

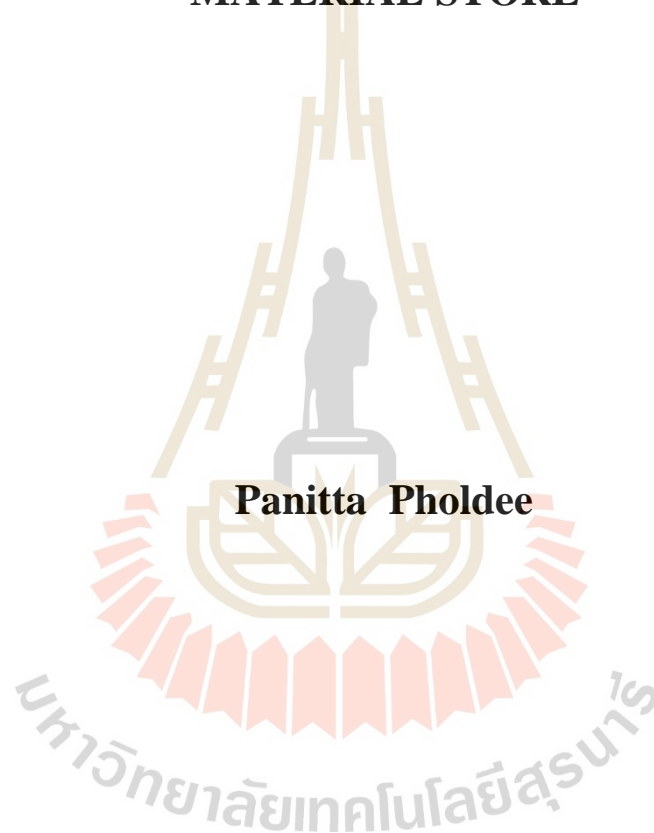
วิธีการแบบไฮบริด สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งและ  
การจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง ในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง



นางสาวพนิตตา ผลดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2563

**HYBRID ALGORITHM FOR VEHICLE ROUTING  
PROBLEM WITH TWO-DIMENSIONAL BIN  
PACKING PROBLEM IN CONSTRUCTION  
MATERIAL STORE**



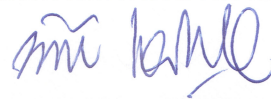
**Panitta Pholdee**

**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**

วิธีการแบบไฮบริด สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง  
และการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง ในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร.นิวิท เจริญใจ)

ประธานกรรมการ



(ผศ. ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

กรรมการ



(ผศ. ดร.จงกล ศรีชร)

กรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

พณิตตา ผลดี : วิธีการแบบไฮบริด สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งและ  
การจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง ในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง (HYBRID  
ALGORITHM FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TWO-DIMENSIONAL  
BIN PACKING PROBLEM IN CONSTRUCTION MATERIAL STORE)  
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์, 175 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการสร้างขั้นตอนแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง  
และการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง โดยหาแนวทางการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า  
โดยใช้รถขนส่งให้มีประสิทธิภาพ และการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งแต่ละคันให้เหลือพื้นที่  
ใช้ประโยชน์มากที่สุด ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาก็จะเริ่มจากการจัดเส้นทางรถขนส่ง โดยเลือก  
ใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้าน ใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ร่วมกับวิธีการกวาด (The Sweep Approach)  
และทำการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm)  
ซึ่งเป็นการทำงานระหว่างเมตาฮิวริสติกส์สองวิธีมารวมกัน คือ วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)  
และวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ในการหาคำตอบแต่ละรอบ วิธีเชิงพันธุกรรมจะให้คำตอบ  
ที่ดีที่สุดเบื้องต้น วิธีการค้นหาเฉพาะที่จะนำคำตอบที่ดีที่สุดเบื้องต้นมาเป็นจุดตั้งต้น เพื่อปรับปรุง  
คำตอบให้ดีขึ้น ซึ่งนำไปโปรแกรม MATLAB มาพัฒนาขั้นตอนการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ในงานวิจัยนี้  
พิจารณากรณีศึกษาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด (Heterogeneous Fleet Vehicle  
Routing Problem) โดยมีรถขนส่ง 2 ประเภท และออกจากคลังสินค้าพร้อมกันมากกว่า 1 คัน  
มีลูกค้าจำนวน 20 ราย และมีคลังสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) ส่วนปัญหาการจัดเรียงสินค้า  
บนรถขนส่งแบบสองมิติ (2D) ประเภทของกล่องสินค้ามี 2 ประเภท คือ กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและ  
กล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา ผลการศึกษาพบว่า ในการจัดเส้นทางรถขนส่งใช้  
รถทั้งหมด 5 คัน มีระยะทางรวม 235 กิโลเมตร และส่วนของการจัดเรียงกล่องสินค้าทั้งหมด  
85 กล่อง มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์คิดเป็นร้อยละ 6.20 ของพื้นที่ทั้งหมด หรือเหลือพื้นที่ใช้  
ประโยชน์ทั้งสิ้น 1,980,000 ตารางมิลลิเมตร จากผลลัพธ์ของงานวิจัยขั้นตอนวิธีในการจัดเส้นทาง  
รถขนส่งและการจัดเรียงสินค้าด้วยวิธีการแบบไฮบริด สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ  
ซึ่งผู้ประกอบการสามารถใช้ในการวางแผนและดำเนินการของธุรกิจได้ต่อไป

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ  
ปีการศึกษา 2563

ลายมือชื่อนักศึกษา พณิตตา  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ปวีร์

PANITTA PHOLDEE : HYBRID ALGORITHM FOR VEHICLE ROUTING  
PROBLEM WITH TWO-DIMENSIONAL BIN PACKING PROBLEM IN  
CONSTRUCTION MATERIAL STORE. THESIS ADVISOR : ASST.  
PROF. PAVEE SIRIRUK, Ph.D., 175 PP.

HYBRID ALGORITHM/GENETIC ALGORITHM/VEHICLE ROUTING/  
BIN PACKING PROBLEM

The thesis objective was to solve vehicle routing problem (VRP) and two-dimensional bin packing problem (2DBPP) on delivery trucks. The methodology was starting by using the Nearest neighbor algorithm and Sweep approach for the vehicle routing management. The hybrid algorithm, integrating between the Genetic algorithm and Local search algorithm, was developed for two-dimensional bin packing problem on delivery trucks. Genetic algorithm will provide primary solution and the local search method will improve primary solutions from genetic algorithm. MATLAB was used to develop the algorithm. In this research, the heterogeneous fleet vehicle routing problem was considered with 2 types of delivery trucks, leaving a warehouse with the same period. There were 20 customers and a single depot. Besides, there were 2 types of boxes, square and rectangular boxes which can be rotated 90 degrees. The results indicated that efficient vehicle routings including 5 trucks with the total distance of 235 kilometers. For 85 boxes bin - packing, the results showed that there were 6.20 % or 1,980,000 square millimeters of available areas left. The results indicated that the algorithm for vehicle routing and bin-packing problems showed high efficiency to find solutions. This algorithm

would be entrepreneurs' benefits for further implementation as a business planning guideline.



School of Industrial Engineering

Academic year 2020

Student's Signature มัทธนา

Advisor's Signature ลว

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือ ความอนุเคราะห์ อย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีร์ ศิริรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาแก้ไขปัญหา รวมทั้งช่วยตรวจทาน ปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ และสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยได้ตระหนัก ถึงความตั้งใจ ความทุ่มเทของอาจารย์เป็นอย่างสูง และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน รองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พงษ์ชัย จิตตะมัย, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปภากร พิทยชवाल, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จงกล ศรีธร และอาจารย์ ดร.นรา สมัตถภาพงศ์ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้ ช่วยเหลือคำแนะนำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งรองศาสตราจารย์ ดร.พรศิริ จงกล ที่เมตตาและให้โอกาส ทางการศึกษา

ขอขอบพระคุณ ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่เอื้อเพื่อ สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคุณคณาจารย์ ที่ ๆ และผองเพื่อน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ครอบครัวที่ให้กำลังใจและคอยสนับสนุนมาโดยตลอด เป็นแรงผลักดันจนทำให้วิทยานิพนธ์ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจหรือเป็นแนวทาง ในการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

พนิตตา ผลดี

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ท
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>5</b>
2.1 บทนำ.....	5
2.2 วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm).....	5
2.2.1 ขั้นตอนการทำงานวิธีการแบบไฮบริด.....	5
2.3 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm).....	7
2.3.1 การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Population Initialization).....	7
2.3.2 กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operation).....	8
2.3.2.1 การไขว้เปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover).....	8
2.3.2.2 การกลายพันธุ์ (Mutation).....	10
2.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation).....	10
2.3.4 การหยุดกระบวนการ (Stop Criteria).....	11
2.4 วิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search : LS).....	12



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5	ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP).....	13
2.5.1	กำหนดการใช้พารามิเตอร์ สำหรับปัญหา CVRP .....	14
2.5.2	ตัวแปรตัดสินใจ.....	14
2.5.3	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function).....	14
2.5.4	วิธีการกวาด (The Sweep Approach).....	15
2.5.5	วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor).....	16
2.5.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง.....	17
2.6	ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP) .....	18
2.6.1	การจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP).....	18
2.6.2	งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า .....	18
2.6.3	งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้าและ จัดเส้นทางขนส่ง .....	23
3	วิธีดำเนินการวิจัย .....	32
3.1	บทนำ.....	32
3.2	วิธีดำเนินการวิจัย .....	32
3.3	การดำเนินการวิจัย.....	33
3.3.1	ขั้นตอนที่ 1 การจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP).....	33
3.3.2	ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP) .....	38
4	ผลการดำเนินการวิจัย.....	43
4.1	บทนำ.....	43
4.2	กรณีศึกษาที่ทำการวิจัย.....	43
4.3	ผลการวิจัย.....	46
4.3.1	ขั้นตอนที่ 1 ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่ง .....	46
4.3.1.1	แสดงตัวอย่างผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งของคันที่ 1 .....	46
4.3.1.2	ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งของคันที่ 2 .....	49

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.1.3	ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งคันที่ 3.....	53
4.3.1.4	ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งคันที่ 4.....	54
4.3.1.5	ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งคันที่ 5.....	56
4.3.1.6	สรุปผลของการจัดเส้นทางรถขนส่ง .....	62
4.3.2	ขั้นตอนที่ 2 ผลของการจัดเรียงกล่องสินค้า.....	65
4.3.2.1	แสดงตัวอย่างผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 .....	66
4.3.2.2	ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 .....	88
4.3.2.3	ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 .....	90
4.3.2.4	ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 .....	91
4.3.2.5	ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5 .....	93
4.3.2.6	สรุปผลลัพธ์ของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง .....	88
4.3.3	สรุปผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางและการจัดเรียงสินค้า บนรถขนส่ง.....	96
5	สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	98
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	98
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	99
	รายการอ้างอิง.....	100
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริด .....	104
	ภาคผนวก ข. รูปผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง .....	118
	ภาคผนวก ค. ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง.....	132
	ภาคผนวก ง. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	165
	ประวัติผู้เขียน.....	175

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ฟังก์ชันเงื่อนไข..... 15
2.2	แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัจจัยต่าง ๆ ..... 25
2.3	แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย ..... 27
2.4	แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีแก้ผลเฉลย ..... 29
4.1	แสดงข้อมูลประเภทและขนาดของรถขนส่ง ..... 44
4.2	แสดงข้อมูลระยะทางคลังสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย..... 45
4.3	แสดงข้อมูลระยะทางในมุมมอง 90 องศาที่ใกล้กับลูกค้ารายที่ 2 ..... 48
4.4	แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 2 ในมุมมอง 90 องศา..... 50
4.5	แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 2 ในมุมมอง 30 องศา..... 51
4.6	แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 3 ในมุมมอง 90 องศา..... 53
4.7	แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 4 ในมุมมอง 90 องศา..... 55
4.8	แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 5 ในมุมมอง 90 องศา..... 56
4.9	แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 5 ในมุมมอง 30 องศา..... 58
4.10	แสดงข้อมูลสรุปผลการจัดเส้นทางรถขนส่ง ..... 63
4.11	แสดงข้อมูลประเภทของกล่องสินค้า ..... 65
4.12	แสดงจำนวนกล่องสินค้าที่ลูกค้าสั่งซื้อทั้งหมด..... 66
4.13	แสดงการค้นหาเฉพาะที่แบบสุ่มสลับ 3 คู่ตำแหน่งของรถคันที่ 2 รอบที่ 1 ..... 71
4.14	แสดงการค้นหาเฉพาะที่แบบการกระจายกล่องสินค้าการขนส่งและปริมาณ คำสั่งซื้อของรถคันที่ 2 รอบที่ 2 ..... 76
4.15	แสดงการค้นหาเฉพาะที่แบบการกระจายกล่องสินค้าการขนส่งและปริมาณ คำสั่งซื้อของรถคันที่ 2 รอบที่ 3 ..... 80
4.16	แสดงการค้นหาเฉพาะที่แบบสุ่มสลับ 3 คู่ตำแหน่งของรถคันที่ 2 รอบที่ 100 ..... 86
4.17	แสดงสรุปผลลัพธ์ของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง..... 94
4.18	แสดงสรุปผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง ..... 96

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.1 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของ รถคันที่ 1 รอบที่ 100.....	105
ก.2 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของ รถคันที่ 2 รอบที่ 100.....	107
ก.3 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของ รถคันที่ 2 รอบที่ 2.....	109
ก.4 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของ รถคันที่ 2 รอบที่ 3.....	110
ก.5 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของ รถคันที่ 2 รอบที่ 100.....	111
ก.6 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของ รถคันที่ 3 รอบที่ 100.....	112
ก.7 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของ รถคันที่ 4 รอบที่ 100.....	114
ก.8 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของ รถคันที่ 5 รอบที่ 100.....	116
ค.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 .....	133
ค.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 .....	140
ค.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 .....	147
ค.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 .....	154
ค.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5 .....	161

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	โครงสร้างต้นทุน โลจิสติกส์ประจำปี 2560..... 2
1.2	สัดส่วนการขนส่งภายในประเทศประจำปี 2560..... 2
2.1	แสดงการทำงานวิธีการแบบไฮบริด..... 6
2.2	ขั้นตอนการทำงาน Hybrid Algorithm..... 6
2.3	รูปแบบโครโมโซม..... 7
2.4	รูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม..... 8
2.5	รูปแบบการสุ่มเลือกจุดตัดภายนอกและภายใน..... 9
2.6	รูปแบบการแทนค่าตัวอักษร H..... 9
2.7	แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน..... 9
2.8	ผลลัพธ์ที่ได้จากการไขว้เปลี่ยนแบบ OX..... 9
2.9	ผลลัพธ์ที่ได้จากการกลายพันธุ์แบบสุ่มสลับตำแหน่ง..... 10
2.10	แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าของการประเมินค่าความเหมาะสม..... 11
2.11	แสดงการประเมินค่าความเหมาะสมของการจัดเรียงกล่องสินค้า..... 11
2.12	ขั้นตอนการทำงานวิธีเชิงพันธุกรรม..... 12
2.13	แสดงวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบสุ่มสลับตำแหน่ง..... 13
2.14	การค้นหาเฉพาะที่แบบกระจายกล่องสินค้าตามปริมาณคำสั่งซื้อ ของลูกค้านั้นราย..... 13
2.15	แสดงเส้นทางวิธีการกวาด (The Sweep Approach)..... 16
2.16	แสดงเส้นทางการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor)..... 16
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 33
3.2	ขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่ง..... 36
3.3	ขั้นตอนการจัดเรียงกล่องสินค้า..... 41
4.1	แสดงจุดส่งสินค้าของลูกค้าแต่ละราย..... 44
4.2	แสดงมุมมอง 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 1..... 46
4.3	แสดงมุมมอง 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 2..... 49

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 แสดงมุมมอง 30 องศา รอบที่ 1 ของรถขนส่งคันที่ 2.....	51
4.5 แสดงมุมมอง 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 3 .....	53
4.6 แสดงมุมมอง 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 4 .....	54
4.7 แสดงมุมมอง 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 5 .....	56
4.8 แสดงมุมมอง 30 องศา รอบที่ 1 ของรถขนส่งคันที่ 5.....	58
4.9 แสดงมุมมอง 30 องศา รอบที่ 2 ของรถขนส่งคันที่ 5 .....	59
4.10 แสดงมุมมอง 30 องศา รอบที่ 3 ของรถขนส่งคันที่ 5 .....	60
4.11 แสดงมุมมอง 30 องศา รอบที่ 4 ของรถขนส่งคันที่ 5 .....	61
4.12 แสดงมุมมอง 30 องศา รอบที่ 5 ของรถขนส่งคันที่ 5 .....	62
4.13 การคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ของการจัดเส้นทางขนส่ง .....	64
4.14 แสดงสรุปผลลัพธ์เส้นทางการจัดส่งสินค้าของรถแต่ละคัน .....	64
4.15 แสดงสัญลักษณ์ตัวแทนประเภทของกล่องสินค้า.....	65
4.16 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 1 .....	70
4.17 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 ในรอบที่ 1.....	72
4.18 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 1 ในรอบที่ 2.....	76
4.19 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 ในรอบที่ 3.....	81
4.20 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 ในรอบที่ 100.....	85
4.21 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 ของวิธี LS ในรอบที่ 100.....	87
4.22 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 .....	88
4.23 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 .....	88
4.24 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 .....	90
4.25 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 .....	91
4.26 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5 .....	93
4.27 การคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB ของการจัดเส้นทางขนส่ง .....	96
ข.1 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 2 ของรถขนส่งคันที่ 1 .....	119
ข.2 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 2 และ 12 ของรถขนส่งคันที่ 1.....	119

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.3 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3 ของรถขนส่งคันที่ 2 .....	120
ข.4 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3 และ 18 ของรถขนส่งคันที่ 2.....	120
ข.5 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3, 18 และ 19 ของรถขนส่งคันที่ 2.....	121
ข.6 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3, 6, 18 และ 19 ของรถขนส่งคันที่ 2 .....	121
ข.7 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 7 ของรถขนส่งคันที่ 3 .....	122
ข.8 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 4 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 3 .....	122
ข.9 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 16 ของรถขนส่งคันที่ 4.....	123
ข.10 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 10 และ 16 ของรถขนส่งคันที่ 4 .....	123
ข.11 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 10, 11 และ 16 ของรถขนส่งคันที่ 4 .....	124
ข.12 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1 ของรถขนส่งคันที่ 5.....	124
ข.13 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1 และ 13 ของรถขนส่งคันที่ 5.....	125
ข.14 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 13 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5.....	125
ข.15 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 13, 15 และ 20 ของ รถขนส่งคันที่ 5.....	126
ข.16 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 9, 13, 15 และ 20 ของ รถขนส่งคันที่ 5.....	126
ข.17 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 9, 13, 15, 17 และ 20 ของ รถขนส่งคันที่ 5.....	127
ข.18 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 8, 9, 13, 15, 17 และ 20 ของ รถขนส่งคันที่ 5.....	127
ข.19 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 5, 8, 9, 13, 15, 17 และ 20 ของ รถขนส่งคันที่ 5.....	128
ข.20 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 8, 9, 13, 14, 15, 17 และ 20 ของ รถขนส่งคันที่ 5.....	128
ข.21 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ ไม่ได้ (พื้นที่สีเทาตาราง).....	129

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.22 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ ไม่ได้ (พื้นที่สี่เหลี่ยมตาราง).....	129
ข.23 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 3 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ ไม่ได้ (พื้นที่สี่เหลี่ยมตาราง).....	130
ข.24 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 4 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ ไม่ได้ (พื้นที่สี่เหลี่ยมตาราง).....	130
ข.25 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 5 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ ไม่ได้ (พื้นที่สี่เหลี่ยมตาราง).....	131





## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BPP	=	ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem)
VRP	=	ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Vehicle Routing Problem)
GA	=	วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)
LS	=	วิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search)
2D	=	แบบ 2 มิติ (Two-Dimensional)
OX	=	การไขว้เปลี่ยนแบบ (Crossover OX)
Max Fitness	=	ค่าความเหมาะสมสูงสุด/การประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด/ พื้นที่เหลือใช้ประโยชน์/Maximize Fitness



# บทที่ 1

## บทนำ

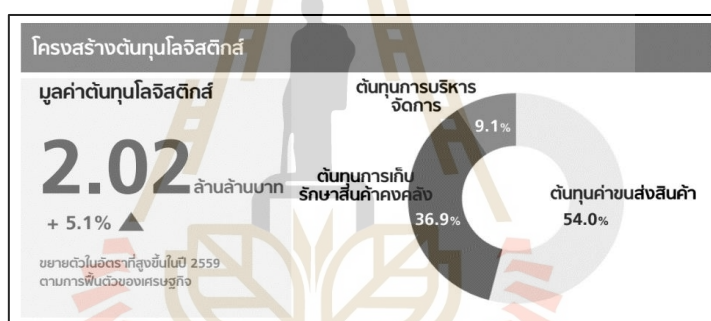
### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย

สภาพเศรษฐกิจในปัจจุบันนี้มีการแข่งขันทั้งทางด้านสินค้าและบริการอย่างเข้มข้นมีการสั่งซื้อสินค้าผ่านทางออนไลน์มากขึ้น บริษัทต่าง ๆ เริ่มนำระบบโลจิสติกส์ (Logistics) และ โซ่อุปทาน (Supply Chain) เข้ามาเพื่อใช้พัฒนาและเพิ่มขีดความสามารถในบริษัทให้มีความได้เปรียบทางธุรกิจต่อคู่แข่งทางการค้า อาทิเช่น บริษัทค้าวัสดุก่อสร้างขนาดกลาง ธุรกิจขนาดเล็ก และธุรกิจอีคอมเมิร์ซต่าง ๆ เนื่องจากสามารถจัดการให้มีต้นทุนต่ำสามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ตรงตามเป้าหมายที่ลูกค้าต้องการและทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ ทำให้บริษัทสามารถเพิ่มส่วนแบ่งการตลาดและกำไรได้ (กาญจนา ลิมวัฒนากุล, 2558)

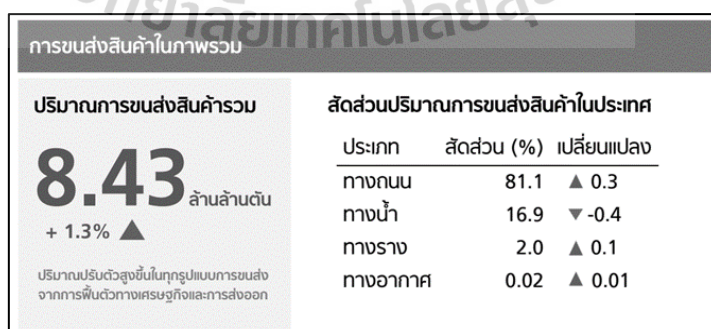
การขนส่งเป็นกิจกรรมที่สำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการ โลจิสติกส์ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเชิงปฏิบัติการ กำหนดโครงสร้างให้มีประสิทธิภาพ สามารถจัดส่งสินค้าตามคำสั่งซื้อด้วยปริมาณที่ถูกต้องครบถ้วนตรงตามความต้องการของลูกค้าในเวลาที่กำหนด ภายใต้ต้นทุนที่ต่ำและสอดคล้องกับกระบวนการ โลจิสติกส์ เช่น บางครั้งอาจจะมีการใช้รถยนต์ต่างกัน เส้นทางเดินรถที่แตกต่างกัน เครื่องมือ กระจายสินค้าและทำเลที่ตั้งแตกต่างกัน ซึ่งกิจกรรมขนส่งสามารถรวมส่งหรือแยกส่งได้ จึงต้องทำทุกอย่างให้ถูกต้องเพื่อให้สอดคล้องกับกลยุทธ์ทางโลจิสติกส์ ซึ่งแบบแผนในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าที่ดีจะทำให้สามารถลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งลงได้และมีผลทำให้ต้นทุนในการจัดส่งสินค้าลดลง ส่งผลให้บริษัทเพิ่มความสามารถทางการแข่งขันได้มากขึ้น (พอเจตน์ จิตพิพัฒน์พงศ์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล, 2552)

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งเนื่องจากการขนส่งนับเป็นกระบวนการที่มีความสำคัญต่อภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย เพราะมีผลกระทบต่อค่าขนส่งซึ่งเป็นต้นทุนหลัก (สายใจ ชูวาริ, 2549) จัดอยู่ในกลุ่ม NP-HARD เป็นปัญหาที่ซับซ้อนอย่างมากในการค้นหาคำตอบ ด้วยขอบเขตด้านขนาดของกล่องสินค้าที่มีหลากหลายขนาด และขนาดรถบรรทุกให้เลือกใช้หลายขนาด โดยปัญหาการจัดเรียงสินค้าเพื่อการขนส่งมีผลกระทบต่อต้นทุนการดำเนินงานตั้งแต่ นำเข้าจนกระทั่งส่งออก ต้นทุนการผลิตค่อนข้างสูง โดยเฉพาะค่าใช้จ่ายในส่วนของการน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าประกันสินค้าเสียหายและอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งล้วนแปรผันตามจำนวนของรถขนส่งที่ใช้ จากสถิติการรายงาน โลจิสติกส์ของ

ประเทศไทยประจำปี 2562 จากโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์จะเห็นได้ว่า ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า มีปริมาณมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 54 รองลงมาเป็นต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคิดเป็น ร้อยละ 36.9 และในส่วนสุดท้ายเป็นต้นทุนการบริหารจัดการคิดเป็นร้อยละ 9.1 ซึ่งมูลค่าต้นทุน โลจิสติกส์โดยรวมมีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นในปี 2559 ตามการฟื้นตัวของเศรษฐกิจ (สำนักงาน คณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2560) ดังรูปที่ 1.1 และในส่วนของภาพ รวมการขนส่งสินค้า สัดส่วนปริมาณการขนส่งสินค้าในประเทศ มีทั้งหมด 4 ประเภท แบ่งออก เป็นทางถนน ทางน้ำ ทางราง และทางอากาศ ซึ่งสัดส่วนการขนส่งทางถนนมีปริมาณมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 81.1 ซึ่งมากกว่าทางน้ำ 5 เท่า โดยปริมาณการขนส่งสินค้ารวมมีการปรับตัวสูงขึ้น ในทุกรูปแบบการขนส่ง ดังรูปที่ 1.2 ดังนั้น แผนวิธีการจัดเรียงกล่องที่มีประสิทธิภาพและ กำหนดเส้นทางขนส่งจะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนลงได้ ปรับปรุงเพื่อทำให้โซ่อุปทานของบริษัท มีต้นทุนที่ต่ำที่สุดด้วยทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด



รูปที่ 1.1 โครงสร้างต้นทุน โลจิสติกส์ประจำปี 2560



รูปที่ 1.2 สัดส่วนการขนส่งภายในประเทศประจำปี 2560

ซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พื้นที่ของรถขนส่งและทำให้เกิดการจัดเรียงที่ชิดกันมากขึ้น โดยหาแนวทางการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าโดยใช้จำนวนรถขนส่งให้มีประสิทธิภาพและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งแต่ละคันให้เหลือที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด โดยใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach) ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง และใช้วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) ในการจัดเรียงกล่องสินค้าในรูปแบบสองมิติช่วยให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาแนวทางการจัดเส้นทางรถขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งให้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด โดยใช้รถขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2.2 เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการขนส่งและการจัดเรียงสินค้าในรูปแบบสองมิติ ให้เป็นแนวทางสำหรับการวางแผนการขนส่งสินค้าภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด

1.2.3 เพื่อพัฒนาขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งในรูปแบบสองมิติ โดยใช้วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) เพื่อใช้ในการวางแผนการขนส่งสินค้า

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด (Heterogeneous fleet vehicle routing problem) มีจำนวนลูกค้า 20 ราย โดยมีรถขนส่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่หนึ่งรถขนส่งขนาด 4 ล้อ ขนาดด้านกว้าง 1,500 มิลลิเมตร ด้านยาว 2,100 มิลลิเมตร จำนวน 4 คัน และประเภทที่สองรถขนส่งขนาด 6 ล้อ ขนาดด้านกว้าง 2,500 มิลลิเมตร ด้านยาว 4,500 มิลลิเมตร จำนวนรถ 3 คัน และมีคลังสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) ส่วนปัญหาการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งแบบสองมิติ (2D) ประเภทของกล่องสินค้ามี 2 ประเภท คือ กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบ่งเป็น 2 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ด้านกว้าง 900 มิลลิเมตร ด้านยาว 900 มิลลิเมตร และขนาดเล็กด้านกว้าง 300 มิลลิเมตร ด้านยาว 300 มิลลิเมตร ส่วนกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีขนาดด้านกว้าง 500 มิลลิเมตร ด้านยาว 600 มิลลิเมตร

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบแนวทางการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า และการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งให้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด โดยสามารถใช้รถขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.2 ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการขนส่งสินค้าเป็นแนวทางสำหรับการวางแผนการขนส่ง และการจัดเรียงสินค้าในรูปแบบสองมิติบนรถขนส่งภายใต้การมีทรัพยากรอยู่อย่างจำกัด

1.4.3 ได้ขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง และการจัดเรียงสินค้าในรูปแบบสองมิติโดยใช้วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) เป็นแนวทางสำหรับการวางแผนการขนส่งสินค้าต่อไป



## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี หลักการที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการวิจัยวิธีการแบบไฮบริด สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งและการจัดเรียงกล่องสินค้าในรูปแบบสองมิติ ในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง โดยในหัวข้อที่ 2.1 จะเป็นการอธิบายภาพรวมของบทที่ 2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง หัวข้อที่ 2.2 จะเป็นการอธิบายเกี่ยวกับวิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) หัวข้อที่ 2.3 อธิบายเกี่ยวกับวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) หัวข้อที่ 2.4 วิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) หัวข้อที่ 2.5 อธิบายถึงปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) หัวข้อที่ 2.6 ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP) ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องไว้ดังต่อไปนี้

#### 2.2 วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm)

##### 2.2.1 ขั้นตอนการทำงานวิธีการแบบไฮบริด

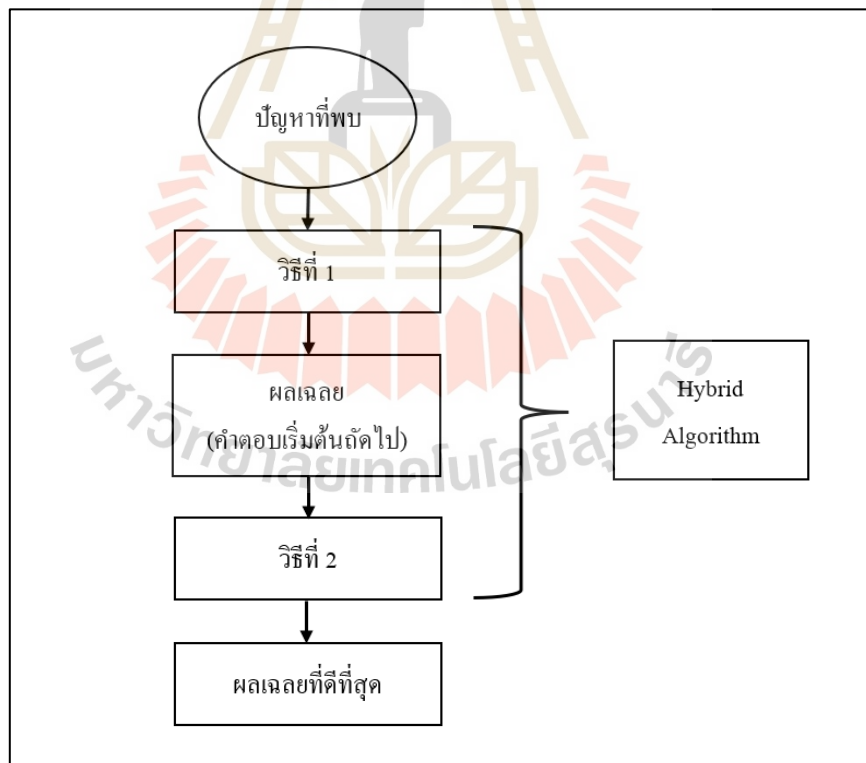
Bonflm, Placido, and Rommel (2013) กล่าวว่า วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) เป็นอัลกอริทึมที่รวมสองวิธีการหรือมากกว่านั้น แต่จะต้องเป็นวิธีที่แก้ปัญหาเดียวกันเท่านั้น ให้คำตอบที่ออกมามีประสิทธิภาพ และการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนต่างกัน โดยทั่วไปจะทำเพื่อรวมลักษณะที่ต้องการ เพื่อให้อัลกอริทึมโดยรวมทำงานได้ดีขึ้น ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 2.1 เป็นการแสดงวิธีการทำงานของวิธีการแบบไฮบริด ซึ่งการแก้ไขปัญหาคงจะทำการผสมผสานทั้งสองวิธี โดยวิธีแรกจะได้คำตอบเริ่มต้นจากนั้นนำคำตอบวิธีแรกมาใช้เป็นคำตอบเริ่มต้นวิธีถัดไป ซึ่งทั้งสองวิธีจะทำงานสอดคล้องกัน เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด ดังรูปที่ 2.2

Bonflm et al. (2013) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) ไว้ว่า เป็นการรวมของวิธีเมตาฮิวริสติกส์เข้าด้วยกัน โดยใช้กระบวนการเชิงพันธุกรรม และใช้วิธีฮิวริสติกส์ โดยใช้ Bottom-left เพื่อการแก้ปัญหาการบรรจุสินค้าที่มีความกว้างคงที่ และความสูงไม่จำกัด (Strip Packing Problem : SPP) โดยการบรรจุรูปทรงลักษณะที่ผิดปกติ คือ เป็นรูปหลายเหลี่ยมวางไว้ภายในกล่อง ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) ส่งผลให้ประสิทธิภาพดีขึ้นและประสบผลสำเร็จในการรวมวิธีการใหม่ขึ้นมา

จิระเดช พลสวัสดิ์ (2546) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการบรรจุภัณฑ์แบบ 3 มิติ ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ 3 แบบ ได้แก่ 1) การสุ่มสลับลำดับ 2) การกระจายสินค้าในตู้ที่บรรจุได้น้อยที่สุดไปสู่สินค้าอื่น ๆ 3) เลือกชิ้นใหญ่ที่สุดไปบรรจุในตู้สินค้าใหม่ เหน้การเปรียบเทียบ 3 อย่าง ได้แก่ เวลาในการหาคำตอบ ปริมาณงานในหน่วยเวลา และจำนวนปัญหาที่หาคำตอบได้ ดังนั้น ผลการทดลองสรุปว่า การใช้การค้นหาเฉพาะที่ทำให้สามารถหาคำตอบได้มากขึ้นและหาคำตอบได้เร็วกว่าวิธีแบบสามัญสำนึก เมื่อมีจำนวนปัญหามากกว่า 30 ชิ้น



รูปที่ 2.1 แสดงหลักการทำงานวิธีแบบไฮบริด



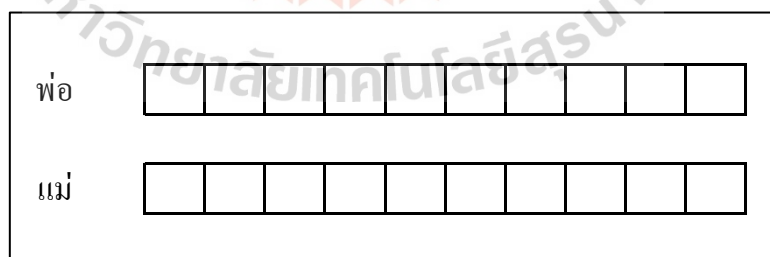
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทำงาน Hybrid Algorithm

## 2.3 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

วิธีเชิงพันธุกรรมถูกพัฒนาขึ้นโดย ฮอลแลนด์ ได้รับความนิยแพร่หลาย เป็นการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization) วิธีการหนึ่ง ซึ่งสิ่งที่จะช่วยในการค้นหาคำตอบ คือ การประเมินค่าความเหมาะสมของคำตอบ ซึ่งใช้หลักการจำลองแนวคิดของสิ่งมีชีวิต ในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีเชิงพันธุกรรมเริ่มต้นจากการสุ่ม ซึ่งถ้าคำตอบตอบเริ่มต้นดี จะส่งผลถึงคำตอบในรอบถัดไปที่ดีด้วย ซึ่งถ้าคำตอบที่มีลักษณะไม่ดีจะถูกกำจัดทิ้งไป โดยคาดว่าในรอบถัดไปจะมีคำตอบที่ดีกว่าเดิม เนื่องจากพื้นฐานการสุ่มเริ่มต้นมีพื้นฐานคำตอบที่ดี ซึ่งจะเป็นลักษณะที่ถูกถ่ายทอดจากรุ่นสู่รุ่น (Generation) งานวิจัยต่าง ๆ ได้มีการนำวิธีเชิงพันธุกรรมไปประยุกต์ใช้กับงานในรูปแบบต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย การใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบ ให้มองเป็นเครื่องมือในการช่วยการคำนวณอย่างหนึ่ง (จิระเดช พลสวัสดิ์, 2546) ภาพรวมการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม ดังรูปที่ 2.12 โดยวิธีเชิงพันธุกรรมมีขั้นตอนคร่าว ๆ 4 ขั้นตอน ดังนี้

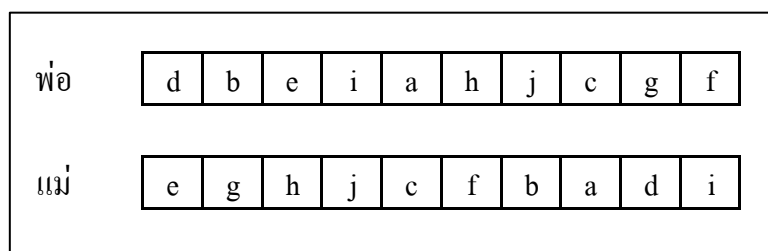
### 2.3.1 การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Population Initialization)

การกำหนดประชากรเริ่มต้นเป็นขั้นตอนในการกำหนดรูปแบบโครโมโซมและทำการเข้ารหัส ซึ่งเป็นขั้นตอนแรกและมีความสำคัญ เพราะเป็นการออกแบบโครโมโซมเพื่อใช้เป็นตัวแทนของคำตอบเป็นขั้นตอนที่นิยมทำโดยการสุ่มขึ้นมา ในการเริ่มสร้างประชากร คือ การหาคำตอบเริ่มต้นสามารถทำได้หลากหลายวิธี ซึ่งการกำหนดรูปแบบโครโมโซมและการเข้ารหัสมีหลายรูปแบบ เช่น หมายเลขลำดับ ค่าของข้อมูล จำนวนเต็ม เลขฐานสอง หรือสัญลักษณ์เฉพาะ การหาคำตอบเริ่มต้นนี้เพื่อนำไปใช้ในการเริ่มต้นการหาคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งรูปแบบโครโมโซมแสดงดังรูปที่ 2.3 และรูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซมดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 รูปแบบโครโมโซม





รูปที่ 2.4 รูปแบบการเข้ารหัสโครโมโซม

### 2.3.2 กระบวนการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operation)

กระบวนการเชิงพันธุกรรมจะมีกระบวนการหลักอยู่ 2 ขั้นตอน คือ การไขว้เปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ซึ่งจะเป็นกระบวนการในการค้นหาคำตอบและแลกเปลี่ยนผลเฉลยให้ดีขึ้น ซึ่งสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบดังนี้

#### 2.3.2.1 การไขว้เปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover)

การไขว้เปลี่ยนสายพันธุ์ (Crossover) เป็นกระบวนการร่วมกันของ 2 โครโมโซม คือ โครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ ถ่ายทอดลักษณะไปยังโครโมโซมใหม่ (โครโมโซมลูก) ในวิธานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึง การไขว้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX) โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการไขว้เปลี่ยน เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายในและจุดตัดภายนอก ดังรูปที่ 2.5 จากจุดตัดที่ได้จากการสุ่มจะแสดงเป็นเส้นทึบ สุ่มเลือกจุดตัดแบ่งจุดตัดภายใน (อยู่ภายในเส้นทึบ) และจุดตัดภายนอก (อยู่ภายนอกเส้นทึบ) จุดตัดภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายใน ให้ทำการแทนที่ด้วยตัวอักษรใดตัวอักษรหนึ่ง ในที่นี้จะแทนที่ด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ H ดังรูปที่ 2.6 แล้วทำการเลื่อนตำแหน่งมารวมกันดังรูปที่ 2.7 ดังนั้นจะได้ผลลัพธ์ที่ได้จากการไขว้เปลี่ยนแบบ OX ดังรูปที่ 2.8 ซึ่งวัตถุประสงค์ของการไขว้เปลี่ยนแบบนี้ คือ การพยายามรักษาความสัมพันธ์ของตำแหน่งเดิมก่อนหลังของยีนต่าง ๆ ในโครโมโซมให้มีลำดับเหมือน ๆ เดิม

พ่อ	d	b	e	i	a	h	j	c	g	f
แม่	e	g	h	j	c	f	b	a	d	i

รูปที่ 2.5 รูปแบบการสุ่มเลือกจุดตัดภายนอกและภายใน

พ่อ	d	b	e	i	a	H	H	H	g	f
แม่	H	g	h	j	c	f	b	H	d	H

รูปที่ 2.6 รูปแบบการแทนค่าตัวอักษร H

พ่อ	e	i	a	H	H	H	g	f	d	b
แม่	h	j	c	H	H	H	f	b	d	g

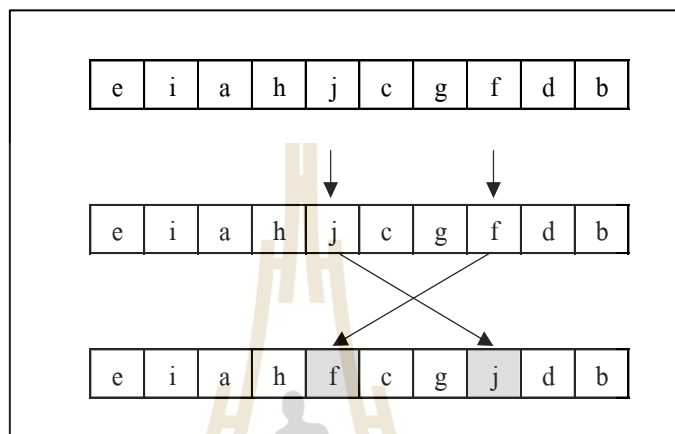
รูปที่ 2.7 แสดงการเลื่อนตำแหน่งมารวมกัน

ลูก1	e	i	a	h	j	c	g	f	d	b
ลูก2	h	j	c	e	i	a	f	b	d	g

รูปที่ 2.8 ผลลัพธ์ที่ได้จากการไขว้เปลี่ยนแบบ OX

### 2.3.2.2 การกลายพันธุ์ (Mutation)

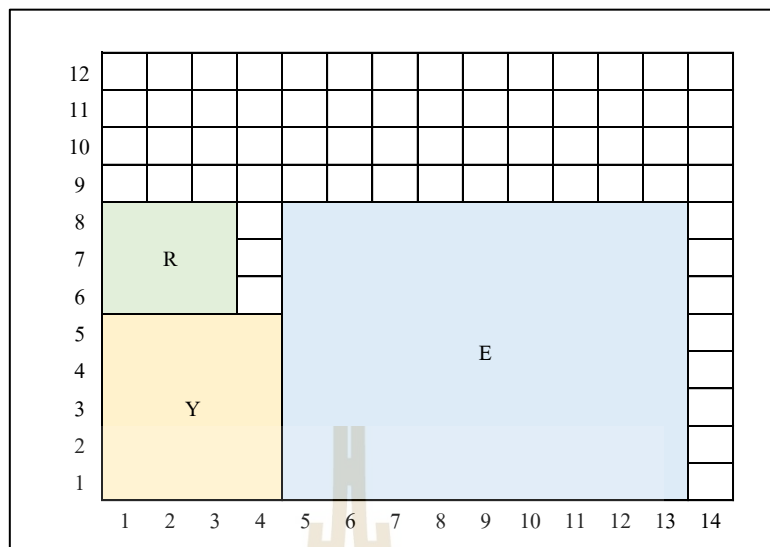
การกลายพันธุ์ (Mutation) ในวิธานพันธุศาสตร์จะกล่าวถึง การกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง โดยทำการสลับตำแหน่งของยีนในโครโมโซม เพื่อให้เกิดคำตอบของประชากรรุ่นต่อไปที่ดีขึ้น และเพื่อเป็นการสร้างโอกาสของคำตอบที่มีมากขึ้นด้วย



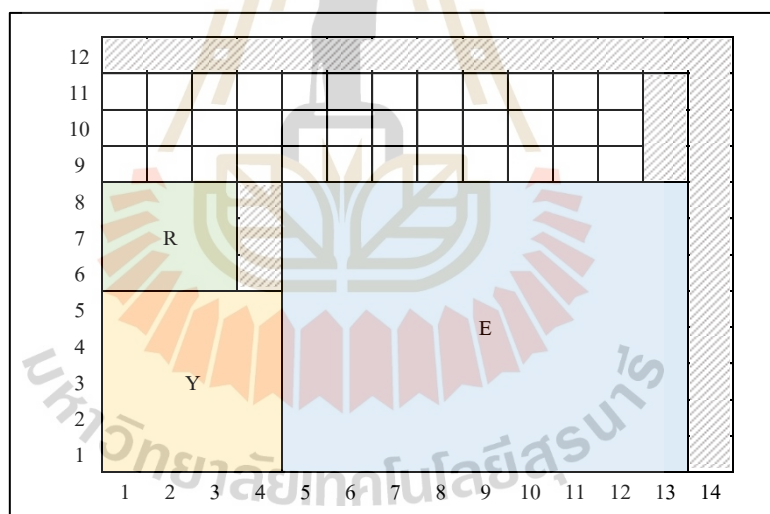
รูปที่ 2.9 ผลลัพธ์ที่ได้จากการกลายพันธุ์แบบสลับตำแหน่ง

### 2.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation)

ในขั้นตอนนี้เป็นการนำเอาคำตอบต่าง ๆ มาทดสอบ เพื่อวัดความถูกต้องของคำตอบค่าความถูกต้องนี้จะเรียกว่า “ค่าความเหมาะสมหรือค่าความแข็งแรงของคำตอบ (Fitness)” ค่าที่ได้นี้จะถูกนำไปใช้ในการคัดเลือกคำตอบที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการสร้างคำตอบรุ่นถัดไป ดังนั้นค่าความเหมาะสมต้องบ่งบอกถึงความแตกต่างของคำตอบที่ดีและไม่ดีได้ จากรูปที่ 2.10 เป็นการแสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าและรูปที่ 2.11 แสดงการประเมินค่าความเหมาะสมของการจัดเรียงกล่องสินค้าจะเห็นว่าพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าในการประเมินค่าความเหมาะสมในงานวิจัยนี้ถือว่าเป็นพื้นที่ที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้และไม่สามารถวางกล่องสินค้าได้



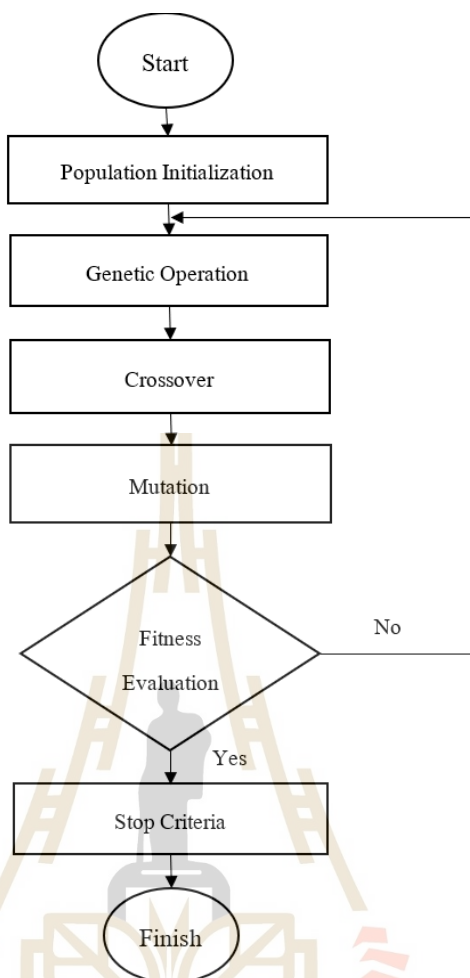
รูปที่ 2.10 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าของการประเมินค่าความเหมาะสม



รูปที่ 2.11 แสดงการประเมินค่าความเหมาะสมของการจัดเรียงกล่องสินค้า

#### 2.3.4 การหยุดกระบวนการ (Stop Criteria)

ในการหยุดกระบวนการของวิธีเชิงพันธุกรรม สามารถกำหนดโดยตั้งเงื่อนไขหยุด เช่น กำหนดรอบของกระบวนการหรือกำหนดเวลาที่ใช้ในการดำเนินการ เป็นต้น



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการทำงานวิธีเชิงพันธุกรรม

#### 2.4 วิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search : LS)

จิระเดช พลสวัสดิ์ (2546) วิธีการค้นหาเฉพาะที่เป็นหนึ่งวิธีที่ช่วยในการค้นหาคำตอบ ซึ่งจะช่วยให้การหาคำตอบที่เหมาะสมได้เร็วขึ้น เจอคำตอบที่ต้องการโดยไม่ทำให้เปลี่ยนทิศทางในการหาคำตอบ หรือจะช่วยให้คำตอบเหล่านั้นลดระยะเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ในวิธีเชิงพันธุกรรม จะเป็นการค้นหาคำตอบแบบวงกว้าง ซึ่งทำให้คำตอบที่จะเกิดขึ้นอาจเป็นได้หลายทิศทาง ทำให้หาคำตอบที่เหมาะสมโดยรวมได้ง่าย แต่จะส่งผลเรื่องการหาคำตอบทิศทางวงกว้าง เปลี่ยนบริเวณคำตอบไปเรื่อยๆ ซึ่งอาจทำให้การหาคำตอบที่พบเกือบจะดีแล้ว แต่ยังไม่ดีที่สุด ทำให้พบคำตอบที่ดีที่สุดล่าช้าหรือเสียเวลาในการพบคำตอบที่ดี จึงนำวิธีการค้นหาเฉพาะที่สามารถนำมาช่วยปรับคำตอบที่พบล่าช้าของวิธีเชิงพันธุกรรมได้ เมื่อเกือบจะได้คำตอบที่ดีที่สุด

จะใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่ช่วยเปลี่ยนคำตอบนั้น ๆ ให้ได้คำตอบหรือผลเฉลยที่ดีได้รวดเร็วยิ่งขึ้น ทำให้ประหยัดเวลาในการค้นหาคำตอบที่ดีได้มากขึ้น

ซึ่งวิธีการค้นหาเฉพาะที่ในงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นการทำกระบวนการค้นหาคำตอบหลังจากวิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งเกิดในกระบวนการการแก้ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า ซึ่งจะใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบสลับตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่าเป็นการสลับ 2 คู่ตำแหน่งตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยสลับตำแหน่งจากโครโมโซมดั้งเดิม สุดท้ายจะได้โครโมโซมใหม่ และการค้นหาเฉพาะที่แบบการกระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งและปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย โดยเมื่อได้โครโมโซมดั้งเดิม ให้ทำการแบ่งช่วงสินค้าตามลูกค้าแต่ละราย สุดท้ายจะได้โครโมโซมใหม่ ดังรูปที่ 2.14 โดยเป็นการพัฒนาจากงานวิจัยของ จิระเดช (2546) เพื่อช่วยในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

	e	i	a	h	j	c	g	f	d	b	โครโมโซมดั้งเดิม
คู่สลับตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
(1,3)	a	i	e	h	j	c	g	f	d	b	โครโมโซมใหม่
(5,8)	e	i	a	h	f	c	g	j	d	b	
(2,10)	e	b	a	h	j	c	g	f	d	i	

รูปที่ 2.13 แสดงวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบสลับตำแหน่ง

e	i	a	h	j	c	g	f	d	b	โครโมโซมดั้งเดิม
										แบ่งช่วงสินค้าของลูกค้าแต่ละราย
e	j	a	h	i	c	d	f	g	b	โครโมโซมใหม่

รูปที่ 2.14 การค้นหาเฉพาะที่แบบกระจายกล่องสินค้าตามปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย

## 2.5 ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP)

กาญจนา ลิ้มวัฒนากุล (2558) ซึ่งเป็นปัญหาโลจิสติกส์อีกรูปแบบหนึ่งที่เป็นปัญหา NP-Hard เป็นการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งตามความต้องการของลูกค้าและตามเวลา

ที่กำหนด โดยต้องค้นหาเส้นทางการจัดส่งสินค้าหรือลำดับการจัดส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปลูกค้าหลายรายที่กระจายตัวอยู่ในพื้นที่บริการ เพื่อส่งเสริมให้กับลูกค้าทุกคนใช้ระยะเวลาทางการขนส่งรวมสั้นที่สุดและภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางทางการขนส่งสำหรับการเดินทางของยานพาหนะ (VRP) ได้แก่ CVRP (Capacitated VRP), VRPTW (VRP with Time Windows), VRPPD (VRP with Pickup and Delivery), VRPPDTW (VRP with Pickup and Delivery with Time Window) โดยรูปแบบปัญหาดังกล่าวอยู่ภายใต้เงื่อนไขหรือภายใต้ข้อกำหนดและปัจจัยต่าง ๆ ต่อมาได้มีนักวิจัยหลายท่านพัฒนาแบบจำลองให้มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาเฉพาะด้านต่าง ๆ กันไปมากมาย

ซึ่งแบบจำลองที่มีการพิจารณาความจุของยานพาหนะ (Capacity-Constrained Vehicle Routing Problem : CVRP) ในการขนส่งแต่ละรอบจึงจำเป็นต้องพิจารณาความจุของรถขนส่ง หากเกินความจุต้องเพิ่มรอบในการขนส่งใหม่ (Laporte & Ramser, 1985) ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาขอบข่ายของปัญหาในส่วนของเส้นทางขนส่ง เพื่อกระจายสินค้าโดยตรงจากคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว โดยใช้รถหลายขนาดและออกจากศูนย์กระจายสินค้าพร้อมกัน ซึ่งแต่ละคันรถจะมีความสามารถจำกัดในการบรรทุกสินค้า ปัญหาการจัดเส้นทางทางการขนส่งกรณีนี้คือ รถแต่ละคันมีข้อจำกัดด้านจำนวนสินค้าที่สามารถขนได้และรถแต่ละคันมีข้อจำกัดไม่เหมือนหรือไม่เท่ากัน (Capacitated Vehicle Routing Problem) อธิบายให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองได้ดังนี้

### 2.5.1 กำหนดการใช้พารามิเตอร์ สำหรับปัญหา CVRP

$k$  คือ จำนวนรถบรรทุกทั้งหมด  $k = 1, 2, \dots, k$

$w$  คือ จำนวนชนิดของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน  $W = \{1, 2, \dots, w\}; k \in w$

$P$  คือ จำนวนลูกค้าและคลังสินค้า ( $0 =$  คลังสินค้า)

$S$  คือ ระยะเวลาของลูกค้าแต่ละคน

$Q$  คือ พื้นที่บรรจุของกล่องสินค้า

$A$  คือ พื้นที่บรรจุของรถบรรทุก

### 2.5.2 ตัวแปรตัดสินใจ

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

0 เมื่อยานพาหนะ  $K$  ไม่มีการเดินทางจาก  $P$  ไป  $j$

### 2.5.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

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

ตารางที่ 2.1 ฟังก์ชันเงื่อนไข

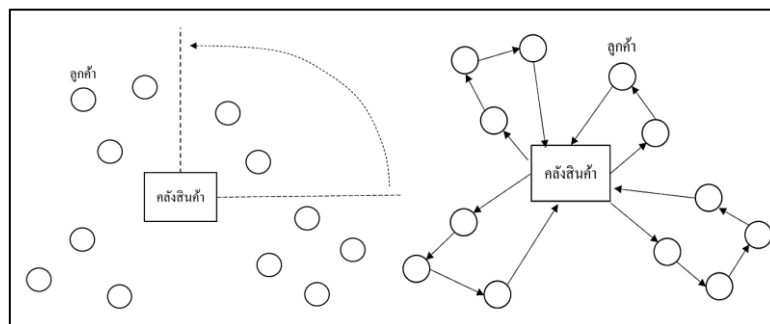
สมการ	ค่าคงที่	สมการที่
$\sum_{j=0}^N x_{oj}^k \leq 1$	$k = 1, \dots, k$	2.2
$\sum_{i=0}^N x_{ip}^k - \sum_{j=0}^N x_{pj}^k = 0$	$p = 1, \dots, N, k = 1, \dots, K$	2.3
$\sum_{i=1}^N Y_i^k = 1$	$i = 1, \dots, N$	2.4
$\sum_{i=1}^N q_i Y_i^k \leq a_k$	$k = 1, \dots, K$	2.5
$Y_i^k \leq \sum_{j=0}^N x_{ij}^k$	$i = 1, \dots, N, k = 1, \dots, K$	2.6
$\sum_{k=1}^k \sum_{j=0}^N x_{ij}^k \geq 1$	$j = 1, \dots, N$	2.7

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 ที่รับประกันว่าลูกค้ารายหนึ่ง ๆ จะเดินทางเข้าและออกเท่ากัน (1 ครั้ง) สมการที่ 2.4 เป็นการรับประกันว่าเมืองหนึ่ง ๆ จะได้รับการเดินทางผ่านจากยานพาหนะอย่างน้อย 1 คัน สมการที่ 2.5 เป็นการรับประกันว่ายานพาหนะใด ๆ จะขนสินค้าไปส่งให้กับลูกค้าไม่เกินจำนวนที่สามารถบรรทุกได้ สมการที่ 2.6 รับประกันว่าการเดินทางเข้าเมือง  $i$  ได้ก็ต่อเมื่อยานพาหนะ  $k$  เดินทางผ่านเมือง  $i$  จากเส้นทางของเมือง  $j$  เมืองใดเมืองหนึ่งเท่านั้น และสมการที่ 2.7 รับประกันว่าเมือง  $j$  ใด ๆ จะได้รับการเดินทางผ่านโดยยานพาหนะใดใด อย่างน้อย 1 ครั้ง โดยใช้เส้นทางที่ผ่านมาจากเมือง  $i$  ใด ๆ สมการที่ 2.1 ถึง 2.7 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งที่รถแต่ละคันมีข้อจำกัดด้านจำนวนสินค้าที่สามารถขนได้และรถแต่ละคันมีข้อจำกัดไม่เหมือนหรือไม่เท่ากัน (Capacitated Vehicle Routing Problem)

#### 2.5.4 วิธีการกวาด (The Sweep Approach)

วิธีการกวาด (The Sweep Approach) หรือการจัดเส้นทางแบบกวาดเป็นการแบ่งเขตรับผิดชอบของลูกค้าก่อน โดยทำการกวาดลูกค้าแบบทวนเข็มนาฬิกาพร้อมกับพิจารณาความต้องการของลูกค้า (Demand) ไปด้วย หากความต้องการ (Demand) ของลูกค้าเต็มพื้นที่ของรถขนส่งให้กลับมายังคลังสินค้า (Depot) และเริ่มต้นอีกครั้งจนครบทุกจุดรับส่ง โดยมีหลักการคำนวณหาเส้นทาง (ปัญญาวัดน์ จันทรชัยภักดิ์, 2561) ดังรูปที่ 2.15 ดังนี้



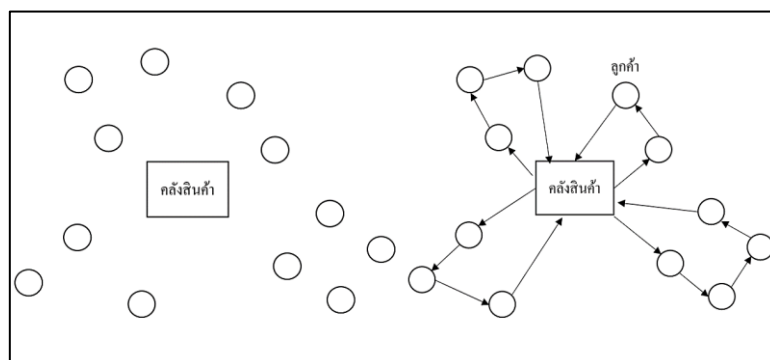


รูปที่ 2.15 แสดงเส้นทางวิธีการกวาด (The Sweep Approach)

1. เลือกจุดเริ่มต้นหรือจุดอ้างอิง โดยไม่รวมคลังสินค้า (Depot) ทำการพิจารณาจุดที่อยู่ใกล้ Depot มากที่สุด และทำการกวาดตามมุมเงือนไขที่กำหนดไว้
2. กวาดรวมลูกค้าที่สททางทวนเข็มนาฬิกา และทำการพิจารณาความต้องการของลูกค้า (Demand) ไปด้วย เพื่อให้ Demand เกินความจุของรถขนส่ง
3. ทำซ้ำตามขั้นตอนจนรวมจุดส่งสินค้าครบทุกจุด

### 2.5.5 วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor)

พิมพ์ชนก ทำนอง (2552) วิธีการค้นหาเพื่อนบ้าน ใกล้เคียง Nearest Neighbor เป็นวิธีค้นหาจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้กับคลังสินค้า โดยการเริ่มต้นจะสร้างจากจุดที่อยู่ใกล้คลังสินค้ามากที่สุด จากนั้นค้นหาจุดที่อยู่ใกล้ถัดมา โดยปริมาณจะต้องไม่เกินความจุของรถขนส่งที่ใช้ในการขนส่งสินค้า และกลับสู่คลังสินค้า (Depot) เมื่อปริมาณพื้นที่บนรถขนส่งเต็มความจุให้ทำการเปลี่ยนรถคันใหม่ จากนั้นสร้างเส้นทางใหม่จนครบทุกจุดรับส่งสินค้า ทำซ้ำจนครบทุกจุด แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงเส้นทางการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor)

### 2.5.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง

Chen, Yang, and Wu (2005) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะแบบตามความสามารถของความเร็ว (CVRP) เป็นปัญหาขนาดใหญ่ ทางออกที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบดั้งเดิมเนื่องจากมีความซับซ้อนในการคำนวณสูง ในงานนี้ได้พัฒนาเพื่อแก้ปัญหาในวิธีแบบไฮบริดซึ่งรวมไว้ทั้ง 3 วิธี คือ แบบแยกอนุภาคจับกลุ่ม (Discrete Particle Swarm Optimization : DPSO) การค้นหาทั่วโลก (Global Search) การค้นหาในท้องถิ่น (Local Search) เพื่อค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดและการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing : SA) เพื่อใช้ในการหาผลลัพธ์ที่เหมาะสม โดยไม่ติดกับดักของคำตอบ การศึกษาการคำนวณแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอเป็นวิธีที่เป็นไปได้และมีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับปัญหาขนาดใหญ่

Angel, Javier, Ruben, Barry, and Santi (2009) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะแบบแปรผันตามความเร็ว (CVRP) เป็นปัญหาที่รู้จักกันดีวัตถุประสงค์ของงานคือ การนำเสนอวิธีการแบบไฮบริดผสมผสานการเรียนรู้ด้วยวิธีแบบ CVRP กับการจำลองแบบมอนติคาร์โล โดยใช้เครื่องสุ่มตัวเลขอัลกอริทึมที่ได้จะถูกทดสอบทำให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าอัลกอริทึมที่ซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งน่าสนใจสามารถสร้างวิธีการแก้ปัญหามากมายและแตกต่างกันและให้คำตอบที่มีคุณภาพแบบเรียลไทม์ได้

Yu, Yang, and Yao (2011) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะที่มี Windows time (VRPTW) คือ มีเวลาเป็นตัวกำหนดในการขนส่ง งานวิจัยจำนวนมากได้นำเสนอวิธีเมตาฮิวริสติกส์เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพ บทความนี้เสนอวิธีการแบบผสมผสานซึ่งประกอบด้วยวิธีการแบบระบบมด (Ant Colony Optimization : ACO) และการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาปรับปรุงประสิทธิภาพของ ACO ใช้การค้นหาพื้นที่ใกล้เคียง ส่วนการค้นหาแบบทาบูจะใช้ในการรักษาความหลากหลายของ ACO และสำรวจวิธีการแก้ปัญหาใหม่มีการทดลองทางคอมพิวเตอร์ ในการทดลองนี้ทดสอบตัวอย่างจำนวน 56 ตัวอย่าง ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพและเวลาในการคำนวณแล้วส่งผลให้ได้ประสิทธิภาพน่าพึงพอใจ

Anand, Eduardo, and Luiz (2013) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ในงานนี้นำเสนอวิธีแบบไฮบริดสำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะลักษณะเดียวกัน (Homogeneous fleet) โดยใช้วิธีการแบบไฮบริดตามแบบจำลอง (Set Partitioning : SP) ซึ่งสามารถควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่ได้ และ (Mixed Integer Programming: MIP) ผลลัพธ์ที่ได้ก่อนข้างดีและได้รับวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุดจำนวนมาก

## 2.6 ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP)

### 2.6.1 การจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP)

พิเชษฐ์ ยงยิ่งประเสริฐ (2558) เทคนิคการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบ BPP เป็นการนำกล่องสี่เหลี่ยมที่มีหลากหลายขนาดอาจจะมีขนาดเล็ก ขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ ขนาดเท่ากัน หรือแตกต่างกัน บรรจุลงในภาชนะที่มีขนาดเท่ากันหรือแตกต่างกันจำนวนหลากหลายใบ โดยภาชนะมีความสูงและความกว้างที่จำกัด ซึ่งปัญหาการจัดกล่องสินค้ามีหลากหลายปัญหา เพราะจุดประสงค์การบรรจุและเงื่อนไขอื่น ๆ แตกต่างกัน ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP) วัตถุประสงค์หลักคือ ให้บรรจุกล่องสินค้าทั้งหมดโดยใช้ตู้คอนเทนเนอร์ให้น้อยที่สุด

### 2.6.2 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า

จากปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าลงรถขนส่ง นักวิจัยหลายท่านได้พัฒนาปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าลงรถขนส่งได้มีงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษารายละเอียดดังนี้

Jose and Mauricio (2013) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ในบทความนี้นำเสนอกระบวนการเชิงพันธุกรรมแบบ Random-key สำหรับปัญหาการบรรจุสินค้าแบบสองและสามมิติ วิธีนี้ใช้การแทนพื้นที่สูงสุดเพื่อจัดการพื้นที่ว่างในกล่องโดยไม่มีการทับซ้อน โดยนำเสนอวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) ที่จะทำการจัดวางในกระบวนการใช้กระบวนการเชิงพันธุกรรมแบบ (Biased random-key genetic algorithm : BRKGA) เพื่อพัฒนาลำดับตำแหน่งที่บรรจุผลิตภัณฑ์ลงในกล่องและขั้นตอนการจัดเรียง โดยอิวิริสติกส์ทั้งสองรูปแบบใช้เพื่อกำหนดกล่องและพื้นที่ว่างสูงสุดที่สามารถวางกล่องได้ ทำการทดสอบจำนวน 858 ปัญหาและเปรียบเทียบวิธีต่าง ๆ ผลการทดลองทางคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นว่าวิธีการใหม่นั้นมีค่าเท่ากับหรือสูงกว่าวิธีการอื่น ๆ อย่างต่อเนื่องและการวิเคราะห์ทางสถิติยืนยันว่าวิธีการดังกล่าวใช้ได้มีประสิทธิภาพ

Xueping and Kaike (2015) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์จะพิจารณาความสามารถในการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นปัญหาการบรรจุภัณฑ์แบบสามมิติ (3D-BPP) ซึ่งเกี่ยวข้องกับเพิ่มพื้นที่ใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด และทำการจัดของส่งโดยมีรถหลายขนาดในการรับภาระน้ำหนัก ปัญหาในเรื่องนี้มีมาอย่างกว้างขวางในการขนส่งสินค้า การจัดการคลังสินค้า บรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์และอื่น ๆ อีกมาก ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ทำการพัฒนาวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) โดยใช้ Differential evolution (DE) algorithm ผสมกับวิธีการบรรจุสินค้าแบบอิวิริสติกส์โดยเลือกใช้วิธี Best match first (BMF) ร่วมกันสร้างวิธีการแก้ปัญหาการบรรจุตามลำดับกล่องที่กำหนดและตามลำดับความสามารถในการรับน้ำหนัก ผลการวิจัยพบว่า วิธีการที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพและคุณภาพในการแก้ปัญหา

Bonflm, Placido, and Rommel (2013) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) เป็นการรวมของวิธีเมตาฮิวริสติกส์ โดยใช้กระบวนการเชิงพันธุกรรม และใช้วิธีฮิวริสติกส์ โดยใช้ Bottom-left เพื่อการแก้ปัญหาการบรรจุสินค้าที่มีความกว้างคงที่และความสูงไม่จำกัด (Strip Packing Problem : SPP) โดยบรรจุรูปทรงลักษณะที่ผิดปกติ ซึ่งต้องใช้ชุดรูปหลายเหลี่ยมที่วางไว้ภายในกล่องรูป สี่เหลี่ยมผืนผ้าให้ประสิทธิภาพดีขึ้นและประสบผลสำเร็จในการรวมวิธีการใหม่ขึ้นมา

Ahmed and Nelishia (2019) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) มีการพิสูจน์แล้วว่าประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนในความเป็นจริง กระบวนการทางพันธุกรรมถูกนำมาใช้เพื่อกำหนดลำดับของวิธีการแบบผสม มีการออกแบบวิธีการแบบผสมให้เป็นอัตโนมัติ มีการกำหนดข้อมูลของวิธีการฮิวริสติกส์แบบต่าง ๆ ไว้ พารามิเตอร์ต่าง ๆ ใช้สำหรับการกรอกข้อมูลของหลายปัญหาที่มีความแตกต่างกัน จุดประสงค์หลักของการศึกษาคือ เพื่อตรวจสอบว่าการออกแบบอัตโนมัติด้วยวิธีฮิวริสติกส์กับวิธีแบบผสม สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ จากผลการทดสอบวิธีแบบผสม (Hybrid Algorithm) ทำงานได้ดีกว่าวิธีฮิวริสติกส์แบบดั้งเดิมเพื่อปัญหาเฉพาะเท่านั้น นอกจากนี้การศึกษาไม่ได้มีจุดมุ่งหมายที่จะยืนยันว่าการออกแบบอัตโนมัติของวิธีการแบบผสมนั้นจะทำงานได้ทุกกรณีเสมอไป เพื่อพิจารณาว่าประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการแบบผสมออกแบบอัตโนมัติเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพเท่ากับวิธีการแบบผสมที่ไม่เป็นอัตโนมัติสำหรับปัญหาเดียวกัน

Tansel and Ahmet (2014) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุกล่องแบบหนึ่งมิติ (Bin Packing Problem : BPP) จากการศึกษาเสนอวิธีแบบผสมแบบคู่ขนาน (Hybrid Algorithm) ข้อได้เปรียบของวิธีการนี้คือ เป็นการรวมวิธีการแบบเมตาฮิวริสติกส์และใช้แก้ปัญหาการบรรจุกล่องแบบหนึ่งมิติ จากการศึกษาทดสอบมีตัวอย่างจำนวน 1,318 รายการ โดยใช้วิธีการที่เสนอไปข้างต้นและแสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมคิดเป็นร้อยละ 88.5 สามารถทำงานได้ด้วยเวลาที่เหมาะสมและมีคุณภาพ

Muhammed, Tansel and Ahmet (2015) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุผลิตภัณฑ์ ซึ่งวัตถุที่มีขนาดความกว้างและความยาวต่างกันจะถูกบรรจุลงในกล่องให้ได้จำนวนกล่องน้อยที่สุด เป็นแบบสองมิติ เป็นปัญหาด้านวิศวกรรมอุตสาหกรรมพบได้บ่อยครั้ง มีการนำเสนอฮิวริสติกส์หลายวิธีสำหรับการแก้ปัญหาของ 2DBPP แต่ไม่สามารถหาคำตอบที่แน่นอนสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ ในการศึกษาจะใช้วิธีการไฮเปอร์ฮิวริสติกส์ ทำการเลือกและรวมฮิวริสติกส์อื่น ๆ จะใช้วิธี Local Search ในการหาจำนวนกล่องเพื่อให้ใช้กล่องได้น้อยที่สุด ทำการทดสอบจำนวนตัวอย่าง 500 ตัวอย่าง สรุปได้ว่าวิธีการที่เสนอนั้นมีความพร้อมและสามารถงานในการแก้ปัญหาได้ดีในปัญหาระดับซ้อน

Ismail Babaoglu (2017) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุสินค้าแบบสองมิติ (2DSPP) ประกอบด้วยการบรรจุรายการสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยมีข้อจำกัดที่ความกว้างและความสูงไม่จำกัด The fruit fly optimization algorithm (FOA) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการเมตาฮิวริสติกส์ถูกนำไปใช้กับปัญหาทางวิศวกรรมและคณิตศาสตร์มากมาย การศึกษาครั้งนี้นำเสนอวิธี FOA สำหรับการแก้ปัญหาแบบ จุดมุ่งหมายของการศึกษา คือ การหาลำดับที่ดีที่สุดของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าแล้ววางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าลงซ้าย เพื่อให้มีความสูงที่เหมาะสมภายในกล่อง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนออาจเป็นวิธีทางเลือกในการแก้ 2DSPP รวมถึงงานในอนาคตต้องพัฒนาวิธีแบบผสมและ FOA รุ่นปรับปรุง

Christian and Verena (2013) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหานี้เสนอวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) สำหรับการแก้ปัญหาการบรรจุแบบสองมิติที่เน้นการตัดแบบกิโลดิม ซึ่งปัญหาที่ทำการศึกษารูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ต้องบรรจุในจำนวนชั้นต่ำของกล่องสินค้าที่มีขนาดเท่ากัน การเปรียบเทียบนี้แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมของเรานั้นมีการแข่งขันสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพบโซลูชันที่ดีที่สุดสำหรับตัวอย่างที่ยังไม่ได้แก้ไข ผลการวิจัยพบว่าได้ผลลัพธ์ที่ดีมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน สำหรับปัญหาจำนวน 500 ปัญหาใช้ทั้งหมด 7,239 กล่อง ถือว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดเท่าที่เคยมีมาจากอัลกอริทึมที่เสนอสำหรับ 2BP

Duarte Nuno Goncalves Ferreira (2015) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุหีบห่อรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าหรือที่เรียกว่าปัญหาการบรรจุหีบห่อแบบสองมิติ (2DBPP) ซึ่งเป็นปัญหาของการจัดเรียงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่กำหนดให้ใช้กล่องเป็นจำนวนน้อยที่สุด ในบทความนี้เราใช้วิธีฮิวริสติกส์ทั้ง 4 วิธี คือ First Fit Decreasing strategy, local search using a greedy packing First-Fit algorithm, Simulated Annealing with multiple cooling values and Genetic Algorithm การใช้งานทั้งหมดจะถูกเขียนใน Python ต่อไป

Carolina, Guillermo and Enrique (2008) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ในบทความนี้ได้แนะนำ Ant Colony System (ACS) สำหรับปัญหาการบรรจุแบบสองมิติ (SPP) ในการศึกษาการคำนวณเน้นความสำคัญของการผสมผสานวิธีการปรับให้เหมาะสมในแต่ละรอบของ ACS ในวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) นี้จะทำการเพิ่มวิธี local search เข้าไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหาคำตอบที่เหมาะสม สรุปได้ว่า ACS เมื่อรวมกับ local search ประสิทธิภาพไม่เท่ากับอัลกอริทึมทางพันธุกรรมที่มีอยู่ การแก้ปัญหาคุณภาพและเวลายังให้คุณภาพที่ต่ำกว่า

Mhand, Stephane, and Lei (2014) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์การแก้ปัญหาการบรรจุสินค้าขนาดเดียวแบบสามมิติ (the three-dimensional single bin-size bin packing problem: 3DSBSPP) โดยใช้กลยุทธ์ง่าย ๆ ตามวิธีการแก้ปัญหาเชิงตัวเลขจำนวนเชิงเส้น (Integer Linear Programming : ILP) และวิธี greedy strategies ผสมกันเป็นวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm)

จะผสมผสานซึ่งทั้งสองขั้นตอนการเลือก และการวางตำแหน่งถูกรวมเข้าด้วยกัน ขั้นตอนแรกทำหน้าที่เพื่อเลือกรายการที่แต่ละรายการในการบรรจุกล่อง ขั้นตอนที่สองระยะการวางตำแหน่งทำหน้าที่บรรจุสินค้า จากนั้นทั้งสองขั้นตอนจะทำงานสอดคล้องกันจนกว่าจะเสร็จสมบูรณ์ ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอทั้งสองวิธีนั้นให้ผลลัพธ์ที่ดี

Parreno, Alvarez, and Oliveira (2008) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าประกอบด้วยกล่องที่บรรจุภายในให้ใช้จำนวนกล่องน้อยที่สุด ในบทความนี้นำเสนออัลกอริทึมแบบ GRASP สำหรับการแก้ปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าแบบสามมิติ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับกรณีสองมิติได้โดยตรง ในขั้นตอนที่หนึ่งจะสร้างโดยดูจากความสามารถในการรับน้ำหนักของรถ ส่วนขั้นตอนที่สองจะเป็นการออกแบบและรวมกันของโครงสร้าง VND ซึ่งผลของการศึกษาแบบวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) นั้นทำงานได้อย่างรวดเร็วและคำนวณได้อย่างกว้างขวาง

Coromoto, Gara, and Carlos (2009) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์นำเสนอวิธีการหลายวิธีที่ใช้เพื่อจัดการกับปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าแบบสองมิติ Memetic Algorithm เป็นการรวมกันของ Local search กับตัวดำเนินการอื่น ๆ แบบจำลองนี้เป็นวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) ซึ่งรวมเอารูปแบบ a parallel island-based scheme เข้ากับวิธีการแบบไฮเปอร์อิวิสติคส์ โดยจะทำหน้าที่เลือกก่อนว่าจะจัดเรียงอย่างไร ส่วน Memetic Algorithm จะเป็นที่เปลี่ยนแปลงตามปัญหาจุดประสงค์ของการศึกษาเพื่อเสนอวิธีการที่ดีกว่าในอดีต ผลการคำนวณแสดงให้เห็นถึงความถูกต้องของแบบจำลอง วิธีแก้ไขปัญหามีประสิทธิภาพเมื่อเทียบเท่ากับแบบดั้งเดิม

Hongfeng and Yanjie (2010) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุสินค้าแบบสามมิติมีลักษณะทั่วไปในรูปแบบการใช้งานที่สมจริง ในบทความนี้เสนอขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบผสมผสานสำหรับ 3DBPP สามารถหมุนได้ โดยที่กำหนดโครโมโซมตามลำดับการบรรจุไว้ นำเสนอรูปแบบวิธีการอิวิสติคส์บรรจุจากซ้ายล่างให้เต็มก่อน (Deepest Bottom Left with fill packing : DBLP) ผลการทดลองในชุดปัญหาการทดสอบด้วยวิธีการหมุนที่แตกต่างกันสามวิธีที่สร้างโดยวิธี Ratcliff ของ Bischoff แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่เสนอน่าจะเป็นเครื่องมือเพิ่มประสิทธิภาพที่ดีสำหรับ 3DBPP

Liu, Tan, Goh, and Ho (2006) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุสินค้าเพื่อลดการใช้กล่องสินค้าให้จำนวนน้อยที่สุดและเพื่อความสมดุลในการรับน้ำหนักของกล่องสินค้า ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาที่ให้พิจารณาเฉพาะขนาดของถังขยะเท่านั้น วัตถุประสงค์สำหรับปัญหาการบรรจุสินค้าที่มีข้อจำกัดหลายประการ โดยใช้วิธีเพิ่มประสิทธิภาพแบบหลายอนุภาคแบบผสมผสาน (Multi-Objective Particle Swarm Optimization : HMOPSO) ผสมผสานแนวคิดของ Pareto เพื่อการแก้ปัญหาให้ดีขึ้น ซึ่งวิธีการนี้สามารถแก้ปัญหาการบรรจุสินค้าความยาวแบบ

แปรผันได้ได้ทำการทดสอบที่หลากหลายและมีการเปรียบเทียบสมรรถนะทั้งในเชิงปริมาณและเชิงสถิติกับวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพแบบอื่น ๆ สามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Camelia, Cristian, and Mara (2012) ได้ศึกษานำเสนอวิธีและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุภัณฑ์ เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและขนาดใหญ่ ตอนนี้อย่างไม่มีอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการแก้ปัญหาการบรรจุ ปัญหาการบรรจุสินค้าแบบสองมิติ ทำการบรรจุรายการสี่เหลี่ยมทั้งหมดโดยไม่ซ้อนทับกัน ข้อจำกัดคือ บางรายการไม่สามารถหมุนได้ บทความนี้ศึกษาเปรียบเทียบ Greedy algorithm กับวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) เพื่อค้นหาเทคนิคใดดีกว่ากัน ผลลัพธ์จากการศึกษาพบว่า ได้พบที่ดีกับชุดทดสอบข้อมูลจริง

Eva Hopper (2000) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการบรรจุกล่องแบบสองมิติ เป็นปัญหาที่ซับซ้อนและหลากหลายด้วยพื้นที่การแก้ปัญหาขนาดใหญ่มาก ซึ่งปกติไม่สามารถค้นหาได้อย่างละเอียด งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการไฮบริดเพื่อแก้ปัญหาการบรรจุกล่องสินค้าสองมิติ รูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าและรูปทรงที่ผิดปกติ วิธีการค้นหาเมตาฮิวริสติกถูกนำมาใช้เป็นวิธีไฮบริดส่งผลให้การบรรจุสินค้าง่ายขึ้น ประสิทธิภาพหลังจากได้รับการทดสอบกับปัญหาการบรรจุที่แตกต่างกันจำนวนมาก ปัญหาการบรรจุแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้าและแบบผิดปกติยังขาดการแก้ปัญหามาตรฐานได้ส่งผลให้สร้างสำหรับงานบรรจุแบบสี่เหลี่ยมโดยเฉพาะจึงทำการสร้างเลย์เอาต์รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้มีคุณภาพสูง

Bill, Yong, and Shuangyan (2015) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์บทความนี้เพื่อพัฒนาวิธีการแบบไฮบริดสำหรับปัญหาการบรรจุแบบสองมิติ อัลกอริทึมนี้รวมขั้นตอนการจัดวางโดยยึดตามฮิวริสติกส์ขั้นสูงกับการค้นหาในท้องถิ่น และ Demon algorithm ในการตั้งค่าพารามิเตอร์ อัลกอริทึมไฮบริดได้รับการทดสอบบนตัวอย่างมาตรฐานที่หลากหลาย ผลการคำนวณตรวจสอบความถูกต้องของคุณภาพของการแก้ปัญหาและประสิทธิภาพเป็นที่น่าพึงพอใจ

Igor and Maciej (2013) ได้ศึกษานำเสนอและทำการวิเคราะห์บทความนี้นำเสนอวิวัฒนาการแบบไฮบริดแบบสองมิติ ปัญหาการบรรจุสินค้าแบบไม่กึ่งโหด คือ ไม่กำหนดระดับชั้น วางทับกันโดยไม่มีช่องว่าง ปัญหาประกอบด้วยบรรจุเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดเกี่ยวกับจำนวนครั้งสูงสุด อาจใช้ในรูปแบบการบรรจุประมวลผลโดยอัลกอริทึมวิวัฒนาการ ตัวดำเนินการกลายพันธุ์และฟังก์ชันต่าง ๆ ใช้เป็นวิธีการเริ่มต้นในกระบวนการค้นหา

Ben and Yassine (2009) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาของการบรรจุถังขยะในสองมิติ (2BPP) ประกอบด้วยการวางรายการสี่เหลี่ยมที่กำหนดไว้ในจำนวนขั้นต่ำของภาชนะบรรจุที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า และวัตถุวางแนวฟรี  $90^\circ$  ได้ทำการศึกษาและเสนอวิธีการใน

การแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพโดยฝูงมด (ACO) และวิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์ เพื่อแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนนี้

Susana and Helena (2007) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีการไฮบริดได้รับการออกแบบเพื่อค้นหาวิธีการแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ ด้วยการรวมค้นหาแบบฮิวริสติกส์ คือ การค้นหาแบบท้องถิ่นกับวิธีการแบบแมนตรง บทสรุปหลักของงานวิจัยนี้ คือ การพัฒนาฮิวริสติกส์ปรับเปลี่ยนการค้นหาให้เหมาะสมกับปัญหาที่ซับซ้อนขึ้น สามารถแยกลักษณะรูปแบบปัญหาของวิธีฮิวริสติกส์ได้และส่งผลให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

Dhananjay, Bernd, and Andreas (2008) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์วิธีการแบบไฮบริด โดยใช้พื้นฐานจาก (Ant Colony Optimization : ACO) สำหรับปัญหาการบรรจุกล่องสินค้า โดยสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดคงที่ และความกว้างของกล่องมีความคงที่ ส่วนความสูงไม่มีที่สิ้นสุดโดยไม่ทับซ้อน (SPP) แบบสองมิติ วัตถุประสงค์เพื่อลดความสูงที่ใช้ให้ได้น้อยที่สุด ใช้ฮิวริสติกส์แบบ BLF คือ จัดลงมุมซ้ายสุดให้เต็มก่อน รวมกันกับ ACO ทำให้เกิดเป็นวิธีไฮบริดขึ้นมา การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าเมตาฮิวริสติกส์มีความสำคัญ ความได้เปรียบด้านประสิทธิภาพมากกว่าการบรรจุแบบเมตาฮิวริสติกส์วิธีเดียว

Xiao, Jia, An, and Zhuang (2015) ได้ศึกษานำเสนอและทำการวิเคราะห์วิธีการคิดที่เรียกว่า “HAPE3D” ซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติกส์ตามกฎของพลังงานให้มีผลรวมน้อยที่สุด HAPE3D สามารถจัดการกับรูปทรงหลายเหลี่ยมได้โดยอัตโนมัติ สามารถหมุนรอบแกนพิคัดแต่ละแกนในมุมที่แตกต่างกันได้ ข้อดีที่โดดเด่นที่สุดคือ HAPE3D ไม่ทำการคำนวณ (No fit polygon : NFP) ซึ่งเป็นอุปสรรคใหญ่สำหรับปัญหาการบรรจุแบบสามมิติสำหรับปัญหาการบรรจุกล่องสินค้า มีรูปทรงที่ผิดปกติแบบสามมิติ ลงในกล่องที่มีความกว้างและความยาวคงที่ แต่มีความสูงไม่จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์คือ การจัดสรรชิ้นงานทั้งหมดให้เพิ่มกำไรมากที่สุด พิสูจน์แล้วว่าวิธีการแบบผสมทำงานได้ค่อนข้างดี

### 2.6.3 งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้าและจัดเส้นทางขนส่ง

จากปัญหาการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง และปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งได้มีวรรณกรรมที่ได้ทำการศึกษาทั้งสองปัญหาที่กล่าวมา รายละเอียดโดยย่อมีดังนี้

Andreas Bortfeldt (2011) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์ปัญหาการกำหนดเส้นทางรถขนส่งโดยพิจารณาตามความจุของยานพาหนะ (CVRP) แบบสามมิติภายใต้ข้อจำกัดที่มีในการศึกษานี้ใช้วิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) ทำการรวม 2 วิธีเข้าด้วยกัน คือ การค้นหาแบบต้องห้าม (Tabu Search) ใช้ในการค้นหาเส้นทางรถขนส่ง และ การค้นหาแบบต้นไม้ (Tree Search Algorithm) ใช้ในการบรรจุกล่องแสดงให้เห็นถึงคุณภาพของวิธีการแก้ปัญหาและประสิทธิภาพในการคำนวณเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีอื่น ๆ



Philippe, Helene, and Christophe (2013) ได้ศึกษาวิธีการและทำการวิเคราะห์ปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะตามความสามารถของการจัดแบบสามมิติ (3L-CVRP) วัตถุประสงค์คือ เพื่อออกแบบสำหรับยานพาหนะที่เป็นชนิดเดียวกัน โดยใช้จุดคลังเก็บสินค้าเดียวกัน ซึ่งลดต้นทุนการขนส่งโดยรวม ในการเดินทางยานพาหนะแต่ละครั้งจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการบรรจุแบบมุมฉากสามมิติ ปัญหานี้เชื่อมโยงอย่างมากกับระบบการขนส่งในชีวิตจริง และเสนอวิธีการใหม่ในการแก้ปัญหาย่อยบรรจุภัณฑ์ จะถูกคำนวณเพื่อแก้ไขปัญหาการบรรจุสามารถหมุนได้ แต่ข้อจำกัด สิ่งของมีความบางมาก วิธีนี้รวมอยู่ในอัลกอริทึมไฮบริดของ GRASPXELS เพื่อการคำนวณเส้นทาง VRP การเพิ่มประสิทธิภาพเส้นทางจะสลับกันระหว่างสองช่องว่างการค้นหา พื้นที่ของเส้นทาง VRP และพื้นที่การเดินทาง นอกจากนี้ยังมีการค้นหาในพื้นที่ในแต่ละพื้นที่การค้นหา

Xueping and Kaike (2015) ได้ศึกษาและทำการวิเคราะห์จะพิจารณาความสามารถในการรับน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปว่าเป็นปัญหาการบรรจุภัณฑ์แบบสามมิติ (3D-BPP) ซึ่งเกี่ยวข้องกับการเพิ่มพื้นที่ใช้งานให้เกิดประโยชน์สูงสุด และทำการจัดของส่งโดยมีรถหลายขนาดในการรับภาระน้ำหนัก ปัญหาในเรื่องนี้มีมาอย่างกว้างขวางในการขนส่งสินค้า การจัดการคลังสินค้า บรรจุภัณฑ์ทางการแพทย์และอื่น ๆ อีกมาก ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ทำการพัฒนาวิธีการแบบผสม (Hybrid Algorithm) โดยใช้ differential evolution (DE) algorithm ผสมกับวิธีการบรรจุสินค้าแบบฮิวริสติกส์โดยเลือกใช้วิธี best-match-first (BMF) ร่วมกันสร้างวิธีการแก้ปัญหาการบรรจุตามลำดับกล่องที่กำหนดและตามลำดับความสามารถในการรับน้ำหนัก ผลการวิจัยพบว่า วิธีการที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพและคุณภาพในการแก้ปัญหา ผลลัพธ์ของการตรวจสอบการบรรจุและทำให้ประหยัดเวลา CPU ได้อย่างมาก ประสิทธิภาพแสดงโดยการทดลองทางคอมพิวเตอร์ในกรณี 3L-CVRP

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

ดังนั้น จากการศึกษาพบงานวิจัยที่ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) และการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง (Bin packing problem : BPP) กับวิธีการแบบไฮบริด พบจำนวนไม่มาก ส่วนใหญ่พบเพียงแต่การแก้ปัญหาเพียงอย่างเดียวหนึ่งโดยใช้วิธีการแบบไฮบริด จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่า วิทยานิพนธ์นี้จะแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP) ซึ่งเลือกใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach) โดยผู้วิจัยได้ประยุกต์

จากปัญญวัฒน์ จันทร์ชัยภักดิ์ (2561) เพื่อต่อยอดใช้ในงานวิจัยนี้ และการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง (Bin packing problem : BPP) ในลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square) และสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangular) ในลักษณะ 2 มิติ โดยใช้วิธีแก้ผลเฉลยด้วยวิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) จาก Bonfim, Placido, and Rommel (2013) และจิระเดช พลสวัสดิ์ (2546) ประยุกต์ใช้ในการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งส่งผลให้ผลเฉลยมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.2 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัจจัยต่าง ๆ

ที่	ผู้แต่ง (ปี)	รูปร่าง						มิติ		
		Square	Rectangular	Circle	Triangle	Irregular	large-scale	1D	2D	3D
1	Andreas Bortfeldt (2011)		√							√
2	Jose, G., Mauricio, R., (2013)	√							√	√
3	Xueping, L., Kaike, Z., (2015)		√							√
4	Bonfim, J., Placido, P., and Rommel, S., (2013)					√		√		
5	Ahmed, H., Nelishia, P., (2019)								√	
6	Tansel, D., Ahmet, C., (2014)						√	√		
7	Muhammed, B., Tansel, D., and Ahmet, C., (2015)								√	
8	Ismail Babaoglu (2017)		√						√	
9	Christian, B., Verena, A., (2013)		√						√	
10	Yaohua, H., Yong, W., and Robert, S., (2011)		√							√
11	Xueping, L., Kaike, Z., (2015)									√
12	Jose, G., Mauricio, R., (2011)		√							√

ตารางที่ 2.2 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ)

ที่	ผู้แต่ง (ปี)	รูปร่าง						มิติ		
		Square	Rectangular	Circle	Triangle	Irregular	large-scale	1D	2D	3D
13	Mhand, H., Stephane, N., and Lei, W., (2014)									√
14	Parreno, F., Alvarez, R., and Oliveira, J., (2008)								√	√
15	Coromoto, L., Gara, M., and Carlos S., (2009)								√	
16	Hongfeng, w., Yanjie c., (2010)									√
17	Liu, D., et al. (2006)								√	
18	Camelia, P., Cristian, P., and Mara, M., (2012)		√						√	
19	Eva Hopper (2000)		√			√			√	
20	Bill, C., Yong, W., and Shuangyan, Y., (2015)		√						√	
21	Ben, M., Yassine, A., (2009)		√						√	
22	Susana, F., Helena, L., (2007)									
23	Dhananjay, T., Bernd, M., and Andreas, E., (2008)		√						√	
24	Xiao, L., et al. (2015)					√				√
25	Igor, K., Maciej, L., (2013)		√						√	
	งานวิจัยนี้	√	√						√	

ตารางที่ 2.3 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย

ที่.	ผู้แต่ง (ปี)	ปัญหา			
		Bin Packing Problem (BPP)	Strip-Packing Problem (SPP)	Vehicle Routing Problem (VRP)	Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)
1	Andreas Bortfeldt (2011)	√			√
2	Jose, G., Mauricio, R., (2013)	√			
3	Xueping, L., Kaike, Z., (2015)	√			
4	Bonflm, J., Placido, P., and Rommel, S., (2013)				
5	Ahmed, H., Nelishia, P., (2019)	√			
6	Tansel, D., Ahmet, C., (2014)	√			
7	Muhammed, B., Tansel, D., and Ahmet, C., (2015)	√			
8	Ismail Babaoglu (2017)		√		
9	Christian, B., Verena, A., (2013)	√			
10	Yaohua, H., Yong, W., and Robert, S., (2011)	√			
11	Xueping, L., Kaike, Z., (2015)	√		√	
12	Jose, G., Mauricio, R., (2011)	√			
13	Mhand, H., Stephane, N., and Lei, W., (2014)	√			
14	Parreno, F., Alvarez, R., and Oliveira, J., (2008)	√			
15	Coromoto, L., Gara, M., and Carlos S., (2009)	√			
16	Hongfeng, w., Yanjie c., (2010)	√			
17	Liu, D., et al. (2006)	√			
18	Camelia, P., Cristian, P., and Mara, M., (2012)	√			
19	Eva Hopper (2000)	√	√		
20	Bill, C., Yong, W., and Shuangyan, Y., (2015)		√		

ตารางที่ 2.3 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับปัญหาในงานวิจัย (ต่อ)

ที่	ผู้แต่ง (ปี)	ปัญหา			
		Bin Packing Problem (BPP)	Strip-Packing Problem (SPP)	Vehicle Routing Problem (VRP)	Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)
21	Ben, M., Yassine, A., (2009)	√			
22	Susana, F., Helena, L., (2007)				
23	Dhananjay, T., Bernd, M., and Andreas, E., (2008)		√		
24	Xiao, L., et al. (2015)	√			
25	Igor, K., Maciej, L., (2013)	√			
26	Chen, A., Yang, G., and Wu, Z., (2005)				√
27	Angel, J., et al. (2009)				√
28	Yu, B., Yang, Z. Z., and Yao, B. Z. (2011)			√	
29	Anand, S., Eduardo, U., and Luiz, S., (2013)			√	
30	Philippe, L., Helene, T., and Christophe, D., (2013)	√			√
	งานวิจัยนี้	√		√	



ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีแก้ผลเฉลย (ต่อ)

ร.ด.	ผู้แต่ง (ปี)	วิธีแก้ผลเฉลย											
		1. Tabu Search (TS)	2. Genetic Algorithm (GA)	3. Hybrid Algorithm	4. Bottom Left Fill (BLF)	5. Meta Heuristic	6. Heuristic Algorithm	7. Particle Swarm Optimization	8. Evolutionary Algorithm	9. Hyper Algorithm	10. Integer Linear Programming	11. Greedy Algorithm	12. Ant Colony Algorithm (ACO)
11	Xueping, L., Kaike, Z., (2015)							✓					
12	Jose, G., Mauricio, R., (2011)		✓										
13	Mhand, H., Stephane, N., and Lei, W., (2014)									✓	✓		
14	Parreno, F., Alvarez, R., and Oliveira, J., (2008)										✓		✓
15	Coromoto, L., Gara, M., and Carlos S., (2009)								✓				
16	Hongfeng, w., Yanjie c., (2010)		✓		✓								
17	Liu, D., et al. (2006)			✓				✓					
18	Camelia, P., Cristian, P., and Mara, M., (2012)												
19	Eva Hopper (2000)												
20	Bill, C., Yong, W., and Shuangyan, Y., (2015)			✓		✓							

ตารางที่ 2.4 แสดงสรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำหรับวิธีแก้ผลเฉลย (ต่อ)

ร.ด.-	ผู้แต่ง (ปี)	วิธีแก้ผลเฉลย											
		1. Tabu Search (TS)	2. Genetic Algorithm (GA)	3. Hybrid Algorithm	4. Bottom Left Fill (BLF)	5. Meta Heuristic	6. Heuristic Algorithm	7. Particle Swarm Optimization	8. Evolutionary Algorithm	9. Hyper Algorithm	10. Integer Linear Programming	11. Greedy Algorithm	12. Ant Colony Algorithm (ACO)
21	Ben, M., Yassine, A., (2009)												
22	Susana, F., Helena, L., (2007)			√	√								
23	Dhananjay,T., Bernd, M., and Andreas, E., (2008)												
24	Xiao, L., et al. (2015)									√	√		
25	Igor, K., Maciej, L., (2013)												
26	Chen, A., Yang, G., and Wu, Z., (2005)									√			
27	Angel, J., et al. (2009)										√		
28	Yu, B., Yang, Z. Z, and Yao, B. Z. (2011)												
29	Anand, S., Eduardo, U., and Luiz, S., (2013)											√	
30	Philippe, L., Helene, T., and Christophe, D., (2013)			√									√
งานวิจัยนี้		Hybrid Algorithm											



## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 บทนำ

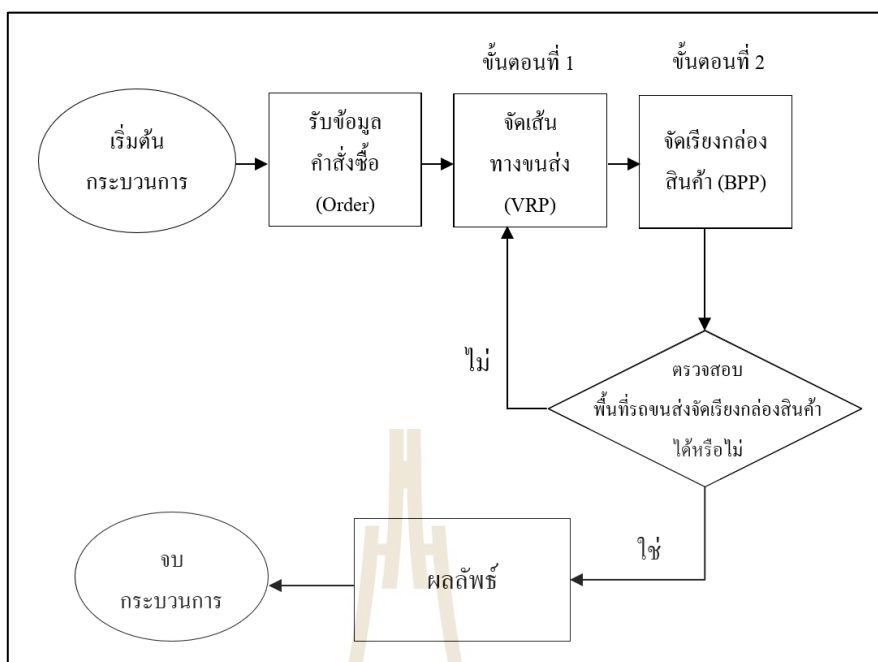
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการแบบไฮบริด โดยในงานวิจัยจะมี 2 ขั้นตอน สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งและการบรรจุกล่องสินค้าแบบสองมิติในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้าง โดยเริ่มต้นจะเป็นการกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย การจัดเส้นทางขนส่ง และการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง โดยวัตถุประสงค์หลัก คือ เพื่อศึกษาแนวทางการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งให้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด โดยใช้รถขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นแนวทางสำหรับการวางแผนการขนส่งและจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งภายใต้การมีทรัพยากรอยู่อย่างจำกัด และเพื่อพัฒนาขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งในรูปแบบสองมิติ

#### 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 การจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP) โดยใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP) โดยใช้วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) ซึ่งเป็นการทำงานระหว่างเมตาฮิวริสติกส์สองวิธีมารวมกัน คือ วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) และวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search : LS) โดยจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบเริ่มต้นเบื้องต้น หลังจากนั้นจะใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่ในการพัฒนาหาคำตอบที่ดีขึ้น

หากพื้นที่รถขนส่งสามารถรองรับสินค้าได้ให้ไปขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าหากพื้นที่รถขนส่งไม่สามารถรองรับสินค้าได้ให้ทำการจัดเส้นทางขนส่งใหม่ตามขั้นตอนที่ 1 เมื่อทำขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 ครบแล้วจะทำการพัฒนาโปรแกรม MATLAB ในการแก้ปัญหาและช่วยในการหาคำตอบต่อไป



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย

### 3.3 การดำเนินงานวิจัย

#### 3.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP)

กำหนดการใช้พารามิเตอร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

$s_0$  คือ คลังสินค้า

$s_j$  คือ ระยะทางของลูกค้าที่  $j$

$s_p$  คือ ระยะทางรวมของรถขนส่งคันที่  $p$

$c_j$  คือ พื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่  $j$

$c_p$  คือ พื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p$

$q_p$  คือ กลุ่มคลัสเตอร์ของกลุ่มลูกค้าในรถขนส่งคันที่  $p$

$f_k$  คือ เก็บพื้นที่ของลูกค้าในกลุ่มคลัสเตอร์ โดยที่  $k = 1, 2, \dots, k$

$j$  คือ จำนวนของลูกค้าทั้งหมด  $j = 1, 2, \dots, j$

$p$  คือ จำนวนรถขนส่งสินค้าทั้งหมด  $p = 1, 2, \dots, p$

$z$  คือ รถขนส่งประเภทที่ 1 ขนาดเล็ก  $z$  ล้อ

$r$  คือ รถขนส่งประเภทที่ 2 ขนาดใหญ่  $r$  ล้อ

$u$  คือ มุมกวาดรอบจุดศูนย์กลางในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นมุมแหลมที่  $u$  องศา

$e$  คือ มุมกวาดรอบจุดศูนย์กลางในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นมุมฉากที่  $e$  องศา

$t$  คือ ค่าพื้นที่เมื่อ  $t$  ตารางมิลลิเมตร ของรถขนส่งประเภทที่ 1

$g$  คือ ค่าพื้นที่เมื่อ  $g$  ตารางมิลลิเมตร ของรถขนส่งประเภทที่ 2

ในส่วนของ การจัดเส้นทางรถขนส่ง ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem) โดยมีรถขนส่งประเภทที่ 1 ขนาดเล็ก  $z$  ล้อ และรถขนส่งประเภทที่ 2 ขนาดใหญ่  $r$  ล้อ โดยออกจากคลังสินค้าพร้อมกันมากกว่า 1 คัน มีจำนวนลูกค้า  $j$  ราย และมีคลังสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) โดยใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) และวิธีการกวาด (The Sweep Approach) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1.1 เริ่มต้นกำหนดจุดส่งคลังสินค้า ( $s_0$ ) เป็นจุดอ้างอิงในการหมุน โดยทำวิธีการกวาด (The Sweep Approach) ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.5.4 และกำหนดเริ่มต้นให้รถคันที่  $p$

ขั้นตอนที่ 1.2 ต่อมาใช้จุดอ้างอิง ( $s_0$ ) เป็นจุดหมุนในการแบ่งกลุ่มจุดส่งสินค้า ด้วยวิธีการกวาด (Sweep Approach) ทำการแบ่งกลุ่มคลัสเตอร์ของรถขนส่งคันที่  $p$  ( $q_p$ ) ในมุมกวาด โดยทำการเก็บค่าโดยให้  $f_k$  เก็บพื้นที่ของการบรรจุกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่  $j$  ( $c_j$ )

ขั้นตอนที่ 1.3 แบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้  $s_0$  เป็นจุดอ้างอิง ทำการกวาดเป็นมุมกวาด  $e$  หรือ  $u$  องศาถัดไป ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ขั้นตอนที่ 1.4 ทำการค้นหาระยะทางการขนส่งสินค้า โดยเลือกลำดับลูกค้ารายที่  $j$  ( $s_j$ ) ที่ใกล้จุดเริ่มต้นมากที่สุด ด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.5.5

ขั้นตอนที่ 1.5 ทำการตรวจสอบ  $(c_j) < (c_p)$  ใช่หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.10 หากใช่ให้ต่อขั้นตอนที่ 1.6 เมื่อ  $c_j$  คือ พื้นที่บรรจุสินค้าของลูกค้ารายที่  $j$  และ  $c_p$  คือ พื้นที่บรรจุของรถขนส่งคันที่  $p$

ขั้นตอนที่ 1.6 ทำการอัปเดตค่า  $c_p$  ปัจจุบันโดยที่  $c_p = c_p - c_j$

ขั้นตอนที่ 1.7 ตรวจสอบพื้นที่ที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p$  ว่าเหลือพื้นที่  $c_p > t$  หรือ  $g$  ตารางมิลลิเมตรใช่หรือไม่ และทำการตรวจสอบลูกค้าในมุมกวาด  $e$  หรือ  $u$  องศาว่ามีลูกค้าเหลือหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ให้ไปทำต่อขั้นตอนที่ 1.10 หากใช่ให้ไปทำต่อขั้นตอนที่ 1.8

ขั้นตอนที่ 1.8 ทำการค้นหาลูกค้าถัดไปที่มียะระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับลูกค้า  $s_j$  ก่อนหน้า

ขั้นตอนที่ 1.9 ทำการตรวจสอบ  $(c_j) > (c_p)$  ใช่หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ไปทำต่อในส่วนของขั้นตอนที่ 1.6 หากใช่ไปทำต่อขั้นตอนที่ 1.10 เมื่อ  $c_j$  คือ พื้นที่บรรจุสินค้าของลูกค้านายที่  $j$  และ  $c_p$  คือ พื้นที่บรรจุของรถขนส่งคันที่  $p$

ขั้นตอนที่ 1.10 ทำการตรวจสอบว่ายังมีลูกค้าคนสุดท้ายภายในมุมมอง  $e$  หรือ  $u$  องศาใช่หรือไม่ ถ้าไม่ใช่ทำต่อขั้นตอนที่ 1.12 หากใช่ทำต่อขั้นตอนที่ 1.11

ขั้นตอนที่ 1.11 แบ่งกลุ่มลูกค้าจากจุดมุมมองสุดท้ายจากมุมมอง  $e$  เปลี่ยนมุมมองเป็นมุมมอง  $u$  องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาให้ทำต่อขั้นตอนที่ 1.3

ขั้นตอนที่ 1.12 ทำการอัปเดตค่า  $c_p$  ปัจจุบัน โดยที่  $c_p = c_p - c_j$

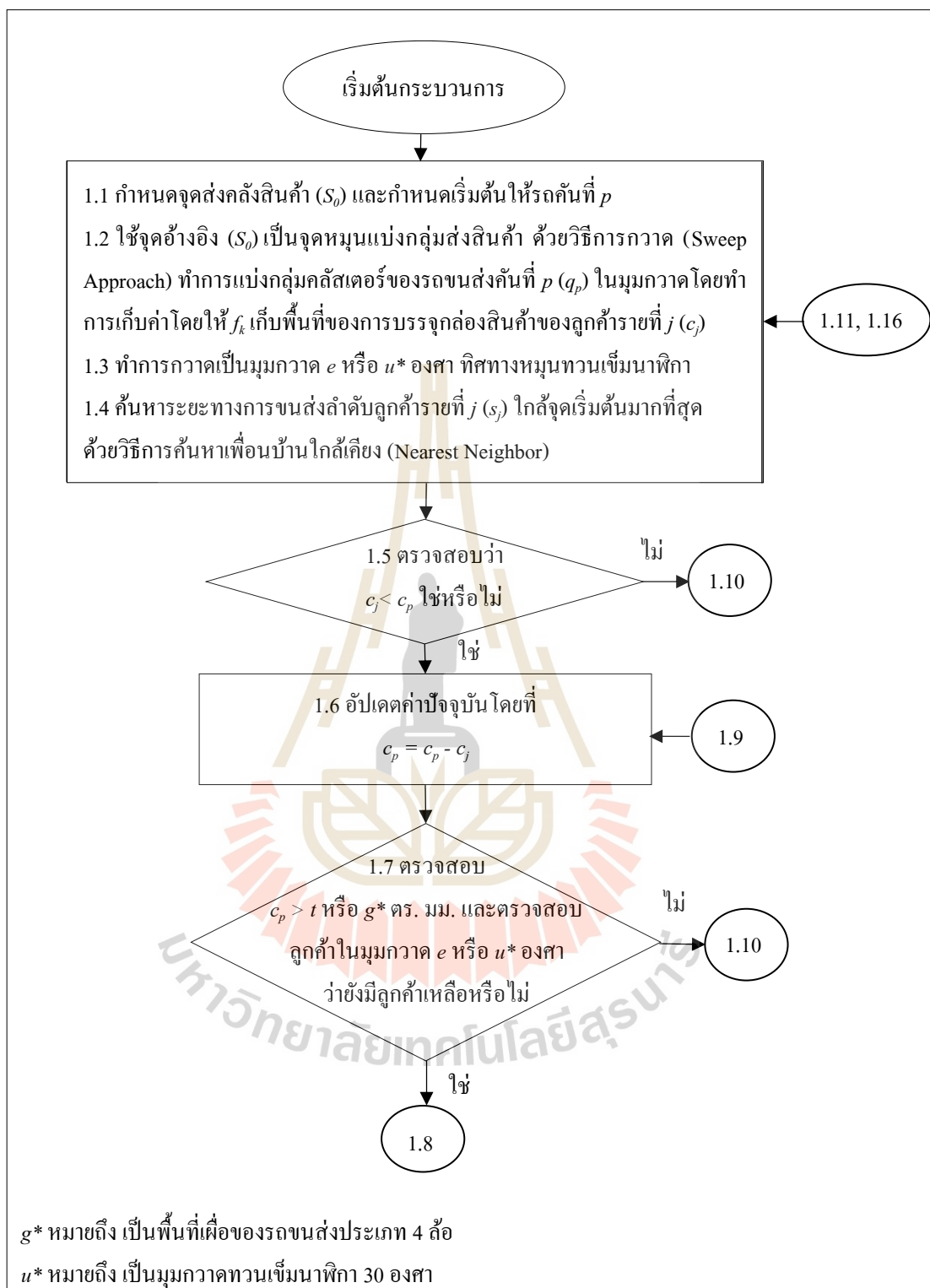
ขั้นตอนที่ 1.13 ทำการอัปเดตเส้นทางของการขนส่งสินค้าของรถคันที่  $p$  ทำการเก็บค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่  $p$  ( $q_p$ ) และจะได้ค่า  $f_k$  ในการเก็บพื้นที่ของการบรรจุกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่  $j$  ( $c_j$ )

ขั้นตอนที่ 1.14 ทำการอัปเดตรถขนส่งคันถัดไป  $p = p + 1$  และระบุพื้นที่ที่รถขนส่งของรถคันที่  $p$

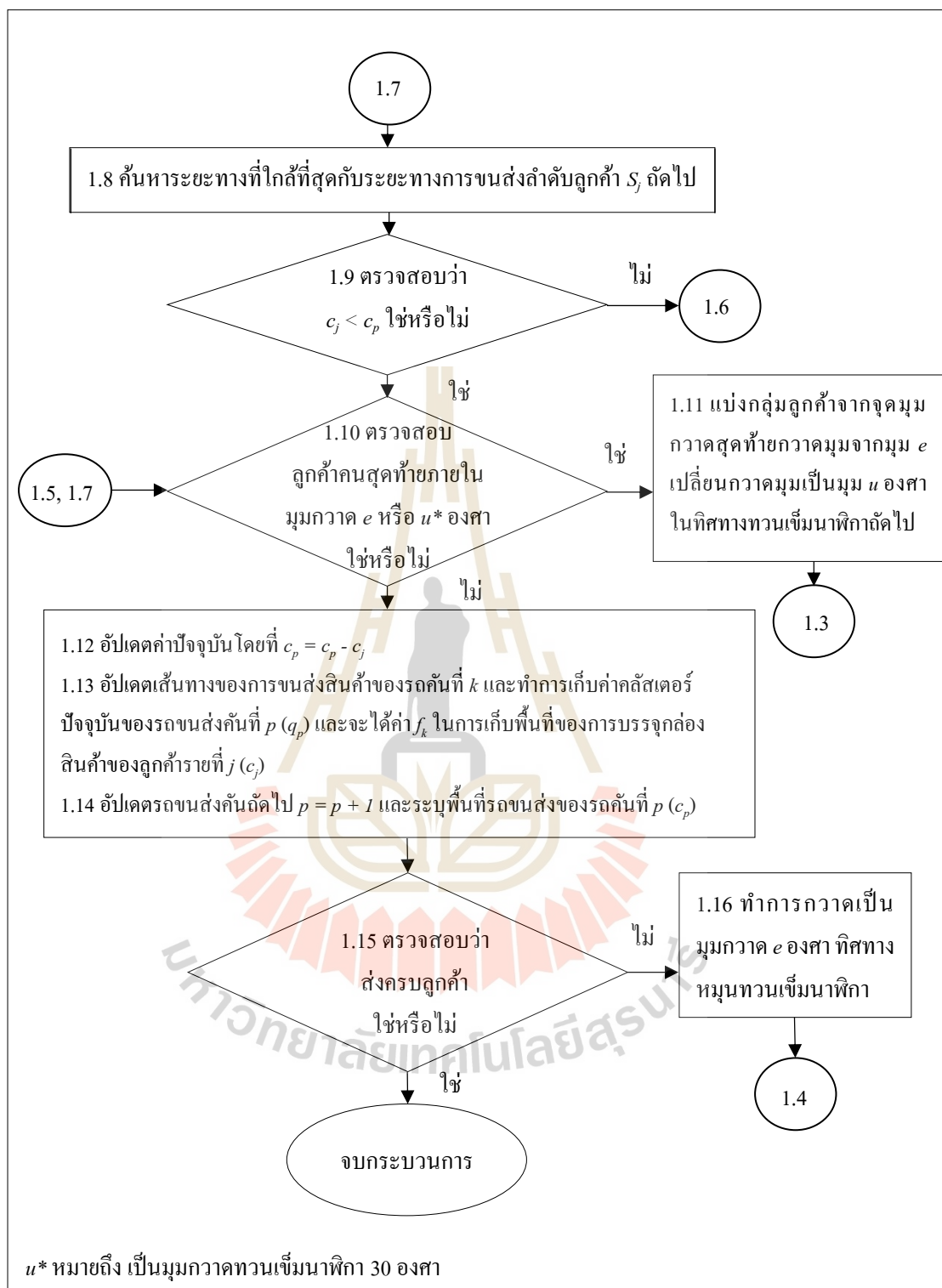
ขั้นตอนที่ 1.15 ทำการตรวจสอบว่า ส่งครบจำนวนลูกค้าใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อข้อที่ 1.17 ถ้าหากไม่ใช่ให้ไปทำต่อขั้นตอนที่ 1.16

ขั้นตอนที่ 1.16 ทำการกวาดเป็นมุมมอง  $e$  องศา ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาวนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1.4

ขั้นตอนที่ 1.17 สิ้นสุดกระบวนการการจัดเส้นทางขนส่ง



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่ง



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่ง (ต่อ)

### 3.3.2 ขั้นตอนที่ 2 การจัดเรียงกล่องสินค้า (Bin Packing Problem : BPP)

กำหนดการใช้พารามิเตอร์สำหรับปัญหาการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

$b_j$  คือ จำนวนกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่  $j$  โดยที่  $b = 1, 2, 3, \dots, b$

$m$  คือ จำนวนรอบกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS)

$c_p$  คือ พื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p$

$c_{pd}$  คือ พื้นที่ไม่สามารถวางกล่องสินค้าได้ของรถขนส่งคันที่  $p$

$c_j$  คือ พื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้าที่  $j$

$N$  คือ จำนวนรอบสูงสุดของวิธีการแบบไฮบริด

$L$  คือ การสุ่มเปลี่ยนตำแหน่งในการหาคำตอบเบื้องต้น  $L$  คู่ตำแหน่ง

$V$  คือ การสุ่มเปลี่ยนตำแหน่งของกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย  $V$  คู่ตำแหน่ง

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) =  $c_p - q_p - c_{pd}$

ในการจัดเรียงกล่องสินค้า จะทำการแก้ปัญหการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งแบบสองมิติ (2D) โดยใช้วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) เป็นการทำงานระหว่างเมตาฮีริสติกส์ (Metaheuristic) สองวิธีมารวมกัน คือ วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) และวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (LS) โดยจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบเบื้องต้น หลังจากนั้นจะใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่จะเรียกว่า “กระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย” เพื่อเป็นการพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้น ดังรูปที่ 3.2 โดยประเภทของกล่องสินค้ามี 2 ประเภท คือ กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา ทำการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ซึ่งในส่วนขอขั้นตอนการจัดเรียงกล่องสินค้าดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 2.1 รับข้อมูลจากการเก็บค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่  $p$  ( $q_p$ ) และจะได้ค่า  $f_k$  ในการเก็บพื้นที่ของการบรรจุกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่  $j$  ( $c_j$ ) จากการจัดเส้นทางรถขนส่งในหัวข้อที่ 3.3.1 ในขั้นตอนที่ 1.13 และลูกค้ารายที่  $j$  มีจำนวนกล่องสินค้า  $b_j$  กล่อง

ขั้นตอนที่ 2.2 เริ่มกระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) รอบที่  $N$

ขั้นตอนที่ 2.3 เข้าสู่กระบวนการในการหาคำตอบเบื้องต้น

ขั้นตอนที่ 2.3.1 สุ่มรูปแบบโครโมโซมของพ่อแม่ (กล่องสินค้า) เริ่มต้นและการเข้ารหัสกล่องสินค้าเริ่มต้น (Population Initialization) จะเป็นการเข้ารหัสโดยใช้ตัวเลขและตัวอักษร กำหนดลูกค้าแต่ละราย ประเภทของกล่องสินค้า และจำนวนของกล่องสินค้าทั้งหมด ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.3.1

ขั้นตอนที่ 2.3.2 การคัดเลือกพันธุกรรม (Cross Over) ไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Cross Over OX เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายในและจุดตัดภายนอก จุดตัด

ภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ด้วยตัว  $H$  ตัวพิมพ์ใหญ่ ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.3.2.1

ขั้นตอนที่ 2.3.3 ทำการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Mutation) โดยวิธีการสลับคู่เปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y) L$  คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.3.2.2

ขั้นตอนที่ 2.4 ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) มีค่าความเหมาะสมหรือไม่ ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) =  $c_p - q_p - c_{pd}$  เพื่อนำไปใช้ในการคัดเลือกคำตอบที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการสร้างคำตอบรุ่นถัดไป ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.3.3 ถ้าหากไม่มีให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.6 หากมีค่าความเหมาะสมให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.5

ขั้นตอนที่ 2.5 เริ่มกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ทำการสลับตำแหน่งโดยวิธีการสุ่มสลับตำแหน่ง  $(x, y) V$  คู่ตำแหน่ง (V-Opt) ของกล่องสินค้า จำนวน  $m$  รอบ ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.4

ขั้นตอนที่ 2.6 พิจารณาแบบการกระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งและปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายตามปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย ทำการกระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งลูกค้าและเรียงลำดับกล่องสินค้าตามเดิมก่อนหน้าใช้กระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.4

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) มีค่าความเหมาะสมหรือไม่ (Max Fitness) =  $c_p - q_p - c_{pd}$  ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.3.3 หากไม่มีค่าให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.9 ถ้าหากมีค่าให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.8

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบว่าค่า Fitness ได้คำตอบครบจำนวน  $N$  รอบหรือไม่ หากไม่ครบให้ไปทำต่อขั้นตอนที่ 2.11 ถ้าหากครบรอบให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.10

ขั้นตอนที่ 2.9 ทำการสุ่มโครโมโซมของพ่อหรือแม่ตั้งต้นใหม่ โดยให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 2.10 ได้ผลลัพธ์ของรถคันที่  $p$  และทำการจัดเรียงกล่องสินค้าลงบนรถขนส่ง โดยกล่องจะเข้าบรรจุด้านล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ โดยที่กล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้  $e$  องศา ให้ทำต่อขั้นตอนที่ 2.12

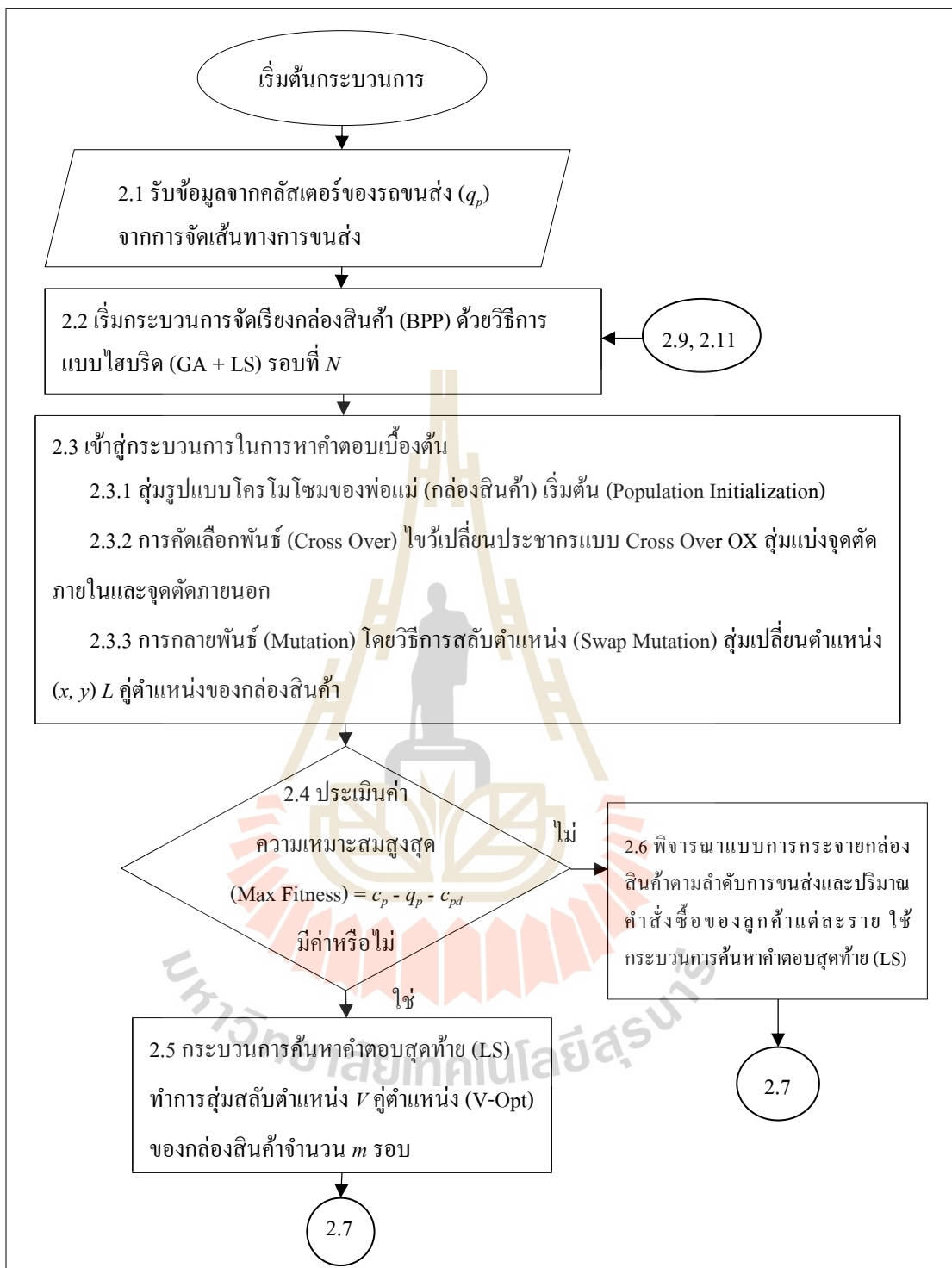
ขั้นตอนที่ 2.11 เปรียบเทียบโครโมโซมลูกที่ได้จากกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ในรอบก่อนหน้ากับรอบปัจจุบันว่ามีค่า Fitness มากที่สุด นำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไปแล้วทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ และเพิ่มจำนวนรอบ  $N = N+1$  โดยให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2.2



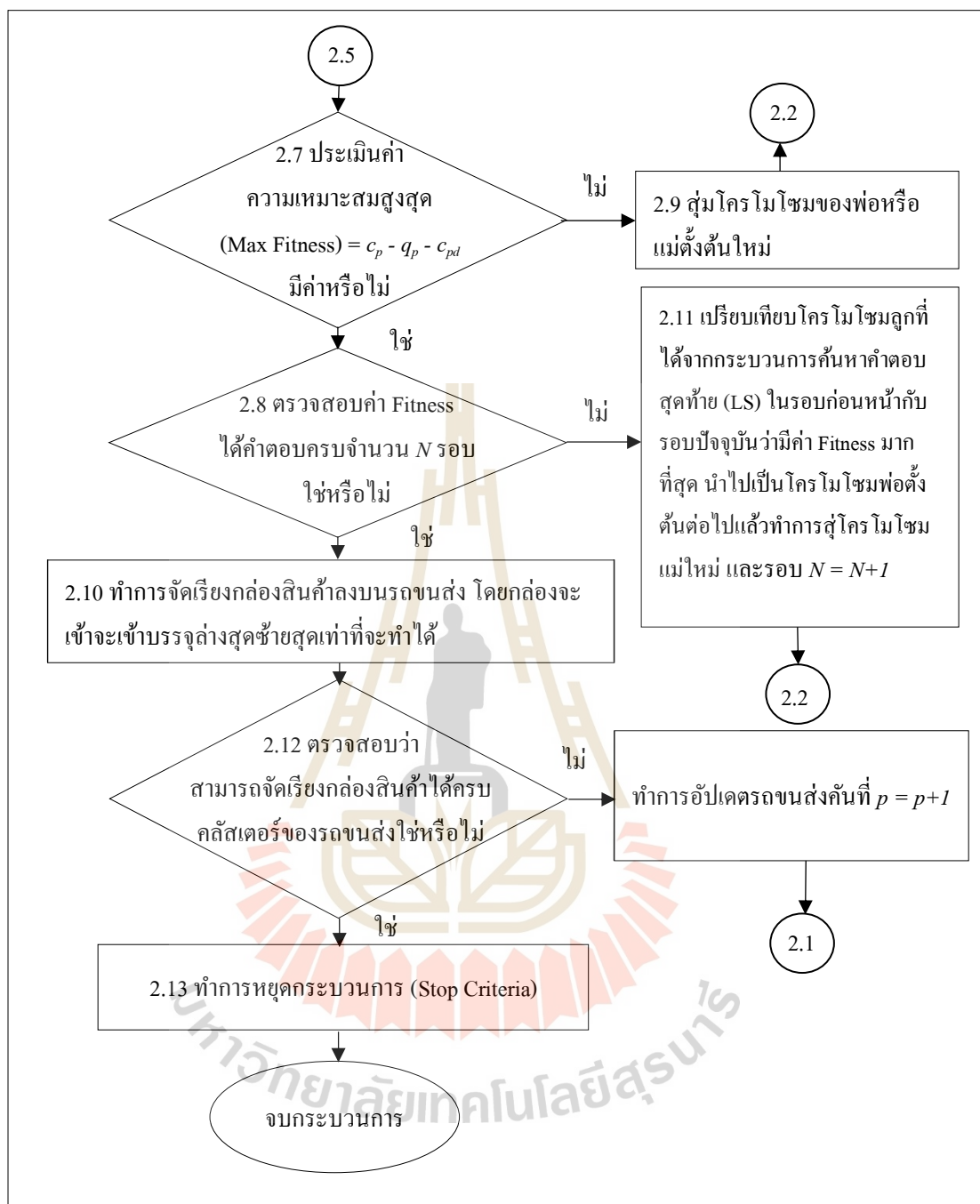
ขั้นตอนที่ 2.12 ตรวจสอบว่าสามารถจัดเรียงกล่องสินค้าได้ครบคลัสเตอร์ของรถขนส่งใช่หรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำต่อข้อ 2.13 ถ้าหากไม่ใช่ให้ทำการอัปเดตรถขนส่งคันที่  $p = p + 1$  และกลับไปทำขั้นตอนที่ 2.1 และทำการพิจารณาคลัสเตอร์ที่เหลือในมุมมองต่อไป

ขั้นตอนที่ 2.13 ทำการหยุดกระบวนการ (Stop Criteria)





รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการจัดเรียงกล่องสินค้า



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการจัดเรียงกล่องสินค้า (ต่อ)

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัย

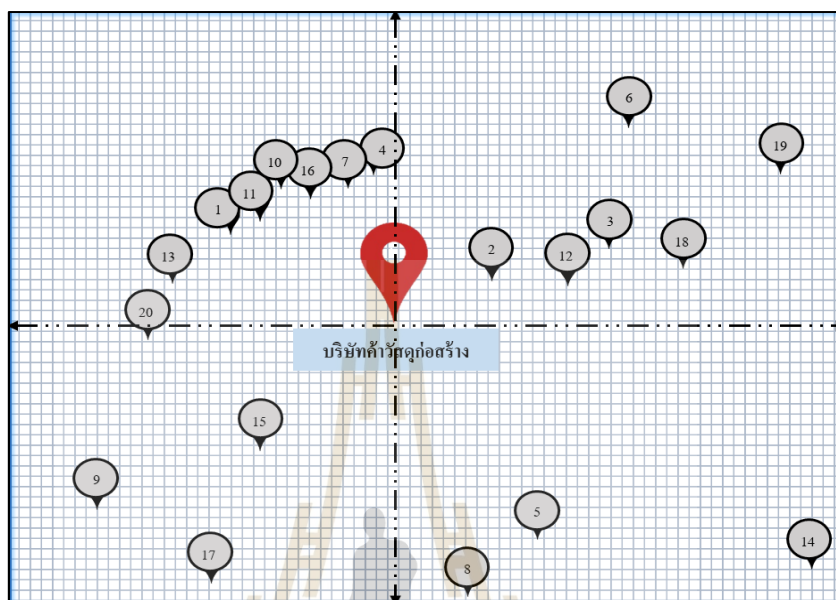
#### 4.1 บทนำ

ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem : VRP) จะทำการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem) และออกจากคลังสินค้าพร้อมกันมากกว่า 1 คัน มีคลังสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) โดยใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) กับวิธีการกวาด (The Sweep Approach) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง ซึ่งในปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง (Bin Packing Problem : BPP) จะจัดเรียงในมุมมองแบบสองมิติ (2D) ประเภทของกล่องสินค้าจะมี 2 ประเภท คือ กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยใช้วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) เป็นการทำงานระหว่างเมตาฮิวริสติกส์สองวิธีมารวมกัน คือ วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) และวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) โดยจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบเบื้องต้น หลังจากนั้นจะใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่ กระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้ายในการพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้น

#### 4.2 กรณีศึกษาที่ทำการวิจัย

โดยงานวิจัยนี้แบ่งเป็นขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง โดยมีรถขนส่ง 2 ประเภท คือ รถขนส่งประเภทที่ 1 ขนาดเล็กประเภท  $z = 4$  ล้อ มีค่าพื้นที่เพื่อ 8 เปอร์เซ็นต์ของรถขนส่ง  $t = 252,000$  ตารางมิลลิเมตร และรถขนส่งประเภทที่ 2 ขนาดใหญ่ประเภท  $r = 6$  ล้อ มีค่าพื้นที่เพื่อ 9 เปอร์เซ็นต์ของรถขนส่ง  $g = 1,012,500$  ตารางมิลลิเมตร โดยวิธีการกวาด (The Sweep Approach) มีค่าคงที่มุมกวาดมุมแหลมทวนเข็มนาฬิกาที่ 30 องศา และค่าคงที่มุมกวาดมุมฉากทวนเข็มนาฬิกา 90 องศา โดยข้อมูลของประเภทรถขนส่งแสดงดังตารางที่ 4.1 มีลูกค้าจำนวน 20 ราย ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร (จากกรมทางหลวง) โดยผลของการจัดเส้นทางรถขนส่ง กำหนดให้ ดังตารางที่ 4.10 และในขั้นตอนที่สอง คือ ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้า ในการหาคำตอบเบื้องต้น มีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งกล่องสินค้า  $L = 2$  คู่ตำแหน่ง และกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้ายมีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งกล่องสินค้า  $L = 3$  คู่ตำแหน่ง

ซึ่งประเภทข้อมูลของกล่องสินค้าในรูปแบบต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.12 และผลของการจัดเรียงกล่องสินค้า ดังตารางที่ 4.18



รูปที่ 4.1 แสดงจุดตั้งสินค้าของลูกค้าแต่ละราย

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลประเภทและขนาดของรถขนส่ง

จำนวน (คัน)	ประเภทของรถขนส่ง	ความกว้าง (มม.)	ความยาว (มม.)	พื้นที่ของรถขนส่ง (ตร.มม.)
3	รถขนส่ง 6 ล้อ	2,500	4,500	11,250,000
4	รถขนส่ง 4 ล้อ	1,500	2,100	3,150,000

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลระยะทางคลังสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย

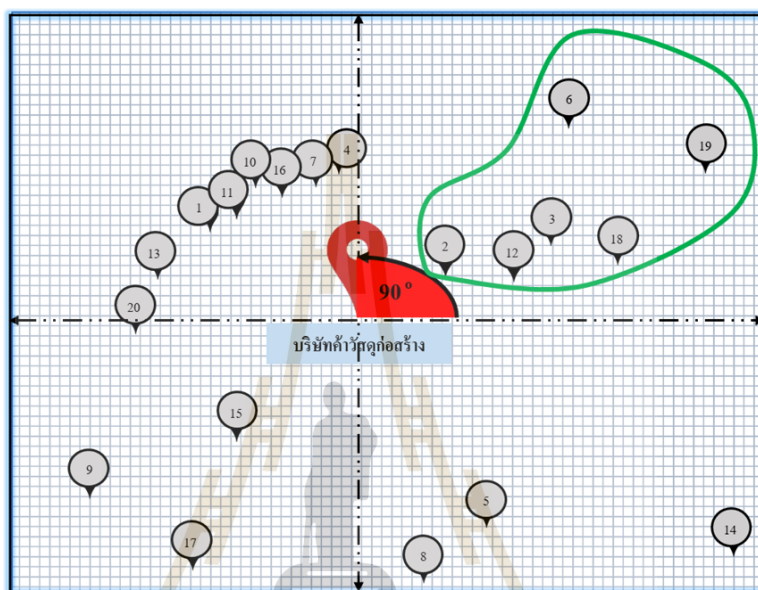
ลูกค้ารายที่ ( $S_j$ )	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0.00	16.49	12.96	18.51	30.14	37.04	27.54	9.35	24.39	14.22	15.42	10.68	6.48	18.86	21.66	19.17	35.07	32.78	11.84	26.63	49.05
1	16.49	0.00	3.53	2.03	14.32	20.55	11.06	11.72	7.91	2.27	8.74	5.81	2.08	5.18	21.32	2.69	9.40	16.29	4.56	10.14	9.19
2	12.96	3.53	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	18.51	2.03	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	30.14	14.32	17.18	11.63	0.00	6.09	16.63	2.34	5.75	15.92	6.40	8.41	11.58	11.28	8.47	10.97	4.66	2.64	18.30	3.51	8.47
5	37.04	20.55	24.08	18.53	6.09	0.00	9.50	12.32	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	27.54	11.06	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	10.95	10.77	21.51
7	9.35	11.72	3.62	9.17	2.34	12.32	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	24.39	7.91	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	14.22	2.27	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	15.42	8.74	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	1.90	17.36	3.59	11.21	33.63
11	10.68	5.81	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	22.10	1.16	15.95	38.37
12	6.48	2.08	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	26.30	5.36	20.15	42.57
13	18.86	5.18	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	0.31	16.22	13.92	7.02	7.77	4.32
14	21.66	21.32	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	25.2	10.41	12.02
15	19.17	2.69	6.21	0.66	10.97	2.49	8.37	9.83	5.22	10.15	3.75	8.49	12.69	0.31	17.87	0.00	15.90	11.61	7.34	7.46	10.88
16	35.07	9.40	22.11	16.56	4.66	13.41	7.53	2.41	10.68	20.85	1.90	3.86	28.59	16.22	1.97	15.90	0.00	2.29	23.24	8.45	13.93
17	32.78	16.29	19.82	14.27	2.64	11.12	5.24	23.43	16.65	9.10	17.36	22.10	26.30	13.92	4.26	11.61	2.29	0.00	20.94	6.15	17.57
18	11.84	4.56	13.75	5.09	18.30	9.83	10.95	2.49	12.56	2.39	3.59	1.16	5.36	7.02	25.2	7.34	23.24	20.94	0.00	9.76	37.22
19	26.63	10.14	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	49.05	9.19	36.09	30.54	8.47	27.39	21.51	39.71	24.66	12.79	33.63	38.37	42.57	4.32	12.02	10.88	13.93	17.57	37.22	22.43	0.00

### 4.3 ผลการวิจัย

#### 4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่ง

การจัดเส้นทางรถขนส่ง (VRP) ทำตามขั้นตอนกระบวนการดังหัวข้อที่ 3.3.1 ดังนี้

##### 4.3.1.1 แสดงตัวอย่างผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งของคันที่ 1



รูปที่ 4.2 แสดงมุมกวาด 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 1

ขั้นตอนที่ 1.1 จากรูปที่ 4.2 เริ่มต้นกำหนดจุดส่งคลังสินค้า ( $s_0$ ) เป็นจุดอ้างอิงในการหาวิธีกวาด (The Sweep Approach) ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.5.4 และกำหนดเริ่มต้นให้รถคันที่  $p = 1$  มีพื้นที่รถขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.2 ต่อมาใช้จุดอ้างอิง ( $s_0$ ) เป็นจุดหมุนในการแบ่งกลุ่มจุดส่งคลังสินค้า ด้วยวิธีกวาด (Sweep Approach) เลือจุดเริ่มต้นหรือจุดอ้างอิง โดยไม่รวมคลังสินค้า (Depot) ทำการพิจารณาจุดที่อยู่ใกล้คลังสินค้ามากที่สุด ให้ทำการกวาดตามมุมเงือนไขที่กำหนดไว้ ทำการแบ่งกลุ่มคลัสเตอร์ของรถขนส่งคันที่ 1 ( $q_1$ ) ในมุมกวาด โดยให้  $f_k$  เก็บพื้นที่ที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่  $j$  ( $c_j$ ) ซึ่งจะมีลูกค้ารายที่ 2, 3, 6, 12, 18 และ 19 อยู่ในมุมกวาด ให้  $f_1$  เก็บค่าลูกค้ารายที่ 2 โดยมีพื้นที่ที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_2 = 1,830,000$  ตารางมิลลิเมตร ให้  $f_2$  เก็บค่าลูกค้ารายที่ 3 โดยมีพื้นที่ที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_3 = 1,200,000$  ตารางมิลลิเมตร ให้  $f_3$  เก็บค่าลูกค้ารายที่ 6 โดยมีพื้นที่ที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_6 = 4,050,000$  ตารางมิลลิเมตร ให้  $f_4$  เก็บค่าลูกค้ารายที่ 12 โดยมีพื้นที่ที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_{12} = 1,170,000$  ตารางมิลลิเมตร ให้  $f_5$  เก็บค่าลูกค้า

รายที่ 18 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_{18} = 450,000$  ตารางมิลลิเมตร ให้  $f_6$  เก็บค่าลูกค้ารายที่ 19 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_{19} = 3,330,000$  ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.3 แบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้  $s_0$  เป็นจุดอ้างอิงทำการกวาดเป็นมุมกวาด  $e = 90$  องศาถัดไป ในทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกา ซึ่งจะมีลูกค้ารายที่ 2, 3, 6, 12, 18 และ 19 อยู่ในมุมกวาด

ขั้นตอนที่ 1.4 ทำการค้นหาระยะทางการขนส่งสินค้า ด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.5.5 จะพิจารณาลูกค้าที่อยู่ในเฉพาะมุมกวาดนี้เท่านั้น โดยเลือกลูกค้ารายที่ 2 มีระยะทางใกล้กับคลังสินค้ามากที่สุด ( $s_{j=2}$ ) = 6.48 กิโลเมตร มีกล่องสินค้า ( $b_{j=2}$ ) = 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 2 ( $c_{j=2}$ ) = 1,830,000 ตารางมิลลิเมตร รายละเอียดข้อมูลจากตารางที่ 4.12

ขั้นตอนที่ 1.5 ทำการตรวจสอบ ( $c_{j=2} = 1,830,000 < c_{p=1} = 3,150,000$  ตารางมิลลิเมตร) เมื่อ  $c_{j=2}$  คือ พื้นที่บรรจุสินค้าของลูกค้ารายที่ 2 และ  $c_{p=1}$  คือ พื้นที่บรรจุของรถขนส่งคันที่ 1 จะเห็นได้ว่า พื้นที่กล่องสินค้าของลูกค้าน้อยกว่าพื้นที่รถขนส่ง (ไม่เกินพื้นที่บรรจุรถขนส่ง) จึงสามารถบรรจุรถขนส่งได้

ขั้นตอนที่ 1.6 ทำการอัปเดตค่า  $c_{p=1}$  ปัจจุบัน โดยที่  $c_{p=1} = c_{p=1} - c_{j=2}$  จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p = 1$  ;

$$\begin{aligned} c_{p=1} &= c_{p=1} - c_{j=2} \\ &= 3,150,000 - 1,830,000 \\ &= 1,320,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่า พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p = 1$  เหลือพื้นที่ว่างใช้ประโยชน์ 1,320,000 ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.7 ทำการตรวจสอบพื้นที่บรรจุสินค้า ซึ่งจะเห็นว่า  $c_{p=1} = 1,320,000 > t = 252,000$  ตารางมิลลิเมตร หมายถึง พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ของค่าคงที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดของรถขนส่ง 4 ล้อ ดังนั้นเงื่อนไขทั้งสองเป็นจริงจึงทำต่อขั้นตอน 1.8 ถัดไป และทำการตรวจสอบลูกค้าในมุมกวาด 90 องศา พบว่ายังมีลูกค้าเหลือในมุมกวาด

ขั้นตอนที่ 1.8 ทำการค้นหาลูกค้าถัดไปที่มีระยะทางที่ใกล้ที่สุดกับลูกค้า  $s_{j=2}$  ก่อนหน้า โดยทำการค้นหาลูกค้าถัดไปที่อยู่ในมุมกวาด 90 องศาด้วยวิธีค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 2 คือ ลูกค้ารายที่ 3, 6, 12, 18 และ 19 ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.3



ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลระยะทางในมุมมอง 90 องศาที่ใกล้กับลูกค้ำรายที่ 2

ระยะทางห่างลูกค้ำรายที่ ( $s_{j=2}$ ) ถึงลูกค้ำที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=3}$	$s_{j=6}$	$s_{j=12}$	$s_{j=18}$	$s_{j=19}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)	12.03	11.06	5.60	13.75	21.55

จากการค้นหาลูกค้ำถัดไปที่อยู่ในมุมมอง 90 องศา จะเห็นได้ว่า ลูกค้ำรายที่ 12 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ำรายที่ 2 มากที่สุด มีกล่องสินค้า 10 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,170,000 ตารางมิลลิเมตร รายละเอียดข้อมูลจากตารางที่ 4.12

ขั้นตอนที่ 1.9 ทำการตรวจสอบ ( $c_{j=12} = 1,170,000$  ตารางมิลลิเมตร  $>$   $c_{p=1} = 1,320,000$  ตารางมิลลิเมตร) เมื่อ  $c_{j=12}$  คือ พื้นที่บรรจุสินค้าของลูกค้ำรายที่ 12 และ  $c_{p=1}$  คือ พื้นที่บรรจุของรถขนส่งคันที่ 1 จะเห็นได้ว่า พื้นที่กล่องสินค้าของลูกค้ำมากกว่าพื้นที่รถขนส่ง (เกินพื้นที่บรรจุรถขนส่ง) จึงไม่สามารถบรรจุรถขนส่งได้จึงวนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1.6

ขั้นตอนที่ 1.6 ทำการอัปเดตค่า  $c_{p=1}$  ปัจจุบัน โดยที่  $c_{p=1} = c_{p=1} - c_{j=12}$  จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p = 1$  ;

$$\begin{aligned} c_{p=1} &= c_{p=1} - c_{j=12} \\ &= 1,320,000 - 1,170,000 \\ &= 150,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

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

ขั้นตอนที่ 1.7 ทำการตรวจสอบพื้นที่บรรจุสินค้าจะเห็นว่า  $c_{p=1} = 150,000 > t = 252,000$  ตารางมิลลิเมตร หมายถึง พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 มีพื้นที่มากกว่าพื้นที่ของค่าคงที่ตามเงื่อนไขที่กำหนดของรถขนส่ง 4 ล้อ ดังนั้นเงื่อนไขทั้งสองเป็นจริงจึงทำต่อขั้นตอน 1.10 ถัดไป และทำการตรวจสอบลูกค้ำในมุมมอง 90 องศา พบว่ายังมีลูกค้ำเหลือในมุมมอง

ขั้นตอนที่ 1.10 ทำการตรวจสอบพบว่า ยังเหลือลูกค้ำ ได้แก่ลูกค้ำรายที่ 3, 6, 18 และ 19 จึงไม่ใช่ลูกค้ำคนสุดท้ายในมุมมอง 90 องศา จึงทำต่อขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 1.12 ทำการอัปเดตค่า  $c_{p=1}$  ปัจจุบัน โดยที่  $c_{p=1} = c_{p=1} - c_{j=12}$  จะได้พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p = 1$  คือ  $c_{p=1} = 150,000$  ตารางมิลลิเมตร จะเห็นได้ว่า พื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p = 1$  เหลือพื้นที่ว่างใช้ประโยชน์ 150,000 ตารางมิลลิเมตร และผลรวมของระยะทางจากคลังสินค้าถึงลูกค้ำแต่ละรายในรถขนส่งคันที่ 1 ( $s_{p=1}$ ) คือ 28.57 กิโลเมตร

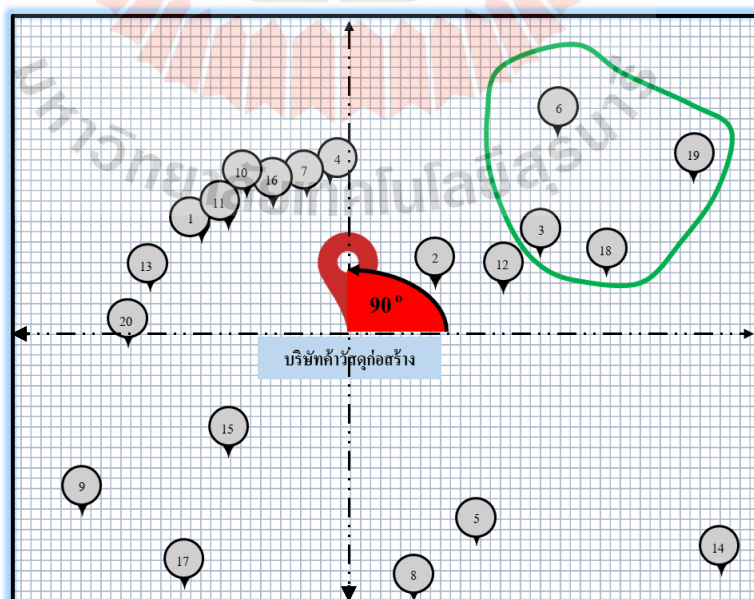
ขั้นตอนที่ 1.13 อับเดคกลุ่มจุดขนส่งสินค้า หรือเส้นทางขนส่งสินค้าของรถคันที่  $p = 1$  โดยเรียงลูกค้าที่ถูส่งก่อนไปยังลูกค้ารายสุดท้ายตามลำดับ จะได้เส้นทางขนส่งสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 คือ 0-2-12-0 หรือ  $s_0-s_2-s_{12}-s_0$  ได้ระยะทางรวม คือ  $s_0 + s_2 + s_{12} + s_0$  เท่ากับ  $[(s_0 \rightarrow s_2) + (s_2 \rightarrow s_{12})] + (s_{12} \rightarrow s_0)$  เพราะฉะนั้นระยะทางรวมของรถขนส่งคันที่ 1 ( $s_{p=1}$ ) เท่ากับ  $6.48 + 5.60 + 16.49$  คือ 28.57 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาทต่อ 1 กิโลเมตร คือ ระยะทางรวมของรถขนส่งคันที่ 1 คือ 28.57 กิโลเมตร คูณลิตรละ 4 บาท จะได้ 114 บาท เป็นต้นทุนการขนส่งสินค้าและทำการเก็บค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 1 ( $q_1$ ) และจะได้ค่า  $f_1$  เป็นลูกค้ารายที่ 2 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_2 = 1,830,000$  ตารางมิลลิเมตร และ  $f_2$  ลูกค้ารายที่ 12 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_{12} = 1,170,000$  ตารางมิลลิเมตร จะได้พื้นที่บรรจุกล่องสินค้านี้รวมทั้งหมด  $1,830,000 + 1,170,000$  เท่ากับ 3,000,000 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้น ค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 1 ( $q_1$ ) คือ 3,000,000 ตารางมิลลิเมตร

ขั้นตอนที่ 1.14 อับเดครถขนส่งคันถัดไป  $p = 1 + 1 = 2$  และพื้นที่รถขนส่งของรถคันที่ 2 โดย  $c_{p=2} = 11,250,000$  ตารางมิลลิเมตร จะขึ้นรถขนส่งคันใหม่ คือ คันที่ 2

ขั้นตอนที่ 1.15 จากการตรวจสอบพบว่า ยังเหลือลูกค้าในมุมกวาด

ขั้นตอนที่ 1.16 ทำการกวาดเป็นมุมกวาด  $e = 90$  องศา ทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกา ขึ้นรถคันใหม่ ดังนั้น ให้ทำซ้ำกระบวนการเดิมที่ผ่านมามวนกลับไปทำขั้นตอนที่ 1.4

#### 4.3.1.2 ผลของการจัดเส้นทางขนส่งของคันที่ 2



รูปที่ 4.3 แสดงมุมกวาด 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 2

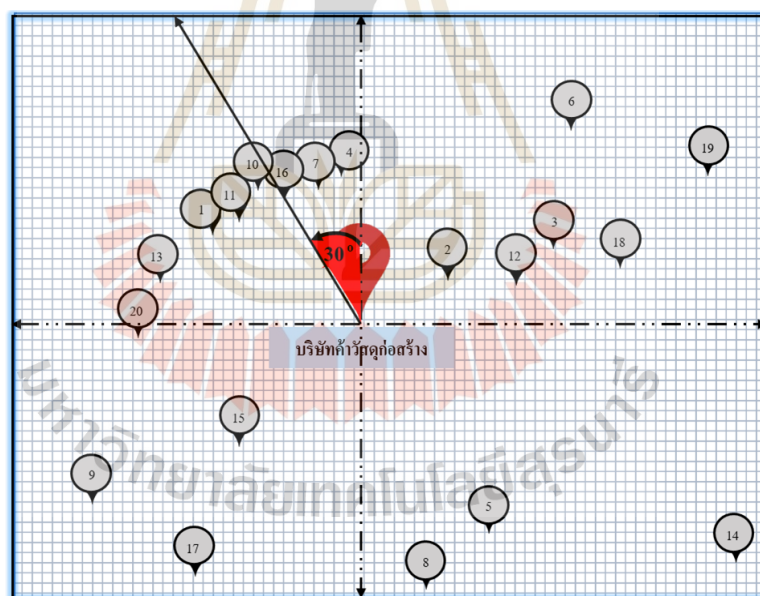
ตารางที่ 4.4 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 2 ในมุมมอง 90 องศา

ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ $(s_{j=3})$ ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง $(s_j)$	$s_{j=6}$	$s_{j=18}$	$s_{j=19}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)	8.51	5.09	12.48
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ $(s_{j=18})$ ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง $(s_j)$	$s_{j=6}$	$s_{j=19}$	
ระยะทาง (กิโลเมตร)	10.95	9.76	
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ $(s_{j=19})$ ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง $(s_j)$	$s_{j=6}$		
ระยะทาง (กิโลเมตร)	10.77		

จากรูปที่ 4.3 เริ่มต้นกำหนดจุดส่งคลังสินค้า  $(s_0)$  เป็นจุดอ้างอิงในการหมุนแบ่งกลุ่มจุดส่งสินค้า โดยทำวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และกำหนดเริ่มต้นให้รถคันที่  $p = 2$  มีพื้นที่รถขนส่ง 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร พิจารณาจุดที่อยู่ใกล้คลังสินค้ามากที่สุด และทำการกวาดตามมุมเงือนไข 90 องศาถัดไป ในทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะมีลูกค้ารายที่ 3, 6, 12, 18 และ 19 อยู่ในมุมมอง ซึ่งลูกค้าที่ได้ทำการจัดเรียงเส้นทางขึ้นรถขนส่งแล้วจะไม่ทำการพิจารณา ทำการค้นหาระยะทางการขนส่งสินค้า ด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) โดยเลือกลำดับลูกค้ารายที่  $j = 3$   $(s_{j=3})$  มีระยะทางใกล้กับคลังสินค้ามากที่สุด 18.51 กิโลเมตร มีกล่องสินค้า 4 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,200,000 ตารางมิลลิเมตร ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 10,050,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 6.48 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 3 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 18 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 3 มากที่สุด 5.09 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.4 มีกล่องสินค้า 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 450,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 18 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 9,600,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 11.57 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 18 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 19 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 3 มากที่สุด 9.76 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.4 มีกล่องสินค้า 6 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 3,330,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 19

สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 6,267,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 21.33 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 19 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 6 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 19 มากที่สุด 10.77 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.4 มีกล่องสินค้า 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 4,050,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 19 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 2,217,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 32.10 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม

จะเห็นได้ว่า มุมกวาด 0 ถึง 90 องศา ได้ทำการจัดเรียงสินค้าของลูกค้าครบทุกรายแล้ว ซึ่งรถขนส่งคันที่ 2 ยังเหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ในการบรรจุสินค้าคือ 2,217,000 ตารางมิลลิเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้อีก โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้าที่ 6 ด้วยการกวาด 30 องศา จะเห็นได้ว่าลูกค้ารายที่ 4 และ 7 อยู่ในรัศมีการกวาด 30 องศา ดังรูปที่ 4.4 โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้าที่ 6 ต่อไป



รูปที่ 4.4 แสดงมุมกวาด 30 องศา รอบที่ 1 ของรถขนส่งคันที่ 2

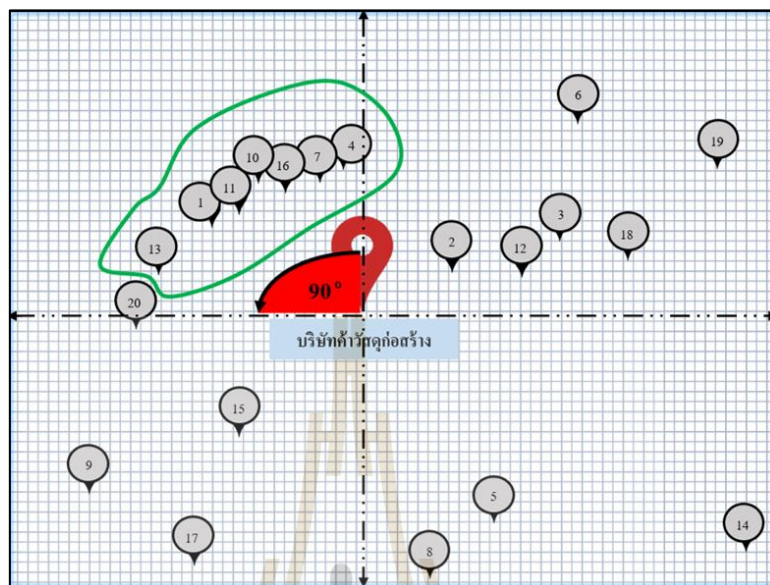
ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 2 ในมุมกวาด 30 องศา

ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=6}$ ) ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=4}$	$s_{j=7}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)	16.63	18.86

โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 6 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 4 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 6 มากที่สุด 16.63 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.5 มีกล่องสินค้า 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,500,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 4 สามารถบรรจุได้ แต่ไม่สามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ พบว่า สินค้าไม่สามารถจัดเรียงขึ้นรถขนส่งได้ครบทุกกล่อง จึงทำการค้นหาลูกค้ารายถัดไปที่ใกล้กับลูกค้ารายที่ 6 ที่สุดและอยู่ในรัศมี 30 องศาต่อไป โดยค้นหา ระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 6 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 7 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 6 มากที่สุด 18.86 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.5 มีกล่องสินค้า 10 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,530,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 7 สามารถบรรจุได้ แต่ไม่สามารถจัดเรียงลงรถขนส่งได้ พบว่า สินค้าไม่สามารถจัดเรียงขึ้นรถขนส่งได้ครบทุกกล่อง

เนื่องจากเงื่อนไขที่กำหนด พบว่าลูกค้ารายที่ 6 เป็นลูกค้าคนสุดท้าย ในมุมมอง 90 องศา ยังเหลือพื้นที่ของรถขนส่งคันที่ 2 ดังนั้น จึงทำมุมมอง 30 องศาเพื่อหาลูกค้าถัดไปในรถขนส่ง ถ้าหากในมุมมอง 30 องศา มีลูกค้าที่สามารถขนส่งและจัดเรียงได้ ก็ให้ทำการขนส่งและจัดเรียง แต่ถ้าหากไม่ได้ ให้ทำการเปลี่ยนรถคันใหม่ต่อไป ดังนั้น ในมุมมอง 30 องศา ลูกค้ารายที่ 4 และ 7 ไม่สามารถขนส่งและจัดเรียงได้ จึงทำการพิจารณาเปลี่ยนรถขนส่งคันใหม่ตามเงื่อนไขที่กำหนด เพราะฉะนั้นระยะทางรวมของรถคันที่ 2 คือ 59.64 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร จะได้ 239 บาท จะได้การบรรจุของลูกค้ารายที่ 3, 18, 19 และ 6 ของรถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่เหลือ ใช้ประโยชน์ 2,084,000 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางการขนส่ง 0-3-18-19-6-0

## 4.3.1.3 ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งของคันที่ 3



รูปที่ 4.5 แสดงมุมกวาด 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 3

ตารางที่ 4.6 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 3 ในมุมกวาด 90 องศา

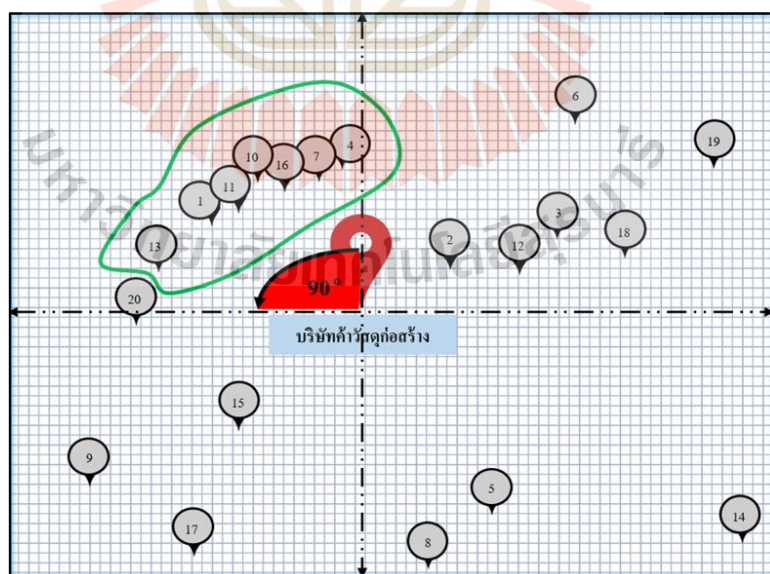
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=7}$ )					
ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=1}$	$s_{j=4}$	$s_{j=10}$	$s_{j=11}$	$s_{j=16}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)	11.72	2.34	4.05	5.71	2.41
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=4}$ )					
ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=1}$	$s_{j=10}$	$s_{j=11}$	$s_{j=16}$	
ระยะทาง (กิโลเมตร)	14.32	6.40	8.41	4.66	

จากรูปที่ 4.5 เริ่มต้นกำหนดจุดส่งคลังสินค้า ( $s_0$ ) เป็นจุดอ้างอิงในการหมุนแบ่งกลุ่มจุดส่งสินค้า โดยทำวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และกำหนดเริ่มต้นให้รถคันที่  $p = 3$  มีพื้นที่รถขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร พิจารณาจุดที่อยู่ใกล้คลังสินค้ามากที่สุด และทำการกวาดตามมุมเงี่ยง 90 องศาถัดไป ในทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกาจะมีลูกค้ารายที่ 1, 4, 7, 10, 11, 13 และ 16 อยู่ในมุมกวาด ซึ่งลูกค้าที่ได้ทำการจัดเรียงเส้นทางขึ้นรถขนส่งแล้ว จะไม่ทำการพิจารณา ทำการค้นหาระยะทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) โดยเลือกลำดับลูกค้ารายที่  $j = 7$  ( $s_{j=7}$ ) มีระยะทางใกล้กับคลังสินค้ามากที่สุด

9.35 กิโลเมตร มีกล่องสินค้า 10 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,530,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 7 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 1,620,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 9.35 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 7 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 4 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 7 มากที่สุด 2.34 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.6 มีกล่องสินค้า 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,500,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 4 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 120,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 11.69 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม ตรวจสอบพื้นที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p = 3$  ว่าเหลือพื้นที่  $c_p > 252,000$  ตารางมิลลิเมตร ซึ่งพื้นที่ของรถขนส่งเหลือน้อยกว่า 250,000 ตารางมิลลิเมตร จึงทำการพิจารณาเปลี่ยนรถขนส่งคันใหม่ตามเงื่อนไขที่กำหนด

ดังนั้น ระยะทางรวมของรถคันที่ 3 คือ 23.53 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร จะได้ 94 บาท จะได้การบรรจุของลูกค้ารายที่ 4 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 3 มีพื้นที่เหลือ ใช้ประโยชน์ 120,000 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางการขนส่ง 0-7-4-0

#### 4.3.1.4 ผลของการจัดเส้นทางการขนส่งของคันที่ 4



รูปที่ 4.6 แสดงมุมกวาด 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 4

ตารางที่ 4.7 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 4 ในมุมมอง 90 องศา

ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=16}$ ) ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=1}$	$s_{j=10}$	$s_{j=11}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)	9.40	1.90	3.86
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=10}$ ) ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=1}$		$s_{j=11}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)	8.74		2.92

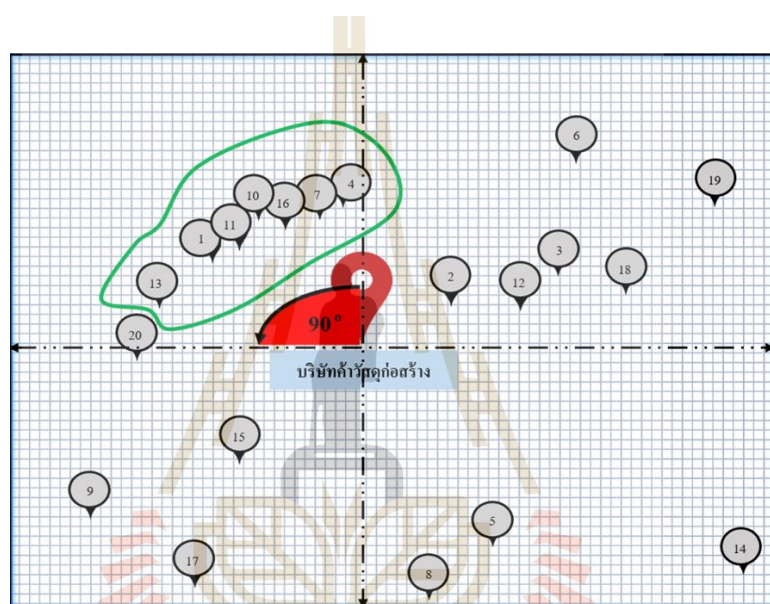
จากรูปที่ 4.6 เริ่มต้นกำหนดจุดส่งคลังสินค้า ( $s_0$ ) เป็นจุดอ้างอิงในการหมุนแบ่งกลุ่มจุดส่งสินค้า โดยทำวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และกำหนดเริ่มต้นให้รถคันที่  $p = 4$  มีพื้นที่รถขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร พิจารณาจุดที่อยู่ใกล้คลังสินค้ามากที่สุด และทำการกวาดตามมุมเงือนไข 90 องศาถัดไป ในทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกา จะมีลูกค้ารายที่ 1, 10, 11 และ 16 อยู่ในมุมมอง ซึ่งลูกค้าที่ได้ทำการจัดเรียงเส้นทางขึ้นรถขนส่งแล้ว จะไม่ทำการพิจารณาทำการค้นหาระยะทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) โดยเลือกลำดับลูกค้ารายที่  $j = 16$  ( $s_{j=16}$ ) มีระยะทางใกล้กับคลังสินค้ามากที่สุด 14.22 กิโลเมตร มีกล่องสินค้า 3 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 270,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 16 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 2,880,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 14.22 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 16 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 10 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 16 มากที่สุด 1.90 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.7 มีกล่องสินค้า 6 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,380,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 10 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 1,500,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 16.12 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 10 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 11 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 10 มากที่สุด 2.92 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.7 มีกล่องสินค้า 6 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,260,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 11 สามารถบรรจุได้ และจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 240,000 ตารางมิลลิเมตร ตรวจสอบพื้นที่ที่บรรจุสินค้าของรถขนส่งคันที่  $p = 4$  ว่าเหลือพื้นที่  $c_p > 252,000$  ตารางมิลลิเมตรซึ่งพื้นที่ของรถขนส่งเหลือน้อยกว่า 250,000 ตารางมิลลิเมตร



จึงทำการพิจารณาเปลี่ยนรถขนส่งคันใหม่ตามเงื่อนไขที่กำหนด และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 16.12 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม

ดังนั้น ระยะทางรวมของรถคันที่ 4 คือ 29.72 กิโลเมตร ทำการพิจารณา ต้นทุนการขนส่งลิตรละ 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร จะได้ 119 บาท จะได้รับการบรรจุของลูกค้านรายที่ 10, 11 และ 6 ของรถขนส่งคันที่ 4 มีพื้นที่เหลือ ใช้ประโยชน์ 240,000 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางรถขนส่ง 0-16-10-11-0

#### 4.3.1.5 ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งของคันที่ 5



รูปที่ 4.7 แสดงมุมกวาด 90 องศาของรถขนส่งคันที่ 5

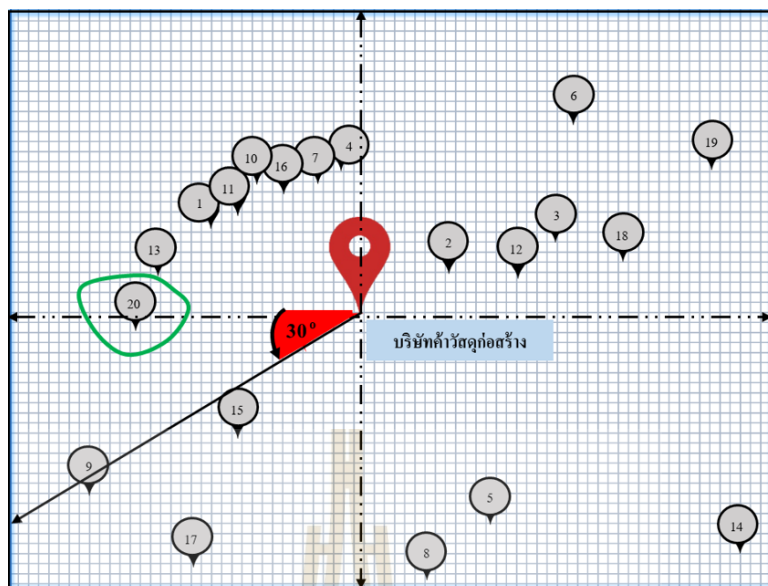
ตารางที่ 4.8 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 5 ในมุมกวาด 90 องศา

ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=1}$ ) ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=13}$	$s_{j=20}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)	5.18	9.19
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=13}$ ) ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=20}$	
ระยะทาง (กิโลเมตร)	4.32	

จากรูปที่ 4.7 เริ่มต้นกำหนดจุดส่งคลังสินค้า ( $s_0$ ) เป็นจุดอ้างอิงในการหมุนแบ่งกลุ่มจุดส่งคลังสินค้า โดยทำวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และกำหนดเริ่มต้นให้รถคันที่  $p = 5$  มีพื้นที่ที่รถขนส่ง 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร พิจารณาจุดที่อยู่ใกล้คลังสินค้ามากที่สุด และทำการกวาดตามมุมเงือนไข 90 องศาถัดไป ในทิศทางหมุนทวนเข็มนาฬิกา จะมีลูกค้ารายที่ 1, 13 และ 20 อยู่ในมุมกวาด ซึ่งลูกค้าที่ได้ทำการจัดเรียงเส้นทางขึ้นรถขนส่งแล้วจะไม่ทำการพิจารณาทำการค้นหาระยะทางการขนส่งสินค้า ด้วยวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) โดยเลือกลำดับลูกค้ารายที่  $j = 1$  ( $s_{j-1}$ ) มีระยะทางใกล้กับคลังสินค้ามากที่สุด 12.96 กิโลเมตร มีกล่องสินค้า 1 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 300,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 10,950,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 12.96 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 1 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 13 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 1 มากที่สุด 5.18 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.7 มีกล่องสินค้า 3 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 480,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 13 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 10,470,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 18.14 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม

เนื่องจากมุมกวาด 90 องศา ได้ทำการจัดเรียงสินค้าของลูกค้าครบทุกรายแล้ว ซึ่งรถขนส่งคันที่ 5 ยังเหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ในการบรรจุสินค้าคือ 10,470,000 ตารางมิลลิเมตรสามารถบรรจุสินค้าได้อีก โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 13 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 20 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 13 มากที่สุด 4.32 กิโลเมตรดังรูปที่ 4.8 มีกล่องสินค้า 5 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,080,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 20 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 9,390,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 22.46 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม

ทำการกวาดมุม 30 องศาถัดไป จะพบลูกค้าลูกค้ารายที่ 9, 15 และ 17 อยู่ในรัศมีการกวาด 30 องศา ดังรูปที่ 4.9 โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้าที่ 20 ต่อไป



รูปที่ 4.8 แสดงมุมมอง 30 องศา รอบที่ 1 ของรถขนส่งคันที่ 5

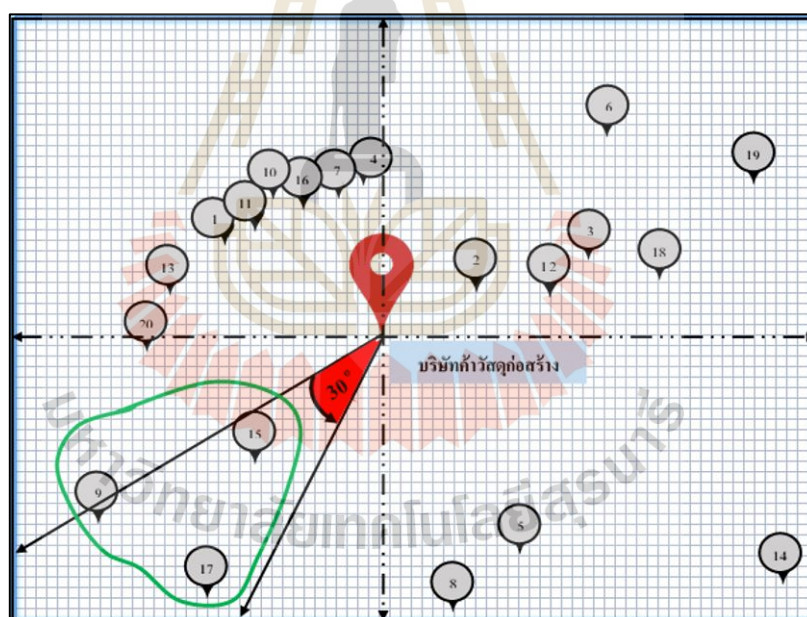
ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 5 ในมุมมอง 30 องศา

ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=20}$ )			
ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=9}$	$s_{j=15}$	$s_{j=17}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)	12.79	10.88	17.57
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=15}$ )			
ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )		$s_{j=9}$	$s_{j=17}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)		10.15	11.61
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=9}$ )			
ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )		$s_{j=17}$	
ระยะทาง (กิโลเมตร)		9.10	
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=17}$ )			
ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )		$s_{j=8}$	
ระยะทาง (กิโลเมตร)		16.65	
ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=8}$ )			
ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_{j=5}$		$s_{j=14}$
ระยะทาง (กิโลเมตร)		6.17	22.36

ตารางที่ 4.9 แสดงข้อมูลระยะห่างลูกค้าแต่ละรายของรถคันที่ 5 ในมุมมอง 30 องศา (ต่อ)

ระยะทางห่างลูกค้ารายที่ ( $s_{j=5}$ ) ถึงลูกค้าที่มีระยะทางใกล้เคียง ( $s_j$ )	$s_j = 14$
ระยะทาง (กิโลเมตร)	17.82

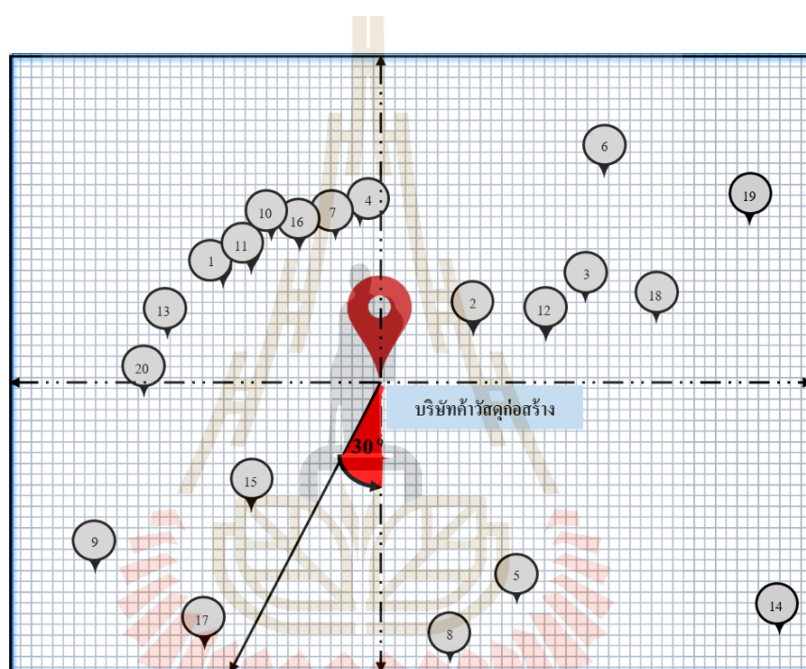
โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 20 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 15 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 20 มากที่สุด 10.88 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.9 มีกล่องสินค้า 1 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 300,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 15 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 9,090,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 33.34 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม



รูปที่ 4.9 แสดงมุมมอง 30 องศา รอบที่ 2 ของรถขนส่งคันที่ 5

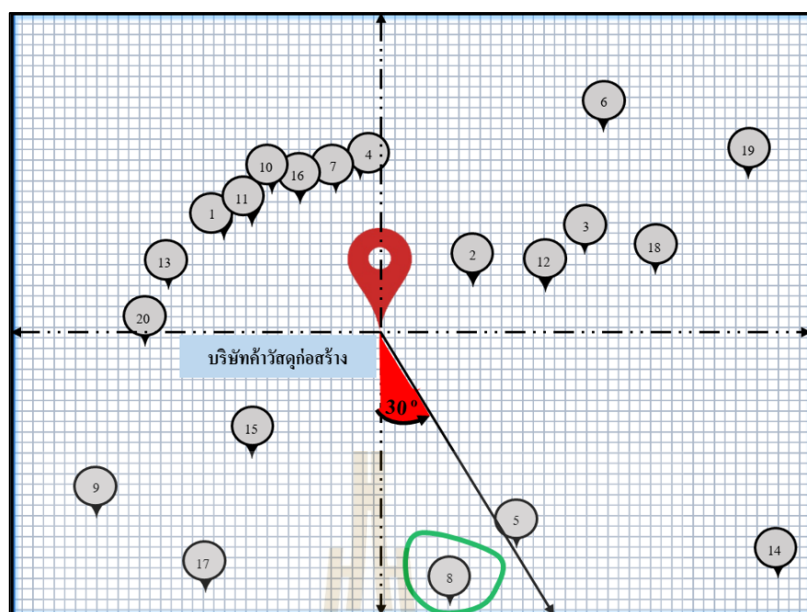
โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 15 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 9 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 15 มากที่สุด 10.15 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.9 มีกล่องสินค้า 3 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,920,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 9 สามารถบรรจุและจัดเรียงลง

รถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 7,170,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 43.49 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม โดยคำนวณระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 9 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 17 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 9 มากที่สุด 9.10 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.9 มีกล่องสินค้า 1 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 810,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 17 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 6,360,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 52.59 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม



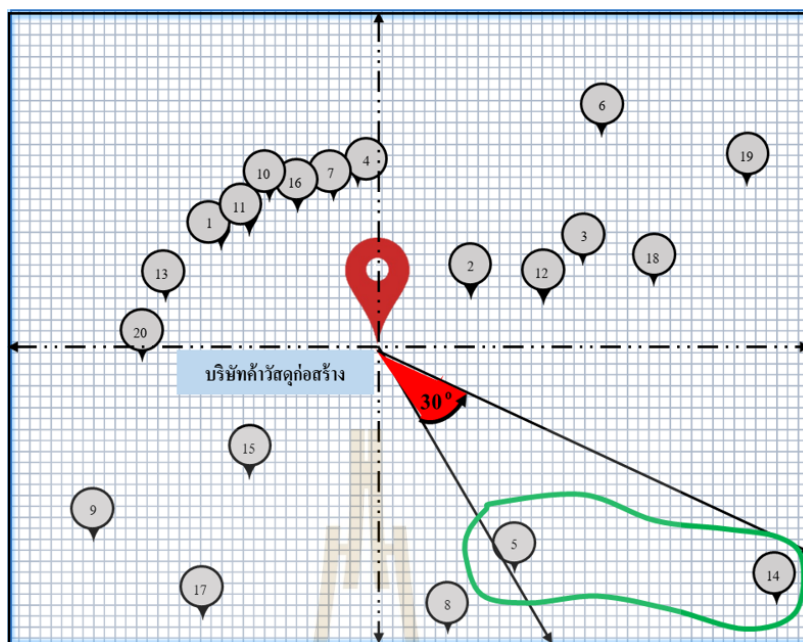
รูปที่ 4.10 แสดงมุมกวาด 30 องศา รอบที่ 3 ของรถขนส่งคันที่ 5

โดยคำนวณระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 17 ด้วยการกวาด 30 องศา จะเห็นได้ว่าไม่พบลูกค้าในมุมกวาด 30 องศา ดังรูปที่ 4.10 ให้ทำการกวาดมุม 30 องศาถัดไป โดยคำนวณระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 17 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 8 ดังรูปที่ 4.11 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 17 มากที่สุด 16.65 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.9 มีกล่องสินค้า 2 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 1,620,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 8 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 4,740,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 69.24 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม



รูปที่ 4.11 แสดงมุมกวาด 30 องศา รอบที่ 4 ของรถขนส่งคันที่ 5

โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 8 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 5 ดังรูปที่ 4.12 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 8 มากที่สุด 6.17 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.9 มีกล่องสินค้า 3 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 2,430,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 5 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 810,000 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 75.41 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม โดยค้นหาระยะทางลูกค้าถัดไปที่ใกล้ที่สุดกับระยะทางการขนส่งลูกค้ารายที่ 8 ต่อไป จะพบว่า ลูกค้ารายที่ 14 ดังรูปที่ 4.12 มีระยะทางใกล้กับลูกค้ารายที่ 5 มากที่สุด 17.82 กิโลเมตร ดังตารางที่ 4.9 มีกล่องสินค้า 1 กล่อง และมีพื้นที่ของกล่องสินค้า 810,000 ตารางมิลลิเมตร ดังตารางที่ 4.12 ทำการตรวจสอบพบว่า กล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 14 สามารถบรรจุและจัดเรียงลงรถขนส่งได้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์ 0 ตารางมิลลิเมตร และมีระยะทางห่างจากคลังสินค้า 93.23 กิโลเมตร สามารถบรรจุสินค้าได้เพิ่ม



รูปที่ 4.12 แสดงมุมมอง 30 องศา รอบที่ 5 ของรถขนส่งคันที่ 5

ดังนั้น ระยะทางรวมของรถคันที่ 5 คือ 93.23 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งคิดราคา 4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร จะได้ 373 บาท จะได้รับการบรรจุของลูกค้านายที่ 1, 5, 8, 9, 13, 14, 15, 17 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5 มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 0 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางรถขนส่ง 0-1-13-20-15-9-17-8-5-14-0

#### 4.3.1.6 สรุปผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางรถขนส่ง

จากผลดังตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลสรุปผลการจัดเส้นทางรถขนส่ง และรูปที่ 4.14 แสดงสรุปผลลัพธ์เส้นทางรถแต่ละคัน จะเห็นได้ว่า ระยะทางรวมของรถคันที่ 1 คือ 28.57 กิโลเมตร จะได้รับการบรรจุของลูกค้านายที่ 2 และ 12 ของรถขนส่งคันที่ 1 มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 150,000 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางรถขนส่ง 0-2-12-0

ระยะทางรวมของรถคันที่ 2 คือ 59.64 กิโลเมตร จะได้รับการบรรจุของลูกค้านายที่ 3, 18, 19 และ 6 ของรถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 2,084,000 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางรถขนส่ง 0-3-18-19-6-0

ระยะทางรวมของรถคันที่ 3 คือ 23.53 กิโลเมตร จะได้รับการบรรจุของลูกค้านายที่ 4 และ 7 ของรถขนส่งคันที่ 3 มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 120,000 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางรถขนส่ง 0-7-4-0

ระยะทางรวมของรถคันที่ 4 คือ 29.72 กิโลเมตร จะได้รับการบรรจุของลูกค้ารายที่ 10, 11 และ 6 ของรถขนส่งคันที่ 4 มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 240,000 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางการขนส่ง 0-16-10-11-0

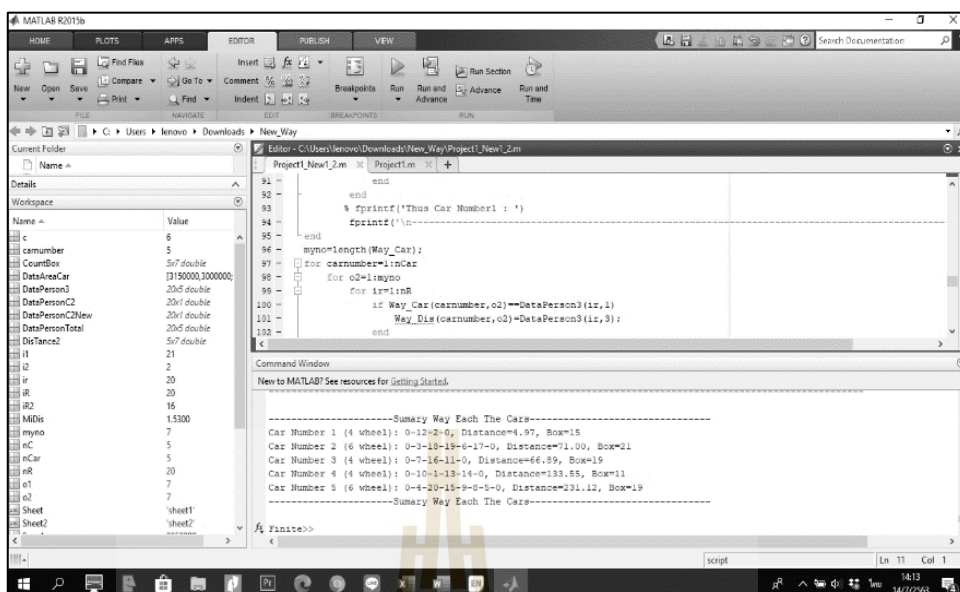
ระยะทางรวมของรถคันที่ 5 คือ 93.23 กิโลเมตร จะได้รับการบรรจุของลูกค้ารายที่ 1, 5, 8, 9, 13, 14, 15, 17 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5 มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 0 ตารางมิลลิเมตร และได้เส้นทางการขนส่ง 0-1-13-20-15-9-17-8-5-14-0

ตารางที่ 4.10 แสดงข้อมูลสรุปผลการจัดเส้นทางการขนส่ง

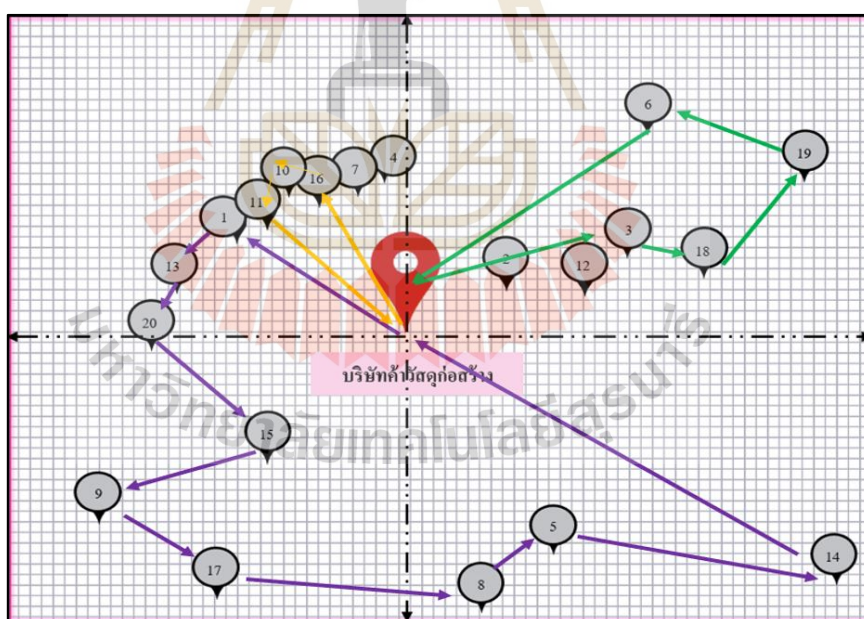
รถขนส่งคันที่ k	ลำดับลูกค้า (n)	การจัดเส้นทางการขนส่ง	รวมระยะทางลูกค้าไปกลับ (กิโลเมตร)	พื้นที่ของกล่องสินค้า $C_j$ (ตร.มม.)	ต้นทุนการขนส่ง (4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร จากกรมทางหลวง)	พื้นที่รวมแต่ละคัน (ตร.มม.)
1	2	0-2-12-0	28.57	1,830,000	114.28	3,000,000
	12			1,170,000		
2	3	0-3-18-19-6-0	59.64	1,200,000	238.56	9,030,000
	18			450,000		
	19			3,330,000		
	6			4,050,000		
	7			1,530,000		
3	4	0-7-4-0	23.53	1,500,000	94.12	3,030,000
	16			270,000		
	10			1,380,000		
4	11	0-16-10-11-0	29.72	1,260,000	118.88	2,910,000
	1			300,000		
5	13	0-1-13-20-15-9-17-8-5-14-0	113.4	480,000	372.92	9,750,000
	20			1,080,000		
	15			300,000		
	9			1,920,000		
	17			810,000		
	8			1,620,000		
	5			2,430,000		
	14			810,000		
รวม			254.86	27,720,000	938.76	27,720,000

หลังจากที่ได้ผลของการจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP) โดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยในการคำนวณค้นหาคำตอบแล้วนั้น ดังรูปที่ 4.13 จะแสดงผลของการจัดเรียงกล่องสินค้าในหัวข้อถัดไป หัวข้อที่ 4.3.2 ต่อไป





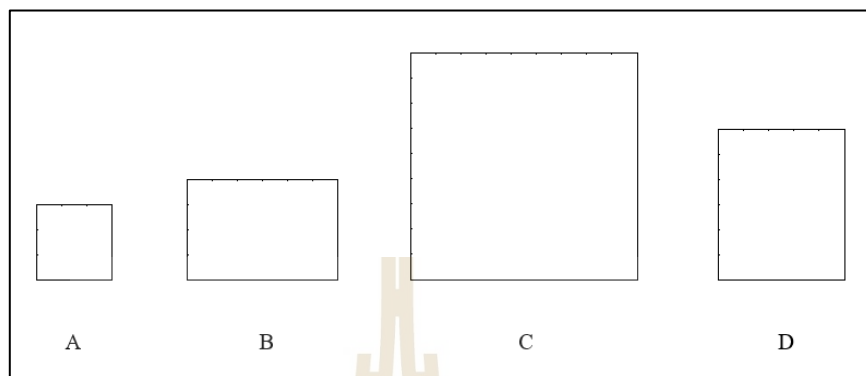
รูปที่ 4.13 การคำนวณ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ของการจัดเส้นทางขนส่ง



รูปที่ 4.14 แสดงสรุปผลลัพธ์เส้นทาง การจัดส่งสินค้าของรถแต่ละคัน

### 4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 ผลของการจัดเรียงกล่องสินค้า

การจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ทำตามขั้นตอนกระบวนการ ดังหัวข้อที่ 3.3.2 ดังนี้



รูปที่ 4.15 แสดงสัญลักษณ์ตัวแทนประเภทของกล่องสินค้า

ตารางที่ 4.11 แสดงข้อมูลประเภทของกล่องสินค้า

สัญลักษณ์	ประเภทของกล่องสินค้า	ความกว้าง (มม.)	ความยาว (มม.)
A	สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็ก	300	300
B	สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกลาง	500	600
C	สี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดใหญ่	900	900
D	สี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดกลาง	600	500

ตารางที่ 4.12 แสดงจำนวนกล่องสินค้าที่ลูกค้าสั่งซื้อทั้งหมด

ลูกค้ารายที่ (j)	ประเภทจำนวนกล่องที่ลูกค้าสั่งซื้อ				จำนวนกล่องสินค้า ทั้งหมด (กล่อง)	พื้นที่ของกล่องสินค้า $C_j$ (ตร.มม.)
	A	B	C	D		
1	0	0	0	1	1	300,000
2	4	0	1	0	5	1,830,000
3	0	1	0	3	4	1,200,000
4	0	2	0	3	5	1,500,000
5	0	0	3	0	3	2,430,000
6	0	0	5	0	5	4,050,000
7	7	0	0	3	10	1,530,000
8	0	2	0	0	2	1,620,000
9	0	0	2	1	3	1,920,000
10	2	2	0	2	6	1,380,000
11	5	0	1	0	6	1,260,000
12	8	0	1	1	10	1,170,000
13	2	0	0	1	3	480,000
14	0	0	1	0	1	810,000
15	0	0	0	1	1	300,000
16	3	0	0	0	3	270,000
17	0	0	1	0	1	810,000
18	5	0	0	0	5	450,000
19	0	1	3	2	6	3,330,000
20	2	0	0	3	5	1,080,000
รวม	38	8	18	21	85	27,720,000

## 4.3.2.1 แสดงตัวอย่างผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2

แสดงการวนรอบที่ 1 ( $N = 1$ ) ของรถขนส่งคันที่ 2ขั้นตอนที่ 2.1 รับข้อมูลจากคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 2 ( $q_2$ )

และจะได้ค่า  $f_1$  เป็นลูกค้ารายที่ 3 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_3 = 1,200,000$  ตารางมิลลิเมตร จะได้ค่า  $f_2$  ลูกค้ารายที่ 6 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_6 = 4,050,000$  ตารางมิลลิเมตร จะได้ค่า  $f_3$  ลูกค้ารายที่ 18 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_{18} = 450,000$  ตารางมิลลิเมตร จะได้ค่า  $f_4$  ลูกค้ารายที่ 19 โดยมีพื้นที่บรรจุกล่องสินค้าของลูกค้า  $c_{19} = 3,330,000$  ตารางมิลลิเมตร จะได้พื้นที่บรรจุกล่องสินค้านี้ทั้งหมด  $1,200,000 + 4,050,000 + 450,000 + 3,330,000$  เท่ากับ  $9,030,000$  ตารางมิลลิเมตร ดังนั้น ค่าคลัสเตอร์ปัจจุบันของรถขนส่งคันที่ 2 ( $q_2$ ) คือ  $9,030,000$  ตารางมิลลิเมตร และมีกล่องสินค้าของลูกค้าในคลัสเตอร์ คือ มีกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่  $j = 3$  ( $b_{j=3} = 4$  กล่อง), มีกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่  $j = 6$  ( $b_{j=6} = 5$  กล่อง), มีกล่องสินค้าของ

ลูกค้ายายที่  $j = 18$  ( $b_{j=18} = 5$  กล่อง) และมีกล่องสินค้าของลูกค้ายายที่  $j = 19$  ( $b_{j=19} = 6$  กล่อง) มีกล่องสินค้ารวมทั้งหมด 20 กล่อง

ขั้นตอนที่ 2.2 เริ่มกระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธีการแบบไฮบริด ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.2-2.4 รอบที่  $N = 1$  การจัดเรียงกล่องสินค้าโดยใช้วิธีการแบบไฮบริด (Hybrid Algorithm) เป็นการทำงานระหว่างเมตาฮิวริสติกส์สองวิธีมารวมกัน คือ วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) และวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (LS) โดยจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบเบื้องต้น หลังจากนั้นจะใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่ จะเรียกว่า กระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้ายเพื่อเป็นการพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้น

ขั้นตอนที่ 2.3 เข้าสู่กระบวนการในการหาคำตอบเบื้องต้น คือ เริ่มต้นสุ่มประชากรเริ่มต้นและเข้ารหัสกล่องสินค้า การคัดเลือกพันธุกรรม การกลายพันธุ์ การประเมินค่าความเหมาะสม และการหยุดกระบวนการ จะทำการวนซ้ำจนครบเงื่อนไขจำนวน  $N = 100$  รอบ

ขั้นตอนที่ 2.3.1 ทำการสุ่มรูปแบบยีนส์โครโมโซมของพ่อแม่ (กล่องสินค้า) เริ่มต้นและการเข้ารหัสกล่องสินค้าเริ่มต้น (Population Initialization) จากจำนวนกล่องที่มีทั้งหมดของลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 2 รอบที่ 1 ได้ทำการสุ่มและเข้ารหัสยีนส์โครโมโซมของพ่อแม่ได้ดังนี้

พ่อ	193C	194C	31B	33D	191B	195D	196D	181A	182A	183A
	184A	185A	61C	62C	63C	34D	64C	32D	65C	192C
แม่	196D	181A	34D	182A	61C	62C	63C	64C	65C	192C
	193C	194C	184A	32D	191B	195D	31B	183A	33D	185A

จากนั้นจะทำการอธิบายการเข้ารหัสกล่องสินค้าโดยเข้ารหัสโดยใช้ตัวเลขและตัวอักษร กำหนดลูกค้าแต่ละราย ประเภทของกล่องสินค้า และจำนวนของกล่องสินค้าทั้งหมด โดยในที่นี้จะแสดงดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.1 ในการเข้ารหัสกล่องสินค้า แทนสัญลักษณ์จะใช้ตัวเลขและตัวอักษร ตัวอย่างเช่น 24A หมายถึง ตัวเลขหลักที่หนึ่งหรือสอง คือ ลูกค้ายายที่  $j$  เมื่อ  $j = 1, 2, 3, \dots, 20$  ตัวเลขหลักที่สองหรือสาม คือ กล่องสินค้าลำดับที่  $f$  ของกล่องสินค้าทั้งหมด เมื่อ  $f = 1, 2, 3, \dots, f$  หรือจำนวนเต็มบวก ตัวอักษร คือ ประเภทของกล่อง A, B, C และ D ในตัวอย่าง 24A คือ เลข 2 ในหลักที่หนึ่ง หมายถึง ลูกค้ายายที่ 2 ส่วนเลข 4 ในหลักที่ 2 หมายถึง กล่องสินค้าลำดับที่ 4 และตัวอักษร A ในหลักที่ 3 หมายถึง กล่องประเภทสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็ก สรุปรวมหมายถึง กล่องประเภทสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็กของลูกค้ายายที่ 2 และมีลำดับกล่องสินค้าเป็นลำดับที่ 4 หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการการคัดเลือกพันธุกรรมต่อไป

ขั้นตอนที่ 2.3.2 การคัดเลือกพันธุกรรม (Cross Over) ไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Cross Over OX เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายใน และจุดตัดภายนอก

จุดตัดภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ด้วยตัว H ตัวพิมพ์ใหญ่ ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.2.1 จากนั้นจะแสดงจุดตัดภายใน (ที่เน้นค่าเป็นสีเทา) ของพ่อและแม่เริ่มต้นของรถคันที่ 2 รอบที่ 1 ที่ตำแหน่งที่ 5 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 12 แสดงว่าจุดตัดภายนอกของพ่อและแม่จะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งสุดท้าย คือ ตำแหน่งที่ 4 และเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 13 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 20 ได้ดังนี้

พ่อ	193C	194C	31B	33D	191B	195D	196D	181A	182A	183A
	184A	185A	61C	62C	63C	34D	64C	32D	65C	192C
แม่	196D	181A	34D	182A	61C	62C	63C	64C	65C	192C
	193C	194C	184A	32D	191B	195D	31B	183A	33D	185A

ต่อมาพิจารณาว่า จุดตัดภายในของพ่อตำแหน่งใดมีค่าซ้ำจุดตัดภายนอกของแม่ หากตำแหน่งใดมีค่าซ้ำกับจุดตัดภายนอกของแม่ให้แทนที่ค่าของตำแหน่งนั้นด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ตัว H ส่วนจุดตัดภายในของแม่พิจารณาเช่นเดียวกัน ดังนี้

พ่อ	H	H	31B	33D	191B	195D	196D	181A	182A	183A
	184A	185A	H	H	H	34D	H	32D	H	H
แม่	H	H	34D	H	61C	62C	63C	64C	65C	192C
	193C	194C	H	32D	H	H	31B	H	33D	H

เมื่อแทนที่ค่าตำแหน่งด้วยตัวอักษร H แล้ว ให้ทำการย้ายตำแหน่งจุดตัดภายในขยับเลื่อนมาข้างหน้าสุด และต่อด้วยตัวอักษร H ทั้งหมด หลังจากนั้นก็นำค่าที่เหลืออยู่ขยับมาต่อเป็นลำดับสุดท้าย โดยจะต้องเรียงตำแหน่งจากข้างหลังมาด้านหน้า ดังนี้

พ่อ	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	H	H	H
	H	H	H	H	H	31B	33D	34D	32D		
แม่	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	H	H	H
	H	H	H	H	H	32D	31B	33D	34D		

ต่อมาจะทำการแทนที่ตัวอักษร H ด้วยจุดตัดภายในสลับโครโมโซมของพ่อกับแม่จะเป็นคำตอบใหม่หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการกลายพันธุ์ต่อไป ดังนี้

พ่อ	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	61C	62C
	63C	64C	65C	192C	193C	194C	31B	33D	34D	32D
แม่	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D
	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	31B	33D	34D

ขั้นตอนที่ 2.3.3 ทำการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Mutation) โดยวิธีการสลับคู่เปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  โดยในรอบการค้นหาที่ สุ่มได้  $L = 2$  คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.2.2 จากนั้น (ที่เน้นคำเป็นสีเทา) โดยเป็นการสุ่มสลับตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่ 14 และตำแหน่งที่ 15 ซึ่งตำแหน่งที่ 14 ของพ่อและแม่ คือ 192C และ 183A ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 15 ของพ่อและแม่ คือ 193C และ 184A ตามลำดับ ดังนี้

พ่อ	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	61C	62C
	63C	64C	65C	192C	193C	194C	31B	33D	34D	32D
แม่	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D
	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	31B	33D	34D

หลังจากที่ทำการสุ่มสลับ เปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$   $L = 2$  คู่ตำแหน่งแล้ว ตำแหน่งที่ 14 และตำแหน่งที่ 15 จะเปลี่ยนไปโดยตำแหน่งที่ 14 ของพ่อและแม่ คือ 193C และ 184A ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 15 ของพ่อและแม่ คือ 192C และ 183A ตามลำดับ ดังนี้

พ่อ	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	61C	62C
	63C	64C	65C	193C	192C	194C	31B	33D	34D	32D
แม่	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D
	196D	181A	182A	184A	183A	185A	32D	31B	33D	34D

ขั้นตอนที่ 2.4 จากการกลายพันธุ์ข้างต้น จะได้เป็นคำตอบใหม่โครโมโซม ลูก 1 และลูก 2 หลังจากนั้นจะนำมาประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) ของลูก 1 และลูก 2 ดังนี้

ลูก 1	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	61C	62C
	63C	64C	65C	193C	192C	194C	31B	33D	34D	32D
ลูก 2	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D
	196D	181A	182A	184A	183A	185A	32D	31B	33D	34D

โดยทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) =  $c_p - q_p - c_{pd}$  เพื่อนำไปใช้ในการคัดเลือกคำตอบที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการสร้างคำตอบรุ่นถัดไป ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.3

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 (Max Fitness)

$$\text{Max Fitness} = c_2 - q_2 - c_{2d}$$

= ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (ไม่สามารถจัดเรียงได้)

เนื่องจากกล่องสินค้าไม่สามารถบรรจุลงได้เพราะ พื้นที่ของกล่องสินค้า 192C และ 194C เกินความสามารถของรถขนส่ง (ตามที่วงกลม) แสดงดังรูปที่ 4.16

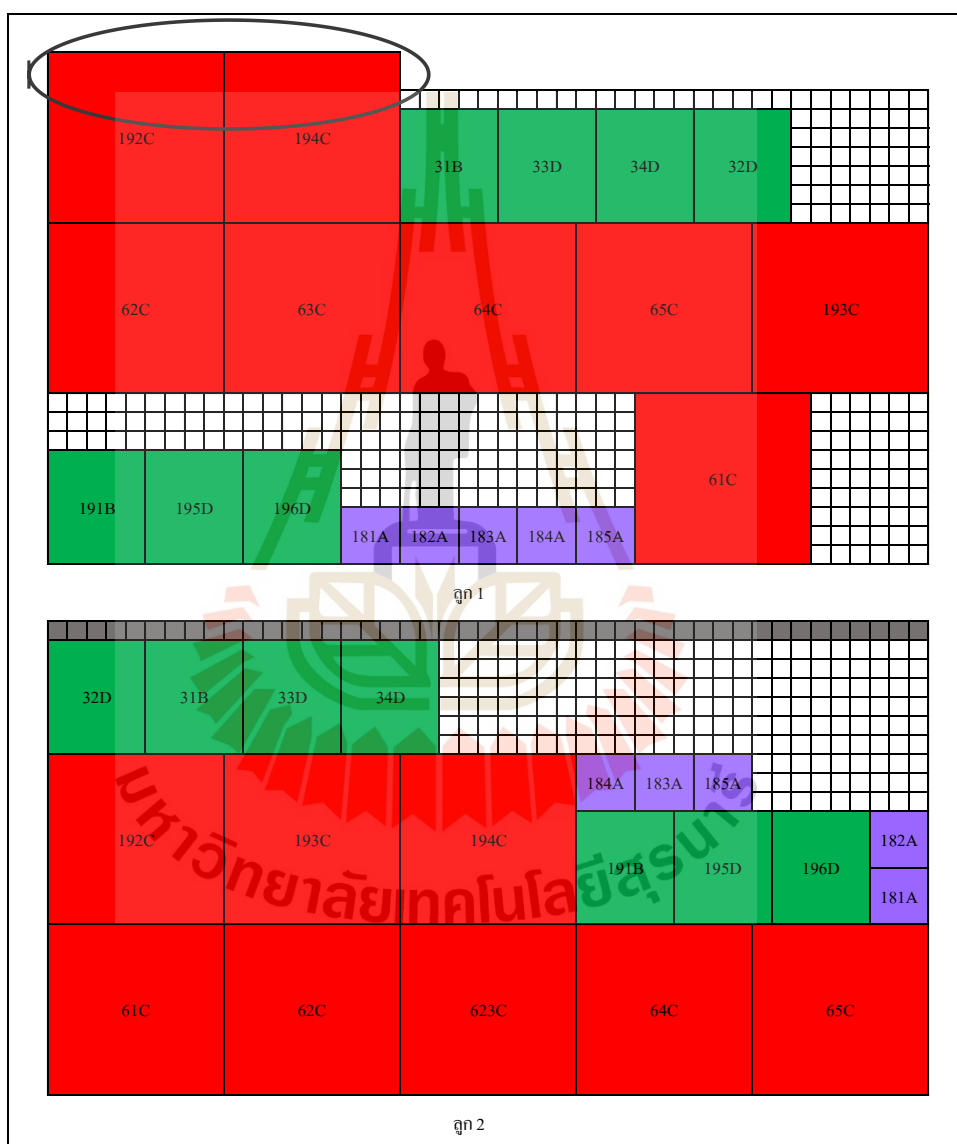
ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 2 (Max Fitness)

$$\text{Max Fitness} = c_2 - q_2 - c_{2d}$$

$$= 11,250,000 - 9,030,000 - 450,000$$

$$= 1,770,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร (ดังนั้น ลูก 2 มีค่าความ}$$

เหมาะสม โดยพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 (พื้นที่สีเทา) แสดงดังรูปที่ 4.16)



รูปที่ 4.16 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 1 และลูก 2 ในรอบที่ 1

ขั้นตอนที่ 2.5 เริ่มกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ทำการสลับตำแหน่งโดยวิธีการสุ่มสลับตำแหน่ง ( $x, y$ )  $V=3$  คู่ตำแหน่ง (3-Opt) ของกล่องสินค้า จำนวน

$m = 20$  รอบ ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.4 โดยเป็นการพัฒนาจากงานวิจัยของจิระเดช (2546) ดังตารางที่ 4.13 โดยจะเป็นการสุ่มสลับตำแหน่ง  $V = 3$  คู่ตำแหน่ง จากยีนแต่ละตำแหน่งของโครโมโซมลูก 2 ซึ่งเป็นโครโมโซมที่สามารถประเมินหาค่าความเหมาะสมได้ โดยในการวนในรอบถัดไปจะทำเช่นเดิม หลังจากนั้นจะเข้าสู่ทำการประเมินค่าความเหมาะสมดังตารางที่ 4.13 ต่อไป

ตารางที่ 4.13 แสดงการค้นหาเฉพาะที่แบบสุ่มสลับ 3 คู่ตำแหน่งของรถคันที่ 2 รอบที่ 1

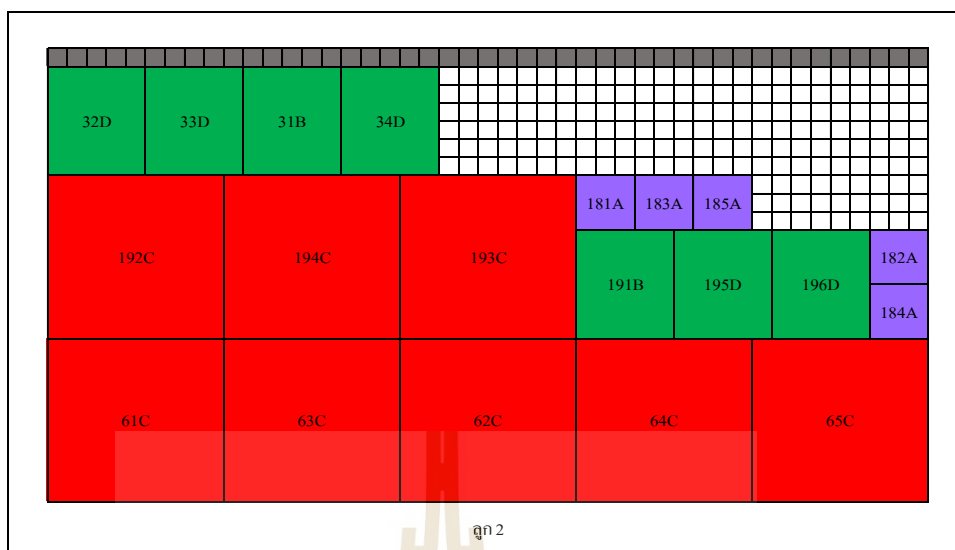
Local Search รอบที่ 1																							
ที่	ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Fitness	
	คู่	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	181A	182A	184A	183A	185A	32D	31B	33D	34D	1,770,000	
1	(2,4),(7,10),(12,15)	61C	64C	63C	62C	65C	192C	195D	194C	191B	193C	196D	183A	182A	184A	181A	185A	32D	31B	33D	34D	1,260,000	
2	(5,9),(7,10),(12,15)	61C	62C	63C	64C	191B	192C	195D	194C	65C	193C	196D	183A	182A	184A	181A	185A	32D	31B	33D	34D	No	
3	(3,14),(7,10),(12,15)	61C	62C	184A	64C	65C	192C	195D	194C	191B	193C	196D	183A	182A	63C	181A	185A	32D	31B	33D	34D	No	
4	(4,8),(7,10),(12,15)	61C	62C	63C	194C	65C	192C	195D	64C	191B	193C	196D	183A	182A	184A	181A	185A	32D	31B	33D	34D	No	
5	(6,11),(7,10),(12,15)	61C	62C	63C	64C	65C	196D	195D	194C	191B	193C	192C	183A	182A	184A	181A	185A	32D	31B	33D	34D	1,080,000	
6	(1,6),(3,5),(11,14)	192C	62C	65C	64C	63C	61C	193C	194C	191B	195D	184A	181A	182A	196D	183A	185A	32D	31B	33D	34D	No	
7	(2,10),(3,5),(11,14)	61C	195D	65C	64C	63C	192C	193C	194C	191B	62C	184A	181A	182A	196D	183A	185A	32D	31B	33D	34D	No	
8	(1,4),(3,5),(11,14)	64C	62C	65C	61C	63C	192C	193C	194C	191B	195D	184A	181A	182A	196D	183A	185A	32D	31B	33D	34D	No	
9	(10,12),(3,5),(11,14)	61C	62C	65C	64C	63C	192C	193C	194C	191B	181A	184A	195D	182A	196D	183A	185A	32D	31B	33D	34D	No	
10	(8,15),(3,5),(11,14)	61C	62C	65C	64C	63C	192C	193C	183A	191B	195D	184A	181A	182A	196D	194C	185A	32D	31B	33D	34D	No	
11	(3,4),(12,14),(18,19)	61C	62C	64C	63C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D	1,770,000	
12	(15,16),(12,14),(18,19)	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	185A	183A	32D	33D	31B	34D	1,770,000	
13	(2,3),(12,14),(18,19)	61C	63C	62C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D	1,770,000	
14	(5,6),(12,14),(18,19)	61C	62C	63C	64C	192C	65C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D	NO	
15	(8,9),(12,14),(18,19)	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D	1,530,000	
16	(3,4),(8,9),(14,16)	61C	62C	64C	63C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	181A	182A	185A	183A	184A	32D	31B	33D	34D	1,530,000	
17	(12,13),(8,9),(14,16)	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	182A	181A	185A	183A	184A	32D	31B	33D	34D	1,530,000	
18	(18,19),(8,9),(14,16)	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	181A	182A	185A	183A	184A	32D	33D	31B	34D	1,530,000	
19	(2,3),(8,9),(14,16)	61C	63C	62C	64C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	181A	182A	185A	183A	184A	32D	31B	33D	34D	1,530,000	
20	(5,6),(8,9),(14,16)	61C	62C	63C	64C	192C	65C	193C	191B	194C	195D	196D	181A	182A	185A	183A	184A	32D	31B	33D	34D	No	

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.3 โดยพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 (พื้นที่สีเทา) แสดงดังรูปที่ 4.17 ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness)

$$\begin{aligned} \text{Max Fitness} &= c_2 - q_2 - c_{2d} \\ &= 11,250,000 - 9,030,000 - 450,000 \\ &= 1,770,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ซึ่งจากการค้นหาเฉพาะที่จะได้ค่าประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดในรอบที่ 13 คือ 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ยังมีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ได้อีก 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร





รูปที่ 4.17 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 ในรอบที่ 1

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบว่าค่า Fitness จากการตรวจสอบพบว่า ยังไม่ครบ  $N = 100$  รอบ จึงไปทำต่อขั้นตอนที่ 2.11

ขั้นตอนที่ 2.11 เปรียบเทียบโครโมโซมลูกที่ได้จากกระบวนการค้นหาค่าตอบสุดท้าย (LS) ในรอบก่อนหน้ากับรอบปัจจุบันว่ามีค่า Fitness มากที่สุด นำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไป และทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ ซึ่งในที่นี้ได้โครโมโซมลูกจากการค้นหาเฉพาะที่รอบที่ 13 ดังตารางที่ 4.13 เพื่อนำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไป และเพิ่มจำนวนรอบ  $N = 1 + 1 = 2$  โดยให้วนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 2.2 ในการวนรอบที่ 2 ( $N = 2$ ) ต่อไป

แสดงการวนรอบที่ 2 ( $N = 2$ ) ของรถขนส่งคันที่ 2

จากการการจัดเรียงกล่องสินค้าการวนรอบที่ 1 ( $N = 1$ ) ต่อไปจะเป็นการแสดงการวนรอบที่ 2 ( $N = 2$ ) ซึ่งจะเป็นการทำซ้ำกระบวนการเดิมตามขั้นตอนที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 2.2 เข้าสู่กระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธี Hybrid Algorithm รอบที่  $N = 2$  ทำการค้นหาค่าตอบโดยทำตามขั้นตอนเดิมจนกว่าจะครบเงื่อนไขที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 2.3 เข้าสู่กระบวนการในการหาค่าตอบเบื้องต้น คือ เริ่มต้นสุ่มประชากรเริ่มต้นและเข้ารหัสกล่องสินค้า การคัดเลือกพันซ์ การกลายพันซ์ การประเมินค่าความเหมาะสม และการหยุดกระบวนการ จะทำการวนซ้ำจนครบเงื่อนไขจำนวน  $N = 100$  รอบ

ขั้นตอนที่ 2.3.1 จากในการค้นหาค่าตอบในรอบที่ผ่านมาจะได้โครโมโซมพ่อในการตั้งต้น และทำการสุ่มโครโมโซมของแม่ใหม่ ทำการสุ่มยีนจากจำนวนกล่องที่มีทั้งหมดของลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 2 รอบที่ 2 ดังนี้

พ่อ	61C	63C	62C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D		
แม่	195D	196D	32D	33D	61C	183A	185A	63C	62C	31B	34D
	64C	65C	192C	193C	194C	184A	182A	181A	191B		

### ขั้นตอนที่ 2.3.2 การคัดเลือกพันธุ (Cross Over) ไขว้เปลี่ยนประชากร

แบบ Cross Over OX เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายในและจุดตัดภายนอก จุดตัดภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ด้วยตัว H ตัวพิมพ์ใหญ่ ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.2.1 จากโครโมโซมพ่อ และแม่ข้างต้นแสดงจุดตัดภายใน (ที่เน้นคำเป็นสีเทา) ของพ่อ และแม่เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 6 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 9 แสดงว่าจุดตัดภายนอกของพ่อ และแม่จะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 5 และ เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 7 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 20 และให้พิจารณาว่า จุดตัดภายในของพ่อ ตำแหน่งใดมีค่าซ้ำจุดตัดภายนอกของแม่ ดังนี้

พ่อ	61C	63C	62C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D		
แม่	195D	196D	32D	33D	61C	183A	185A	63C	62C	31B	34D
	64C	65C	192C	193C	194C	184A	182A	181A	191B		

จากนั้นหากตำแหน่งใดมีค่าซ้ำกับจุดตัดภายนอกของแม่ให้แทนที่ค่าของตำแหน่งนั้นด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ตัว H ส่วนจุดตัดภายในของแม่พิจารณาเช่นเดียวกัน

พ่อ	61C	H	H	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	184A	182A	181A	H	H	32D	33D	31B	34D		
แม่	195D	196D	32D	33D	61C	183A	185A	63C	62C	31B	34D
	64C	65C	H	H	H	184A	182A	181A	H		

จากข้างต้นเมื่อแทนที่ค่าตำแหน่งด้วยตัวอักษร H แล้ว ให้ทำการย้ายตำแหน่งจุดตัดภายในขยับเลื่อนมาข้างหน้าสุด และต่อด้วยตัวอักษร H ทั้งหมด หลังจากนั้นก็นำค่าที่เหลืออยู่ขยับมาต่อเป็นลำดับสุดท้าย โดยจะต้องเรียงตำแหน่งจากข้างหลังมาด้านหน้า ดังนี้

พ่อ	192C	193C	194C	191B	H	H	H	H	195D	196D	184A
	182A	181A	32D	33D	31B	34D	61C	64C	65C		
แม่	183A	185A	63C	62C	H	H	H	H	31B	34D	64C
	65C	184A	182A	181A	195D	196D	32D	33D	61C		

ต่อมาจะทำการแทนที่ตัวอักษร H ด้วยจุดตัดภายในสลับโครโมโซมของ พ่อกับแม่จะเป็นคำตอบใหม่หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการกลายพันธุ์ต่อไป ดังนี้

พ่อ	192C	193C	194C	191B	183A	185A	63C	62C	195D	196D	184A
	182A	181A	32D	33D	31B	34D	61C	64C	65C		
แม่	183A	185A	63C	62C	192C	193C	194C	191B	31B	34D	64C
	65C	184A	182A	181A	195D	196D	32D	33D	61C		

ขั้นตอนที่ 2.3.3 ทำการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Mutation) โดยวิธีการสลับสุมเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  โดยในรอบการค้นหานี้สุมได้  $L = 2$  คู่ ตำแหน่งของกล่องสินค้า ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.2.2 โดยเป็นการสุมสลับตำแหน่งระหว่าง ตำแหน่งที่ 5 และตำแหน่งที่ 6 ซึ่งตำแหน่งที่ 5 ของพ่อและแม่ คือ 183A และ 192C ตามลำดับ โดย ตำแหน่งที่ 6 ของพ่อและแม่ คือ 185A และ 193C ตามลำดับ ดังนี้

พ่อ	192C	193C	194C	191B	183A	185A	63C	62C	195D	196D	184A
	182A	181A	32D	33D	31B	34D	61C	64C	65C		
แม่	183A	185A	63C	62C	192C	193C	194C	191B	31B	34D	64C
	65C	184A	182A	181A	195D	196D	32D	33D	61C		

หลังจากที่ทำการสุมสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$   $L = 2$  คู่ตำแหน่งแล้ว ตำแหน่งที่ 5 และตำแหน่งที่ 6 จะเปลี่ยนไป โดยตำแหน่งที่ 13 ของพ่อและแม่ คือ 185A และ 193C ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 9 ของพ่อและแม่ คือ 183A และ 192C ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.21 หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประเมินค่าความเหมาะสมต่อไป

พ่อ	192C	193C	194C	191B	185A	183A	63C	62C	195D	196D	184A
	182A	181A	32D	33D	31B	34D	61C	64C	65C		
แม่	183A	185A	63C	62C	193C	192C	194C	191B	31B	34D	64C
	65C	184A	182A	181A	195D	196D	32D	33D	61C		

ขั้นตอนที่ 2.4 จากกรการกลายพันธุ์ข้างต้น จะได้เป็นคำตอบใหม่โครโมโซม ลูก 1 และลูก 2 หลังจากนั้นจะนำมาประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) มีค่าความเหมาะสมของลูก 1 และลูก 2 ดังนี้

ลูก 1	192C	193C	194C	<u>191B</u>	<u>185A</u>	<u>183A</u>	<u>63C</u>	<u>62C</u>	<u>195D</u>	196D	184A
	182A	<u>181A</u>	<u>32D</u>	33D	31B	<u>34D</u>	<u>61C</u>	64C	65C		
ลูก 2	183A	<u>185A</u>	<u>63C</u>	<u>62C</u>	<u>193C</u>	192C	194C	<u>191B</u>	<u>31B</u>	34D	64C
	<u>65C</u>	<u>184A</u>	182A	<u>181A</u>	<u>195D</u>	<u>196D</u>	<u>32D</u>	<u>33D</u>	<u>61C</u>		

โดยทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) =  $c_p - q_p - c_{pd}$  เพื่อนำไปใช้ในการคัดเลือกคำตอบที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการสร้างคำตอบรุ่นถัดไป ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.3

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 (Max Fitness)

$$\begin{aligned} \text{Max Fitness} &= c_2 - q_2 - c_{2d} \\ &= \text{ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (ไม่สามารถจัดเรียงได้)} \end{aligned}$$

เนื่องจากกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันไม่เรียงชิดติดกัน ดังแสดงตามที่ยึดเส้นใต้ในการประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 ตัวอย่างเช่น 191B 185A 183A 63C ลูกค้ารายที่ 19 ต่อด้วยลูกค้ารายที่ 18 และลูกค้ารายที่ 18 ต่อด้วยลูกค้ารายที่ 6 จะเห็นได้ว่า กล่องสินค้าจะกันอยู่ แสดงให้เห็นว่ากล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันไม่เรียงชิดติดกัน ไม่สามารถบรรจุลงรถขนส่งได้ จึงทำให้ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด)

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 2 (Max Fitness)

$$\begin{aligned} \text{Max Fitness} &= c_2 - q_2 - c_{2d} \\ &= \text{ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (ไม่สามารถจัดเรียงได้)} \end{aligned}$$

เนื่องจากกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันไม่เรียงชิดติดกัน ดังแสดงตามที่ยึดเส้นใต้ในการประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 2 ตัวอย่างเช่น 185A 63C 62C 193C ลูกค้ารายที่ 18 ต่อด้วยลูกค้ารายที่ 6 และลูกค้ารายที่ 6 ต่อด้วยลูกค้ารายที่ 19 จะเห็นได้ว่า กล่องสินค้าจะกันอยู่ แสดงให้เห็นว่ากล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันไม่เรียงชิดติดกัน ไม่สามารถบรรจุลงรถขนส่งได้ จึงทำให้ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด) เพราะฉะนั้น โครโมโซมลูก 1 และลูก 2 ไม่มีค่าความเหมาะสมจึงทำต่อขั้นตอนที่ 2.6

ขั้นตอนที่ 2.6 จากตารางที่ 4.14 ได้เลือกโครโมโซมลูก 1 เพื่อมาใช้พิจารณาแบบการกระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งและปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายตามปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย ทำการกระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งลูกค้าและเรียงลำดับกล่องสินค้าตามเดิมก่อนหน้า ใช้กระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อที่ 2.4

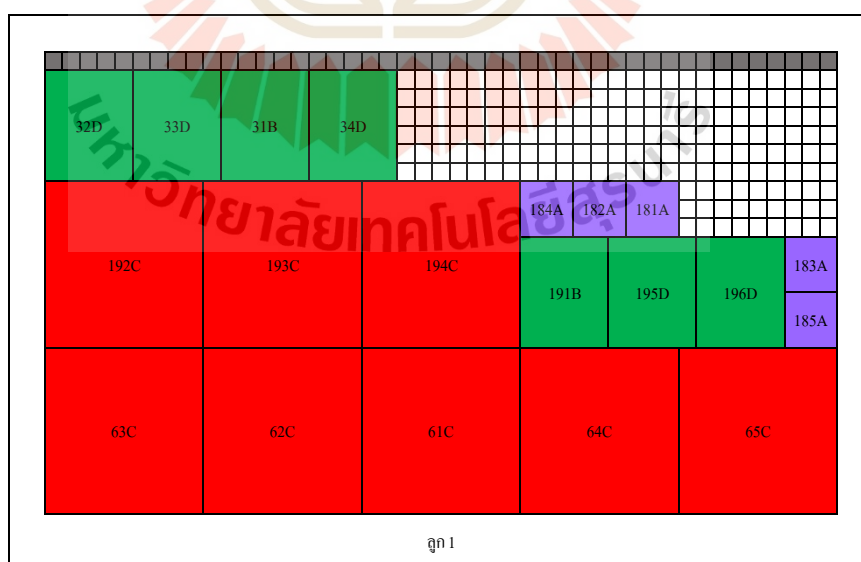
ตารางที่ 4.14 แสดงการค้นหาเฉพาะที่แบบการกระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งและปริมาณ  
คำสั่งซื้อของรถคันที่ 2 รอบที่ 2

Local Search รอบที่ 2																						
ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Max Fitness	
ลูก 1	192C	193C	194C	191B	185A	183A	63C	62C	195D	196D	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D	61C	64C	65C		
กระจายกล่องสินค้า ตามลำดับการขนส่ง และปริมาณคำสั่งซื้อ ของลูกค้าแต่ละราย		63C	62C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D	1,770,000

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) มีค่า  
ความเหมาะสม โดยประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) =  $c_p - q_p - c_{pd}$  ดังที่อธิบายไว้  
ภายใต้หัวข้อ 2.3.3 (โดยพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 (พื้นที่สีเทา) แสดงดังรูปที่ 4.18)

$$\begin{aligned}
 \text{Max Fitness} &= c_2 - q_2 - c_{2d} \\
 &= 11,250,000 - 9,030,000 - 450,000 \\
 &= 1,770,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

ซึ่งจากการค้นหาเฉพาะที่จากข้อก่อนหน้าจะได้ค่าประเมินความเหมาะสม  
สูงสุด คือ 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ยังมีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ได้อีก 1,770,000  
ตารางมิลลิเมตร จึงทำต่อขั้นตอนที่ 2.12



รูปที่ 4.18 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 1 ในรอบที่ 2

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบว่าค่า Fitness จากการตรวจสอบพบว่า ยังไม่ครบ 100 รอบ จึงไปทำต่อขั้นตอนที่ 2.11

ขั้นตอนที่ 2.11 เปรียบเทียบโครโมโซมลูกที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ในรอบที่  $N = 1$  กับรอบปัจจุบัน (รอบที่  $N = 2$ )

รอบที่ 1	61C	62C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D	

ค่ารอบที่ 1 ประเมินความเหมาะสมสูงสุด คือ 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร

รอบที่ 2	63C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D	

ค่ารอบที่ 2 ประเมินความเหมาะสมสูงสุด คือ 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร

เลือกรอบการค้นหาที่  $N = 2$  นำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไป และทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ และเพิ่มจำนวนรอบ  $N = 2 + 1 = 3$  โดยให้วนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 2.2 ในการวนรอบที่ 3 ( $N = 3$ ) ต่อไป

แสดงการวนรอบที่ 3 ( $N = 3$ ) ของรถขนส่งคันที่ 2

จากการการจัดเรียงกล่องสินค้าการวนรอบที่ 2 ( $N = 2$ ) ต่อไปจะเป็นการแสดงการวนรอบที่ 3 ( $N = 3$ ) ซึ่งจะเป็นการทำซ้ำกระบวนการเดิมตามขั้นตอนที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 2.2 เข้าสู่กระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธี Hybrid Algorithm รอบที่  $N = 3$  ทำการค้นหาคำตอบโดยทำตามขั้นตอนเดิมจนกว่าจะครบเงื่อนไขที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 2.3 เข้าสู่กระบวนการในการหาคำตอบเบื้องต้น คือ เริ่มต้นสุ่มประชากรเริ่มต้นและเข้ารหัสกล่องสินค้า การคัดเลือกพันธุ การกลายพันธุ์ การประเมินค่าความเหมาะสม และการหยุดกระบวนการจะทำการวนซ้ำจนครบเงื่อนไขจำนวน  $N = 100$  รอบ

ขั้นตอนที่ 2.3.1 จากในการค้นหาคำตอบในรอบที่ผ่านมา จะได้โครโมโซมพ่อในการตั้งต้น และทำการสุ่มโครโมโซมของแม่ใหม่ ทำการสุ่มยีนจากจำนวนกล่องที่มีทั้งหมดของลูกค้าในของรถคันที่ 2 รอบที่ 3 หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการการคัดเลือกพันธุ ต่อไป

พ่อ	63C	62C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	31B	34D	63C	181A	193C	194C	191B	195D	32D	33D	185A
	184A	182A	61C	64C	196D	62C	183A	65C	192C		

ขั้นตอนที่ 2.3.2 การคัดเลือกพันธุ (Cross Over) ไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Cross Over OX เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายในและจุดตัดภายนอก

จุดตัดภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ด้วยตัว H ตัวพิมพ์ใหญ่ ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.2.1 จากนั้นแสดงจุดตัดภายใน (ที่เน้นคำเป็นสีเทา) ของพ่อและแม่เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 16 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 18 แสดงว่าจุดตัดภายนอกของพ่อและแม่จะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 15 และเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 19 ถึงตำแหน่งสุดท้าย คือ ตำแหน่งที่ 20 ดังนี้

พ่อ	63C	62C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	31B	34D	63C	181A	193C	194C	191B	195D	32D	33D	185A
	184A	182A	61C	64C	196D	62C	183A	65C	192C		

จากข้างต้นให้พิจารณาว่าจุดตัดภายในของพ่อตำแหน่งใดมีค่าซ้ำจุดตัดภายนอกของแม่ หากตำแหน่งใดมีค่าซ้ำกับจุดตัดภายนอกของแม่ให้แทนที่ค่าของตำแหน่งนั้นด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ตัว H ส่วนจุดตัดภายในของแม่พิจารณาเช่นเดียวกัน ดังนี้

พ่อ	63C	H	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	H
	185A	H	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	31B	34D	63C	H	193C	194C	191B	195D	H	H	185A
	184A	182A	61C	64C	196D	62C	183A	65C	192C		

จากข้างต้นเมื่อแทนที่ค่าตำแหน่งด้วยตัวอักษร H แล้ว ให้ทำการย้ายตำแหน่งจุดตัดภายในขยับเลื่อนมาข้างหน้าสุด และต่อด้วยตัวอักษร H ทั้งหมด หลังจากนั้นก็นำค่าที่เหลืออยู่ขยับมาต่อเป็นลำดับสุดท้าย โดยจะต้องเรียงตำแหน่งจากข้างหลังมาด้านหน้า ดังนี้

พ่อ	181A	32D	33D	H	H	H	31B	34D	63C	61C	64C
	65C	192C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A		
แม่	196D	62C	183A	H	H	H	65C	192C	31B	34D	63C
	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	61C	64C		

ต่อมาจะทำการแทนที่ตัวอักษร H ด้วยจุดตัดภายในสลับโครโมโซมของพ่อกับแม่จะเป็นคำตอบใหม่หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการกลายพันธุ์ต่อไป ดังนี้

พ่อ	181A	32D	33D	196D	62C	183A	31B	34D	63C	61C	64C
	65C	192C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A		
แม่	196D	62C	183A	181A	32D	33D	65C	192C	31B	34D	63C
	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	61C	64C		

ขั้นตอนที่ 2.3.3 ทำการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Mutation) โดยวิธีการสลับสุมเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  โดยในรอบการค้นหาที่  $L = 2$  คู่

ตำแหน่งของกล่องสินค้า ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.2.2 โดยเป็นการสลับตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่ 4 และตำแหน่งที่ 5 ซึ่งตำแหน่งที่ 4 ของพ่อและแม่ คือ 196D และ 181A ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 5 ของพ่อและแม่ คือ 62C และ 32D ตามลำดับ

พ่อ	181A	32D	33D	196D	62C	183A	31B	34D	63C	61C	64C
	65C	192C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A		
แม่	196D	62C	183A	181A	32D	33D	65C	192C	31B	34D	63C
	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	61C	64C		

หลังจากที่ทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y) L = 2$  คู่ตำแหน่งแล้ว ตำแหน่งที่ 4 และตำแหน่งที่ 5 จะเปลี่ยนไป โดยตำแหน่งที่ 4 ของพ่อและแม่ คือ 62C และ 32D ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 5 ของพ่อและแม่ คือ 196D และ 181A ตามลำดับ หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประเมินค่าความเหมาะสมต่อไป

พ่อ	181A	32D	33D	62C	196D	183A	31B	34D	63C	61C	64C
	65C	192C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A		
แม่	196D	62C	183A	32D	181A	33D	65C	192C	31B	34D	63C
	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	61C	64C		

ขั้นตอนที่ 2.4 จากการกลายพันธุ์ข้างต้น จะได้เป็นคำตอบใหม่โครโมโซม ลูก 1 และลูก 2 ดังตารางที่ 4.29 หลังจากนั้นจะนำมาประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) ของลูก 1 และลูก 2 ดังนี้

ลูก 1	<u>181A</u>	<u>32D</u>	<u>33D</u>	<u>62C</u>	<u>196D</u>	<u>183A</u>	<u>31B</u>	<u>34D</u>	<u>63C</u>	61C	64C
	<u>65C</u>	<u>192C</u>	193C	194C	191B	<u>195D</u>	<u>185A</u>	184A	182A		
ลูก 2	<u>196D</u>	<u>62C</u>	<u>183A</u>	<u>32D</u>	<u>181A</u>	<u>33D</u>	<u>65C</u>	<u>192C</u>	<u>31B</u>	<u>34D</u>	<u>63C</u>
	193C	194C	191B	<u>195D</u>	<u>185A</u>	184A	<u>182A</u>	61C	64C		

โดยทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness)  $= c_p - q_p - c_{pd}$  เพื่อนำไปใช้ในการคัดเลือกคำตอบที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการสร้างคำตอบรุ่นถัดไป ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.3

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 (Max Fitness)

$$\begin{aligned} \text{Max Fitness} &= c_2 - q_2 - c_{2d} \\ &= \text{ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (ไม่สามารถจัดเรียงได้)} \end{aligned}$$

เนื่องจากกล่องสินค้าของลูก 1 รายเดียวกันไม่เรียงชิดติดกัน ดังแสดงตามที่ขีดเส้นใต้ในการประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 ตัวอย่างเช่น 33D 62C 196D 183A ลูก 1 รายที่ 3 ต่อด้วยลูก 1 รายที่ 6 และลูก 1 รายที่ 19 ต่อด้วยลูก 1 รายที่ 18 จะเห็นได้ว่า กล่องสินค้าจะติดกันอยู่ แสดงให้เห็น



ว่ากล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันไม่เรียงชิดติดกัน ไม่สามารถบรรจุลงรถขนส่งได้ จึงทำให้ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด)

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 2 (Max Fitness)

$$\begin{aligned} \text{Max Fitness} &= c_2 - q_2 - c_{2d} \\ &= \text{ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (ไม่สามารถจัดเรียงได้)} \end{aligned}$$

เนื่องจากกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันไม่เรียงชิดติดกัน ดังแสดงตามที่ขีดเส้นใต้ในการประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 ตัวอย่างเช่น 196D 62C 183A 32D ลูกค้ารายที่ 19 ต่อด้วยลูกค้ารายที่ 6 และลูกค้ารายที่ 18 ต่อด้วยลูกค้ารายที่ 3 จะเห็นได้ว่า กล่องสินค้าจะกันอยู่ แสดงให้เห็นว่ากล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันไม่เรียงชิดติดกัน ไม่สามารถบรรจุลงรถขนส่งได้ จึงทำให้ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด) เพราะฉะนั้น โครโมโซมลูก 1 และลูก 2 ไม่มีค่าความเหมาะสม จึงทำต่อขั้นตอนที่ 2.6

ขั้นตอนที่ 2.6 จากตารางที่ 4.15 ได้เลือกโครโมโซมลูก 2 เพื่อพิจารณาแบบการกระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งและปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายตามปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย ทำการกระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งลูกค้าและเรียงลำดับกล่องสินค้าตามเดิมก่อนหน้า ใช้กระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.4

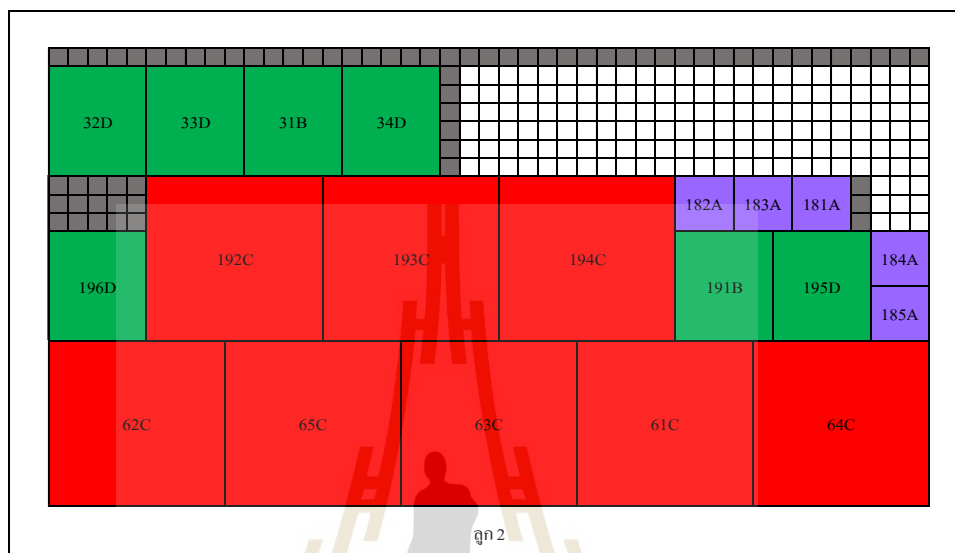
ตารางที่ 4.15 แสดงการค้นหาเฉพาะที่แบบการกระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งและปริมาณคำสั่งซื้อของรถคันที่ 2 รอบที่ 3

Local Search รอบที่ 3																					
ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Max Fitness
ลูก 2	196D	62C	183A	32D	181A	33D	65C	192C	31B	34D	63C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	61C	64C	
กระจายกล่องสินค้าตามลำดับการขนส่งและปริมาณคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย																					1,530,000

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) =  $c_p - q_p - c_{pd}$  ดังที่อธิบายไว้ ภายใต้หัวข้อ 2.3.3 โดยพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 (พื้นที่สีเทา) แสดงดังรูปที่ 4.19

$$\begin{aligned} \text{Max Fitness} &= c_2 - q_2 - c_{2d} \\ &= 11,250,000 - 9,030,000 - 690,000 \\ &= 1,530,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ซึ่งจากกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) จากข้อก่อนหน้า จะได้ค่าประเมินความเหมาะสมสูงสุด คือ 1,530,000 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ยังมีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ได้อีก 1,530,000 ตารางเซนติเมตร



รูปที่ 4.19 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 ในรอบที่ 3

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบว่าค่า Fitness จากการตรวจสอบพบว่า ยังไม่ครบ  $N = 100$  รอบ จึงไปทำต่อขั้นตอนที่ 2.11

ขั้นตอนที่ 2.11 เปรียบเทียบโครโมโซมลูกที่ได้จากกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ในรอบที่  $N = 2$  กับรอบปัจจุบัน (รอบที่  $N = 3$ )

รอบที่ 2 63C 61C 64C 65C 192C 193C 194C 191B 195D 196D 185A  
183A 184A 182A 181A 32D 33D 31B 34D

ค่ารอบที่ 2 ประเมินความเหมาะสมสูงสุด คือ 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร

รอบที่ 3 62C 63C 61C 64C 196D 192C 193C 194C 191B 195D 185A  
184A 182A 183A 181A 32D 33D 31B 34D

ค่ารอบที่ 3 ประเมินความเหมาะสมสูงสุด คือ 1,530,000 ตารางมิลลิเมตร

เลือกรอบค้นหาที่ 2 ซึ่งมีค่าความเหมาะสมสูงสุดนำไปเป็นโครโมโซมพ่อตั้งต้นต่อไปและทำการสุ่มโครโมโซมแม่ใหม่ และเพิ่มจำนวนรอบ  $N = 3 + 1 = 4$  ทำจนกระทั่งถึงรอบที่  $N = 99 + 1 = 100$  โดยให้วนกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 2.2

แสดงการวนรอบที่ 100 ( $N = 100$ )

จากการการจัดเรียงกล่องสินค้าการวนรอบที่ 3 ( $N=3$ ) และทำการค้นหาคำตอบจนกระทั่งถึงเงื่อนไขที่กำหนด คือ รอบที่  $N=100$  ต่อไปจะเป็นการแสดงการวนรอบที่ 100 ( $N=100$ ) ซึ่งจะเป็นการทำซ้ำกระบวนการเดิมตามขั้นตอนที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 2.2 เข้าสู่กระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) ด้วยวิธี Hybrid Algorithm รอบที่  $N=100$  ทำการค้นหาคำตอบโดยทำตามขั้นตอนเดิมจนกว่าจะครบเงื่อนไขที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 2.3 เข้าสู่กระบวนการในการหาคำตอบเบื้องต้น คือ เริ่มต้นสุ่มประชากรเริ่มต้นและเข้ารหัสกล่องสินค้า การคัดเลือกพันธุกรรม การกลายพันธุ์ การประเมินค่าความเหมาะสม และการหยุดกระบวนการ จะทำการวนซ้ำจนครบเงื่อนไขจำนวน  $N=100$  รอบ

ขั้นตอนที่ 2.3.1 จากในการค้นหาคำตอบในรอบที่ผ่านมาจะได้โครโมโซมพ่อในการตั้งต้น และทำการสุ่มโครโมโซมของแม่ใหม่ ทำการสุ่มยีนจากจำนวนกล่องที่มีทั้งหมดของลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 2 รอบที่  $N=100$  ดังข้อมูลด้านล่าง หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการการคัดเลือกพันธุกรรมต่อไป

พ่อ	63C	62C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D
	196D	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D
แม่	191B	32D	33D	196D	34D	61C	64C	65C	63C	62C
	192C	195D	181A	185A	194C	183A	193C	182A	181A	31B

ขั้นตอนที่ 2.3.2 การคัดเลือกพันธุกรรม (Cross Over) ไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Cross Over OX เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายในและจุดตัดภายนอก จุดตัดภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ด้วยตัว H ตัวพิมพ์ใหญ่ ดังที่แสดงไว้ตามที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.2.1 แสดงจุดตัดภายใน (ที่เน้นคำเป็นสีเทา) ของพ่อและแม่เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 6 ถึงตำแหน่งสุดท้าย คือ ตำแหน่งที่ 10 แสดงว่าจุดตัดภายนอกของพ่อและแม่จะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 5 และเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 11 ถึงตำแหน่งสุดท้าย คือ ตำแหน่งที่ 20 ดังนี้

พ่อ	63C	62C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	191B	32D	33D	196D	34D	61C	64C	65C	63C	62C	192C
	195D	181A	185A	194C	183A	193C	182A	181A	31B		

จากข้างต้นให้พิจารณาว่าจุดตัดภายในของพ่อตำแหน่งใดมีค่าซ้ำจุดตัดภายนอกของแม่ หากตำแหน่งใดมีค่าซ้ำกับจุดตัดภายนอกของแม่ให้แทนที่ค่าของตำแหน่งนั้นด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ตัว H ส่วนจุดตัดภายในของแม่พิจารณาเช่นเดียวกัน ดังนี้

พ่อ	H	H	H	H	H	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	H	31B	32D	33D	34D	61C	64C	65C	63C	62C	H
	H	196D	181A	H	185A	H	183A	182A	181A		

เมื่อแทนที่ค่าตำแหน่งด้วยตัวอักษร H แล้ว ให้ทำการย้ายตำแหน่งจุดตัดภายในขยับเลื่อนมาข้างหน้าสุด และต่อด้วยตัวอักษร H ทั้งหมด หลังจากนั้นก็นำค่าที่เหลืออยู่ขยับมาต่อเป็นลำดับสุดท้าย โดยจะต้องเรียงตำแหน่งจากข้างหลังมาด้านหน้า ดังนี้

พ่อ	192C	193C	194C	191B	195D	H	H	H	H	H	196D
	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	61C	64C	65C	63C	62C	H	H	H	H	H	196D
	181A	185A	183A	182A	181A	31B	32D	33D	34D		

ต่อมาจะทำการแทนที่ตัวอักษร H ด้วยจุดตัดภายในสลับโครโมโซมของพ่อกับแม่จะเป็นคำตอบใหม่หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการกลายพันธุ์ต่อไป ดังนี้

พ่อ	192C	193C	194C	191B	195D	61C	64C	65C	63C	62C	196D
	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	61C	64C	65C	63C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	181A	185A	183A	182A	181A	31B	32D	33D	34D		

ขั้นตอนที่ 2.3.3 ทำการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Mutation) โดยวิธีการสลับสุมเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  โดยในรอบการค้นหาที่สุ่มได้  $L = 2$  คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.2.2 โดยเป็นการสุ่มสลับตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่ 15 และตำแหน่งที่ 16 ซึ่งตำแหน่งที่ 15 ของพ่อและแม่ คือ 182A ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 16 ของพ่อและแม่ คือ 181A ตามลำดับ ดังนี้

พ่อ	192C	193C	194C	191B	195D	61C	64C	65C	63C	62C	196D
	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	61C	64C	65C	63C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	181A	185A	183A	182A	181A	31B	32D	33D	34D		

หลังจากที่ทำการสุ่มสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$   $L = 2$  คู่ตำแหน่งแล้ว ตำแหน่งที่ 15 และตำแหน่งที่ 16 จะเปลี่ยนไป โดยตำแหน่งที่ 15 ของพ่อและแม่ คือ 181A ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 16 ของพ่อและแม่ คือ 182A ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.35 หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประเมินค่าความเหมาะสมต่อไป

พ่อ	192C	193C	194C	191B	195D	61C	64C	65C	63C	62C	196D
	185A	183A	184A	181A	182A	32D	33D	31B	34D		
แม่	61C	64C	65C	63C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	181A	185A	183A	181A	182A	31B	32D	33D	34D		

ขั้นตอนที่ 2.4 จากการกลายพันธุ์ข้างต้น จะได้เป็นคำตอบใหม่โครโมโซม

ลูก 1 และลูก 2 หลังจากนั้นจะนำมาประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Fitness Evaluation) มีค่าความเหมาะสม ของลูก 1 และลูก 2 ดังนี้

ลูก 1	192C	193C	194C	191B	<u>195D</u>	<u>61C</u>	64C	65C	63C	<u>62C</u>	<u>196D</u>
	<u>185A</u>	183A	184A	181A	<u>182A</u>	<u>32D</u>	33D	31B	34D		
ลูก 2	61C	64C	65C	63C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	196D
	181A	185A	183A	181A	182A	31B	32D	33D	34D		

โดยทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) =  $c_p - q_p - c_{pd}$  เพื่อนำไปใช้ในการคัดเลือกคำตอบที่จะนำไปเป็นพื้นฐานในการสร้างคำตอบรุ่นถัดไป ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.3

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 1 (Max Fitness)

$$Max\ Fitness = c_2 - q_2 - c_{2d}$$

= ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด (ไม่สามารถจัดเรียงได้)

เนื่องจากกล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันไม่เรียงชนิดติดกัน ดังแสดงตามที่ขีดเส้นใต้ในการประเมินค่าความเหมาะสมของลูก 1 ตัวอย่างเช่น 62C 196D 185A ลูกค้ารายที่ 6 ต่อด้วยลูกค้ารายที่ 19 และลูกค้ารายที่ 18 จะเห็นได้ว่า กล่องสินค้าละกันอยู่ แสดงให้เห็นว่ากล่องสินค้าของลูกค้ารายเดียวกันไม่เรียงชนิดติดกัน ไม่สามารถบรรจุลงรถขนส่งได้ จึงทำให้ไม่มีค่าความเหมาะสมสูงสุด)

ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดของลูก 2 (Max Fitness)

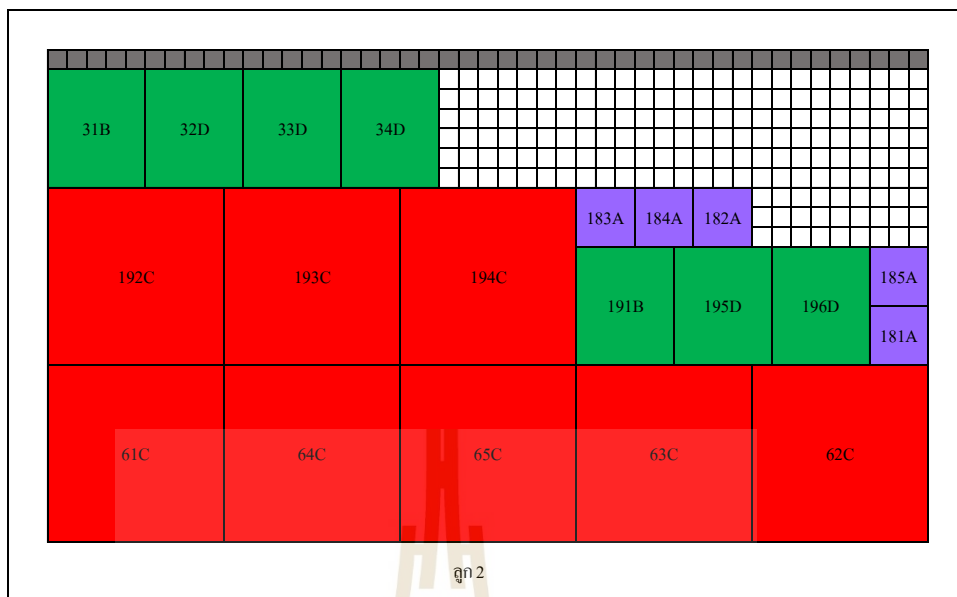
$$Max\ Fitness = c_2 - q_2 - c_{2d}$$

$$= 11,250,000 - 9,030,000 - 450,000$$

$$= 1,770,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

เพราะฉะนั้น โครโมโซมลูก 1 ไม่มีค่าความเหมาะสม

และลูก 2 ได้ค่าความเหมาะสมสูงสุด คือ 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร โดยพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 (พื้นที่สีเทา) แสดงดังรูปที่ 4.20 จึงแสดงวิธีการและทำต่อขั้นตอนที่ 2.5



รูปที่ 4.20 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 ในรอบที่ 100

ขั้นตอนที่ 2.5 เริ่มกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ทำการสลับตำแหน่ง โดยวิธีการสลับตำแหน่ง  $(x, y)$   $V=3$  คู่ตำแหน่ง (3-Opt) จำนวน  $m=20$  รอบของกล่องสินค้า ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.4 โดยเป็นการพัฒนาจากงานวิจัยของ จิระเดช (2546) ดังตารางที่ 4.16 โดยจะเป็นการสลับตำแหน่ง 3 คู่ตำแหน่งจากยีนแต่ละตำแหน่งของโครโมโซมลูก 2 ซึ่งเป็นโครโมโซมที่สามารถประเมินหาค่าความเหมาะสมได้ โดยในการวนในรอบถัดไปจะทำเช่นเดิม หลังจากนั้นจะเข้าสู่ทำการประเมินค่าความเหมาะสมต่อไป

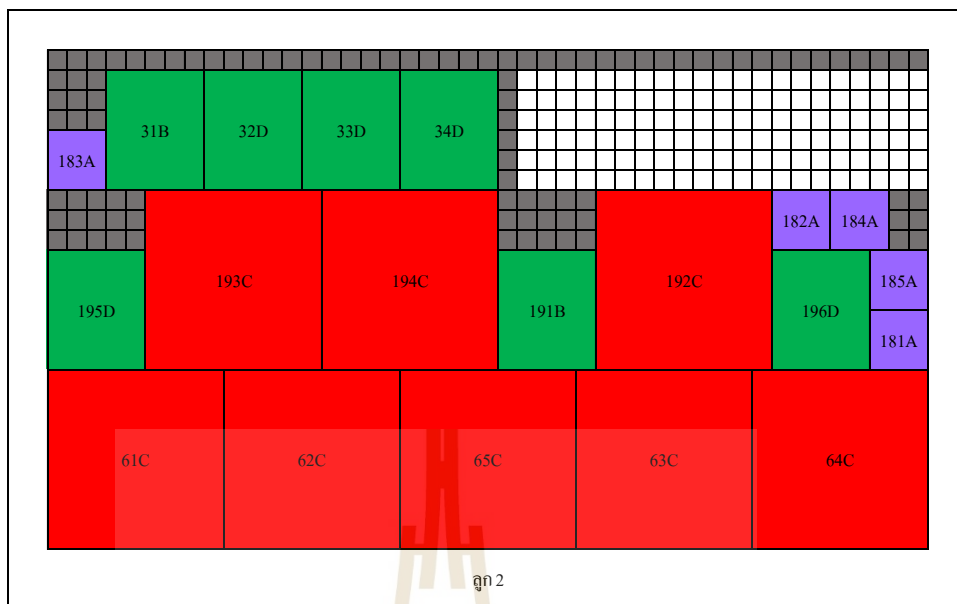
ตารางที่ 4.16 แสดงการค้นหาค่าเฉพาะที่แบบสุ่มสลับ 3 คู่ตำแหน่งของรถคันที่ 2 รอบที่ 100

Local Search รอบที่ 100																							
ที่	ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Fitness	
	คู่	61C	64C	65C	63C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	181A	185A	183A	181A	182A	31B	32D	33D	34D	1,770,000	
1	(2,4),(11,16),(17,20)	61C	63C	65C	64C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	182A	181A	185A	183A	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No	
2	(5,9),(11,16),(17,20)	61C	64C	65C	63C	191B	192C	193C	194C	62C	195D	182A	181A	185A	183A	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No	
3	(3,14),(11,16),(17,20)	61C	64C	183A	63C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	182A	181A	185A	65C	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No	
4	(4,8),(11,16),(17,20)	61C	64C	65C	194C	62C	192C	193C	63C	191B	195D	182A	181A	185A	183A	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No	
5	(8,10),(11,16),(17,20)	61C	64C	65C	63C	62C	192C	193C	195D	191B	194C	182A	181A	185A	183A	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No	
6	(1,6),(2,4),(8,12)	192C	63C	65C	64C	62C	61C	193C	181A	191B	195D	196D	194C	185A	183A	181A	182A	31B	32D	33D	34D	No	
7	(3,10),(2,4),(8,12)	61C	63C	195D	64C	62C	192C	193C	181A	191B	64C	196D	194C	185A	183A	181A	182A	31B	32D	33D	34D	No	
8	(1,18),(2,4),(8,12)	32D	63C	65C	64C	62C	192C	193C	181A	191B	195D	196D	194C	185A	183A	181A	182A	31B	61C	33D	34D	No	
9	(10,14),(2,4),(8,12)	61C	63C	65C	64C	62C	192C	193C	181A	191B	183A	196D	194C	185A	195D	181A	182A	31B	32D	33D	34D	No	
10	(9,15),(2,4),(8,12)	61C	63C	65C	64C	62C	192C	193C	181A	181A	195D	196D	194C	185A	183A	194C	182A	31B	32D	33D	34D	No	
11	(1,4),(3,9),(18,19)	63C	64C	191B	61C	62C	192C	193C	194C	65C	195D	196D	181A	185A	183A	181A	182A	31B	33D	32D	34D	No	
12	(15,16),(3,9),(18,19)	61C	64C	191B	63C	62C	192C	193C	194C	65C	195D	196D	181A	185A	183A	182A	181A	31B	33D	32D	34D	No	
13	(2,13),(3,9),(18,19)	61C	185A	191B	63C	62C	192C	193C	194C	65C	195D	196D	181A	64C	183A	181A	182A	31B	33D	32D	34D	No	
14	(5,6),(3,9),(18,19)	61C	64C	191B	63C	192C	62C	193C	194C	65C	195D	196D	181A	185A	183A	181A	182A	31B	33D	32D	34D	No	
15	(8,11),(3,9),(18,19)	61C	64C	191B	63C	62C	192C	193C	196D	65C	195D	196D	181A	185A	183A	181A	182A	31B	33D	32D	34D	No	
16	(3,4),(6,10),(14,16)	61C	64C	63C	65C	62C	195D	193C	194C	191B	192C	196D	181A	185A	182A	181A	183A	31B	32D	33D	34D	1,260,000	
17	(12,13),(6,10),(14,16)	61C	64C	65C	63C	62C	195D	193C	194C	191B	192C	196D	185A	181A	182A	181A	183A	31B	32D	33D	34D	1,260,000	
18	(18,19),(6,10),(14,16)	61C	64C	65C	63C	62C	195D	193C	194C	191B	192C	196D	181A	185A	182A	181A	183A	31B	33D	32D	34D	1,260,000	
19	(2,5),(6,10),(14,16)	61C	62C	65C	63C	64C	195D	193C	194C	191B	192C	196D	181A	185A	182A	181A	183A	31B	32D	33D	34D	1,260,000	
20	(7,11),(6,10),(14,16)	61C	64C	65C	63C	62C	195D	196D	194C	191B	192C	193C	181A	185A	182A	181A	183A	31B	32D	33D	34D	1,080,000	

ขั้นตอนที่ 2.7 ประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Evaluation) ดังที่อธิบายไว้ภายใต้หัวข้อ 2.3.3 ประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) โดยพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 (พื้นที่สีเทา) แสดงดังรูปที่ 4.21

$$\begin{aligned}
 \text{Max Fitness} &= c_2 - q_2 - c_{2d} \\
 &= 11,250,000 - 9,030,000 - 96,000 \\
 &= 1,260,000 \text{ ตารางมิลลิเมตร}
 \end{aligned}$$

ซึ่งจากกระบวนการค้นหาค่าตอบสุดท้าย (LS) จะได้ค่าประเมินความเหมาะสมสูงสุดในรอบที่  $m = 19$  คือ 1,260,000 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ยังมีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ได้อีก 1,260,000 ตารางมิลลิเมตร ดังนั้นจากการประเมินค่าความเหมาะสมในรอบที่  $N = 100$  มีค่าความเหมาะสมน้อยกว่าในรอบที่ผ่านมา จะทำการเปรียบเทียบหาค่าความเหมาะสมสูงสุดจะได้รอบที่  $N = 99$  คือ 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ยังมีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ได้อีก 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร



รูปที่ 4.21 แสดงพื้นที่ที่ใช้งานไม่ได้ ( $c_{2d}$ ) ของลูก 2 ของวิธี LS ในรอบที่ 100

ขั้นตอนที่ 2.8 ตรวจสอบว่าค่า Fitness จากการตรวจสอบพบว่า ครบ 100 รอบแล้ว จึงไปทำต่อขั้นตอนที่ 2.14

ขั้นตอนที่ 2.10 ได้ผลลัพธ์ของรถขนส่งคันที่  $p = 2$  มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3, 6, 18 และ 19 รวมทั้งหมด 9,030,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 450,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ข.22 และได้เส้นทางรถขนส่ง คือ 0-3-18-19-6-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า และทำการจัดเรียงกล่องสินค้าลงบนรถขนส่ง ดังรูปที่ 4.22 โดยกล่องจะเข้าบรรจุด้านล่างสุดซ้ายสุดเท่าที่จะทำได้ โดยที่กล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา จึงไปทำต่อขั้นตอนที่ 2.12





เบื้องต้น สุ่มรูปแบบโครโมโซมของพ่อแม่ (กล่องสินค้า) เริ่มต้นและการเข้ารหัสกล่องสินค้าเริ่มต้น (Population Initialization) จะเป็นการเข้ารหัสโดยใช้ตัวเลขและตัวอักษร และทำการไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Cross Over OX เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายในและจุดตัดภายนอก จุดตัดภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ด้วยตัว H ตัวพิมพ์ใหญ่ ซึ่งในรุ่นที่ 1 รอบที่ 100 จุดตัดภายในของพ่อและแม่เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 7 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือตำแหน่งที่ 10 แสดงว่าจุดตัดภายนอกของพ่อและแม่จะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 6 และเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 11 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 20 หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการการกลายพันธุ์ต่อไป โดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Mutation) โดยวิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  2 คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า โดยเป็นการสลับตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่ 8 และตำแหน่งที่ 9 ซึ่งตำแหน่งที่ 8 ของพ่อและแม่ คือ 127A และ 123A ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 9 ของพ่อและแม่ คือ 126A และ 25C ตามลำดับ หลังจากทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  2 คู่ตำแหน่งแล้ว ตำแหน่งที่ 8 และตำแหน่งที่ 9 จะเปลี่ยนไป โดยตำแหน่งที่ 8 ของพ่อและแม่ คือ 126A และ 25C ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 9 ของพ่อและแม่ คือ 127A และ 123A ตามลำดับ หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประเมินค่าความเหมาะสมต่อไป จะได้เป็นคำตอบใหม่โครโมโซมลูก 1 และลูก 2 ทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) ของลูก 1 จะได้ค่าประเมินความเหมาะสมสูงสุด คือ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ จากนั้นเริ่มกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ทำการสลับตำแหน่ง โดยวิธีการสลับตำแหน่ง  $(x, y)$  3 คู่ตำแหน่ง (3-Opt) ของกล่องสินค้า แบ่งกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่สามารถหาค่าความเหมาะสมได้ และกรณีหาค่าความเหมาะสมไม่ได้ ในกรณีที่สามารถหาค่าความเหมาะสมได้ ทำการสลับตำแหน่งโดยวิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  3 คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า จำนวน 20 รอบ ซึ่งจากกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) จะได้ค่าประเมินความเหมาะสมสูงสุดในรอบที่ 19 คือ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์

ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 1 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 2 และ 12 รวมทั้งหมด 3,000,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 150,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ข.21 และได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-2-12-0 ตามลำดับ การขนส่งสินค้า ดังรูปที่ 4.23

### 4.3.2.3 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3

73A	72A	71A	76A	74A	75A	77A
42B		78D		79D		710D
43D		44D		45D		41B

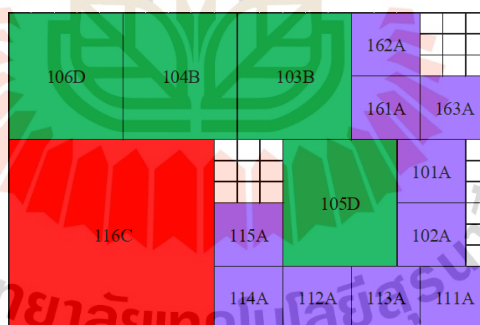
รูปที่ 4.24 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3

จากการจัดเส้นทางรถขนส่งคันที่  $p=3$  จากนั้นจะเริ่มการจัดเรียงกล่องสินค้า จะได้ลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 3 คือ รายที่ 7 และ 14 มีกล่องสินค้า 10 และ 5 กล่องตามลำดับตามตารางข้อมูลที่ 4.12 สรุปว่าเริ่มกระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) วิธีการแบบไฮบริดรอบที่  $N=100$  โดยจะใช้กระบวนการในการหาคำตอบเบื้องต้น หลังจากนั้นจะใช้กระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ในการพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้น เข้าสู่กระบวนการเริ่มต้นในการหาคำตอบเบื้องต้น เริ่มต้นและการเข้ารหัสกล่องสินค้าเริ่มต้น (Population Initialization) จะเป็นการเข้ารหัสโดยใช้ตัวเลขและตัวอักษร และทำการไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Cross Over OX เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายในและจุดตัดภายนอก จุดตัดภายนอกมีค่าเข้าจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ด้วยตัว H ตัวพิมพ์ใหญ่ ซึ่งในรอบคันที่ 3 รอบที่ 100 จุดตัดภายในของพ่อและแม่เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 4 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 6 แสดงว่าจุดตัดภายนอกของพ่อและแม่จะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 3 และเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 7 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 20 หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการการกลายพันธุ์ต่อไป โดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Mutation) โดยวิธีการสลับสุ่มเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  2 คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า โดยเป็นการสุ่มสลับตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่ 12 และตำแหน่งที่ 13 ซึ่งตำแหน่งที่ 12 ของพ่อและแม่คือ 74A โดยตำแหน่งที่ 13 ของพ่อและแม่คือ 75A หลังจากทำการสุ่มสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  2 คู่ตำแหน่งแล้ว ตำแหน่งที่ 12 และตำแหน่งที่ 13 จะเปลี่ยนไป โดยตำแหน่งที่ 12 ของพ่อและแม่คือ 75A โดยตำแหน่งที่ 13 ของพ่อและแม่คือ 74A หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประเมินค่าความเหมาะสมต่อไป จะได้เป็นคำตอบใหม่โครโมโซมลูก 1 และลูก 2 ทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) ของลูก 1 จะได้ค่าประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด คือ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็ม

ประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ จากนั้นเริ่มกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ทำการสลับตำแหน่ง โดยวิธีการสุ่มสลับตำแหน่ง  $(x, y)$  3 คู่ตำแหน่ง (3-Opt) ของกล่องสินค้า แบ่งกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่สามารถหาค่าความเหมาะสมได้ และกรณีหาค่าความเหมาะสมไม่ได้ ในกรณีที่สามสามารถหาค่าความเหมาะสมได้ ทำการสลับตำแหน่ง โดยวิธีการสุ่มสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  3 คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า จำนวน 20 รอบ ซึ่งจากกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) จะได้ค่าประเมินความเหมาะสมสูงสุดในรอบที่ 20 คือ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์

ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 3 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 7 และ 14 รวมทั้งหมด 3,030,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 120,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ข.23 และได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-7-4-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า ดังรูปที่ 4.24

#### 4.3.2.4 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4



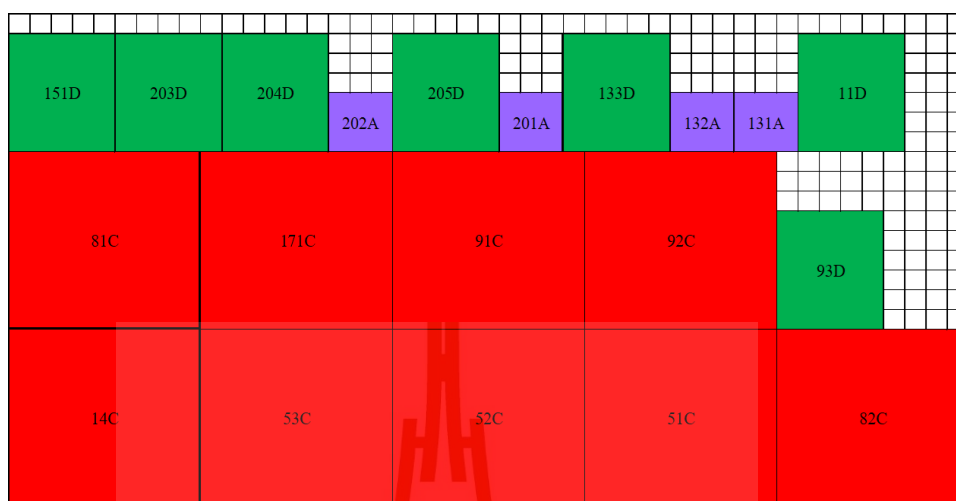
รูปที่ 4.25 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4

จากการจัดเส้นทางการขนส่งคันที่  $p=4$  จากนั้นจะเริ่มการจัดเรียงกล่องสินค้า จะได้ลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 4 คือ รายที่ 10, 11 และ 16 มีกล่องสินค้า 10 และ 5 กล่อง ตามลำดับ ตามตารางข้อมูลที่ 4.12 สรุปว่าเริ่มกระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) วิธีการแบบไฮบริด รอบที่  $N=100$  โดยจะใช้กระบวนการในการหาคำตอบเบื้องต้น หลังจากนั้นจะใช้กระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ในการพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้น เข้าสู่กระบวนการเริ่มต้นในการหาคำตอบเบื้องต้น เริ่มต้นและการเข้ารหัสกล่องสินค้าเริ่มต้น (Population Initialization)

จะเป็นการเข้ารหัสโดยใช้ตัวเลขและตัวอักษร และทำการไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Cross Over OX เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายในและจุดตัดภายนอก จุดตัดภายนอกมีค่าซ้ำจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ด้วยตัว H ตัวพิมพ์ใหญ่ ซึ่งในรอบครั้งที่ 4 รอบที่ 100 จุดตัดภายในของพ่อและแม่เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 5 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 10 แสดงว่าจุดตัดภายนอกของพ่อและแม่จะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 4 และเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 11 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 20 หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการกลายพันธุ์ต่อไป โดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Mutation) โดยวิธีการสลับสุ่มเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  2 คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า โดยเป็นการสุ่มสลับตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่ 8 และตำแหน่งที่ 9 ซึ่งตำแหน่งที่ 8 ของพ่อและแม่ คือ 111A และ 101A ตามลำดับโดยตำแหน่งที่ 9 ของพ่อและแม่คือ 112A และ 102A ตามลำดับ หลังจากทำการสุ่มสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  2 คู่ตำแหน่งแล้วตำแหน่งที่ 8 และตำแหน่งที่ 9 จะเปลี่ยนไป โดยตำแหน่งที่ 8 ของพ่อและแม่ คือ 112A และ 102A ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 13 ของพ่อและแม่ คือ 111A และ 101A หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประเมินค่าความเหมาะสมต่อไป จะได้เป็นคำตอบใหม่โครโมโซมลูก 1 และลูก 2 ทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) ของลูก 2 จะได้ค่าประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดคือ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ จากนั้นเริ่มกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ทำการสลับตำแหน่ง โดยวิธีการสุ่มสลับตำแหน่ง  $(x, y)$  3 คู่ตำแหน่ง (3-Opt) ของกล่องสินค้าแบ่งกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่สามารถหาค่าความเหมาะสมได้ และกรณีหาค่าความเหมาะสมไม่ได้ ในกรณีที่สามสามารถหาค่าความเหมาะสมได้ ทำการสลับตำแหน่งโดยวิธีการสุ่มสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  3 คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า จำนวน 20 รอบ ซึ่งจากกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) จะได้ค่าประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุดในรอบที่ 20 คือ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์

ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 4 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 10, 11 และ 16 รวมทั้งหมด 2,910,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 240,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ข.24 และได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-16-10-11-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า ดังรูปที่ 4.25

## 4.3.2.5 ผลของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5



รูปที่ 4.26 แสดงการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5

จากการจัดเส้นทางรถขนส่งคันที่  $p = 5$  จากนั้นจะเริ่มการจัดเรียงกล่องสินค้า จะได้ลูกค้าในรถขนส่งคันที่ 5 คือ รายที่ 1, 5, 8, 9, 13, 14, 15, 17 และ 20 มีกล่องสินค้า 1, 3, 2, 3, 3, 1, 1, 1, และ 5 กล่องตามลำดับ ตามตารางข้อมูลที่ 4.12 สรุปว่าเริ่มกระบวนการจัดเรียงกล่องสินค้า (BPP) วิธีการแบบไฮบริด รอบที่  $N = 100$  โดยจะใช้กระบวนการในการหาคำตอบเบื้องต้น หลังจากนั้นจะใช้กระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ในการพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้น เข้าสู่กระบวนการเริ่มต้นในการหาคำตอบเบื้องต้น เริ่มต้นและการเข้ารหัสกล่องสินค้าเริ่มต้น (Population Initialization) จะเป็นการเข้ารหัสโดยใช้ตัวเลขและตัวอักษร และทำการไขว้เปลี่ยนประชากรแบบ Cross Over OX เริ่มต้นสุ่มเลือกจุดตัดและทำการแบ่งจุดตัดภายในและจุดตัดภายนอกจุดตัดภายนอกมีค่าเข้าจุดตัดภายในให้ทำการแทนที่ด้วยตัว H ตัวพิมพ์ใหญ่ ซึ่งในรถคันที่ 5 รอบที่ 100 จุดตัดภายในของพ่อและแม่เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 5 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 12 แสดงว่าจุดตัดภายนอกของพ่อและแม่จะถูกแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ เริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 4 และเริ่มต้นที่ตำแหน่งที่ 13 ถึงตำแหน่งสุดท้ายคือ ตำแหน่งที่ 20 หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการการกลายพันธุ์ต่อไป โดยวิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Mutation) โดยวิธีการสลับสุ่มเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  2 คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า โดยเป็นการสุ่มสลับตำแหน่งระหว่างตำแหน่งที่ 14 และตำแหน่งที่ 15 ซึ่งตำแหน่งที่ 14 ของพ่อและแม่ คือ 205D และ 82C ตามลำดับโดยตำแหน่งที่ 15 ของพ่อและแม่ คือ 202A และ 171C ตามลำดับ หลังจากทำการสุ่มสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  2 คู่ตำแหน่งแล้ว ตำแหน่งที่ 14 และตำแหน่งที่ 15

จะเปลี่ยนไป โดยตำแหน่งที่ 14 ของพ่อและแม่ คือ 202A และ 171C ตามลำดับ โดยตำแหน่งที่ 15 ของพ่อและแม่ คือ 205D และ 82C หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการประเมินค่าความเหมาะสมต่อไป จะได้เป็นคำตอบใหม่โครโมโซมลูก 1 และลูก 2 ทำการประเมินค่าความเหมาะสมสูงสุด (Max Fitness) ของลูก 1 จะได้ค่าประเมินความเหมาะสมสูงสุด คือ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ไร่พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์จากนั้นเริ่มกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) ทำการสลับตำแหน่ง โดยวิธีการสุ่มสลับตำแหน่ง  $(x, y)$  3 คู่ตำแหน่ง (3-Opt) ของกล่องสินค้า แบ่งกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่สามารถหาค่าความเหมาะสมได้และกรณีหาค่าความเหมาะสมไม่ได้ ในกรณีที่หาค่าความเหมาะสมได้ ทำการสลับตำแหน่งโดยวิธีการสุ่มสลับเปลี่ยนตำแหน่ง  $(x, y)$  3 คู่ตำแหน่งของกล่องสินค้า จำนวน 20 รอบ ซึ่งจากกระบวนการค้นหาคำตอบสุดท้าย (LS) จะได้ค่าประเมินความเหมาะสมสูงสุดในรอบที่ 20 คือ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ไร่พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์

ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 5 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 5, 8, 9, 13, 14, 15, 17 และ 20 รวมทั้งหมด 9,750,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 210,000 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 1,290,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปที่ ข.25 และได้เส้นทางการขนส่ง คือ 0-1-13-20-15-9-17-8-5-14-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า ดังรูปที่ 4.26

#### 4.3.2.6 สรุปผลลัพธ์ของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

ตารางที่ 4.17 แสดงสรุปผลลัพธ์ของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

รถขนส่งคันที่ k	จำนวนกล่องสินค้าและการจัดเรียงกล่องสินค้าด้วยวิธีการแบบไฮบริด																									Max Fitness (ตร.มม.)	
	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		
1	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	22A	21A	24A	23A												0
2	61C	64C	65C	63C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	181A	185A	183A	184A	182A	31B	32D	33D	34D							1,770,000
3	43D	44D	45D	41B	42B	78D	710D	79D	73A	72A	71A	76A	74A	75A	77A												0
4	116C	114A	112A	113A	111A	115A	105D	102A	101A	106D	104B	103B	161A	163A	162A												0
5	141C	53C	52C	51C	82C	81C	171C	91C	92C	93D	151D	203D	204D	202A	205D	201A	133D	132A	131A	11D							210,000
รวม																										1,980,000	

ดังตารางที่ 4.17 แสดงข้อมูลสรุปผลลัพธ์ของการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งจะเห็นได้ว่า

รถขนส่งคันที่ 1 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 2 และ 12 รวมทั้งหมด 3,000,000 ตารางมิลลิเมตร

มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 150,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปภาคผนวก ข.1-ข.2 และได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-2-12-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า

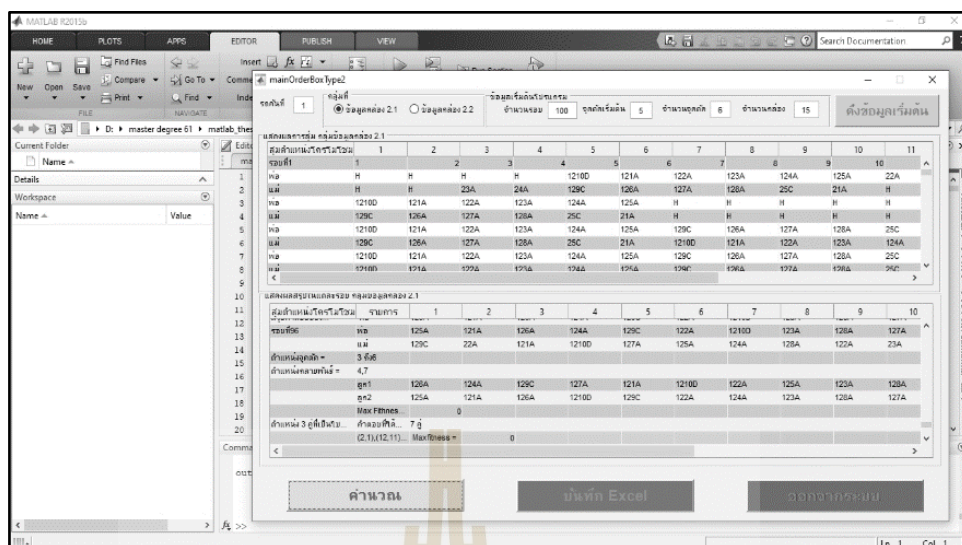
รถขนส่งคันที่ 2 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3, 6, 18 และ 19 รวมทั้งหมด 9,030,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 1,770,000 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 450,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปภาคผนวก ข.3-ข.6 และได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-3-18-19-6-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า

รถขนส่งคันที่ 3 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 7 และ 14 รวมทั้งหมด 3,030,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 120,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปภาคผนวก ข.7-ข.8 และได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-7-4-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า

รถขนส่งคันที่ 4 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 10, 11 และ 16 รวมทั้งหมด 2,910,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์ และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 240,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปในภาคผนวก ข.9-ข.11 และได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-16-10-11-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า

รถขนส่งคันที่ 5 มีพื้นที่ของรถขนส่งทั้งหมด 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีพื้นที่บรรจุของกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 5, 8, 9, 13, 14, 15, 17 และ 20 รวมทั้งหมด 9,750,000 ตารางมิลลิเมตร มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ 210,000 ตารางมิลลิเมตร และมีพื้นที่ที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ 1,290,000 ตารางมิลลิเมตร ดังรูปภาคผนวก ข.12-ข.20 และได้เส้นทางการขนส่งคือ 0-1-13-20-15-9-17-8-5-14-0 ตามลำดับการขนส่งสินค้า ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรม MATLAB แสดงผลดังรูปที่ 4.27





รูปที่ 4.27 การคำนวณ โดยใช้โปรแกรม MATLAB ของการจัดเส้นทางขนส่ง

### 4.3.3 สรุปผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

ตารางที่ 4.18 แสดงสรุปผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่ง

รถขนส่งคันที่ k	Max Fitness (ตร.มม.)	พื้นที่รถขนส่ง (ตร.มม.)	พื้นที่กล่องสินค้า (ตร.มม.)	พื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (ตร.มม.)	ประเภทรถขนส่ง	การจัดเส้นทางรถขนส่ง	รวมระยะทาง ลูก้าไปกลับ (กิโลเมตร)	ต้นทุนการขนส่ง (4 บาท ต่อ 1 กิโลเมตร จากกรมทางหลวง)
1	0	3,150,000	3,000,000	150,000	4 ล้อ	0-2-12-0	28.57	114
2	1,770,000	11,250,000	9,030,000	450,000	6 ล้อ	0-3-18-19-6-0	59.64	239
3	0	3,150,000	3,030,000	120,000	4 ล้อ	0-7-4-0	23.53	94
4	0	3,150,000	2,910,000	240,000	4 ล้อ	0-16-10-11-0	29.72	119
5	210,000	11,250,000	9,750,000	1,290,000	6 ล้อ	0-1-13-20-15-9-17-8-5-14-0	93.23	373
รวม	1,980,000	31,950,000	27,720,000	2,250,000	5 คัน	5 เส้นทาง	234.69	939

ดังนั้น ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่ง และการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง ทุกคัน ดังตารางที่ 4.18 พบว่า ในการจัดเส้นทางรถขนส่งมีรถขนส่งทั้งหมด 7 คัน ใช้รถขนส่ง 4 ล้อ ทั้งหมด 4 คัน และใช้รถขนส่ง 6 ล้อ 2 คัน รวมรถขนส่งที่ใช้บรรจุสินค้าทั้งสิ้น 5 คัน

ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งของรถขนส่งประเภท 4 ล้อ ได้แก่ รถคันที่ 1, 3 และ 4 มีพื้นที่ขนส่ง 3,150,000 ตารางมิลลิเมตร โดยมีเส้นทางรถขนส่ง คือ 0-2-12-0, 0-7-4-0 และ 0-16-10-11-0 ตามลำดับ มีระยะทางรวมไปกลับจากคลังสินค้า คือ 28.57, 23.53 และ 29.72 กิโลเมตรตามลำดับ ส่วนต้นทุนการขนส่ง คือ 114, 94 และ 119 บาทตามลำดับ ส่วนการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง พบว่าพื้นที่ของกล่องสินค้ารวมของรถแต่ละคัน คือ 3,000,000, 3,030,000

และ 2,910,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ มีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้บนรถขนส่งของรถแต่ละคัน คือ 150,000, 120,000 และ 240,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่เหลือใช้ประโยชน์สูงสุด (Max Fitness) ของรถแต่ละคัน คือ 0 ตารางมิลลิเมตร ซึ่งหมายความว่า ใช้พื้นที่ในการบรรจุของลงรถขนส่งได้เต็มประสิทธิภาพ ไม่เหลือพื้นที่ในการใช้ประโยชน์

ผลของการจัดเส้นทางรถขนส่ง ของรถขนส่งประเภท 6 ล้อ ได้แก่ รถคันที่ 2 และ 5 มีพื้นที่ขนส่ง 11,250,000 ตารางมิลลิเมตร พบว่าทำการจัดเส้นทางขนส่งได้คันที่ 2 และ 5 โดยมีเส้นทางรถขนส่ง คือ 0-3-18-19-6-0 และ 0-1-13-20-15-9-17-8-5-14-0 ตามลำดับ มีระยะทางรวมไปกลับจากคลังสินค้า คือ 59.64 และ 93.23 กิโลเมตรตามลำดับ ส่วนต้นทุนการขนส่ง คือ 239 และ 373 บาทตามลำดับ พบว่าพื้นที่ของกล่องสินค้ารวมของรถแต่ละคัน คือ 9,030,000 และ 9,750,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ มีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้บนรถขนส่งของรถแต่ละคัน คือ 450,000 และ 1,290,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ ส่วนพื้นที่ที่เหลือใช้ประโยชน์สูงสุด (Max Fitness) คือ 1,770,000 และ 210,000 ตารางมิลลิเมตร ตามลำดับ



## บทที่ 5

### สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง และการจัดเรียงสินค้าแบบสองมิติบนรถขนส่ง โดยหาแนวทางการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า โดยใช้รถขนส่งให้มีประสิทธิภาพ และการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งแต่ละคันให้เหลือพื้นที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด

การนำเสนอการทำงานการแก้ไขปัญหการจัดเส้นทางรถขนส่ง โดยใช้วิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) กับวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และการแก้ปัญหาการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบสองมิติเป็นนำเสนอวิธีการแบบไฮบริด โดยเป็นการทำงานระหว่างเมตาฮิวริสติกส์สองวิธีมารวมกัน คือ วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) และวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (LS) ทำให้การจัดเรียงกล่องสินค้า ปรับปรุงหาคำตอบหรือปรับปรุงผลเฉลยที่เหมาะสมรวดเร็วมากยิ่งขึ้น การจัดเส้นทางรถขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด (Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem) โดยมีรถขนส่ง 2 ประเภท และออกจากคลังสินค้าพร้อมกันมากกว่า 1 คัน มีลูกค้าจำนวน 20 ราย ภายในรัศมีการขนส่งสินค้า 50 กิโลเมตร และมีคลังสินค้าเพียงจุดเดียว (Single Depot) ส่วนปัญหาการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งแบบสองมิติ ประเภทของกล่องสินค้า มี 2 ประเภท คือ กล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถหมุนได้ 90 องศา และได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB มาช่วยในการแก้ไขปัญหานี้ พบว่าทั้งในปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งและการจัดเรียงกล่องสินค้านั้น แสดงผลของการจัดเส้นทางรถขนส่งพบว่า ในการจัดเส้นทางรถขนส่งมีรถขนส่งทั้งหมด 7 คัน ใช้รถขนส่ง 4 ล้อ ทั้งหมด 4 คัน และใช้รถขนส่ง 6 ล้อ 2 คัน รวมรถขนส่งที่ใช้บรรจุสินค้าทั้งสิ้น 5 คัน มีระยะทางรวม 235 กิโลเมตร ทำการพิจารณาต้นทุนการขนส่งจะได้ 939 บาท มีพื้นที่รถขนส่งรวมทุกคัน 31,950,000 ตารางมิลลิเมตร และส่วนของการจัดเรียงกล่องสินค้านั้นทั้งหมด 85 กล่องทำการประมวลผลโปรแกรม 100 รอบนั้น มีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ (Max Fitness) รวมทุกคันคือ 1,980,000 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 6.20 ของพื้นที่รถขนส่งรวม และมีพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้บนรถขนส่งรวมทุกคันคือ 2,250,000 ตารางมิลลิเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.04 ของพื้นที่รถขนส่งรวม และมีพื้นที่การจัดเรียงกล่องสินค้านั้นรวมทุกคันคือ 27,720,000 ตารางมิลลิเมตรคิดเป็นร้อยละ 86.76 ของพื้นที่รถขนส่งรวมทุกคัน

จะเห็นได้ว่าการหาคำตอบหรือผลเฉลยที่เหมาะสมของปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง และการแก้ปัญหการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบสองมิตินี้ พบว่าการจัดเส้นทางรถขนส่งมีการใช้รถขนส่งเพียง 5 คัน จากทั้งหมด 7 คัน ทำให้การขนส่งมีประสิทธิภาพเนื่องจากใช้จำนวนรถขนส่งจำนวนน้อยคันและการจัดเรียงกล่องสินค้านั้นใช้วิธีการแบบไฮบริด คือ วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) ในการค้นหาคำตอบเริ่มต้น และวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (LS) ใช้ในการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น จะเห็นว่าการจัดเรียงกล่องสินค้ามีประสิทธิภาพ เนื่องจากมีพื้นที่เหลือใช้ประโยชน์ (Max Fitness) คิดเป็นร้อยละ 9.58 ของพื้นที่รถขนส่งรวมทั้งหมด และได้ใช้โปรแกรม MATLAB ทำให้เห็นคำตอบที่หลากหลาย และรวดเร็วอีกด้วย ให้ผลคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบมีคำตอบเริ่มต้นที่ดีด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม และวิธีการค้นหาเฉพาะที่ นำมาปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น และได้เส้นทางที่ดีจากวิธีการทำ ณ เวลานั้น จึงเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนธุรกิจต่อไป

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำเสนอการทำงานการแก้ไขปัญหการจัดเส้นทางรถขนส่งเป็นวิธีการค้นหาเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest Neighbor) กับวิธีการกวาด (The Sweep Approach) และการแก้ปัญหการจัดเรียงกล่องสินค้าแบบสองมิติเป็นนำเสนอวิธีการแบบไฮบริด โดยเป็นการทำงานระหว่างเมตาฮิวริสติกส์สองวิธีมารวมกัน คือ วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) และวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ในบริษัทค้าวัสดุก่อสร้างมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อหาแนวทางการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าและการจัดเรียงสินค้าบนรถขนส่งให้เหลือที่ใช้ประโยชน์มากที่สุด โดยใช้รถขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีวิธีนำเสนอในงานวิจัยเล่มนี้ คือ ลองใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์อื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ในปัญหาวิธีจัดเส้นทางรถขนส่งและจัดเรียงกล่องสินค้า หรืออาจจะเพิ่มวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบอื่น ๆ เพิ่มเติมได้

## รายการอ้างอิง

- กาญจนา ลิ้มวัฒนากุล. (2558). การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าและการจัดการพื้นที่รถบรรทุก 4 ล้อ สำหรับขนส่งน้ำมันหล่อลื่น. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพฯ.
- ประดิษฐ์วงศ์, ก., & ทะเลทอง, ธ. (2559). ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและการค้นเฉพาะที่สำหรับการแก้ปัญหาการบรรจุผลิตรถยนต์ในสามมิติ. วารสารวิชาการศิลปากร, 3.
- ปิยะชยวัศ, ธ., มุ่งวัฒนา, อ., & สุพิทักษ์, ว. (2560). ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการสำหรับการจัดสรรกล่องสินค้าบนพาเลทหลายขนาด กรณีศึกษา: โรงงานผลิตคอมพิวเตอร์สองสว่าง. วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน, 1.
- พลสวัสดิ์, จ. (2546). ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีค้นเฉพาะที่สำหรับปัญหาการบรรจุผลิตรถยนต์ในสามมิติ. (วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
- พอเจตน์ จิตพิพัฒน์พงษ์, และชุมพล มณฑาทิพย์กุล. (2552). การใช้โปรแกรมเอ็กซ์เซลโซลเวอ์เพื่อปรับปรุงการจัดรถขนส่งสินค้า. การประชุมสัมมนาวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน.
- ยศวังใจ, ศ., & คำเมือง, ข. (2559). แบบจำลองกำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบผสมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งแบบพลวัต. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2, 223-238.
- ลิ้มวัฒนากุล, ก. (2558). การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าและการจัดการพื้นที่รถบรรทุก 4 ล้อ สำหรับขนส่งน้ำมันหล่อลื่น. (วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร,
- ศรีแก้ว, อ. (2545). จินเนติกอัลกอริทึม ตอนที่ 1. วารสารเทคโนโลยีสุรนารี, 1.
- Babaoglu, i. (2017). Solving 2D strip packing problem using fruit fly optimization algorithm. **International Conference on Advances in Information Technology**, 111, 52-57.
- Beyaz, M., Dokeroglu, T., & Cosar, A. (2015). Robust hyper-heuristic algorithms for the offline oriented/non-oriented 2D bin packing problems. **Applied Soft Computing**, 36, 236-245.
- Blum, C., & Schmid, V. (2013). Solving the 2D Bin Packing Problem by Means of a Hybrid Evolutionary Algorithm. **Procedia Computer Science**, 18, 899-908.
- Bortfeldt, A. (2012). A hybrid algorithm for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. **Computers & Operations Research**, 39(9), 2248-2257

- Chen, A.-l., Yang, G.-k., & Wu, Z.-m. (2006). Hybrid discrete particle swarm optimization algorithm for capacitated vehicle routing problem. **Journal of Zhejiang University-SCIENCE A**, 7(4), 607-614.
- Chen, B., Wang, Y., & Yang, S. (2015). A Hybrid Demon Algorithm for the Two-Dimensional Orthogonal Strip Packing Problem. **Mathematical Problems in Engineering**, 2015, 1-14.
- Dokeroglu, T., & Cosar, A. (2014). Optimization of one-dimensional Bin Packing Problem with island parallel grouping genetic algorithms. **Computers & Industrial Engineering**, 75, 176-186.
- Fernandes, S., & Lourenço, H. R. (2007). **Hybrids Combining Local Search Heuristics with Exact Algorithms MAEB**, 269-274.
- Ferreira, D. N. G. (2015). Rectangular bin-packing problem a computational evaluation of 4 heuristics algorithms. **U.Porto Journal of Engineering**, 35-49.
- Gonçalves, J. F., & Resende, M. G. C. (2013). A biased random key genetic algorithm for 2D and 3D bin packing problems. **International Journal of Production Economics**, 145(2), 500-510.
- Hassan, A., & Pillay, N. (2019). Hybrid metaheuristics: An automated approach. **Expert Systems with Applications**, 130, 132-144.
- Hifi, M., Negre, S., & Wu, L. (2014). Hybrid greedy heuristics based on linear programming for the three-dimensional single bin-size bin packing problem. **International Transactions in Operational Research**, 21(1), 59-79.
- Hopper, E. (2000). **Two-dimensional Packing utilizing Evolutionary Algorithms and other Meta-Heuristic Methods**. (Doctor of Philosophy), University of Wales,
- Juan, A. A., Faulin, J., Ruiz, R., Barrios, B., & Caballé, S. (2010). The SR-GCWS hybrid Algorithm for solving the capacitated vehicle routing problem. **Applied Soft Computing**, 10(1), 215-224.
- Junior, B. A., Pinheiro, P. R., & Saraiva, R. D. (2013). A Hybrid Methodology for Tackling the Irregular Strip Packing Problem\*. **IFAC Proceedings Volumes**, 46(7), 396-401.
- Kierkosz, I., & Luczak, M. (2013). A hybrid evolutionary algorithm for the two-dimensional packing problem. **Central European Journal of Operations Research**, 22(4), 729-753.

- Lacomme, P., Toussaint, H., & Duhamel, C. (2013). A GRASP×ELS for the vehicle routing problem with basic three-dimensional loading constraints. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(8), 1795-1810.
- Leon, C. M., Gara, & Segura, C. (2009). A memetic algorithm and a parallel hyper heuristic island-based model for a 2D packing problem. *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference on - GECCO '09*.
- Li, X., & Zhang, K. (2015). A hybrid differential evolution algorithm for multiple container loading problem with heterogeneous containers. *Computers & Industrial Engineering*, 90, 305-313.
- Liu, D. S., Tan, K. C., Goh, C. K., & Ho, W. K. (2006). On Solving Multi objective Bin Packing Problems Using Particle Swarm Optimization. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*.
- Liu, X., Liu, J.-m., Cao, A.-x., & Yao, Z.-l. (2015). HAPE3D—a new constructive algorithm for the 3D irregular packing problem. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 16(5), 380-390.
- Mohamed, B. M. A., & Adnan, Y. (2009). Optimization by ant colony hybrid for the bin packing problem. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 49.
- Parreno, F., Alvarez-Valdes, R., Oliveira, J. F., & Tamarit, J. M. (2008). A hybrid GRASP/VND algorithm for two- and three-dimensional bin packing. *Annals of Operations Research*, 179(1), 203-220.
- Pintea, C.-M., Pascan, C., & Hajdu-Macelaru, M. (2012). *New heuristic and interactive approaches to 2D rectangular strip packing*.
- Salto, C., Leguizamón, G., Alba, E., & Molina, J. M. (2008). Hybrid Ant Colony System to Solve a 2 - Dimensional Strip Packing Problem. *Paper presented at the 2008 Eighth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*.
- Subramanian, A., Uchoa, E., & Ochi, L. S. (2013). A hybrid algorithm for a class of vehicle routing problems. *Computers & Operations Research*, 40(10), 2519-2531.
- 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*.

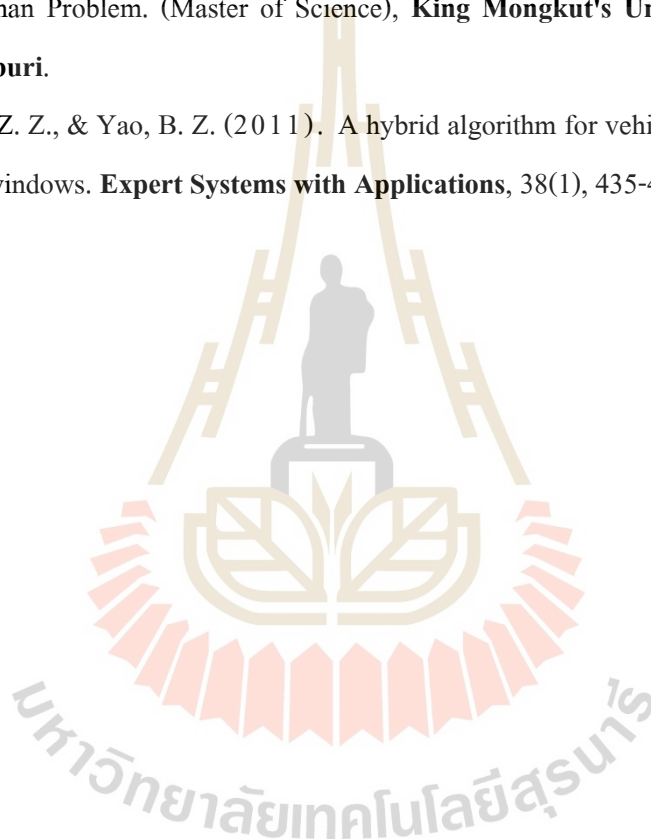
Thiruvady, D. R., Meyer, B., & Ernst, A. T. (2008). Strip packing with hybrid ACO Placement order is learnable. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**.

Wang, H. C., Yanjie. (2010). A hybrid genetic algorithm for 3D bin packing problems. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**.

Sombat, A. (2017). A new hybrid algorithm of genetic algorithms and particle swarm optimization. (Master of Science), **King Mongkut's University of Technology Thonburi**.

Yoochum, N. (2018). A New Hybrid Algorithm with Crossover Operator for the Travelling Salesman Problem. (Master of Science), **King Mongkut's University of Technology Thonburi**.

Yu, B., Yang, Z. Z., & Yao, B. Z. (2011). A hybrid algorithm for vehicle routing problem with time windows. **Expert Systems with Applications**, 38(1), 435-441.





ภาคผนวก ก

การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 1 รอบที่ 100

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	MAX	
โครโมโซม	Loop 100															FITNESS	
คู่โครโมโซมและการเข้ารหัส																	
พ่อ	21A	22A	125A	129C	124A	23A	1210D	121A	122A	123A	126A	127A	128A	25C	24A		
แม่	23A	1210D	121A	24A	126A	128A	124A	125A	129C	127A	25C	21A	122A	123A	22A		
การใช้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																	
พ่อ	21A	22A	H	H	H	23A	1210D	121A	122A	123A	126A	H	128A	25C	24A		
แม่	23A	H	H	24A	126A	128A	124A	125A	129C	127A	25C	21A	H	H	22A		
พ่อ	1210D	121A	122A	123A	H	H	H	H	126A	128A	25C	24A	21A	22A	23A		
แม่	124A	125A	129C	127A	H	H	H	H	25C	21A	22A	23A	24A	126A	128A		
พ่อ	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	127A	126A	128A	25C	24A	21A	22A	23A		
แม่	124A	125A	129C	127A	1210D	121A	122A	123A	25C	21A	22A	23A	24A	126A	128A		
กลายพันธุ์ (Mutation)																	
พ่อ	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	24A	21A	22A	23A		0
แม่	124A	125A	129C	127A	1210D	121A	122A	25C	123A	21A	22A	23A	24A	126A	128A		No

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 1 รอบที่ 100 (ต่อ)

Local Search รอบที่ 100																	
ที่	ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Fitness
	คู่	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	24A	21A	22A	23A	0
1	(3,4),(8,10),(12,15)	1210D	121A	123A	122A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	23A	21A	22A	24A	0
2	(5,9),(8,10),(12,15)	1210D	121A	122A	123A	127A	125A	129C	128A	124A	126A	25C	23A	21A	22A	24A	0
3	(3,14),(8,10),(12,15)	1210D	121A	22A	123A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	23A	21A	122A	24A	No
4	(1,2),(8,10),(12,15)	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	23A	21A	22A	24A	No
5	(13,14),(8,10),(12,15)	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	23A	22A	21A	24A	0
6	(4,6),(3,5),(13,14)	1210D	121A	124A	125A	122A	123A	129C	126A	127A	128A	25C	24A	22A	21A	23A	0
7	(9,10),(3,5),(13,14)	1210D	121A	124A	123A	122A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	24A	22A	21A	23A	0
8	(11,12),(3,5),(13,14)	1210D	121A	124A	123A	122A	125A	129C	126A	127A	128A	24A	25C	22A	21A	23A	No
9	(10,12),(3,5),(13,14)	1210D	121A	124A	123A	122A	125A	129C	126A	127A	24A	25C	128A	22A	21A	23A	No
10	(8,9),(3,5),(13,14)	1210D	121A	124A	123A	122A	125A	129C	127A	126A	128A	25C	24A	22A	21A	23A	0
11	(3,5),(4,6),(9,10)	1210D	121A	124A	125A	122A	123A	129C	126A	128A	127A	25C	24A	21A	22A	23A	0
12	(14,15),(4,6),(9,10)	1210D	121A	122A	125A	124A	123A	129C	126A	128A	127A	25C	24A	21A	23A	22A	0
13	(12,13),(4,6),(9,10)	1210D	121A	122A	125A	124A	123A	129C	126A	128A	127A	25C	21A	24A	22A	23A	0
14	(13,15),(4,6),(9,10)	1210D	121A	122A	125A	124A	123A	129C	126A	128A	127A	25C	24A	23A	22A	21A	0
15	(8,11),(4,6),(9,10)	1210D	121A	122A	125A	124A	123A	129C	25C	128A	127A	126A	24A	21A	22A	23A	No
16	(1,3),(9,10),(12,14)	122A	121A	1210D	123A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	22A	21A	24A	23A	No
17	(5,6),(9,10),(12,14)	1210D	121A	122A	123A	125A	124A	129C	126A	128A	127A	25C	22A	21A	24A	23A	0
18	(13,15),(9,10),(12,14)	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	22A	23A	24A	21A	0
19	(2,4),(9,10),(12,14)	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	22A	21A	24A	23A	0
20	(1,2),(9,10),(12,14)	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	22A	21A	24A	23A	No

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 2 รอบที่ 1

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	MAX FITNESS
โครโมโซม	Loop 1																				
คู่โครโมโซมและการเข้ารหัส																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
พ่อ	193C	194C	31B	33D	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	61C	62C	63C	34D	64C	32D	65C	192C	
แม่	196D	181A	34D	182A	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	184A	32D	191B	195D	31B	183A	33D	185A	
การใช้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																					
พ่อ	H	H	31B	33D	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	H	H	H	34D	H	32D	H	H	
แม่	H	H	34D	H	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	H	32D	H	H	31B	H	33D	H	
พ่อ	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	H	H	H	H	H	H	H	H	31B	33D	34D	32D	
แม่	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	H	H	H	H	H	H	H	H	32D	31B	33D	34D	
พ่อ	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	31B	33D	34D	32D	
แม่	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	31B	33D	34D	
กลายพันธุ์ (Mutation)																					
ลูก1	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	61C	62C	63C	64C	65C	193C	192C	194C	31B	33D	34D	32D	NO
ลูก2	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	181A	182A	184A	183A	185A	32D	31B	33D	34D	1,770,000

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 2 รอบที่ 1 (ต่อ)

Local Search รอบที่ 1																						
ที่	ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Fitness
	คู่	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	181A	182A	184A	183A	185A	32D	31B	33D	34D	1,770,000
1	(2,4),(7,10),(12,15)	61C	64C	63C	62C	65C	192C	195D	194C	191B	193C	196D	183A	182A	184A	181A	185A	32D	31B	33D	34D	1,260,000
2	(5,9),(7,10),(12,15)	61C	62C	63C	64C	191B	192C	195D	194C	65C	193C	196D	183A	182A	184A	181A	185A	32D	31B	33D	34D	No
3	(3,14),(7,10),(12,15)	61C	62C	184A	64C	65C	192C	195D	194C	191B	193C	196D	183A	182A	63C	181A	185A	32D	31B	33D	34D	No
4	(4,8),(7,10),(12,15)	61C	62C	63C	194C	65C	192C	195D	64C	191B	193C	196D	183A	182A	184A	181A	185A	32D	31B	33D	34D	No
5	(6,11),(7,10),(12,15)	61C	62C	63C	64C	65C	196D	195D	194C	191B	193C	192C	183A	182A	184A	181A	185A	32D	31B	33D	34D	1,080,000
6	(1,6),(3,5),(11,14)	192C	62C	65C	64C	63C	61C	193C	194C	191B	195D	184A	181A	182A	196D	183A	185A	32D	31B	33D	34D	No
7	(2,10),(3,5),(11,14)	61C	195D	65C	64C	63C	192C	193C	194C	191B	62C	184A	181A	182A	196D	183A	185A	32D	31B	33D	34D	No
8	(1,4),(3,5),(11,14)	64C	62C	65C	61C	63C	192C	193C	194C	191B	195D	184A	181A	182A	196D	183A	185A	32D	31B	33D	34D	No
9	(10,12),(3,5),(11,14)	61C	62C	65C	64C	63C	192C	193C	194C	191B	181A	184A	195D	182A	196D	183A	185A	32D	31B	33D	34D	No
10	(8,15),(3,5),(11,14)	61C	62C	65C	64C	63C	192C	193C	183A	191B	195D	184A	181A	182A	196D	194C	185A	32D	31B	33D	34D	No
11	(3,4),(12,14),(18,19)	61C	62C	64C	63C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D	1,770,000
12	(15,16),(12,14),(18,19)	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	185A	183A	32D	33D	31B	34D	1,770,000
13	(2,3),(12,14),(18,19)	61C	63C	62C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D	1,770,000
14	(5,6),(12,14),(18,19)	61C	62C	63C	64C	192C	65C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D	NO
15	(8,9),(12,14),(18,19)	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D	1,530,000
16	(3,4),(8,9),(14,16)	61C	62C	64C	63C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	181A	182A	185A	183A	184A	32D	31B	33D	34D	1,530,000
17	(12,13),(8,9),(14,16)	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	182A	181A	185A	183A	184A	32D	31B	33D	34D	1,530,000
18	(18,19),(8,9),(14,16)	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	181A	182A	185A	183A	184A	32D	33D	31B	34D	1,530,000
19	(2,3),(8,9),(14,16)	61C	63C	62C	64C	65C	192C	193C	191B	194C	195D	196D	181A	182A	185A	183A	184A	32D	31B	33D	34D	1,530,000
20	(5,6),(8,9),(14,16)	61C	62C	63C	64C	192C	65C	193C	191B	194C	195D	196D	181A	182A	185A	183A	184A	32D	31B	33D	34D	No

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 2 รอบที่ 2

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	MAX FITNESS	
โครโมโซม	Loop 2																					
คู่โครโมโซมและการเข้ารหัส																						
พ่อ	61C	63C	62C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	183A	185A	32D	33D	31B	34D		
แม่	195D	196D	32D	33D	61C	183A	185A	63C	62C	31B	34D	64C	65C	192C	193C	194C	184A	182A	181A	191B		
การใช้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																						
พ่อ	61C	H	H	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	184A	182A	181A	H	H	32D	33D	31B	34D		
แม่	195D	196D	32D	33D	61C	183A	185A	63C	62C	31B	34D	64C	65C	H	H	H	184A	182A	181A	H		
พ่อ	192C	193C	194C	191B	H	H	H	H	195D	196D	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D	61C	64C	65C		
แม่	183A	185A	63C	62C	H	H	H	H	31B	34D	64C	65C	184A	182A	181A	195D	196D	32D	33D	61C		
พ่อ	192C	193C	194C	191B	183A	185A	63C	62C	195D	196D	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D	61C	64C	65C		
แม่	183A	185A	63C	62C	192C	193C	194C	191B	31B	34D	64C	65C	184A	182A	181A	195D	196D	32D	33D	61C		
กลายพันธุ์ (Mutation)																						
ลูก1	192C	193C	194C	191B	185A	183A	63C	62C	195D	196D	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D	61C	64C	65C		No
ลูก2	183A	185A	63C	62C	193C	192C	194C	191B	31B	34D	64C	65C	184A	182A	181A	195D	196D	32D	33D	61C		No
Local Search รอบที่ 2																						
ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		Max Fitness
พ่อ	192C	193C	194C	191B	185A	183A	63C	62C	195D	196D	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D	61C	64C	65C		
กระจายกล่อง สินค้าตามลำดับ การขนส่ง และ ปริมาณคำสั่งซื้อ ของลูกค้าแต่ละราย	63C	62C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		1,770,000

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 2 รอบที่ 3

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	MAX FITNESS	
โครโมโซม	Loop 3																					
คู่โครโมโซมและการเข้ารหัส																						
พ่อ	63C	62C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	185A	183A	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	31B	34D	63C	181A	193C	194C	191B	195D	32D	33D	185A	184A	182A	61C	64C	196D	62C	183A	65C	192C		
การใช้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																						
พ่อ	63C	H	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	H	185A	H	184A	182A	181A	32D	33D	31B	34D		
แม่	31B	34D	63C	H	193C	194C	191B	195D	H	H	185A	184A	182A	61C	64C	196D	62C	183A	65C	192C		
พ่อ	181A	32D	33D	H	H	H	31B	34D	63C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A		
แม่	196D	62C	183A	H	H	H	65C	192C	31B	34D	63C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	61C	64C		
พ่อ	181A	32D	33D	196D	62C	183A	31B	34D	63C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A		
แม่	196D	62C	183A	181A	32D	33D	65C	192C	31B	34D	63C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	61C	64C		
กลายพันธุ์ (Mutation)																						
ลูก1	181A	32D	33D	62C	196D	183A	31B	34D	63C	61C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A		No
ลูก2	196D	62C	183A	32D	181A	33D	65C	192C	31B	34D	63C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	61C	64C		No
Local Search รอบที่ 3																						
ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		Max Fitness
พ่อ	196D	62C	183A	32D	181A	33D	65C	192C	31B	34D	63C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	61C	64C		
กระจายกล่อง สินค้าตามลำดับ การขนส่ง และ ปริมาณคำสั่งซื้อ ของลูกค้าแต่ละราย	62C	65C	63C	61C	64C	196D	192C	193C	194C	191B	195D	185A	184A	182A	183A	181A	32D	33D	31B	34D		1,530,000

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 2 รอบที่ 100

Local Search รอบที่ 100																						
ที่	ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Fitness
	สุ่ม	61C	64C	65C	63C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	181A	185A	183A	181A	182A	31B	32D	33D	34D	1,770,000
1	(2,4),(11,16),(17,20)	61C	63C	65C	64C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	182A	181A	185A	183A	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No
2	(5,9),(11,16),(17,20)	61C	64C	65C	63C	191B	192C	193C	194C	62C	195D	182A	181A	185A	183A	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No
3	3,14),(11,16),(17,20)	61C	64C	183A	63C	62C	192C	193C	194C	191B	195D	182A	181A	185A	65C	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No
4	(4,8),(11,16),(17,20)	61C	64C	65C	194C	62C	192C	193C	63C	191B	195D	182A	181A	185A	183A	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No
5	8,10),(11,16),(17,20)	61C	64C	65C	63C	62C	192C	193C	195D	191B	194C	182A	181A	185A	183A	181A	196D	34D	32D	33D	31B	No
6	(1,6),(2,4),(8,12)	192C	63C	65C	64C	62C	61C	193C	181A	191B	195D	196D	194C	185A	183A	181A	182A	31B	32D	33D	34D	No
7	(3,10),(2,4),(8,12)	61C	63C	195D	64C	62C	192C	193C	181A	191B	64C	196D	194C	185A	183A	181A	182A	31B	32D	33D	34D	No
8	(1,18),(2,4),(8,12)	32D	63C	65C	64C	62C	192C	193C	181A	191B	195D	196D	194C	185A	183A	181A	182A	31B	61C	33D	34D	No
9	(10,14),(2,4),(8,12)	61C	63C	65C	64C	62C	192C	193C	181A	191B	183A	196D	194C	185A	195D	181A	182A	31B	32D	33D	34D	No
10	(9,15),(2,4),(8,12)	61C	63C	65C	64C	62C	192C	193C	181A	181A	195D	196D	194C	185A	183A	194C	182A	31B	32D	33D	34D	No
11	(1,4),(3,9),(18,19)	63C	64C	191B	61C	62C	192C	193C	194C	65C	195D	196D	181A	185A	183A	181A	182A	31B	33D	32D	34D	No
12	(15,16),(3,9),(18,19)	61C	64C	191B	63C	62C	192C	193C	194C	65C	195D	196D	181A	185A	183A	182A	181A	31B	33D	32D	34D	No
13	(2,13),(3,9),(18,19)	61C	185A	191B	63C	62C	192C	193C	194C	65C	195D	196D	181A	64C	183A	181A	182A	31B	33D	32D	34D	No
14	(5,6),(3,9),(18,19)	61C	64C	191B	63C	192C	62C	193C	194C	65C	195D	196D	181A	185A	183A	181A	182A	31B	33D	32D	34D	No
15	(8,11),(3,9),(18,19)	61C	64C	191B	63C	62C	192C	193C	196D	65C	195D	196D	181A	185A	183A	181A	182A	31B	33D	32D	34D	No
16	(3,4),(6,10),(14,16)	61C	64C	63C	65C	62C	195D	193C	194C	191B	192C	196D	181A	185A	182A	181A	183A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
17	12,13),(6,10),(14,16)	61C	64C	65C	63C	62C	195D	193C	194C	191B	192C	196D	185A	181A	182A	181A	183A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
18	18,19),(6,10),(14,16)	61C	64C	65C	63C	62C	195D	193C	194C	191B	192C	196D	181A	185A	182A	181A	183A	31B	33D	32D	34D	1,260,000
19	(2,5),(6,10),(14,16)	61C	62C	65C	63C	64C	195D	193C	194C	191B	192C	196D	181A	185A	182A	181A	183A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
20	(7,11),(6,10),(14,16)	61C	64C	65C	63C	62C	195D	196D	194C	191B	192C	193C	181A	185A	182A	181A	183A	31B	32D	33D	34D	1,770,000



ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 3 รอบที่ 100

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	MAX FITNESS	
โครโมโซม	Loop 100																
คู่โครโมโซมและการเข้ารหัส																	
พ่อ	76A	41B	77A	43D	44D	45D	79D	710D	71A	42B	78D	72A	73A	74A	75A		
แม่	75A	76A	77A	41B	42B	78D	79D	710D	71A	72A	73A	74A	43D	44D	45D		
การใช้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																	
พ่อ	76A	H	77A	43D	44D	45D	79D	710D	71A	H	H	72A	73A	74A	75A		
แม่	75A	76A	77A	41B	42B	78D	79D	710D	71A	72A	73A	74A	H	H	H		
พ่อ	43D	44D	45D	H	H	H	79D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A		
แม่	41B	42B	78D	H	H	H	79D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A		
พ่อ	43D	44D	45D	41B	42B	78D	79D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A		
แม่	41B	42B	78D	43D	44D	45D	79D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A		
กลายพันธุ์ (Mutation)																	
พ่อ	43D	44D	45D	41B	42B	78D	79D	710D	71A	72A	73A	75A	74A	76A	77A		0
แม่	41B	42B	78D	43D	44D	45D	79D	710D	71A	72A	73A	75A	74A	76A	77A		No

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 3 รอบที่ 100 (ต่อ)

Local Search รอบที่ 100																	
ที่	ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Fitness
	คู่	43D	44D	45D	41B	42B	78D	79D	710D	71A	72A	73A	75A	74A	76A	77A	
1	(2,4),(7,10),(12,15)	43D	41B	45D	44D	42B	78D	72A	710D	71A	79D	73A	77A	74A	76A	75A	No
2	(5,9),(7,10),(12,15)	43D	44D	45D	41B	71A	78D	72A	710D	42B	79D	73A	77A	74A	76A	75A	No
3	(3,14),(7,10),(12,15)	43D	44D	76A	41B	42B	78D	72A	710D	71A	79D	73A	77A	74A	45D	75A	No
4	(4,8),(7,10),(12,15)	43D	44D	45D	710D	42B	78D	72A	41B	71A	79D	73A	77A	74A	76A	75A	No
5	(6,11),(7,10),(12,15)	43D	44D	45D	41B	42B	73A	72A	710D	71A	79D	78D	77A	74A	76A	75A	No
6	(1,6),(3,5),(11,14)	78D	44D	42B	41B	45D	43D	79D	710D	71A	72A	76A	75A	74A	73A	77A	No
7	(2,10),(3,5),(11,14)	43D	72A	42B	41B	45D	78D	79D	710D	71A	44D	76A	75A	74A	73A	77A	No
8	(1,4),(3,5),(11,14)	41B	44D	42B	43D	45D	78D	79D	710D	71A	72A	76A	75A	74A	73A	77A	0
9	(10,12),(3,5),(11,14)	43D	44D	42B	41B	45D	78D	79D	710D	71A	75A	76A	72A	74A	73A	77A	0
10	(8,15),(3,5),(11,14)	43D	44D	42B	41B	45D	78D	79D	77A	71A	72A	76A	75A	74A	73A	710D	No
11	(1,5),(6,8),(13,15)	42B	44D	45D	41B	43D	710D	79D	78D	71A	72A	73A	75A	77A	76A	74A	0
12	(2,3),(6,8),(13,15)	43D	45D	44D	41B	42B	710D	79D	78D	71A	72A	73A	75A	77A	76A	74A	0
13	(9,10),(6,8),(13,15)	43D	44D	45D	41B	42B	710D	79D	78D	72A	71A	73A	75A	77A	76A	74A	0
14	(12,14),(6,8),(13,15)	43D	44D	45D	41B	42B	710D	79D	78D	71A	72A	73A	76A	77A	75A	74A	0
15	(4,5),(6,8),(13,15)	43D	44D	45D	42B	41B	710D	79D	78D	71A	72A	73A	75A	77A	76A	74A	0
16	(1,5),(7,8),(9,11)	42B	44D	45D	41B	43D	78D	710D	79D	73A	72A	71A	75A	74A	76A	77A	0
17	(2,3),(7,8),(9,11)	43D	45D	44D	41B	42B	78D	710D	79D	73A	72A	71A	75A	74A	76A	77A	0
18	(10,12),(7,8),(9,11)	43D	44D	45D	41B	42B	78D	710D	79D	73A	75A	71A	72A	74A	76A	77A	0
19	(12,14),(7,8),(9,11)	43D	44D	45D	41B	42B	78D	710D	79D	73A	72A	71A	76A	74A	75A	77A	0
20	(4,5),(7,8),(9,11)	43D	44D	45D	42B	41B	78D	710D	79D	73A	72A	71A	75A	74A	76A	77A	0

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 4 รอบที่ 100

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	MAX	
โครโมโซม	Loop 100															FITNESS	
คู่มโครโมโซมและการเข้ารหัส																	
พ่อ	116C	111A	163A	161A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	112A	113A	114A	115A	162A		
แม่	161A	162A	104B	106D	116C	111A	112A	113A	114A	115A	163A	105D	101A	102A	103B		
การไข่เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																	
พ่อ	H	H	163A	161A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	H	H	H	H	162A		
แม่	161A	162A	H	H	116C	111A	112A	113A	114A	115A	163A	H	H	H	H		
พ่อ	105D	101A	102A	103B	104B	106D	H	H	H	H	H	H	162A	163A	161A		
แม่	116C	111A	112A	113A	114A	115A	H	H	H	H	H	H	163A	161A	162A		
พ่อ	105D	101A	102A	103B	104B	106D	116C	111A	112A	113A	114A	115A	162A	163A	161A		
แม่	116C	111A	112A	113A	114A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	163A	161A	162A		
กลายพันธ์ (Mutation)																	
พ่อ	105D	101A	102A	103B	104B	106D	116C	112A	111A	113A	114A	115A	162A	163A	161A		No
แม่	116C	111A	112A	113A	114A	115A	105D	102A	101A	103B	104B	106D	163A	161A	162A		0



ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 4 รอบที่ 100 (ต่อ)

Local Search รอบที่ 100																	
ที่	ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Fitness
	ตู้ม	116C	111A	112A	113A	114A	115A	105D	102A	101A	103B	104B	106D	163A	161A	162A	0
1	(2,4),(7,10),(12,15)	116C	113A	112A	111A	114A	115A	103B	102A	101A	105D	104B	162A	163A	161A	106D	No
2	(5,9),(7,10),(12,15)	116C	111A	112A	113A	101A	115A	103B	102A	114A	105D	104B	162A	163A	161A	106D	No
3	(3,14),(7,10),(12,15)	116C	111A	161A	113A	114A	115A	103B	102A	101A	105D	104B	162A	163A	112A	106D	No
4	(4,8),(7,10),(12,15)	116C	111A	112A	102A	114A	115A	103B	113A	101A	105D	104B	162A	163A	161A	106D	No
5	(6,11),(7,10),(12,15)	116C	111A	112A	113A	114A	104B	103B	102A	101A	105D	115A	162A	163A	161A	106D	No
6	(14,15),(3,5),(10,11)	116C	111A	114A	113A	112A	115A	105D	102A	101A	104B	103B	106D	163A	162A	161A	0
7	(2,4),(3,5),(10,11)	116C	113A	114A	111A	112A	115A	105D	102A	101A	104B	103B	106D	163A	161A	162A	0
8	(8,9),(3,5),(10,11)	116C	111A	114A	113A	112A	115A	105D	101A	102A	104B	103B	106D	163A	161A	162A	0
9	(13,14),(3,5),(10,11)	116C	111A	114A	113A	112A	115A	105D	102A	101A	104B	103B	106D	161A	163A	162A	0
10	(7,12),(3,5),(10,11)	116C	111A	114A	113A	112A	115A	106D	102A	101A	104B	103B	105D	163A	161A	162A	0
11	(1,15),(2,3),(7,12)	162A	112A	111A	113A	114A	115A	106D	102A	101A	103B	104B	105D	163A	161A	116C	No
12	(10,15),(2,3),(7,12)	116C	112A	111A	113A	114A	115A	106D	102A	101A	162A	104B	105D	163A	161A	103B	No
13	(8,13),(2,3),(7,12)	116C	112A	111A	113A	114A	115A	106D	163A	101A	103B	104B	105D	102A	161A	162A	No
14	(9,10),(2,3),(7,12)	116C	112A	111A	113A	114A	115A	106D	102A	103B	101A	104B	105D	163A	161A	162A	0
15	(10,11),(2,3),(7,12)	116C	112A	111A	113A	114A	115A	106D	102A	101A	104B	103B	105D	163A	161A	162A	0
16	(1,5),(10,12),(13,14)	114A	111A	112A	113A	116C	115A	104B	102A	101A	106D	105D	103B	161A	163A	162A	No
17	(7,11),(10,12),(13,14)	116C	111A	112A	113A	114A	115A	104B	102A	101A	106D	105D	103B	161A	163A	162A	0
18	(8,9),(10,12),(13,14)	116C	111A	112A	113A	114A	115A	105D	101A	102A	106D	104B	103B	161A	163A	162A	0
19	(5,6),(10,12),(13,14)	116C	111A	112A	113A	115A	114A	105D	102A	101A	106D	104B	103B	161A	163A	162A	0
20	(2,5),(10,12),(13,14)	116C	114A	112A	113A	111A	115A	105D	102A	101A	106D	104B	103B	161A	163A	162A	0

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 5 รอบที่ 100

ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	MAX FITNESS
โครโมโซม	Loop 100																				
คู่โครโมโซมและการเข้ารหัส																					
พ่อ	11D	92C	93D	151D	141C	51C	52C	53C	81C	82C	171C	91C	133D	131A	203D	204D	132A	205D	202A	201A	
แม่	52C	133D	141C	51C	92C	93D	151D	203D	204D	205D	202A	201A	53C	81C	82C	171C	91C	11D	131A	132A	
การใช้เปลี่ยนแบบ Order Crossover (OX)																					
พ่อ	11D	H	H	H	141C	51C	52C	53C	81C	82C	171C	91C	133D	131A	H	H	132A	H	H	H	
แม่	H	133D	H	H	92C	93D	151D	203D	204D	205D	202A	201A	H	H	H	H	H	11D	131A	132A	
พ่อ	141C	51C	52C	53C	81C	82C	171C	91C	H	H	H	H	H	H	H	H	133D	131A	132A	11D	
แม่	92C	93D	151D	203D	204D	205D	202A	201A	H	H	H	H	H	H	H	H	11D	132A	133D	131A	
พ่อ	141C	51C	52C	53C	81C	82C	171C	91C	92C	93D	151D	203D	204D	205D	202A	201A	133D	131A	132A	11D	
แม่	92C	93D	151D	203D	204D	205D	202A	201A	141C	51C	52C	53C	81C	82C	171C	91C	11D	132A	133D	131A	
กลายพันธุ์ (Mutation)																					
พ่อ	141C	51C	52C	53C	81C	82C	171C	91C	92C	93D	151D	203D	204D	202A	205D	201A	133D	131A	132A	11D	0
แม่	92C	93D	151D	203D	204D	205D	202A	201A	141C	51C	52C	53C	81C	171C	82C	91C	11D	132A	133D	131A	No



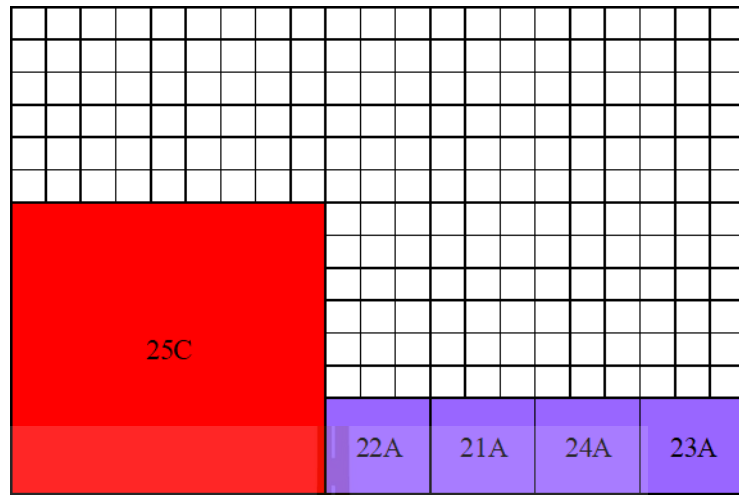
ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งด้วยวิธีการแบบไฮบริดของรถคันที่ 5 รอบที่ 100 (ต่อ)

Local Search รอบที่ 100																						
ที่	ตำแหน่ง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Fitness
	คู่	141C	51C	52C	53C	81C	82C	171C	91C	92C	93D	151D	203D	204D	202A	205D	201A	133D	131A	132A	11D	210,000
1	(2,4),(7,10),(12,15)	141C	53C	52C	51C	81C	82C	93D	91C	92C	171C	151D	205D	204D	202A	203D	201A	133D	131A	132A	11D	No
2	(5,9),(7,10),(12,15)	141C	51C	52C	53C	92C	82C	93D	91C	81C	171C	151D	205D	204D	202A	203D	201A	133D	131A	132A	11D	No
3	(3,14),(7,10),(12,15)	141C	51C	202A	53C	81C	82C	93D	91C	92C	171C	151D	205D	204D	52C	203D	201A	133D	131A	132A	11D	No
4	(4,8),(7,10),(12,15)	141C	51C	52C	91C	81C	82C	93D	53C	92C	171C	151D	205D	204D	202A	203D	201A	133D	131A	132A	11D	No
5	(6,11),(7,10),(12,15)	141C	51C	52C	53C	81C	151D	93D	91C	92C	171C	82C	205D	204D	202A	203D	201A	133D	131A	132A	11D	No
6	(14,15),(3,5),(10,11)	141C	51C	81C	53C	52C	82C	171C	91C	92C	151D	93D	203D	204D	205D	202A	201A	133D	131A	132A	11D	No
7	(2,4),(3,5),(10,11)	141C	53C	81C	51C	52C	82C	171C	91C	92C	151D	93D	203D	204D	202A	205D	201A	133D	131A	132A	11D	No
8	(8,9),(3,5),(10,11)	141C	51C	81C	53C	52C	82C	171C	92C	91C	151D	93D	203D	204D	202A	205D	201A	133D	131A	132A	11D	No
9	(13,14),(3,5),(10,11)	141C	51C	81C	53C	52C	82C	171C	91C	92C	151D	93D	203D	202A	204D	205D	201A	133D	131A	132A	11D	No
10	(7,12),(3,5),(10,11)	141C	51C	81C	53C	52C	82C	203D	91C	92C	151D	93D	171C	204D	202A	205D	201A	133D	131A	132A	11D	No
11	(1,15),(2,3),(14,16)	205D	52C	51C	53C	81C	82C	171C	91C	92C	93D	151D	203D	204D	201A	141C	202A	133D	131A	132A	11D	No
12	(10,15),(2,3),(14,16)	141C	52C	51C	53C	81C	82C	171C	91C	92C	205D	151D	203D	204D	201A	93D	202A	133D	131A	132A	11D	No
13	(12,13),(2,3),(14,16)	141C	52C	51C	53C	81C	82C	171C	91C	92C	93D	151D	204D	203D	201A	205D	202A	133D	131A	132A	11D	210,000
14	(9,10),(2,3),(14,16)	141C	52C	51C	53C	81C	82C	171C	91C	93D	92C	151D	203D	204D	201A	205D	202A	133D	131A	132A	11D	210,000
15	(10,11),(2,3),(14,16)	141C	52C	51C	53C	81C	82C	171C	91C	92C	151D	93D	203D	204D	201A	205D	202A	133D	131A	132A	11D	No
16	(1,14),(5,6),(18,19)	202A	51C	52C	53C	82C	81C	171C	91C	92C	93D	151D	203D	204D	141C	205D	201A	133D	132A	131A	11D	No
17	(7,11),(5,6),(18,19)	141C	51C	52C	53C	82C	81C	151D	91C	92C	93D	171C	203D	204D	202A	205D	201A	133D	132A	131A	11D	No
18	(8,9),(5,6),(18,19)	141C	51C	52C	53C	82C	81C	171C	92C	91C	93D	151D	203D	204D	202A	205D	201A	133D	132A	131A	11D	210,000
19	(12,13),(5,6),(18,19)	141C	51C	52C	53C	82C	81C	171C	91C	92C	93D	151D	204D	203D	202A	205D	201A	133D	132A	131A	11D	210,000
20	(2,4),(5,6),(18,19)	141C	53C	52C	51C	82C	81C	171C	91C	92C	93D	151D	203D	204D	202A	205D	201A	133D	132A	131A	11D	210,000

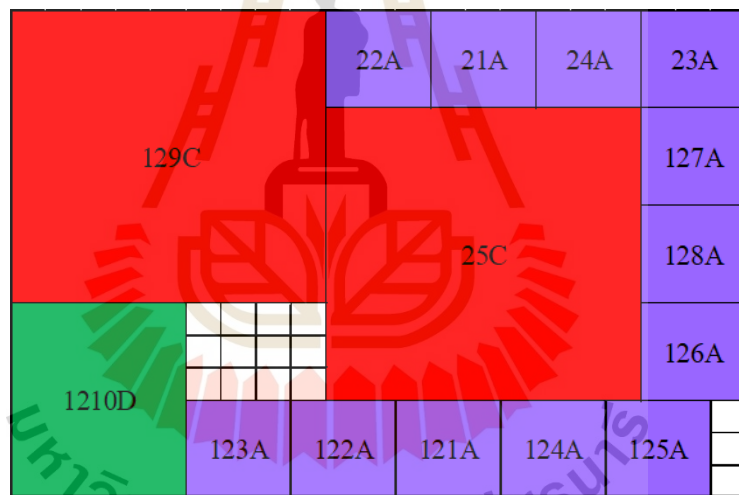
ภาคผนวก ข

รูปผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง



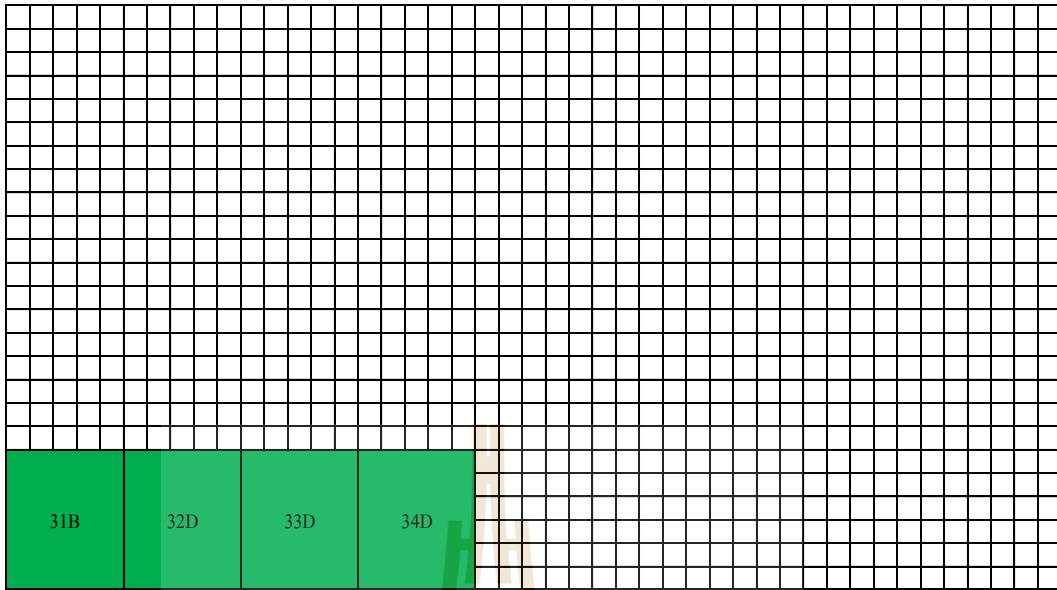


รูปที่ ข.1 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 2 ของรถขนส่งคันที่ 1

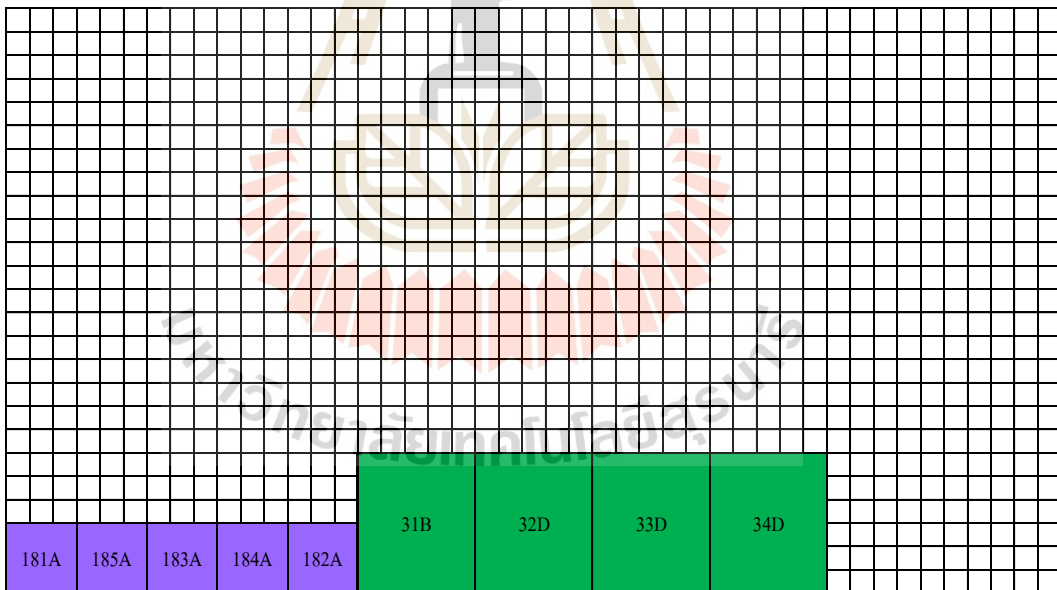


รูปที่ ข.2 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 2 และ 12 ของรถขนส่งคันที่ 1

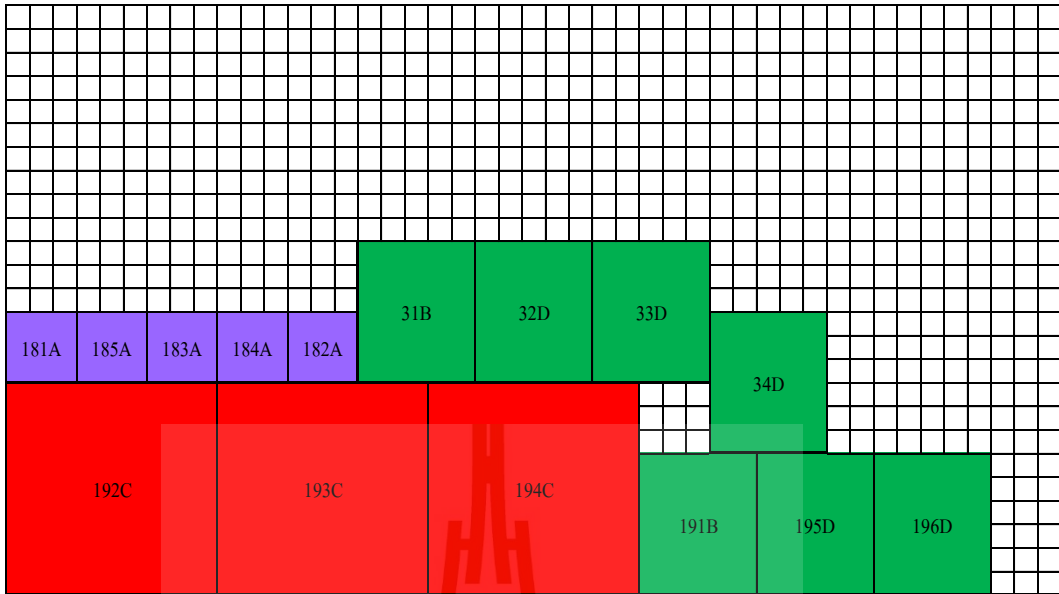




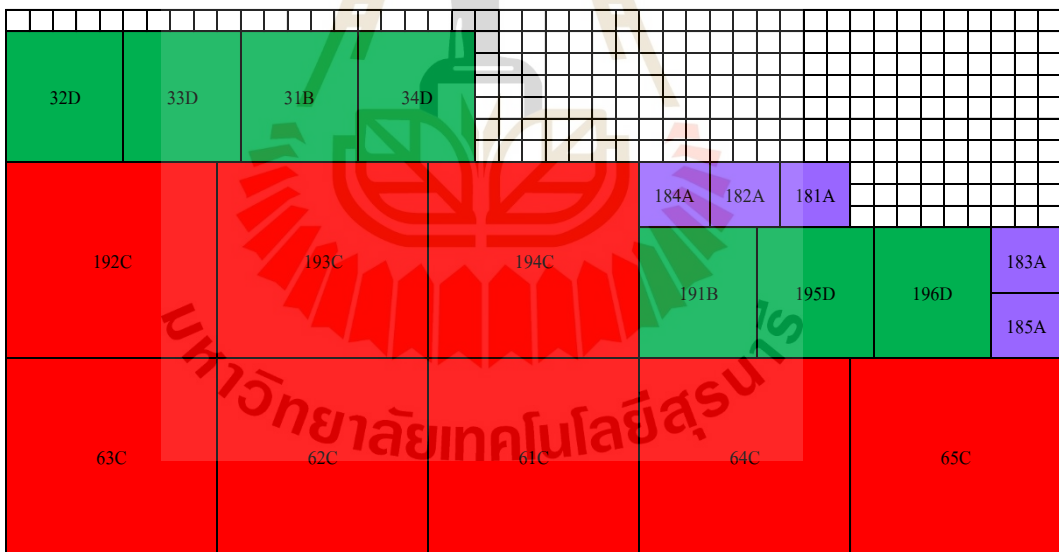
รูปที่ ข.3 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3 ของรถขนส่งคันที่ 2



รูปที่ ข.4 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3 และ 18 ของรถขนส่งคันที่ 2

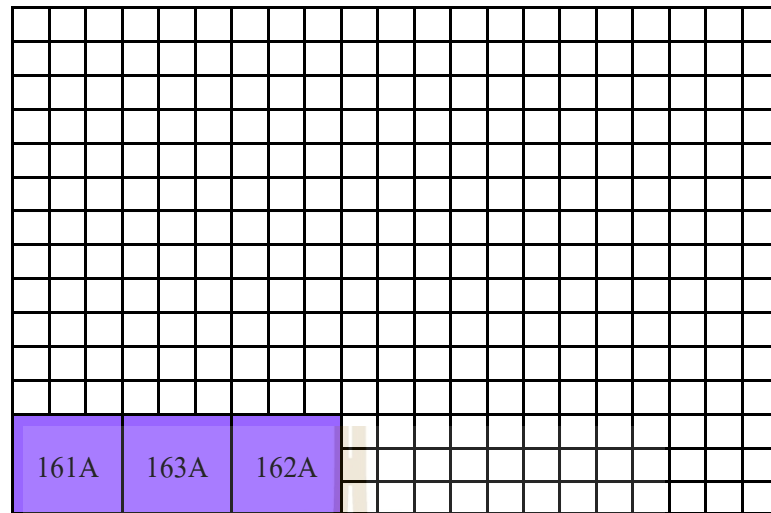


รูปที่ ข.5 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3, 18 และ 19 ของรถขนส่งคันที่ 2

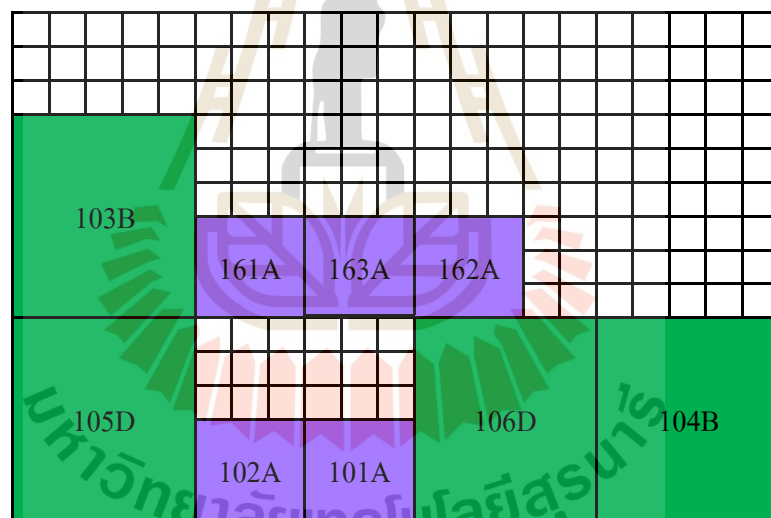


รูปที่ ข.6 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 3, 6, 18 และ 19 ของรถขนส่งคันที่ 2

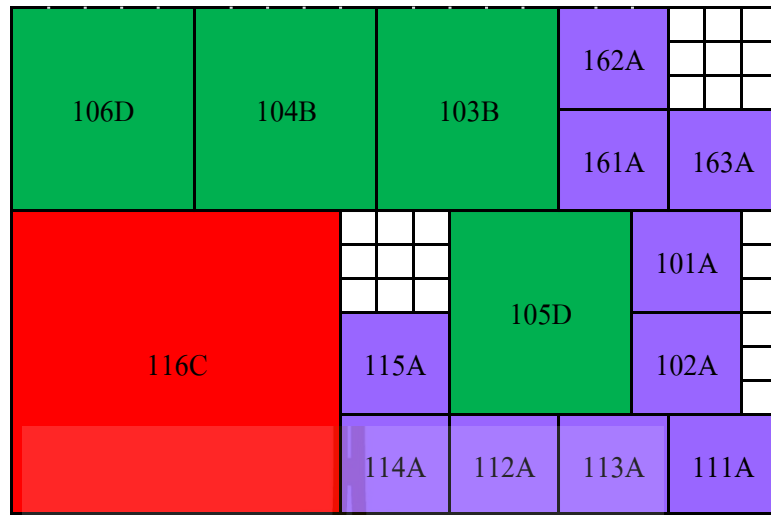




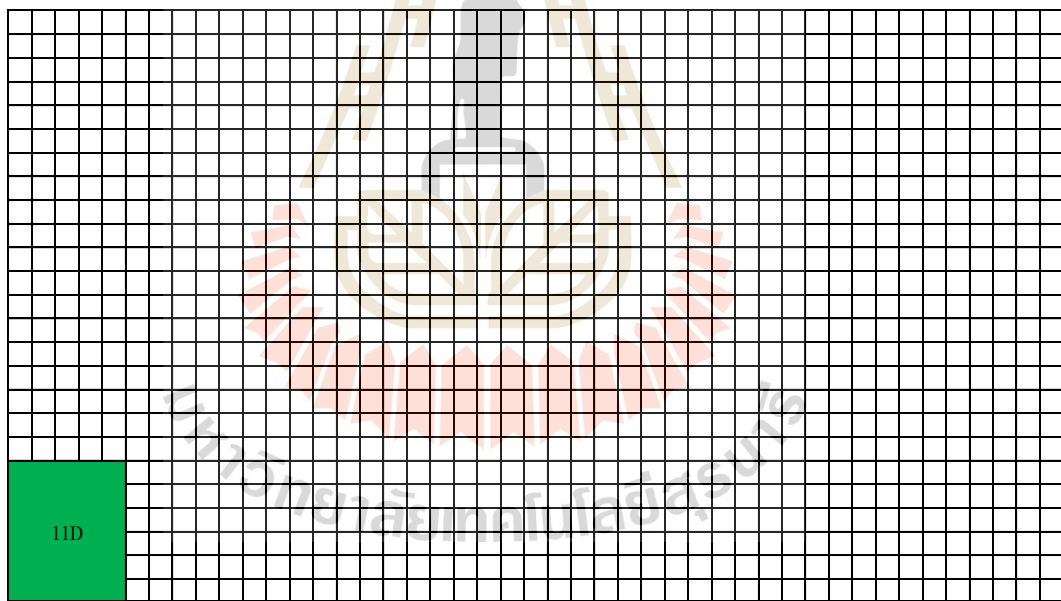
รูปที่ ข.9 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 16 ของรถขนส่งคันที่ 4



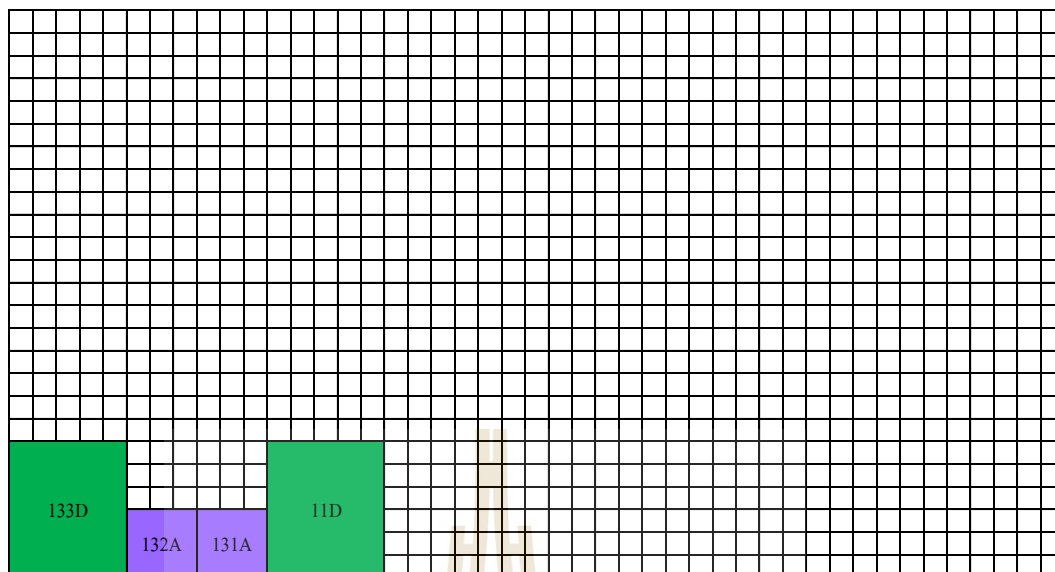
รูปที่ ข.10 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 10 และ 16 ของรถขนส่งคันที่ 4



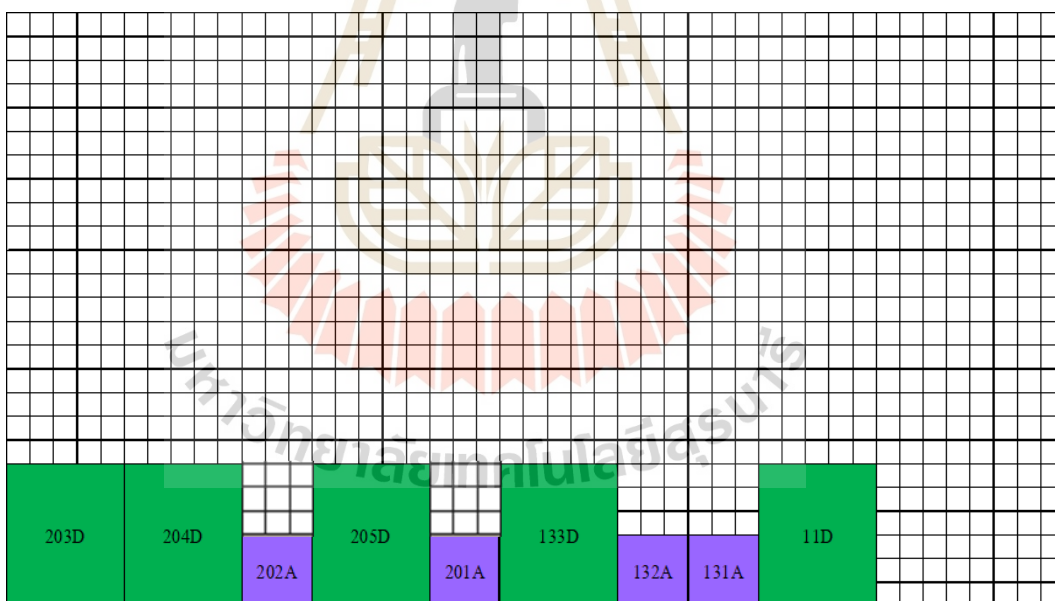
รูปที่ ข.11 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 10, 11 และ 16 ของรถขนส่งคันที่ 4



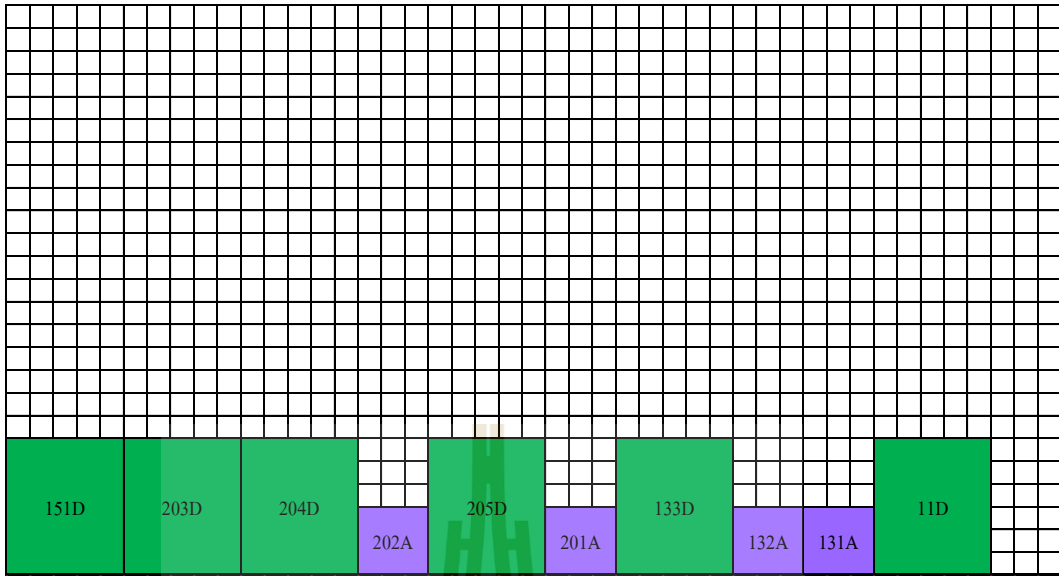
รูปที่ ข.12 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1 ของรถขนส่งคันที่ 5



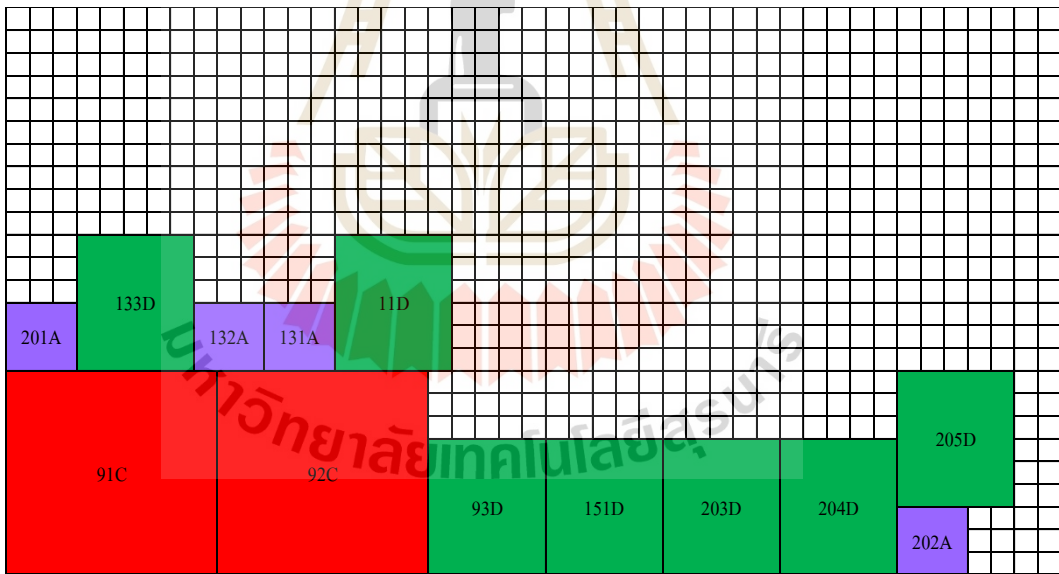
รูปที่ ข.13 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1 และ 13 ของรถขนส่งคันที่ 5



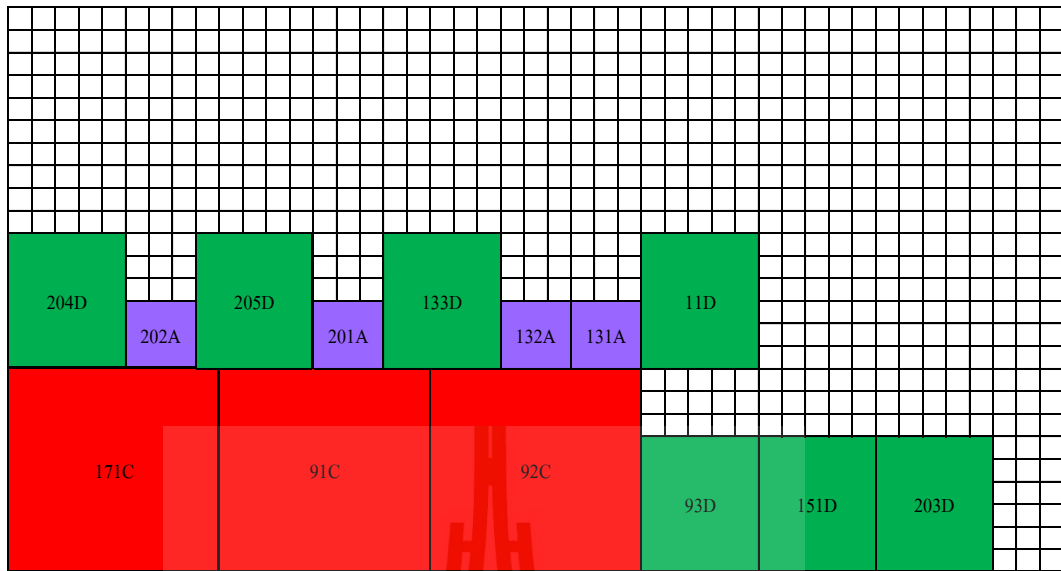
รูปที่ ข.14 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 13 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5



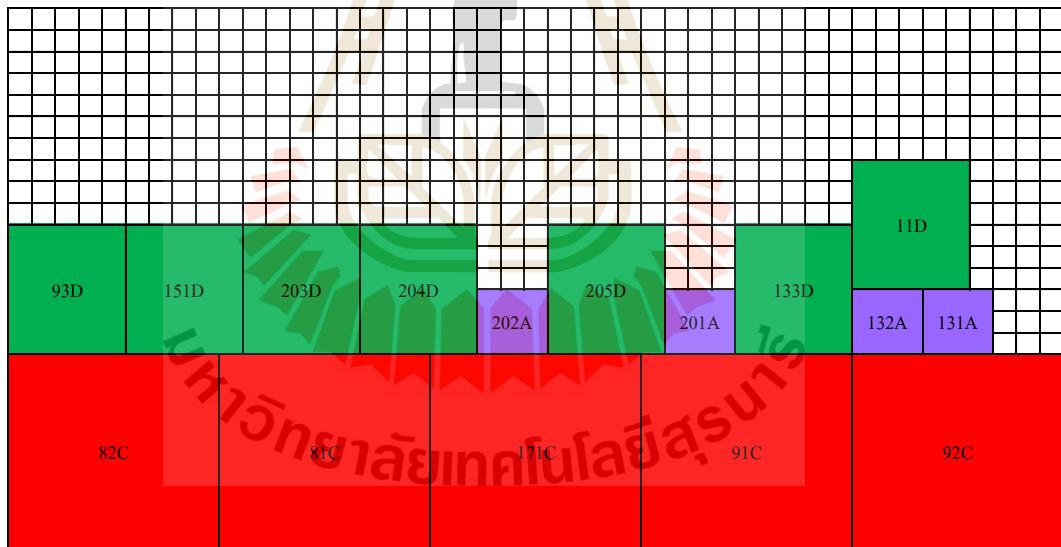
รูปที่ ข.15 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 13, 15 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5



รูปที่ ข.16 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 9, 13, 15 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5

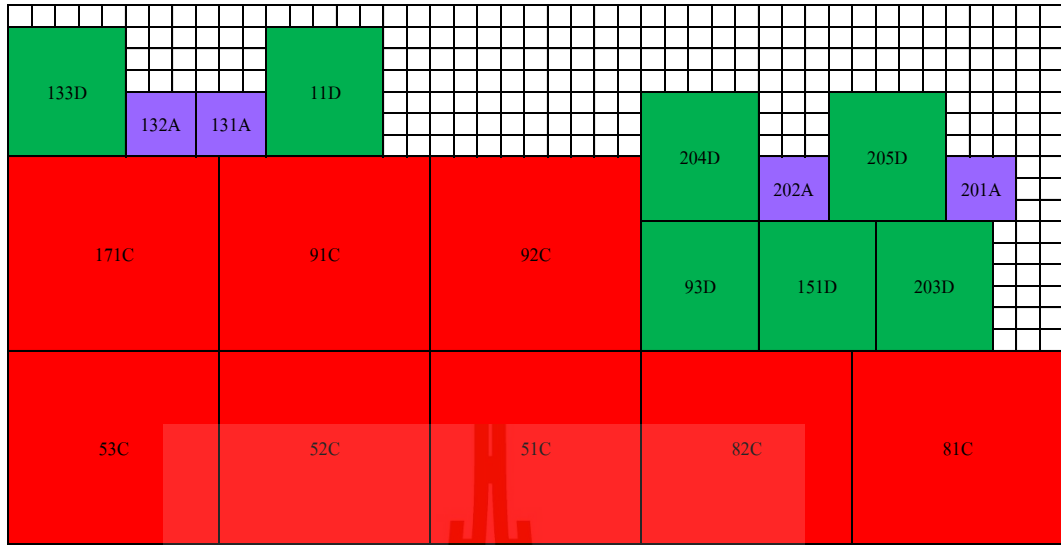


รูปที่ ข.17 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 9, 13, 15, 17 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5

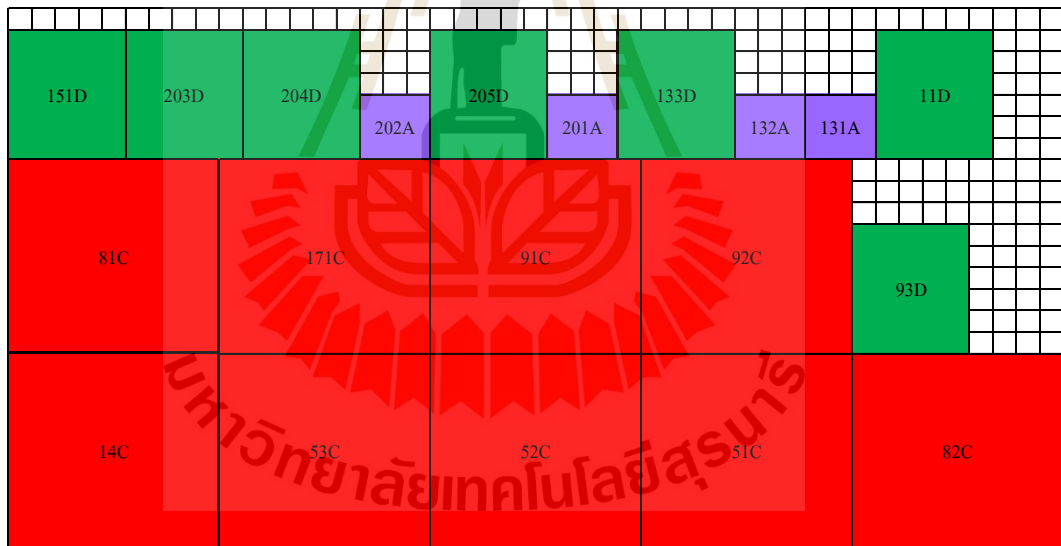


รูปที่ ข.18 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 8, 9, 13, 15, 17 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5

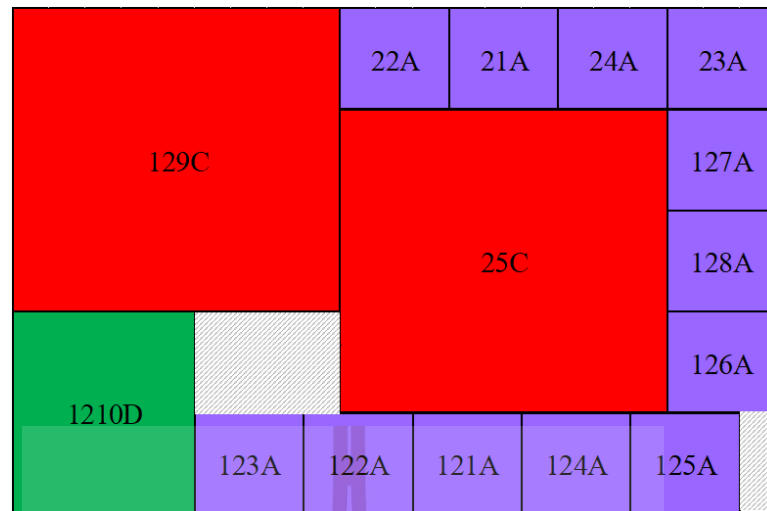




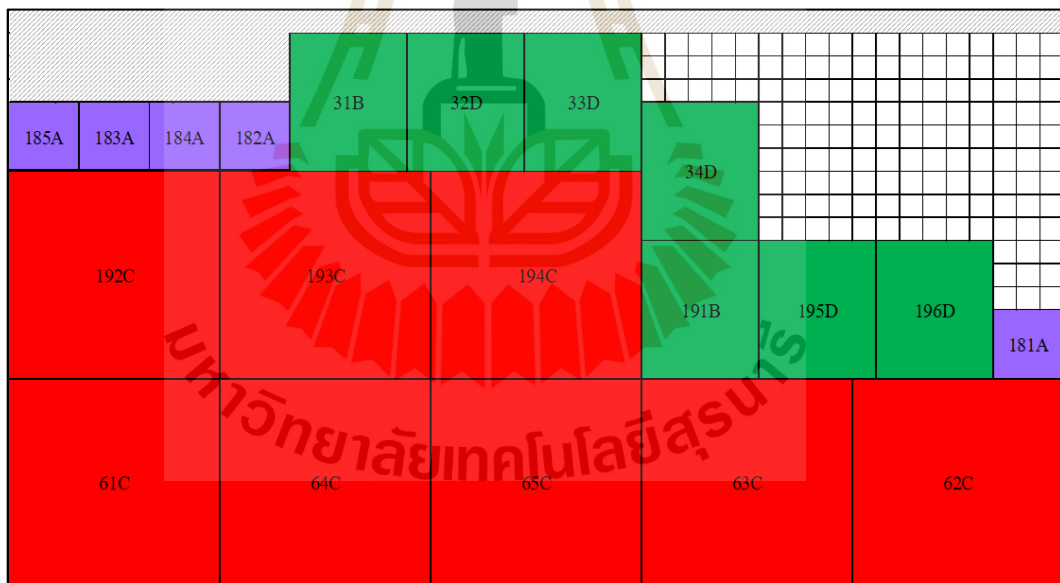
รูปที่ ข.19 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 5, 8, 9, 13, 15, 17 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5



รูปที่ ข.20 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของลูกค้ารายที่ 1, 5, 8, 9, 13, 14, 15, 17 และ 20 ของรถขนส่งคันที่ 5



รูปที่ ข.21 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 1 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (พื้นที่สีเทาหลายตาราง)



รูปที่ ข.22 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 2 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (พื้นที่สีเทาหลายตาราง)

73A	72A	71A	76A	74A	75A	77A
42B		78D	79D	710D		
43D	44D	45D	41B			

รูปที่ ข.23 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 3 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (พื้นที่สี่เหลายตาราง)

106D	104B	103B	162A	
			161A	163A
116C			105D	101A
		115A		102A
		114A	112A	113A
			111A	

รูปที่ ข.24 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 4 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้ (พื้นที่สี่เหลายตาราง)

151D	203D	204D	202A	205D	201A	133D	132A	131A	11D	
81C	171C	91C	92C	93D						
14C	53C	52C	51C	82C						

รูปที่ ข.25 รูปการจัดเรียงกล่องสินค้าของรถขนส่งคันที่ 5 และแสดงพื้นที่ใช้ประโยชน์ไม่ได้  
(พื้นที่สี่เหลี่ยมตาราง)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ภาคผนวก ค

ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่ง

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
1	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
2	123A	1210D	124A	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
3	123A	124A	1210D	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
4	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
5	123A	1210D	122A	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
6	123A	122A	1210D	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
7	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
8	121A	122A	1210D	123A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
9	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
10	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
11	123A	1210D	124A	121A	125A	122A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
12	123A	124A	1210D	121A	125A	122A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
13	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
14	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
15	121A	122A	1210D	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
16	1210D	123A	122A	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
17	123A	1210D	122A	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
18	123A	122A	1210D	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
19	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
20	123A	1210D	122A	121A	124A	125A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
21	123A	122A	1210D	121A	124A	125A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
22	123A	1210D	124A	121A	125A	122A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
23	123A	124A	1210D	121A	125A	122A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
24	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
25	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
26	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
27	121A	122A	1210D	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	21A	24A	0
28	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
29	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
30	121A	122A	1210D	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
31	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
32	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
33	121A	122A	1210D	123A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
34	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
35	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
36	121A	122A	1210D	123A	124A	125A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
37	1210D	123A	122A	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
38	123A	1210D	122A	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
39	123A	122A	1210D	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
40	1210D	123A	122A	121A	125A	124A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
41	123A	1210D	122A	121A	125A	124A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
42	123A	122A	1210D	121A	125A	124A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
43	1210D	123A	122A	121A	125A	124A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0
44	123A	1210D	122A	121A	125A	124A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0
45	123A	122A	1210D	121A	125A	124A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0



ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
46	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0
47	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0
48	121A	122A	1210D	123A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0
49	1210D	121A	122A	123A	124A	125A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
50	121A	1210D	122A	123A	124A	125A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
51	121A	122A	1210D	123A	124A	125A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
52	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
53	123A	1210D	122A	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
54	123A	122A	1210D	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
55	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
56	123A	1210D	122A	121A	124A	125A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
57	123A	122A	1210D	121A	124A	125A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
58	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0
59	123A	1210D	122A	121A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0
60	123A	122A	1210D	121A	124A	125A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
61	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
62	123A	1210D	122A	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
63	123A	122A	1210D	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
64	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
65	123A	1210D	122A	121A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
66	123A	122A	1210D	121A	124A	125A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
67	1210D	123A	122A	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
68	123A	1210D	122A	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
69	123A	122A	1210D	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
70	1210D	123A	122A	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
71	123A	1210D	122A	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
72	123A	122A	1210D	121A	125A	124A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
73	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0
74	123A	1210D	124A	121A	125A	122A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0
75	123A	124A	1210D	121A	125A	122A	129C	128A	127A	126A	25C	24A	23A	21A	22A	0

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
76	1210D	123A	122A	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
77	123A	1210D	122A	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
78	123A	122A	1210D	121A	124A	125A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
79	1210D	123A	122A	121A	125A	124A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
80	123A	1210D	122A	121A	125A	124A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
81	123A	122A	1210D	121A	125A	124A	129C	126A	128A	127A	25C	23A	22A	24A	21A	0
82	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
83	123A	1210D	124A	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
84	123A	124A	1210D	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	21A	22A	23A	24A	0
85	1210D	123A	122A	121A	125A	124A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
86	123A	1210D	122A	121A	125A	124A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
87	123A	122A	1210D	121A	125A	124A	129C	128A	126A	127A	25C	24A	22A	23A	21A	0
88	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
89	123A	1210D	124A	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0
90	123A	124A	1210D	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	21A	23A	24A	0

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 1															ค่าความเหมาะสม
91	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
92	123A	1210D	124A	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
93	123A	124A	1210D	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	22A	23A	24A	21A	0
94	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
95	123A	1210D	124A	121A	125A	122A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
96	123A	124A	1210D	121A	125A	122A	129C	127A	126A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
97	1210D	123A	125A	121A	124A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	23A	21A	22A	24A	0
98	1210D	124A	123A	121A	125A	122A	129C	128A	126A	127A	25C	23A	21A	22A	24A	0
99	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	127A	126A	128A	25C	24A	22A	21A	23A	0
100	1210D	123A	124A	121A	125A	122A	129C	126A	127A	128A	25C	23A	21A	24A	22A	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2																				ค่าความเหมาะสม
1	61C	62C	63C	64C	65C	196D	195D	191B	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,080,000
2	61C	62C	63C	64C	65C	195D	191B	196D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,080,000
3	61C	62C	63C	64C	65C	196D	191B	195D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,080,000
4	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	194C	191B	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	31B	34D	1,590,000
5	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	194C	196D	191B	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	34D	31B	1,590,000
6	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	193C	194C	196D	195D	181A	182A	183A	184A	185A	33D	31B	34D	32D	1,590,000
7	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	194C	191B	195D	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	31B	32D	1,590,000
8	61C	62C	63C	64C	65C	191B	195D	196D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	32D	31B	33D	34D	1,080,000
9	61C	62C	63C	64C	65C	195D	191B	196D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	31B	34D	1,080,000
10	61C	62C	63C	64C	65C	195D	196D	191B	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	34D	31B	1,080,000
11	61C	62C	63C	64C	65C	191B	195D	192C	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	31B	33D	34D	1,200,000
12	61C	62C	63C	64C	65C	195D	191B	192C	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	31B	34D	1,200,000
13	61C	62C	63C	64C	65C	195D	196D	192C	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	34D	31B	1,200,000
14	61C	62C	63C	64C	65C	191B	196D	192C	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	33D	31B	34D	32D	1,200,000
15	61C	62C	63C	64C	65C	196D	191B	192C	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	31B	32D	1,200,000

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2																				ค่าความเหมาะสม
16	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	196D	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,530,000
17	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	195D	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,530,000
18	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	193C	196D	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	31B	33D	34D	1,530,000
19	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	196D	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	31B	34D	1,530,000
20	61C	62C	63C	64C	65C	196D	195D	192C	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	32D	31B	1,200,000
21	61C	62C	63C	64C	65C	195D	191B	192C	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	34D	31B	32D	33D	1,200,000
22	61C	62C	63C	64C	65C	196D	191B	192C	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	34D	32D	31B	33D	1,200,000
23	61C	62C	63C	64C	65C	191B	195D	196D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,080,000
24	61C	62C	63C	64C	65C	195D	191B	196D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,080,000
25	61C	62C	63C	64C	65C	195D	196D	191B	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,080,000
26	61C	62C	63C	64C	65C	191B	196D	195D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,080,000
27	61C	62C	63C	64C	65C	196D	191B	195D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,080,000
28	61C	62C	63C	64C	65C	191B	195D	192C	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,200,000
29	61C	62C	63C	64C	65C	195D	191B	192C	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,200,000
30	61C	62C	63C	64C	65C	195D	196D	192C	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,200,000

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2																				ค่าความเหมาะสม
31	61C	62C	63C	64C	65C	191B	196D	192C	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,200,000
32	61C	62C	63C	64C	65C	196D	191B	192C	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,200,000
33	61C	62C	63C	64C	65C	196D	195D	192C	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,200,000
34	61C	62C	63C	64C	65C	195D	191B	192C	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,200,000
35	61C	62C	63C	64C	65C	196D	191B	192C	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,200,000
36	61C	62C	63C	64C	65C	191B	196D	195D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	33D	31B	34D	32D	1,080,000
37	61C	62C	63C	64C	65C	196D	191B	195D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	31B	32D	1,080,000
38	61C	62C	63C	64C	65C	196D	195D	191B	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	32D	31B	1,080,000
39	61C	62C	63C	64C	65C	195D	191B	196D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	34D	31B	32D	33D	1,080,000
40	61C	62C	63C	64C	65C	196D	191B	195D	192C	193C	194C	181A	182A	183A	184A	185A	34D	32D	31B	33D	1,080,000
41	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	195D	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
42	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	191B	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
43	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	196D	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
44	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	196D	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
45	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	191B	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2																				ค่าความเหมาะสม
46	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	195D	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
47	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	194C	195D	191B	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	32D	31B	1,590,000
48	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	194C	191B	196D	181A	182A	183A	184A	185A	34D	31B	32D	33D	1,590,000
49	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	194C	191B	195D	181A	182A	183A	184A	185A	34D	32D	31B	33D	1,590,000
50	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	191B	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
51	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	191B	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
52	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	195D	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	31B	33D	34D	1,260,000
53	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	191B	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	31B	34D	1,260,000
54	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	196D	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	34D	31B	1,260,000
55	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	196D	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	33D	31B	34D	32D	1,260,000
56	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	191B	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	34D	32D	31B	33D	1,260,000
57	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	196D	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
58	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	196D	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
59	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	191B	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
60	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	191B	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000



ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2																			ค่าความเหมาะสม	
61	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	196D	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
62	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	193C	196D	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
63	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	191B	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
64	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	195D	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
65	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	191B	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
66	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	191B	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
67	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	195D	193C	194C	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
68	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	195D	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
69	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	191B	193C	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
70	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	196D	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
71	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	195D	193C	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,260,000
72	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,770,000
73	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	195D	191B	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,770,000
74	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	195D	196D	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,770,000
75	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	196D	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,770,000

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2																			ค่าความเหมาะสม	
76	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	196D	191B	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,770,000
77	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	196D	195D	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,770,000
78	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	195D	191B	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,770,000
79	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	196D	191B	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,770,000
80	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	193C	194C	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,590,000
81	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	194C	191B	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,590,000
82	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	194C	196D	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,590,000
83	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	193C	194C	196D	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,590,000
84	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	194C	191B	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,590,000
85	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	194C	195D	191B	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,590,000
86	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	195D	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	31B	32D	1,530,000
87	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	191B	194C	195D	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	32D	31B	1,530,000
88	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	196D	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	34D	31B	32D	33D	1,530,000
89	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	195D	194C	191B	181A	182A	183A	184A	185A	34D	32D	31B	33D	1,530,000
90	61C	62C	63C	64C	65C	195D	192C	193C	194C	191B	196D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,590,000

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 2																				ค่าความเหมาะสม
91	61C	62C	63C	64C	65C	196D	192C	193C	194C	191B	195D	181A	182A	183A	184A	185A	31B	32D	33D	34D	1,590,000
92	61C	62C	63C	64C	65C	191B	192C	193C	194C	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	31B	33D	34D	1,590,000
93	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	195D	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	31B	33D	34D	1,770,000
94	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	195D	191B	196D	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	31B	34D	1,770,000
95	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	195D	196D	191B	181A	182A	183A	184A	185A	32D	33D	34D	31B	1,770,000
96	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	191B	196D	195D	181A	182A	183A	184A	185A	33D	31B	34D	32D	1,770,000
97	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	196D	191B	195D	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	31B	32D	1,770,000
98	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	196D	195D	191B	181A	182A	183A	184A	185A	33D	34D	32D	31B	1,770,000
99	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	195D	191B	196D	181A	182A	183A	184A	185A	34D	31B	32D	33D	1,770,000
100	61C	62C	63C	64C	65C	192C	193C	194C	196D	191B	195D	181A	182A	183A	184A	185A	34D	32D	31B	33D	1,770,000



ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3															ค่าความเหมาะสม
1	710D	78D	79D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	41B	42B	43D	44D	45D	0
2	710D	78D	79D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	43D	41B	42B	44D	45D	0
3	79D	78D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	44D	45D	41B	42B	43D	0
4	79D	78D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	45D	44D	42B	43D	41B	0
5	710D	78D	79D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	43D	44D	41B	42B	45D	0
6	710D	78D	79D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	43D	44D	45D	41B	42B	0
7	79D	78D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	45D	41B	42B	44D	43D	0
8	79D	78D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	45D	41B	42B	43D	44D	0
9	79D	78D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	45D	41B	44D	42B	43D	0
10	79D	78D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	45D	41B	42B	44D	43D	0
11	79D	78D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	45D	41B	42B	43D	44D	0
12	78D	79D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	44D	45D	43D	43D	42B	0
13	78D	79D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	44D	45D	43D	41B	43D	0
14	710D	78D	79D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	42B	43D	44D	45D	41B	0

ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3															ค่าความเหมาะสม
15	710D	78D	79D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	41B	42B	43D	44D	45D	0
16	710D	78D	79D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	43D	41B	42B	44D	45D	0
17	79D	710D	78D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	41B	42B	45D	43D	44D	0
18	79D	710D	78D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	41B	42B	43D	45D	44D	0
19	710D	78D	79D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	43D	44D	41B	42B	45D	0
20	710D	78D	79D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	43D	44D	45D	41B	42B	0
21	710D	78D	79D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	42B	43D	44D	45D	41B	0
22	79D	710D	78D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	45D	41B	42B	43D	44D	0
23	78D	79D	710D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	44D	45D	43D	41B	42B	0
24	78D	79D	710D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	44D	45D	43D	43D	42B	0
25	78D	79D	710D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	44D	45D	43D	41B	43D	0
26	79D	710D	78D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	41B	42B	43D	44D	45D	0
27	710D	78D	79D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	43D	44D	41B	42B	45D	0
28	79D	710D	78D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	45D	41B	42B	43D	44D	0
29	79D	710D	78D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	41B	45D	42B	43D	44D	0
30	78D	79D	710D	77A	72A	74A	75A	71A	76A	73A	44D	45D	43D	41B	43D	0

ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3															ค่าความเหมาะสม
31	78D	79D	710D	77A	72A	74A	75A	71A	76A	73A	44D	45D	43D	43D	42B	0
32	79D	710D	78D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	41B	45D	42B	43D	44D	0
33	710D	78D	79D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	43D	44D	45D	41B	42B	0
34	710D	78D	79D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	42B	43D	44D	45D	41B	0
35	710D	78D	79D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	41B	42B	43D	44D	45D	0
36	710D	78D	79D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	43D	41B	42B	44D	45D	0
37	78D	79D	710D	77A	72A	74A	75A	71A	76A	73A	43D	44D	45D	41B	42B	0
38	78D	79D	710D	77A	72A	74A	75A	71A	76A	73A	44D	43D	45D	41B	42B	0
39	78D	79D	710D	77A	72A	74A	75A	71A	76A	73A	44D	45D	43D	41B	42B	0
40	78D	79D	710D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	43D	44D	45D	41B	42B	0
41	78D	79D	710D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	44D	43D	45D	41B	42B	0
42	79D	710D	78D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	41B	42B	45D	43D	44D	0
43	79D	710D	78D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	41B	42B	43D	45D	44D	0
44	79D	710D	78D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	41B	42B	43D	44D	45D	0
45	710D	78D	79D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	41B	42B	43D	44D	45D	0

ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3															ค่าความเหมาะสม
46	79D	78D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	44D	45D	41B	42B	43D	0
47	79D	78D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	45D	44D	42B	43D	41B	0
48	79D	78D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	45D	41B	44D	42B	43D	0
49	79D	78D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	45D	41B	42B	44D	43D	0
50	79D	78D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	45D	41B	42B	43D	44D	0
51	79D	78D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	44D	45D	41B	42B	43D	0
52	710D	78D	79D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	41B	42B	43D	44D	45D	0
53	710D	78D	79D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	43D	44D	41B	42B	45D	0
54	710D	78D	79D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	43D	44D	45D	41B	42B	0
55	710D	78D	79D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	42B	43D	44D	45D	41B	0
56	78D	79D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	43D	44D	45D	41B	42B	0
57	78D	79D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	44D	43D	45D	41B	42B	0
58	78D	79D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	44D	45D	43D	41B	42B	0
59	78D	79D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	44D	45D	43D	43D	42B	0
60	78D	79D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	44D	45D	43D	41B	43D	0

ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3															ค่าความเหมาะสม
61	710D	78D	79D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	43D	41B	42B	44D	45D	0
62	710D	78D	79D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	43D	44D	41B	42B	45D	0
63	710D	78D	79D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	43D	44D	45D	41B	42B	0
64	710D	78D	79D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	42B	43D	44D	45D	41B	0
65	79D	78D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	45D	44D	42B	43D	41B	0
66	79D	78D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	45D	41B	44D	42B	43D	0
67	78D	79D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	44D	43D	45D	41B	42B	0
68	79D	710D	78D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	45D	41B	42B	43D	44D	0
69	79D	710D	78D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	41B	45D	42B	43D	44D	0
70	79D	710D	78D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	41B	42B	45D	43D	44D	0
71	79D	710D	78D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	45D	41B	42B	43D	44D	0
72	79D	710D	78D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	41B	45D	42B	43D	44D	0
73	79D	710D	78D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	41B	42B	45D	43D	44D	0
74	79D	710D	78D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	41B	42B	43D	45D	44D	0
75	79D	710D	78D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	41B	42B	43D	44D	45D	0



ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3															ค่าความเหมาะสม
76	79D	710D	78D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	45D	41B	42B	43D	44D	0
77	79D	710D	78D	77A	72A	74A	75A	71A	76A	73A	41B	42B	45D	43D	44D	0
78	79D	710D	78D	77A	72A	74A	75A	71A	76A	73A	41B	42B	43D	45D	44D	0
79	79D	710D	78D	77A	72A	74A	75A	71A	76A	73A	41B	42B	43D	44D	45D	0
80	78D	79D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	43D	44D	45D	41B	42B	0
81	78D	79D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	44D	43D	45D	41B	42B	0
82	78D	79D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	44D	45D	43D	41B	42B	0
83	78D	79D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	44D	45D	43D	43D	42B	0
84	78D	79D	710D	74A	72A	71A	75A	73A	76A	77A	44D	45D	43D	41B	43D	0
85	78D	79D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	43D	44D	45D	41B	42B	0
86	78D	79D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	44D	43D	45D	41B	42B	0
87	78D	79D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	44D	45D	43D	41B	42B	0
88	78D	79D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	44D	45D	43D	43D	42B	0
89	78D	79D	710D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	44D	45D	43D	41B	43D	0
90	78D	79D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	43D	44D	45D	41B	42B	0

ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 3															ค่าความเหมาะสม
91	710D	78D	79D	75A	74A	72A	71A	76A	73A	77A	43D	41B	42B	44D	45D	0
92	79D	78D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	44D	45D	41B	42B	43D	0
93	79D	78D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	45D	44D	42B	43D	41B	0
94	79D	78D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	45D	41B	44D	42B	43D	0
95	79D	78D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	45D	41B	42B	44D	43D	0
96	79D	78D	710D	72A	71A	74A	73A	75A	76A	77A	45D	41B	42B	43D	44D	0
97	79D	78D	710D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	44D	45D	41B	42B	43D	0
98	79D	78D	710D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	45D	44D	42B	43D	41B	0
99	79D	78D	710D	77A	74A	75A	72A	71A	76A	73A	45D	41B	44D	42B	43D	0
100	78D	79D	710D	71A	72A	73A	74A	75A	76A	77A	44D	45D	43D	41B	42B	0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ ค.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4															ค่าความเหมาะสม
1	116C	111A	112A	113A	114A	115A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	163A	162A	161A	0
2	116C	111A	112A	113A	114A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	163A	162A	161A	0
3	116C	115A	113A	114A	111A	112A	106D	102A	101A	105D	103B	104B	162A	161A	163A	0
4	116C	115A	113A	114A	111A	112A	104B	102A	101A	106D	105D	103B	162A	161A	163A	0
5	116C	115A	114A	111A	112A	113A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	163A	162A	0
6	116C	112A	115A	114A	111A	113A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	163A	162A	0
7	116C	112A	115A	114A	111A	113A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	161A	163A	162A	0
8	116C	115A	114A	111A	112A	113A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	162A	161A	163A	0
9	116C	115A	114A	111A	112A	113A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	162A	161A	163A	0
10	116C	113A	111A	112A	114A	115A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	163A	162A	0
11	116C	113A	111A	112A	114A	115A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	161A	163A	162A	0
12	116C	113A	111A	112A	114A	115A	106D	102A	101A	105D	103B	104B	162A	161A	163A	0
13	116C	113A	111A	112A	114A	115A	104B	102A	101A	106D	105D	103B	162A	161A	163A	0
14	116C	112A	115A	114A	111A	113A	105D	102A	101A	103B	104B	106D	163A	162A	161A	0

ตารางที่ ค.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4															ค่าความเหมาะสม
15	116C	111A	112A	113A	114A	115A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	162A	161A	163A	0
16	116C	111A	112A	113A	114A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	162A	161A	163A	0
17	116C	111A	112A	113A	114A	115A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	162A	161A	163A	0
18	116C	111A	112A	113A	114A	115A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	162A	161A	163A	0
19	116C	115A	114A	111A	112A	113A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	163A	162A	0
20	116C	115A	114A	111A	112A	113A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	161A	163A	162A	0
21	116C	115A	114A	111A	112A	113A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	163A	162A	0
22	116C	112A	115A	114A	111A	113A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	163A	162A	0
23	116C	112A	115A	114A	111A	113A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	163A	162A	0
24	116C	115A	114A	111A	112A	113A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	162A	161A	163A	0
25	116C	115A	114A	111A	112A	113A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	162A	161A	163A	0
26	116C	112A	115A	114A	111A	113A	106D	102A	101A	105D	103B	104B	163A	162A	161A	0
27	116C	112A	115A	114A	111A	113A	104B	102A	101A	106D	105D	103B	163A	162A	161A	0
28	116C	112A	115A	114A	111A	113A	103B	102A	101A	104B	106D	105D	163A	162A	161A	0
29	116C	113A	111A	112A	114A	115A	106D	102A	101A	105D	103B	104B	163A	162A	161A	0
30	116C	113A	111A	112A	114A	115A	104B	102A	101A	106D	105D	103B	163A	162A	161A	0

ตารางที่ ค.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4															ค่าความเหมาะสม
31	116C	115A	113A	114A	111A	112A	106D	102A	101A	105D	103B	104B	163A	162A	161A	0
32	116C	115A	113A	114A	111A	112A	104B	102A	101A	106D	105D	103B	163A	162A	161A	0
33	116C	115A	113A	114A	111A	112A	103B	102A	101A	104B	106D	105D	163A	162A	161A	0
34	116C	115A	113A	114A	111A	112A	105D	102A	101A	103B	104B	106D	163A	162A	161A	0
35	116C	115A	114A	111A	112A	113A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	162A	163A	0
36	116C	115A	114A	111A	112A	113A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	162A	163A	0
37	116C	115A	113A	114A	111A	112A	106D	101A	102A	104B	103B	105D	161A	162A	163A	0
38	116C	113A	114A	111A	112A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	162A	163A	0
39	116C	113A	114A	111A	112A	115A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	162A	163A	0
40	116C	113A	111A	112A	114A	115A	103B	102A	101A	104B	106D	105D	162A	161A	163A	0
41	116C	113A	111A	112A	114A	115A	105D	102A	101A	103B	104B	106D	162A	161A	163A	0
42	116C	112A	115A	114A	111A	113A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	163A	162A	161A	0
43	116C	112A	115A	114A	111A	113A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	163A	162A	161A	0
44	116C	112A	115A	114A	111A	113A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	163A	162A	161A	0
45	116C	112A	115A	114A	111A	113A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	163A	162A	161A	0

ตารางที่ ค.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4															ค่าความเหมาะสม
46	116C	115A	113A	114A	111A	112A	103B	102A	101A	104B	106D	105D	162A	161A	163A	0
47	116C	115A	113A	114A	111A	112A	105D	102A	101A	103B	104B	106D	162A	161A	163A	0
48	116C	113A	111A	112A	114A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	162A	163A	0
49	116C	113A	111A	112A	114A	115A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	162A	163A	0
50	116C	115A	113A	114A	111A	112A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	162A	163A	0
51	116C	112A	115A	114A	111A	113A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	163A	162A	0
52	116C	112A	115A	114A	111A	113A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	161A	163A	162A	0
53	116C	112A	115A	114A	111A	113A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	162A	163A	0
54	116C	112A	115A	114A	111A	113A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	162A	163A	0
55	116C	112A	115A	114A	111A	113A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	162A	163A	0
56	116C	112A	115A	114A	111A	113A	106D	101A	102A	104B	103B	105D	161A	162A	163A	0
57	116C	113A	114A	111A	112A	115A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	163A	162A	0
58	116C	113A	114A	111A	112A	115A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	161A	163A	162A	0
59	116C	113A	114A	111A	112A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	163A	162A	0
60	116C	113A	114A	111A	112A	115A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	163A	162A	0

ตารางที่ ค.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4															ค่าความเหมาะสม
61	116C	115A	113A	114A	111A	112A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	162A	163A	0
62	116C	115A	113A	114A	111A	112A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	162A	163A	0
63	116C	113A	111A	112A	114A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	163A	162A	0
64	116C	113A	111A	112A	114A	115A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	163A	162A	0
65	116C	112A	115A	114A	111A	113A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	163A	162A	0
66	116C	112A	115A	114A	111A	113A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	163A	162A	0
67	116C	115A	114A	111A	112A	113A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	163A	162A	161A	0
68	116C	115A	114A	111A	112A	113A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	163A	162A	161A	0
69	116C	115A	114A	111A	112A	113A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	163A	162A	161A	0
70	116C	115A	114A	111A	112A	113A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	162A	163A	0
71	116C	115A	114A	111A	112A	113A	106D	101A	102A	104B	103B	105D	161A	162A	163A	0
72	116C	113A	114A	111A	112A	115A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	162A	161A	163A	0
73	116C	113A	114A	111A	112A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	162A	161A	163A	0
74	116C	113A	111A	112A	114A	115A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	162A	163A	0
75	116C	113A	111A	112A	114A	115A	106D	101A	102A	104B	103B	105D	161A	162A	163A	0

ตารางที่ ค.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4															ค่าความเหมาะสม
76	116C	111A	112A	113A	114A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	162A	163A	0
77	116C	111A	112A	113A	114A	115A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	162A	163A	0
78	116C	111A	112A	113A	114A	115A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	162A	163A	0
79	116C	111A	112A	113A	114A	115A	106D	101A	102A	104B	103B	105D	161A	162A	163A	0
80	116C	115A	114A	111A	112A	113A	106D	102A	101A	105D	103B	104B	163A	162A	161A	0
81	116C	115A	114A	111A	112A	113A	104B	102A	101A	106D	105D	103B	163A	162A	161A	0
82	116C	113A	114A	111A	112A	115A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	162A	163A	0
83	116C	113A	114A	111A	112A	115A	106D	101A	102A	104B	103B	105D	161A	162A	163A	0
84	116C	115A	113A	114A	111A	112A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	163A	162A	0
85	116C	113A	114A	111A	112A	115A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	162A	161A	163A	0
86	116C	113A	114A	111A	112A	115A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	162A	161A	163A	0
87	116C	115A	114A	111A	112A	113A	103B	102A	101A	104B	106D	105D	163A	162A	161A	0
88	116C	115A	114A	111A	112A	113A	105D	102A	101A	103B	104B	106D	163A	162A	161A	0
89	116C	113A	111A	112A	114A	115A	103B	102A	101A	104B	106D	105D	163A	162A	161A	0
90	116C	113A	111A	112A	114A	115A	105D	102A	101A	103B	104B	106D	163A	162A	161A	0



ตารางที่ ค.4 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 4															ค่าความเหมาะสม
91	116C	111A	112A	113A	114A	115A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	163A	162A	161A	0
92	116C	111A	112A	113A	114A	115A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	163A	162A	161A	0
93	116C	113A	114A	111A	112A	115A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	163A	162A	161A	0
94	116C	113A	114A	111A	112A	115A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	163A	162A	161A	0
95	116C	113A	114A	111A	112A	115A	103B	101A	102A	104B	106D	105D	163A	162A	161A	0
96	116C	113A	114A	111A	112A	115A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	163A	162A	161A	0
97	116C	112A	115A	114A	111A	113A	105D	101A	102A	103B	104B	106D	161A	162A	163A	0
98	116C	112A	115A	114A	111A	113A	106D	101A	102A	105D	103B	104B	161A	162A	163A	0
99	116C	112A	115A	114A	111A	113A	104B	101A	102A	106D	105D	103B	161A	162A	163A	0
100	116C	112A	115A	114A	111A	113A	106D	101A	102A	104B	103B	105D	161A	162A	163A	0



ตารางที่ ค.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5																				ค่าความเหมาะสม
1	201C	191C	192C	193C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
2	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
3	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
4	201C	191C	192C	193C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
5	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
6	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
7	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
8	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
9	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
10	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	162C	163D	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
11	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	162C	163D	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
12	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	162C	163D	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
13	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	163D	161C	162C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
14	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	163D	161C	162C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
15	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	163D	161C	162C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
16	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
17	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
18	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	162C	163D	161C	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
19	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	162C	163D	161C	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
20	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	162C	163D	161C	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000

ตารางที่ ค.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5																				ค่าความเหมาะสม
21	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	143D	141A	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
22	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	143D	141A	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
23	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	143D	141A	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
24	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
25	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
26	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
27	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
28	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
29	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
30	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	163D	161C	162C	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
31	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	163D	161C	162C	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
32	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	163D	161C	162C	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
33	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
34	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
35	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
36	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
37	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
38	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
39	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	161C	162C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
40	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	161C	162C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000

ตารางที่ ค.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5																				ค่าความเหมาะสม
41	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	161C	162C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
42	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
43	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
44	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
45	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
46	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
47	201C	191C	192C	193C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
48	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
49	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
50	201C	191C	192C	193C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
51	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
52	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	161C	162C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
53	201C	191C	192C	193C	181C	182C	171C	162C	163D	161C	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
54	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	162C	163D	161C	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
55	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	162C	163D	161C	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
56	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
57	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
58	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
59	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	163D	161C	162C	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
60	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	163D	161C	162C	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000

ตารางที่ ค.5 ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5 (ต่อ)

รอบที่	ผลลัพธ์การจัดเรียงกล่องสินค้าบนรถขนส่งคันที่ 5																				ค่าความเหมาะสม
81	201C	191C	192C	193C	181C	182C	171C	163D	162C	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
82	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	163D	162C	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
83	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	163D	162C	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
84	201C	191C	192C	193C	181C	182C	171C	163D	161C	162C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
85	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	163D	161C	162C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
86	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	163D	161C	162C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
87	201C	191C	192C	193C	181C	182C	171C	162C	163D	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
88	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	162C	163D	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
89	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	162C	163D	161C	151D	141A	142A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
90	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
91	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	163D	162C	161C	151D	141A	143D	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
92	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
93	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
94	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	162C	161C	163D	151D	143D	144D	141A	142A	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
95	201C	191C	192C	193C	182C	181C	171C	162C	163D	161C	151D	143D	141A	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
96	201C	192C	191C	193C	182C	181C	171C	162C	163D	161C	151D	143D	141A	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
97	201C	193C	192C	191C	182C	181C	171C	162C	163D	161C	151D	143D	141A	142A	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
98	201C	191C	192C	193C	181C	182C	171C	162C	161C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
99	201C	192C	191C	193C	181C	182C	171C	162C	161C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000
100	201C	193C	192C	191C	181C	182C	171C	162C	161C	163D	151D	142A	141A	143D	144D	145D	133D	131A	132A	121D	210,000

ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา



รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Pholdee, P., Sinoi, W. and Siriruk, P. (2020). Hybrid Algorithm for Bin Packing Problems in Construction Material Store. **The International Conference on Engineering and Industrial Technology**. May 6-8, 2020, Thailand.





## Hybrid Algorithm for Bin Packing Problems in Construction Material Store

Panitta Pholdee<sup>1</sup>, Wipawee Sinoi<sup>2</sup>, Pavee Siriruk<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Suranaree University of Technology, 111 University Ave, Nakhon Ratchasima, Thailand  
Email: panithapholdee@gmail.com

<sup>2</sup> Suranaree University of Technology, 111 University Ave, Nakhon Ratchasima, Thailand  
Email: wipaweesinoi@gmail.com

<sup>3</sup> Suranaree University of Technology, 111 University Ave, Nakhon Ratchasima, Thailand  
\*Corresponding address (Email: pavee@g.sut.ac.th)

### ABSTRACT

This paper presents a hybrid approach for 2D bin packing problems, which requires to place a set of square boxes and rectangular boxes within a large rectangular truck bed. This work proposes a hybrid algorithm, genetic algorithm with local search, to solve a two-dimensional bin packing problem in construction material store. The objective is to use the least number of trucks possible to satisfy customer demands. Genetic Algorithm with local search procedures produce better efficiency in finding solutions than general heuristic algorithms. 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:** 2D bin packing problems; Hybrid Algorithm; Genetic Algorithm; Local Search;

### 1. INTRODUCTION

In the two-dimensional bin packing problem, it is required to allocate a set of rectangular and square items to a larger rectangular bin. The objective is to allocate all the items to minimize the number of bins. There are many applications related to two-dimensional bin packing problem. 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 and all items are loaded on truck bed.

There are many algorithms related to two-dimensional bin packing problem 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. Jakob (1994) was developed hybrid genetic algorithms (GA) and bottom-left (BL) heuristic of polygons are bracketed by rectangular shape. BL is used to pack each polygon to a bottom-left most position of a container. GA is used for finding order of polygons. This method is simple and fast but it is not efficient for a complex polygon. Zhang, Deng, and Kang (2015) introduced a hybrid heuristic algorithm for the two-dimensional rectangular packing problem. The divide-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. Mhand, Stephane and Lei (2014) to solve three-dimensional single bin-size bin packing problem using integer linear programming based on metaheuristics. Finally, proposed heuristics are evaluated on a set of random instances when compared





to the results obtained by one of the best methods of the literature. allows the search space to be reduced. Pisinger and Sigurd (2005) present an integer-linear formulation of the 2DVSBP and introduce several lower bounds for the problem and determine of the two-dimensional variable sized bin packing problem (2DVSBP). Christian and Verena (2013) consider the oriented 2D bin packing problem under free guillotine cutting, a problem set of oriented rectangular items is given packed into a minimum number of bins of equal size. Our algorithm proposal use of a randomized one-pass heuristic for constructing solutions. In summary, the best solutions generated by the evolutionary algorithm for the 500 instances use 7,239 bins in total. This is the best value ever achieved by any algorithm proposed for the 2BP. Gea and Hae (1998) proposed genetic algorithm for two-dimensional packing problems. The algorithm is applicable to not only convex shaped objects, but can also handle any type of concave and complex shaped objects including objects with holes. This approach is improved over previous genetic algorithms in introducing a new concept of a two-dimensional genetic chromosome. The total layout space of a rectangular bin is divided into a finite number of cells for mapping it into 2D genetic algorithm chromosome. The results show that several goods layouts are obtained. 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 5,000 pieces. Compared to eleven competing methods from the literature the GA performs best.

This paper presents a hybrid algorithm combining genetic algorithm with local search for two-dimensional bin packing problem in construction material store 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.

## 2. PROBLEM DESCRIPTION

Based on real operations in construction material store, it is assumed that a 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  $w_i$ . Moreover, given  $j$  types of rectangular boxes with the number of  $m_j$  boxes. Each type of boxes  $j$  has length  $a_j$  and width  $b_j$ .

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 construction 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.

## 3. SOLUTION METHODOLOGY

In this section, A hybrid genetic algorithm with local search are developed. The algorithm is as follows:

### 3.1 Genetic Algorithm

We deploy genetic algorithm to make decision on packing all items. Rectangular boxes 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 boxes with the number of  $m_j$



products. Each type of rectangular boxes  $j$  has length  $a_j$  and width  $b_j$ . Given  $q$  types of square boxes with the number of  $n_i$  boxes. Each boxes type  $q$  has length  $l_i$  and width  $w_i$ . The genetic algorithm involves three steps:

#### 3.1.1 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. After population initialization, the algorithm evolves through genetic operation and fitness evaluation.

#### 3.2.2 Genetic Operation

##### 3.2.2.1 Crossover

- Starting from the first order crossover (OX) is used to order same the position. Choose two random cut points.
- Exchange the position internal the cut point, then insert H into the position outside the cut point that is the same as the internal cut as shown below.
- Take position within the cut point. Move to forefront and take the position with the H to behind the internal cut point.
- Exchange the position internal the cut point again. Therefore that have parent 1 and parent 2.

##### 3.2.2.2 Mutation

After the second process in genetic operation. Inverse mutation is the mutation chromosome. Then random two number for the boundary. The genes between these two positions are reversed.

- Starting mutation is behind cut point for six and eight position. Take to exchange the position.

##### 3.2.2.3 Fitness Evaluation

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

$$\text{Total area of the largest useful space (Max } Z) = (\text{Packing Areas} - \text{Unusable Areas}) \quad (1)$$

which has the highest fitness value, will be selected as Parent 1 to calculate for the local search.

#### 3.2 Local Search

In this step, get the fitness for the best in each iteration. Choose from a random selection of 5 times and arrangement from large to small. compared to the previous to check for fitness and keep a value and calculation next genetic algorithm.

#### 3.3 Stop Criteria

Repeat steps 3.1 and 3.2 for  $k$  and  $l$  iterations, respectively. Keep the chromosome that has the highest fitness values. This chromosome is considered to be the best arrangement for all boxes.

## 4. NUMERICAL EXAMPLES

Given one truck available for transportation of construction material store. 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 10 and 1 for each type respectively. Box type A has 300 mm in width and length. In addition, box type C has 900 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	10	300x300	A
2	1	900x900	C

There is one type of rectangular boxes with 4 pieces to deliver. The boxes has 500 mm in width and 600 mm in length. Since the box 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 D. In contrast, when the boxes is placed in a vertical orientation, it is represented by B. The data are shown in Table 2.

Table 2. Data for rectangular boxes.

j	$m_j$	$a_j \times b_j$ (mm)	Nomenclature
1	4	500x600	B
2		600x500	D

Deploy genetic algorithm to make decision on packing all items. Rectangular items which can be rotated by 90 degrees. The genetic algorithm consists of three steps described in section 3.1 is deployed to find solutions.

#### 4.1 Genetic Algorithm

##### 4.1.1) Population Initialization

We will define the initial chromosome is represented using string of variables. Parent 1 and Parent 2 is obtained by random all boxes arrangement. The data are shown in table 3.

Table 3. Data for Population Initialization

Number of boxes	Population Initialization														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Parent 1	A10	A8	A6	A3	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A4	A5	A7	A9
Parent 2	A10	A2	D14	B12	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	C13	A8	D15	B11

##### 4.1.2) Genetic Operation

###### - Crossover

Starting from the first order crossover (OX) point look for genes. Choose two random cut points as shown below in table 4.

Table 4. Data for step 1 a crossover of genetic operation

Parent 1	A10	A8	A6	A3	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A4	A5	A7	A9
Parent 2	A10	A2	D14	B12	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	C13	A8	D15	B11

Exchange the position internal the cut point, then insert H into the position outside the cut point that is the same as the internal cut as shown below.



Table 4. Data for step 2 a crossover of genetic operation

Parent 1	H	A8	H	H	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	H	H	H	H
Parent 2	H	H	H	H	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	H	A2	H	H

Take position within the cut point. Move to forefront and take the position with the H to behind the internal cut point.

Table 5. Data for step 3 a crossover of genetic operation

Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	H	H	H	H	H	H	H	A8
Parent 2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	H	H	H	H	H	H	H	A2

Exchange the position internal the cut point again. Therefore that have parent 1 and parent 2.

Table 7. Data for step 4 a crossover of genetic operation

Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A2

- Mutation

After the second process in genetic operation. Inverse mutation is the mutation chromosome. Then random two number for the boundary. The genes between these two positions are reversed.

Starting mutation is behind cut point for six and eight position. Take to exchange the position.

Table 8. Data for mutation of genetic operation

Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A2
Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A4	A2	A1	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 2	A4	A10	A5	A3	A6	C13	A7	A9	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A2

- Fitness Evaluation

In this step, the fitness evaluation is considered as available space on a truck bed and select highest fitness value. The remaining boxes are arranged by local search. Repeat the same process. The fitness evaluation for the best in each iteration is shown in Table 9.

Table 9. Overview of data for genetic algorithm of iteration 1.

Number of boxes	Population Instakation														
	Iteration 1														
Parent 1	A10	A8	A6	A3	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A4	A5	A7	A9
Parent 2	A10	A2	D14	B12	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	C13	A8	D15	B11
Crossover															
Parent 1	A10	A8	A6	A3	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A4	A5	A7	A9
Parent 2	A10	A2	D14	B12	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	C13	A8	D15	B11
Parent 1	H	A8	H	H	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	H	H	H	H
Parent 2	H	H	H	H	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	H	A2	H	H
Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	H	H	H	H	H	H	H	A8
Parent 2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	H	H	H	H	H	H	H	A2
Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A2
Mutation															
Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 2	A4	A10	A5	A3	A6	A9	A7	C13	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A2
Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A4	A2	A1	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 2	A4	A10	A5	A3	A6	C13	A7	A9	D15	D14	B11	B12	A1	A2	A2
Fitness Value	Total Areas of the largest useful space (Max Z) = (Packing Areas - Unusable Areas)														
Parent 1	2.907.600														
Parent 2	2.904.600														



Local Search															
Iteration 1															
Number of boxes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Random	C13	D15	D14	B11	B12	A4	A2	A1	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
(1,3)	D14	D15	C13	B11	B12	A4	A2	A1	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
(5,9)	C13	D15	D14	B11	A10	A4	A2	A1	B12	A5	A3	A6	A9	A7	A8
(3,14)	C13	D15	A7	B11	B12	A4	A2	A1	A10	A5	A3	A6	A9	D14	A8
(4,10)	C13	D15	D14	A5	B12	A4	A2	A1	A10	B11	A3	A6	A9	A7	A8
(6,11)	C13	D15	D14	B11	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6	A9	A7	A8

Local Search

In this step, get the fitness for the best in each iteration. Choose from a random selection of 5 times and arrangement from large to small. compared to the previous to check for fitness and keep a value and calculation next genetic algorithm. is shown in table 10 .

Table 10. Data for local search of iteration 1.

Local Search															
Iteration 1															
Number of boxes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Random	C13	D15	D14	B11	B12	A4	A2	A1	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
(1,3)	D14	D15	C13	B11	B12	A4	A2	A1	A10	A5	A3	A6	A9	A7	A8
(5,9)	C13	D15	D14	B11	A10	A4	A2	A1	B12	A5	A3	A6	A9	A7	A8
(3,14)	C13	D15	A7	B11	B12	A4	A2	A1	A10	A5	A3	A6	A9	D14	A8
(4,10)	C13	D15	D14	A5	B12	A4	A2	A1	A10	B11	A3	A6	A9	A7	A8
(6,11)	C13	D15	D14	B11	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6	A9	A7	A8

Thus, Iteration 1 is select a random value (6,11) and lead to parent 1 for iteration 2 of genetic algorithm and local search to continue is shown in table 11 .

Table 11. Overview of data for genetic algorithm and local search of iteration 2.

Population Initialization															
Iteration 2															
Number of boxes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 2	A1	B12	A3	A4	C13	A6	A7	D15	B11	A8	A9	A2	D14	A10	A5
Crossover															
Parent 1	C13	D15	D14	B11	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 2	A1	B12	A3	A4	C13	A6	A7	D15	B11	A8	A9	A2	D14	A10	A5
Parent 1	H	H	D14	H	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	H	H	H	H
Parent 2	H	H	H	H	C13	A6	A7	D15	B11	A8	A9	H	D14	H	H
Parent 1	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	H	H	H	H	H	H	H	D14
Parent 2	C13	A6	A7	D15	B11	A8	A9	H	H	H	H	H	H	H	D14
Parent 1	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	C13	A6	A7	D15	B11	A8	A9	D14
Parent 2	C13	A6	A7	D15	B11	A8	A9	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	D14
Mutation															
Parent 1	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	C13	A6	A7	D15	B11	A8	A9	D14
Parent 2	C13	A6	A7	D15	B11	A8	A9	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	D14
Parent 1	B12	A5	A2	A1	A10	C13	A3	A4	A6	A7	D15	B11	A8	A9	D14
Parent 2	C13	A6	A7	D15	B11	B12	A9	A8	A5	A2	A1	A10	A4	A3	D14
Fitness	Total Area of the largest useful space (Max Z) = (Packing Areas - Unusable Area)														
Parent 1	2,902,800														
Parent 2	2,904,600														
Local Search															
Iteration 2															
Number of boxes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Random	C13	A6	A7	D15	B11	B12	A9	A8	A5	A2	A1	A10	A4	A3	D14
(4,12)	C13	A6	A7	A10	B11	B12	A9	A8	A5	A2	A1	D15	A4	A3	D14
(7,15)	C13	A6	A7	D15	B11	B12	D14	A8	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A9
(9,11)	C13	A6	A7	D15	B11	B12	A9	A8	D14	A2	A1	A10	A4	A3	A5
(2,6)	C13	B12	A7	D15	B11	A6	A9	A8	D14	A2	A1	A10	A4	A3	A5
(3,5)	C13	B12	B11	D15	A7	A6	A9	A8	D14	A2	A1	A10	A4	A3	A5



Thus, Iteration 2 is select a random value (3,5) and compare fitness value is the best. Lead to parent 1 for iteration 3 of genetic algorithm and local search to continue is shown in table 12 .  
Table 12. Overview of data for genetic algorithm and local search of iteration 3.

Population Initialization															
Iteration: 3															
Number of boxes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Random	C13	D15	D14	B11	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 1	A4	A2	A1	A6	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A3	A10	B12	A5
Parent 2	A4	A2	A1	A6	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A3	A10	B12	A5
Crossover	C13	D15	D14	B11	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6	A9	A7	A8
Parent 1	A4	A2	A1	A6	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A3	A10	B12	A5
Parent 2	A4	A2	A1	A6	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A3	A10	B12	A5
Parent 1	H	H	H	H	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6	H	H	H
Parent 2	H	H	H	A6	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	H	H	H	H
Parent 1	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	H	H	H	H	H	H	H	A6
Parent 2	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	H	H	H	H	H	H	H	A6
Parent 1	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A6
Parent 2	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6
Mutation	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A6
Parent 1	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A6
Parent 2	C13	A8	D15	A7	D14	A9	B11	B12	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6
Parent 1	B12	A5	A2	A1	A10	C13	A3	A4	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A6
Parent 2	C13	A8	D15	A7	D14	B12	B11	A9	A5	A2	A1	A10	A4	A3	A6
Fitness	Total Areas of the largest useful space (Max Z) = (Packing Areas + Unusable Areas)														
Parent 1	2.905.200														
Parent 2	2.904.000														
Local Search															
Iteration 3															
Number of boxes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Random	B12	A5	A2	A1	A10	C13	A3	A4	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A6
(1,6)	C13	A5	A2	A1	A10	B12	A3	A4	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A6
(2,14)	B12	B11	A2	A1	A10	C13	A3	A4	A8	D15	A7	D14	A9	A5	A6
(3,10)	B12	A5	D15	A1	A10	C13	A3	A4	A8	A2	A7	D14	A9	B11	A6
(8,12)	B12	A5	A2	A1	A10	C13	A3	D14	A8	D15	A7	A4	A9	B11	A6
(5,15)	B12	A5	A2	A1	A6	C13	A3	A4	A8	D15	A7	D14	A9	B11	A10

Repeat the same process for k iterations. The fitness evaluation for the best iteration is shown in figure 1.



Figure1. Arranging boxes by using GA method

Thus, the total packing area of the truck is 3,150,000 mm<sup>2</sup>. Only one truck is used in the shipment process and all items can be loaded on a truck bed with 2,907,600 mm<sup>2</sup> utilizing maximum capacity. The remaining space that can be used is 242,400 mm<sup>2</sup>. White area in figure 1 is considered to be unusable area which is not considered in calculation.

### 5. CONCLUSIONS

In this paper, hybrid algorithm combining genetic algorithm with local search for solving two-dimensional bin packing problems in construction material store were proposed. The operation of construction material store was described. Two types of items, square and rectangular boxes, were considered. Hybrid algorithm, combining genetic algorithm and local search, was developed. Numerical example with two sizes of square boxes and one size rectangular boxes were 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.

#### 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.
- Christian, B. & Verena, S. (2013). Solving the 2D bin packing problem by means of hybrid evolutionary algorithm. *Int. Conf. Comput. Sci.*, pp. 899-908.
- Hopper, E. B. C. H., & Turton, B. C. (2001). An empirical investigation of meta-heuristic and heuristic.
- Mhand H., Stephane N., and Lei W. (2014). Hybrid greedy heuristics based on linear programming for the three-dimensional single bin-size bin packing problem. *Int. Trans. In Op. Res.* 21., pp. 59-79.
- Jakobs, S. (1994). On genetic algorithms for the packing of polygons. *European Journal of Operational Research* 88 : 165-181.
- Pisinger, D., & Sigurd, M. (2005). The two-dimensional bin packing problem with variable bin sizes and costs. *Discrete Optimization*, 2(2), 154-167.
- S. J. and H. C. Gea (1998). Two-Dimensional Packing Problems Using Genetic Algorithms. *Eng. Comput.*, vol. 14, no. 3, pp. 206-213.
- Zhang D., Deng A., and Kang Y. (2005). A Hybrid Heuristic Algorithm for the Rectangular Packing Problem. *Int. Conf. Comput. Sci.*, pp. 783-791.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

## ประวัติผู้เขียน

นางสาวพนิตตา ผลดี เกิดเมื่อวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2538 สำเร็จการศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลศรีสะเกษ จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาในระดับมัธยมศึกษาตอนต้นและมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนศรีสะเกษวิทยาลัย จังหวัดศรีสะเกษ และสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปีการศึกษา 2560 ภายหลังสำเร็จการศึกษาได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโทสาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในปีการศึกษา 2560 โดยขณะศึกษาได้รับทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้เป็นผู้ช่วยสอนในรายวิชาปฏิบัติการระดับปริญญาตรี

ผลงานวิจัย : ได้เสนอบทความเข้าร่วมการประชุมวิชาการระดับนานาชาติในงานประชุม International Conference on Engineering and Industrial Technology (ICEIT) ปี พ.ศ. 2563 ณ ประเทศไทย เรื่อง Hybrid Algorithm for Bin Packing Problems in Construction Material Store

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี