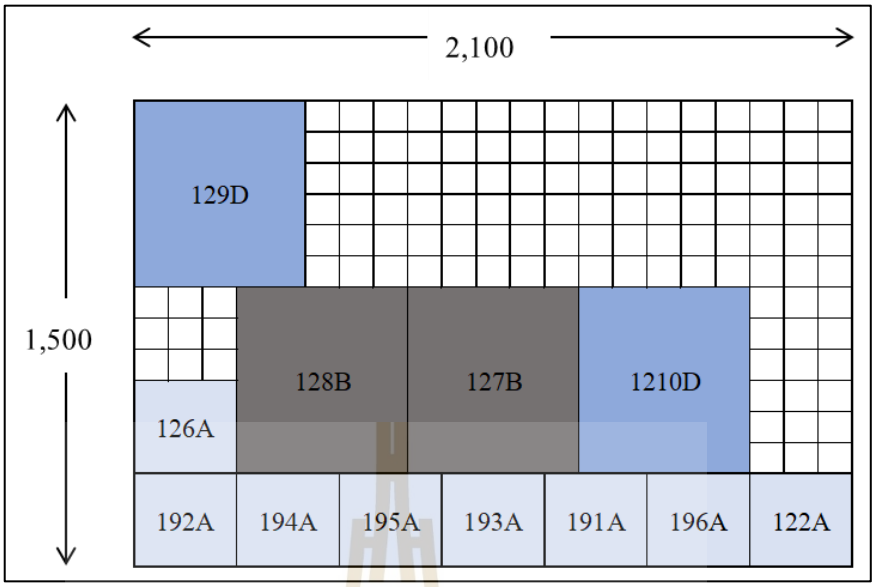
รูปที่ ค.6 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 5, 10, 16 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 2



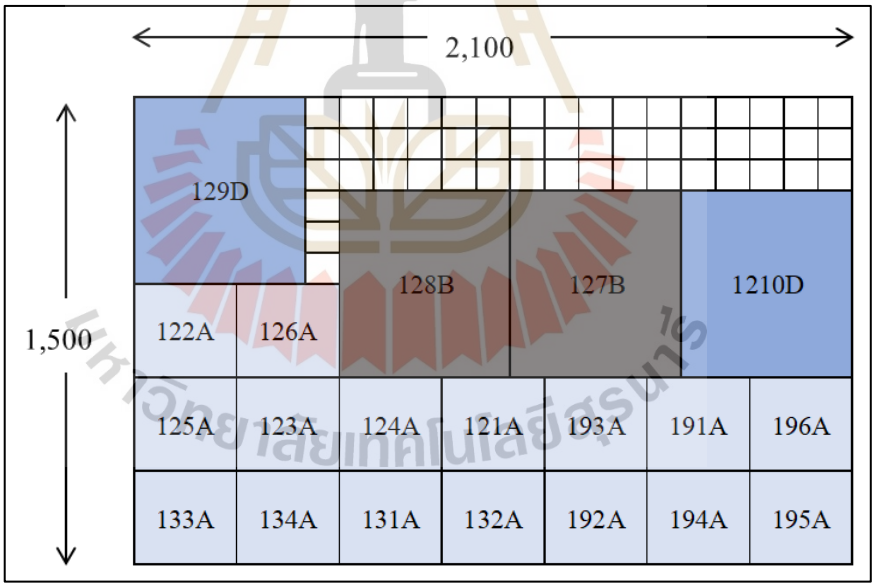
รูปที่ ค.7 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 5, 10, 16, 18 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 2



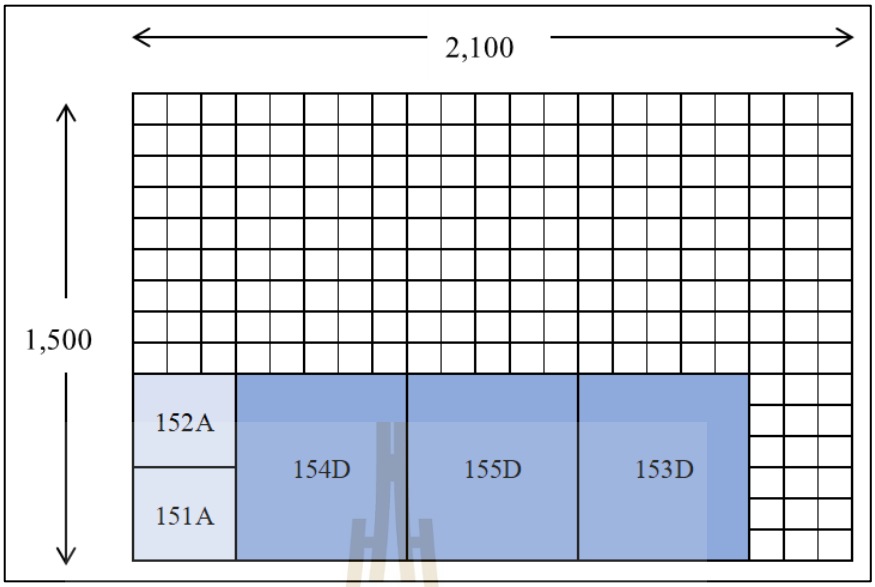
รูปที่ ค.8 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 12 ของรถขนส่งคันที่ 3



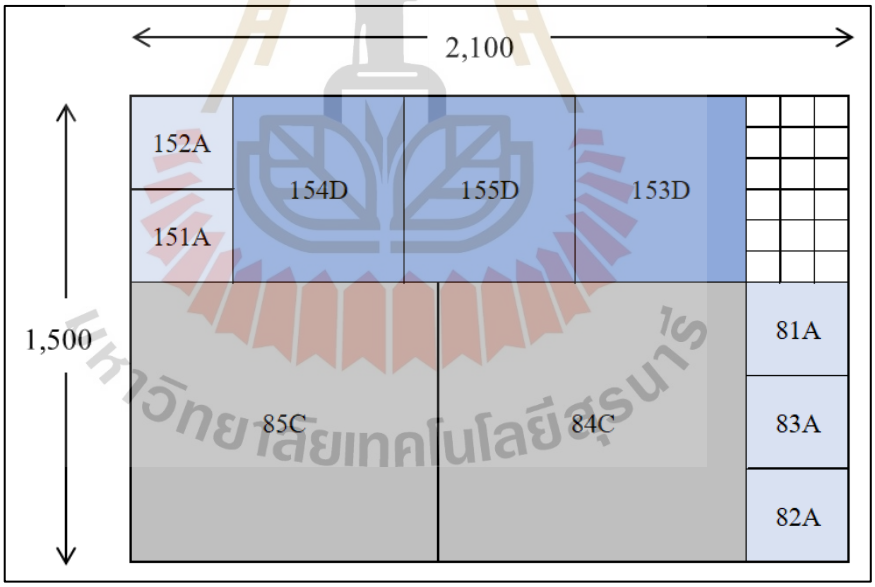
รูปที่ ค.9 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 12 และ 19 ของรถขนส่งคันที่ 3



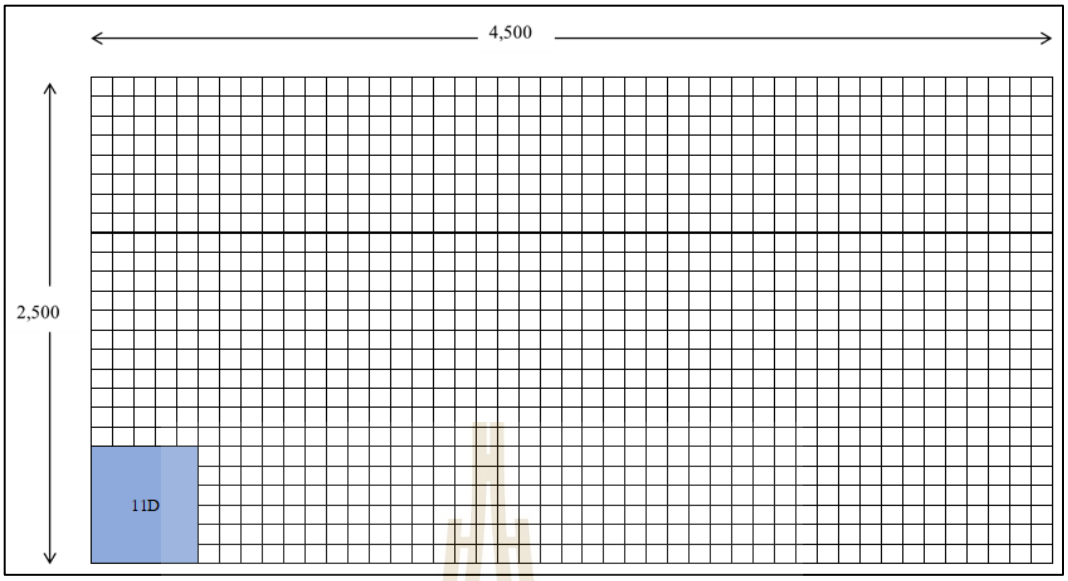
รูปที่ ค.10 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 12 และ 19 ของรถขนส่งคันที่ 3



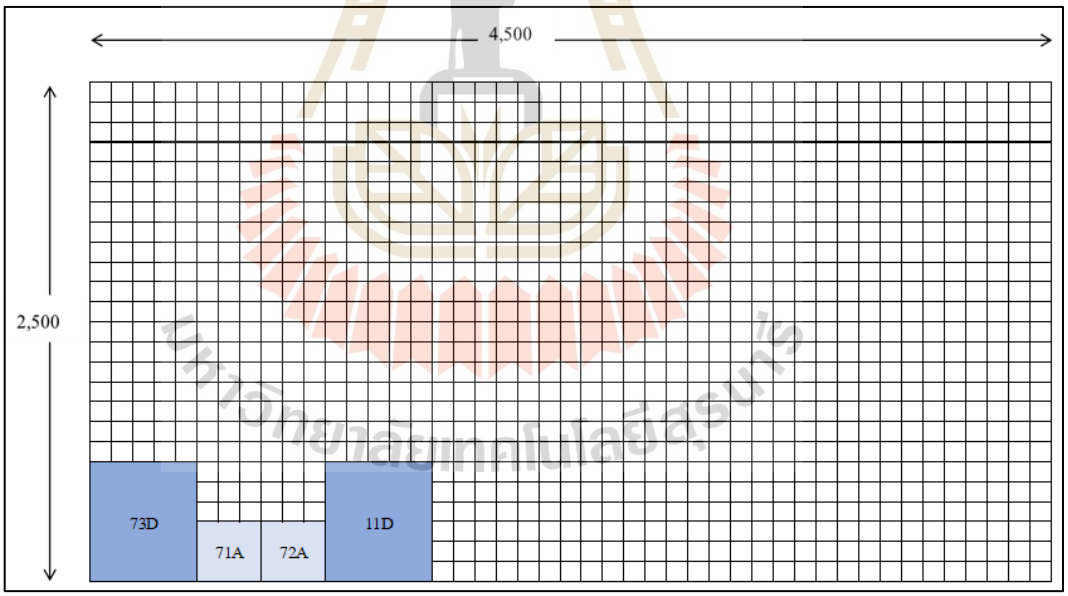
รูปที่ ค.11 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 15 ของรถขนส่งคันที่ 4



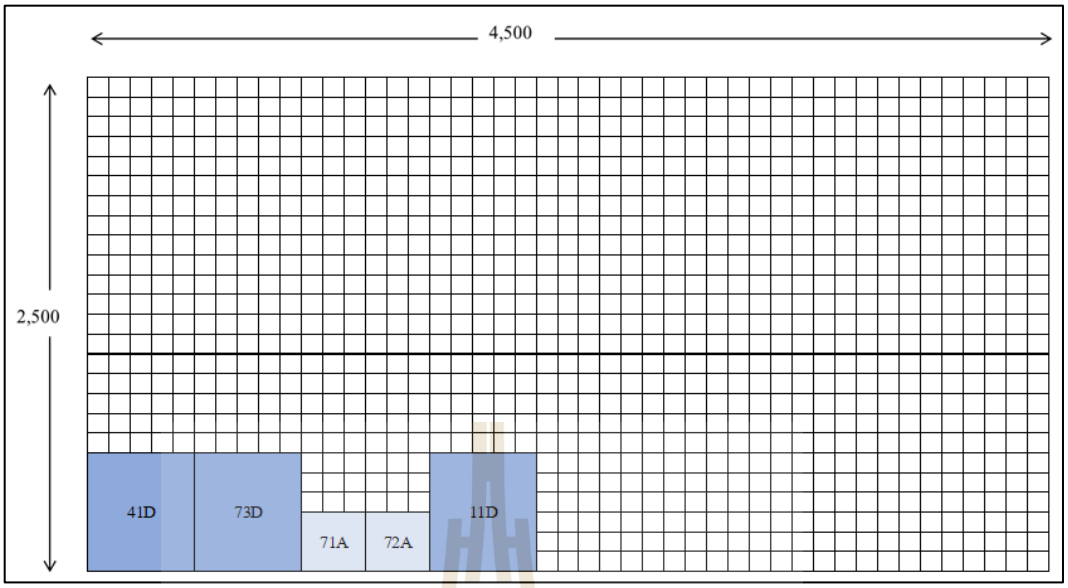
รูปที่ ค.12 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 8 และ 15 ของรถขนส่งคันที่ 4



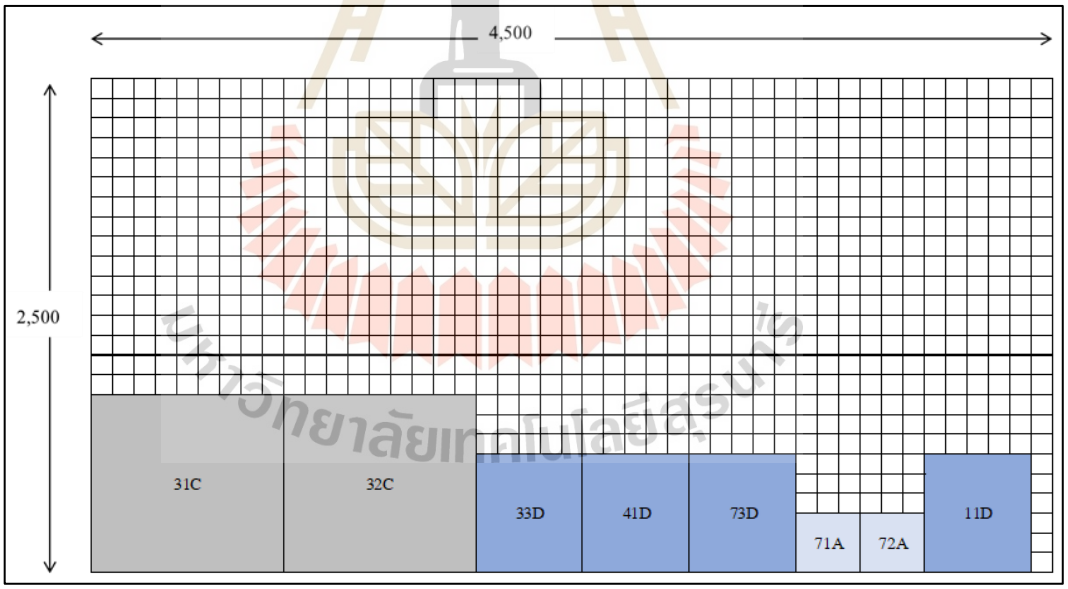
รูปที่ ค.13 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1 ของรถขนส่งคันที่ 5



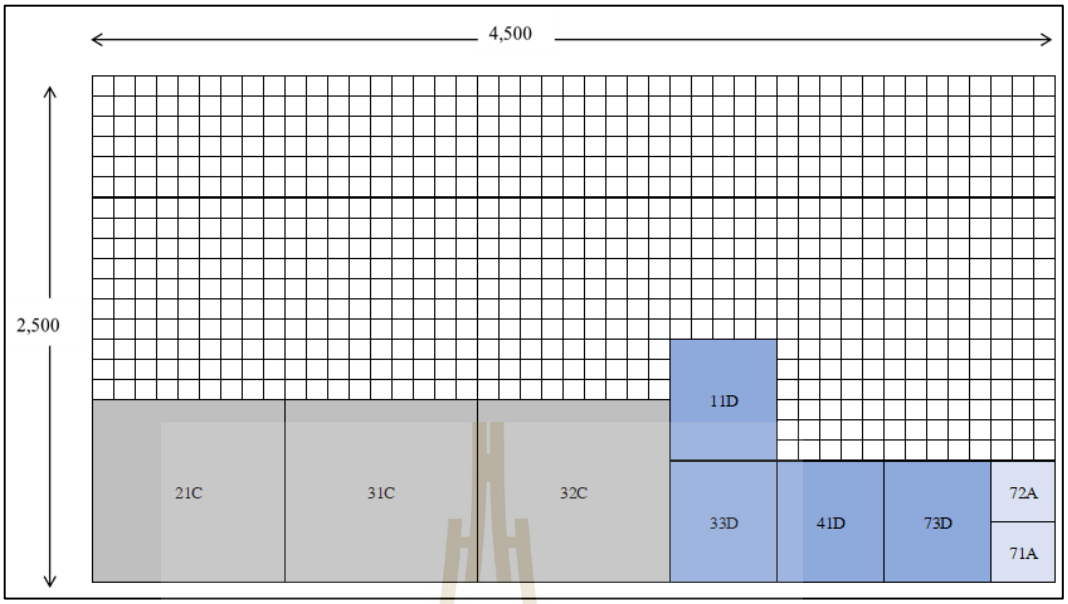
รูปที่ ค.14 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 5



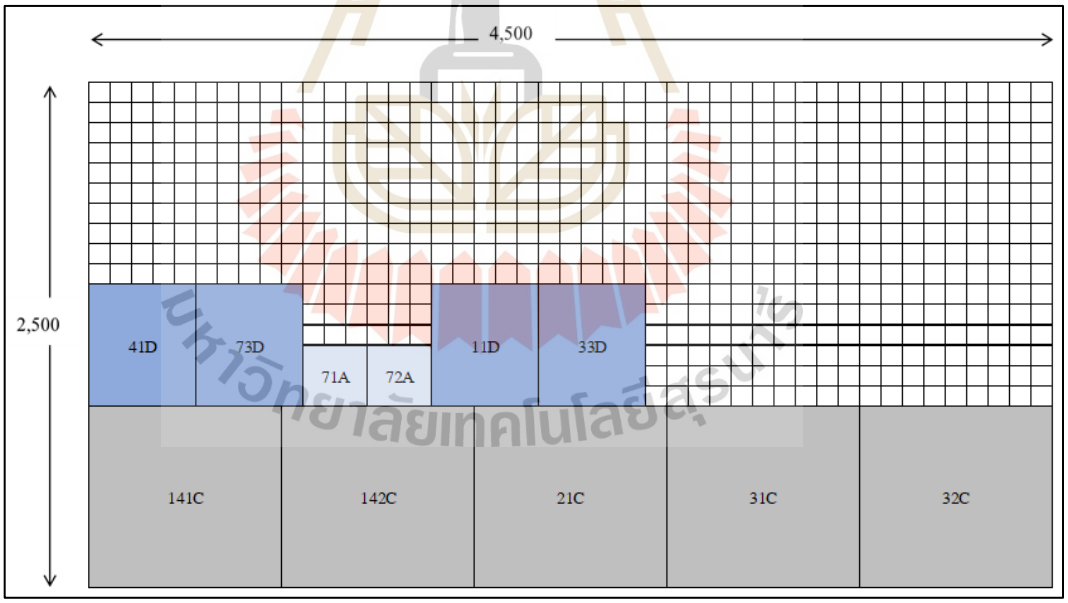
รูปที่ ค.15 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 4 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 5



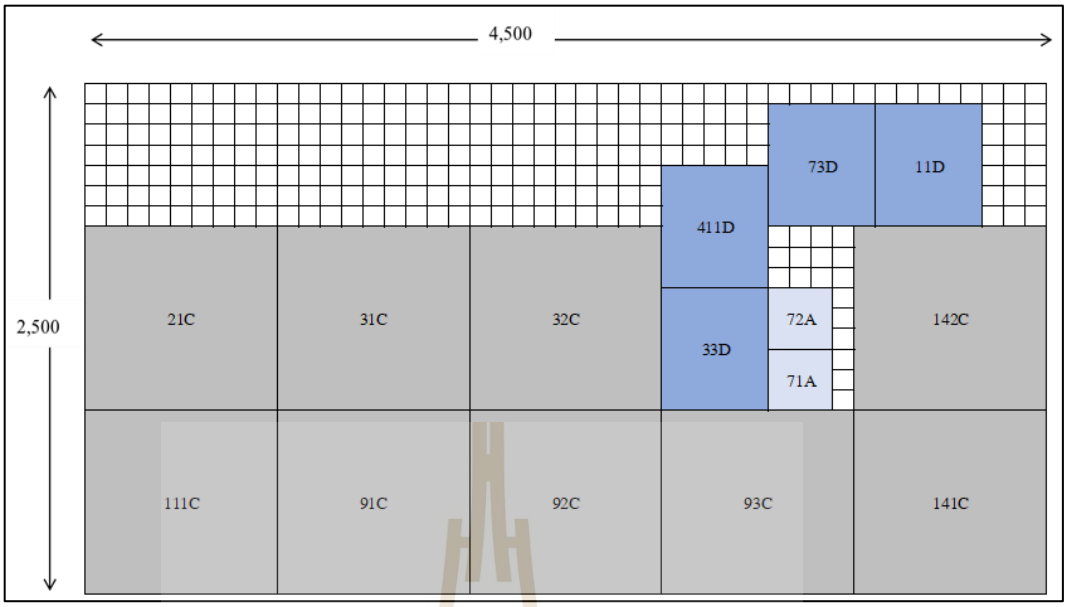
รูปที่ ค.16 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 3, 4 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 5



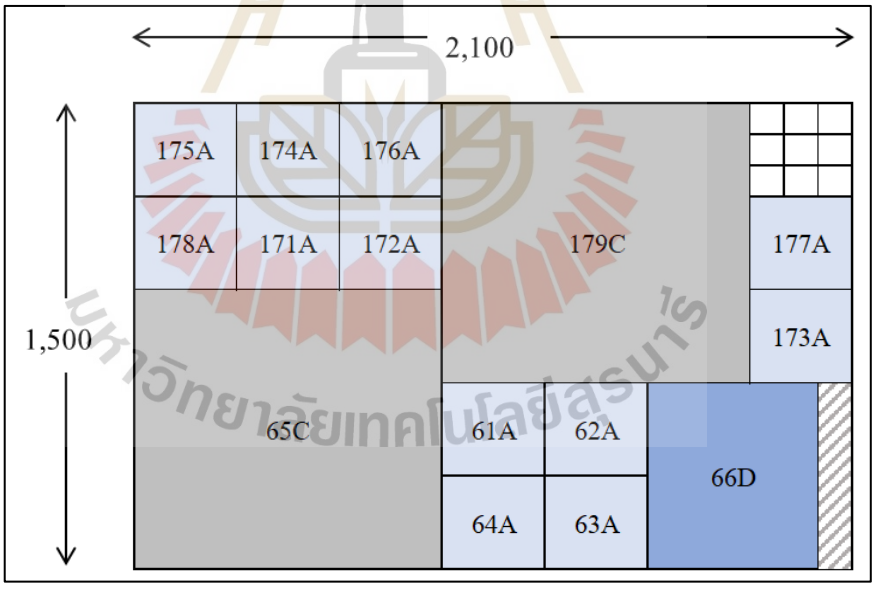
รูปที่ ค.17 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 5



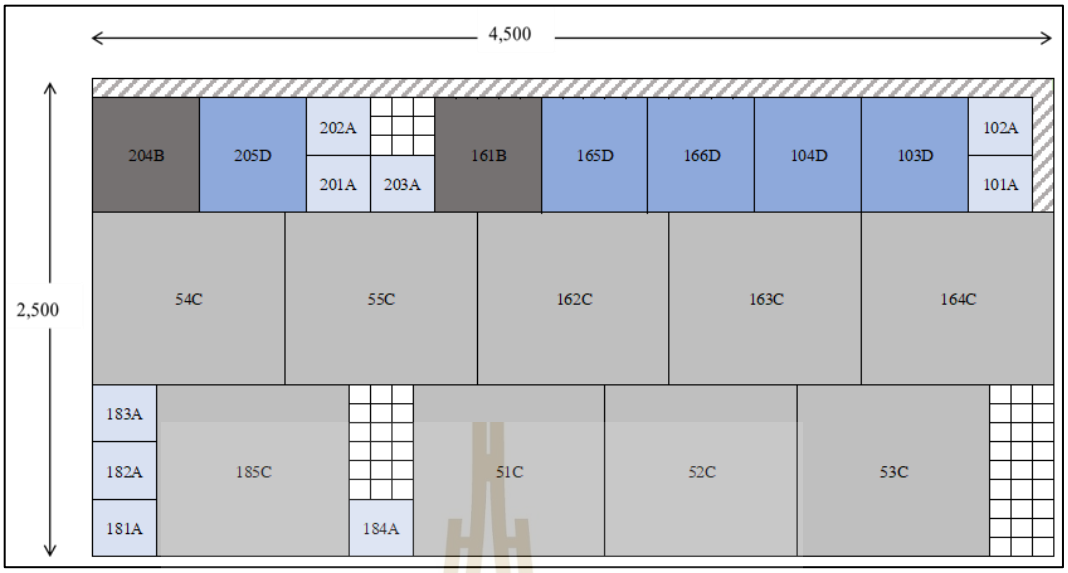
รูปที่ ค.18 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4, 7 และ 14 ของรถขนส่งคันที่ 5



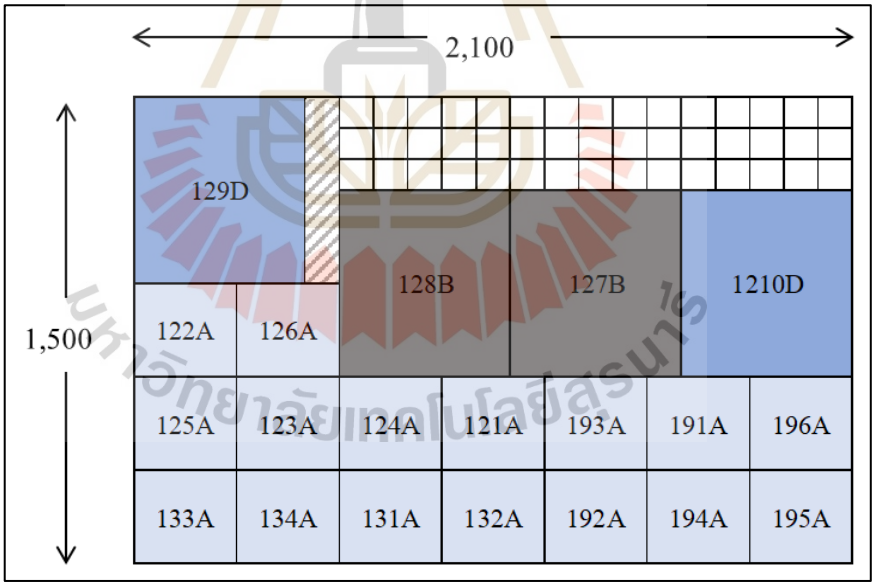
รูปที่ ค.19 รูปการจัดเรียงสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4, 7, 9, 11 และ 14 ของรถขนส่งคันที่ 5



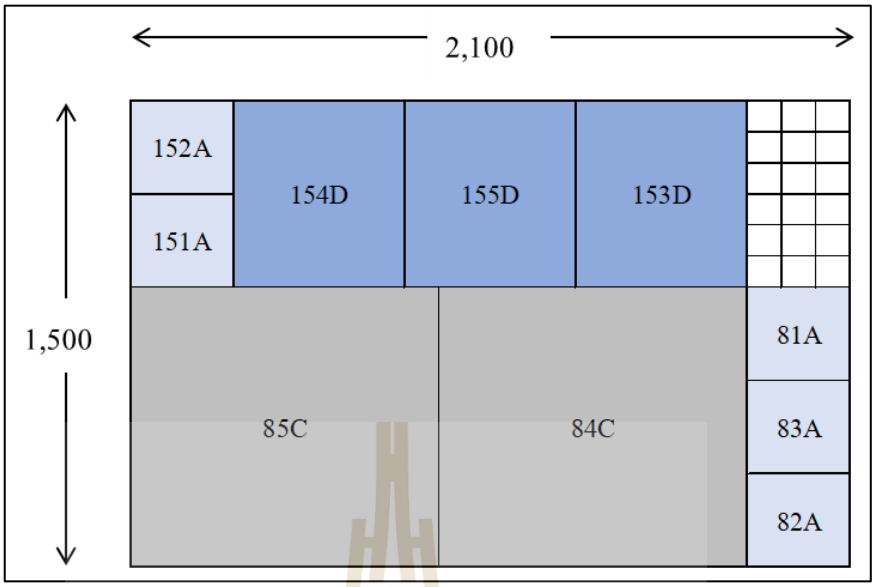
รูปที่ ค.20 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (พื้นที่ลายทแยงเส้นสีเทา)



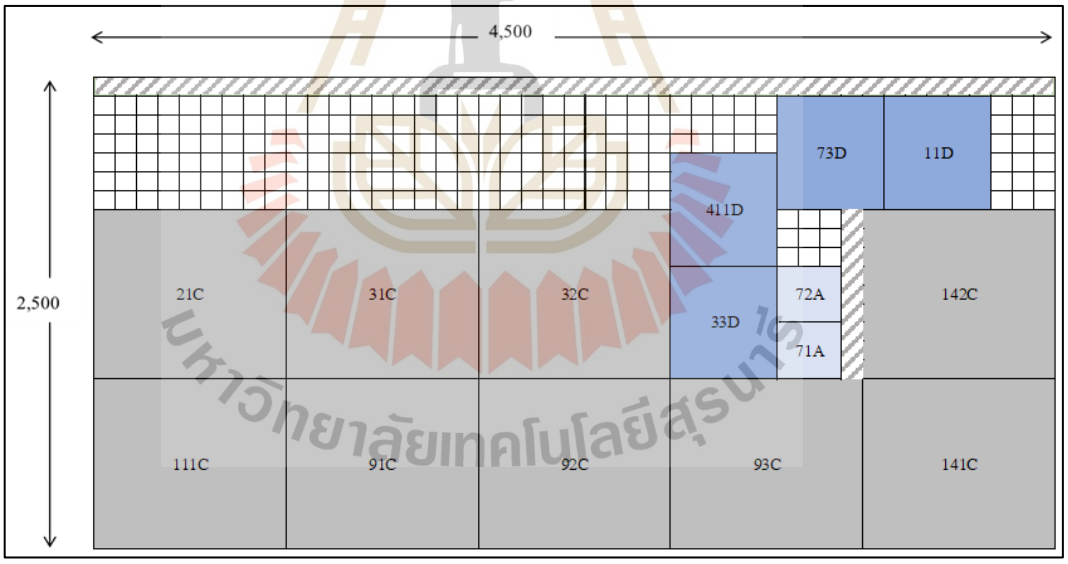
รูปที่ ค.21 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (พื้นที่ลายทแยงเส้นสีเทา)



รูปที่ ค.22 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 3 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (พื้นที่ลายทแยงเส้นสีเทา)



รูปที่ ค.23 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 4 และไม่มีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้



รูปที่ ค.24 รูปการจัดเรียงสินค้าของรถขนส่งคันที่ 5 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้
(พื้นที่ลายทแยงเส้นสีเทา)

ภาคผนวก ง

ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของลูกค้าแต่ละราย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ง.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
1	62A	61A	66D	65C	64A	63A	179C	171A	172A	173A	174A	176A	177A	178A	175A	0
2	62A	61A	66D	65C	64A	63A	179C	171A	172A	174A	173A	176A	177A	178A	175A	0
3	62A	61A	66D	65C	64A	63A	179C	171A	172A	174A	175A	176A	177A	178A	173A	0
4	62A	61A	66D	65C	64A	63A	179C	171A	172A	174A	175A	176A	177A	173A	178A	0
5	62A	61A	66D	65C	64A	63A	179C	171A	172A	174A	175A	173A	177A	176A	178A	0
6	62A	61A	66D	65C	64A	63A	179C	171A	172A	174A	175A	177A	173A	176A	178A	0
7	65C	61A	62A	63A	64A	179C	172A	171A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
8	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
9	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
10	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
11	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
12	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
13	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
14	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	176A	177A	178A	175A	0
15	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	173A	176A	177A	178A	175A	0
16	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	176A	177A	178A	173A	0
17	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	176A	177A	173A	178A	0
18	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	173A	177A	176A	178A	0
19	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	177A	173A	176A	178A	0
20	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	177A	176A	172A	171A	90,000

ตารางที่ ง.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
21	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	172A	171A	177A	176A	90,000
22	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	172A	171A	177A	176A	90,000
23	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	172A	171A	177A	176A	90,000
24	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	174A	175A	173A	178A	172A	171A	177A	176A	90,000
25	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	174A	175A	173A	178A	172A	171A	177A	176A	90,000
26	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	174A	175A	173A	178A	172A	171A	177A	176A	90,000
27	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	174A	175A	173A	176A	172A	171A	178A	177A	90,000
28	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	174A	175A	173A	176A	172A	171A	178A	177A	90,000
29	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	174A	175A	173A	176A	172A	171A	178A	177A	90,000
30	61A	62A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	176A	177A	178A	175A	0
31	61A	62A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	173A	176A	177A	178A	175A	0
32	61A	62A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	176A	177A	178A	173A	0
33	61A	62A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	176A	177A	173A	178A	0
34	61A	62A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	173A	177A	176A	178A	0
35	61A	62A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	177A	173A	176A	178A	0
36	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	90,000
37	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	90,000
38	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	90,000
39	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	173A	174A	171A	172A	175A	178A	176A	177A	90,000
40	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	173A	174A	171A	172A	175A	178A	176A	177A	90,000

ตารางที่ ง.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
41	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	173A	174A	171A	172A	175A	178A	176A	177A	90,000
42	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	172A	176A	177A	90,000
43	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	172A	176A	177A	90,000
44	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	172A	176A	177A	90,000
45	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
46	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
47	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
48	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
49	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
50	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
51	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
52	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
53	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
54	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
55	65C	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	66D	173A	174A	175A	178A	176A	177A	No
56	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	177A	176A	178A	90,000
57	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	177A	176A	178A	90,000
58	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	177A	176A	178A	90,000
59	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	173A	174A	171A	172A	175A	177A	176A	178A	90,000
60	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	173A	174A	171A	172A	175A	177A	176A	178A	90,000

ตารางที่ ง.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
61	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	173A	174A	171A	172A	175A	177A	176A	178A	90,000
62	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	177A	176A	172A	90,000
63	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	177A	176A	172A	90,000
64	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	177A	176A	172A	90,000
65	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	176A	172A	171A	177A	90,000
66	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	176A	172A	171A	177A	90,000
67	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	176A	172A	171A	177A	90,000
68	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	174A	175A	173A	178A	176A	172A	171A	177A	90,000
69	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	174A	175A	173A	178A	176A	172A	171A	177A	90,000
70	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	174A	175A	173A	178A	176A	172A	171A	177A	90,000
71	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	174A	175A	173A	176A	177A	172A	171A	178A	90,000
72	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	174A	175A	173A	176A	177A	172A	171A	178A	90,000
73	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	174A	175A	173A	176A	177A	172A	171A	178A	90,000
74	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	0
75	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	173A	175A	178A	176A	177A	0
76	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	173A	178A	176A	177A	0
77	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	178A	173A	176A	177A	0
78	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	178A	176A	173A	177A	0
79	62A	61A	66D	65C	63A	64A	179C	171A	172A	174A	175A	178A	176A	177A	173A	0
80	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	90,000

ตารางที่ ง.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
81	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	90,000
82	65C	61A	62A	66D	63A	64A	179C	171A	172A	173A	174A	175A	178A	176A	177A	90,000
83	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	173A	174A	171A	172A	175A	178A	176A	177A	90,000
84	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	173A	174A	171A	172A	175A	178A	176A	177A	90,000
85	65C	61A	62A	66D	63A	64A	179C	173A	174A	171A	172A	175A	178A	176A	177A	90,000
86	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	172A	176A	177A	90,000
87	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	172A	176A	177A	90,000
88	65C	61A	62A	66D	63A	64A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	172A	176A	177A	90,000
89	63A	64A	65C	61A	62A	179C	172A	171A	66D	178A	176A	177A	173A	174A	175A	No
90	63A	64A	65C	61A	62A	179C	171A	172A	66D	178A	176A	177A	173A	174A	175A	No
91	63A	64A	65C	61A	62A	179C	171A	172A	66D	178A	176A	177A	173A	174A	175A	No
92	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	171A	172A	177A	176A	90,000
93	65C	66D	61A	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	176A	177A	172A	171A	90,000
94	65C	61A	66D	62A	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	176A	177A	172A	171A	90,000
95	65C	61A	62A	66D	64A	63A	179C	173A	174A	175A	178A	176A	177A	172A	171A	90,000
96	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	173A	174A	175A	178A	176A	177A	171A	172A	90,000
97	65C	61A	62A	66D	63A	64A	179C	173A	174A	175A	178A	176A	177A	171A	172A	90,000
98	65C	66D	61A	62A	63A	64A	179C	174A	175A	173A	178A	176A	177A	171A	172A	90,000
99	65C	61A	66D	62A	63A	64A	179C	174A	175A	173A	178A	176A	177A	171A	172A	90,000
100	65C	64A	63A	66D	61A	62A	179C	173A	178A	171A	172A	177A	175A	174A	176A	90,000

ตารางที่ ง.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2																								ค่าความเหมาะสม
1	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	202A	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
2	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
3	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	202A	201A	203A	103D	101A	102A	104D	540,000
4	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	103D	101A	102A	104D	540,000
5	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	202A	201A	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
6	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
7	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
8	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
9	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	203A	204B	104D	103D	101A	102A	No
10	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	101A	102A	104D	103D	No
11	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	104D	101A	102A	103D	No
12	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
13	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
14	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
15	182A	185C	181A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	203A	204B	104D	103D	101A	102A	No
16	182A	185C	181A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	101A	102A	104D	103D	No
17	182A	185C	181A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	104D	101A	102A	103D	No
18	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	204B	202A	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
19	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	204B	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
20	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	201A	204B	203A	101A	104D	102A	103D	540,000

ตารางที่ ง.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2																								ค่าความเหมาะสม
21	182A	185C	183A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	203A	204B	104D	103D	101A	102A	No
22	183A	182A	185C	181A	184A	52C	51C	53C	54C	55C	163C	162C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	203A	204B	104D	103D	101A	102A	No
23	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
24	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
25	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
26	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	203A	204B	104D	103D	101A	102A	No
27	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	101A	102A	104D	103D	No
28	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	104D	101A	102A	103D	No
29	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
30	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
31	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
32	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	203A	204B	104D	103D	101A	102A	No
33	181A	182A	185C	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
34	181A	182A	185C	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
35	181A	182A	185C	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
36	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
37	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
38	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
39	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	101A	102A	104D	103D	No
40	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	204B	202A	201A	203A	101A	104D	103D	102A	540,000

ตารางที่ ง.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2																									ค่าความเหมาะสม
41	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	204B	201A	203A	101A	104D	103D	102A	540,000
42	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	201A	204B	203A	101A	104D	103D	102A	540,000
43	183A	182A	185C	181A	184A	52C	51C	53C	54C	55C	163C	162C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	101A	102A	104D	103D	No
44	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
45	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
46	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	104D	101A	102A	103D	No
47	181A	182A	185C	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
48	181A	182A	185C	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
49	181A	182A	185C	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
50	183A	182A	185C	181A	184A	52C	51C	53C	54C	55C	163C	162C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	104D	101A	102A	103D	No
51	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
52	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
53	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
54	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	165D	161B	166D	204B	205D	202A	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
55	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	165D	161B	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
56	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	165D	161B	166D	204B	205D	202A	201A	203A	103D	101A	102A	104D	540,000
57	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	165D	161B	166D	205D	204B	202A	201A	203A	103D	101A	102A	104D	540,000
58	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	166D	165D	161B	204B	205D	202A	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
59	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	166D	165D	161B	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
60	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	166D	165D	161B	204B	205D	202A	201A	203A	103D	101A	102A	104D	540,000

ตารางที่ ง.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2																									ค่าความเหมาะสม
61	185C	181A	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	166D	165D	161B	205D	204B	202A	201A	203A	103D	101A	102A	104D	540,000
62	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
63	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
64	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	102A	103D	540,000
65	182A	185C	183A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	101A	102A	104D	103D	No
66	182A	185C	183A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	104D	101A	102A	103D	No
67	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	101A	104D	103D	102A	540,000
68	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	101A	104D	103D	102A	540,000
69	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	101A	104D	103D	102A	540,000
70	183A	182A	185C	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
71	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
72	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
73	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
74	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	204B	202A	201A	203A	101A	104D	103D	102A	540,000
75	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	204B	201A	203A	101A	104D	103D	102A	540,000
76	183A	185C	182A	181A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	166D	165D	205D	202A	201A	204B	203A	101A	104D	103D	102A	540,000
77	181A	182A	185C	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
78	181A	182A	185C	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
79	181A	182A	185C	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	103D	101A	102A	540,000
80	182A	185C	183A	184A	181A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	203A	204B	104D	103D	101A	102A	No

ตารางที่ ง.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 2																									ค่าความเหมาะสม
81	182A	185C	183A	184A	181A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	101A	102A	104D	103D	No
82	182A	185C	183A	184A	181A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	202A	201A	203A	204B	205D	104D	101A	102A	103D	No
83	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
84	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
85	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
86	182A	181A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
87	182A	181A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
88	182A	181A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
89	182A	181A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
90	182A	181A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
91	182A	181A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
92	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
93	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
94	181A	182A	183A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
95	184A	183A	182A	185C	181A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
96	184A	183A	182A	185C	181A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	204B	201A	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
97	184A	183A	182A	185C	181A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
98	183A	182A	181A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	202A	201A	204B	203A	104D	101A	103D	102A	540,000
99	183A	182A	181A	185C	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	205D	204B	202A	201A	203A	101A	104D	102A	103D	540,000
100	181A	185C	182A	183A	184A	51C	52C	53C	54C	55C	162C	163C	164C	161B	165D	166D	204B	205D	202A	201A	203A	104D	103D	101A	102A	540,000

ตารางที่ ง.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3																				ค่าความเหมาะสม
1	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
2	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
3	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
4	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
5	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
6	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
7	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
8	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
9	133A	134A	131A	132A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
10	133A	134A	131A	132A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
11	133A	134A	131A	132A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
12	133A	134A	131A	132A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
13	134A	133A	132A	131A	195A	196A	194A	193A	192A	191A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
14	134A	133A	132A	131A	195A	196A	194A	193A	192A	191A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
15	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
16	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
17	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
18	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
19	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
20	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000

ตารางที่ ง.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3																				ค่าความเหมาะสม
21	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
22	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
23	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
24	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
25	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	122A	123A	124A	125A	126A	360,000
26	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
27	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
28	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
29	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
30	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
31	131A	132A	133A	134A	191A	196A	195A	194A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
32	131A	132A	133A	134A	191A	196A	195A	194A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
33	131A	132A	133A	134A	191A	196A	195A	194A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
34	131A	132A	133A	134A	191A	196A	195A	194A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
35	134A	133A	132A	131A	195A	196A	194A	193A	192A	191A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
36	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
37	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
38	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
39	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	122A	123A	360,000
40	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No

ตารางที่ ง.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3																			ค่าความเหมาะสม
41	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
42	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
43	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
44	134A	133A	132A	131A	193A	194A	195A	196A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
45	134A	133A	132A	131A	193A	194A	195A	196A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
46	134A	133A	132A	131A	193A	194A	195A	196A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
47	134A	133A	132A	131A	193A	194A	195A	196A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
48	131A	132A	133A	134A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	1210D	127B	128B	129D	450,000
49	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	124A	125A	126A	121A	122A	123A	129D	1210D	128B	127B	450,000
50	131A	132A	133A	134A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	129D	127B	128B	1210D	450,000
51	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	124A	125A	126A	121A	122A	123A	1210D	129D	128B	127B	450,000
52	134A	133A	132A	131A	191A	192A	193A	194A	195A	196A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	1210D	128B	129D	127B	450,000
53	133A	134A	131A	132A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
54	133A	134A	131A	132A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
55	133A	134A	131A	132A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
56	133A	134A	131A	132A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
57	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
58	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
59	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
60	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000

ตารางที่ ง.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3																				ค่าความเหมาะสม
61	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	129D	1210D	127B	450,000
62	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	1210D	129D	127B	450,000
63	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	127B	129D	1210D	128B	450,000
64	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	127B	1210D	129D	128B	450,000
65	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
66	131A	132A	133A	134A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
67	133A	134A	131A	132A	191A	196A	195A	194A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
68	133A	134A	131A	132A	191A	196A	195A	194A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
69	133A	134A	131A	132A	191A	196A	195A	194A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
70	133A	134A	131A	132A	191A	196A	195A	194A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
71	134A	133A	132A	131A	195A	196A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
72	134A	133A	132A	131A	195A	196A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
73	134A	133A	132A	131A	195A	196A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
74	134A	133A	132A	131A	195A	196A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	128B	127B	129D	1210D	124A	125A	126A	No
75	131A	132A	133A	134A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	129D	128B	127B	1210D	450,000
76	131A	132A	133A	134A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	1210D	128B	127B	129D	450,000
77	134A	133A	132A	131A	191A	192A	193A	194A	195A	196A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	129D	127B	1210D	128B	450,000
78	134A	133A	132A	131A	191A	192A	193A	194A	195A	196A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	1210D	127B	129D	128B	450,000
79	134A	133A	132A	131A	195A	192A	191A	193A	194A	196A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
80	131A	132A	133A	134A	195A	192A	193A	191A	196A	194A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000

ตารางที่ ง.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 3																				ค่าความเหมาะสม
81	131A	132A	133A	134A	195A	192A	193A	191A	196A	194A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
82	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
83	134A	133A	132A	131A	196A	195A	194A	193A	192A	191A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
84	134A	133A	132A	131A	195A	192A	191A	193A	194A	196A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
85	133A	134A	131A	132A	195A	192A	193A	191A	196A	194A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
86	133A	134A	131A	132A	195A	192A	193A	191A	196A	194A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
87	134A	133A	132A	131A	195A	192A	191A	193A	194A	196A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
88	134A	133A	132A	131A	195A	192A	191A	193A	194A	196A	121A	122A	123A	124A	128B	127B	129D	1210D	125A	126A	450,000
89	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
90	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
91	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
92	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
93	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
94	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
95	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	124A	125A	126A	121A	122A	123A	129D	1210D	127B	128B	450,000
96	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
97	131A	132A	133A	134A	195A	194A	196A	191A	192A	193A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	128B	127B	129D	1210D	450,000
98	133A	134A	131A	132A	194A	195A	196A	191A	192A	193A	124A	125A	126A	121A	122A	123A	1210D	129D	127B	128B	450,000
99	134A	133A	132A	131A	191A	192A	193A	194A	195A	196A	121A	122A	123A	124A	125A	126A	129D	128B	1210D	127B	450,000
100	133A	134A	131A	132A	192A	194A	195A	193A	191A	196A	125A	123A	124A	121A	122A	126A	128B	127B	1210D	129D	450,000

ตารางที่ ง.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4										ค่าความเหมาะสม
1	81A	84C	85C	82A	83A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
2	84C	81A	85C	82A	83A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
3	84C	85C	81A	82A	83A	151A	153D	154D	155D	152A	180,000
4	84C	85C	81A	82A	83A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
5	84C	85C	81A	82A	83A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
6	84C	85C	81A	82A	83A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
7	81A	85C	85C	82A	83A	151A	153D	154D	145D	152A	180,000
8	81A	82A	84C	85C	83A	153D	154D	155D	151A	152A	No
9	82A	81A	84C	85C	83A	153D	154D	155D	151A	152A	No
10	81A	82A	85C	84C	83A	153D	154D	155D	151A	152A	No
11	82A	81A	85C	84C	83A	153D	154D	155D	151A	152A	No
12	84C	81A	85C	82A	83A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
13	84C	81A	85C	82A	83A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
14	84C	81A	85C	82A	83A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
15	82A	84C	85C	81A	83A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
16	84C	82A	85C	81A	83A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
17	84C	85C	82A	81A	83A	151A	153D	154D	155D	152A	180,000
18	83A	81A	84C	85C	82A	153D	154D	155D	151A	152A	No
19	83A	82A	84C	85C	81A	153D	154D	155D	151A	152A	No
20	83A	81A	85C	84C	82A	153D	154D	155D	151A	152A	No

ตารางที่ ง.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4										ค่าความเหมาะสม
20	83A	81A	85C	84C	82A	153D	154D	155D	151A	152A	No
21	83A	82A	85C	84C	81A	153D	154D	155D	151A	152A	No
22	82A	85C	85C	81A	83A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
23	82A	85C	85C	81A	83A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
24	82A	85C	85C	81A	83A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
25	84C	82A	85C	81A	83A	151A	153D	154D	155D	152A	180,000
26	84C	82A	85C	81A	83A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
27	81A	83A	82A	84C	85C	154D	153D	155D	152A	151A	No
28	81A	82A	83A	84C	85C	154D	153D	155D	152A	151A	No
29	82A	81A	83A	84C	85C	154D	153D	155D	152A	151A	No
30	82A	83A	81A	84C	85C	154D	153D	155D	152A	151A	No
31	84C	85C	83A	82A	81A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
32	83A	84C	85C	82A	81A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
33	84C	83A	85C	82A	81A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
34	84C	85C	83A	82A	81A	151A	153D	154D	155D	152A	180,000
35	84C	85C	83A	82A	81A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
36	84C	85C	83A	82A	81A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
37	81A	83A	82A	84C	85C	153D	154D	155D	151A	152A	No
38	81A	82A	83A	84C	85C	153D	154D	155D	151A	152A	No
39	84C	85C	83A	82A	81A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
40	83A	85C	85C	82A	81A	151A	153D	154D	145D	152A	180,000

ตารางที่ ง.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4										ค่าความเหมาะสม
41	83A	85C	85C	82A	81A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
42	83A	85C	85C	82A	81A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
43	83A	85C	85C	82A	81A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
44	84C	83A	85C	82A	81A	151A	153D	154D	155D	152A	180,000
45	84C	83A	85C	82A	81A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
46	84C	83A	85C	82A	81A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
47	84C	83A	85C	82A	81A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
48	84C	85C	81A	83A	82A	153D	154D	155D	152A	151A	180,000
49	81A	84C	85C	83A	82A	153D	154D	155D	152A	151A	180,000
50	84C	81A	85C	83A	82A	153D	154D	155D	152A	151A	180,000
51	84C	85C	81A	83A	82A	152A	153D	154D	155D	151A	180,000
52	81A	82A	83A	85C	84C	154D	153D	155D	152A	151A	No
53	82A	81A	83A	85C	84C	154D	153D	155D	152A	151A	No
54	84C	85C	81A	83A	82A	152A	151A	153D	154D	155D	180,000
55	84C	85C	81A	83A	82A	152A	153D	151A	154D	155D	180,000
56	84C	85C	81A	83A	82A	152A	153D	154D	151A	155D	180,000
57	81A	85C	85C	83A	82A	152A	153D	154D	145D	151A	180,000
58	81A	85C	85C	83A	82A	152A	151A	153D	154D	155D	180,000
59	81A	85C	85C	83A	82A	152A	153D	151A	154D	155D	180,000
60	82A	83A	81A	85C	84C	153D	154D	155D	151A	152A	No

ตารางที่ ง.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4										ค่าความเหมาะสม
61	83A	82A	81A	85C	84C	153D	154D	155D	151A	152A	No
62	81A	85C	85C	83A	82A	152A	153D	154D	151A	155D	180,000
63	84C	81A	85C	83A	82A	152A	153D	154D	155D	151A	180,000
64	84C	81A	85C	83A	82A	152A	151A	153D	154D	155D	180,000
65	84C	81A	85C	83A	82A	152A	153D	151A	154D	155D	180,000
66	84C	81A	85C	83A	82A	152A	153D	154D	151A	155D	180,000
67	84C	85C	82A	81A	83A	153D	154D	155D	152A	151A	180,000
68	82A	84C	85C	81A	83A	153D	154D	155D	152A	151A	180,000
69	84C	82A	85C	81A	83A	153D	154D	155D	152A	151A	180,000
70	84C	85C	82A	81A	83A	152A	153D	154D	155D	151A	180,000
71	84C	85C	82A	81A	83A	152A	151A	153D	154D	155D	180,000
72	84C	85C	82A	81A	83A	152A	153D	151A	154D	155D	180,000
73	84C	85C	82A	81A	83A	152A	153D	154D	151A	155D	180,000
74	82A	85C	85C	81A	83A	152A	153D	154D	145D	151A	180,000
75	82A	85C	85C	81A	83A	152A	151A	153D	154D	155D	180,000
76	82A	85C	85C	81A	83A	152A	153D	151A	154D	155D	180,000
77	82A	85C	85C	81A	83A	152A	153D	154D	151A	155D	180,000
78	84C	82A	85C	81A	83A	152A	153D	154D	155D	151A	180,000
79	84C	82A	85C	81A	83A	152A	151A	153D	154D	155D	180,000
80	84C	82A	85C	81A	83A	152A	153D	151A	154D	155D	180,000

ตารางที่ ง.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 4										ค่าความเหมาะสม
81	84C	82A	85C	81A	83A	152A	153D	154D	151A	155D	180,000
82	84C	85C	81A	83A	82A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
83	81A	84C	85C	83A	82A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
84	84C	81A	85C	83A	82A	153D	154D	155D	151A	152A	180,000
85	84C	85C	81A	83A	82A	151A	153D	154D	155D	152A	180,000
86	84C	85C	81A	83A	82A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
87	84C	85C	81A	83A	82A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
88	84C	85C	81A	83A	82A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
89	81A	85C	85C	83A	82A	151A	153D	154D	145D	152A	180,000
90	81A	85C	85C	83A	82A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
91	81A	85C	85C	83A	82A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
92	81A	85C	85C	83A	82A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
93	84C	81A	85C	83A	82A	151A	153D	154D	155D	152A	180,000
94	84C	81A	85C	83A	82A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
95	84C	81A	85C	83A	82A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
96	84C	81A	85C	83A	82A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
97	82A	85C	85C	83A	81A	151A	152A	153D	154D	155D	180,000
98	82A	85C	85C	83A	81A	151A	153D	152A	154D	155D	180,000
99	82A	85C	85C	83A	81A	151A	153D	154D	152A	155D	180,000
100	85C	84C	82A	83A	81A	151A	154D	155D	152A	153D	180,000

ตารางที่ ง.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5															ค่าความเหมาะสม
1	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
2	111C	92C	91C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
3	111C	92C	93C	91C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
4	111C	91C	92C	93C	141C	142C	41D	71A	73D	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
5	111C	92C	91C	93C	141C	142C	41D	71A	73D	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
6	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
7	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
8	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
9	111C	92C	93C	91C	141C	142C	41D	71A	73D	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
10	111C	91C	92C	93C	142C	141C	41D	73D	72A	71A	11D	21C	32C	31C	33D	No
11	111C	92C	91C	93C	142C	141C	41D	73D	72A	71A	11D	21C	32C	31C	33D	No
12	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	72A	71A	11D	2,420,000
13	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	72A	71A	11D	2,420,000
14	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	72A	71A	11D	2,420,000
15	111C	92C	93C	91C	142C	141C	41D	73D	72A	71A	11D	21C	32C	31C	33D	No
16	111C	91C	92C	93C	142C	141C	41D	71A	73D	72A	11D	21C	32C	31C	33D	No
17	111C	92C	91C	93C	142C	141C	41D	71A	73D	72A	11D	21C	32C	31C	33D	No
18	111C	92C	93C	91C	142C	141C	41D	71A	73D	72A	11D	21C	32C	31C	33D	No
19	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
20	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000

ตารางที่ ง.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5															ค่าความเหมาะสม
21	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
22	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
23	111C	92C	91C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
24	111C	92C	93C	91C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
25	111C	91C	92C	93C	142C	141C	41D	73D	71A	72A	11D	21C	32C	31C	33D	No
26	111C	92C	91C	93C	142C	141C	41D	73D	71A	72A	11D	21C	32C	31C	33D	No
27	111C	92C	93C	91C	142C	141C	41D	73D	71A	72A	11D	21C	32C	31C	33D	No
28	111C	92C	91C	93C	142C	141C	41D	71A	72A	73D	11D	21C	32C	31C	33D	No
29	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
30	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
31	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
32	111C	92C	93C	91C	142C	141C	41D	71A	72A	73D	11D	21C	32C	31C	33D	No
33	111C	91C	92C	93C	142C	141C	41D	71A	73D	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
34	111C	92C	91C	93C	142C	141C	41D	71A	73D	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
35	111C	92C	93C	91C	142C	141C	41D	71A	73D	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
36	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
37	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
38	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
39	111C	91C	92C	93C	142C	141C	41D	73D	71A	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
40	111C	92C	91C	93C	142C	141C	41D	73D	71A	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No

ตารางที่ ง.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5															ค่าความเหมาะสม
41	111C	92C	93C	91C	142C	141C	41D	73D	71A	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
42	111C	91C	92C	93C	142C	141C	41D	71A	72A	73D	11D	21C	31C	32C	33D	No
43	111C	92C	91C	93C	142C	141C	41D	71A	72A	73D	11D	21C	31C	32C	33D	No
44	111C	92C	93C	91C	142C	141C	41D	71A	72A	73D	11D	21C	31C	32C	33D	No
45	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
46	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
47	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
48	111C	91C	92C	93C	141C	142C	41D	73D	71A	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
49	111C	92C	91C	93C	141C	142C	41D	73D	71A	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
50	111C	92C	93C	91C	141C	142C	41D	73D	71A	72A	11D	21C	31C	32C	33D	No
51	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	71A	73D	11D	2,420,000
52	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	71A	73D	11D	2,420,000
53	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	71A	73D	11D	2,420,000
54	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
55	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
56	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
57	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
58	111C	92C	91C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
59	111C	92C	93C	91C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
60	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	73D	71A	11D	2,420,000

ตารางที่ ง.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5															ค่าความเหมาะสม
61	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	73D	71A	11D	2,420,000
62	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	73D	71A	11D	2,420,000
63	111C	91C	92C	93C	142C	141C	41D	71A	72A	73D	11D	21C	32C	31C	33D	No
64	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
65	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
66	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
67	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
68	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
69	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
70	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	72A	71A	11D	2,420,000
71	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	72A	71A	11D	2,420,000
72	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	73D	72A	71A	11D	2,420,000
73	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
74	111C	92C	91C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
75	111C	92C	93C	91C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
76	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
77	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
78	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
79	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
80	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000

ตารางที่ ง.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้า 100 รอบ ของรถขนส่งคันที่ 5															ค่าความเหมาะสม
81	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	73D	72A	11D	2,420,000
82	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	73D	71A	11D	2,420,000
83	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	73D	71A	11D	2,420,000
84	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	73D	71A	11D	2,420,000
85	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
86	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
87	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
88	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
89	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
90	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
91	111C	91C	92C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	71A	73D	11D	2,420,000
92	111C	92C	91C	93C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	71A	73D	11D	2,420,000
93	111C	92C	93C	91C	142C	141C	21C	32C	31C	33D	41D	72A	71A	73D	11D	2,420,000
94	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
95	111C	92C	91C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
96	111C	92C	93C	91C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000
97	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
98	111C	92C	91C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
99	111C	92C	93C	91C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	71A	72A	73D	11D	2,420,000
100	111C	91C	92C	93C	141C	142C	21C	31C	32C	33D	41D	73D	71A	72A	11D	2,420,000

ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Sinoi, W., Pholdee, P. and Siriruk, P. (2019). Genetic Algorithm with Best-Fit Heuristic Algorithm for 2D. **The 4th Japan International Conference on Business, Management Studies and Social Science**. September 26-27, 2019, Osaka, Japan.

Genetic Algorithm with Best-Fit Heuristic Algorithm for 2D Bin Packing Problems

Pavee Siriruk[1]

[1]Suranaree University Of Technology

[1]sirirpav@gmail.com

Abstract

Background – In general operation of a logistics company, the company often faces with a problem of loading a batch of various sized objects in a truck bed.

Purpose – This work proposes to solve a two-dimensional bin packing problem with genetic algorithm with best-fit algorithm (GABFA).

Design/methodology/approach – A problem of fitting two sizes of square boxes and one size of rectangular boxes into a large rectangular truck bed is considered. The objective is to use the least number of trucks possible to satisfy customer demands.

Findings – A numerical example is given. The results show that an algorithm can find an optimal solution with the largest useful space and all items are loaded on truck bed.

Research limitations – Still in the beginning of algorithm development.

Originality/value – Combine genetic algorithm and best-fit algorithm to solve problems

Keywords: Two-Dimensional Bin Packing Problems, Genetic Algorithm, Best-Fit Algorithm

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Genetic Algorithm with Best-Fit Heuristic Algorithm for 2D Bin Packing Problems

Wipawee Sinoi[1], Panitta Pholdee[2], and Pavee Siriruk[3]

[1, 2, 3] Department of Industrial Engineering, Suranaree University, Thailand
[1] E-mail address panitthapholdee@gmail.com; [2] E-mail address wipaweesinoi@gmail.com; [3] E-mail address pavee@g.sut.ac.th;

Abstract

In general operation of a logistics company, the company often faces with a problem of loading a batch of various sized objects in a truck bed. This work proposes to solve a two-dimensional bin packing problem with genetic algorithm with *best-fit algorithm (GABFA). A numerical example is given. A problem of fitting two sizes of square boxes and one size of rectangular boxes in*to a large rectangular *truck bed is considered. The objective is to use the least number of trucks possible to satisfy customer demands. The results show that an algorithm can find an optimal solution with the largest useful space and all items are loaded on truck bed.*

Keywords: Two-Dimensional Bin Packing Problems, Genetic Algorithm, Best-Fit Algorithm

I. INTRODUCTION

In the Two-Dimensional Bin Packing Problem (2BP), it is required to allocate a set of rectangular items to a larger rectangular bin, and the objective is to allocate all the items to minimize the number of bins. There are many applications related to 2BP. In the shipping department of logistics company, the company deals with a problem in which a batch of various sized objects are loaded as many as possible in a rectangular area of truck beds. The company aims to minimize the number of trucks used to deliver items.

There are many algorithms related to 2BP such as Hopper and Turton (2001) compares the hybrid algorithms (meta-heuristic and heuristic algorithms) in terms of solution quality and computation time of packing problems of different size. The two-dimensional (2D) rectangular and fixed set of items have to be allocated on a single object for packing problem in order to show the design of their performance is compared to random search (RS) and heuristic packing routines. Zhang, Deng, and Kang (2006) introduced a hybrid heuristic algorithm for the two-dimensional rectangular packing problem. The divine-and-conquer approach is used. The algorithm breaks a problem into subproblems that are similar to the original problem but smaller in size. The subproblem is solved recursively and combined these solutions to create a solution to the original problem. The results shown that hybrid heuristic algorithm outperformed other two heuristics in percent of unpacked area and CPU time. Lodi, Martello, and Vigo (1999) consider the problem of packing each item into a bin so that no two items overlap and the number of required bins is minimized. Tabu search approach is used in the initialization and analyze its average performance through extensive computational experiments. Bortfeldt (2006) developed a genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem (2D-SPP). Given a set of rectangular pieces and a container of fixed width and variable length. The GA is subjected to a comprehensive test using benchmark instances with up to 5000 pieces. Compared to eleven competing methods from the literature the GA performs best. Blum and Schmid (2013) considered the oriented 2D bin packing problem under free guillotine cutting, a problem in which a set of oriented rectangular items. The results of the proposed algorithm are compared to some of the best approaches from the literature. Oliveira, Neuenfeldt Júnior, Silva and et al. (2016) this survey approaches the specific C&P problem in which all items are rectangles, therefore fully characterized by a width and a height, and the large object is a strip. Considered the two-dimensional rectangular strip packing problems belong to the broader class of cutting and packing problems, which small items are required to be cut from or packed on a larger object so that the waste (unused regions of the large object is minimized. Puchinger and Raidl (2007) present new models integer linear programming formulations for a restricted version and consider the three-stage two-dimensional bin packing problem (2BP). Pisinger and Sigurd (2005) present an integer-linear formulation of the 2DVSBPP and introduce several lower bounds for the problem and

determine of the two-dimensional variable sized bin packing problem (2DVSBPP). Liu, Tan, Goh and Ho (2006) development for important with heuristic packing and objective is a composite scalar which is an integrated particle swarm optimization algorithm (HMOPSO) incorporating the concept of pareto optimization.

In this paper, we develop the genetic algorithm with best-fit algorithm (GABFA) to minimize transportation costs for the firm. For each transportation truck, an attempt is made to place the objects so that the area of the smallest rectangle bounding all the objects is minimized. In the final layout of all trucks, it is desired that there should be no overlap of any items on truck beds, while they are placed as close to each other as possible. The paper is organized as follows. A problem description is presented in section two. In section three, the solution methodology is proposed. Test and Results are shown in section four. In section five, the results are concluded.

II. PROBLEM DESCRIPTION

Based on real operations in logistics company , it is assumed that the store have k trucks available for transportation. Each empty truck bed has W in width and L in length. Given q types of square boxes with the number of n_i Boxes. Each boxes type q has length l_i and width w_i, $1 \leq i \leq n$. Moreover, given j types of large rectangular products with the number of m_j products. Each type of product j has length a_j and width b_j.

A square boxes will be placed on the truck first. Assumed to have rectangular shapes and can be rotated by 90 degrees before placing on truck beds. One common way of minimizing transportation costs for the building material store is by using the least number of trucks possible. This method should help the enterprises make packing plans. In the final layout, it is desired that there should be no overlap of any objects while they are placed as close to each other as possible.

III. SOLUTION METHODOLOGY

In this section, the genetic algorithm with best-fit algorithm (GABFA) are developed. The algorithm is as follows:

1.1 The first row starting from square boxes

Pack square boxes on the first row starting from upper left corner of a truck. If there is no square pallets, go to step 3.2. Choose the number of square boxes that have the least empty space on the first row, Given each square boxes in length l_i and the number of n items. Choose to pack square boxes that satisfies the following equation:

$$l_i \times N = \mathrm{L} \quad \text{for} \quad 1 \leq i \leq n \qquad (1) \qquad N = 1,2,3,\ldots,\mathrm{n}$$

1.2 Genetic Algorithm

After packing square boxes on the first row of a truck bed, we deploy genetic algorithm to make decision on packing all rectangular items which can be rotated by 90 degrees. We can place it in a horizontal and vertical orientation. When we place an item in a horizontal orientation, given j types of large rectangular products with the number of m_j products. Each type of product j has length a_j and width b_j. The Genetic Algorithm involves four steps:

1.2.1 Population initialization

Population initialization is an initial solution to be used in an algorithm. The initial individual is represented by string of variables. It is obtained by randomly generating two individuals, which are called Parent 1 and Parent 2 (P1 and P2). After population initialization, the algorithm evolves through genetic operation and fitness evaluation.

1.2.2 Genetic Operation

Partial Mapped Crossover (PMX) (Karmer and Koch, 2007) is used to create offspring in a genetic algorithm.

i) Choose two random cut points and copy all genes in the segment from P1 to offspring.

ii) In P2, starting from the first crossover point look for genes, which have not been copied from P1 to child. Keep these genes in set $\boldsymbol{o}$.

iii) For each element of $\boldsymbol{o}$ in P2, look for the same gene position in P1 and keep those genes in set $\boldsymbol{p}$.

iV) Place element of $\boldsymbol{o}$ into the offspring position, which occupied by $\boldsymbol{p}$ in P2.

V) If the place occupied by $\boldsymbol{p}$ in P2 has already been filled in the offspring, look for another position in P1 that is available and keep it in set $\boldsymbol{q}$. Put $\boldsymbol{o}$ in the position occupied by $\boldsymbol{q}$ in P2.

VI) The empty positions in the offspring can be copied directly from P2.

The second offspring can be created by repeating steps I - VI. Genes in a chromosome interpret as rectangular boxes arrangement in a truck bed from left to right.

1.2.3 Fitness Evaluation

In this step, the fitness evaluation is considered as available space on a truck bed and calculated by the following equation:

$$Fitness\ value\ =\ Total\ Areas - (Packing\ Areas\ +\ Unusaable\ Areas) \quad (2)$$

An offspring, which has the highest fitness value, will be selected as P1 to create offspring for the next generations. P2 is randomly generating in the next generations.

1.2.4 Stop Criteria

Repeat steps 3.2.2 and 3.2.3 for k iterations. Keep the chromosome that has the highest fitness values. This chromosome is considered to be the best rectangular box arrangement.

1.3 Arranging the remaining boxes

Best-fit Algorithm is a method to place boxes on the truck bed by considering all current trucks that has an empty space. Choose to pack boxes in the truck that has the least amount of empty space. If a current truck cannot pack all boxes, employ the next truck that has the least amount of empty space. Repeat this step until all boxes are put on truck bed.

IV. NUMERICAL EXAMPLES

Given one truck available for transportation of building material stores. Each empty truck bed has (W = 1,500 mm) in width and (L = 2,100 mm) in length. There are 2 types of square boxes with the number of 14 and 7 for each type respectively. Box type A has 200 mm in width and length. In addition, box type C has 400 mm in width and length. The data are shown in Table 1.

Table 1.
Data for square boxes.

q	n_i	$w_i \times l_i$ (mm)	Nomenclature
1	14	200x200	A
2	9	300x300	C

There is one type of rectangular products with 7 pieces to deliver. The product has 500 mm in width and 400 mm in length. Since the product can be rotated 90 degrees, we can place it in a horizontal and vertical orientation. When we place the product in a horizontal orientation, it is represented by B. In contrast, when the product is placed in a vertical orientation, it is represented by D. The data are shown in Table 2.

Table 2.
Data for rectangular boxes.

j	m_j	$a_j \times b_j$ (mm)	Nomenclature
1	7	500x400	B
2		400x500	D

The algorithm described in section 3 is used to solve numerical example above. Pack square boxes on the first row of truck bed starting from upper left corner. Using equation 1 above, the results is shown below.

Square boxes type 1 (A) : $200(1) \neq 2{,}100$
$\vdots$
$200(7) \neq 2100$
$1400 \neq 2100$

Square boxes type 2 (C) : $300(1) = 2100$
$\vdots$
$300(7) = 2100$
$2100 = 2100$

Choose square boxes that yield the lowest value from equation 1. Thus, we choose to load square pallet type 2 (C) on a truck bed first and load square pallet type 1 (A) on a truck bed following. Since truck bed has 2,100 mm in length, we can only fit 7 of pallet type 2 with no empty space as depicted in Figure 1. There is one pallet type 2 left which will load on the truck bed later.

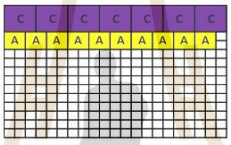


Figure 1. Load square pallet type 2 on truck bed first and load square pallet type 1 (A) a truck bed following.

After pack square boxes of truck bed is filled, deploy genetic algorithm to make decision on packing all large rectangular items which can be rotated by 90 degrees. The genetic algorithm consists of four steps described in section 3.2 is deployed to find solutions.

1) Population Initialization

We will define the initial chromosome is represented using string of variables. P1 and P2 is obtained by random rectangular box arrangement (B1-B7 or D1-D7). The data are shown in Table 3.

Table 3.
Data for Population Initialization

Population Initialization							
Number of rectangular boxes	1	2	3	4	5	6	7
Parent 1	B1	D5	B6	B2	B3	D7	B4
Parent 2	B5	D2	D1	D4	D3	D6	D7

2) Genetic Operation

Choose two random cut points and copy all genes in the segment from P1 to offspring as shown below.

P1 B1 | D5 B6 B2 B3 | D7 B4
P2 B5 | D2 D1 D4 D3 | D6 D7

Child 1 | D5 B6 B2 B3 |

In P2, starting from the first crossover point look for genes, which have not been copied from P1 to child. Keep these genes in set $o = \{D1, D4\}$.

P2 B5 | D2 D1 D4 D3 | D6 D7
Child 1 __ | D5 B6 B2 B3 | __ D7

For each element of ***o*** in P2, look for the same gene position in P1 and keep those genes in set ***p***. Place element of ***o*** into the offspring position, which occupied by ***p*** in P2.

P1 B1 | D5 B6 B2 B3 | D7 B4
P2 B5 | D2 D1 D4 D3 | D6 D7
Child 1 D1 | D5 B6 B2 B3 | D4 __

The empty positions in the child 1 can be copied directly from P2 as shown below.

P1 B1 | D5 B6 B2 B3 | D7 B4
P2 B5 | D2 D1 D4 D3 | D6 D7
Child 1 D1 | D5 B6 B2 B3 | D4 D7

Choose two random cut points again and repeat all steps above in order to create child 2. The result of child 2 is shown below.

P1 B1 D5 | B6 B2 B3 D7 | B4
P2 B5 D2 | D1 D4 D3 D6 | D7
Child 2 B5 D4 | B6 B2 B3 D7 | D1

After obtaining child 1 and child 2, the remaining boxes are arranged by Best-fit algorithm with two sizes of square boxes and one size rectangular boxes. The results are shown in Table IV and box arrangement for iteration 1 is shown in figure 2. Child 2 has the highest fitness. We will transform child 2 to P1 in the second iteration.

Table 4. Data for step of genetic operation in iteration 1

Genetic Operation								Fitness Evaluation Max Z (mm)
iteration 1								
Consider the crossover 2 point as shown below.								
Parent 1	B1	D5	B6	B2	B3	D7	B4	
Parent 2	B5	D2	D1	D4	D3	D6	D7	
Offspring are created by exchanging the genes of parent 1 to child 1.								
Child 1		D5	B6	B2	B3			
To make changes according to the relationships that are connected to each								
Child 1	D1	D5	B6	B2	B3	D4	D7	600,000
Consider the crossover 2 point as shown below.								
Parent 1	B1	D5	B6	B2	B3	D7	B4	
Parent 2	B5	D2	D1	D4	D3	D6	D7	
Offspring are created by exchanging the genes of parent 1 to child 1.								
Child 2		D5	B6	B2	B3			
To make changes according to the relationships that are connected to each								
Child 2	B5	D4	B6	B2	B3	D7	D1	660,000
Parent 1	B5	D4	B6	B2	B3	D7	D1	660,000

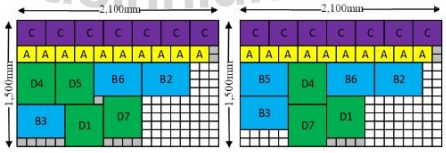


Figure 2. Arranging boxes for iteration 1 of Child 1 and 2

In iteration 2, P2 is obtained by random and repeat the same process described before. The results are shown in table 5 and box arrangement for iteration 2 is shown in figure 3.

Table 5. Data for step of genetic operation in iteration 2.

Genetic Operation								Fitness Evaluation Max Z (mm)
iteration 2								
Consider the crossover 2 point as shown below:								
Parent 1	B5	D4	B6	B2	B3	D7	D1	
Parent 2	D4	D2	B1	B6	B7	D3	D5	
Offspring are created by exchanging the genes of parent 1 to child 1.								
Child 1		D4	B6	B2	B3			
To make changes according to the relationships that are connected to each								
Child 1	D1	D4	B6	B2	B3	D7	D5	600,000
Consider the crossover 2 point as shown below:								
Parent 1	B5	D4	B6	B2	B3	D7	D1	
Parent 2	D4	D2	B1	B6	B7	D3	D5	
Offspring are created by exchanging the genes of parent 1 to child 1.								
Child 2		D4	B6	B2	B3			
To make changes according to the relationships that are connected to each								
Child 2	D4	D1	B6	B2	B3	D7	D5	600,000
Parent 1	B5	D4	B6	B2	B3	D7	D1	660,000

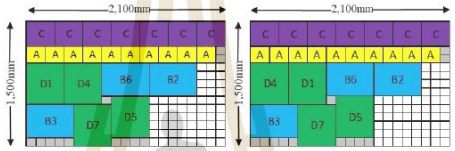


Figure 3. Arranging boxes for iteration 2 of Child 1 and 2

Repeat the same process for 10 iterations ($k = 10$). The fitness evaluation for the best child in each iteration is shown in Table 6. The best solution is shown in figure 4.

Table 6. Overview of data for genetic operation and calculate the fitness evaluation.

Loop of Child	Genetic Operation							Fitness Evaluation Max Z (mm)
1	B5	D4	B6	B2	B3	D7	D1	660,000
2	B5	D4	B6	B2	B3	D7	D1	660,000
3	B5	D4	B6	B2	B3	D1	B7	700,000
4	B5	D4	B6	B2	B3	D1	B7	700,000
5	B5	D4	B6	B2	B3	D1	B7	700,000
6	B5	D4	B6	B2	B3	D1	B7	700,000
7	B5	D4	B6	B2	B3	D1	B7	700,000
8	B5	D4	B6	B2	B3	D1	B7	700,000
9	B5	D4	B6	B2	B3	D1	B7	700,000
10	B5	D4	B6	B2	B3	D1	B7	700,000

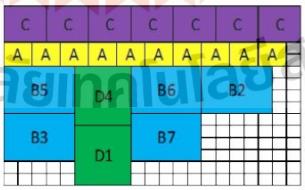


Figure 4. Arranging boxes by using GA method

Arranging the remaining boxes by using Best-fit algorithm. The remaining boxes are placed on the truck bed, considering all current trucks that can be packed. Choose the boxes in the truck that has the least amount of space. In this step, we have 4 type A and 2 type C square boxes. Accroding to arrangement condition, starting from a top left corner of empty space in the last row. Put 2 type C boxes in the empty space next to B7. Next, there are 4 type A boxes left. Two type A boxes can be fit next to B2. The other two type A boxes can be placed in the empty space before D1 as shown in figure 5.

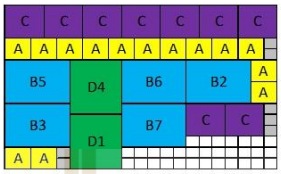


Figure 5. Arranging boxes by using GA method

Thus, the total packing area of the truck is 3,150,000 mm^2. Only one truck is used in the shipment process and all items can be loaded on a truck bed with 1,780,000 mm^2 utilizing maximum capacity. The remaining space that can be used is 1,310,000 mm^2. Grey area in figure 5 is considered to be unusable area which is not considered in calculation.

V. CONCLUSION

In this paper, the genetic algorithm with best-fit algorithm (GABFA) for two-dimensional bin packing problems in building material transportations were proposed. The operation of building material transportations was described. Two types of items, square and rectangular boxes, were considered. the genetic algorithm with best-fit algorithm (GABFA) was developed. Test and results with two sizes of square boxes and one size rectangular boxes are given. The results showed that an algorithm can find the optimal solution with the largest useful space and all items are loaded on truck bed. However, the metaheuristic approaches are more efficient in finding solutions which are future research directions.

REFERENCES

Bortfeldt, A. (2006). A genetic algorithm for the two-dimensional strip packing problem with rectangular pieces. *European Journal of Operational Research*, *172*(3), 814-837.

Blum, C., & Schmid, V. (2013). Solving the 2D bin packing problem by means of a hybrid evolutionary algorithm. *Procedia Computer Science*, *18*, 899-908.

Hopper, E. B. C. H., & Turton, B. C. (2001). An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic algorithms for a 2D packing problem. *European Journal of Operational Research*, *128*(1), 34-57.

Kramer, O., & Koch, P. (2007). Self-adaptive partially mapped crossover. In *Proceedings of the 9th annual conference on Genetic and evolutionary computation* (pp. 1523-1523). ACM.

Lodi, A., Martello, S., & Vigo, D. (1999). Approximation algorithms for the oriented two-dimensional bin packing problem. *European Journal of Operational Research*, *112*(1), 158-166.

Liu, D. S., Tan, K. C., Goh, C. K., & Ho, W. K. (2006, July). On solving multiobjective bin packing problems using particle swarm optimization. In *2006 IEEE International Conference on Evolutionary Computation* (pp. 2095-2102). IEEE.

Oliveira, J. F., Neuenfeldt Júnior, A., Silva, E., & Carravilla, M. A. (2016). A survey on heuristics for the two-dimensional rectangular strip packing problem. *Pesquisa Operacional*, *36*(2), 197-226.

Pisinger, D., & Sigurd, M. (2005). The two-dimensional bin packing problem with variable bin sizes and costs. *Discrete Optimization*, *2*(2), 154-167.

Puchinger, J., & Raidl, G. R. (2007). Models and algorithms for three-stage two-dimensional bin packing. *European Journal of Operational Research*, *183*(3), 1304-1327.

Zhang, D., Kang, Y., & Deng, A. (2006). A new heuristic recursive algorithm for the strip rectangular packing problem. *Computers & Operations Research*, 33(8), 2209-2217.

ประวัติผู้เขียน

นางสาววิภาวี สีน้อย เกิดเมื่อวันที่ 11 เมษายน พ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนมารีวิทยา จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมตอนต้นและมัธยมตอนปลายที่โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย จังหวัดศรีสะเกษ และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีการศึกษา 2560 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2560 โดยขณะศึกษาได้รับทุนการศึกษาสำหรับผู้เรียนดีเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และเป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชาปฏิบัติการระดับปริญญาตรี

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ ในงานประชุม Japan International Conference on Business, Management Studies and Social Science ปี พ.ศ. 2562 ที่ประเทศญี่ปุ่น เรื่อง “Genetic Algorithm with Best-Fit Heuristic Algorithm for 2D”

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี