การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

นายกฤศณภัทร สวาสดิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DYNAMIC SCHEDULING FOR VEHICLE ROUTING PROBLEMS

Mr. Kritnapat Sawat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต
โดย	นายกฤศณภัทร สวาสดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

ปวีณา เชาวลิตวงศ์ ..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ ..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กฤศณภัทร สวาสดิ์ : การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต. (DYNAMIC SCHEDULING FOR VEHICLE ROUTING PROBLEMS) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์, 210 หน้า.

งานวิจัยนี้พิจารณาปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่มีข้อจำกัดด้านระยะเวลารับประกัน และความจุของรถขนส่ง โดยปัญหาในงานวิจัยนี้จะแตกต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบดั้งเดิม เนื่องจากเป็นปัญหาในการกำหนดทั้งเวลาออกรถและเส้นทางในการจัดส่งสินค้าที่เหมาะสม โดยที่ข้อมูลของจุดรับสินค้าจะทยอยทราบหลังจากเริ่มขั้นตอนในการหาคำตอบ ทำให้ต้องมีการวางแผนจัดเส้นทางมากกว่าหนึ่งครั้ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำเอาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตมาใช้เพื่อตอบสนองกับข้อมูลที่ทยอยเข้ามาในระบบ

ฮิวริสติกที่นำเสนอจะทำงานในรูปแบบของการวนซ้ำหาคำตอบในสามขั้นตอน คือ กระบวนการจัดเตรียมข้อมูล กระบวนการจัดเส้นทาง และกระบวนการกำหนดเวลาออกรถ โดยในกระบวนการจัดเตรียมข้อมูลจะทำหน้าที่จัดเตรียมข้อมูลสำหรับอีกสองกระบวนการในขั้นถัดไป ในขั้นตอนถัดมาคือกระบวนการจัดเส้นทางจะทำหน้าที่สร้างเส้นทางที่เหมาะสมโดยใช้ insertion heuristic และ GRASP โดยในการสร้างเส้นทางนั้นมีสองแนวทางคือ แนวทางแรกพิจารณาจัดเส้นทางครั้งละหนึ่งเส้นทาง และแนวทางที่สองพิจารณาจัดเส้นทางครั้งละมากกว่าหนึ่งเส้นทาง และขั้นตอนสุดท้ายคือกระบวนการกำหนดเวลาออกรถจะทำหน้าที่กำหนดเวลาออกรถที่เหมาะสม

การทดสอบความสามารถของฮิวริสติกที่นำเสนอ จะทดสอบกับปัญหาที่ดัดแปลงจากปัญหาของ Solomon ซึ่งผลการทดสอบพบว่าคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกมีความแตกต่างจากขอบเขตล่างโดยเฉลี่ย 7.23% 11.54% และ 17.89% สำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ 50 จุดรับ และ 100 จุดรับ ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา ...2549.....

4770209121 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: DYNAMIC / VEHICLE ROUING PROBLEMS (VRP) / GUARANTEED TIME

KRITNAPAT SAWAT : DYNAMIC SCHEDULING FOR VEHICLE ROUTING PROBLEMS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PAVEENA CHAOVALITWONGSE, Ph.D., 210 pp.

This research considers dynamic scheduling in a vehicle routing problem (VRP) with guaranteed service time and capacitated vehicle. Unlike the classic VRP, VRP with dynamic scheduling determines both dispatching time and an appropriate routing for each vehicle. When the information of all customer demand cannot be known at the same time, planning on vehicle routing must be done more than once. Therefore dynamic scheduling is needed in order to cope with continued information.

The proposed heuristic works in three-step iterative manner: data preparation step, route establishing step, and vehicle dispatching step. The data preparation step arranges essential information to the next two steps. In route establishing step, an appropriate route is determined under insertion heuristic and GRASPS heuristic. Routes are established under two concepts: one route establishing at a time and more than one route establishing at a time. Finally, the dispatching time is determined in the third step.

Solomon test problems are used in the computational experiment for heuristic testing. The results show that the heuristic yields 7.23%, 11.54%, and 17.89% average gap from the lower bound for 25-cumtomer node, 50-customer node, and 100-customer node consecutively.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department ..... Industrial Engineering..... Student's signature..... Kritnapat Sawat .....

Field of study ..... Industrial Engineering.....Advisor's signature..... Paveena Chaovalitwongse .....

Academic year..... 2006.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่อง การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ได้จัดทำขึ้นเมื่อในช่วงเวลาตั้งแต่ตุลาคม พ.ศ. 2548 จนถึง กุมภาพันธ์ปี 2550 เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ณ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์ ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้การดูแล ให้คำแนะนำเป็นอย่างดี และให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ด้วยความเมตตาตลอดการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.ศริจันททร์ ทองประเสริฐ ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบและให้คำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.วิภาวี ธรรมมาภรณ์พิลาศ และ อ.สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินงานวิจัย

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ ชรัด กลย์ นิว อุ๋ม แอ้ ป๊อ พี่เจ๋ม รวมถึงเพื่อนๆทุกคน และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาทุกท่าน

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุน ดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยด้วยความรัก ความห่วงใย จนทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 รูปแบบปัญหาของงานวิจัย 3

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

1.4 ขอบเขตและข้อสมมุติของงานวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.6 แนวทางการดำเนินงานวิจัย 5

1.7 วิธีดำเนินงานวิจัย 5

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 7

2.1.1 การวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analysis) 7

2.1.2 ความหลากหลายของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 8

2.2 วิธีในการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 14

2.2.1 วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Optimization) 15

2.2.2 การหาคำตอบด้วยวิธีการแบบฮิวริสติก (Heuristic Optimization) 16

2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 27

2.4 บทสรุป 33

3 ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต 34

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของปัญหา 34

หน้า

3.2 แง่มุมสำคัญของปัญหา 34
3.3 ข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต 40
3.3.1 ข้อมูลเวลาจริงในปัจจุบัน 40
3.3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า 40
3.3.3 ข้อมูลที่เป็นข้อจำกัดของระบบการจัดส่งสินค้า 41
3.3.4 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ 41
3.4 บทสรุป 46

4 การพัฒนาวิธีการหาคำตอบ 47
4.1 การพัฒนาโครงสร้างของฮิวริสติกที่ใช้หาคำตอบ 47
4.1.1 กระบวนการจัดเตรียมข้อมูล 51
4.1.2 กระบวนการจัดเส้นทาง 52
4.1.3 กระบวนการกำหนดเวลาออกรถ 54
4.2 การพัฒนาวิธีการที่ใช้ในการจัดเส้นทาง 58
4.2.1 Insertion Heuristic 59
4.2.2 GRASP 66
4.3 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ 81
4.4 การพัฒนาวิธีการที่ใช้ในการหาขอบเขตล่างของคำตอบ 86
4.5 บทสรุป 95

5 ผลงานวิจัยและการวิเคราะห์ผลงานวิจัย 97
5.1 วิธีการทดสอบฮิวริสติก 97
5.2 ผลการการทดสอบฮิวริสติก 99
5.2.1 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 5 ชิ้น 99
5.2.2 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 6 ชิ้น 102
5.2.3 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 7 ชิ้น 105
5.2.4 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 8 ชิ้น 108
5.2.5 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 25 ชิ้น 111
5.2.6 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 50 ชิ้น 115
5.2.7 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 100 ชิ้น 121

หน้า

5.3 การปรับปรุงกระบวนการจัดเส้นทาง 132
5.3.1 การปรับปรุงกระบวนการสร้างเส้นทาง 136
5.3.2 การปรับปรุงกระบวนการกำหนดเวลาออกรถ 137
5.4 ผลการการทดสอบฮิวริสติกที่ทำการปรับปรุง 139
5.4.1 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 5 ชิ้น 139
5.4.2 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 6 ชิ้น 141
5.4.3 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 7 ชิ้น 143
5.4.4 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 8 ชิ้น 146
5.4.5 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 25 ชิ้น 148
5.4.6 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 50 ชิ้น 151
5.4.7 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 100 ชิ้น 154
5.5 การวิเคราะห์ผล 160
5.6 บทสรุป 165

6 สรุปผลงานวิจัย 166
6.1 สรุปผลงานวิจัย 166
6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและแนวทางประยุกต์ใช้ 167
6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 167

รายการอ้างอิง 170
ภาคผนวก 173
ภาคผนวก ก ปัญหาสำหรับทดสอบ 174
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 210

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลสินค้าที่จะต้องจัดส่ง 44
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลของสินค้าที่เข้ามาในระบบ 48
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ Insertion Heuristic สำหรับปัญหา Solomon ขนาด 25 จุดรับสินค้า 64
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ Insertion Heuristic สำหรับปัญหา Solomon ขนาด 50 จุดรับสินค้า 64
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ Insertion Heuristic สำหรับปัญหา Solomon ขนาด 100 จุดรับสินค้า 65
ตารางที่ 4.5 ความแตกต่างของระยะทางที่ได้จาก Insertion Heuristic เทียบกับ Best known 65
ตารางที่ 4.6 เวลาที่ใช้ในการแทรกจุดรับสินค้าจุดที่ 100 ลงในเส้นทาง โดยใช้ Insertion Heuristic 66
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ GRASP สำหรับปัญหา Solomon ขนาด 25 จุดรับสินค้า 76
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ GRASP สำหรับปัญหา Solomon ขนาด 50 จุดรับสินค้า 77
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ GRASP สำหรับปัญหา Solomon ขนาด 100 จุดรับสินค้า 77
ตารางที่ 4.10 ความแตกต่างของระยะทางที่ได้จาก GRASP เทียบกับ Best known 78
ตารางที่ 4.11 อัตราการเข้ามาในระบบ และระยะเวลารับประกัน ของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ 85
ตารางที่ 4.12 ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 5 จุดรับ 93
ตารางที่ 4.13 ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 6 จุดรับ 93
ตารางที่ 4.14 ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 7 จุดรับ 94
ตารางที่ 4.15 ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 8 จุดรับ 94

หน้า

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 5n_c107 99
ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 101
ตารางที่ 5.3 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 6n_c107 102
ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 104
ตารางที่ 5.5 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 7n_c107 105
ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 108
ตารางที่ 5.7 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 8n_c107 109
ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 111
ตารางที่ 5.9 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 25n_c107 112
ตารางที่ 5.10 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 115
ตารางที่ 5.11 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 50n_c107 115
ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 121
ตารางที่ 5.13 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 100n_c107 121
ตารางที่ 5.14 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 131
ตารางที่ 5.15 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 140
ตารางที่ 5.16 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 143
ตารางที่ 5.17 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 145
ตารางที่ 5.18 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 148
ตารางที่ 5.19 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 150
ตารางที่ 5.20 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 154
ตารางที่ 5.21 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและคำตอบที่ดีที่สุด..... 159
ตารางที่ 5.22 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอก่อน
และหลังปรับปรุงสำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ 162
ตารางที่ 5.23 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอก่อน
และหลังปรับปรุงสำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับ 163
ตารางที่ 5.24 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอก่อน
และหลังปรับปรุงสำหรับปัญหาขนาด 100 จุดรับ 163

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงข่าย 8
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างอาณาเขตในการส่งจดหมายของบุรุษไปรษณีย์ 9
รูปที่ 2.3 seven-bridge problem at Konigsberg 9
รูปที่ 2.4 ปัญหา Traveling Salesman Problem 10
รูปที่ 2.5 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (VRP) 11
รูปที่ 2.6 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบ VRPFT 14
รูปที่ 2.7 วิธีการขยายการค้นหาคำตอบของ Breath-First Search 16
รูปที่ 2.8 วิธีการขยายการค้นหาคำตอบของ Depth-First Search 16
รูปที่ 2.9 แนวทางในการแลกเปลี่ยน node ของสองเส้นทาง 20
รูปที่ 2.10 การค้นหาคำตอบแบบ Local Search 21
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างวิธีการ Sweep Approach 22
รูปที่ 2.12 2-Opt Exchange Operator 22
รูปที่ 2.13 Or-Opt Exchange Operator 23
รูปที่ 2.14 Relocate Operator 23
รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของโครโมโซม 26
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างกระบวนการ Crossover 26
รูปที่ 3.1 กราฟ G แทนปัญหาการจัดส่งสินค้า 35
รูปที่ 3.2 จุดเวลาที่เริ่มขั้นตอนกำหนดเส้นทาง จุดเวลาที่ทราบข้อมูล ช่วงเวลาพร้อมรับบริการ 37
รูปที่ 3.3 จุดเวลาที่เริ่มขั้นตอนกำหนดเส้นทาง จุดเวลาที่ทราบข้อมูล ระยะเวลารับประกัน และกำหนดส่งสินค้า ของปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ 37
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างช่วงเวลาพร้อมรับสินค้าของจุดรับสินค้าในหนึ่งวันทำการ 38
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างของข้อมูลสินค้าที่มีเวลาพร้อมรับบริการคาบเกี่ยวกัน 40
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างของข้อมูลสินค้า ที่เวลาพร้อมรับบริการไม่คาบเกี่ยวกัน 40
รูปที่ 3.7 เวลาที่เหลือให้ใช้จัดส่งที่เวลานาทีที่ 0 42
รูปที่ 3.8 เวลาที่เหลือให้ใช้จัดส่งที่เวลานาทีที่ 5 42
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างชุดข้อมูลคำตอบที่ได้จาก ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต 46

หน้า

รูปที่ 4.1 ระบบกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต 47
รูปที่ 4.2 กรอบแนวคิดของฮิวริสติกในการหาคำตอบ 50
รูปที่ 4.3 แผนผังการทำงานของกระบวนการจัดเตรียมข้อมูล 53
รูปที่ 4.4 แผนผังการทำงานของกระบวนการกำหนดเวลาออกรถ 56
รูปที่ 4.5 การแทรกจุดรับ j สินค้าลงในเส้นทาง 60
รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการทำงานของ Insertion Heuristic 61
รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการทำงานของ Feasible(i,j,r) 62
รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการทำงานหลักของ GRASP 67
รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการทำงานหลักของ GRASP ที่นำมาใช้ในกระบวนการจัดเส้นทาง 68
รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการทำงานของ Construction I 71
รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการทำงานของ Cal_Insert_Cost(i,j) 72
รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อม 74
รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการทำงานของ 2_opt 75
รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการทำงานของ GRASP ที่ใช้ในกระบวนการจัดเส้นทาง 76
รูปที่ 4.15 กระบวนการจัดเส้นทางที่นำเสนอ 80
รูปที่ 4.16 โครงสร้างของชุดข้อมูล Solomon 82
รูปที่ 4.17 จุดเวลาที่เริ่มขั้นตอนกำหนดเส้นทาง จุดเวลาที่ทราบข้อมูล
ระยะเวลารับประกัน และกำหนดส่งสินค้า ของปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ 83
รูปที่ 4.18 โครงสร้างของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ 84
รูปที่ 4.19 ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชั่น Cal_Departure() 90
รูปที่ 4.20 ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชั่น Feasible II 91
รูปที่ 4.21 ขั้นตอนการทำงานของ Heuristic – LB 92
รูปที่ 5.1 เงื่อนไขการตัดสินใจปรับเวลา T_{now} 99
รูปที่ 5.2 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 5n_c107 100
รูปที่ 5.3 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 6n_c107 103
รูปที่ 5.4 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 7n_c107 106
รูปที่ 5.5 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 8n_c107 111
รูปที่ 5.6ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 1 113
รูปที่ 5.6ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 2 114
รูปที่ 5.7ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 1 118

หน้า

รูปที่ 5.7ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 2..... 119
รูปที่ 5.7ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 3..... 120
รูปที่ 5.8ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 1..... 126
รูปที่ 5.8ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 2..... 127
รูปที่ 5.8ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 3..... 128
รูปที่ 5.8ง ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 4..... 129
รูปที่ 5.8จ ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 5..... 130
รูปที่ 5.9 ตำแหน่งจุดรับสินค้า ของสินค้าที่ข้อมูลเข้ามาในระบบเป็นลำดับที่ 1 ถึง 8 133
รูปที่ 5.10 ตัวอย่างเส้นทางที่ได้จากแนวทางการจัดจุดรับลงยานพาหนะครั้งละ 1 คัน 133
รูปที่ 5.11 เส้นทางการจัดส่งสินค้า ในกรณีที่ยอมให้สินค้าที่ถูกจัดส่ง
โดยรถคันเดียวกัน สามารถข้ามลำดับได้..... 134
รูปที่ 5.12 กระบวนการกำหนดเวลาออกรถที่ทำการปรับปรุง 138
รูปที่ 5.13 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 5n_c107 139
รูปที่ 5.14 ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 6n_c107 ส่วนที่ 1..... 141
รูปที่ 5.14 ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 6n_c107 ส่วนที่ 2..... 142
รูปที่ 5.15 ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 7n_c107 ส่วนที่ 1..... 143
รูปที่ 5.15 ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 7n_c107 ส่วนที่ 2..... 144
รูปที่ 5.16 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 8n_c107 147
รูปที่ 5.17ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 1..... 148
รูปที่ 5.17ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 2..... 149
รูปที่ 5.17ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 3..... 150
รูปที่ 5.18ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 1..... 151
รูปที่ 5.18ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 2..... 152
รูปที่ 5.18ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 3..... 153
รูปที่ 5.19ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 1..... 155
รูปที่ 5.19ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 2..... 156
รูปที่ 5.19ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 3..... 157
รูปที่ 5.19ง ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 4..... 158
รูปที่ 5.19จ ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 5..... 159
รูปที่ 5.20 แผนภูมิเปรียบเทียบผลระยะทางรวมที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ 161

หน้า

รูปที่ 5.21 แผนภูมิเปรียบเทียบผลระยะทางรวมที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับ 161
รูปที่ 5.22 แผนภูมิเปรียบเทียบผลระยะทางรวมที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 100 จุดรับ 162
รูปที่ 5.23 แผนภูมิเส้น เปรียบเทียบระยะทางเฉลี่ยของคำตอบ ระหว่างขอบเขตล่าง ฮิวริสติกก่อนการปรับปรุง และฮิวริสติกหลังการปรับปรุง 164
รูปที่ 5.24 แผนภูมิเส้น เปรียบเทียบแนวโน้มความแตกต่างโดยเฉลี่ยจากขอบเขตล่าง 164
รูปที่ 6.1 ตัวอย่างปัญหา Bin Packing Problem 168
รูปที่ 6.2 ตัวอย่างตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับสินค้าที่ตั้งอยู่ต่างอาคารกัน 169

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ปัญหาการจัดเส้นทาง (Routing) เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจในสาขาของ Operations Research จัดเป็นปัญหาสำคัญในการจัดระบบการกระจายสินค้า (Distribution Management) และพลาธิการ (Logisitics) ซึ่งมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางทั้งเชิงทฤษฎีและการประยุกต์ โดยตัวปัญหาจะเป็นการหาคำตอบของเส้นทางในการเดินทางไปยังจุดต่างๆให้ครบทุกจุดโดยต้องการให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำที่สุด ปัญหาหนึ่งที่เป็นที่รู้จักและมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางได้แก่ ปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP) โดย Salesman จะต้องเดินทางไปยังเมืองที่กำหนดให้ให้ครบทุกเมืองแล้วย้อนกลับมาที่เมืองเริ่มต้นใหม่ และตัวปัญหาได้มีการพัฒนาเพิ่มความซับซ้อนมากขึ้นมาเป็นปัญหา m-TSP โดยจะใช้ Salesman มากกว่าหนึ่งคนในการเดินทางจากเมืองเริ่มต้นไปยังเมืองที่กำหนดให้ ให้ครบทุกเมืองแล้วกลับมายังเมืองเริ่มต้นโดยพยายามที่จะจัดเส้นทางที่ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำที่สุด ซึ่งปัญหานี้จะเป็นที่รู้จักกันในชื่อ ปัญหา VRP (Vehicle Routing Problems) สำหรับปัญหาที่งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษา จะเป็นปัญหาในการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต (Dynamic Scheduling for Vehicle Routing Problems) ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (VRP) ที่มีลักษณะเป็นพลวัต ข้อมูลของลูกค้าทยอยออกมาให้เราทราบในระหว่างการจัดเส้นทาง และมีข้อจำกัดในเรื่องของกรอบเวลาในการจัดส่งและปริมาตรของยานพาหนะ โดยจะต้องทำการกำหนดเส้นการจัดส่งสินค้าทางรวมถึงกำหนดเวลาสั่งออกรถที่เหมาะสม

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาก้าวหน้าไปอย่างมาก ส่งผลให้ในด้านของข้อมูลนั้นสามารถส่งผ่านข้อมูลกันได้หลายช่องทางมากยิ่งขึ้น โดยสามารถแปลงข้อมูลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและจัดส่งผ่านตัวนำทางไฟฟ้า ซึ่งใช้เวลาในการจัดส่งข้อมูลที่รวดเร็วมากยิ่งขึ้น แต่สำหรับสินค้านั้นเป็นสิ่งที่มีมวล ดังนั้นในการจัดส่งสินค้าจึงยังจำเป็นจะต้องจัดส่งด้วยยานพาหนะ ไม่สามารถแปลงสินค้านั้นเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแล้วส่งผ่านได้ ดังนั้นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับระบบกระจายสินค้าจึงยังมีความสำคัญ และได้รับความสนใจในการศึกษากันอย่างกว้างขวาง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้นได้รับความสนใจกันอย่างกว้างขวางเนื่องมาจาก การจัดเส้นทางการจัดส่งสินค้าที่เหมาะสม จะช่วยให้ระบบการกระจายสินค้ามีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ซึ่ง

นอกจากจะช่วยลดต้นทุนในการจัดส่งสินค้าแล้ว ยังจะมีส่วนช่วยให้มีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างเหมาะสม ช่วยลดระยะเวลาและระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง และเพิ่มความพึงพอใจแก่ลูกค้า

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีการศึกษากันนั้นจะมีทั้งแบบที่ข้อมูลนำเข้า เช่น เวลาในการเดินทาง ปริมาณความต้องการสินค้า ตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับสินค้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา และทราบล่วงหน้าทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ (Static) และแบบที่ข้อมูลนำเข้าเปลี่ยนแปลงตามเวลา หรือทราบข้อมูลไม่ทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ(Dynamic)

ในปัจจุบันปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เป็นแบบพลวัต(Dynamic) นั้นได้รับความสนใจและมีการศึกษากันเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงของตัวปัญหา ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา และข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจัดเส้นทาง จะทยอยทราบหลังจากได้เริ่มขั้นตอนการจัดเส้นทางไปไปแล้ว และด้วยเทคโนโลยีในการสื่อสารที่มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้นเช่นระบบ GPS (Global Positioning Systems) GIS (Geographical Information Systems) และโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งมีการนำเอามาใช้อย่างแพร่หลาย รวมถึงเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ ซึ่งในปัจจุบันมีประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้นสามารถทำการคำนวณได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถติดต่อสื่อสารและนำเอาข้อมูลมาคำนวณเพื่อทำการจัดเส้นทาง และส่งข้อมูลกลับมาให้พนักงานขับรถได้ตลอดเวลาหลังจากที่รถได้เริ่มออกเดินทางจากท่ารถเพื่อไปจัดส่งสินค้าแล้ว

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่เคยมีการศึกษานั้นมักจะมีสมมุติฐานที่ว่าหลังจากยานพาหนะได้เริ่มออกเดินทางออกมาจากท่ารถแล้ว ถ้ามีการเพิ่มเติมลูกค้าที่จะต้องจัดส่งเข้ามาในเส้นทาง จะไม่จำเป็นต้องกลับไปยังท่ารถเพื่อทำกระบวนการใดๆสำหรับสินค้าที่จะต้องจัดส่ง เช่น การกลับไปรับสินค้ามาเพิ่ม ดังนั้นปัญหาแบบพลวัตที่มีการศึกษา มักจะเป็นปัญหาในการพิจารณาการจัดเส้นทางเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องพิจารณาเรื่องของเวลาออกรถ ตัวอย่างของปัญหาในรูปแบบดังกล่าวได้แก่ ปัญหา Dial-a-ride-systems ซึ่งจะเป็นปัญหาในการจัดเส้นทางจากท่ารถออกไปรับสินค้าจากจุดหนึ่งไปส่งยังอีกจุดหนึ่ง หรือปัญหาแบบ Courier Service Problems เช่น พวก Federal Express ซึ่งยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งจะมีที่ว่างสำหรับบรรจุสินค้าเต็มพิกัดแล้วออกจากท่ารถไปรับสินค้าจากลูกค้าในตำแหน่งที่ตั้งต่างๆ แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถเพื่อรวบรวมสินค้าไปจัดส่งต่อไป และปัญหา Distribution of Heating Oil ซึ่งเป็นปัญหาในการเดินทางไปจัดส่งน้ำมันที่บ้านของลูกค้า

จะสังเกตได้ว่า ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่มีการศึกษากันนั้น จะเป็นปัญหาที่มีรูปแบบเป็นการกำหนดเส้นทางเพื่อเดินทางเพื่อไปที่จุดรับต่างๆเท่านั้น สามารถกำหนดให้รถเริ่มออกเดินทางจากท่ารถได้ตั้งแต่ตอนเริ่มเวลาทำการ จากนั้นจึงค่อยมีการติดต่อสื่อสารกัน ระหว่างพนักงานที่ทำหน้าที่จัดเส้นทาง กับพนักงานขับรถ ผ่านเครื่องมือสื่อสาร เพื่อกำหนดเส้นทางที่พนักงานขับรถจะต้องเดินทางไปยังจุดถัดไป ในระหว่างที่รถได้ออกเดินทางไปจากท่ารถแล้วและ

กำลังอยู่ในระหว่างการเดินทาง โดยสามารถเพิ่มจุดที่จะต้องเดินทางไปส่งหรือรับสินค้าได้โดยไม่ต้องกลับไปรับสินค้าที่ท่ารถก่อน

สำหรับปัญหาที่ศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้เป็นปัญหาแบบพลวัต ที่มีรูปแบบที่แตกต่างออกไปจากปัญหาที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น คือ เป็นปัญหาที่สินค้าที่จะจัดส่งทุกชิ้นจะต้องออกจากท่ารถและสินค้านั้นจะออกจากท่ารถได้หลังจากที่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าที่จะต้องจัดส่งแล้วเท่านั้น ซึ่งข้อมูลทั้งปริมาณความต้องการสินค้า และตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับสินค้า จะทยอยทราบในระหว่างการกำหนดเส้นทาง โดยในระหว่างที่ข้อมูลทยอยกันออกมานั้น จะต้องตัดสินใจว่าเวลาใดที่ควรจะสั่งออกรถ และเส้นทางในการจัดส่งสินค้าของรถแต่ละคันเป็นอย่างไร โดยคำนึงถึงเงื่อนไขความจุของรถและกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง โดยการตัดสินใจนี้ไม่สามารถรอจนกระทั่งทราบข้อมูลเกี่ยวกับจุดรับสินค้าที่จะต้องจัดส่งครบทุกจุด แล้วจึงตัดสินใจสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้าได้ เนื่องจากจะทำให้ไม่สามารถจัดส่งสินค้าได้ทัน ตามเงื่อนไขกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง

จะเห็นว่าตัวปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตนั้นมีความน่าสนใจ เนื่องจากไม่ใช่ปัญหาในการจัดเส้นทาง ที่เพียงแต่กำหนดเส้นทางที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว แต่จะต้องหาแนวทางในการจัดเส้นทาง รวมถึงจัดแบ่งสินค้าที่จะต้องจัดส่งลงในยานพาหนะ พร้อมทั้งสร้างเงื่อนไขในการตัดสินใจสั่งปล่อยรถเพื่อให้สามารถจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้าได้ตามเงื่อนไขกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง ซึ่งปัญหาในสถานการณ์จริงที่มีลักษณะเข้าข่ายกับปัญหาที่ได้กล่าวนี้ก็จะมีอยู่หลายแบบเช่น ระบบการกระจายเวชภัณฑ์ภายในโรงพยาบาล ระบบจัดส่งอาหารตามสั่งภายในโรงพยาบาล ระบบจัดส่งอาหารตามสั่งในโรงแรม และระบบการให้บริการแบบ Delivery เป็นต้น

ปัญหาที่พบในระบบการจัดส่งสินค้าที่มีรูปแบบดังกล่าวนี้ คือ การใช้ระยะเวลาและระยะทางในการจัดส่งที่ยาวนาน ทำให้ไม่สามารถจัดส่งได้ทันเวลาที่กำหนด ทำให้ลูกค้าต้องเสียเวลาในการรอคอย รวมถึงการบริหารจัดการรถขนส่งที่มีอยู่อย่างไม่เหมาะสม

จากความยุ่งยากซับซ้อนของตัวปัญหาดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ทำให้เป็นการยากที่จะได้มาซึ่งคำตอบที่เหมาะสมโดยที่ใช้เวลาในการคำนวณที่สมเหตุสมผล ดังนั้นเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งระบบการกระจายสินค้าที่มีลักษณะร่วมดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงทำการพัฒนาฮิวริสติกสำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต โดยมุ่งเน้นให้สินค้าจัดส่งถึงลูกค้าภายในระยะเวลาที่กำหนดและระยะทางรวมในการขนส่งที่เหมาะสม

1.2 รูปแบบปัญหาของงานวิจัย

ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตในงานวิจัยนี้ จะเป็นปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถที่ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าที่จะต้องจัดส่ง ทยอยออกมาในระหว่างการกำหนดเส้นทาง โดยที่มี

ข้อจำกัดในด้านปริมาตรความจุของรถที่ใช้ในการจัดส่ง และข้อจำกัดในด้านกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้เงื่อนไขกรอบระยะเวลาในการจัดส่งจะเป็นกรณีที่จุดรับสินค้าพร้อมรับสินค้าทันทีที่มีการสั่งสินค้า และจะต้องทำการจัดส่งสินค้าให้ถึงจุดรับสินค้าภายในระยะเวลาที่ได้ทำการตกลงไว้กับลูกค้า นับจากจุดเวลาที่ได้มีการสั่งสินค้า โดยคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหานี้ คือ เวลาออกรถ และเส้นทางการจัดส่งสินค้าของรถแต่ละคัน

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

นำเสนอฮิวริสติกสำหรับการกำหนดเส้นทางการเดินรถแบบพลวัต เพื่อให้ได้ระยะทางรวมในการขนส่งมีค่าเหมาะสม และสินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับสินค้าภายในระยะเวลารับประกัน

1.4 ขอบเขตและข้อสมมุติของงานวิจัย

ขอบเขตและข้อสมมุติของงานวิจัยสำหรับปัญหาที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย

1) ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ มีข้อมูลของสินค้าที่จะต้องทำการจัดส่งสินค้า ทยอยกันออกมาตามช่วงเวลาในระหว่างการกำหนดเส้นทาง ทั้งข้อมูลในด้าน ตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับสินค้า และปริมาตรของสินค้าที่จะต้องจัดส่ง
2) ค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้า มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับระยะทางที่ใช้ในการจัดส่ง
3) ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างจุดสองจุดใดๆ มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับระยะทางระหว่างจุดสองจุดนั้น
4) ระยะเวลารับประกัน (Guaranteed Time : GT) หมายถึง ระยะเวลานับจากจุดเวลาที่รับข้อมูลการสั่งสินค้า ไปจนถึงเวลามากที่สุดที่จะต้องจัดส่งสินค้าไปให้ถึงจุดรับสินค้า โดยระยะเวลารับประกันนี้จะเป็นข้อตกลงกันระหว่างลูกค้ากับส่วนการขนส่ง กำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากันสำหรับลูกค้าทุกราย
5) มีเส้นทางเชื่อมโดยตรงระหว่างจุด 2 จุดใด ๆ เสมอ
6) รถที่ใช้ในการขนส่งแต่ละคันเหมือนกันทุกประการ และมีรถพร้อมรับสินค้าไปจัดส่งมารอที่ท่ารถอย่างน้อยหนึ่งคันเสมอ
7) ปริมาตรของสินค้าแต่ละชิ้น น้อยกว่าหรือเท่ากับความจุของรถ
8) มีเวลาเหลือมากพอสำหรับการวางแผนกำหนดเส้นทาง และกำหนดเวลาออกรถ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ วิธีการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ให้สามารถจัดส่งสินค้าได้ทันภายในระยะเวลารับประกัน โดยเส้นทางและเวลาสั่งออกรถที่ได้จะทำให้ระยะทางรวมในการขนส่งมีค่าเหมาะสม

1.6 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

แนวทางการดำเนินงานวิจัยนี้ เริ่มจากทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในรูปแบบต่างๆ รวมถึงปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต จากนั้นจะทำการพัฒนาวิธีการหาคำตอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน สำหรับส่วนแรก คือ การหาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาที่ใช้เป็นขอบเขตล่าง โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหา พร้อมทั้งหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาขนาดเล็ก คือขนาด 5 จุดรับ 6 จุดรับ 7 จุดรับ และ 8 จุดรับ โดยใช้โปรแกรม CPLEX 8.0 และหาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาขอบเขตล่างสำหรับปัญหาขนาดใหญ่คือ 25 จุดรับ 50 จุดรับ และ 100 จุดรับ โดยพัฒนาฮิวริสติก(Heuristic)สำหรับใช้แก้ปัญหา จากนั้นนำฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นนั้น มาเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C เพื่อใช้หาคำตอบ จากนั้นในส่วนที่สอง คือ การหาคำตอบของปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยวิธีฮิวริสติก โดยทำการพัฒนาฮิวริสติกสำหรับใช้แก้ปัญหา จากนั้นนำฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นนั้น มาเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C เพื่อใช้หาคำตอบของปัญหา และเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากแบบปัญหาที่เป็นขอบเขตล่าง และคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติกเพื่อทำการปรับปรุงและแก้ไขต่อไป

1.7 วิธีดำเนินงานวิจัย

1) ทำการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ
2) ศึกษาและทำความเข้าใจในปัญหารูปแบบที่ต้องการวิจัย และปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่ได้มีการวิจัยมาก่อนหน้านี้ และวิเคราะห์ถึงความแตกต่างและจุดเด่นของตัวปัญหาที่ต้องการวิจัย
3) ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ เพื่อนำแนวคิดและความรู้พื้นฐานมาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่จะทำวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) ทำการกำหนดรูปแบบของปัญหาที่จะทำวิจัย พร้อมทั้งกำหนดขอบเขตของปัญหาที่ชัดเจน
4) พัฒนาวิธีการหาคำตอบของปัญหาที่จะทำวิจัย
5) ทดลองแก้ปัญหาด้วยวิธีการที่พัฒนาขึ้น เก็บข้อมูลสรุปผลและเสนอแนะแนวทางในการทำวิจัยต่อไป
6) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบพลวัต จัดเป็นปัญหารูปแบบหนึ่งการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Optimization) ที่ขยายขอบเขตและเพิ่มความซับซ้อนขึ้นจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถพื้นฐาน (Conventional Vehicle Routing Problem :VRP) และมีความซับซ้อนในระดับเอ็นพียาก (Nonpolynomial Hard :NP-Hard) ซึ่งใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนานและเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโปเนนเชียลตามขนาดของปัญหาที่เพิ่มขึ้น (Blum and Roli, 2003) ด้วยเหตุนี้การหาคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ด้วยวิธีการคำนวณตัวแบบทางคณิตศาสตร์จึงใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนานมาก และไม่สอดคล้องกับลักษณะปัญหาที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งต้องอาศัยการคำนวณที่รวดเร็วเพื่อที่จะสามารถบริหารจัดการทรัพยากรที่ใช้ในการขนส่งได้อย่างเหมาะสมและทันต่อเหตุการณ์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic Approach) ในการแก้ปัญหาในส่วนของการจัดเส้นทางเดินรถ ในบทนี้เนื้อหาจึงได้แบ่งออกเป็น 3 เรื่องได้แก่ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

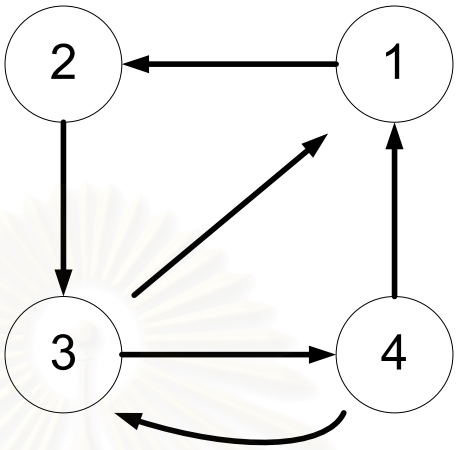
2.1.1 การวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analysis)

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถสามารถพิจารณาได้ในรูปแบบของการวิเคราะห์โครงข่ายประเภทหนึ่ง โดยโครงข่าย (Network) จะประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ส่วนคือ

โนด (Node) คือ จุดยอดหรือจุดมุมของรูปหลายเหลี่ยมเมื่อแสดงในโครงข่ายในลักษณะของกราฟ และสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โนดจะหมายถึง จุดเชื่อม หรือจุดที่ใช้ในการขนส่งสินค้าโดยสามารถเป็นได้ทั้งจุดเริ่มต้นหรือจุดสุดท้ายของการขนส่ง

อาค (Arc) คือ เส้นเชื่อม หมายถึง เส้นทางการขนส่งสินค้าหรือแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดเชื่อมใดๆ อาจแสดงได้ทั้งระยะทาง ระยะเวลาเดินทางหรือค่าใช้จ่ายในการเดินทาง อาคมีทิศทางเดียวหรือสองทิศทางก็ได้ โดยอาคที่ต่อกับโนดอย่าง

เป็นลำดับเรียกว่า เชน (Chain) และเรียกเชนที่มีลำดับการต่อโนดที่โนดปลายเป็นโนดเริ่มต้นว่า พาธ (Path) หรือเส้นทาง และเรียก อาค ที่ไม่มีทิศทางว่า เอ็ดจ์ (Edge)



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างโครงข่าย

2.1.2 ความหลากหลายของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

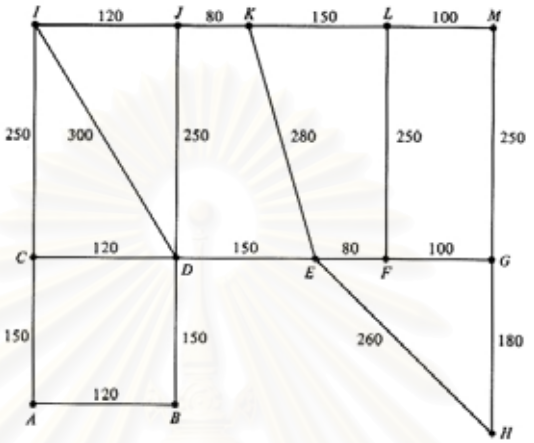
ปัญหาการจัดเส้นทาง (Routing Problems) เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจ และมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางในช่วง 3 ถึง 4 ทศวรรษที่ผ่านมา โดยในช่วงที่ผ่านมานั้นจะให้ความสำคัญกับปัญหาที่ระบบคงที่(Static) และข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดทราบก่อนเริ่มการวางแผนจัดเส้นทาง(Deterministic) แต่ทว่ารูปแบบของปัญหาที่พบได้บ่อยในทางปฏิบัติตัวระบบมักเป็นแบบพลวัต(Dynamic) ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นในการจัดเส้นทางจะทยอยออกมาหลังจากที่ได้เริ่มจัดเส้นทางไปแล้ว ทำให้ระยะหลังมีการให้ความสำคัญกับปัญหาในรูปแบบหลังเพิ่มมากขึ้น โดยปัญหาการจัดเส้นทางนั้นสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ ปัญหาแบบ edge-covering และปัญหาแบบ node-covering ซึ่งปัญหาทั้ง 2 กลุ่มนั้นก็จะถูกจำแนกออกเป็นปัญหาย่อยอีกตามรูปแบบลักษณะเด่นเฉพาะของตัวปัญหา ดังนี้

ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ edge-covering

ปัญหาในกลุ่มนี้จะเป็นปัญหาในการจัดเส้นทางเพื่อให้เดินทางผ่านครบทุก edge ที่มีอยู่แล้วกลับมายังจุดเริ่มต้น ซึ่งปัญหาที่เป็นที่รู้จักคือ

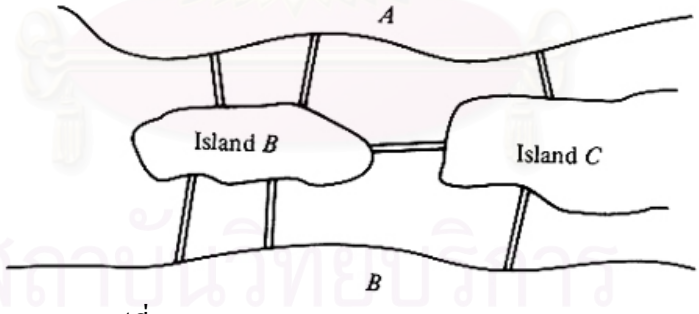
-ปัญหา The Chinese Postman's Problem (CCP) คือปัญหาในการจัดเส้นทางสำหรับบุรุษไปรษณีย์ในการจัดส่งจดหมายภายในอาณาเขตดังที่กำหนด

โดยกำหนดให้ถนนถูกแสดงด้วย edge และจุดตัดของถนนแต่ละเส้นถูกแสดงด้วย node ดังเช่นใน รูปที่ 2.2 บุรุษไปรษณีย์จะเริ่มออกเดินทางที่ node A ซึ่งกำหนดให้เป็นที่ทำการไปรษณีย์ โดยเขาจะต้องเดินทางไปส่งจดหมายโดยผ่านทุกๆถนนในอานาเขตที่กำหนดให้แล้วเดินทางกลับมายัง node A ตามถนนที่มีอยู่ในภาพ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้ระยะทางในการเดินทางน้อยที่สุด



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างอาณาเขตในการส่งจดหมายของบุรุษไปรษณีย์

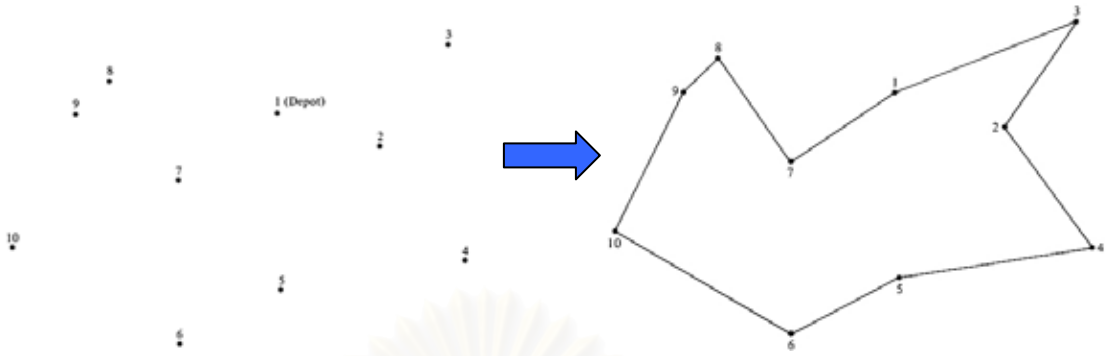
- *ปัญหา Konigsberg routing problem* เป็นปัญหาในการหาเส้นทางของขบวนพาเหรดให้มีการข้ามสะพานทั้ง 7 แห่งในเมือง Konigsberg (ดังที่แสดงในรูปที่ 2.3) ให้ครบโดยให้มีการข้ามสะพานแต่ละแห่งเพียงครั้งเดียว



รูปที่ 2.3 seven-bridge problem at Konigsberg

ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ node-covering

ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ node-covering ที่เป็นที่รู้จักและมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางที่สุดคือ *ปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP)* ซึ่งเป็นปัญหาที่พนักงานขาย 1 คน จะต้องเดินทางจากเมืองเริ่มต้นไปยังเมืองทุกเมืองแล้วย้อนกลับมาที่เมืองเริ่มต้น ซึ่งแต่ละเมืองจะผ่านได้เพียงครั้งเดียว โดยมีจุดประสงค์ที่มีระยะทางรวมในการเดินทางสั้นที่สุด

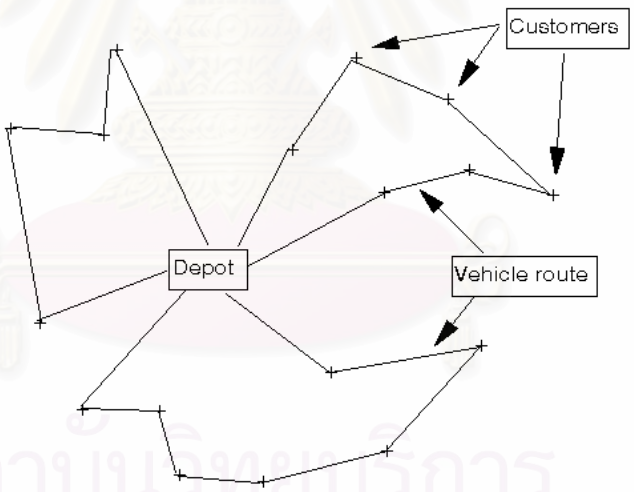


รูปที่ 2.4 ปัญหา Traveling Salesman Problem

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ Vehicle Routing Problem (VRP) เป็นปัญหาที่เป็นกรณีทั่วไปของ TSP ซึ่ง VRP ก็คือ m-TSP โดยจะเป็นปัญหาในการจัดเส้นทาง m เส้นทาง ที่เริ่มจากท่ารถไปยังจุดรับในที่ต่างๆ โดยจุดรับแต่จะจุดสามารถไปพบได้เพียงครั้งเดียวด้วยรถคันเดียว และปริมาณความต้องการสินค้าของจุดรับในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินความจุของรถหรือยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง โดยมีจุดประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการ เดินทางรวมน้อยที่สุด ซึ่งในการศึกษาปัญหา VRP นั้นอาจมีการเพิ่มข้อจำกัดต่างๆเข้ามา ในปัญหา ทำให้ปัญหามีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นเป็นปัญหาต่างๆดังนี้

- *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*
  เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ที่เพิ่มข้อจำกัดเรื่องความจุของรถหรือยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง โดยที่รถหรือยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมีปริมาตรคงที่ค่าหนึ่งเหมือนกันสำหรับรถทุกคัน
- *Multiple Depot VRP (MDVRP)*
  เป็นปัญหาการจัดเส้นทางที่มีท่ารถอยู่มากกว่า 1 แห่งโดยจะต้องมีการจัดสรรว่าลูกค้ารายใดจะรับสินค้าที่มาจากท่ารถแห่งไหน แล้วจัดเส้นทางให้ได้ยะทางในการเดินทางต่ำที่สุดและใช้จำนวนยานพาหนะในการจัดส่งน้อยที่สุด
- *VRP with Time Windows (VRPTW)*
  เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ที่เพิ่มข้อจำกัดเรื่องกรอบเวลา เวลาเริ่มต้น เวลาสิ้นสุด ระยะเวลาในการให้บริการ

- *Split Delivery VRP (SDVRP)*
  เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ที่ลูกค้าแต่ละรายสามารถไปพบได้มากกว่า 1 ครั้ง
- Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivering (VRPPD)
  เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ที่เดินทางไปส่งสินค้าและรับคืนสินค้าจากลูกค้า
- *VRP with Backhauls (VRPB)*
  เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ แบบ VRPPD เพียงแต่จะต้องทำการส่งสินค้าให้เสร็จก่อนที่จะมีการรับสินค้าเข้ามาบนรถ
- *Periodic VRP (PVRP)*
  เป็นปัญหาที่ผสมผสานกันระหว่างปัญหา VRP กับ Assignment Problem โดยเป็นการพิจารณาเส้นทางสำหรับช่วงเวลาใดๆ สำหรับความต้องการของลูกค้าที่มีลักษณะเป็นคาบในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา



รูปที่ 2.5 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (VRP)

แต่เมื่อระบบมีองค์ประกอบตั้งแต่ 1 อย่างขึ้นไปที่มีความไม่แน่นอน ปัญหาจะถูกจัดเป็น Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP) ซึ่งสามารถแบ่งตามองค์ประกอบที่มีความไม่แน่นอนได้ดังนี้

- *Stochastic Customers*
  เมื่อลูกค้าแต่ละรายมีความน่าจะเป็นที่จะปรากฏออกมาอยู่ระหว่าง 0 กับ 1
- *Stochastic Demands*

เมื่อปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายเป็นตัวแปรสุ่ม

- *Stochastic Times* เมื่อระยะเวลาในการให้บริการ หรือระยะเวลาในการเดินทางเป็นตัวแปรสุ่ม

โดยหากทำการแบ่งประเภทตามแนวทางของ Gendreau et al. (1996) จะสามารถแบ่งปัญหาแบบ Stochastic ออกเป็น 6 รูปแบบย่อยดังนี้

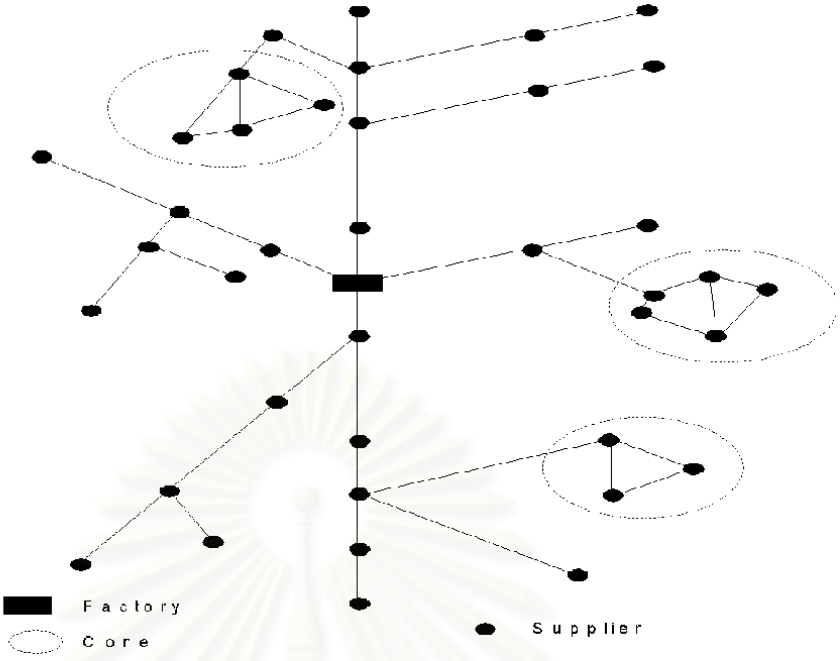
- *TSP with Stochastic Customer (TSPSC)*
  เมื่อลูกค้าแต่ละรายมีความน่าจะเป็นที่จะปรากฏออกมาอยู่ ระหว่าง 0 กับ 1 ซึ่งปัญหานี้จะเป็นที่รู้จักในอีกชื่อหนึ่งคือ Probabilistic Traveling Salesman Problem (PTSP)
- *TSP with Stochastic Travel Time (TSPST)*
  เมื่อทราบว่าลูกค้ามีรายใดบ้างแต่ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางหรือค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางเป็นตัวแปรสุ่ม โดยมีวัตถุประสงค์จัดเส้นทางให้มีความน่าจะเป็นมากที่สุดในการเดินทางไปยังจุดรับบริการของลูกค้าให้ครบภายในระยะเวลาที่กำหนด
- *m-TSP with Stochastic Travel Time (m-TSPST)*
  คือ TSPST ที่มียานพาหนะทั้งหมด m คัน
- *VRP with Stochastic Demand (VRPSD)*
  เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ เมื่อความต้องการของลูกค้าเป็นตัวแปรสุ่ม
- *VRP with Stochastic Customer (VRPSC)*
  คือ TSPSC ที่มียานพาหนะทั้งหมด m คัน
- *VRP with Stochastic Customer and Demand (VRPSCD)*
  เป็นรูปแบบของปัญหาที่มีการผสมผสานกันระหว่างปัญหาแบบ VRPSC กับ VRPSD ซึ่งปัญหานี้จะเป็นที่รู้จักในอีกชื่อหนึ่งคือ Probabilistic Vehicle Routing Problem (PVRP)

สำหรับระบบที่ระบบไม่คงที่ ไม่ทราบข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดก่อนเริ่มการจัดเส้นทางแต่ข้อมูลจะทยอยออกมาในระหว่างที่ได้ออกรถไปแล้วแล้วต้องทำการตัดสินใจจัดเส้นทางในระหว่างที่รถกำลังอยู่ในระหว่างการเดินทาง จะเป็นการแก้ปัญหาแบบเวลาจริง (Real-Time) ซึ่งระบบจะเป็นแบบพลวัต (Dynamic) ซึ่งปัญหาที่มีรูปแบบดังกล่าวนี้คือ

- *Dynamic Traveling Salesman Problem (DTSP)*
- *Dynamic Repairman Problem (DTRP)*
- *Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)*
- *Dynamic Dial-A-Ride Systems (DARP)*

นอกจากนี้ยังมีรูปแบบปัญหาที่มีลักษณะเฉพาะในรูปแบบอื่นอีก เช่น

- Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP) เป็นรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เส้นเชื่อมระหว่างคู่ของจุดเชื่อมใดๆมีทิศทางของเส้นเชื่อม 2 เส้นทาง (Bi-directional Distance) และค่าประจำเส้นเชื่อมไม่จำเป็นต้องเท่ากันเสมอไป
- *Time Dependent TSP (TD-TSP)* และ *Time Dependent Vehicle Routing Problem (TD-VRP)* ซึ่งเป็นรูปแบบปัญหาที่มีระยะเวลาในการเดินทางระหว่างจุดใดๆเปลี่ยนไปตามช่วงเวลา เช่นจากความหนาแน่นของเส้นทาง (Traffic Congestion) หรือปัจจัยอื่นๆที่คงที่และทราบข้อมูลล่วงหน้าก่อนเริ่มการจัดเส้นทาง ซึ่งเป็นการเพิ่มความซับซ้อนในการคำนวณสำหรับขั้นตอนในการจัดเส้นทาง
- *Vehicle Routing Problem On Fir Tree (VRPFT)* เป็นปัญหาการจัดเส้นทางที่มีรูปแบบของตำแหน่งจุดรับของลูกค้ากระจายตัวคล้ายกิ่งไม้ ซึ่งจะพบเห็นได้จริงในกรณีที่มีถนนหลักเส้นเดียวในการเดินทางไปยังจุดรับของลูกค้าที่อยู่ในถนนเส้นรองจากถนนหลัก (Basnet and Foulds, 1997)
- Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem (FSMVRP) เป็นปัญหาการจัดเส้นทางที่มีรูปแบบของพาหนะที่ใช้ในการขนส่งหลายประเภทและมีโครงสร้างค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน ซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการจัดเส้นทางให้ได้ผลรวมระหว่างค่าใช้จ่ายในเรื่องของการเดินทางและค่าใช้จ่ายในเรื่องของยานพนะต่ำที่สุด (Renaud and Boctor, 2002)



รูปที่ 2.6 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบ VRPFT

2.2 วิธีในการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้น ในอดีตจะใช้คนเป็นผู้กำหนดเส้นทางโดยอาศัยประสบการณ์หรือใช้กลยุทธ์ที่ไม่ซับซ้อนในการจัดเส้นทาง และไม่จำเป็นต้องมีการคำนวณที่ยุ่งยากนัก เนื่องจากปัญหามีขนาดไม่ใหญ่รวมถึงมีความซับซ้อนไม่มากนัก ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ก็จะอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ แต่ต่อมาธุรกิจมีการเติบโตมากขึ้น รวมถึงมีการควบรวมกิจการทำให้ระบบกระจายสินค้ามีความซับซ้อนมากขึ้น ส่งผลให้ตัวปัญหาในส่วนของการจัดเส้นทางเดินรถมีขนาดที่ใหญ่และซับซ้อนขึ้นด้วย ซึ่งการจัดเส้นทางที่เหมาะสมจะสามารถช่วยลดความซับซ้อนในการดำเนินงานรวมถึงสามารถลดต้นทุนลงได้เป็นจำนวนมาก รูปแบบของปัญหาที่พบในระยะหลังจึงมักจะมีความซับซ้อน รวมถึงมีขนาดของปัญหาที่ใหญ่มากเกินกว่าที่จะใช้ความสามารถของคนในการจัดเส้นทางเพื่อที่จะได้คำตอบที่เหมาะสม การพัฒนานำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เราสามารถ ทำการคำนวณปัญหาที่มีซับซ้อนได้ในเวลาที่สั้นลง สามารถนำเอาวิธีการหาคำตอบที่เป็นระบบและความซับซ้อน รวมถึงมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น มาประยุกต์ใช้กับปัญหาจริงได้ การหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถสามารถแยกออกเป็น 2 แนวทางคือ การหาคำตอบแบบ Exact Optimization และ Heuristic Optimization ซึ่งทั้ง 2 แนวทางนั้นจะมีจุดเด่นและจุดด้อยที่แตกต่างกันคือ การหาคำตอบแบบ Exact Optimization จะได้คำตอบในรูปของค่าที่ดีที่สุด (Mathematical Optima) ซึ่งจะเป็นต้องสร้างตัวแปรทางคณิตศาสตร์สำหรับการ

แก้ปัญหา ซึ่งใช้ระยะเวลาในการคำนวณที่สูงมากเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ ส่วนแนวทางการหาคำตอบแบบ Heuristic Optimization คำตอบที่ได้จะอยู่ในรูปของค่าใกล้เคียงค่าดีที่สุด (Approximate Optima) โดยที่ใช้เวลาในการคำนวณที่น้อยมากเมื่อเทียบกับแนวทางการหาคำตอบแบบ Exact Optimization และเนื่องจากรูปแบบของปัญหาในทางปฏิบัติมีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ แนวทางในการแก้ปัญหาในทางปฏิบัติ จึงจำเป็นต้องอาศัยการประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบ Heuristic Optimization ในการหาคำตอบ (พงศ์พัฒน์ โตตระกูล, 2546: 9)

2.2.1 วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Optimization)

วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้สำหรับหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Optimization) นั้นมีด้วยกันหลากหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ได้แก่

การโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear Programming: LP) เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการแก้ไขปัญหาทางการจัดสรรทรัพยากรที่มีลักษณะความสัมพันธ์ ของ ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องเป็นเชิงเส้นตรงทั้งหมด เพื่อทำการกำหนดเส้นทางเดินรถ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ปัญหาและตัดสินใจให้ได้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายที่ดีที่สุด

วิธีการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (The Branch-and-Bound Algorithm) เป็นวิธีซึ่งใช้หลักการของการตัดทอนการแจงนับ วิธีการนี้ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนคือ การแตกกิ่ง (Branching) คือกระบวนการแบ่งส่วนของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ให้เป็นปัญหาย่อย 2 ปัญหาหรือมากกว่า ส่วนการจำกัดเขต (Bounding) คือกระบวนการหาค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ของคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยที่กำหนดให้ ในระหว่างขั้นตอนของการแตกกิ่ง จะมีการแทนที่ปัญหาเริ่มต้นด้วยเซตของปัญหาใหม่ที่มีลักษณะดังนี้ อย่างแรก ปัญหาดั้งเดิมจะถูกแตกออกเป็นหลายปัญหาย่อยที่ไม่เกิดขึ้นร่วมกัน และมีการแจงกรณีทั้งหมดที่เป็นไปได้ อย่างที่สองปัญหาย่อยเหล่านี้จะเป็นกรณีหนึ่งของปัญหาเดิมที่หาคำตอบได้แล้วบางส่วน สุดท้ายปัญหาย่อยเหล่านี้จะมีขนาดเล็กกว่าปัญหาเดิม (ปารเมศ ชุติมา, 2546: 91)

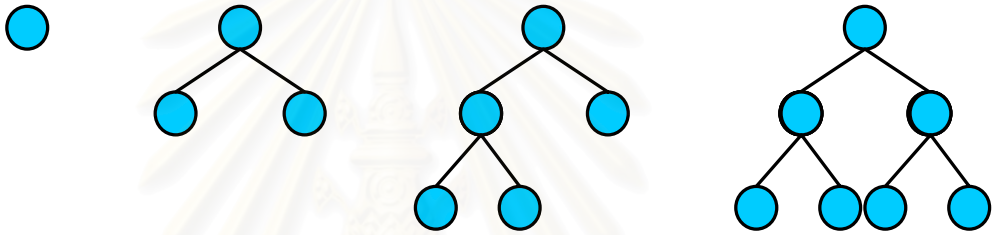
การโปรแกรมแบบไดนามิก (Dynamic Programming) เป็นวิธีการหาค่าที่ดีที่สุด โดยแบ่งกลุ่มของจุดเชื่อมที่พิจารณาจัดเส้นทางออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่จัดเส้นทางไปแล้วและกลุ่มที่ยังไม่ได้จัดเส้นทาง จากนั้นพิจารณาเส้นทาง จากนั้นพิจารณาเส้นทางที่ดีที่สุดทุกครั้งที่เลือกเชื่อมจุดเชื่อมหนึ่งจุดใดๆ เข้ากับกลุ่มของจุดเชื่อมที่จัดเส้นทางไปแล้ว

2.2.2 การหาคำตอบด้วยวิธีการแบบฮิวริสติก (Heuristic Optimization)

Uninformed Search หรือ Blind Search

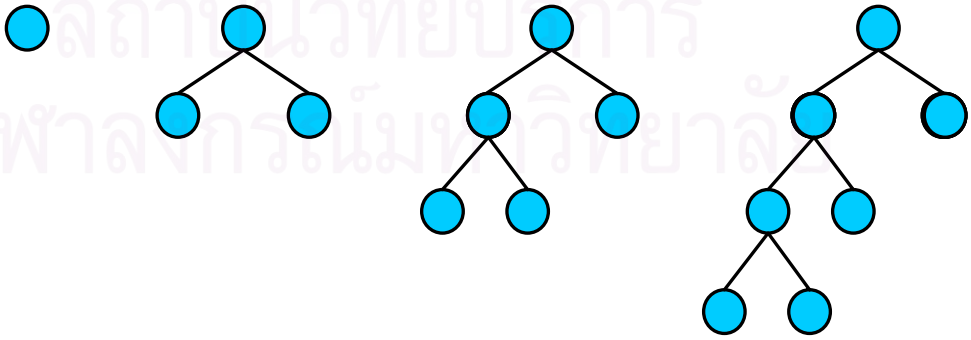
เป็นวิธีในการหาคำตอบโดยไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับจำนวนขั้นตอนหรือ Path Cost จากสภาวะปัจจุบัน (Current State) ไปสู่สภาวะเป้าหมาย (Goal State) ตัวอย่างของวิธีการหาคำตอบในกลุ่มนี้ ได้แก่

-*Breadth first Search* มีวิธีการขยายการค้นหาคำตอบจากเป้าหมายที่อยู่ใกล้ที่สุดก่อน เป็นวิธีที่สมบูรณ์และให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด แต่ใช้หน่วยความจำสูง



รูปที่ 2.7 วิธีการขยายการค้นหาคำตอบของ Breath-First Search

-*Depth-first Search* มีวิธีการขยายการค้นหาคำตอบไปยังส่วนที่ลึกที่สุดของแผนผังต้นไม้ เป็นวิธีการหาคำตอบที่ไม่สมบูรณ์และไม่จำเป็นจะต้องให้ค่าที่เหมาะสมที่สุด แต่ใช้หน่วยความจำน้อยกว่าวิธี Breadth first search



รูปที่ 2.8 วิธีการขยายการค้นหาคำตอบของ Depth-First Search

-*Depth-limited Search* มีวิธีการคล้ายกับวิธี Depth-first search เพียงแต่จะ ขยายการค้นหาคำตอบไปยังส่วนที่ลึกที่สุด แต่ไม่เกินระดับความลึกที่กำหนดให้

-*Iterative deepening Search* มีวิธีการคล้ายกับวิธี Depth-first search เพียงแต่จะขยายการค้นหาคำตอบไปยังระดับที่ลึกที่สุดไม่เกินค่า L โดยจะมีการปรับค่า L เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ เป็น L+1,L+2,L+3,…

- *Uniform Cost Search* มีวิธีในการขยายการค้นหาคำตอบโดยเลือกขยายคำตอบจาก node ที่มีค่าประจำพาธที่ต่ำที่สุด (Minimize The Cost of Path)

Informed search หรือ Heuristic Search

จะอาศัยข้อมูลในการเปลี่ยนจากสภาวะปัจจุบันไปสู่เป้าหมายซึ่ง วิธีนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่า Uninformed Search และมีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธีได้แก่

-*Greedy Search* เป็นวิธีการหาคำตอบที่มีวิธีการขยายการค้นหาคำตอบจากคำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบันไปยังคำตอบใหม่ โดยการประเมินค่าใช้จ่ายในการขยาย จากสภาวะในปัจจุบัน (Particular State) ไปยังสภาวะเป้าหมาย (Goal) โดยฟังก์ชันในการคำนวณตัวประเมินค่าใช้จ่ายจะถูกเรียกว่า Heuristic Function โดยจะเป็นความสัมพันธ์ใดๆ ซึ่งในสภาวะเป้าหมายจะมีค่า h(n) = 0 วิธีการนี้จะมีค่าใช้จ่ายในการค้นหาที่ต่ำที่สุด มีความรวดเร็วในการทำงาน แต่จะไม่รับประกันว่าจะให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดและถ้าไม่มีเงื่อนไขป้องกันการทำซ้ำก็จะเกิดกรณีที่ไม่สามารถให้ผลตอบได้ นอกจากนี้ผลตอบที่ได้จะขึ้นอยู่กับจุดเริ่มต้นในการค้นหาอีกด้วย

- *Admission Search (A search)* เป็นวิธีการหาค้นหาคำตอบที่ เป็นวิธีการที่มีการปรับปรุงเอาข้อดีของ Greedy Search กับ Uniformed-Cost Search เข้าไว้ด้วยกัน เนื่องจาก Greedy Search เป็นวิธีการหาคำตอบที่ใช้หลักในการคำนวณค่าคาดหมายต่ำที่สุดในการไปยังสภาวะเป้าหมาย แต่เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ไม่สมบูรณ์และไม่ให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ส่วน Uniformed-Cost Search เป็นวิธีการหาคำตอบที่ใช้หลักการในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายประจำพาธที่ต่ำที่สุด (Minimize The Cost of Path) ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบที่สมบูรณ์และให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแต่ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นวิธีการของ Admission Search จะสร้างฟังก์ชันสำหรับประเมินค่าขึ้นมาใหม่ ดังนี้

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

เมื่อ

f(n) คือ ค่าใช้จ่ายคาดหมายของคำตอบที่น้อยที่สุดที่ผ่าน node ที่ n

g(n) คือ ค่าใช้จ่ายประจำเส้นพาธ (Path Cost) จาก node เริ่มต้นไปยัง nodeที่ n

h(n) คือ ค่าใช้จ่ายคาดหมายที่น้อยที่สุดจาก node ที่ n ไปยัง node ที่เป็นเป้าหมาย

ซึ่งเป็นการ รวมเอาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง และค่าใช้จ่ายโดยประมาณในการไปยังเป้าหมายมาใช้ในการพิจารณา ทำให้สามารถหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นภายในเวลาที่น้อยลง แต่มีข้อควรระวังคือในการเลือกใช้ Heuristic Function คือต้องไม่เป็นตัวประเมินค่าที่มากเกินจริง

- *A* Search* เป็นวิธีการหาค้นหาคำตอบที่พัฒนาปรับปรุงมาจากวิธีการ Admission Search โดยเข้าไปจัดการกับปัญหาในการเลือกใช้ Heuristic Function ไม่ให้เกิดการประเมินค่าที่มากเกินจริงโดยการเพิ่มข้อจำกัด (Constraint) ให้กับ Heuristic Function ด้วยความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$h(n) \leq h^*(n)$ สำหรับทุก node n ใน search space

เมื่อ

$h^*(n)$ คือ ค่าใช้จ่ายที่แท้จริงที่ต่ำที่สุดจาก node n ไปยังเป้าหมาย

ซึ่งเราจะเรียก h(n) ที่มีสองคล้องกับเงื่อนไข $h(n) \leq h^*(n)$ ว่า Admission Heuristic และมีฟังก์ชั่นที่ใช้ในการประเมินค่ารวมถึงขั้นตอนในการทำงานแบบเดียวกับของวิธี Admission Search

-*Saving Algorithm* เป็นวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง เหมาะสำหรับปัญหาที่ไม่ได้จำกัดจำนวนยานพาหนะ โดยจะทำรวมเส้นทางสองเส้นทางด้วยกันถ้าทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง ซึ่งมีกระบวนการในการแก้ปัญหา 2 แนวทางคือ การแก้ปัญหาแบบขนาน (Parallel Version) แนวทางนี้จะทำการหาการรวมสองเส้นทางที่ลดค่าใช้จ่ายได้มากที่สุดเข้าด้วยกัน(Best Feasible Merge) และ การแก้ปัญหาแบบอนุกรม (Sequential Version) จะทำการรวมสองเส้นทางเข้าด้วยกันถ้าทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงแล้วจะพยายามหาทางรวมเส้นทางอื่นเข้ากับเส้นทางเดิมนี้จนกว่าจะไม่สามารถ

รวมเส้นทางได้ ก็จะไปพิจารณาที่เส้นทางอื่นจนกว่าจะไม่สามารถมีการรวมเส้นทางได้อีก (Laporte et al., 2000)

-Push Forward Insertion Heuristic (PFIH) เป็นฮิวริสติกที่ใช้ในการสร้างเส้นทางเริ่มต้นโดยการคำนวณค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการแทรกลงไประหว่าง edge ที่มีอยู่แล้วในเส้นทางแล้วเลือกตำแหน่งที่มีค่าใช้จ่ายในการแทรกต่ำที่สุด วนทำตามขั้นตอนดังกล่าวไปจนกว่าจะไม่สามารถแทรกจุดลูกค้าลงไปในเส้นทางเดิมได้ ก็จะเริ่มเส้นทางใหม่แล้ววนทำขั้นตอนเดิมซ้ำไปจนกว่าจะแทรกลูกค้าลงไปในเส้นทางได้ครบทั้งหมด วิธีการนี้เป็นวิธีที่ง่าย ตรงไปตรงมาและมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี (Tan et al., 2001)

-λ-Interchange Local Search Method เป็นวิธีการในการปรับปรุงผลตอบโดยการแลกเปลี่ยนลูกค้า(node) ระหว่างเซตของเส้นทาง(route) วิธีการนี้จัดเป็น neighborhood searching algorithm ที่มีประสิทธิภาพอย่างหนึ่ง ซึ่งขั้นตอนเริ่มแรกคือ ทำการเลือกเส้นทางมาสองเส้นทาง แล้วทำการเลือกลูกค้าที่จะทำการแลกเปลี่ยนกัน โดยอาจใช้วิธีในการเลือกที่เป็นระบบ หรือใช้วิธีการเลือกโดยการสุ่มเลือก และจำนวนลูกค้าที่จะทำการแลกเปลี่ยนนั้นจะเป็นค่าที่ถูกกำหนดไว้ที่ค่าของ λ เช่น กำหนดให้ λ=1 และ λ=2 หมายความว่าจำนวน node ที่จะทำการแลกเปลี่ยนระหว่าง route จะไม่เกิน 2 ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้เกิด interchange operator ในการแลกเปลี่ยนกันได้ 8 แบบ คือ(0,1),(1,0),(1,1),(0,2),(2,0),(2,1),(1,2),(2,2) โดยที่ operator (1,2) สำหรับเส้นทางสองเส้นทาง (R_p,R_q) หมายความว่า จะทำการย้าย 2 node จาก R_q ไปยัง R_p และ ทำการย้าย 1 node จาก R_p ไปยัง R_q โดยจะยอมรับการเฉพาะคำตอบที่ดีขึ้นเท่านั้นโดยมี 2 กลยุทธ์ที่ใช้ในการเลือกคือ

- First-Best (FB) คือ จะเลือกคำตอบแรกที่มีการปรับปรุงค่าดีขึ้น
- Global-Best (GB) คือ จะทำการค้นหาผลลัพธ์ของทั้ง neighborhood แล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุด

โดยการแลกเปลี่ยน node ระหว่าง route ทั้ง 8 แบบที่ได้กล่าวมานั้นสามารถสรุปได้เป็น 4 ลักษณะตามแนวทางของ Van Breedam คือ

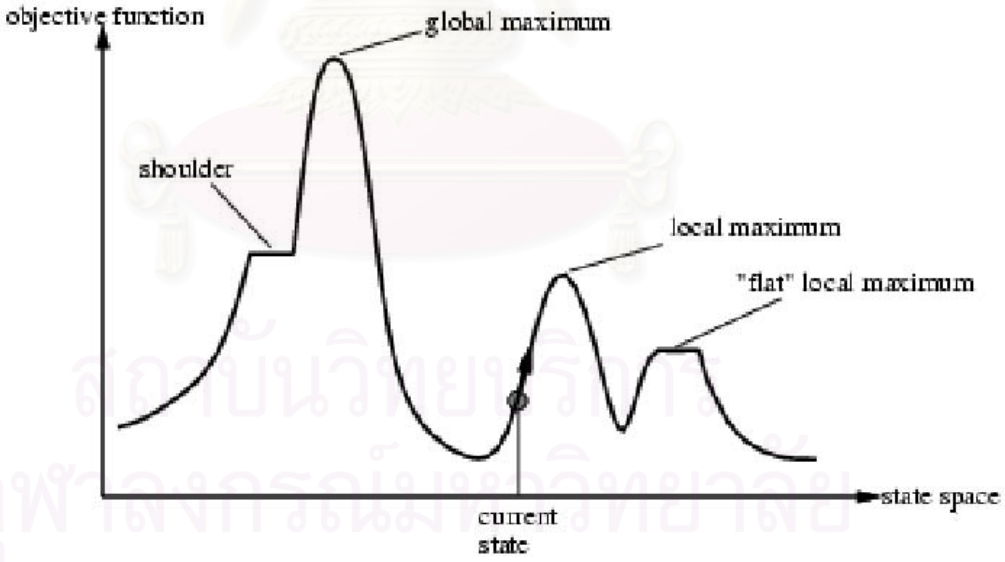
- String Cross (SC) เป็นการย้ายที่เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Tail Swap เนื่องจากเป็นการสลับส่วนปลายของเส้นทางสองเส้นทาง
- String Exchange (SE) เป็นการสลับลูกค้าในเส้นทางของสองเส้นทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- String Relocation (SR) เป็นการย้ายลูกค้าจากเส้นทางหนึ่งมาอีก
เส้นทาง หนึ่ง โดยที่เส้นทางถูกย้ายไปไม่มีการย้ายลูกค้าที่มีอยู่เส้นทางกลับมาด้วย
- String Mix (SM) เป็นการเลือกเอาค่าที่ดีที่สุดระหว่างวิธี SE กับ SR

รูปที่ 2.9 แนวทางในการแลกเปลี่ยน node ของสองเส้นทาง

ซึ่งหากการปรับปรุงค่าตาม Neighborhood ได้ค่าที่ดีขึ้นก็จะทำการวนซ้ำไปจนกว่าจะไม่มีการปรับปรุงค่า โดยคำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดสัมพัทธ์ (Local Optimum) และจะเห็นได้ว่าผลตอบที่ได้ขึ้นอยู่กับจุดเริ่มต้น ซึ่งอุปสรรคในการหาคำตอบดังเช่นในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การค้นหาคำตอบแบบ Local Search

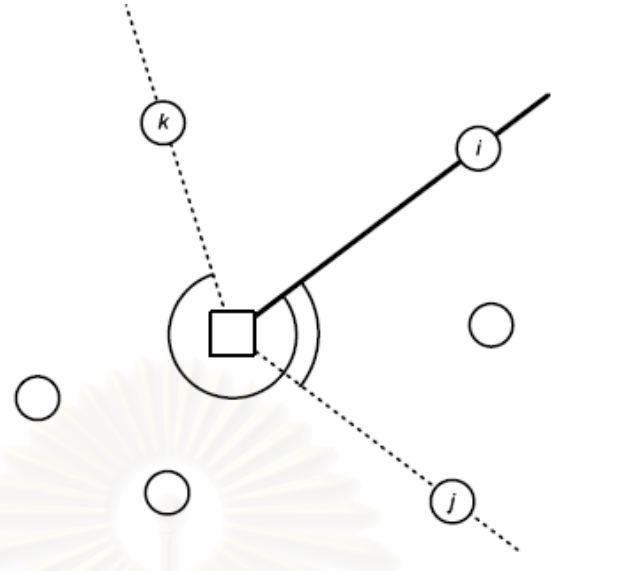
-Local Search Method with Diversification (LS-DIV) เป็นวิธีการที่พัฒนาต่อจาก Local Search Method เพื่อแก้ปัญหาในเรื่องของการไปอยู่ใน Local Optima โดยการเพิ่ม กลไกที่เรียกว่า Diversification Mechanism (Tan et al., 2001) เพื่อให้มีการค้นหาในอานา เขตที่กว้างมากขึ้น โดยอาศัยแนวคิดที่ว่าเมื่อ

local search method ไม่สามารถให้คำตอบที่มีการปรับปรุงขึ้นได้ นั่นคือ กำลังติดอยู่ใน Local Optima ด้วยกลไก Diversification Mechanism จะทำการสุ่มเส้นทางขึ้นมา แล้วทำการสุ่มย้ายหรือแลกเปลี่ยน node ทำให้คำตอบในปัจจุบันจะหลุดไปยัง neighbor อื่นอย่างสุ่ม ซึ่งจะได้ initial solution ใหม่ จากนั้นนำเอาวิธีการของ λ-Interchange Local Search Method มาใช้อีกครั้ง แล้ววนทำตามขั้นตอนซ้ำ และเนื่องจากไม่มีเงื่อนไขในการหยุด ดังนั้นจะต้องมีการกำหนดว่าจะให้มีการทำงานเป็นจำนวนเท่าใด ซึ่งถ้ามีเวลาในการค้นหามากพอ จะทำให้ได้คำตอบที่เข้าใกล้กับคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution)

-*Fisher and Jaikumar Algorithm* เป็นแนวทางในการหาคำตอบที่จะทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าก่อนแล้วจึงทำการจัดเส้นทาง โดยมีขั้นตอนในการทำงานเริ่มจากกำหนดจำนวนรถทั้งหมด K คัน แล้วทำการแก้ปัญหา General Assignment Problem (GAP) เพื่อทำการจัดกลุ่มลูกค้าเป็นทั้งหมด K กลุ่ม แล้วจึงทำการแก้ปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP) เพื่อทำการจัดเส้นทางให้กับกลุ่มลูกค้าแต่ละกลุ่ม

-*Sweep Approach* เป็นวิธีการในการหาคำตอบที่ทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าก่อนแล้วจึงทำการจัดเส้นทาง โดยกำหนดจุดรับของลูกค้า (Node) อยู่ในพิกัดเชิงมุม (Polar Coordinate) ให้คลังสินค้าเป็นจุดศูนย์กลาง แล้วทำการกวาดมุมโดยหมุนทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาเมื่อกวาดมุมไปพบ Node ใดก็จะเพิ่ม Node ดังกล่าวเข้าไปในเส้นทาง (Route) และเมื่อทำการกวาดมุมและเพิ่มเข้าไปในเส้นทางจนไม่สามารถเพิ่มเข้าไปอีกได้เนื่องจากไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัด (Constrain) เช่นเรื่องความจุของรถ ก็จะทำการปิดเส้นทางแล้ว กำหนดเส้นทางใหม่แล้วกวาดมุมเพิ่มและทำการจัดแบ่ง Node ลงไปจนกว่าจะกวาดครบรอบและจัดแบ่ง Node ลงเส้นทางได้ทั้งหมด จากนั้นสำหรับแต่ละเส้นทางที่ได้แบ่งลูกค้าไว้ก็จะนำวิธีการแก้ปัญหาแบบ Traveling Salesman Problem (TSP) มาประยุกต์ใช้ในการจัดเส้นทางให้กับลูกค้าและกลุ่ม ซึ่งวิธีการนี้มีข้อบกพร่องในกรณีที่คลังสินค้าไม่ได้อยู่ที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ ซึ่งจะมีผลให้ไม่สามารถจัดแบ่งจุดรับของลูกค้าลงไปในแต่ละเส้นทางได้อย่างสมดุล (Renaud and Boctor, 2002)

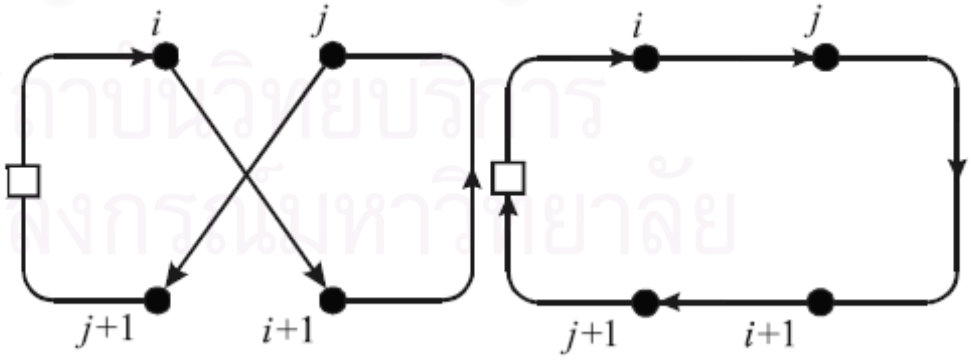
-*Petal Algorithm* เป็นวิธีการในการแก้ปัญหาโดยการนำเอาแนวคิดวิธีการของ Sweep Algorithm มาประยุกต์ใช้ในการสร้างเส้นทางเบื้องต้น โดยจะเรียกว่า Petals จากนั้นทำการตัดสินใจเลือกโดยแก้ปัญหา set partitioning problem



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างวิธีการ Sweep Approach

นอกจากนี้วิธีการในการปรับปรุงคำตอบวิธีอื่นๆ ที่นำมาใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถอีก เช่น

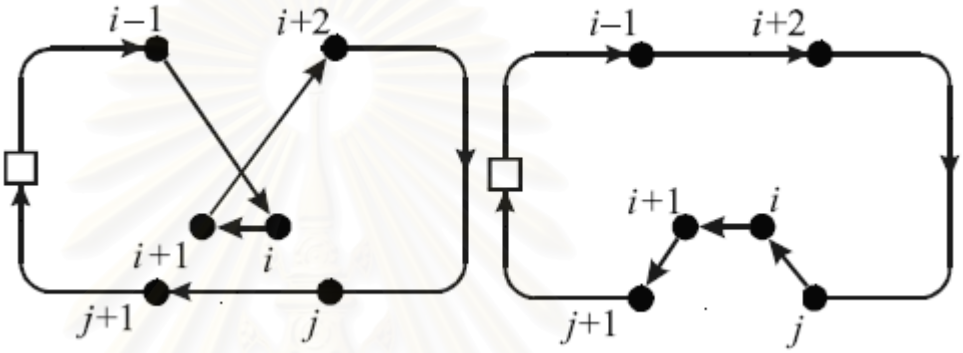
- *2-Opt Exchange Operator* เป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบโดยอาศัยการแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อม (Edges Exchange) โดยวิธีของ 2-Opt จะตัดเส้นเชื่อมออกจากเส้นทางสองเส้น ทำให้เส้นทางถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน กลับทิศเส้นทางแล้วเชื่อมเส้นทางกลับใหม่ ดังเช่นในรูป 2.12 edge (i , i+1) และ edge (j , j+1) จะถูกตัดออกและทำการกลับทิศ เส้นทางในส่วนของจุดรับสินค้า i+1 ถึง j แล้วเชื่อมเส้นทางทั้งสองส่วนกลับเข้าด้วยกัน โดยใช้ edge (i , j) และ edge (i+1 , j+1)



รูปที่ 2.12 2-Opt Exchange Operator

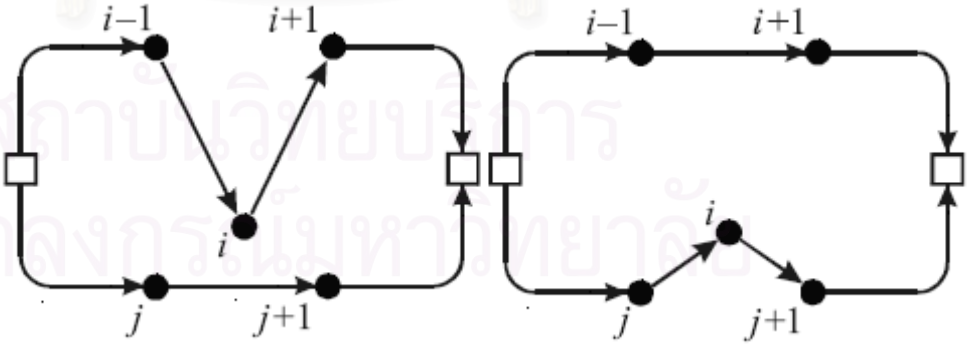
-3-Opt Exchange Operator เป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบที่อาศัยการแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อมเช่นเดียวกับ 2-Opt Exchange แต่เส้นเชื่อมที่ถูกตัดออกและเชื่อมกลับไปใหม่จะมีอย่างละ 3 เส้น

- *Or-Opt Exchange* เป็นวิธีในการปรับปรุงคำตอบโดยการย้ายชุดของจุดรับในเส้นทางไปยังตำแหน่งใหม่ โดยชุดของจุดรับที่ทำการย้ายจะอยู่ในลำดับต่อเนื่องกันในเส้นทาง เช่นในรูปที่ 2.13 จะทำการย้ายจุดรับที่ i ถึง i+1 ไปแทรกอยู่ระหว่างจุดรับ j กับ j+1 โดยการลบ edge (i-1 , i) edge(i+1 , i+2) และ edge (j , j+1) แล้วเชื่อมเส้นทางกลับใหม่ด้วย edge (i-1 , i+2) edge(i+1 , j+1) และ edge(i , j)



รูปที่ 2.13 Or-Opt Exchange Operator

- *Relocate Operator* เป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบโดยการย้ายตำแหน่งของจุดรับสินค้าไปยังตำแหน่งอื่นในเส้นทาง เช่นในรูป 2.14 จะทำการย้ายจุดรับสินค้า i จากตำแหน่งเดิม ไปอยู่ระหว่างจุดรับ j กับ จุดรับ j+1



รูปที่ 2.14 Relocate Operator

Metaheuristic Search

- *Simulated Annealing (SA)* เป็นวิธีการในการค้นหาคำตอบโดยที่การค้นหายอมให้ข้ามไปยังสภาวะถัดไป ทั้งในกรณีที่ทำให้ได้ค่าที่ดีขึ้นหรือ

แม้แต่ให้ค่าที่แย่ลงโดยใช้การสุ่มเพื่อหลีกเลี่ยงการวนรอบของการปรับปรุงค่าที่ไม่ทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น โดยในกรณีที่การปรับปรุงคำตอบให้ค่าดีขึ้นจะยอมรับคำตอบนั้นทันที ส่วนการปรับปรุงไม่ทำให้ได้ค่าที่ดีขึ้นจะยังมีโอกาสในการยอมรับคำตอบนั้นด้วยความน่าจะค่าหนึ่ง โดยจะยังคงเก็บค่าของคำตอบที่ดีที่สุดไว้เป็นค่า Heuristic Optimum ซึ่งเงื่อนไขในการยอมรับคำตอบใหม่แม้ว่าจะให้ค่าแย่กว่าเดิมมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$e^{-\Delta/T} > \theta$$

เมื่อ

Δ	คือ	ผลต่างระหว่างค่าใช้จ่ายที่ได้ของคำตอบใหม่ กับค่าใช้จ่ายของคำตอบเดิม
T	คือ	ตัวแปรอุณหภูมิซึ่งจะมีแนวโน้มลดค่าลงจากค่าสูงมาเป็นค่าต่ำ
θ	คือ	ตัวแปรสุ่มระหว่าง 0 ถึง 1

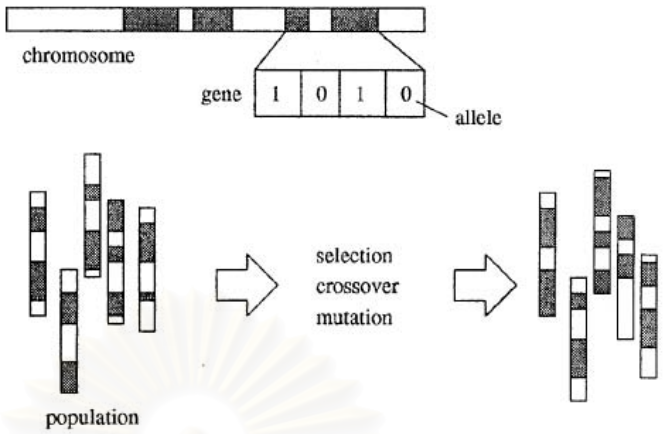
จากความสัมพันธ์ดังกล่าว พบว่าเมื่อพิจารณาค่า T ซึ่งมีการปรับลดค่าลงมากค่ามากลงมาสู่ค่าน้อย(เกือบจะเป็นศูนย์) จะทำให้ในช่วงเริ่มต้นซึ่ง T มีค่ามาก ทำให้ Δ/T มีค่าเข้าใกล้ 0 ทำให้ $e^{-\Delta/T}$ มีค่าเข้าใกล้ 1 จะมีโอกาสสูงที่จะมีค่ามากกว่า θ ซึ่งเป็นตัวแปรสุ่มในช่วง [0,1] นั่นคือ ในช่วงแรกจะมีโอกาสสูงที่จะยอมรับคำตอบใหม่แม้ว่าค่าใช้จ่ายที่ได้จะมีค่าแย่ลงกว่าเดิม แต่เมื่อค่า T ลดลงจนเข้าใกล้ 0 จะทำให้ Δ/T มีค่าสูงมากทำให้ $e^{-\Delta/T}$ มีค่าเข้าใกล้ 0 ดังนั้นมีโอกาสน้อยที่จะมีค่ามากกว่า θ นั่นคือในช่วงหลังจะโอกาสน้อยมากที่จะยอมรับคำตอบที่ให้ค่าแย่ลงกว่าเดิม และเมื่อทำการพิจารณาค่าของ Δ ก็จะพบว่าการที่ Δ มีค่าต่ำๆ นั่นคือค่าที่ได้จากคำตอบใหม่แย่กว่าเดิมไม่มาก จะมีความน่าจะเป็นที่สูงในการยอมรับแม้ว่าจะให้ค่าที่แย่กว่าเดิม ส่วนในกรณีที่ Δ มีค่าสูงจะมีความน่าจะเป็นที่ต่ำในการยอมรับคำตอบใหม่ที่ให้ค่าแย่ลงกว่าเดิม ซึ่ง แนวคิดและวิธีการนี้ก็คือ ทำให้การหาคำตอบ สามารถตรวจสอบ (Explore) ได้อย่างทั่วถึงในระยะแรก และจำกัดพื้นที่สำหรับการค้นหาลงมาให้เหลือเฉพาะบริเวณที่มีประสิทธิภาพในภายหลัง

-*Deterministic Annealing* เป็นวิธีการในการแก้ปัญหาที่มีหลักการและขั้นตอนเหมือนกันวิธีการ Simulated Annealing เพียงแต่กฎเกณฑ์ที่ใช้ในการยอมรับคำตอบใหม่จะเป็น กฎเกณฑ์ในลักษณะที่แน่นอน (Deterministic Rule)

ซึ่งเทคนิคที่นิยมใช้จะมีอยู่สองแบบคือแบบ Threshold Technique และแบบ Record to Record Travel โดยแบบ Threshold Technique นั้นในรอบการทำงานที่ t คำตอบในรอบที่ t+1 ซึ่งคือ X_{t+1} จะถูกยอมรับถ้าสอดคล้องกับเงื่อนไข $f(x_{t+1}) < f(x_t) + \alpha_1$ โดยที่ α_1 จะคือพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนด ส่วนในแบบ Record to Record Travel นั้นในรอบการทำงานที่ t คำตอบในรอบที่ t+1 ซึ่งคือ X_{t+1} จะถูกยอมรับถ้าสอดคล้องกับเงื่อนไข $f(x_{t+1}) < \alpha_2 f(x_t)$ โดยที่ α_2 จะคือพารามิเตอร์ที่ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดซึ่งมักจะมีค่ามากกว่า 1

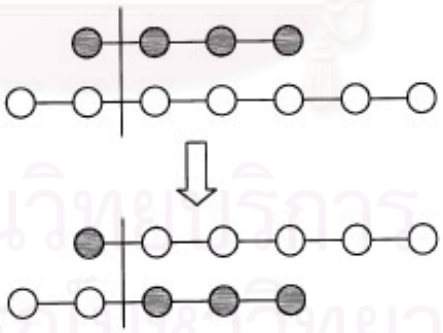
-*TABU Search* เป็นแนวทางในการหาคำตอบ แนวทางหนึ่งที่จะยอมให้สามารถค้นหาคำตอบไปยังคำตอบที่ไม่ทำให้ได้ค่าที่ดีขึ้นได้ (Nonimproving Move) ทำให้สามารถหลุดจาก Local Optimum ได้ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดกรณีที่เกิดการย้ายจุดอย่างไม่สิ้นสุด (Infinite Cycling) และการปรับปรุงค่าครั้งต่อไปจะทำให้คำตอบย้ายกลับมาสู่จุดเดิม แนวทางของ TABU Search ก็คือการห้ามปรับปรุงค่าบางแนวทาง (TABU Move) ซึ่งคำว่า TABU โดยความหมายแล้วก็คือ ข้อห้าม ดังนั้นในทุกๆรอบการทำงาน (Iteration) จะเก็บคำตอบไว้ใน tabu list และเลือกค่าที่ดีที่สุดเป็น Heuristic Optimum และจะไม่ยอมให้มีการ move ไปยังคำตอบที่ถูกเก็บอยู่ใน tabu list โดย tabu จะถูกเก็บไว้ใน tabu list ตามขนาดที่กำหนดไว้ และมักจะใช้กฎ first-in-first –out ในการจัดการ tabu list ซึ่งขนาดของ tabu list นั้นมีผลต่อคำตอบที่ได้ โดยถ้ามีการห้ามปรับปรุงค่า (TABU Move) มากเกินไปจะทำให้คำตอบที่ได้มีค่าไม่ดี แต่หากจำนวนการห้ามการปรับปรุงมีอยู่น้อยเกินไปจะทำให้คำตอบยังวนอยู่ใน Local Optimum (Tan, 2001) ซึ่งโครงสร้างของ tabu list จะมีอยู่ 2 แบบโดยแบบแรกจะทำการเก็บ node ที่ทำการ move ล่าสุดไว้ใน tabu list ซึ่งมีโครงสร้างในลักษณะ {R1,Node1;R2,Node2;R3, Node3;…} ทำให้การพยายามย้าย node ใดๆที่อยู่ใน tabu list ตาม route ที่กำหนดจะเป็นข้อห้าม สำหรับแบบที่ 2 จะทำการเก็บทั้งเส้นทางซึ่งมีโครงสร้างในลักษณะ {5-8-8-7-2;12-4-6-3-21;11-3-13-32-15;…} ทำให้การพยายามย้ายใดๆที่ทำให้มีโครงสร้างของเส้นทางตรงกับใน tabu list จะเป็นข้อห้าม

-*Genetic Algorithm* เป็นวิธีที่มีแนวคิดเลียนแบบมาจากธรรมชาติของการคัดเลือกโดยธรรมชาติ และการวิวัฒนาการ ซึ่งในธรรมชาติโครโมโซมของพ่อแม่ซึ่งภายในประกอบด้วยยีนหลายตัวจะมีการ crossover กันทำให้ได้รุ่นลูกที่มีโครโมโซมแตกต่างกันได้หลายแบบ รวมถึงการวิวัฒนาการที่มีการเปลี่ยนแปลงของยีน



รูปที่ 2.14 ส่วนประกอบของโครโมโซม

การทำงานจะเริ่มต้นโดยการสร้างเส้นทางเริ่มต้น(Initial Solution)ขึ้นมาหลายๆแบบตามขนาดประชากร (population size) ที่กำหนด โดยเส้นทางแต่ละแบบคือโครโมโซม จากนั้นทำการเลือก (Selection) โครโมโซมออกมา โดยโครโมโซมที่มีให้ค่า fitness value (ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่ต่ำ) ที่ดีจะมีโอกาสในการถูกคัดเลือกที่สูง จากนั้นคู่โครโมโซมที่ถูกเลือกจะทำการแลกเปลี่ยนยีนกัน (Crossover) เพื่อที่จะได้ประชากรรุ่นถัดไป นอกจากนี้ยังมีกระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) คือการสุ่มสลับยีนที่มีอยู่ในโครโมโซมเดียวกันด้วยความน่าจะเป็นที่กำหนด (p_m)



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างกระบวนการ Crossover

-Hybrid heuristic of SA and TS (SATabu) เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาที่รวมเอาข้อดีของทั้ง SA และ Tabu เข้าไว้ด้วยกันเพื่อแก้ปัญหาในการวนเป็นวัฏจักรและใช้เวลาในการคำนวณที่มากเกินไป และให้มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

โดยจะใช้วิธีการทำงานหลักเหมือนกัน Simulated Annealing และใช้ Tabu Search มาช่วยจดจำคำตอบที่ได้ทำไป

-*Hybrid GA (HGA)* เป็นวิธีการที่นำเอาแนวคิดของ Genetic Algorithm มาปรับปรุงโดยการเพิ่มในส่วนของการ Grouping คือ การจัดกลุ่มลูกค้าที่จัดแบ่งลงในเส้นทางโดยใช้วิธีการของ Local Search เข้ามาเป็นกลไปในการจัดกลุ่ม ยกตัวอย่างเช่น โครโมโซม 2 5 8 10 12 9 3 7 6 1 4 11 จะทำการจัดกลุ่มเป็น [4 4 4] หรือ [3 6 3] หรือ [5 5 2] เป็นต้นซึ่งมีส่วนช่วยให้ได้คำตอบที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

-*Ant System Algorithm* เป็นวิธีการที่ได้แรงบันดาลใจมากจากพฤติกรรมตามธรรมชาติของมดในการออกไปค้นหาอาหาร โดยในเส้นทางที่มดใช้ในการค้นหาอาหารนั้น มันจะทำการปล่อยสารที่เรียกว่า ฟีรอโมน (Pheromone) โดยคุณภาพของฟีรอโมนนั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยสองอย่างคือ คุณภาพของแหล่งอาหาร และ ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางไปยังแหล่งอาหาร โดยฟีรอโมนนี้จะเป็นตัวดึงดูดมดตัวอื่นให้มาสนใจเส้นทาง ซึ่งเส้นทางใดที่นำไปสู่แหล่งอาหารที่น่าสนใจที่สุดก็จะมีมดเลือกใช้เส้นทางนี้มากขึ้นและทำการปล่อยฟีรอโมนทิ้งไว้ทำให้ระดับฟีรอโมนมีการสะสมเพิ่มมากขึ้น ด้วยกระบวนการดังกล่าวนี้จะทำให้ได้วิธีการที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาอาหารสำหรับกองทัพมด จากแนวคิดดังกล่าวได้มีการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวิธีในการหาคำตอบให้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยทำการเริ่มต้นจัดเส้นทางเดินรถก่อน แล้วค่อยทำการปรับปรุงค่าฟีรอโมน (Trial update) ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดที่ให้ค่าฟีรอโมนที่สูงที่สุด (Montemanni et al., 2005)

2.3 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) มีการศึกษาอย่างเป็นระบบมาเป็นเวลานานตั้งแต่ในอดีต ซึ่งในระยะสามสิบถึงสี่สิบปีให้หลัง ปัญหานี้ได้รับความสนใจและมีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง ในแง่มุมที่หลากหลายรวมถึงมีความซับซ้อนใกล้เคียงกับปัญหาที่พบได้ในสถานการณ์จริงมากยิ่งขึ้น รวมทั้งมีการพัฒนาวิธีการและแนวทางในการแก้ปัญหาที่หลากหลาย โดยมีจุดเริ่มต้นมาจากบทความของ Dantzig and Ramser ซึ่งมีการตีพิมพ์ในช่วงปลายทศวรรษ 1950 ซึ่งเหตุผลที่ปัญหานี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากนั้นสืบเนื่องมาจาก ประการแรกปัญหาการจัดเส้นทางรถนั้นเป็นปัญหาหาที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวัน ประการที่สองปัญหาการ

จัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาที่มีความน่าสนใจทางทฤษฎีและไม่ง่ายที่จะหาคำตอบ โดยตัวปัญหาจะถูกพิจารณาออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือปัญหากลุ่มแรกจะมีลักษณะเป็นแบบ Deterministic ซึ่งทราบข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดก่อนเริ่มทำการจัดเส้นทาง กับปัญหากลุ่มที่สองซึ่งมีลักษณะเป็น Dynamic (Larsen, 2000) ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นจะไม่ทราบแน่นอนก่อนการจัดเส้นทาง แต่จะทยอยกันออกมาในระหว่างที่ทำการจัดเส้นทาง โดยปัญหาพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถซึ่งเป็นที่รู้จักและมีการศึกษากันมากที่สุดคือปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP) ซึ่งมีจุดเริ่มต้นในช่วงทศวรรษที่ 1920 โดยนักคณิตศาสตร์และนักเศรษฐศาสตร์ที่มีชื่อว่า Karl Menger จากนั้นก็มีการศึกษากันเรื่อยมา และปัญหานี้ถูกทำให้ได้รับความนิยมและเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางโดยนักคณิตศาสตร์ชื่อ Merill Flood จากนั้นในปี 1954 George Dantzig Ray Fulkerson และ Selmer Johnson ได้เสนอวิธีในการหาคำตอบในการจัดเส้นทางซึ่งสามารถจัดการกับปัญหาในการจัดเส้นทางในการเดินทางซึ่งมีเมืองที่ต้องผ่านขนาด 49 เมืองได้ จากนั้นก็มีการศึกษาต่อเนื่องเรื่อยมาจนกระทั่งในปี 2004 Applegate Bixby Chvátal Cook และ Helsgaun สามารถหาเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางผ่านไปยังเมือง 24,978 เมืองในประเทศสวีเดน สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ(VRP) นั้นซึ่งถือได้ว่าเป็นกรณีทั่วไปของปัญหา TSP โดยจะมียานพาหนะที่ใช้ในการเดินทางมากกว่า 1 คันซึ่งโดยตัวปัญหาจะถูกแบ่งออกเป็นประเภทย่อยๆอีกหลายประเภทตามลักษณะเฉพาะของตัวปัญหาโดยในระยะแรกนั้นจะมีการศึกษาตัวปัญหาที่มีลักษณะเป็นแบบ Deterministic ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดจะทราบก่อนเริ่มทำการจัดเส้นทาง เริ่มจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถพื้นฐานซึ่งตัวปัญหาจะเป็นการจัดเส้นทางเดินรถให้ผ่านไปยังจุดรับให้ครบทุกจุดด้วยค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำที่สุด และเมื่อมีข้อจำกัดในเรื่องความจุของยานพาหนะขนส่งตัวปัญหาจะถูกเรียกว่าเป็น Capacitated VRP (CPRV) (Kara et al., 2004) แต่ถ้ามีท่ารถอยู่มากกว่า 1 แห่งจะถูกจัดเป็นปัญหา Multiple Depot VRP (MDVRP) ส่วนปัญหาที่มีการไปส่งและรับคืนสินค้าได้จะถูกจัดเป็นปัญหา Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivering (VRPPD) (Lu and Dessouk, 2004) และถ้ามีข้อจำกัดเรื่องกรอบระยะเวลาในการขนส่งและให้บริการจะถูกเรียกว่าเป็น VRP with Time Windows (VRPTW) ซึ่งได้รับการศึกษากันอย่างกว้างทั้งวิธีในการแก้ปัญหา นอกจากนี้ยังมีปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบอื่นๆอีกซึ่งเป็นการเพิ่มความซับซ้อนเข้าไปในตัวปัญหาเพื่อให้ใกล้เคียงกับระบบที่มีอยู่จริงมากยิ่งขึ้น รูปปัญหาที่เป็นแบบ Deterministic นั้นมีการศึกษากันมาเป็นเวลานานและมีวิธีการในการหาคำตอบในการจัดเส้นทางอยู่หลายวิธีการทั้งแบบที่เป็น Exact Optimization และแบบ Heuristic สำหรับวิธีในการหาคำตอบในแบบ Exact Optimization นั้นในปี 1980 Psaraftis ได้นำเอาวิธีในการแก้ปัญหาแบบ Exact Algorithm โดยใช้หลักการของ Dynamic Programming และในปี 1985 Kalantari และคณะได้พัฒนา Branch and Bound Algorithm มาใช้ในการแก้ปัญหา Single Vehicle Pickup and Delivery Problem ซึ่งสามารถ

ใช้ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดโดยที่ตัวปัญหามีจำนวนจุดรับของลูกค้า 15 รายได้สำเร็จ Kolen และคณะได้เสนอการนำเอา Branch and Bound มาใช้แก้ปัญหา VRPTW จากนั้นในปี 1997 Ruland and Rodin ได้เสนอวิธีการ Branch-and-Cut Algorithm ซึ่งสามารถจัดการกับปัญหาที่มีจำนวนจุดรับของลูกค้า 15 รายได้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดเช่นกัน สำหรับวิธีการของ Column Generation นั้น Dumasและคณะได้พัฒนาและนำเอามาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา Pickup and Delivery With Hard Time windows ซึ่งสามารถหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาที่มีจุดรับของลูกค้า 55 รายโดยใช้ยานพาหนะในการขนส่ง 1 คัน และในปี 1992 Desrochers และคณะได้เสนอวิธีในการหาคำตอบโดยใช้ Linear Programming relaxed set covering ร่วมกับ Column Generation นอกจากนี้ Lu and Dessouk (2004) ได้พัฒนาวิธีในการแก้ปัญหา Multiple Vehicle Pickup and Delivery Problem โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของ Branch-and-Cut Algorithm ซึ่งสามารถหาคำตอบโดยใช้ยานพาหนะ 5 คันและมีจุดรับของลูกค้า 17 รายได้ แต่เนื่องจากในการหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้นการใช้ Exact optimization นั้นจะใช้เวลาในการคำนวณที่ยาวนาน และไม่สามารถจัดการกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ด้วยเวลาในการคำนวณที่เหมาะสม การศึกษาส่วนใหญ่จึงมุ่งประเด็นไปที่แนวทางในการแก้ปัญหาด้วยฮิวริสติกซึ่งให้คำตอบที่ดีด้วยเวลาที่ใช้ในการคำนวณที่ไม่มาก ซึ่งฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้นจะแบ่งออกเป็นเป็น Heuristic ที่มีการศึกษาในระยะแรก และ Metaheuristic ซึ่งมีการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มมากขึ้น

สำหรับ Heuristic ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เป็นที่รู้จักนั้น Saving Algorithm ซึ่งเป็นวิธีการที่เสนอโดย Clarke and Wright (1964) ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยจะทำการหาระยะทางที่ประหยัดที่สุดจากการให้ยานพาหนะในการขนส่งไปส่งสินค้าได้หลายจุดรับต่อรอบการขนส่ง ทดแทนการขนส่งแบบหนึ่งจุดรับต่อหนึ่งรอบการขนส่ง และขั้นตอนทำงานมีทั้งแบบขนาน(Parallel) และแบบอนุกรม (Sequential) ซึ่ง Gilbert et al. (2004) ได้ทำการทดสอบการทำงานและพบว่าขั้นตอนการทำงานแบบขนานจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการทำงานแบบอนุกรม

Solomon (1987) ได้เสนอวิธีการในการสร้างเส้นทางเบื้องต้นหลายวิธีการ คือวิธี Push Forward Insertion Heuristic (PFIH) เป็นวิธีในการหาคำตอบที่เป็นไปได้ในขั้นเริ่มต้นเพื่อนำไปทำการปรับปรุงต่อไป วิธีการนี้เป็นวิธีการที่สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายและมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี นอกจากนี้วิธีการนี้มักจะให้ค่าดีในด้านของจำนวนยานพาหนะที่ใช้ ซึ่งสามารถทำให้เราทราบขอบเขตบน(Upper Bound) ของจำนวนยานพาหนะที่จะต้องใช้ โดยในการสร้างเส้นทางนั้นจะทำการทดลองแทรกจุดรับของลูกค้าใหม่เข้าไประหว่างจุดรับของลูกค้าที่ได้ถูกจัดลงไปแล้วใน

เส้นทางที่มีอยู่เดิม โดยจะเลือกตำแหน่งในการแทรกที่ให้ค่าที่ดีที่สุดและสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดที่มีอยู่ในเรื่องของความจุของยานพาหนะ หรือกรอบระยะเวลาใน การจัดส่ง

Sweep Algorithm เป็นวิธีหนึ่งในการจัดการกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินโดยการแบ่งกลุ่มจุดรับที่จะต้องทำการจัดส่งก่อน แล้วจึงค่อยจัดเส้นทางย่อยๆนั้น (Route-first,cluster-second algorithm) โดยจะทำการแบ่งจุดรับโดยการกวาดมุมรอบท่ารถ(Depot) แล้วแบ่งจุดรับลงแต่ละเส้นทางจนกว่าจะเกินข้อจำกัดด้านปริมาตรความจุของยานพาหนะจึงจะเริ่มเปิดเส้นทางใหม่และกวาดมุมไปจนจัดแบ่งจุดรับได้ครบทุกจุดแล้วจึงทำการแก้ปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP) ของเส้นทางย่อย โดยวิธีการนี้ถูกกล่าวถึงในวิจัยของ Laporte et al. (2000) ว่าวิธีการนี้เริ่มพบได้ครั้งแรกในหนังสือของ Wren ในปี 1971 แต่วิธีการนี้มักจะเป็นที่รู้จักผ่านทางงานวิจัยของ Gillett และ Meller ในปี 1974 ซึ่งวิธีการนี้จะยังมีปัญหาในการจัดแบ่งจุดรับให้แต่ละเส้นทางได้อย่างไม่สมดุล รวมถึงไม่ได้คำนึงถึงถนนทำให้อาจเกิดกรณีที่จุดรับที่อยู่บนถนนเส้นเดียวกันแต่ถูกจัดแบ่งลงคนละเส้นทาง ซึ่ง Renaud and Boctor (2002) ได้นำเอาวิธีการ Sweep algorithm นี้มาประยุกต์ใช้กับปัญหา Fleet size and mix vehicle routing problem

สำหรับวิธีการในการแก้ปัญหาในลักษณะที่เป็น Route-first,cluster-second algorithm ยังมีวิธีการอื่นๆอีก เช่น Patal Algorithm เป็นวิธีการที่พัฒนาต่อมาจาก Sweep Algorithm โดยการสร้างเส้นทางหลายๆเส้นทางที่เรียกว่า petals แล้วจึงทำการแก้ปัญหา set partitioning problem นอกจากนี้วิธีการของ Fisher และ Jaikumar ซึ่งเป็นที่รู้จักมากที่สุดในบรรดาวิธีการจัดเส้นทางในกลุ่มนี้ โดยจะทำการจัดแบ่งลูกค้ายังแต่ละเส้นทางโดยการแก้ปัญหา Generalized Assignment Problem (GAP) แล้วจึงทำการแก้ปัญหา TSP สำหรับในแต่ละเส้นทางย่อยที่ได้จัดแบ่งไว้แล้ว

ต่อมาในระยะหลังมีการพัฒนาฮิวริสติกในการแก้ปัญหาเป็นแบบเมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristics) ซึ่งในงานวิจัยของ Gendreau et al. (1998) กล่าวว่าบางครั้งฮิวริสติกในกลุ่มนี้จะถูกเรียกว่าเป็น Artificial Intelligence(AI) Heuristic เนื่องจากมีความสามารถในการค้นหาคำตอบในขอบเขตที่กว้างกว่า สามารถค้นหาไปยังผลตอบที่แม้ไม่ทำให้ค่าที่ดีขึ้นได้ ทำให้สามารถหลบหลีกการค้นหาคำตอบแล้วไปติดอยู่ที่ Local Optimal และใช้ขอบเขตในการค้นหาที่กว้างมากขึ้น โดยอาจจะใช้การจดจำหรือสร้างเงื่อนไขพิเศษในการหลบหลีกและใน Gendreau et al. (2001) ได้นำเอา Tabu Search มาประยุกต์ใช้กับปัญหา real-time ambulance relocation

Tan et al. (2001) ได้นำเอา Artificial Intelligence Heuristic มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีข้อจำกัดในด้านกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง โดย tan et al. ได้เสนอแนวคิดในการจัดกลุ่มโครโมโซม (Grouping) สำหรับ Genetic Algorithm ด้วย Local Search โดยเรียกวิธีในการค้นหาคำตอบนี้ว่า Hybrid Genetic Algorithm (HGA) ซึ่งเปรียบเสมือนการทดลอง

จัดแบ่งจุดรับลูกค้าลงในยานพาหนะในรูปแบบที่แตกต่างกันเมื่อนำมาใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ทำให้ได้ค่าผลลัพธ์ในการหาตำตอบที่ดีขึ้น

Simulated Annealing ก็เป็น Metaheuristic แบบหนึ่งซึ่ง วิธีการในการค้นหาคำตอบได้แนวคิดมาจากกระบวนการที่มีอยู่จริงในธรรมชาติ คือกระบวนการอบอ่อน (Annealing) ของโลหะ โดย Kirkatrick et al. เป็นผู้นำเอาวิธีการนี้มาแก้ปัญหาเชิงการจัด (Combinatorial Optimization) แต่ในการนำเอามาประยุกต์ใช้ก็ยังพบว่ามีปัญหาในการวนเป็นวัฏจักร (cycle) ซึ่งทำให้เสียเวลาในการคำนวณและทำให้ได้ผลลัพธ์ไม่ดีเท่าที่ควร Tan et al. (2001) จึงได้ทำการพัฒนาโดยเอาวิธีการของ Simulated Annealing มาผสมผสานกับวิธีการ Tabu Serarch กลายเป็น Hybrid SATabu ซึ่งมีความสามารถในการค้นหาที่ดีและลดปัญหาการวนเป็นวัฏจักรเนื่องจากมีการจดจำการค้นหาที่ได้ผ่านมาแล้ว นอกจากนี้ยังมีวิธีในการจัดเส้นทางเดินรถที่เป็น AI ที่มีแนวคิดมาจากธรรมชาติของมดในการออกค้นหาอาหาร ซึ่งมดแต่ละตัวจะออกจากรังไปค้นหาอาหารโดยจะปล่อยสารฟีรอโมน (Pheromone) ไว้ตามเส้นทางที่ผ่าน มดตัวอื่นๆก็จะเลิกเดินตามเส้นทางที่มีระดับฟีรอโมนที่สูง ดังนั้นเส้นทางใดที่นำไปสู่แหล่งอาหารที่ดีก็จะมีมดผ่านเป็นจำนวนมากทำให้มีระดับฟีรอโมนที่สูง แนวคิดนี้จึงนำมาสู่วิธีการในการค้นหาคำตอบถูกเสนอโดย Dorigo โดยให้ชื่อว่า Ant Colony System(ACS) Algorithm และได้มีการนำเอา ACS มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในแง่มุมที่หลากหลายเช่น Chen (2005) ได้นำเอา ACO มาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีเงื่อนไขด้านกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง (VRPTW) Montemanni et al. (2005)ได้นำเอาวิธีการจัดเส้นทางแบบ ACS มาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต (DVRP)

Greedy Randomized Adaptive Search Procedures (GRASP) เป็น Metaheuristic ประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาในเชิงการจัด (Combinatorial Optimization) ที่เสนอโดย Kontoravdis และ Bard ซึ่งวิธีการของ GRASP เป็นวิธีการทำมีการทำงานที่รวดเร็ว ใช้หน่วยความจำน้อย และประสบความสำเร็จในการนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาในหลากหลายรูปแบบ (Blum and Lori, 2003) โดย Chaovalitwongse et al. (2003) ได้นำเอาวิธีการของ GRASP มาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีเงื่อนไขด้านกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง (VRPTW) โดยมีการพิจารณาถึงเรื่องลำดับในการจัดสินค้าที่มีขนาดแตกต่างกันลงบนยานพาหนะและเวลาที่ถูกเลื่อนเมื่อมีการแทรกลูกค้าเข้ามาในเส้นทาง

Lee (2005) ได้นำเอาวิธีการของ GRASP มาประยุกต์ใช้กับปัญหา TSP โดยนำ 2-opt algorithm มาใช้ในส่วนของการปรับปรุงเส้นทาง และได้ทำการทดลองเปรียบเทียบผลการใช้ Restricted Candidate List ในขนาด 3 5 7 และ 9 ซึ่งพบว่าการเลือกใช้ขนาดของ RCL = 3 จะสามารถให้คำตอบโดยเฉลี่ยดีที่สุด และใช้เวลาในการคำนวณที่ต่ำกว่าค่าอื่นๆ

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต (DVRP) ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นจะไม่ทราบแน่นอนก่อนเริ่มการจัดเส้นทาง แต่จะทยอยกันออกมาในระหว่างที่ทำการจัดเส้นทาง ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้มักจะเป็นปัญหาที่พบได้จริงในชีวิตประจำวัน Larsen (2000) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เป็นแบบพลวัต ได้กล่าวถึงความหลากหลายของปัญหาที่มีลักษณะเป็นแบบพลวัต วิธีการในการแก้ปัญหา รวมถึงวิธีการในการพิจารณาแยกปัญหา Static Vehicle Routing Problem กับปัญหาที่เป็นแบบ Dynamic Vehicle Routing Problem โดยอ้างอิงจากหลักการของ Psaraftis พร้อมทั้งยกตัวอย่างของปัญหาเช่น ปัญหาในการจัดเส้นทางของช่างซ่อมในการเดินออกไปจากบริษัทไปยังบ้านของลูกค้าเพื่อซ่อมบำรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ชำรุดเมื่อซ่อมเสร็จก็จะเดินทางต่อไปซ่อมยังบ้านของลูกค้ารายอื่น (Dynamic Traveling Repairman Problem :DTRP) ปัญหาในการจัดเส้นทางของบริการรับและจัดส่งพัสดุ (Courier Mail Services) ปัญหาการจัดเส้นทางในการบริรับสินค้าจากจุดหนึ่งไปส่งยังที่หมายอีกจุดหนึ่ง (Dynamic Dial-A-Ride Systems) ปัญหาการจัดเส้นทางของแท็กซี่ (Taxi Cab Services)

Goel and Gruhn ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีในการจัดเส้นทางเดินรถในชีวิตจริงที่เป็นแบบพลวัต Dynamic Vehicle Routing Problem ซึ่งมีการเพิ่มความซับซ้อนให้กับตัวปัญหาเช่น มีข้อจำกัดด้านกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง ยานพาหนะที่ใช้ในการจัดส่งมีหลายประเภทซึ่งมีค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการเดินทางที่แตกต่างกัน ข้อจำกัดด้านปริมาตรความจุ ข้อจำกัดเรื่องเส้นทางที่เกี่ยวกับพนักงานที่ทำหน้าที่ในการขับขี่ยานพาหนะ เป็นต้น โดยในงานวิจัยได้ใช้วิธีการของ Larch Neighborhood Search ซึ่งมีการตอบสนองที่รวดเร็วเพียงพอที่จะรองรับการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของข้อมูลในระบบ

Yang et al. (2002) ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับรถบรรทุกในการบรรทุกสินค้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งตามข้อมูลการสั่งของลูกค้าที่ทยอยกันออกมาตามเวลา โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในด้านของการปฏิเสธงาน ค่าใช้จ่ายในการวิ่งรถเปล่า และเวลาที่ล้าช้าในการจัดส่ง และได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้นโยบายในการจัดการที่แตกต่างกัน โดยทำการจำลองแบบ (Simulation) และปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมของระบบ เช่นในด้านของระยะเวลาระหว่างการเข้ามาของข้อมูลคำสั่งซื้อของลูกค้า ความหนาแน่นของเส้นทางการจัดส่ง เป็นต้น

Montemanni et al. (2005) ได้เสนอวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยอาศัยหลักการพื้นฐานมาจาก Ant Colony System Petros Ioannou ได้เสนอวิธีในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในการขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์ในท่าเรือซึ่งมีลักษณะของตัวปัญหาเป็นแบบพลวัต สำหรับปัญหาขนาดเล็กโดยใช้วิธีการที่เป็นลูกผสมระหว่าง Dynamic Programming กับ Genetic Algorithm และสำหรับปัญหาที่มีขนาดกลางและขนาดใหญ่ใหญ่จะใช้การแก้ปัญหาโดยใช้ Insertion Heuristic

Du et al.(2005) ได้ทำการทดลองแก้ปัญหาเป็นปัญหาในการจัดส่งสินค้าจากผู้ประกอบการไปยังลูกค้า Business-to-customer (B2C) ของธุรกิจแบบ E-commerce (Electronic Commerce) ซึ่งมีลักษณะของตัวปัญหาเป็น DVRP โดยทดลองใช้ algorithm หลายอย่างในการแก้ปัญหา โดยแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ การสร้างเส้นทางเบื้องต้น(Initial-routes Formation) การปรับปรุงคำตอบระหว่างเส้นทาง (Inter-routes Improvement) และการปรับปรุงคำตอบภายในเส้นทาง (Intra-routes Improvement)

2.4 บทสรุป

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาที่เหมาะสมที่สุดเชิงการจัด ซึ่งมีการศึกษาอย่างแพร่หลายและพัฒนาแยกออกเป็นปัญหาในลักษณะต่างๆอีกหลายรูปแบบ ตัวปัญหามีซับซ้อนของการคำนวณอยู่ในระดับเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard) ซึ่งมีแนวทางที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหาอยู่ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Optimization) และการหาคำตอบด้วยวิธีการแบบฮิวริสติก (Heuristic Optimization) ซึ่งมีทั้งฮิวริสติกที่มีการพัฒนาในแบบดั้งเดิม และ ฮิวริสติกที่ได้รับการพัฒนาในยุคหลังเป็น Metaheuristic ที่สามารถแก้ปัญหาการติดอยู่ใน Local Optima ได้ สำหรับแนวทางการหาคำตอบด้วยวิธีการแบบฮิวริสติกนั้น แม้ว่าจะไม่ได้รับประกันว่าจะให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่สามารถให้คำตอบที่น่าพอใจโดยใช้เวลาในการคำนวณที่สมเหตุสมผล จึงทำให้เหมาะที่จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาหาคำตอบ ของปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่มีการคำนวณในการจัดเส้นทางอยู่ตลอดเวลา และจำเป็นต้องใช้เวลาในการคำนวณที่ต่ำเพื่อให้สามารถจัดการกับปัญหาได้ทันต่อเหตุการณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

การวิเคราะห์รูปแบบและลักษณะของปัญหาที่จะทำการศึกษาในเบื้องต้น จะทำให้ทราบถึงแง่มุมสำคัญของปัญหา และสามารถกำหนดแนวคิดเพื่อออกแบบแนวทางการแก้ปัญหา รวมถึงโครงสร้างของวิธีการแก้ปัญหา ให้สอดคล้องกับธรรมชาติของปัญหาได้อย่างถูกต้อง สำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต การวิเคราะห์ปัญหาแบ่งออกได้ดังนี้

3.1 ข้อมูลเบื้องต้นของปัญหา

การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตนั้น เป็นปัญหาในการกำหนดเส้นทางเดินรถ และกำหนดเวลาในการเริ่มออกเดินทางของรถแต่ละคัน โดยที่ข้อมูลนำเข้าที่จำเป็นในขั้นตอนของการกำหนดเส้นทางนั้น จะทยอยกันออกมาในระหว่างขั้นตอนของการกำหนดเส้นทางเดินรถ และไม่สามารถรอให้ทราบข้อมูลนำเข้าทั้งหมด ก่อนเริ่มขั้นตอนของการกำหนดเส้นทางได้ เนื่องจากจะทำให้ไม่สามารถจัดส่งสินค้าได้ทันกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง เพื่อพิจารณาจัดส่งสินค้าที่มีผลรวมของระยะทางในการจัดส่งที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงข้อจำกัดในด้านความจุของรถที่ใช้ขนส่ง และกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง ตัวอย่างของปัญหาที่มีลักษณะดังกล่าวได้แก่ ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเวชภัณฑ์ในระบบกระจายเวชภัณฑ์ในโรงพยาบาล ปัญหาการจัดส่งอาหารตามสั่งภายในโรงพยาบาล ปัญหาการจัดส่งอาหารแบบ Delivery โดยกรณีศึกษาที่ผู้วิจัยเลือกใช้สำหรับเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตนั้น คือปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเวชภัณฑ์ในระบบกระจายเวชภัณฑ์ในโรงพยาบาล

รูปแบบปัญหาของระบบกระจายเวชภัณฑ์ในโรงพยาบาลจะประกอบด้วย ห้องจ่ายยาหนึ่งแห่ง ซึ่งเป็นศูนย์กลางในการกระจายเวชภัณฑ์ โดยในแต่ละวัน จะมีข้อมูลการเบิกเวชภัณฑ์จากห้องจ่ายยา ทยอยกันเข้ามาในระหว่างวัน ซึ่งหลังจากเวชภัณฑ์ได้รับการจัดเตรียมและตรวจสอบความถูกต้องจากห้องจ่ายยา จะถูกส่งมอบให้พนักงานขนส่งเวชภัณฑ์เพื่อทำการจัดส่งจากห้องจ่ายยาไปยังหอผู้ป่วยต่างๆ โดยหลังจากที่เวชภัณฑ์ออกจากห้องจ่ายยา มาถึงส่วนของการจัดส่ง จะต้องจัดส่งเวชภัณฑ์ให้ถึงหอผู้ป่วยภายในระยะเวลารับประกัน

3.2 แง่มุมสำคัญของปัญหา

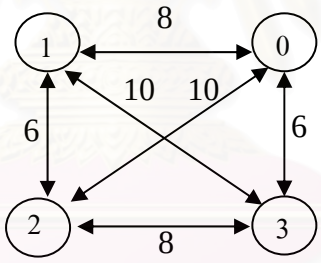
รูปแบบของปัญหาจะเป็นระบบจัดส่งสินค้าที่ประกอบด้วย ท่ารถ (Depot) หนึ่งแห่งซึ่งเป็นศูนย์กลางในการกระจายสินค้า โดยรถแต่ละคันจะต้องนำสินค้าจากท่ารถไปส่งยังจุดรับสินค้าที่อยู่

ในเส้นทางตามลำดับจนครบให้ทันภายในระยะเวลารับประกันทุกชิ้น แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถ โดยรถแต่ละคันจะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถได้ หลังจากที่ทราบข้อมูลของจุดรับสินค้าที่จะถูกจัดส่งโดยรถคันนั้นครบทุกชิ้น

รูปแบบของปัญหางานวิจัย ถูกแทนในรูปของกราฟแบบบริบูรณ์ (Complete Graph) ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่

1) โหนด (Node) ใช้แทนท่ารถและจุดรับสินค้า คือ ห้องจ่ายยา และหอผู้ป่วย
2) ด้าน (Edge) ใช้แทนเส้นทางเชื่อมระหว่างโหนด 2 โหนดใดๆ
3) น้ำหนักบนด้าน (Weight) ใช้แทนระยะทางระหว่างโหนด 2 โหนดใดๆ

เราสามารถเขียนแทนเป็นสัญลักษณ์ได้ว่ากราฟ $G=(N_0,E)$ โดยที่ $N_0=\{0\}\cup N$ ซึ่ง $N=\{1,\ldots,n\}$ ให้โหนด 0 ใช้แทนท่ารถ และโหนด $i\in N$ ใช้แทนจุดรับสินค้าที่จะต้องจัดส่งในช่วงเวลาการวางแผน โดยรถจะนำสินค้าจากท่ารถไปยังจุดรับสินค้า ซึ่งจุดรับสินค้าแต่ละจุดจะสามารถเข้าไปเยี่ยมได้เพียง 1 ครั้งเพื่อทำการขนส่งสินค้าทุกชิ้นให้ทันภายในระยะเวลารับประกัน หลังจากทำการขนส่งเสร็จแล้วรถก็จะเดินทางกลับมายังท่ารถ ตัวอย่างของรูปแบบปัญหาเป็นดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1กราฟ G แทนปัญหาการจัดส่งสินค้า

โดยโครงข่ายของปัญหาดังที่แสดงในรูป 3.1 นั้นหากเป็นปัญหาแบบ static จะทราบข้อมูลของจุดรับสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมด ทำให้เห็นโครงข่ายของปัญหาทั้งโครงข่าย ตั้งแต่เริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ แต่สำหรับปัญหาในงานวิจัยนี้ที่มีลักษณะเป็นแบบพลวัต ซึ่งข้อมูลทยอยทราบหลังจากเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ และต้องมีการสั่งออกรถเพื่อไปจัดส่งสินค้าไปส่งตามเงื่อนไขระยะเวลารับประกัน ทำให้โครงข่ายของปัญหาที่เห็นที่จุดเวลาใดๆจะประกอบด้วยโหนดเพียงบางส่วนของ N เท่านั้น ดังนั้นที่จุดเวลา t ใดๆ ปัญหาที่มองเห็นจะสามารถเขียนแทนเป็นสัญลักษณ์ได้ว่ากราฟ $G=(N_{o,t},E_t)$ โดยที่ $N_{0,t}=\{0\}\cup N_t$ และ $N_t\subset N$

ในด้านเงื่อนไขกรอบระยะเวลาในการจัดส่งนั้น ทันทีที่ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งแล้ว จุดรับสินค้านั้นจะพร้อมรับสินค้าทันที และจะต้องจัดส่งสินค้าให้ถึงจุดรับภายในระยะเวลาที่เป็นข้อตกลงกับลูกค้า เรียกว่าระยะเวลารับประกัน (Guarantee Time: GT)

จุดเด่นที่พิเศษอย่างหนึ่งของปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต คือการนำเอาเวลาจริงในปัจจุบันเข้ามาใช้เป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณ ในกระบวนการหาคำตอบ ที่ดำเนินไปอย่างต่อเนื่องตามการเปลี่ยนแปลงของปัญหาที่เกิดขึ้นจริง ส่งผลให้ต้องมีการแก้ปัญหาโดยที่ข้อมูลในปัญหามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

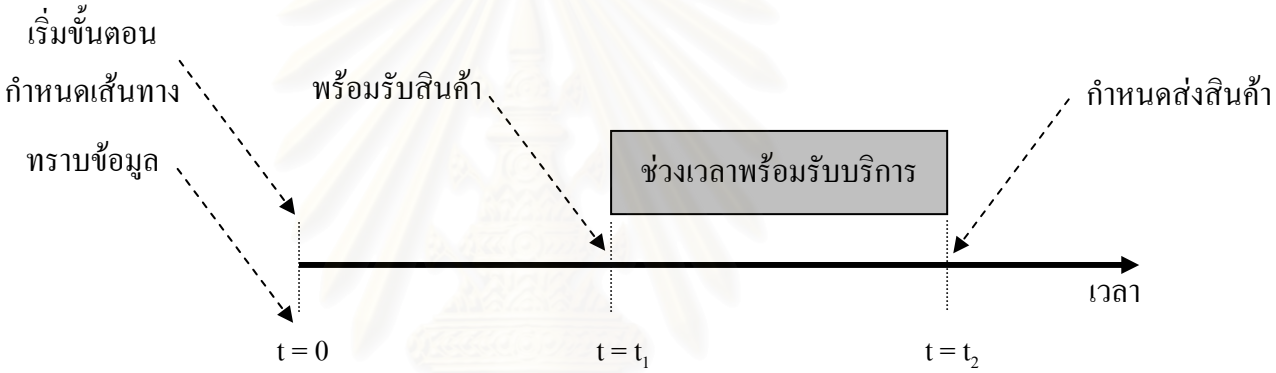
หากพิจารณาลักษณะโดยทั่วไปของปัญหาเปรียบเทียบกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีเงื่อนไขกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง (VRPTW) ซึ่งเป็นปัญหาในการจัดส่งสินค้า ที่มีท่ารถหนึ่งแห่งที่เป็นจุดศูนย์กลางในการกระจายสินค้า โดยรถแต่ละคันจะต้องนำสินค้าจากท่ารถไปส่งยังจุดรับสินค้าที่อยู่ในเส้นทางตามลำดับจนครบ แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถ โดยที่มีข้อจำกัดในด้านกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง และข้อจำกัดในด้านความจุของรถที่ใช้ขนส่ง ซึ่งข้อมูลของจุดรับสินค้าทุกจุดจะทราบล่วงหน้าก่อนเริ่มขั้นตอนการกำหนดเส้นทาง

ในเบื้องต้นจะพบว่าปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้มีความคล้ายคลึงกับปัญหา VRPTW ทั้งในด้านของจำนวนท่ารถ ลักษณะการจัดส่งสินค้าที่จะต้องนำสินค้าจากท่ารถออกไปส่งยังจุดรับสินค้าที่ต่างๆ รวมถึงการมีกรอบเวลาที่จุดรับสินค้าพร้อมรับบริการและความจุของรถเป็นเงื่อนไขในการจัดส่ง แต่หากพิจาณาโดยละเอียดจะพบว่า ในด้านจุดเวลาที่เราทราบข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าที่จะต้องจัดส่ง ปัญหา VRPTW จะทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งทุกชิ้นตั้งแต่ตอนเริ่มขั้นตอนกำหนดเส้นทาง ส่งผลให้ในระหว่างการกำหนดเส้นทาง ข้อมูลของปัญหาจะคงที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้จะทราบข้อมูลสินค้าหลังจากเริ่มต้นกระบวนการกำหนดเส้นทางเดินรถไปบ้างแล้ว โดยข้อมูลของสินค้าแต่ละชิ้นจะทราบไม่พร้อมกัน ส่งผลให้ระบบมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาหรือมีลักษณะพลวัต

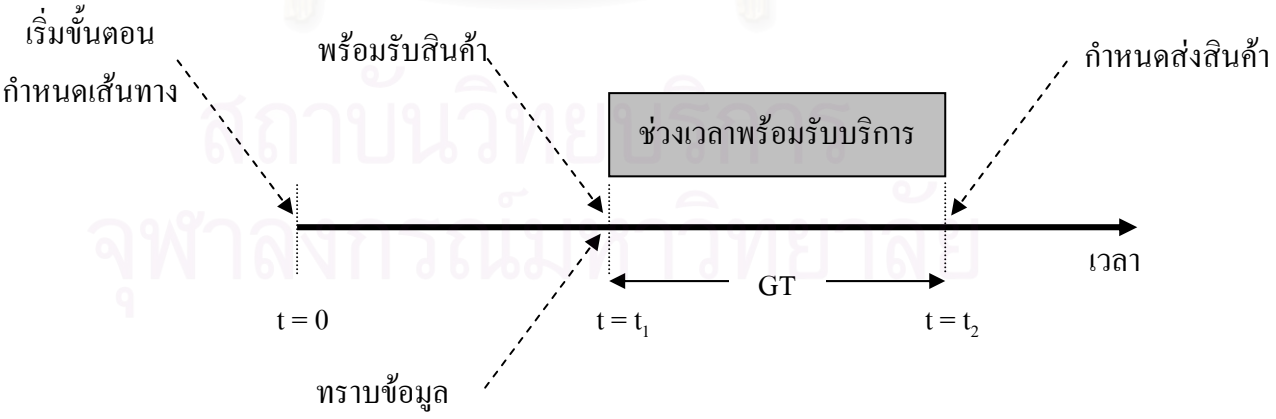
จากรูปที่ 3.2 แสดงถึงจุดเวลาของปัญหา VRPTW โดยที่เวลา t=0 จะเป็นจุดเวลาที่เริ่มต้นกระบวนการหาคำตอบซึ่งที่เวลา t=0 นี้จะทราบข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าที่จะต้องจัดส่งทุกชิ้น โดยจุดรับสินค้าแต่ละแห่งจะมีช่วงเวลาพร้อมรับบริการ เช่น จุดรับสินค้าจุดหนึ่ง จะเริ่มตั้งแต่เวลา $t = t_1$ จนถึงเวลา $t = t_2$ ถ้ารถที่จัดส่งสินค้าไปถึงยังจุดรับสินค้าก่อนเวลา $t = t_1$ จะต้องไปจอดรอจนกว่าจะถึงเวลา $t = t_1$ จึงจะสามารถส่งสินค้าให้กับจุดรับสินค้าได้ แต่หากไปถึงจุดรับสินค้านี้หลังเวลา $t = t_2$ จะส่งสินค้าที่จุดรับสินค้านี้ไม่ทัน

แต่ในรูปที่ 3.3 ซึ่งแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างจุดเวลาที่เริ่มขั้นตอนการกำหนดเส้นทาง จุดเวลาที่ทราบข้อมูล และระยะเวลารับประกัน ของปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ โดยจุดเวลาที่เริ่มขั้นตอนการกำหนดเส้นทาง คือ $t = t_0$ ช่วงเวลาพร้อมรับบริการ คือ $t = t_1$ จนถึงเวลา $t = t_2$

เช่นเดียวกับในปัญหา VRPTW แต่จุดเวลาที่ทราบข้อมูลของสินค้านั้นจะไม่ใช่เวลา $t = t_0$ เหมือนกับในปัญหา VRPTW แต่จะทราบในเวลาเดียวกับจุดเริ่มต้นของช่วงเวลาพร้อมรับบริการ ซึ่งคือเวลาพร้อมรับสินค้า $t = t_1$ โดยความยาวนานของช่วงเวลาพร้อมรับบริการ ในงานวิจัยฉบับนี้ก็คือระยะเวลารับประกัน ซึ่งในระบบกระจายเวชภัณฑ์ ข้อมูลที่เราทราบโดยตรงไม่ใช่ช่วงเวลาพร้อมรับบริการของหอผู้ป่วย แต่จะทราบจุดเวลาที่เวชภัณฑ์ส่งออกมาจากห้องจ่าย และทราบระยะเวลารับประกัน ซึ่งคือระยะเวลาที่จะต้องจัดส่งเวชภัณฑ์ให้ถึงหอผู้ป่วยหลังจากที่ทราบข้อมูลเกี่ยวกับเวชภัณฑ์ที่จะต้องจัดส่ง ทำให้เราสามารถคำนวณหากำหนดส่งของเวชภัณฑ์แต่ละชิ้นได้จากการนำเอาเวลาที่ทราบข้อมูลของเวชภัณฑ์ บวกกับระยะเวลารับประกัน จะได้เป็นกำหนดส่งซึ่งเป็นเวลาที่ช้าที่สุดที่จะต้องจัดส่งเวชภัณฑ์ชิ้นนั้นให้ถึงหอผู้ป่วย



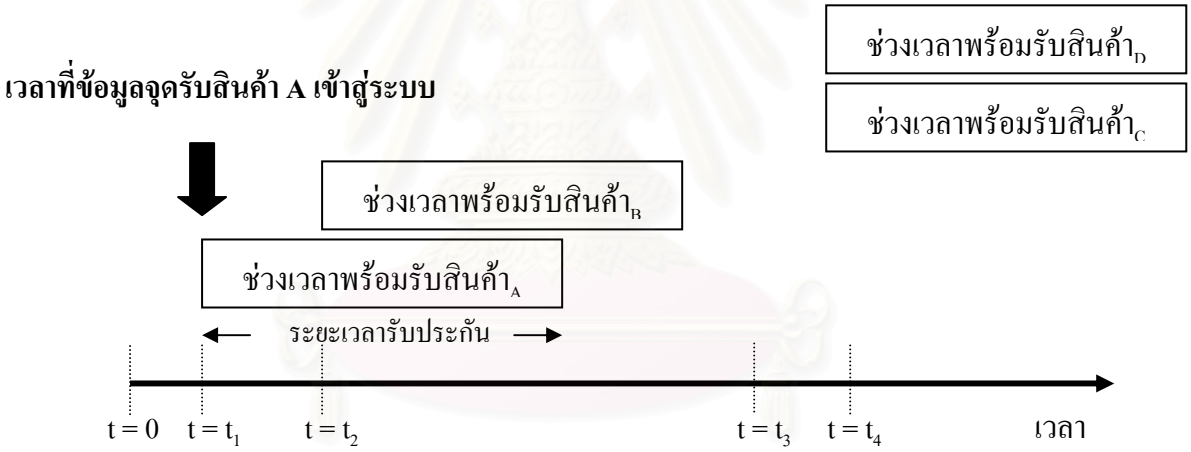
รูปที่ 3.2 จุดเวลาที่เริ่มขั้นตอนกำหนดเส้นทาง จุดเวลาที่ทราบข้อมูล ช่วงเวลาพร้อมรับบริการของปัญหา VRPTW



รูปที่ 3.3 จุดเวลาที่เริ่มขั้นตอนกำหนดเส้นทาง จุดเวลาที่ทราบข้อมูล ระยะเวลารับประกัน และกำหนดส่งสินค้า ของปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้

จากการที่เวชภัณฑ์ออกจากห้องจัดยาไม่พร้อมกัน ทำให้ข้อมูลเกี่ยวกับเวชภัณฑ์ที่จะต้องจัดส่งนั้นทราบไม่พร้อมกัน แต่ทยอยทราบเมื่อเวชภัณฑ์แต่ละชิ้นออกมาจากห้องจ่ายยา ส่งผลให้ปัญหาในการกำหนดเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

หากพิจารณาเปรียบเทียบกันในด้านขนาดของปัญหา ในกรณีที่มีจุดรับสินค้าที่จะต้องจัดส่งเท่ากันในช่วงเวลาที่เราสนใจ ยกตัวอย่างเช่น ในหนึ่งวันทำการมีสินค้าจะต้องจัดส่ง 100 ชิ้น สำหรับปัญหา VRPTW จะต้องทำการจัดเส้นทางเดินรถ สำหรับสินค้าทั้ง 100 ชิ้นพร้อมกันในเวลาเดียว แต่สำหรับปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ จะทยอยทราบข้อมูลของสินค้าแต่ละชิ้นที่จะต้องจัดส่ง ในระหว่างวันทำการ ทำให้ขนาดของปัญหาที่เห็นที่จุดเวลาใดๆ ในระหว่างวันทำการนั้น จะไม่ใช่ 100 ชิ้นตามจำนวนสินค้าทั้งหมดที่จะต้องจัดส่งในหนึ่งวัน แต่จะเป็นปัญหาที่มีขนาดเท่ากับจำนวนสินค้าที่กำลังรอการจัดส่งในขณะนั้น โดยจำนวนของสินค้าที่รอการจัดส่งนั้น จะเป็นผลต่างระหว่างจำนวนข้อมูลของสินค้าที่เข้ามาในระบบนับตั้งแต่เริ่มวันทำการ กับจำนวนสินค้าที่ได้จัดส่งเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างช่วงเวลาพร้อมรับสินค้าของจุดรับสินค้าในหนึ่งวันทำการ

จากตัวอย่างในรูปที่ 3.4 เวลา $t = 0$ เป็นจุดเวลาเริ่มวันทำการ ซึ่งที่จุดเวลา $t = 0$ นี้ยังไม่มีข้อมูลของสินค้าเข้ามาทำให้ขนาดของปัญหาที่เห็นในขณะนี้คือ 0 จุด

ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา $t = t_1$ เราจะทราบว่ามีข้อมูลของสินค้าเข้ามาในระบบหนึ่งชิ้นคือ A ดังนั้นขนาดของปัญหาที่เห็นในขณะนี้คือ 1 จุด

ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา $t = t_2$ เราจะทราบว่ามีข้อมูลของสินค้าเข้ามาในระบบเพิ่มอีกหนึ่งชิ้นคือ B สมมุติให้สินค้า A ยังไม่ได้ถูกจัดส่ง ทำให้ในขณะนี้ขนาดของปัญหาที่จะต้องทำการจัดเส้นทางคือ 2 จุด

ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา $t = t_3$ ซึ่งเลยช่วงเวลาพร้อมรับบริการของสินค้า A และ B แล้วนั่นคือต้องมีการสั่งออกรถไปส่ง A และ B ก่อนหน้านี้แล้วแน่นอน ทำให้ในขณะนี้ขนาดของปัญหาคือ 0 จุด

ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปเป็นเวลา $t = t_4$ เราจะทราบว่ามีข้อมูลของสินค้าเข้ามาในระบบเพิ่มอีกสองชิ้นคือ C และ D ทำให้ขณะนี้สินค้าที่รอจัดเส้นทางอยู่สองชิ้น ดังนั้นขนาดปัญหาที่จะต้องทำการจัดเส้นทางในขณะนี้คือ 2 จุด

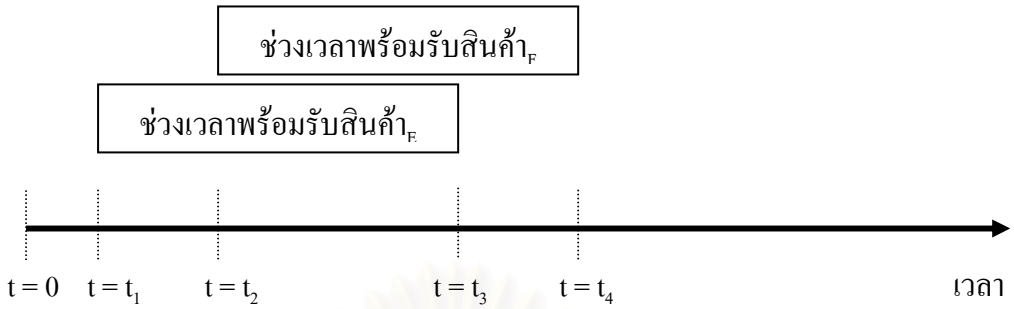
ตัวอย่างข้างต้น แสดงให้เห็นถึงธรรมชาติของปัญหาในงานวิจัยนี้ ที่เปลี่ยนจากปัญหาหนึ่งไปเป็นอีกปัญหาหนึ่งตลอดเวลา ทั้งในด้านขนาดของปัญหาและชุดข้อมูลของปัญหา รวมถึงความจำเป็นที่ต้องตัดสินใจสั่งออกรถ โดยที่ยังไม่ทราบข้อมูลของสินค้าทั้งหมดในช่วงเวลาที่สนใจ

และในแง่มุมถัดมา คือในเรื่องของเวลาเริ่มเดินทางของรถที่ใช้จัดส่งสินค้า ในปัญหา VRPTW นั้นเราทราบข้อมูลของสินค้าทุกชิ้นตั้งแต่ก่อนเริ่มขั้นตอนการกำหนดเส้นทาง ทำให้สามารถวางแผนการจัดส่งสินค้าได้ล่วงหน้า ดังนั้นรถแต่ละคันสามารถเริ่มออกเดินทางจากท่ารถได้ตั้งแต่เวลา $t = 0$ เพื่อไปจัดส่งสินค้าตามเส้นทางที่ได้กำหนดไว้ โดยไม่ต้องคำนึงว่ามีสินค้าชิ้นใดบ้างที่จะถูกจัดส่งโดยรถคันนั้น ซึ่งต่างจากปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ ที่ข้อมูลของสินค้าจะทยอยทราบในระหว่างขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเดินรถ โดยรถแต่ละคันจะสามารถเดินทางไปส่งสินค้ายังจุดรับสินค้าได้เฉพาะสินค้าที่ทราบข้อมูลในเวลานั้นแล้วเท่านั้น ดังนั้นถ้าในรถคันหนึ่งมีสินค้าที่จะต้องจัดส่งมากกว่าหนึ่งชิ้น รถคันนั้นจะสามารถเริ่มออกเดินทางได้หลังจากทราบข้อมูลของสินค้าที่จะถูกจัดส่งโดยรถคันนั้นครบทุกชิ้นเสียก่อน นั่นคือรถคันนั้นจะเริ่มออกเดินทางได้หลังจาก ค่าที่มากที่สุด ของเวลาที่ข้อมูลของสินค้า ที่ถูกจัดส่งโดยรถคันนั้นเข้าสู่ระบบ

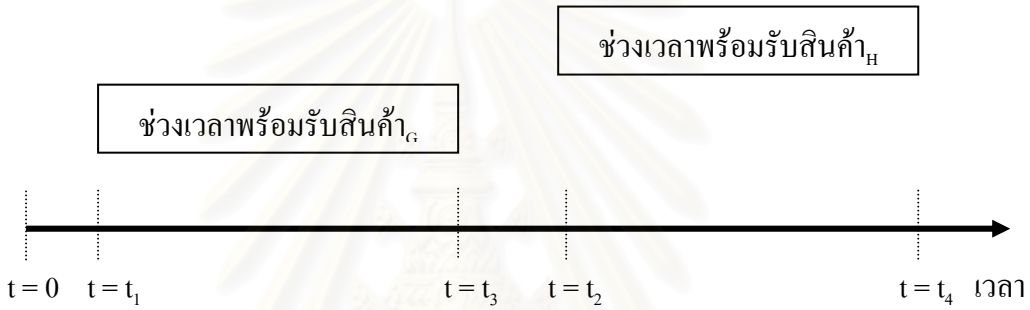
ยกตัวอย่างเช่น รถคันที่ X จะจัดส่งสินค้าสี่ชิ้นคือ A B C และ D โดยที่ข้อมูลของ A B C และ D เข้ามายังระบบในเวลา t_1 t_2 t_3 และ t_4 ตามลำดับ และมีเส้นทางการจัดส่งสินค้าคือ เริ่มออกเดินทางจากท่ารถไปยังจุด A จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุด D B และ C ตามลำดับ จากนั้นจึงเดินทางกลับมายังท่ารถ เวลาที่รถคันที่ X สามารถเริ่มออกเดินทางได้ (DT_x) สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$DT_X \geq MAX\,(t_1,t_2,t_3,t_4) \qquad (3.1)$$

และในแง่มุมสุดท้ายคือ กลุ่มสินค้าที่สามารถถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกัน สำหรับปัญหา VRPTW สินค้าทุกชิ้นมีโอกาสที่จะถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกัน หากไม่ขัดต่อข้อจำกัดในด้านความจุรถที่ใช้ขนส่งสินค้า และยังสามารถจัดส่งสินค้าทุกชิ้นได้ทัน โดยไม่ต้องคำนึงถึงเรื่อง เวลาพร้อมรับบริการของสินค้าที่ถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกัน ว่าต้องมีส่วนคาบเกี่ยวกันหรือไม่



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างของข้อมูลสินค้าที่มีเวลาพร้อมรับบริการคาบเกี่ยวกัน



รูปที่ 3.6 ตัวอย่างของข้อมูลสินค้า ที่เวลาพร้อมรับบริการไม่คาบเกี่ยวกัน

แต่สำหรับปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ สินค้าทุกชิ้นที่ถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกันจะต้องมีเวลาพร้อมรับบริการคาบเกี่ยวกันดังเช่นในรูปที่ 3.5 เพราะการที่สินค้าไม่มีการคาบเกี่ยวกันของเวลาพร้อมรับบริการดังเช่นในรูปที่ 3.6 จะหมายถึง สินค้าชิ้นหนึ่งจะต้องถูกจัดส่งก่อน ที่จะทราบข้อมูลของสินค้าอีกชิ้นหนึ่ง ดังนั้นจึงเป็นไปไม่ได้ที่จะถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกัน

3.3 ข้อมูลนำเข้าที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการกำหนดเส้นทางจะประกอบสองส่วนคือ ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า ข้อมูลที่เป็นข้อจำกัดของระบบการจัดส่งสินค้า และข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

3.3.1 ข้อมูลเวลาจริงในปัจจุบัน

เนื่องจากปัญหามีลักษณะเป็นแบบพลวัตร ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลตามเวลา ดังนั้นจึงต้องมีการนำข้อมูลเวลาจริงในปัจจุบันมา(T_{now}) มาใช้ในกระบวนการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตร

3.3.2 ข้อมูลเกี่ยวกับสินค้า

ข้อมูลในส่วนนี้จะเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสินค้าที่จะต้องจัดส่ง ซึ่งเราทยอยทราบ ในระหว่างขั้นตอนกำหนดเส้นทางเดินรถ โดยเราจะทราบข้อมูลในส่วนนี้เมื่อลูกค้าสั่งซื้อสินค้า ข้อมูลในส่วนนี้ประกอบด้วย

- เวลาที่ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าเข้ามาในระบบ (Arrival Time: AT)
- ตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับสินค้า ซึ่งจะทราบข้อมูลในลักษณะพิกัดจุดสองมิติ (X,Y)
- ปริมาตรของสินค้าที่จะต้องจัดส่ง

3.3.3 ข้อมูลที่เป็นข้อจำกัดของระบบการจัดส่งสินค้า

ข้อมูลในส่วนนี้ประกอบด้วย

- ปริมาตรของรถที่ใช้ขนส่ง
- ตำแหน่งที่ตั้งของท่ารถ(Depot) ซึ่งจะทราบข้อมูลในลักษณะพิกัดจุด (X,Y)
- ระยะเวลารับประกัน(Guarantee Time: GT)

3.3.4 ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณ

ข้อมูลในส่วนนี้จะได้จากการนำข้อมูลในสองส่วนแรกมาคำนวณ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจาก เวลาที่เปลี่ยนแปลง การที่มีข้อมูลสินค้าเข้ามาเพิ่ม และการสั่งออกรถ ข้อมูลในส่วนนี้ประกอบด้วย

- จำนวนสินค้าที่เข้ามาในระบบ จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีข้อมูลของลูกค้าเข้ามาเพิ่ม
- จำนวนสินค้าที่จัดส่งไปแล้ว จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการตัดสินใจสั่งออกรถ
- จำนวนสินค้าที่รอการจัดส่ง เป็นผลต่างระหว่าง จำนวนสินค้าที่เข้ามาในระบบกับ จำนวนสินค้าที่ได้จัดส่งไปแล้ว
- ระยะทางระหว่างจุดรับสินค้าของสินค้าที่รอการจัดส่ง ซึ่งต้องมีการคำนวณเมื่อมีข้อมูลสินค้าเข้ามาเพิ่มหรือออกจากระบบ ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \qquad (3.2)$$

โดยที่

D_{ij} = ระยะทางระหว่างจุดรับสินค้า i และจุดรับสินค้า j

x_i = พิกัดในแนวแกน x ของจุดรับสินค้า i

y_i = พิกัดในแนวแกน y ของจุดรับสินค้า i

- ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างจุดรับสินค้าของสินค้าที่รอการจัดส่ง ซึ่งต้องมีการคำนวณเมื่อมีข้อมูลสินค้าเข้ามาเพิ่มหรือออกจากระบบ โดยในงานวิจัยฉบับนี้เวลาในการเดินทางจะแปรผันตามระยะทาง ดังนั้นระยะเวลาในการเดินทาง สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$TT_{ij} = \frac{D_{ij}}{V} \quad (3.3)$$

โดยที่

TT_{ij} = คือระยะเวลาในการเดินทางจากจุดรับสินค้า i ไปยังจุดรับสินค้า j

D_{ij} = ระยะทางระหว่างจุดรับสินค้า i และจุดรับสินค้า j

V = ความเร็วของรถที่ใช้จัดส่งสินค้าในการเดินทาง

- กำหนดส่งสินค้า (Due Date) ซึ่งคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$DD_i = AT_i + GT \quad (3.4)$$

โดยที่

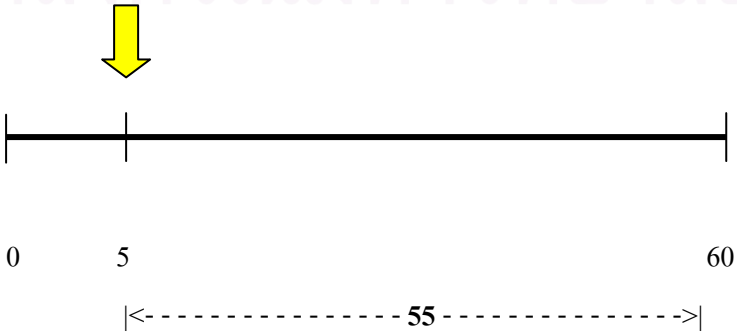
DD_i = กำหนดส่งสินค้าชิ้นที่ i

AT_i = เวลาที่ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าชิ้นที่ i เข้ามาในระบบ

GT = ระยะเวลารับประกัน

- เวลาที่เหลือให้ใช้จัดส่ง คือเวลาที่เหลือให้ใช้ในการจัดส่งที่จุดเวลาใดๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าข้อมูลเกี่ยวกับสินค้าเข้ามาในระบบเมื่อเวลานาทีที่ 0 และมีระยะเวลารับประกัน 60 นาที

รูปที่ 3.7 เวลาที่เหลือให้ใช้จัดส่งที่เวลานาทีที่ 0



รูปที่ 3.8 เวลาที่เหลือให้ใช้จัดส่งที่เวลานาทีที่ 5

จากรูปที่ 3.7 ข้อมูลของสินค้าเข้ามาในระบบที่เวลานาทีที่ 0 ซึ่งในเวลานี้จะมีเวลาที่เหลือให้ใช้จัดส่งสินค้าชิ้นนี้เท่ากับ 60 นาที ต่อมาในรูปที่ 3.8 ซึ่งเวลาผ่านไปเป็นเวลานาทีที่ 5 ในเวลานี้จะมีเวลาให้ใช้ในการจัดส่งลดลงเหลือเพียง 55 นาที

โดยเวลาที่เหลือให้ใช้จัดส่งสำหรับสินค้าชิ้นที่ i ซึ่งจะมีค่าลดลงเมื่อเวลาผ่านไป คำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$FT_i = DD_i - T_{now}$$
$$= (AT_i + GT) - T_{now} \quad (3.5)$$

โดยที่

FT_i = เวลาที่เหลือให้ใช้จัดส่งสินค้าชิ้นที่ i

DD_i = กำหนดส่งสินค้าชิ้นที่ i

AT_i = เวลาที่ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าชิ้นที่ i เข้ามาในระบบ

GT = ระยะเวลารับประกัน

T_{now} = เวลาปัจจุบัน

- เวลารอก่อนส่งของจุดรับสินค้า (Remaining Slack Time: RST) คือ เวลาที่เหลือให้รอได้ก่อนที่จะต้องสั่งออกรถคันที่มีจุดรับสินค้านั้นๆในเส้นทางการจัดส่ง มิฉะนั้นจะไม่สามารถส่งทันระยะเวลารับประกัน โดยเวลารอก่อนส่งของจุดรับสินค้าลำดับที่ i ในเส้นทาง สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$RST_i = FT_i - \sum_{j=1}^{i} TT_{(j-1,j)}$$
$$= [(GT + AT_i) - T_{Now}] - \sum_{j=1}^{i} TT_{(j-1,j)} \quad (3.6)$$

โดยที่

RST_i = เวลารอก่อนส่งของจุดรับสินค้าลำดับที่ i ในเส้นทาง

FT_i = เวลาที่เหลือให้ใช้จัดส่งจุดรับสินค้าลำดับที่ i ในเส้นทาง

$TT_{i,j}$ = เวลาที่ใช้เดินทางจุดรับสินค้าลำดับที่ i ในเส้นทาง มายังจุดรับสินค้าลำดับที่ j ในเส้นทาง

GT = ระยะเวลารับประกัน

T_{Now} = เวลาปัจจุบัน

AT_i = เวลาที่ข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าชิ้นที่ i เข้ามาในระบบ

ซึ่งเวลารอก่อนส่งนี้ เป็นข้อมูลที่มีความสำคัญต่อการกำหนดเวลาออกรถ โดยที่เวลารอก่อนของรถแต่ละคันจะถูกกำหนดโดยสินค้าที่ถูกจัดส่งโดยรถคันนั้น ที่มีเวลารอก่อนส่งต่ำที่สุด โดยเวลาก่อนส่งสำหรับรถคันใดๆสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์

$$CRST_x = MIN(RST_i) \quad (3.7)$$

โดยที่

i = เป็นสมาชิกของสินค้าที่ถูกจัดส่งโดยรถคันที่ x

$CRST_x$ = เวลารอก่อนส่งของรถคันที่ x

RST_i = เวลารอก่อนส่งของสินค้าลำดับที่ i ในเส้นทาง

ซึ่ง $CRST_x$ นี้จะสามารถนำไปคำนวณหาเวลาออกรถที่ช้าที่สุดของรถคันที่ x ก่อนจะไม่สามารถจัดส่งสินค้าได้ทันทุกชิ้น โดยเวลาออกรถของรถคันที่ x (DT_x) จะมีความสัมพันธ์กับ $CRST_x$ ดังนี้

$$DT_x \leq T_{now} + CRST_x \quad (3.8)$$

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลสินค้าที่จะต้องจัดส่ง

สินค้า	เวลาที่เข้ามายังแผนกจัดส่ง	ปริมาตร	ตำแหน่งจุดรับสินค้า
A	0.0	9.15	(-9,1)
B	3.2	7.78	(13,-8)

ตัวอย่างเช่นสินค้า A และ B มีข้อมูลดังที่แสดงในตารางที่ 3.1 จากนาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 3.2 มีข้อมูลสินค้า A และ B เข้ามาในระบบ สมมุติให้เส้นทางที่คาดว่าจะจัดส่งสินค้าสองชิ้นนี้โดยรถคันที่ k คือ จากท่ารถไปยัง A แล้วเดินทางต่อไปยัง B และกลับมายังท่ารถ โดยที่พิกัดตำแหน่งของท่ารถคือ (0,0) ที่เวลานาทีที่ 3.2 นี้จะสามารถคำนวณหาเวลารอก่อนส่งของสินค้า A และ B เวลารอก่อนส่งของรถ และเวลาออกรถ โดยที่มีระยะเวลารับประกัน = 60 นาที และ ความเร็วของรถ = 1 เมตรต่อนาที ได้ดังนี้

$$TT_{0,1} = TT_{0,A}$$

$$= D_{0,A}/V$$

$$= D_{0,A}$$

$$= \sqrt{(-9-0)^2+(1-0)^2} = 9.06 \text{ นาที}$$

$TT_{1,2} = TT_{A,B}$

$= D_{A,B}/V$

$= D_{A,B}$

$$= \sqrt{[13-(-9)]^2+[(-8)-1)^2} = 23.77 \text{ นาที}$$

$$RST_1 = RST_A = [(GT+ AT_A)-T_{Now}] - \sum_{j=1}^{1} TT_{(j-1,j)}$$

$= [(60+0)-3.2]-[9.06] = 47.74$

$$RST_2 = RST_B = [(GT+ AT_B)-T_{Now}] - \sum_{j=1}^{2} TT_{(j-1,j)}$$

$= [(60+3.2)-3.2]-[9.06+23.77] = 27.17$

$CRST_k = MIN(RST_i)$

$= MIN(RST_1,RST_2)$

$= MIN(RST_A,RST_B)$

$= MIN(47.74,27.17)$

$= 27.17$

$DT_x \leq T_{now} + CRST_x$

$DT_x \leq 3.2 + 27.17 = 30.37$

ซึ่งพบว่าเวลารอก่อนส่งของสินค้าที่จะต้องจัดส่งโดยรถคันที่ k นี้ มีค่าต่ำที่สุดคือ 27.17 ดังนั้นรถคันนี้สามารถรอได้อีก 27.17 นาที ค่อยเริ่มออกเดินทางที่เวลา 30.37 โดยที่ยังสามารถจัดส่งสินค้าทุกชิ้นได้ทันระยะเวลารับประกัน

3.4 ข้อมูลนำออกที่ได้จากปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเดินรถ จะต้องสามารถช่วยให้ตอบปัญหาได้สามประเด็นคือ ประเด็นแรก สินค้าแต่ละชิ้นจะถูกจัดส่งโดยรถคันใด ประเด็นที่สอง คือรถแต่ละคันจะเริ่มออกเดินทางเวลาใด และประเด็นสุดท้าย รถแต่ละคันมีเส้นทางในการจัดส่งสินค้าแบบใด โดยคำตอบสำหรับคำถามข้อแรกนั้น จะแฝงตัวอยู่ในการตอบคำถามสองประเด็นหลัง ดังนั้นคำตอบที่ได้จากการกำหนดเส้นทางเดินรถนั้น จะประกอบด้วยสองส่วนคือ

- เวลาออกรถคนรถแต่ละคัน
- เส้นทางการจัดส่งสินค้าของรถแต่ละคัน

ตัวอย่างของคำตอบที่ได้จะเป็นดังนี้

รถคันที่.....**เวลาเริ่มออกเดินทาง**.....
เส้นทางการจัดส่ง : Depot → ..... → ..... → ..... → ..... → ..... → Depot

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างชุดข้อมูลคำตอบที่ได้จากปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

3.4 บทสรุป

ลักษณะพิเศษของปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้คือ การที่ปัญหามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดขั้นตอนการหาคำตอบ โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง คือ เวลา และที่จุดเวลาใดๆในระหว่างขั้นตอนการหาคำตอบนั้นจะต้องทำการตัดสินใจว่าจะสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้า หรือจะรอการเข้ามาของข้อมูลสินค้าชิ้นถัดไป โดยการตัดสินใจนั้นจะเกิดขึ้นโดยที่ไม่สามารถทราบข้อมูลทั้งหมดของสินค้าที่จะต้องจัดส่งได้ ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาวิธีการในหาคำตอบในขั้นถัดไปจะต้องพิจาณาเลือกเอาวิธีการที่มีความสอดคล้องกับธรรมชาติของปัญหาตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

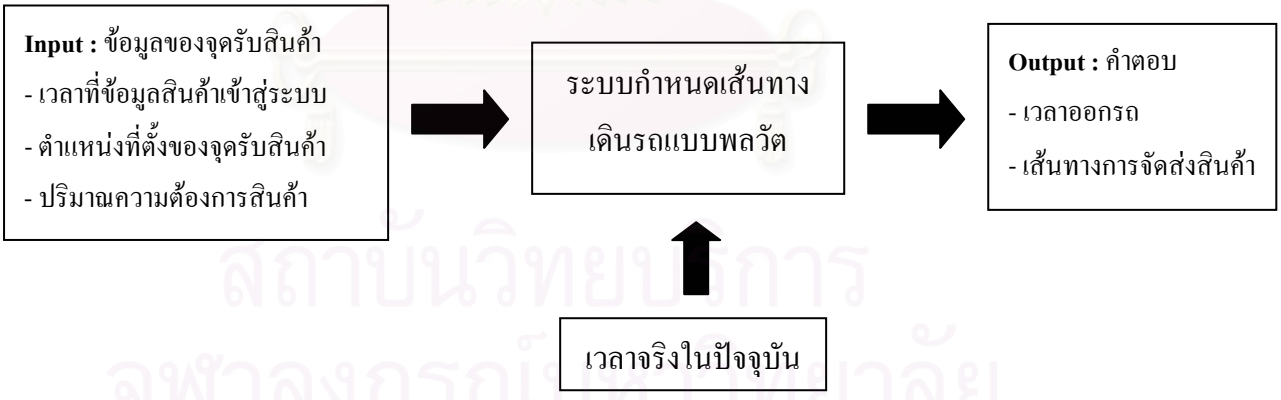
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การพัฒนาวิธีการหาคำตอบ

ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตนั้น เป็นปัญหาที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาในระหว่างขั้นตอนของการกำหนดเส้นทางเดินรถ โดยเมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งผลให้ปัญหาเดิมในขณะใดๆ ถูกเปลี่ยนไปเป็นปัญหาใหม่อยู่ตลอดเวลา ทำให้ต้องมีการจัดเส้นทางซ้ำอยู่ตลอดการช่วงทำงาน ดังนั้นวิธีการที่จะพิจารณานำมาใช้นั้น จะต้องให้ผลตอบที่ดีโดยใช้เวลาในการทำงานที่เหมาะสม เพื่อที่จะสามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของตัวปัญหาได้สอดคล้องกับเงื่อนไขในด้านกรอบระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาวิธีการในการหาคำตอบที่สอดคล้องกับธรรมชาติของปัญหา โดยเริ่มจากการพัฒนาโครงสร้างของฮิวริติกที่ใช้หาคำตอบ และจากนั้นจะกล่าวถึงการพัฒนาวิธีการที่ใช้ในการจัดเส้นทาง

4.1 การพัฒนาโครงสร้างของฮิวริสติกที่ใช้หาคำตอบ

การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต สามารถพิจารณาเป็นระบบที่มีการรับข้อมูลนำเข้ามาผ่านกระบวนการในการหาคำตอบ และส่งข้อมูลนำออกจากระบบดังนี้



รูปที่ 4.1 ข้อมูลนำเข้า และข้อมูลนำออกของการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

จากรูปที่ 4.1 การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตนั้นจะรับเข้ามูลนำเข้า คือ ข้อมูลของจุดรับสินค้า เพื่อสร้างข้อมูลนำออก คือเวลาออกรถและเส้นทางในการจัดส่งสินค้าของรถแต่ละคัน

ความซับซ้อนของปัญหาเกิดจาก การที่ต้องนำข้อมูลเวลาจริงในปัจจุบัน เข้ามาประมวลผลร่วมกับข้อมูลของสินค้าที่ทยอยทราบ หลังจากเริ่มขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเดินรถแล้ว ซึ่งส่งผล

ให้กระบวนการในการกำหนดเส้นทางเดินรถนั้น จะต้องดำเนินอยู่อย่างต่อเนื่องตลอดเวลา เพื่อที่จะสามารถ กำหนดเวลาออกรถและเส้นทางในการจัดส่งสินค้าของรถแต่ละคัน ได้อย่างสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดและการเปลี่ยนแปลงของปัญหาที่เกิดขึ้นจริง

ในระหว่างกระบวนการกำหนดเส้นทางเดินรถนั้น แม้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการที่ข้อมูลของสินค้าเข้ามาเพิ่มในระบบ หรือมีการตัดสินใจสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้าก็ตาม ข้อมูลในระบบก็ยังคงมีการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเวลาในปัจจุบัน (T_{now}) มีการเลื่อนอยู่ตลอดเวลา ตัวอย่างเช่น มีสินค้ารอการจัดส่งอยู่ในระบบสองชิ้นคือ A และ B โดยมีรายละเอียดของข้อมูลดังเช่นในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างข้อมูลของสินค้าที่เข้ามาในระบบ

สินค้า	เวลาที่เข้ามายังแผนกจัดส่ง	ปริมาตร	ตำแหน่งจุดรับสินค้า
A	0.0	9.15	(-9,1)
B	3.2	7.78	(13,-8)
C	5.0	4.50	(3,7)

ตัวอย่างเช่น สินค้า A B และ C มีข้อมูลดังที่แสดงในตารางที่ 4.1 จากนาทีที่ 0 ถึงนาทีที่ 3.2 มีข้อมูลสินค้าเข้ามาในระบบ 2 ชิ้นคือ A และ B สมมุติให้เส้นทางที่คาดว่าจะจัดส่งสินค้าสองชิ้นนี้โดยรถคันที่ k คือ จากท่ารถไปยัง A แล้วเดินทางต่อไปยัง B และกลับมายังท่ารถ โดยที่พิกัดตำแหน่งของท่ารถคือ (0,0) ที่เวลานาทีที่ 3.2 นี้ จะสามารถคำนวณหาเวลารอก่อนส่งของสินค้า A และ B โดยที่มีระยะเวลารับประกัน = 60 นาที และ ความเร็วของรถ = 1 เมตรต่อนาที ได้ดังนี้

$$
\begin{aligned}
TT_{0,1} &= TT_{0,A} \\
&= D_{0,A}/V \\
&= D_{0,A} \\
&= \sqrt{(-9-0)^2+(1-0)^2} \quad = \quad 9.06 \text{ นาที} \\
TT_{1,2} &= TT_{A,B} \\
&= D_{A,B}/V \\
&= D_{A,B} \\
&= \sqrt{[13-(-9)]^2+[(-8)-1)^2} \quad = \quad 23.77 \text{ นาที}
\end{aligned}
$$

จากสมการ (3.5) $RST_i = [(GT+ AT_i)-T_{Now}] - \sum_{j=1}^{i} TT_{(j-1,j)}$

ที่เวลา t = 3.2 จะสามารถคำนวณหาค่า RST ของสินค้า A และ B ได้ดังนี้

$RST_1 = RST_A = [(GT+ AT_A)-T_{Now}] - \sum_{j=1}^{1} TT_{(j-1,j)}$

$= [(60+0)-3.2]-[9.06] = 47.74$

$RST_2 = RST_B = [(GT+ AT_B)-T_{Now}] - \sum_{j=1}^{2} TT_{(j-1,j)}$

$= [(60+3.2)-3.2]-[9.06+23.77] = 27.17$

และจากสมการ (3.6) สามารถคำนวณหาเวลารอก่อนส่งของรถคันที่ k ได้ดังนี้

$CRST_k = MIN(RST_i)$

$= MIN(RST_1,RST_2)$

$= MIN(RST_A,RST_B)$

$= MIN(47.74,27.17)$

$= 27.17$

จากการคำนวณทำให้ทราบว่าที่นาทีที่ 3.2 รถคันที่ k เหลือเวลาให้รอก่อนที่จะต้องเริ่มออกเดินทางไปส่งสินค้าอยู่ 27.17 นาที

ต่อมาเมื่อเวลาผ่านไปถึงนาทีที่ 4.5 ซึ่งยังไม่มีข้อมูลสินค้ามาเพิ่ม และไม่มีการสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้า และเส้นทางการจัดส่งสินค้าที่ได้จากกระบวนการจัดเส้นทางยังคงเหมือนกับเส้นทางในเวลานาทีที่ 3.2 แต่ที่จุดเวลานี้มีเวลารอก่อนส่งที่เปลี่ยนไปดังนี้

$RST_A = [(GT+ AT_A)-T_{Now}] - \sum_{j=1}^{1} TT_{(j-1,j)}$

$= [(60+0)-4.5]-[9.06] = 46.44$

$RST_B = [(GT+ AT_B)-T_{Now}] - \sum_{j=1}^{2} TT_{(j-1,j)}$

$= [(60+3.2)-4.5]-[9.06+23.77] = 25.87$

และสามารถคำนวณหาเวลารอก่อนส่งของรถคันที่ k ได้ดังนี้

$CRST_k = MIN(RST_i)$

$= MIN(RST_1,RST_2)$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$= \quad MIN(RST_A, RST_B)$$

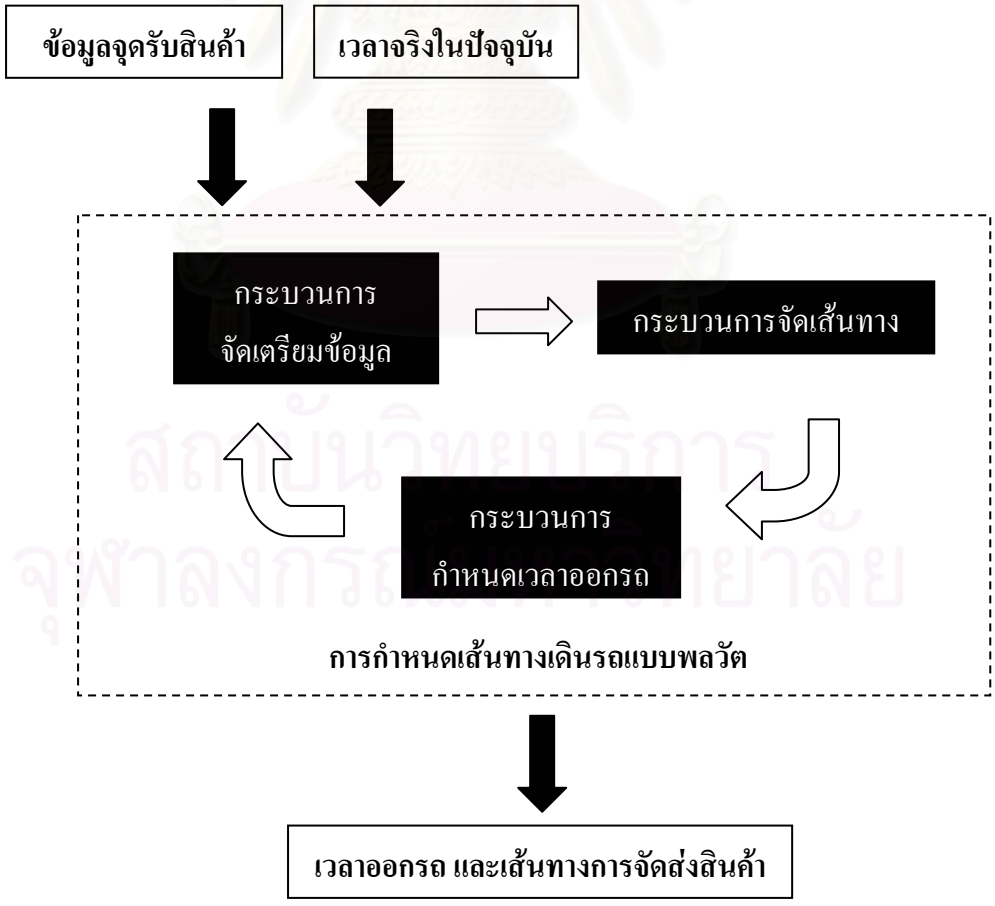
$$= \quad MIN(46.44, 25.87)$$

$$= \quad 25.87$$

จากการคำนวณพบว่าว่านาทีที่ 4.5 นี้เหลือเวลารอก่อนที่จะต้องออกรถเพียง 25.87 นาทีทั้งที่ไม่มีข้อมูลสินค้าเข้ามาเพิ่มเติม หรือลดลงจากระบบ ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ในการสร้างเส้นทางเดินรถและการตัดสินใจสั่งออกรถจะต้องมีการคำนวณเพื่อปรับค่าให้ถูกต้องตามเวลาจริงอยู่ตลอดเวลา แม้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของสินค้าที่รอการจัดส่งก็ตาม

จากลักษณะพิเศษของปัญหาดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ส่งผลให้งานของการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตนั้น มิได้มีเพียงแต่การจัดเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมเพียงอย่างเดียว แต่จะต้องมีงานในส่วนของการปรับข้อมูล ให้สอดคล้องกับเวลาในปัจจุบัน เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดเส้นทางและพิจารณากำหนดเวลาออกเดินทางของรถอย่างเหมาะสมอีกด้วย

เพื่อให้กระบวนของการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่นำเสนอ มีความสอดคล้องกับธรรมชาติของปัญหา และเป็นการลดความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ปัญหา ในงานวิจัยฉบับนี้จึงเสนอโครงสร้างของกระบวนการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต โดยมีส่วนประกอบดังนี้



รูปที่ 4.2 กรอบแนวคิดของฮิวริสติกในการหาคำตอบ

จากรูปที่ 4.2 โครงสร้างของฮิวริสติกที่ใช้หาคำตอบ จะประกอบด้วยกระบวนการย่อยตามลักษณะของงานที่ต้องทำ เนื่องจากการแก้ปัญหาทั้งปัญหาจะมีงานหลายส่วนและมีความซับซ้อนในการทำงาน เพื่อลดความซับซ้อนของการแก้หาคำตอบของปัญหาใหญ่ทั้งปัญหา จึงทำการแบ่งขั้นตอนวิธีในการหาคำตอบออกเป็นสามกระบวนการย่อย ซึ่งแต่ละกระบวนการนั้นก็จะทำงานในส่วนของกระบวนการนั้นๆ แล้วมีการส่งผ่านข้อมูลระหว่างกันตามทิศของลูกศรสีขาว โดยระบบจะทยอยรับข้อมูลนำเข้าจากภายนอก และส่งข้อมูลนำออกตามทิศของลูกศรสีดำ ซึ่งขั้นตอนในการหาคำตอบ จะทยอยรับข้อมูลมาพิจารณาเพื่อทำการจัดเส้นทางครั้งละ 1 เส้นทาง และรอรับข้อมูลจนกระทั่งไม่สามารถรอเพื่อจัดจุดรับสินค้าลงในเส้นทางเพิ่มได้อีกตามเงื่อนไขข้อจำกัด ก็จะสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้า แล้วจึงเริ่มสร้างเส้นทางใหม่ และจะวนทำงานซ้ำไปจนกว่าจะถึงเงื่อนไขหยุดการทำงาน เช่น เวลาจริงในปัจจุบัน เลื่อนมาถึงเวลาสิ้นสุดวันทำการ โดยกระบวนการทั้งสามที่เสนออยู่ในโครงสร้างในรูปที่ 4.2 มีหน้าที่ดังนี้

4.1.1 กระบวนการจัดเตรียมข้อมูล

กระบวนการจัดเตรียมข้อมูลนี้จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากภายนอก คือข้อมูลของสินค้า และข้อมูลจากภายในคือ ข้อมูลจากกระบวนการกำหนดเวลาออกรถ จากนั้นนำข้อมูลเหล่านี้มาทำการคำนวณร่วมกับข้อมูลเวลาจริงในปัจจุบันและข้อกำหนดของระบบเพื่อจัดเตรียมข้อมูลให้กับกระบวนการจัดเส้นทาง โดยจะทำการรับข้อมูลเข้ามาในระบบทุกหนึ่งวินาที ซึ่งถือว่ามีความละเอียดเพียงพอสำหรับการจัดส่งสินค้าเนื่องจากไม่ทำให้ลูกค้ารู้สึกถึงความแตกต่าง หากมีความคลาดเคลื่อนของเวลาไปหนึ่งวินาที โดยข้อมูลนำเข้าและข้อมูลนำออกของกระบวนการนี้ ได้แก่

ข้อมูลนำเข้า :

- ข้อมูลของจุดรับสินค้าที่จะต้องจัดส่ง คือเวลาที่เข้ามาในระบบ ปริมาตรของสินค้า และพิกัดตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับสินค้า
- ปริมาตรของรถที่ใช้ขนส่ง
- ระยะเวลารับประกัน(Guarantee Time: GT)
- เส้นทางการจัดส่งของจุดรับสินค้าที่ค้างอยู่ในระบบ (All Best Route) ระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งตามเส้นทางใน All Best Route และเวลารอก่อนส่ง All Best Slack
- จุดรับสินค้าที่ได้สั่งออกรถไปส่งแล้ว

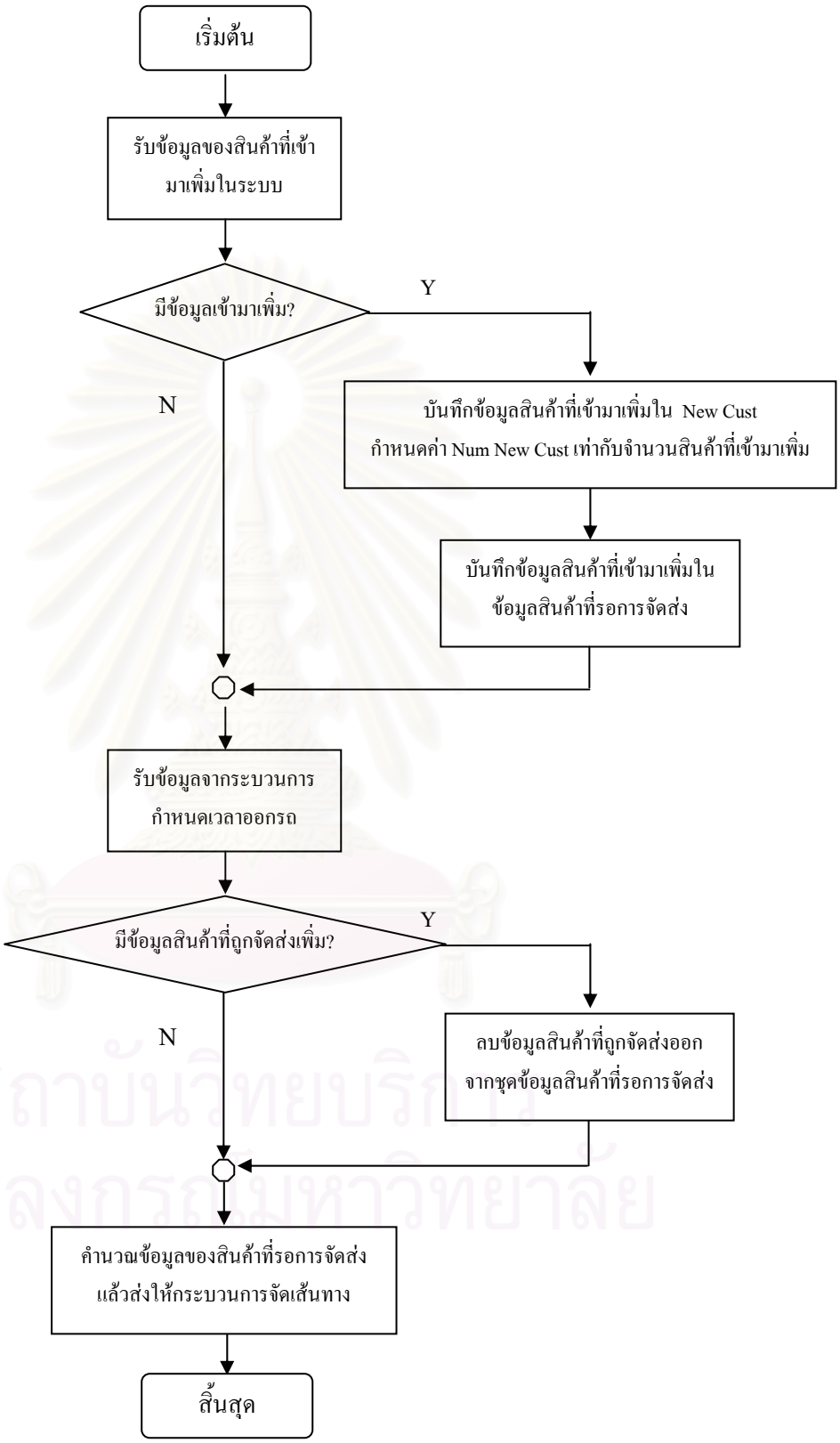
ข้อมูลนำออก :

- เส้นทางการจัดส่งของจุดรับสินค้าที่ค้างอยู่ในระบบ (All Best Route) ระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งตามเส้นทางใน All Best Route และเวลารอก่อนส่ง All Best Slack
- จุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทาง
- ระยะทางระหว่างจุดรับสินค้าทุกจุด ที่รอการจัดส่ง
- ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างจุดรับสินค้าทุกจุด ที่รอการจัดส่ง
- เวลากำหนดส่งสินค้าของจุดรับสินค้าทุกชิ้นที่รอการจัดส่ง
- จุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มใหม่ในระบบ (New Cust)
- จำนวนจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มใหม่ในระบบ (Num New Cust)

จากรูปที่ 4.3 กระบวนการจัดเตรียมข้อมูลเริ่มจากการรับข้อมูลของจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มในระบบ หากมีข้อมูลเข้ามาเพิ่ม จะทำการบันทึกข้อมูลของจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มใน New Cust และบันทึกจำนวนข้อมูลของจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มใน Num New Cust จากนั้นจะรับข้อมูลจากกระบวนการตัดสินใจ และตรวจสอบว่ามีการสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้าหรือไม่ ถ้ามีจะทำการลบข้อมูลจุดรับสินค้าที่จัดส่งแล้วออกจาก ข้อมูลของจุดรับสินค้าที่รอการจัดส่ง จากนั้นจะคำนวณข้อมูลของจุดรับสินค้าที่รอการจัดส่งตาม แล้วส่งให้กระบวนการจัดเส้นทาง

4.1.2 กระบวนการจัดเส้นทาง

กระบวนการจัดเส้นทางจะรับข้อมูลของจุดรับสินค้าที่ค้างอยู่ในระบบ ที่ได้จากกระบวนการจัดเตรียมข้อมูลมาทำการจัดเส้นทาง เพื่อให้ได้เส้นทางในการจัดส่งสินค้าที่มีระยะทางในการจัดส่งเหมาะสม แล้วส่งข้อมูลเส้นทางการจัดส่งและเวลารอก่อนส่งไปยังกระบวนการตัดสินใจ โดยในช่วงเวลาหนึ่ง จะพิจารณาการจัดเส้นทางครั้งละ 1 เส้น ซึ่งในบางกรณีหากมีข้อมูลจุดรับสินค้าเข้ามาเพิ่มในระบบ แต่ไม่สามารถจัดจุดรับสินค้าทั้งหมดลงภายในเส้นทางตามเงื่อนไขข้อจำกัดได้ครบทุกจุด จะส่งข้อมูลว่าไม่สามารถจัดเส้นทางได้สำเร็จให้กับกระบวนการตัดสินใจออกรถ เพื่อให้กระบวนการตัดสินใจออกรถ สั่งออกรถไปจัดส่งสินค้าตามเส้นทางที่ได้จากการจัดไว้ในรอบก่อนหน้า



รูปที่ 4.3 แผนผังการทำงานของกระบวนการจัดเตรียมข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งในระหว่างการดำเนินงานของระบบการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต กระบวนการจัดเส้นทางนี้ก็จะต้องจัดเส้นทางซ้ำอยู่ตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงของปัญหา ดังนั้นประเด็นสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณา ในการเลือกวิธีการที่นำมาใช้ในการจัดเส้นทางนั้น คือ จะต้องสามารถทำงานได้ดีโดยใช้เวลาในการคำนวณที่ไม่สูงมาก ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวการพัฒนาวิธีที่ใช้ในการจัดเส้นทาง จะมีการกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป ข้อมูลนำเข้าและข้อมูลนำออกของกระบวนการนี้ ได้แก่

ข้อมูลนำเข้า :

- เส้นทางการจัดส่งสินค้าของจุดรับสินค้าที่ค้างอยู่ในระบบ (All Best Route) ระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งตามเส้นทางใน All Best Route และเวลารอก่อนส่ง All Best Slack
- จุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทาง
- ระยะทางระหว่างจุดรับสินค้าทุกจุด ที่ค้างอยู่ในระบบ
- ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างจุดรับสินค้าทุกจุด ที่ค้างอยูในระบบ
- เวลากำหนดส่งสินค้า ของจุดรับสินค้าที่ค้างอยู่ในระบบ
- จุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มในระบบ (New Cust)
- จำนวนจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มในระบบ (Num New Cust)

ข้อมูลนำออก:

- ตัวแปรที่บอกสถานะว่าจัดเส้นทางสำเร็จหรือไม่ (FAIL)
- เส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทาง Best Route
- ระยะทางในการจัดส่ง Best Distance
- เวลารอก่อนส่ง Best Slack
- จำนวนจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มในระบบ (Num New Cust)

4.1.3 กระบวนการกำหนดเวลาออกรถ

กระบวนการกำหนดเวลาออกรถนี้จะทำหน้าที่ตัดสินใจว่า จะต้องออกรถเวลาใด โดยจะรับข้อมูลเส้นทางที่ได้จากกระบวนการจัดเส้นทาง คือ FAIL และข้อมูลในกลุ่ม Best Answer ได้แก่ Best Route, Best Distance และ Best Slack เพื่อนำมาเปรียบเทียบข้อมูลในกลุ่ม All Best Answer ได้แก่ All Best Route , All Best Distance และ All Best Slack ซึ่งเป็นข้อมูลของคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการแก้ปัญหาในขณะนั้น เพื่อจัดเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้ในข้อมูลกลุ่ม All Best จากนั้นจะตัดสินใจว่าจะรอรับข้อมูลต่อ หรือจะสั่งออกรถจาก

ข้อมูลในกลุ่ม All Best ซึ่งข้อมูลนำเข้าและข้อมูลนำออก ในกระบวนการตัดสินใจออกรถ ได้แก่

ข้อมูลนำเข้า:

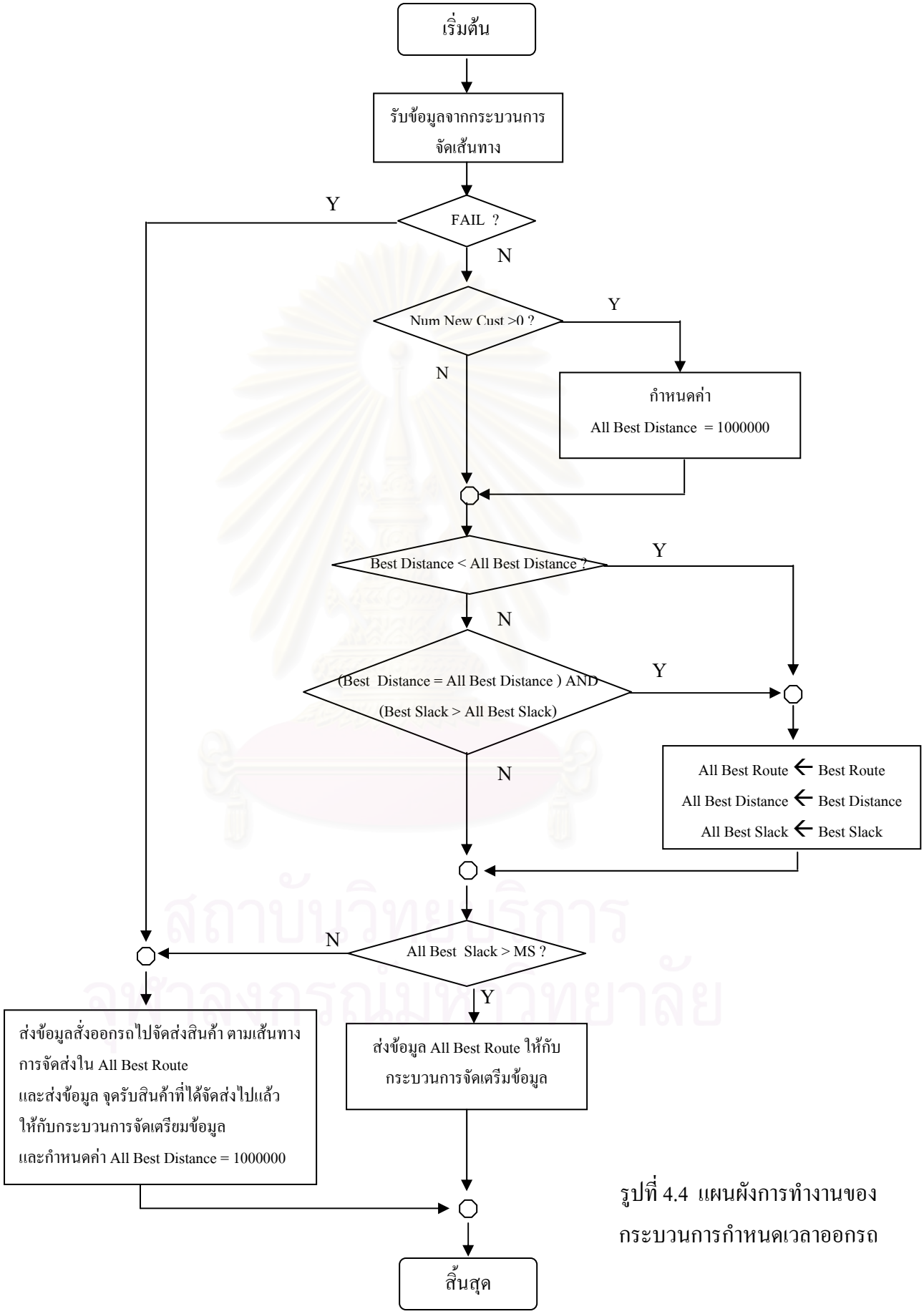
- ตัวแปรที่บอกสถานะว่าจัดเส้นทางสำเร็จหรือไม่ (FAIL)
- เส้นทางที่ได้จากการจัดเส้นทาง Best Route
- ระยะทางในการจัดส่ง Best Distance
- เวลารอก่อนส่ง Best Slack
- จำนวนจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มในระบบ (Num New Cust)

ข้อมูลนำออก:

- เวลาออกรถ และเส้นทางการจัดส่งสินค้า
- เส้นทางการจัดส่งสินค้าของสินค้าที่ค้างอยู่ในระบบ (All Best Route) ระยะที่ใช้ในการจัดส่งตามเส้นทางใน All Best Route และเวลารอก่อนส่ง All Best Slack
- สินค้าที่ได้จัดส่งไปแล้ว

ข้อมูลที่สำคัญในกระบวนการตัดสินใจนี้ คือข้อมูลในกลุ่ม Best ได้ Best Route, Best Distance , Best Slack และข้อมูลในกลุ่ม All Best ได้แก่ All Best Route, All Best Distance ,All Best Slack ซึ่งข้อมูลแต่ละตัวมีหน้าที่ดังนี้

- Best Route ทำหน้าที่เก็บข้อมูลเส้นทางที่ได้จากกระบวนการจัดเส้นทาง
- Best Distance ทำหน้าที่เก็บข้อมูลระยะทางในการจัดส่งสินค้า หากใช้จัดส่งสินค้าด้วยเส้นทางที่บันทึกใน Best Route
- Best Slack ทำหน้าที่เก็บค่าเวลารอก่อนส่งของรถ (CRST) หากจัดส่งด้วยเส้นทางที่บันทึกใน Best Route
- All Best Route ทำหน้าที่เก็บข้อมูลเส้นทางที่ได้จากกระบวนการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดจากการวนซ้ำแก้ปัญหาหลายรอบ ของปัญหาที่มีจุดรับสินค้าแบบเดียวกัน
- All Best Distance ทำหน้าที่เก็บข้อมูลระยะทางในการจัดส่งสินค้า หากใช้จัดส่งสินค้าด้วยเส้นทางที่บันทึกใน Best Route
- All Best Slack ทำหน้าที่เก็บค่าเวลารอก่อนส่งของรถ (CRST) หากจัดส่งด้วยเส้นทางที่บันทึกใน All Best Route



รูปที่ 4.4 แผนผังการทำงานของกระบวนการกำหนดเวลาออกรถ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยข้อมูลในกลุ่ม All Best นั้นจะบันทึกค่าเกี่ยวกับเส้นทางที่ดีที่สุดของปัญหาในการจัดเส้นทาง โดยจะทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการจัดเส้นทางตามข้อมูลของจุดรับสินค้าแบบเดียวกัน ที่ได้จากวนซ้ำหาคำตอบในแต่ละรอบแล้วบันทึกค่าที่ดีที่สุดไว้ จนกว่าข้อมูลของจุดรับที่รอการจัดส่งจะมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเกิดขึ้นโดยการสั่งออกรถหรือมีจุดรับสินค้ามาเพิ่ม

ปัญหาที่มีข้อมูลของจุดรับแบบเดียวกันนั้น จะคล้ายกับเป็นปัญหาเดียวกัน โดยแต่ละรอบที่วนซ้ำหาคำตอบ จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของเวลารอก่อนส่งเพียงเล็กน้อย เนื่องจากเวลาในการคำนวณแต่ละรอบจะไม่สูงมาก ดังนั้นจึงพิจารณาปัญหาที่คล้ายกันนั้นเสมือนว่าเป็นปัญหาเดียวกัน ซึ่งจะนำมาเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ ในแต่ละรอบแล้วบันทึกค่าที่ดีที่สุดไว้ จนกว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของจุดรับ

ดังนั้นข้อมูลในกลุ่ม All Best จะใช้เพื่อบันทึกข้อมูลคำตอบที่ดีที่สุด ของปัญหาที่มีข้อมูลจุดรับแบบเดียวกันเท่านั้น ส่งผลให้ต้องทำการล้างค่าทุกครั้งที่มีข้อมูลของสินค้าเข้ามาเพิ่ม หรือมีการสั่งออกรถ โดยในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้วิธีการในการกำหนดค่า All Best Distance เป็นค่าสูงมากทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจุดรับ เพื่อทำให้เกิดการบันทึกข้อมูลในกลุ่ม Best Answer ไว้ใน All Best Answerทุกครั้งที่มีการจัดเส้นทางของปัญหาใหม่เป็นรอบแรก

จากแผนผังการทำงานของกระบวนการตัดสินใจออกรถในรูปที่ 4.4 จะเริ่มจากรับข้อมูลจากกระบวนการจัดเส้นทาง แล้วตรวจสอบว่ากระบวนการจัดเส้นทางสามารถสร้างเส้นทางได้สำเร็จหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่าของตัวแปร FAIL โดยหากมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงไม่สามารถจัดเส้นทางได้สำเร็จ ในกรณีนี้จะสั่งออกรถไปส่งสินค้าตามข้อมูลที่เก็บอยู่ใน All Best Route ซึ่งเป็นข้อมูลของเส้นทางที่ดีที่สุดที่ได้จากรอบก่อนหน้า

แต่หากตัวแปร FAIL = 0 หมายถึง กระบวนการจัดเส้นทางสามารถจัดเส้นทางได้สำเร็จ ซึ่งจะมาพิจารณาต่อว่ามีข้อมูลของสินค้าที่เข้ามาเพิ่มหรือไม่ โดยพิจารณาผ่านทางตัวแปร Num New Cust ซึ่งหาก Num New Cust มีค่ามากกว่า 0 หมายความว่ามีข้อมูลสินค้าเข้ามาเพิ่ม ดังนั้นจึงกำหนดค่า All Best Distance = 1000000 ซึ่งเป็นค่าที่มากกว่าระยะทางที่ได้จากการกระบวนการจัดเส้นทาง

แต่ถ้าตัวแปร Num New Cust มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึงไม่มีข้อมูลสินค้าเข้ามาเพิ่มในระบบ ดังนั้นคำตอบที่ได้จากกระบวนการจัดเส้นทาง สามารถนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในกลุ่ม All Best คือ All Best Distance , All Best Slack และ All Best Route ซึ่งเป็นข้อมูลของคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้มาจากปัญหาเดียวกันจากรอบที่ผ่านมา ซึ่งถ้าเส้นทางที่ได้จากกระบวนการจัดเส้นทางคือ Best Distance มีค่าน้อยกว่า All Best Distance ก็จะบันทึก

ข้อมูลในกลุ่ม Best ลงในกลุ่ม All Best หรือหาก Best Distance มีค่าเท่ากับ All Best Distance แต่มีค่า Best Slack ที่มากกว่า All Best Slack ก็จะบันทึกข้อมูลในกลุ่ม Best ลงในกลุ่ม All Best เช่นเดียวกัน เนื่องจากทั้งสองกรณีดังกล่าว คำตอบที่ได้จากกระบวนการจัดเส้นทางในรอบปัจจุบัน ดีกว่าคำตอบในรอบก่อนหน้า

4.2 การพัฒนาวิธีการที่ใช้ในการจัดเส้นทาง

หลังจากที่ได้โครงสร้างหลักของกระบวนการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตแล้ว เนื้อหาในส่วนถัดมานี้จะเป็นการพัฒนาวิธีการที่ใช้ในการจัดเส้นทาง ซึ่งเป็นงานหลักในส่วนของกระบวนการจัดเส้น

จากการที่ข้อมูลต่างๆมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ส่งผลให้ปัญหามีการเปลี่ยนอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องทำกระบวนการจัดเส้นทางซ้ำอยู่ตลอดเวลา วิธีการที่นำมาใช้ในการจัดเส้นทางจึงต้องมีการคำนวณที่รวดเร็วเพียงพอที่จะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของปัญหาได้ทัน

ดังนั้นการพิจารณาเลือกใช้วิธีการที่นำมาใช้ในการจัดเส้นทาง จึงต้องพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติสองด้านคือ คุณภาพของคำตอบ กับ เวลาที่ใช้ในการคำนวณ โดยวิธีการในการหาคำตอบที่เหมาะสมจะนำมาใช้ในที่นี้ จะต้องให้คุณภาพคำตอบที่ดี โดยใช้เวลาในการคำนวณที่ต่ำ

แนวทางในการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองแนวทางหลักคือ แนวทางการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Optimization) กับ แนวทางการหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic) โดยแนวทางการหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้น จะสามารถให้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการคำนวณที่ยาวนาน และไม่สามารถนำไปใช้หาคำตอบกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ภายในระยะเวลาการคำนวณที่เหมาะสม ส่วนแนวทางการหาคำตอบแบบฮิวริสติกนั้น แม้จะไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็จะสามารถให้คำตอบที่ดี โดยใช้เวลาในการคำนวณที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับแนวทางการหาคำตอบที่ดีที่สุด

ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ จึงเลือกแนวทางการหาคำตอบแบบฮิวริสติก ซึ่งมีคุณสมบัติสอดคล้องกับข้อจำกัดในด้านเวลา มาใช้เป็นวิธีการในการจัดเส้นทาง โดยฮิวริสติกที่นิยมนำมาใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้นก็มีอยู่หลายวิธี ทั้งฮิวริสติกดั้งเดิมเช่น Saving Algorithm, Sweep Algorithm, Insertion Heuristic และฮิวริสติกสมัยใหม่ คือ Meta Heuristic เช่น GRASP, Tabu Search , Genetic Algorithm ,Simulated Annealing ซึ่งแต่ละวิธีจะมีวิธีการในการค้นหาคำตอบที่แตกต่างกัน รวมถึงเวลาที่ใช้ในการคำนวณที่แตกต่างกัน โดยฮิวริสติกในกลุ่ม Metaheuristic นั้นจะสามารถให้คำตอบที่ดีกว่าเนื่องจากมีการทำงานที่ซับซ้อนกว่าฮิวริสติกในแบบดั้งเดิม สามารถแก้ปัญหาการค้นหาคำตอบแล้วไปติดอยู่ใน Local Optimal ได้ แต่จะต้องใช้เวลาในการคำนวณที่มากกว่าฮิวริสติกแบบดั้งเดิม ซึ่งมีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อน

ในกระบวนกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตนั้น มีบางกรณีที่มีเวลาให้ใช้ในการคำนวณที่จำกัดมาก เช่น บางช่วงเวลามีข้อมูลของสินค้าเข้ามาในระบบเพิ่มในทุกหนึ่งวินาที ซึ่งต้องอาศัยวิธีการจัดเส้นทางที่รวดเร็วทันต่อการเปลี่ยนแปลงของปัญหา แต่ในบางกรณีที่การเปลี่ยนแปลงของของมูลไม่รวดเร็วนัก ซึ่งจะมีเวลาให้ใช้ในการจัดเส้นทางมากขึ้น ในกรณีนี้มีความเหมาะสมที่จะต้องเลือกใช้วิธีการจัดเส้นทางที่ให้คุณภาพของคำตอบได้ดี

โดยธรรมชาติของฮิวริสติกที่ใช้ในการจัดเส้นทาง ที่ให้ความสำคัญในด้านคุณภาพของคำตอบมักจะต้องใช้เวลาในการจัดเส้นทางที่มาก ส่วนฮิวริสติกที่ใช้ในการจัดเส้นทางที่ให้ความสำคัญในเรื่องความรวดเร็วมักจะให้คุณภาพของคำตอบที่ไม่ดีนัก เพื่อให้กระบวนในการจัดเส้นทางมีความสอดคล้องกับปัญหาได้ทั้งในกรณีที่มีเวลาจำกัดซึ่งต้องให้ความสำคัญในของเรื่องความรวดเร็ว และในกรณีที่มีเวลาให้ใช้ในการจัดเส้นทางมากขึ้น ซึ่งควรจะให้ความสำคัญในเรื่องคุณภาพของเส้นทางที่ได้ ในงานวิจัยฉบับนี้จะนำเอาฮิวริสติกสองแบบมาทำงานร่วมกันโดยฮิวริสติกที่ให้ความสำคัญในเรื่องของความเร็วในการจัดเส้นทางจะเลือกใช้ Insertion Heuristic ส่วนฮิวริสที่ให้ความสำคัญในเรื่องของคุณภาพของเส้นทางที่ได้จะเลือกใช้ GRASP ซึ่งรายละเอียดของฮิวริสติกที่เลือกใช้ทั้ง 2 แบบ มีดังนี้

4.2.1 Insertion Heuristic

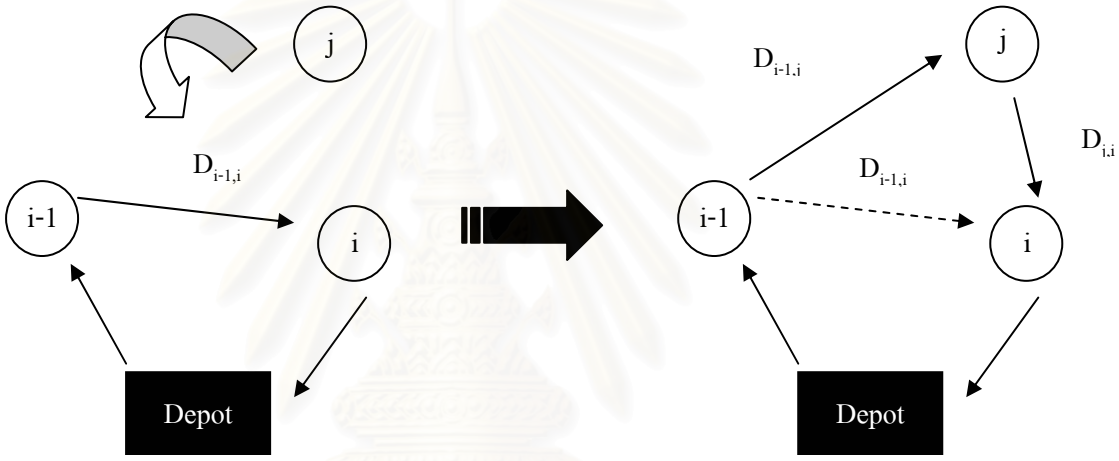
ฮิวริสติกในแบบดั้งเดิมวิธีหนึ่งซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง และนิยมนำมาใช้ประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ คือ Insertion Heuristic เนื่องจากสามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว มีขั้นตอนการทำงานที่ไม่ซับซ้อน สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในรูปแบบต่างๆได้ง่าย รวมถึงการสามารถตอบสนองกับเงื่อนไขข้อจำกัดของปัญหาที่ยุ่งยากได้ดี (Campbell, 2004)

โดยขั้นตอนในการหาคำตอบของ Insertion Heuristic นั้นแต่ละรอบของการทำงาน จะได้คำตอบที่สามารถตอบคำถามสองข้อ คือจุดรับที่รอการจัดลงเส้นทางจุดไหนจะได้รับเลือกในการจัดลงเส้นทางก่อน และจุดรับที่ได้รับเลือกนั้นจะถูกจัดลงเส้นทางในตำแหน่งใด

ขั้นตอนการทำงานจะเริ่มต้นจาก มี N คือเซตของจุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทางและ R คือ เซตของเส้นทางซึ่งถ้าเป็นรอบแรกของการทำงานจะกำหนดค่าเริ่มต้นเป็นเส้นทางว่าง คือยังไม่มีจุดรับสินค้าอยู่ในเส้นทาง จากนั้นในแต่ละรอบจะทำการค้นหาว่าจุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทางแต่ละจุด สามารถแทรกลงในเส้นทางที่จัดค้างอยู่ได้ในตำแหน่งใดบ้าง และแต่ละตำแหน่งมีค่าใช้จ่ายในการแทรกเป็นเท่าใด ดังที่แสดงในรูปที่ 4.5 โดยค่าใช้จ่ายในการแทรก จุดรับสินค้า j ลงในตำแหน่งที่ i ของเส้นทางมีค่าดังนี้

$$c_{j,i} = D_{i-1,j} + D_{j,i} - D_{i-1,i} \quad (4.1)$$

โดยเมื่อทำงานครบในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบ จะได้ข้อมูลของการแทรกที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ว่าจะเกิดจากการแทรกจุดรับสินค้าใด และเป็นการแทรกลงในตำแหน่งใด จากนั้นก็จะตัดสินใจจัดจุดรับสินค้าที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการแทรกต่ำที่สุดนั้น ลงในเส้นทาง โดยการแทรกลงในตำแหน่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดนั้น แล้ววนซ้ำขั้นตอนดังกล่าวจนกว่า N จะเป็นเซตว่าง คือ สามารถจัดจุดรับสินค้าลงเส้นทางครบทุกจุด ซึ่งขั้นตอนการจัดเส้นทางของ Insertion Heuristic จะนำมาสร้างเป็นฟังก์ชั่น Insertion ซึ่งมีรายละเอียดของขั้นตอนการทำงาน อยู่ในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 การแทรกจุดรับ j สินค้าลงในตำแหน่งที่ i ในเส้นทาง

ขั้นตอนการทำงานของ Insertion Heuristic ในรูปที่ 4.6 จะเริ่มจาก N คือเซตของจุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทาง R คือเซตของเส้นทาง โดยตอนเริ่มต้นจะเป็นเส้นทางที่ยังไม่มีจุดรับสินค้าอยู่ในเส้นทาง การหาเส้นทางจะวนซ้ำด้วย Loop **WHILE** จนกว่า N จะเป็นเซตว่างคือสามารถจัดจุดรับสินค้าลงเส้นทางได้ครบทุกจุด โดยในแต่ละรอบจะกำหนดค่าใช้จ่ายในการแทรกที่ต่ำที่สุดคือ p* ให้มีค่าเท่ากับ ∞ จากนั้นนำจุดรับสินค้าทุกจุดมาทดลองแทรกยังตำแหน่งต่างๆของเส้นทางที่มีอยู่ แล้วตรวจสอบว่าการแทรกในตำแหน่งต่างๆนั้น สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดหรือไม่ โดยการเรียกฟังก์ชั่น Feasible(i,j,r) โดยฟังก์ชั่นนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบว่า หากแทรกจุดรับสินค้า i ไปในตำแหน่งที่ j จะทำให้สินค้าทุกชิ้นสามารถส่งได้สอดคล้องกับเงื่อนไขกรอบเวลาในการจัดส่งหรือไม่ และตรวจสอบว่าปริมาณของสินค้าที่จะต้องจัดส่ง เกินความจุของรถหรือไม่ จากความสัมพันธ์

$\sum_{i \in r} q_i \leq Q$, i ∈ สินค้าที่ถูกจัดส่งในเส้นทาง r

```
N = Set of unassigned Customers
R = Set of routes
WHILE N ≠ ∅ DO
    p* = ∞
        FOR i ∈ N DO
            FOR r ∈ R DO
                FOR (j-1,j) ∈ r DO
                    Feasible(i,j,r)
                    IF Infeasible = 0 AND Cost(i,j,r) < p* THEN
                        r* = r
                        i* = i
                        j* = j
                        p* = Cost(i,j,r)
                    END IF
                END FOR
            END FOR
        END FOR
    Insert(i*,j*,r*)
    N = N\i*
    Update(r*)
```

รูปที่ 4.6 ขั้นตอนการทำงานของ Insertion Heuristic

ซึ่งถ้าไม่ขัดต่อเงื่อนไขข้อจำกัด จะส่งค่าออก Infeasible มาเป็น 0 แต่หากขัดต่อเงื่อนไขข้อจำกัดจะส่งค่าออกมาเป็น 1 ซึ่งขั้นตอนการทำงานของ Feasible(i,j,r) จะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

temp_time $\leftarrow t_{now}$

sum_q $\leftarrow 0$

Infeasible $\leftarrow 0$

temp_route $\leftarrow$ Insert(i,j,r)

FOR z = 1 to num_cust_in_temp_route **DO**

temp_time $\leftarrow$ temp_time + $TT_{temp_route[z-1],temp_route[z]}$

IF temp_time < $RT_{temp_route[z]}$ **THEN**

temp_time $\leftarrow$ $RT_{temp_route[z]}$

END IF

temp_time $\leftarrow$ temp_time + $ST_{temp_route[z]}$

IF temp_time > $DD_{temp_route[z]}$ **THEN**

Infeasible $\leftarrow 1$

END IF

Sum_q $\leftarrow$ sum_q + $q_{temp_route[z]}$

END FOR

IF sum_q > Q **THEN**

Infeasible $\leftarrow 1$

END IF

รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการทำงานของ Feasible(i,j,r)

ขั้นตอนการทำงานของ Feasible(i,j,r) จะเริ่มจาก การกำหนดค่า temp_time ให้เท่ากับ t_{now} คือ จุดเวลาที่เริ่มขั้นตอนการกำหนดเส้นทาง โดยในปัญหาที่เป็นแบบ Static จะกำหนดให้ t_{now} มีค่าเท่ากับ 0 เสมอ จากนั้นทำการกำหนดค่าให้กับตัวแปร sum_q เท่ากับ 0 กำหนดค่าตัวแปร Infeasible เท่ากับ 0 และเรียกฟังก์ชั่น Insert(i,j,r) เพื่อทำการแทรกสินค้า i ลงในตำแหน่งที่ j ของเส้นทาง r แล้วเก็บเส้นทางที่ได้จากการแทรกนั้นไว้ในตัวแปร temp_route จากนั้นจะเข้าสู่ loop For โดยจะวนตั้งแต่ค่า z = 1 จนถึง num_cust_in_temp_route ซึ่งคือจำนวนของจุดรับสินค้าใน temp_route โดยจะตรวจสอบว่า เดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ z ใน temp_route ภายในช่วงเวลาพร้อมรับสินค้า คือ ตั้งแต่

$RT_{temp_route[z]}$ ถึง $DD_{temp_route[z]}$ หรือไม่หากไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดกรอบเวลาในการจัดส่ง จะกำหนดค่า Infeasible = 1 และทำการบวกความจุของสินค้าชิ้นที่ z ใน temp_route เพิ่ม จนเมื่อวน loop ครบแล้วจะทำการตรวจสอบความจุที่ได้ว่าเกินความจุของรถขนส่ง คือ Q หรือไม่ หากเกินความจุของรถก็จะส่งค่า Infeasible ออกมาเป็น 1 และสิ้นสุดขั้นตอนการทำงานของ Feasible (i,j,r)

จากนั้นคำนวณค่าใช้จ่ายในการแทรกจุดรับสินค้า i ในตำแหน่ง j โดยเรียกฟังก์ชั่น Cost(i,j) ซึ่งหากการแทรกใดๆ ไม่ขัดต่อเงื่อนไขข้อจำกัด และมีค่าใช้จ่ายในการแทรกต่ำกว่า p* ก็จะปรับค่า p* เป็นค่า Cost(i,j) และ บันทึกข้อมูลจุดรับสินค้าจุดนั้นในตัวแปร i* และตำแหน่งที่ในการแทรกนั้นในตัวแปร j* โดยเมื่อทดลองแทรกจุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทางทุกจุด จะทราบว่าจุดรับสินค้าใดที่มีค่าใช้จ่ายในการแทรกต่ำที่สุด ก็จะแทรกจุดรับสินค้านั้นลงในเส้นทางโดยเรียกใช้ฟังก์ชั่น Insert(i*,j*,r*) และหักลบจุดรับสินค้าที่ทำการแทรกนั้นออกจากเซต N วนซ้ำการทำงานจนกว่าจะแทรกจุดรับสินค้าลงเส้นทางได้ครบทุกจุด

จากขั้นตอนการทำงานของ Insertion Heuristicจะนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจัดเส้นทางโดยใช้ภาษาซี เพื่อทดลองเก็บผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาโดยจะทดสอบกระทำบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel® Core™ 2 Duo Processor 1.83 GHz RAM 1 GB และใช้ชุดปัญหาทดสอบมาตรฐาน VRPTW ของ Solomon ขนาด 25 50 และ 100 ซึ่งมีข้อมูล Best Know Solution รันทดสอบผลปัญหาละ 20 รอบเพื่อเก็บข้อมูลระยะทางในการจัดส่ง และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ได้ผลการทดสอบดังที่แสดงในตารางที่ 4.2 ตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ซึ่งผลการทดลองแสดงว่า เวลาที่ใช้ในการแก้หาคำตอบโดยวิธีการ Insertion Heuristic นั้นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0072 0.0802 และ 0.5363 วินาที สำหรับปัญหาขนาด 25 50 และ 100 จุดรับตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำมาก โดยแม้ว่าปัญหาที่มีขนาดจำนวนจุดรับสินค้าที่จะต้องจัดลงเส้นมากถึง 100 จุด ก็จะใช้เวลาเฉลี่ยในการหาคำตอบทั้งปัญหาอยู่ที่ในช่วงไม่เกิน 1 วินาที โดยมีค่ามากที่สุดจากการทดสอบจะได้จากการจัดเส้นทางของชุดข้อมูล R206 ของปัญหาขนาด 100 จุดรับสินค้า คือ 0.9370 วินาที นั่นคือ Insertion Heuristic จะสามารถจัดเส้นเดินรถสำหรับจุดรับสินค้า 100 จุดได้ใหม่ในทุกหนึ่งวินาที ซึ่งทำให้สามารถทำงานได้สอดคล้องกับกระบวนการจัดเตรียมข้อมูลซึ่งจะรับข้อมูลเข้ามาได้ใหม่ในทุก 1 วินาที ในกรณีที่มีข้อมูลสินค้าเข้ามาพร้อมกัน 100 จุดในทุก 1 วินาทีได้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ Insertion Heuristicสำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ

ชุดข้อมูล	Solomon 25 Customers				
	Best Known		Insertion Heuristic		
	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	เวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยเฉลี่ย
C107	191.3	3	393.38	5	0.0023
C109	191.3	3	259.4	3	0.0078
C201	214.7	2	238.44	3	0.0039
C205	214.7	2	215.54	2	0.0094
C208	214.5	2	215.54	2	0.0101
R205	393	3	423.64	2	0.0078
RC201	360.2	3	493.24	3	0.007
RC206	324	3	425.05	2	0.0094
				เฉลี่ย	0.0072

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ Insertion Heuristic สำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับ

ชุดข้อมูล	Solomon 50 Customers				
	Best Known		Insertion Heuristic		
	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	เวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยเฉลี่ย
C107	362.40	5	688.83	9	0.0313
C109	362.40	5	527.32	6	0.0321
C201	360.20	3	397.22	3	0.1086
C205	359.80	3	404.99	3	0.1095
C208	350.50	2	446.17	3	0.1164
R205	703.30	5	1076.90	3	0.1117
RC201	684.80	5	1221.60	4	0.0726
RC206	610.00	5	790.55	3	0.0593
				เฉลี่ย	0.0802

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ Insertion Heuristic สำหรับปัญหาขนาด 100 จุดรับ

ชุดข้อมูล	Solomon 100 Customers				
	Best Known		Insertion Heuristic		
	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	เวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยเฉลี่ย
C107	828.94	10	1151.72	18	0.1664
C109	828.94	10	1074.84	11	0.1750
C201	591.56	3	775.34	6	0.6555
C205	588.88	3	811.75	4	0.6077
C208	588.32	3	936.46	4	0.5679
R205	994.42	5	1344.64	4	0.9218
RC201	1406.91	8	1980.91	5	0.5384
RC206	1146.32	5	1567.54	5	0.6578
				เฉลี่ย	0.5363

ตารางที่ 4.5 ความแตกต่างของระยะทางที่ได้จาก Insertion Heuristic เทียบกับ Best known

ขนาดของปัญหา	ความแตกต่างของระยะทางที่ได้จาก Insertion Heuristic เทียบกับ Best known (%)								เฉลี่ย
	ชุดข้อมูลทดสอบ								
	C107	C109	C201	C205	C208	R205	RC201	RC206	
25	105.64	35.6	11.06	0.39	0.48	7.8	36.94	31.19	28.64
50	90.07	45.51	10.28	12.56	27.3	53.12	78.39	29.6	43.35
100	38.94	29.66	31.07	37.85	59.18	35.22	40.8	36.75	38.68
Average	36.89		MIN	0.39		MAX	105.64		36.89

แต่หากพิจารณาโดยละเอียดแล้ว ในการทำงานจริงของระบบการกำหนดเส้นทางเดินรถตามโครงสร้างที่นำเสนอนั้น จะมีการส่งผ่านข้อมูลของเส้นทางที่จัดค้างอยู่ในรอบก่อนหน้า ซึ่งสามารถนำข้อมูลมาใช้ได้โดยไม่จำเป็นต้องแก้ปัญหาใหม่ทั้งหมด เพียงแต่ทำ

การแทรกจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มในระบบ ซึ่งจะใช้เวลาต่ำกว่าการจัดจุดรับสินค้าทุกจุดลงเส้นทางใหม่ทั้งหมด โดยเวลาที่ Insertion Heuristicใช้ในค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อแทรกจุดรับสินค้าจุดที่ 100 ลงในเส้นทางที่จัดค้างอยู่นั้น เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.6 เวลาที่ใช้ในการแทรกจุดรับสินค้าจุดที่ 100 ลงในเส้นทางโดยใช้ Insertion Heuristic

ชุดข้อมูล	C107	C109	C201	C205	C208	R205	RC201	RC206
เวลาที่ใช้ในการแทรกจุดรับสินค้าจุดที่ 100 ลงในเส้นทางโดยเฉลี่ย (วินาที)	0.0008	0.0024	0.0056	0.0086	**0.0101**	0.0140	0.0054	0.0070
เฉลี่ย	0.0067							

ซึ่งพบว่าเวลาที่ใช้ในการแทรกจุดรับสินค้าจุดที่ 100 ลงในเส้นทางซึ่งแสดงอยู่ในตารางที่ 4.6 นั้นมีค่าที่ต่ำมาก โดยค่าเฉลี่ยของเวลาในการแทรกที่มากที่สุด จะเกิดจากการแทรกจุดรับสินค้าจุดที่ 100 ลงในเส้นทางของชุดปัญหา C208 ซึ่งจะใช้เวลาเฉลี่ย 0.0101 หรือประมาณ 0.01 วินาที ซึ่งหากในเส้นทางที่จัดค้างอยู่มีจำนวนจุดรับอยู่น้อยกว่าการทดสอบนี้ ก็จะใช้เวลาในการแทรกที่ต่ำกว่า 0.01 วินาที

อย่างไรก็ตามระยะทางที่ได้จาก Insertion Heuristicยังสูงกว่าระยะทางที่เป็น Best known อยู่มาก จากข้อมูลในตารางที่ 4.5 มีค่าเฉลี่ยของระยะทางที่แตกต่างจาก Best known เท่ากับ 36.89 % โดยในบางชุดปัญหามีความแตกต่างมากถึง 105.64 % ดังนั้น Insertion Heuristic จึงเหมาะที่จะใช้ในการแทรกจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มใหม่ในระบบในกรณีที่มีเวลาเหลืออยู่จำกัดเท่านั้น แต่ในกรณีที่มีเวลาเหลือมากพอที่จะจัดเส้นทางใหม่ จากข้อมูลที่มีอยู่ทั้งหมดในปัจจุบัน การใช้ Insertion Heuristic อาจยังไม่ใช่วิธีการที่เหมาะสม ดังนั้นจึงควรพิจารณาเลือกใช้ฮิวริสติกอื่น ที่มีสามารถให้คุณภาพของคำตอบได้ดีใกล้เคียงกับ Best Known มาใช้ในการจัดเส้นทาง

4.2.2 GRASP

ฮิวริสติกในกลุ่ม Metaheuristic จะสามารถให้คุณภาพของคำตอบได้ดีกว่าฮิวริสติกแบบดังเดิม เนื่องจากมีกลไกที่ช่วยในการหลบหลีกการติดอยู่ที่ Local Optimal ได้ ดังนั้นจึงเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นวิธีในการจัดเส้นทางสำหรับกรณีที่มีเวลาเหลืออยู่มากพอ โดยในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ GRASP มาใช้เป็นวิธีในการจัดเส้นทางสำหรับกรณีดังกล่าว

GRASP เป็นฮิวริสติกหนึ่งในกลุ่ม Metaheuristic ที่ได้รับความนิยมนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมเชิงการจัด (Combinatorial Optimization) และประสบความสำเร็จในการนำมาประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการ สามารถให้คำตอบที่ดีโดยใช้เวลาในการคำนวณที่ต่ำ และมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาในรูปแบบต่างๆได้สะดวก รวมถึงใช้หน่วยความจำไม่สูงเมื่อเทียบกับฮิวริสติกอื่น ในกลุ่ม Metaheuristic (Blum and Rori, 2003; Chaovalitwongse et al., 2003; Lee, 2005) ซึ่งจากคุณสมบัติดังกล่าวส่งผลให้ GRASP มีความน่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการจัดเส้นทาง

ขั้นตอนในการจัดเส้นทางของ GRASP ในแต่ละรอบนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 phase คือ Construction Phase ซึ่งเป็นการสร้างเส้นทางเบื้องต้น และ Local Search ซึ่งเป็นการปรับปรุงคำตอบของเส้นทางเบื้องต้นที่ได้จาก Construction Phase ซึ่งคำตอบที่ได้ในแต่ละรอบจะแตกต่างกันออกไปเนื่องจากมี กระบวนการสุ่มเกิดขึ้นในขั้นตอนของการสร้างเส้นทาง โดยจะวนทำงานสองขั้นตอนหลักนี้ซ้ำ แล้วเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ในแต่ละรอบกับคำตอบที่ดีที่สุด (Best Found Solution) หากได้คำตอบที่ดีกว่าก็จะปรับค่า Best Fund Solution เป็นค่าของคำตอบที่หาได้ในรอบนั้นๆ จนกว่าจะพบเงื่อนไขในการหยุด ซึ่งคำตอบสุดท้ายที่ได้ก็คือเส้นทางที่ถูกเก็บอยู่ใน Best Found Solution นั่นเอง ซึ่งการทำงานของ GRASP จะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.8

```
WHILE termination condition not met DO
        s ← Construct Greedy Randomize Solution()
        Apply Local Search(s)
        Memorize Best Found Solution()
END
```

รูปที่ 4.8 ขั้นตอนการทำงานหลักของ GRASP

จากขั้นตอนการค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุด GRASP จะอาศัยการวนซ้ำในการสร้างเส้นทางเบื้องต้น แล้วปรับปรุงเส้นทางเบื้องต้นที่ได้ มากกว่าหนึ่งรอบ โดยในแต่ละรอบก็จะได้เส้นทางในการจัดส่งสินค้าออกมาหนึ่งแบบ ซึ่งในการนำ GRASP มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการจัดเส้นทาง เนื่องจากมีเงื่อนไขข้อจำกัดที่จะต้องทำการตรวจสอบที่เกี่ยวข้อง

กับเวลา เช่น เงื่อนไขการสั่งออกรถ ดังนั้นจะทำการหาเส้นทางคำตอบเพียงรอบเดียว ซึ่งจะช่วยให้มีเวลาในการได้คำตอบที่ไม่สูงมาก แล้วส่งข้อมูลไปให้กระบวนการตัดสินใจออกรถ ซึ่งถ้าเวลารอก่อนส่งยังเหลือมากพอ ก็จะส่งข้อมูลกลับมาให้กระบวนการจัดเส้นทางใช้ GRASP ซ้ำกับปัญหาเดิม ที่มีการปรับเวลาไปเล็กน้อยที่เกิดจากการคำนวณในรอบก่อนหน้า ดังนั้นแม้ในกระบวนการจัดเส้นทางจะใช้ GRASP ที่มีขั้นตอนการสร้างเส้นทางเบื้องต้น และปรับปรุงเส้นทางเพียงรอบเดียว ดังเช่นในรูปที่ 4.9 แต่เมื่อพิจารณาถึงการทำงานทั้งระบบแล้ว การจัดเส้นทางด้วย GRASP ก็จะยังคงมีการวนซ้ำหาคำตอบในลักษณะเหมือนในรูปที่ 4.8 เพื่อเลือกคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ดังเดิม

```
s ← Construct Greedy Randomize Solution()
Apply Local Search(s)
Memorize Best Found Solution()
```

รูปที่ 4.9 ขั้นตอนการทำงานหลักของ GRASP ที่นำมาใช้ในกระบวนการจัดเส้นทาง

ขั้นตอนในการสร้างเส้นทางเบื้องต้น (Construction Phase)

ในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการหาสร้างเส้นทางเบื้องต้น(Initial Route) ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดระยะเวลารับประกันและความจุของรถขนส่งโดยในงานวิจัยฉบับนี้จะเริ่มจากการ สร้างเส้นเบื้องต้นขึ้นมา 1 เส้นทาง แล้วทำการเลือก seed ที่จะเป็นจุดรับสินค้าที่ถูกแทรกไว้ในเส้นทางเป็นจุดแรก โดยจะเลือกจากจุดรับสินค้าที่มีกำหนดส่งเร็วที่สุด เนื่องจากจุดรับสินค้าดังกล่าว มีโอกาสสูงที่จะไม่สามารถจัดลงเส้นทางได้สำเร็จ หากไม่ได้รับสิทธิ์เป็นอันดับต้นๆ ในการจัดลงเส้นทาง

ซึ่งการคัดเลือก seed โดยใช้เกณฑ์ดังกล่าว อาจไม่ทำให้ได้เส้นทางที่ดีในบางกรณี ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงเพิ่มวิธีในการคัดเลือก seed อีกหนึ่งวิธีคือจะทำการคัดเลือก seed โดยใช้การสุ่มจากจุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทาง โดยวิธีการเลือก seed ทั้ง 2 วิธีนั้น ใช้สลับกันในแต่ละรอบของ Construction Phase

จากนั้นในแต่ละรอบการทำงาน จะนำจุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทางที่เหลืออยู่ มาแทรกลงในเส้นทางครั้งละหนึ่งจุด โดยจุดรับสินค้าที่จะแทรกในรอบใดๆจะได้มาจากการสุ่มจาก RCL โดยจะวนทำงานซ้ำจนกว่าจะจัดจุดรับสินค้าลงเส้นทางได้ครบทั้งหมด

สำหรับการสร้าง RCL เพื่อใช้ในแต่ละรอบการทำงานนั้น จะนำจุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทางทั้งหมด มาทดลองแทรกไปยังตำแหน่งต่างๆของเส้นทาง แล้วทำการตรวจสอบเงื่อนไขข้อจำกัดระยะเวลารับประกันและเงื่อนไขความจุของรถขนส่ง และคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการแทรกจุดรับสินค้าในตำแหน่งต่างๆ โดยถ้าไม่สามารถแทรกจุดรับในตำแหน่งใด จะกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการแทรกสำหรับตำแหน่งนั้น เป็นค่าสูงมากค่าหนึ่ง

โดยในงานวิจัยฉบับนี้ จะยังไม่นำข้อมูลค่าใช้จ่ายในการแทรก มาเป็นเงื่อนไขในการจัดลำดับของจุดรับสินค้าใน RCL ทันที แต่จะนำข้อมูลนั้นมาคำนวณหา ผลรวมค่าเสียโอกาส (Penalty Cost) ที่เกิดขึ้นสำหรับจุดรับสินค้าแต่ละจุด หากจุดรับสินค้าจุดนั้นไม่ได้รับเลือกให้แทรกในตำแหน่งที่ดีที่สุด ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยให้สามารถจัดลำดับความสำคัญของจุดรับสินค้าได้สอดคล้องกับการมีเงื่อนไขข้อจำกัดในด้านระยะเวลารับประกันมากยิ่งขึ้น โดย Penalty Cost สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_i = \sum_{j=1}^{N_k+1} \sum_{k=1}^{V} (C_{i,j,k} - C_i^*)$$

โดยที่

P_i	=	Penalty Cost ของจุดรับสินค้า i
$C_{i,j,k}$	=	ค่าใช้จ่ายในการแทรกจุดรับสินค้า i ลงในตำแหน่งที่ j ของเส้นทาง k
C_i^*	=	ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในการแทรกจุดรับสินค้า i ลงในเส้นทาง
V	=	จำนวนเส้นทางที่จัดค้างอยู่
N_k	=	จำนวนจุดรับสินค้าในเส้นทางที่ k

ซึ่งจุดรับสินค้าจุดใดที่มีค่า Penalty Cost ต่ำหมายความว่า เป็นจุดรับสินค้าที่สามารถเลือกตำแหน่งในการแทรกได้หลายตำแหน่ง โดยมีค่าใช้จ่ายในการแทรกไม่สูงกว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดมากนัก ในทางกลับกันจุดรับสินค้าจุดใดที่มีค่า Penalty Cost สูงจะมี ความแตกต่างของค่าใช้จ่ายในการแทรกจุดรับสินค้าในตำแหน่งต่างๆ สูงกว่าค่าใช้จ่ายในการแทรกจุดรับสินค้าในตำแหน่งที่ดีที่สุดอยู่มาก หรืออาจเป็นจุดรับสินค้าที่มี ตำแหน่งที่แทรกแล้วไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดหลายตำแหน่ง ทำให้เหลือตำแหน่งที่แทรกได้อยู่น้อย ดังนั้นจุดรับสินค้านี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะต้องได้แทรกในตำแหน่งที่ดีที่สุด มิฉะนั้นในรอบถัดไป อาจจะไม่สามารถจัดจุดรับสินค้าดังกล่าวนี้ลงเส้นทางได้

จะสังเกตุได้ว่า Penalty Cost จะเป็นค่าที่บอกถึงความยืดหยุ่นในการเลือกตำแหน่งในการแทรกของจุดรับสินค้าแต่ละจุด และยังเป็นการช่วยบังคับให้จุดรับสินค้าที่มีกำหนดส่งเร็วกว่าจุดอื่นๆ มีค่า Penalty Cost สูง ทำให้มีโอกาสได้รับสิทธิในการจัดลงเส้นทางได้ก่อน เพราะหากรอต่อไปจุดรับสินค้านั้นอาจจะเหลือตำแหน่งที่แทรกแล้วได้ค่าใช้จ่ายที่ดีให้เลือกอยู่ไม่มาก ดังนั้นการเลือกใช้ค่า Penalty Cost มาเป็นเงื่อนไขในการจัดลำดับของจุดรับสินค้าจากมากไปหาน้อยเพื่อสร้าง RCL จะสอดคล้องกับลักษณะของปัญหาที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดได้ดีกว่าการใช้ค่าใช้จ่ายในการแทรกโดยตรง

ซึ่งเมื่อคำนวณค่า P_i ของจุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทางครบทุกจุดแล้วจะนำข้อมูลที่ได้นี้มาจัดทำ RCL โดยเรียงลำดับจากจุดรับสินค้าที่มีค่า Penalty Cost สูงไปหาต่ำแล้วเลือก N ลำดับแรกมาเป็นรายชื่อใน RCL โดยขนาดของ RCL ที่เลือกใช้ในงานวิจัยฉบับนี้มีค่า N = 3 เนื่องจากโดยเฉลี่ยแล้วจะให้คุณภาพของคำตอบที่ดีและใช้เวลาในการคำนวณไม่สูงมาก (Lee, 2005)

จากแนวคิดที่กล่าวมาข้างต้นทำให้ได้กระบวนการ Construction I ที่ใช้ในการสร้างเส้นทางเบื้องต้น ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10 โดยเริ่มจาก N คือเซตของจุดรับสินค้าที่รอการจัดลงเส้นทาง r คือเซตของเส้นทาง โดยตอนเริ่มต้นจะเป็นเส้นทางที่ยังไม่มีจุดรับสินค้าอยู่ในเส้นทาง เริ่มต้นจากการตรวจสอบว่า x_1 ว่ามีค่าเท่าใดหากมีค่าเท่ากับ 1 จะเรียกฟังก์ชั่น Find_Seed_From_Rule() ซึ่งเป็นการเลือก seed ตามแนวคิดดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แล้วนำ seed นั้นมาจัดลงในเส้นทาง แล้วกำหนดค่า $x_1 = 0$ แต่หากตรวจสอบพบว่า x1 มีค่าเท่ากับ 0 จะเรียกฟังก์ชั่น Find_Seed_From_Random() ซึ่งเป็นการเลือก seed จากการสุ่มแล้วนำ seed นั้นมาจัดลงในเส้นทาง แล้วกำหนดค่า $x_1 = 1$ ซึ่งวิธีการกำหนดค่าตัวแปร x1 ดังกล่าวจะทำให้เกิดการสลับใช้วิธีการในการเลือก seed ในทุกรอบการทำงาน
จากนั้นจะเข้าสู่ Loop WHILE ซึ่งจะวนรอบทำงานซ้ำจนกว่า N จะเป็นเซตว่าง คือสามารถแทรกจุดรับสินค้าลงในเส้นทางได้ครบทั้งหมด โดยเมื่อเข้ามาใน Loop แล้วจะทำการหาค่าใช้จ่ายในการแทรกจุดรับสินค้าทุกจุดลงในเส้นทางแต่ละตำแหน่งเก็บไว้ในตัวแปร C_{ij} โดยการเรียกฟังก์ชั่น Cal_Insert_Cost() จากนั้นจะหาค่าใช้จ่ายในการแทรกที่ต่ำที่สุดของแต่ละจุดรับสินค้า เก็บไว้ในตัวแปร C_i* โดยการเรียกใช้ฟังก์ชั่น Find_MIN_Insert_Cost() และค้นหาตำแหน่งในการแทรกที่ดีที่สุดของทุกจุดรับสินค้า i โดยเรียกใช้ฟังก์ชั่นFind_min_insert_position() และไว้ในตัวแปร best_position[i]

```
N = Set of unassigned Customers
r' = Initial routes
IF x1=1 THEN
    Find_Seed_From_Rule()
    x1 ← 0
END IF
ELSE
    Find_Seed_From_Random()
    x1 ← 1
END ELSE
WHILE N ≠ ∅ DO
    FOR i ∈ N DO
        FOR (j-1,j) ∈ r' DO
            Cal_Insert_Cost(i,j)
            Cij ← Cost
        END FOR
    END FOR
    FOR i ∈ N DO
            Ci* ← Find_MIN_Insert_Cost(i)
            best_position[i] ← Find_min_insert_position(i)
    END FOR
    FOR i ∈ N DO
            Pi* ← Cal_Penalty_Cost(i)
    END FOR
    Construct_RCL()
    i* ← Random_Select()
    Insert(i* , best_position[i*])
    N = N\i*
END WHILE
```

รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการทำงานของ Construction I

จากนั้นคำนวณหาค่า Penalty Cost ของทุกจุดรับสินค้า i โดยเรียกใช้ฟังก์ชั่น Cal_Penalty_Cost() เก็บไว้ในตัวแปร P_i* นำค่า P_i* ที่ได้มาสร้างเป็น Restricted Candidate List โดยเรียกใช้ฟังก์ชั่น Construct_RCL() แล้วทำการสุ่มจุดรับสินค้าที่จะทำการแทรกออกมาจาก RCL โดยใช้ฟังก์ชั่น Random_Select เก็บไว้ในตัวแปร i* จากนั้นทำการแทรกจุดรับสินค้า i* ที่ได้รับเลือกนั้นลงในตำแหน่งที่ดีที่สุด โดยการเรียกใช้ฟังก์ชั่น Insert(i*.best_position(i*)) แล้วลบ i* นั้นออกจากเซต N วนซ้ำขั้นตอนใน Loop **WHILE** จนกว่าจะจัดจุดรับสินค้าลงในเส้นทางได้ครบทุกจุด

โดยรายละเอียดของฟังก์ชั่น Cal_Insert_Cost(i,j) ที่เรียกใช้ใน ขั้นตอนการทำงานของ Construction Phase I เป็นดังที่ในรูปที่ 4.11

```
Feasible(i,j,1)
Cost ← 0
IF Infeasible = 1 THEN
        Cost ← 1000000
ELSE
        FOR z = 1 to (num_cust_in_route[1]+1) DO
                Cost ← Cost + TT_{r'[z-1],r'[z]}
        END FOR
END IF
```

รูปที่ 4.11 ขั้นตอนการทำงานของ Cal_Insert_Cost(i,j)

โดยการทำงานเริ่มจาก ตรวจสอบว่าสามารถแทรกจุดรับสินค้า i ลงในตำแหน่งที่ j ของเส้นทางที่ 1 ได้สำเร็จหรือไม่ หากไม่สำเร็จจะกำหนดค่าใช้จ่ายในการแทรกเป็นค่าที่สูงมากโดยในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 1000000 แต่หากแทรกได้สำเร็จจะคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริง และเก็บค่าไว้ในตัวแปร Cost

ขั้นตอนในการปรับปรุงคำตอบ (Local Search Phase)

ในขั้นตอนนี้จะนำเส้นทางเบื้องต้นที่ได้จาก Construction Phase มาปรับปรุงคำตอบให้ดียิ่งขึ้น โดยความหมายของการปรับปรุงคำตอบในระบบการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต จะหมายถึงการได้ระยะทางรวมที่ต่ำลง และการมีระยะเวลารอก่อนส่งที่เพิ่มขึ้น โดยในการเปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางที่ได้ใน

แต่ละรอบจะพิจารณาจากระยะทางเป็นอันดับแรก ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนาระบบการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต โดยเส้นทางการจัดส่งที่มีระยะทางในการจัดส่งที่ต่ำกว่าจะถือว่าเป็นเส้นทางที่ดีกว่า สำหรับในกรณีที่ระยะทางในการจัดส่งเท่ากัน จะพิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติในด้านถัดมาคือในด้านของระยะเวลารอก่อนส่ง โดยเส้นทางที่มีระยะเวลารอก่อนส่งมากกว่า จะถือว่าเป็นเส้นทางทีดีกว่า เนื่องจากทำให้มีเวลาในการรอข้อมูลของสินค้าที่อาจเข้ามาในระบบได้มากขึ้น

จากขั้นตอนใน Construction Phase ซึ่งจะมีการพิจารณาคุณสมบัติในด้านเวลารอก่อนส่งเพียงแค่สองสถานะคือ มากกว่า 0 (feasible) กับ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 (infeasible) ซึ่งทำให้คำตอบที่ได้จาก construction Phase ไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่าง คำตอบที่มีลักษณะของเส้นทางกลับทิศกันดัง ในกรณีที่มีเวลารอก่อนส่งมากกว่า 0 ทั้งคู่ ว่าคำตอบใดดีกว่ากัน เช่น เส้นทางแบบที่ 1 เริ่มต้นจากท่ารถ ไปยังจุด A แล้วเดินทางไปยังจุด B และกลับมายังท่ารถ กับ เส้นทางแบบที่ 2 เริ่มต้นจากท่ารถไปยังจุด B แล้วเดินทางไปยังจุด A และกลับมายังท่ารถ

เนื่องจากเส้นทางทั้งสองแบบนั้นมีระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งเท่ากัน แต่ถ้ามีการคำนวณเวลารอก่อนส่งออกมาเปรียบเทียบค่ากันในเชิงตัวเลข จะพบว่าเส้นทางทั้งสองแบบมีค่าเวลารอก่อนส่งที่แตกต่างกัน ซึ่งในส่วนของการปรับปรุงคำตอบนี้ จะทำการปรับปรุงเส้นทางโดยพิจารณาระยะทางในการจัดส่งให้ต่ำลง รวมถึงการเพิ่มเวลารอก่อนส่งด้วย

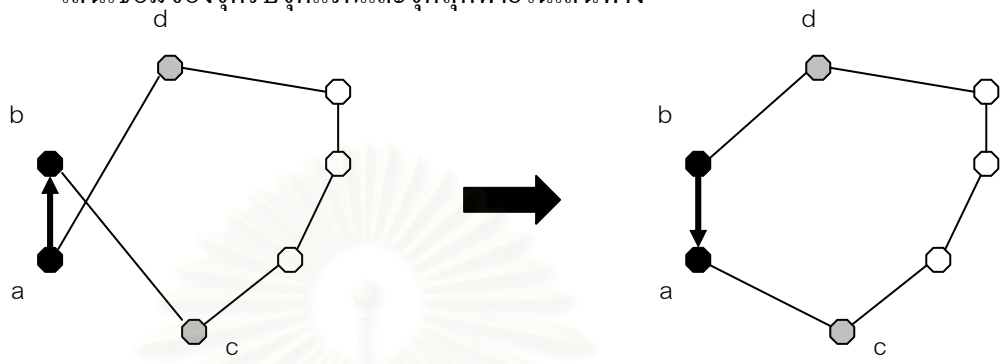
ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้จะเลือกใช้ 2-Opt Algorithm มาเป็นวิธีการในการปรับปรุงคำตอบ เนื่องจากเป็นวิธีการหนึ่งที่ สามารถค้นหาเส้นทาง ที่เป็นเส้นทางที่กลับทิศกับเส้นทางเดิมได้ และใช้เวลาในการทำงานที่ไม่สูงมากนัก (Braysy and Gendreau, 2005) โดย 2-Opt Algorithm เป็นวิธีการปรับปรุงเส้นทางโดยพิจารณาค่าของระยะทางที่ลดลงจากการแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อมระหว่างคู่ของจุดรับ โดยเปรียบเทียบระยะทางในการจัดส่งของเส้นทางเบื้องต้น กับ กับระยะทางในการจัดส่งหลังจากแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อมระหว่างคู่ของจุดรับที่พิจารณา

ขั้นตอนการทำงานจะเริ่มจากเส้นทางเบื้องต้นที่ได้จากขั้นตอนการสร้างเส้นทาง จากนั้นเลือกคู่ของจุดรับที่จะทำการแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อม แล้วทำการกลับทิศของเส้นทางย่อยของคู่จุดรับที่เลือก แล้วหาค่าระยะทางที่ได้จากการแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อม (Gain) ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 4.12 จะสามารถคำนวณหาค่า Gain ได้ดังนี้

$$Gain = (D_{ad} + D_{bc}) - (D_{ac} + D_{bd}) \quad (4.2)$$

โดยจะทดลองแลกเปลี่ยนคู่เส้นเชื่อมทุกคู่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด แล้วจึงเลือกคู่ที่ให้ค่า Gain มากที่สุด และจะทำขั้นตอนดังกล่าวนี้ซ้ำจนกว่าจะไม่พบเส้นทางที่ดีขึ้น

โดยการหาเส้นทางที่กลับทิศกันโดยใช้วิธี 2-Opt นั้นจะเกิดจากการสลับคู่เส้นเชื่อมของจุดรับจุดแรกและจุดสุดท้ายในเส้นทาง



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อม

ขั้นตอนการทำงานของ 2_Opt ดังที่แสดงในรูปที่ 4.13 จะเริ่มจากการรับข้อมูลเส้นทางเบื้องต้น จาก Construction Phase คือ r' เข้ามาใช้เป็นเส้นทางตั้งต้น จากนั้นจะเรียกฟังก์ชั่น Total_Cost() มาใช้เพื่อคำนวณระยะทางในการจัดส่งของเส้นทาง r' และเก็บค่าไว้ใน p* แล้วทำการกำหนดค่าตัวแปร Not_Improve = 0 เพื่อให้สามารถเข้า Loop **WHILE** ได้ โดยตัวแปร Not_Improve จะเป็นตัวบอกให้ทราบว่าในรอบการทำงานนั้น สามารถพบการปรับปรุงเส้นทางให้ดีขึ้นได้หรือไม่ ถ้าได้ตัวแปร Not_Improve จะมีค่าเท่ากับ 0 แต่ถ้าไม่จะมีค่าเท่ากับ 1

จากนั้นเมื่อเข้ามาใน Loop **WHILE**แล้วจะกำหนดค่าตัวแปร Not_Improve ให้เท่ากับ 0 แล้วทดลองหาเส้นทางที่ได้จากการแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อมของจุดรับสินค้า i และ j โดยเรียกฟังก์ชั่น 2_Opt(i,j) และเก็บเส้นทางที่ได้ไว้ใน r คำนวณระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งของ r โดยการเรียกฟังก์ชั่น Total_Cost() และเก็บค่าไว้ในตัวแปร p

จากนั้นตรวจสอบเวลารอก่อนส่งของ r โดยเรียกฟังก์ชั่น Check_Slack() และเก็บค่าไว้ในตัวแปร Sl แล้วทำการตรวจสอบว่ามีการปรับปรุงคำตอบหรือไม่ โดยการพิจาณาว่าคำตอบมีปรับปรุงหรือไม่นั้น จะพิจารณาจากระยะทางที่ใช้ในการจัดส่งเป็นอันดับแรก หากระยะที่ได้มีค่าต่ำลงถือว่าคำตอบมีการปรับปรุง แต่หากคำตอบที่ได้มีระยะไม่ต่ำลงแต่มีค่าเท่ากับระยะทางที่ได้จากเส้นทางเดิม โดยที่มีเวลารอก่อนส่งมากกว่าเส้นทางเดิม ก็จะถือว่าคำตอบมีการปรับปรุงเช่นกัน สำหรับกรณีอื่นๆนอกเหนือจากข้างต้นจะถือว่าไม่มี

การปรับปรุงของคำตอบ โดยถ้าหากมีการปรับปรุงคำตอบ จะปรับค่า p* r* และ sl* เป็นค่า p r และ sl ตามลำดับ และกำหนดค่าตัวแปร Not_improve = 0

โดยจะวนทำการแลกเปลี่ยนเส้นเชื่อมทุกคู่ในเส้นทางที่เป็นไปได้ ซึ่งหากทดลองทำครบทุกคู่แล้วพบเส้นทางที่ดีขึ้นคือ Not_improve = 0 ก็จะปรับเส้นทาง r' เป็น r* และวนทำขั้นตอนซ้ำอีกจนกว่าจะไม่สามารถพบเส้นทางที่ดีขึ้น

```
r' = Initial Route
Not_Improve ← 0
WHILE Not_Improve = 0 DO
    p* ← Total_Cost(r')
    Sl * ← Check_Slack(r')
    Not_improve ← 1
    FOR i ∈ r DO
        FOR j > i , j ∈ r DO
            r ← 2_Opt(i,j)
            p ← Total_Cost(r')
            Sl ← Check_Slack(r')
            IF Feasible(2_Opt(i,j)) AND [(p<p*) OR ((p=p*) AND (sl>sl*))] THEN
                p* = p
                r* = r
                sl* = sl
                Not_improve ← 0
            END IF
        END FOR
    END FOR
    IF Not_improve = 0 Then
        r' ← r*
END WHILE
```

รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการทำงานของ 2_opt

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากแนวคิดของขั้นตอนในการสร้างเส้นทางเบื้องต้น และขั้นตอนในการปรับปรุงคำตอบ ทำให้ได้ขั้นตอนการทำงานของ GRASP I ที่นำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการจัดเส้นทางดังนี้

```
r' ← Construction I()
2_Opt(r')
GRASP Route ← r'
GRASP Distance ← Total_Cost(r')
GRASP Slack ← Check_Slack(r')
```

รูปที่ 4.14 ขั้นตอนการทำงานของ GRASP ที่ใช้ในกระบวนการจัดเส้นทาง

จากนั้นนำเอาวิธีการของ GRASP ที่นำเสนอมาพัฒนาโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาโดยใช้ภาษาซี ซึ่งจากการทดลองนำ GRASP มาใช้จัดเส้นปัญหา VRPTW ในชุดปัญหาทดสอบมาตรฐานของ Solomon ขนาด 25 50 และ 100 เช่นเดียวกับที่ใช้ทดสอบ Insertion Heuristic ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ GRASPสำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ

ชุดข้อมูล	Solomon 25 Customers					
	Best Known		GRASP			
	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	เวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยเฉลี่ย	เวลาที่ใช้ในการคำนวณที่มากที่สุด
C107	191.30	3	192.64	3	0.0312	0.0620
C109	191.30	3	191.81	3	0.0321	0.0630
C201	214.70	2	234.88	3	0.0508	0.0630
C205	214.70	2	215.54	2	0.0633	**0.0930**
C208	214.50	2	215.54	2	0.0554	0.0630
R205	393.00	3	411.26	3	0.0352	0.0630
RC201	360.20	3	361.24	3	0.0313	0.0320
RC206	324.00	3	329.10	3	0.0313	0.0320
				เฉลี่ย	0.0413	

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ GRASP สำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับ

ชุดข้อมูล	Solomon 50 Customers					
	Best Known		GRASP			
	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	เวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยเฉลี่ย	เวลาที่ใช้ในการคำนวณที่มากที่สุด
C107	362.40	5	430.89	5	0.1461	0.2340
C109	362.40	5	408.12	5	0.1328	0.1410
C201	360.20	3	375.07	3	0.2594	0.2970
C205	359.80	3	385.19	3	0.2413	0.3590
C208	350.50	2	370.66	2	0.2351	**0.3750**
R205	703.30	5	727.85	4	0.2383	0.2970
RC201	684.80	5	688.17	5	0.1211	0.1250
RC206	610.00	5	618.45	5	0.1211	0.1710
				เฉลี่ย	0.1869	

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้ GRASP สำหรับปัญหา ขนาด 100 จุดรับ

ชุดข้อมูล	Solomon 100 Customers					
	Best Known		GRASP			
	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	ระยะทางรวม	จำนวนรถที่ใช้	เวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยเฉลี่ย	เวลาที่ใช้ในการคำนวณที่มากที่สุด
C107	828.94	10	1131.60	10	1.1140	1.1410
C109	828.94	10	1040.02	10	1.1304	1.1410
C201	591.56	3	591.56	3	2.1946	2.2340
C205	588.88	3	626.63	4	1.9922	**2.3910**
C208	588.32	3	808.89	4	2.3148	2.3430
R205	994.42	5	1177.95	8	1.2437	1.2810
RC201	1406.91	8	1412.45	8	1.0101	1.5490
RC206	1146.32	5	1314.20	5	1.3478	1.7810
				เฉลี่ย	1.5435	

ตารางที่ 4.10 ความแตกต่างของระยะทางที่ได้จาก GRASP เทียบกับ Best known

ขนาดของปัญหา	ความแตกต่างของระยะทางที่ได้จาก GRASP เทียบกับ Best known (%)								เฉลี่ย
	ชุดข้อมูลทดสอบ								
	C107	C109	C201	C205	C208	R205	RC201	RC206	
25	0.7	0.27	9.4	0.39	0.48	4.65	0.29	1.57	2.22
50	18.9	12.62	4.13	7.06	5.75	3.49	0.49	1.39	6.73
100	36.51	25.46	0	6.41	37.49	18.46	0.39	14.65	17.42
Average	8.79		MIN	0		MAX	35.61		8.79

จากข้อมูลในตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีการของ GRASP นั้น สามารถให้คำตอบที่มีระยะทางในการจัดส่งใกล้เคียงกับ Best known โดยจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.00 ถึง 35.61 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 8.79 % ซึ่งเมื่อเทียบกับ Insertion Heuristic ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างจาก Best known เท่ากับ 36.89 % แล้วพบว่า GRASP มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการจัดเส้นทางในกรณีที่เหลือเวลาให้ใช้จัดเส้นทางไม่จำกัดมากนัก เนื่องจากสามารถให้คำตอบที่มีระยะทางรวมโดยเฉลี่ยใกล้เคียงกับ Best Known กว่าของ Insertion Heuristic มาก

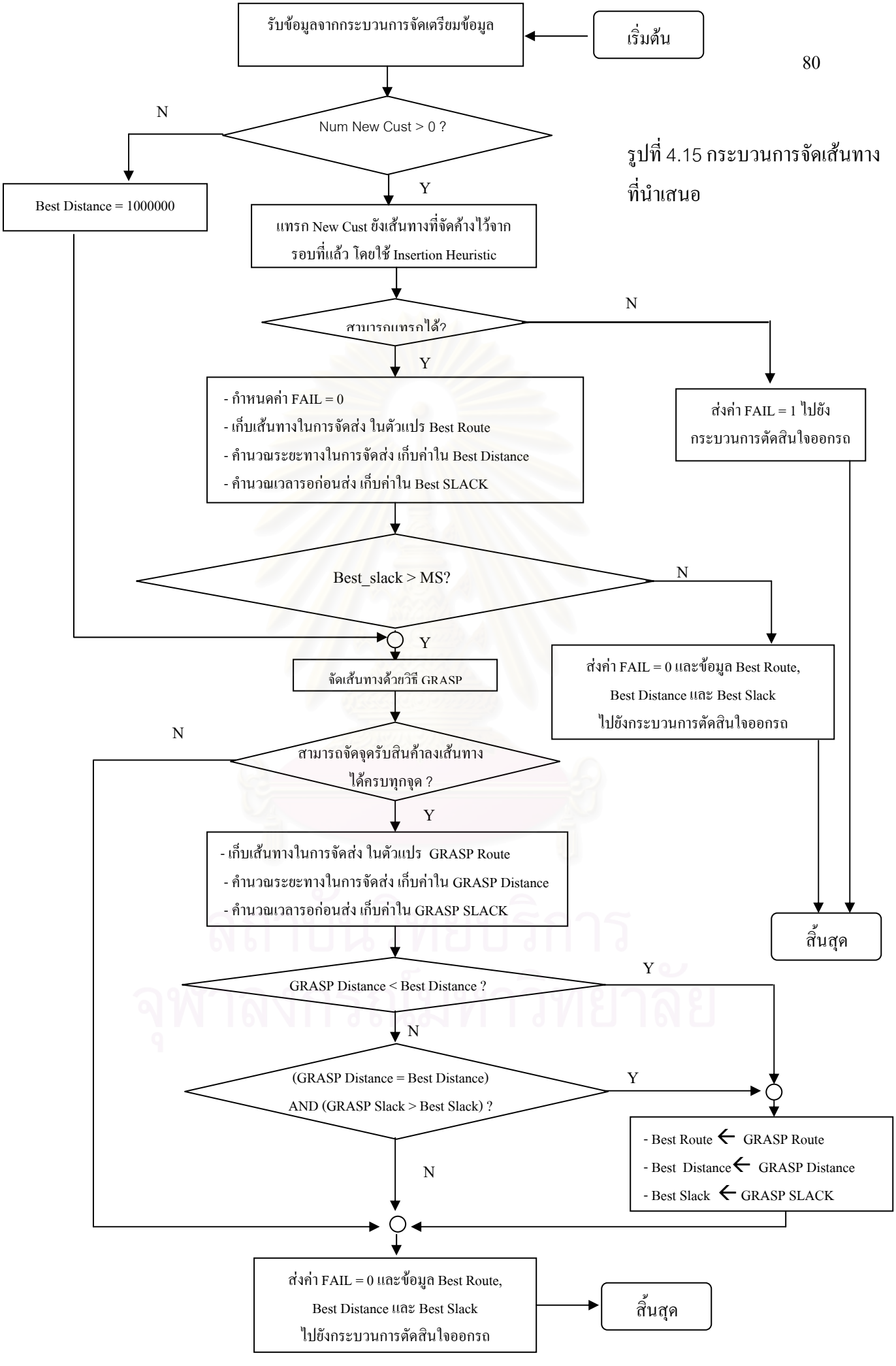
ซึ่งกระบวนการจัดเส้นทางที่นำเสนอ จะประกอบด้วยการทำงานของ Insertion Heuristic และ GRASP ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.15 โดยในกระบวนการจัดเส้นทางที่นำเสนอนั้น จะมีจำนวนเส้นทาง ที่พิจารณาจัดเส้นทางอยู่ครั้งละ 1 เส้นทาง คือ ทยอยจัดจุดรับสินค้าที่เข้ามาใหม่เพิ่มในเส้นทาง จนกระทั่งในรอบการจัดเส้นทางใด ที่มีข้อมูลของจุดรับสินค้ามาเพิ่มมากจนกระทั่ง ไม่สามารถจัดจุดรับสินค้าลงใน 1 เส้นทางได้หมด ก็จะส่งข้อมูลว่าไม่สามารถจัดเส้นทางได้สำเร็จไปให้กับกระบวนการตัดสินใจสั่งออกรถ เพื่อทำการสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้าตามเส้นทางที่จัดค้างไว้ในระบบในรอบก่อนหน้า โดยการส่งข้อมูลตัวแปร FAIL = 1 แต่ถ้าสามารถจัดจุดรับสินค้าลงในเส้นทางได้ครบทุกจุด จะส่งข้อมูลตัวแปร FAIL = 0 และส่งข้อมูลเส้นทางที่จัดได้ คือ Best Route Best Distance และ Best Slack ออกไปให้กระบวนการกำหนดเวลาออกรถ

ซึ่งการพิจารณาจัดจุดรับสินค้าลงในเส้นทางครั้งละ 1 เส้นทาง จะมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและช่วยลดภาระในส่วนของกระบวนการจัดเส้น ส่งผลให้ใช้เวลาในการจัดเส้นทางในแต่ละรอบที่ต่ำ ซึ่งทำให้สามารถใช้เวลารอก่อนที่เหลืออยู่ มาจัดเส้นทางใหม่ซึ่งมีโอกาสที่จะพบเส้นทางการจัดส่งสินค้าที่ดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการพยายามจัดจุดรับสินค้าลงในแต่ละเส้นทางให้มากที่สุด ซึ่งจะส่งผลให้มีแนวโน้นการใช้จำนวนเส้นทางในการจัดส่งที่ต่ำลง

โดยการทำงานจะเริ่มต้นจาก รับข้อมูลจากกระบวนการจัดเตรียมข้อมูล จะตรวจสอบว่ามีข้อมูลสินค้าที่เพิ่งเข้ามาเพิ่มหรือไม่โดยพิจารณาจากค่าของตัวแปร Num New Cust โดยถ้าตัวแปร Num New Cust มีค่าเท่ากับ 0 หมายความว่าไม่มีข้อมูลสินค้าที่เพิ่งเข้ามาเพิ่ม ซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีที่ในรอบก่อนหน้ากระบวนการตัดสินใจออกรถ พบว่ามีเวลารอก่อนส่งมากพอที่จะจัดเส้นทางใหม่ทั้งหมด จึงตัดสินใจรอแต่ยังไม่มีข้อมูลจุดรับสินค้าเข้ามาเพิ่มในระบบ ดังนั้นในกรณีนี้จะทำการกำหนดค่าของ Best Distance ให้เท่ากับ 100000 แล้วจัดเส้นทางด้วยวิธี GRASP ซึ่งเป็นการหาเส้นทางในชุดข้อมูลจุดรับสินค้าเดิมเหมือนกับในรอบก่อนหน้า แล้วส่งผลคำตอบที่ได้คือ GRASP Route, GRASP Distance และ GRASP Slack ออกมาเปรียบเทียบค่ากับ Best Distance ซึ่งได้ทำการเซตค่าไว้เป็น 1000000 ซึ่งมากกว่าค่าของ GRASP Distance ทำให้เมื่อเปรียบเทียบระยะทางกันแล้วข้อมูลของคำตอบที่ได้จาก GRASP ทั้งหมดจะถูกส่งค่าไปอยู่ในตัวแปร Best Route, Best Distance และ Best Slack เพื่อส่งค่าออกไปให้กระบวนการตัดสินใจออกรถต่อไป ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากกระบวนการจัดเส้นทางในรอบนี้ กับคำตอบที่ได้จากกระบวนการจัดเส้นทางของชุดข้อมูลลูกค้าแบบเดียวกันที่ดีที่สุดซึ่งเก็บไว้ใน All Best Route, All Best Distance และ All Best Slack ต่อไป

สำหรับกรณีที่ ตัวแปร Num New Cust จะมีค่ามากกว่า 0 ซึ่งเป็นกรณีที่ในรอบก่อนหน้ากระบวนการตัดสินใจออกรถ หรือตัดสินใจรอและพบว่ามีข้อมูลจุดรับสินค้าเข้ามาเพิ่มในระบบหรือมีการสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้า ในกรณีนี้จะทำการแทรกจุดรับสินค้าที่เข้ามาใหม่โดยใช้ Insertion Heuristic เนื่องจากสามารถหาคำตอบของเส้นทางที่ได้อย่างรวดเร็ว เพื่อจะได้ทราบว่าจุดรับสินค้าที่เข้ามาเพิ่มนั้น สามารถจัดลงเส้นทางได้สำเร็จหรือไม่ และถ้าได้จะเหลือเวลารอก่อนส่งมากน้อยเพียงใด เพราะในบางกรณีการที่แทรกจุดรับสินค้าเข้ามาเพิ่มในเส้นทาง อาจไม่ส่งผลกระทบกับเวลารอก่อนส่งของรถ เช่น การแทรกจุดรับสินค้าที่เพิ่งเข้ามาใหม่ในตำแหน่งสุดท้ายของเส้นทาง แต่ในบางกรณี การแทรกจุดรับสินค้าเข้าไปยังเส้นทางจะส่งผลกระทบต่อเวลารอก่อนส่งของรถ เช่น การแทรกจุดรับสินค้าที่เพิ่งเข้ามาใหม่ ลงในเส้นทางในลำดับก่อนหน้าจุดรับสินค้าที่มีเวลารอก่อนส่งน้อยที่สุดซึ่งจะทำให้เวลารอก่อนส่งลดลง ดังนั้นจึงต้องใช้การจัดเส้นทางที่รวดเร็วเพื่อให้ได้ข้อมูลในการตัดสินใจสิ่งที่จะตัดสินใจกระทำในขั้นถัดไป

โดยหากแทรกจุดรับสินค้าใหม่โดยใช้ Insertion Heuristic แล้วพบว่า ยังเหลือเวลารอก่อนส่งมากพอ ก็จะนำข้อมูลของจุดรับทั้งหมดมาจัดเส้นทางโดยใช้วิธี GRASP แล้วคำตอบที่ได้จากวิธี Insertion Heuristic กับคำตอบที่ได้จากวิธี GRASP และเก็บข้อมูลคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากรอบนี้ไว้ในตัวแปร Best Route, Best Distance และ Best Slack เพื่อส่งไปให้กระบวนการตัดสินใจเปรียบเทียบกับ All Best Route , All Best Distance และ All Best Slack ซึ่งเป็นชุดคำตอบที่ดีที่สุดจากข้อมูลจุดรับสินค้าแบบเดียวกันต่อไป



รูปที่ 4.15 กระบวนการจัดเส้นทางที่นำเสนอ

จากการทำงานที่นำเสนอจะพบว่า ข้อดีอีกอย่างหนึ่งของการนำ Insertion Heuristic มาใช้ในการจัดเส้นทางทุกครั้งที่มีข้อมูลจุดรับสินค้าเข้ามาเพิ่ม ซึ่งเป็นจุดที่ปัญหาเริ่มเปลี่ยนไปเป็นปัญหาใหม่และต้องตัดสินใจสั่งออกรถหากแทรกจุดรับนั้นไม่สำเร็จ คือ Insertion Heuristic จะอาศัยข้อมูลเส้นทางที่ดีที่สุดที่ได้วนซ้ำหาคำตอบมาแล้วมากกว่าหนึ่งรอบซึ่งถูกบันทึก All Best Route มาทำการแทรกจุดรับใหม่เข้าไปเพิ่ม ซึ่งจะใช้เวลาในการจัดเส้นทางได้อย่างรวดเร็ว และจะดีกว่าการจัดเส้นทางใหม่ทั้งหมดโดยใช้ GRASP ที่ทำงานเพียงรอบเดียวแล้วตัดสินใจว่าแทรกได้สำเร็จหรือไม่ เนื่องจากวิธีการ GRASP มีการสุ่ม ดังนั้นการสุ่มในรอบนั้นอาจจะสุ่มออกมาไม่ดีทำให้ไม่สามารถจัดจุดรับลงเส้นทางได้ทั้งหมด ทั้งที่ถ้ามีการสุ่มออกมาแบบอื่นอาจจะสามารถจัดจุดรับลงเส้นทางได้ครบก็เป็นได้ เพราะการที่จะได้คำตอบที่ดีของ GRASP ต้องอาศัยการหาคำตอบซ้ำหลายๆรอบแล้วเลือกค่าที่ดีที่สุดไม่ใช่การหาคำตอบเพียงรอบเดียว

4.3 ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทำสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกนั้น จะต้องมีข้อมูลที่สอดคล้องกับธรรมชาติของปัญหา ซึ่งข้อมูลในส่วนของสินค้าแต่ละชิ้นจะประกอบด้วย เวลาที่ข้อมูลของจุดรับสินค้าเข้ามาในระบบ ตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับสินค้า และปริมาณความต้องการสินค้า

โดยข้อมูลของสินค้าแต่ละชิ้น จะต้องเรียงลำดับกันตาม เวลาที่ข้อมูลของสินค้าเข้ามาในระบบ เพื่อให้สอดคล้องกับในสถานการณ์จริง ที่ข้อมูลของสินค้าทยอยกันเข้ามาในระบบ นอกจากนี้ในปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ จะต้องมีข้อมูลในส่วนของข้อจำกัดของระบบ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะประกอบด้วย ตำแหน่งที่ตั้งของท่ารถ ระยะเวลารับประกัน และความจุของรถที่ใช้ในการจัดส่งสินค้า ซึ่งจากรูปแบบของปัญหาและข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการทดสอบที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น หลังจากทำการศึกษาพบว่าปัญหาในรูปแบบที่ศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้ยังไม่มีการศึกษากันเป็นที่แพร่หลาย จึงยังไม่พบปัญหามาตรฐาน ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาในรูปแบบดังกล่าว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสร้างข้อมูลมาใช้ในการทดสอบ โดยดัดแปลงจากชุดปัญหา Solomon’s 56 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ชุดปัญหา Solomon’s 56 เป็นชุดปัญหามาตรฐาน ที่นิยมใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของฮิวริสติก สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบ VRPTW ที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Prof.Marius M.solomon ซึ่งในชุดปัญหาของ Solomon นี้ได้รวบรวมลักษณะสำคัญที่มาผลต่อการจัดเส้นทาง ทั้งในด้าน จำนวนที่ใช้ในการจัดส่ง ความจุของรถ ลักษณะการกระจายของจุดรับสินค้า เวลาในการให้บริการ สัดส่วนของจำนวนสินค้าที่มีกรอบเวลาในการจัดส่ง และความกว้างของกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง โดยชื่อของปัญหาแต่ละปัญหาจะมีรหัสในการใช้เรียกประกอบด้วยสามส่วน ดังนี้

X Y Z

โดยที่

X เป็นตัวอักษรหนึ่งหรือสองตัว ที่แทนลักษณะการกระจายของปัญหาดังนี้

- C จุดรับสินค้ามีการกระจายเป็นกลุ่ม
- R จุดรับสินค้ามีการกระจายแบบสม่ำเสมอ
- RC จุดรับสินค้ามีการกระจายผสมกันทั้งแบบเป็นกลุ่มและแบบสม่ำเสมอ

Y เป็นตัวเลขหนึ่งหลัก แทนลักษณะของกรอบเวลาในการจัดส่งดังนี้

- 1 กรอบเวลาในการจัดส่งแคบ
- 2 กรอบเวลาในการจัดส่งกว้าง

Z เป็นตัวเลข 2 หลัก แทนหมายเลขของปัญหา มีค่าตั้งแต่ 01 ถึง 12

ตัวอย่างเช่น ปัญหาที่มีรหัส C101 จะเป็นปัญหาที่มีลักษณะการกระจายของจุดรับสินค้าแบบเป็นกลุ่ม มีกรอบเวลาในการจัดส่งแคบ และเป็นชุดปัญหาลำดับที่ 01 ของปัญหาในกลุ่ม C1

ปัญหาที่มีรหัส X และ Y เหมือนกันจะเป็นปัญหาในกลุ่มเดียวกัน ซึ่งทำให้ปัญหาถูกแบ่งออกเป็น 6 กลุ่มหลักคือ C1, C2 , R1, R2, RC1 และ RC2 โดยแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยปัญหาย่อย 8 ถึง 12 ปัญหา รวมทั้งสิ้น 56 ปัญหา โดยปัญหาที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันนั้นจะมีตำแหน่งของจุดรับสินค้า และความจุของรถที่ใช้ขนส่งเหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันในด้านของกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง โดยชุดข้อมูลของ Solomon นั้นจะมีโครงสร้างดังที่แสดงในรูปที่ 4.16

Problem's name

VEHICLE

NUMBER	CAPACITY
K	Q

CUSTOMER

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
0	X_0	Y_1	q_0	e_0	DD_0	s_0
1	Y_1	Y_2	q_1	e_1	DD_1	s_1
...	...	...	...	...	...	...

รูปที่ 4.16 โครงสร้างของชุดข้อมูล Solomon

โครงสร้างของข้อมูลจะประกอบด้วยสองส่วนคือ ข้อมูลของ **VEHICLE** และข้อมูลของ **CUSTOMER** โดยข้อมูลในส่วนแรก **VEHICLE** จะประกอบด้วยจำนวนรถ(NUMBER) และความจุของรถ(CAPACITY)

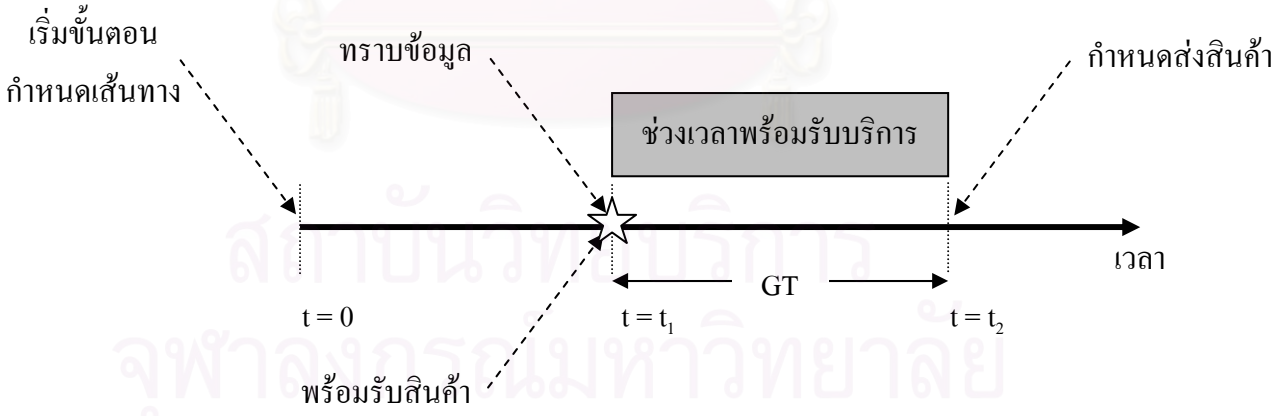
ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาใช้ คือ

- ความจุของรถ

ข้อมูลในส่วนที่สอง **CUSTOMER** ในแถวแรก คือ ข้อมูลของท่ารถ ส่วนในแถวถัดมาจะเป็นข้อมูลของสินค้าแต่ละชิ้น ส่วนข้อมูลในแต่ละสดมภ์จะเป็นข้อมูลในส่วนต่างๆของสินค้าแต่ละชิ้น คือ หมายเลขสินค้า(CUST NO.) ตำแหน่งที่ตั้งในแนวแกน X (XCOORD.) ตำแหน่งที่ตั้งในแนวแกน Y (YCOORD.) ปริมาณความต้องการสินค้า (DEMAND) เวลาพร้อมรับสินค้า (READY TIME) กำหนดส่งสินค้า (DUE DATE) และเวลาในการให้บริการ (SERVICE TIME)

ซึ่งข้อมูลที่จะนำมาใช้ คือ

- สดมภ์ที่ 1 หมายเลขสินค้า (CUST NO.)
- สดมภ์ที่ 2 ตำแหน่งที่ตั้งในแนวแกน X (XCOORD.)
- สดมภ์ที่ 3 ตำแหน่งที่ตั้งในแนวแกน Y (YCOORD.)
- สดมภ์ที่ 4 ปริมาณความต้องการสินค้า (DEMAND)
- สดมภ์ที่ 5 เวลาพร้อมรับสินค้า (READY TIME)
- สดมภ์ที่ 6 กำหนดส่งสินค้า (DUE DATE)



รูปที่ 4.17 จุดเวลาที่เริ่มขั้นตอนกำหนดเส้นทาง จุดเวลาที่ทราบข้อมูล ระยะเวลารับประกัน และกำหนดส่งสินค้า ของปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้

จากรูปที่ 4.17 จุดเวลาที่ทราบข้อมูลกับจุดเวลาที่พร้อมรับสินค้า เป็นจุดเดียวกันดังนั้นจึงนำข้อมูลในสดมภ์ที่ 5 ของปัญหา Solomon มาใช้เป็นเวลาที่ข้อมูลของสินค้าเข้ามาในระบบ จากนั้น

ข้อมูลยกเว้นในแถวที่ 0 มาเรียงลำดับ ตามเวลาที่ข้อมูลเข้ามาในระบบ ทำให้ได้โครงสร้างของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.18

```
================== INPUT ==================

Problem Name        .....
Problem Size        .....
Car Capacity        .....
Guarantee Time      .....

No.    X      Y      q      AT     DD
============================================
0      X0     Y0     q0     e0     DDo
1      X1     Y1     q1     e1     DD1
....   ....   ....   ....   ....   ....
n      Xn     Yn     qn     en     DDn
```

รูปที่ 4.18 โครงสร้างของชุดข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบ

โดยข้อมูลในแต่ละสดมภ์ของโครงสร้างชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเป็นดังนี้

- สดมภ์ที่ 1 หมายเลขสินค้าที่กำหนดขึ้นใหม่ ตามลำดับเวลาที่ข้อมูลเข้ามาในระบบ (NO.)
- สดมภ์ที่ 2 ตำแหน่งที่ตั้งในแนวแกน X (X)
- สดมภ์ที่ 3 ตำแหน่งที่ตั้งในแนวแกน Y (Y)
- สดมภ์ที่ 4 ปริมาณความต้องการสินค้า (q)
- สดมภ์ที่ 5 เวลาพร้อมรับสินค้า (AT)
- สดมภ์ที่ 6 กำหนดส่งสินค้า (DD)

ซึ่งจากโครงสร้างของข้อมูลดังกล่าว ระยะเวลารับประกัน จะคำนวณได้จาก

$$GT = \text{Due Date} - \text{Arrival Time} \qquad (4.3)$$

โดยในสมมุติฐานของงานวิจัยฉบับนี้ ระยะเวลารับประกันจะมีค่าคงที่และเท่ากันสำหรับสินค้าทุกชิ้น ดังนั้นชุดข้อมูลที่จะนำมาใช้จะต้องมีค่า Due Date – Arrival Time เท่ากันสำหรับจุดรับสินค้าทุกชิ้นในชุดข้อมูลเดียวกัน ซึ่งในชุดปัญหาของ Solomon ชุดปัญหาที่มีลักษณะดังกล่าวมีทั้งหมด 12 ชุดปัญหา คือ C107, C109, C201, C205, C208, R101, R105, R205, RC101, RC106, RC201 และ RC206 แต่เนื่องจากในบางชุดปัญหา มีค่า Due Date – Arrival Time น้อยกว่าค่าที่มากที่สุด ของระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางระหว่างท่ารถกับจุดรับสินค้า ซึ่งทำให้เป็นปัญหาที่ไม่

สามารถจัดส่งได้ทันแม้จะสั่งออกรถไปส่งสินค้าชิ้นนั้นเพียงชิ้นเดียวทันทีที่ข้อมูลเข้ามาในระบบ ดังนั้นจึงต้องตัดปัญหาที่มีปัญหาดังกล่าวออกไปทำให้เหลือ ชุดปัญหาที่สามารถนำมาปรับใช้ได้จริง 8 ปัญหาคือ C107, C109, C201, C205, C208,R205, RC201 และ RC206 ซึ่งจะในงานวิจัยฉบับนี้จะเลือกเอาชุดปัญหาทดสอบของ Solomon มาใช้ในการทดสอบฮิวริสติก 3 ขนาด คือ 25 จุดรับ 50 จุดรับ และ 100 จุดรับ

เนื่องจากปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต จะพิจาณาระยะทางรวมในการจัดส่งสินค้าในหนึ่งช่วงเวลาทำการ ดังนั้นปัญหา 1 ปัญหาจะสมมุติให้แทนข้อมูลของสินค้าในหนึ่งช่วงเวลาทำการ โดยข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเวลาจะกำหนดให้มีหน่วยเป็นวินาที

ปัญหาขนาด 25 จุดรับ 50 จุดรับ และ 100 จุดรับที่มีรหัสในการเรียกเหมือนกันนั้น จะเป็นปัญหาที่มีลักษณะการกระจายของจุดรับสินค้าในลักษณะเดียวกัน ดังนั้นปัญหาที่มีจำนวนจุดรับมาก จะแทนปัญหาที่มีจำนวนสินค้าที่จะต้องจัดส่งในหนึ่งช่วงเวลาทำการมาก นั่นคือมีอัตราการเข้ามาในระบบของข้อมูลสินค้ามากกว่าปัญหาที่มีจำนวนจุดรับสินค้าน้อย ซึ่งเมื่อทำการแปลงข้อมูลของ Solomon มาเป็นชุดข้อมูลสำหรับการทดสอบ จะสามารถคำนวณหาระยะเวลารับประกันและอัตราการเข้ามาในระบบของสินค้าได้ดังที่แสดงในตารางที่ 4.11 ซึ่งรายละเอียดของปัญหาที่ทำการดัดแปลงเพื่อใช้ในการทดสอบฮิวริสติกจะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.11 อัตราการเข้ามาในระบบ และระยะเวลารับประกันของปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ

ชุดข้อมูล	จำนวนสินค้า	เวลาที่สินค้าชิ้นสุดท้ายเข้ามาในระบบ	อัตราการเข้ามาในระบบเฉลี่ย(ชิ้น/วินาที)	ระยะเวลารับประกัน
100n_c107	100	947	0.1056	180
100n_c109	100	770	0.1299	360
100n_c201	100	3119	0.0321	160
100n_c205	100	2959	0.0338	320
100n_c208	100	2648	0.0378	640
100n_r205	100	740	0.1351	240
100n_rc201	100	822	0.1217	120
100n_rc205	100	702	0.1425	240
50n_c107	50	947	0.0528	180
50n_c109	50	767	0.0652	360

ชุดข้อมูล	จำนวนสินค้า	เวลาที่สินค้าชิ้นสุดท้ายเข้ามาในระบบ	อัตราการเข้ามาในระบบเฉลี่ย(ชิ้น/วินาที)	ระยะเวลารับประกัน
50n_c201	50	2983	0.0168	160
50n_c205	50	2903	0.0172	320
50n_c208	50	2648	0.0189	640
50n_r205	50	720	0.0694	240
50n_rc201	50	784	0.0638	120
50n_rc205	50	664	0.0753	240
25_c107	25	850	0.0294	180
25_c109	25	760	0.0329	360
25_c201	25	2983	0.0084	160
25_c205	25	2903	0.0086	320
25_c208	25	2648	0.0094	640
25_r205	25	716	0.0349	240
25_rc201	25	784	0.0319	120
25_rc205	25	664	0.0377	240
		Average	0.0546	283
		Max	0.1425	640
		Min	0.0084	120

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การพัฒนาวิธีการที่ใช้ในการหาขอบเขตล่างของคำตอบ

จากรูปแบบของปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตนั้น ที่มีข้อจำกัดในด้านระยะเวลารับประกันและความจุของรถขนส่ง และมีข้อมูลของสินค้าจะทยอยทราบเพิ่มเติมในระหว่างขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเดินรถ ทำให้ต้องมีการตัดสินใจทยอยสั่งออกรถ และกำหนดเส้นทางในการจัดส่งออกมา โดยที่ไม่ทราบข้อมูลของสินค้าทั้งหมดที่จะต้องจัดส่งในช่วงเวลาทำการ จากข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้ไม่สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้หาคำตอบที่

เหมาะสมที่สุดได้ นั่นคือไม่สามารถทราบคำตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตได้

ดังนั้นในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการในการหาคำตอบที่พัฒนาขึ้นนั้น จะอาศัยการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับ ขอบเขตล่างของคำตอบ(Lower Bound) ซึ่งเป็นคำตอบที่ได้จากปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ ซึ่งการที่ทราบข้อมูลของสินค้าล่วงหน้าทั้งหมด ส่งผลให้ลดความซับซ้อนของปัญหาที่มีความเป็นพลวัต(Dynamic) กลายเป็นปัญหาที่ระบบคงที่ (Static) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเดินรถ และสามารถนำข้อมูลทั้งหมดมาวางแผนในการกำหนดเวลาออกรถ และเส้นทางการจัดส่งที่เหมาะสมที่สุดได้ โดยจะพัฒนามาจากแบบจำลองของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ที่มีข้อจำกัดด้านกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง (VRPTW) โดยการเพิ่มข้อจำกัดที่เกี่ยวกับ เวลาที่รถแต่ละคันจะสามารถเริ่มออกเดินทางได้ ซึ่งจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับค่ามากที่สุดของ ของเวลาที่ ข้อมูลของสินค้าชิ้นที่ถูกจัดส่งโดยรถคันนั้นเข้ามาในระบบ เข้าไปในแบบจำลองของปัญหาVRPTW และปรับเปลี่ยนเงื่อนไขข้อจำกัดเรื่องกรอบเวลาในการจัดส่ง จากเดิมในปัญหา VRPTW จะต้องเดินทางไปถึงจะรับสินค้าหลังจากเวลาพร้อมรับบริการ(Ready Time) และให้บริการให้เสร็จก่อนกำหนดส่ง (Due Deate) มาเป็นการตรวจสอบเงื่อนไข เวลาที่รถเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าภายในระยะเวลารับประกัน ซึ่งทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

เซต (Sets)

N	=	{1,2,3,…,n} คือ เซตของจุดรับสินค้า โดยที่ n คือ จำนวนจุดรับสินค้า
N_0	=	{0} ∪ N คือ เซตของจุดรับสินค้ารวมกับ ท่ารถซึ่งแทนด้วย โหนด 0
V	=	{1,2,3,…,v} คือเซตของรถที่ใช้ขนส่ง โดยที่ v คือ จำนวนรถ

พารามิเตอร์ (Parameters)

D_{ij}	คือ	ระยะทางระหว่างจุด i กับ j
TT_{ij}	คือ	ระยะเวลาในการเดินทางจากจุด i ไป j
q_i	คือ	ปริมาณความต้องการสินค้าที่จุด i
Q	คือ	ความจุของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง

AT_i คือ เวลาที่สินค้าชิ้นที่ i เข้ามาในระบบ

GT คือ ระยะเวลารับประกัน

Z คือ ค่าที่ใหญ่กว่าเวลาที่เดินทางมาถึง node ใดๆในแต่ละเส้นทางซึ่ง ค่าหนึ่งที่สามารถเลือกใช้ได้คือ

$$Z = \sum_{i \in N_0} \sum_{j \in N_0} TT_{ij} + \sum_{i \in N} AT_i$$

ตัวแปร (Variables)

x_{ijk} = 0 ถ้าไม่มีการเดินทางจาก node i ไป j ด้วยรถคันที่ k

1 ถ้ามีการเดินทางจาก node i ไป j ด้วยรถคันที่ k

s_{0k} คือ เวลาที่รถคันที่ k เริ่มออกเดินทางจากท่ารถ

s_{ik} คือ เวลาที่รถคันที่ k เดินทางถึง node i

แบบจำลอง (Model)

Minimize

$$\text{Total Cost} = \sum_{k \in V} \sum_{j \in N_o} \sum_{i \in N_o} D_{ij} x_{ijk} \qquad (4.4)$$

Subject to:

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N} x_{ijk} \le v \quad \text{for} \quad i = 0 \qquad (4.5)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0jk} = \sum_{j \in N} x_{j0k} \le 1 \quad \text{for} \quad k \in V \qquad (4.6)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{j \in N_o, j \neq i} x_{ijk} = 1 \quad \text{for} \quad i \in N \qquad (4.7)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{i \in N_o, j \neq i} x_{ijk} = 1 \quad \text{for} \quad j \in N \qquad (4.8)$$

$$\sum_{i \in N} (q_i \sum_{j \in N_o} x_{ijk}) \le Q \quad \text{for} \quad k \in V \qquad (4.9)$$

$$s_{ik} + TT_{ij} - Z(1 - x_{ijk}) \le s_{jk} \quad \text{for} \quad i \in N_0, j \in N, k \in V \qquad (4.10)$$

$$s_{0k} \ge (AT_i)(x_{ijk}) \quad \text{for} \quad i \in N, j \in N_0, k \in V \qquad (4.11)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$s_{ik} \le AT_i + GT \qquad \text{for} \quad i \in N, k \in V \qquad (4.12)$$

$$\sum_{j \in N} x_{ojk_1} \ge \sum_{j \in N} x_{ojk_2} \qquad \text{for} \quad k1,k2 \in V, k_2 - k_1 = 1 \qquad (4.13)$$

สมการวัตถุประสงค์ (4.4) มีวัตถุประสงค์ที่จะลดระยะทางรวมในการจัดส่งให้มีค่าต่ำที่สุด เงื่อนไขบังคับ (Constrain) (4.5) ถึง (4.8) จะเป็นข้อบังคับเรื่องเส้นทางการเดินรถ โดยเงื่อนไขบังคับ (4.5) จะเป็นเงื่อนไขบังคับให้มีจำนวนเส้นทางที่เดินทางออกจากท่ารถไม่เกินจำนวนรถที่มีอยู่ เงื่อนไขบังคับที่ (4.6) จะเป็นเงื่อนไขที่บังคับให้ทุกๆเส้นทางเริ่มต้นที่ท่ารถและสิ้นสุดที่ท่ารถ เงื่อนไขบังคับที่ (4.7) และ (4.8) จะเป็นตัวบังคับให้ทุกจุดรับสินค้า จะถูกไปส่งสินค้าโดยรถคันเดียวเพียงครั้งเดียว เงื่อนไขบังคับที่ (4.9)ใช้สำหรับบังคับ ให้ปริมาณสินค้ารวมในเส้นทางใดๆ ต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง เงื่อนไขบังคับที่ (4.10) ถึง (4.12) จะเกี่ยวกับข้อจำกัดด้านกรอบระยะเวลารับประกัน (Guarantee Time) และเวลาเริ่มออกเดินทางของรถแต่ละคัน โดยเงื่อนไขที่ (4.10) จะเป็นตัวบังคับให้เวลาที่รถเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าใดๆ ต้องสอดคล้องกับ ระยะเวลาในการเดินทาง กับเวลาที่เริ่มออกเดินทางจากจุดรับสินค้าลำดับก่อนหน้า เงื่อนไขที่ (4.11) จะเป็นตัวบังคับให้รถเริ่มออกเดินทางจากท่ารถหลังจากที่สินค้าชิ้นสุดท้ายที่จะต้องจัดส่งโดยยานพาหนะคันนั้น ได้เข้ามาในระบบเสียก่อน เงื่อนไขข้อบังคับที่ (4.12) จะเป็นเงื่อนไขบังคับให้สินค้าส่งถึงจุดรับสินค้าภายในระยะเวลารับประกัน เงื่อนไขข้อบังคับที่ (4.13) เป็นเงื่อนไขเพิ่มเติมเพื่อช่วยลดเวลาในการค้นหาคำตอบ โดยกำหนดให้ใช้รถในการขนส่งอย่างเป็นลำดับ ตัวอย่างเช่น จะต้องใช้รถคันที่ 1 ก่อน จึงจะใช้รถคันที่ 2 ได้

แต่เนื่องจากปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมด ก่อนเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ ซึ่งนำมาใช้เพื่อหาคำตอบที่เป็นขอบเขตล่างนั้น รูปแบบของปัญหามีความคล้ายคลึงกับปัญหา VRPTW ซึ่งเป็นปัญหาที่จัดอยู่ในกลุ่ม NP-Hard ซึ่งหากปัญหามีขนาดใหญ่ จะไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ โดยใช้เวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสม ดังนั้นจึงสามารถใช้หาคำตอบได้กับปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น

สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ ในงานวิจัยฉบับนี้จะเลือกใช้ฮิวริสติกเป็นวิธีการในการหาคำตอบ โดยจะเลือกใช้ GRASP มาเป็นวิธีในการหาคำตอบในการจัดเส้นทางและกำหนดเวลาออกรถ เนื่องจากสามารถใช้ในหาคำตอบปัญหา VRPTW ได้เป็นอย่างดี โดยมีค่าเฉลี่ยของผลต่างระยะที่ได้กับระยะทางที่เป็น Best Know อยู่ที่ 8.79 % ดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.10 ซึ่งได้จากการทำการทดลองในขั้นตอนก่อนหน้านี้

โดยขั้นตอนการทำงานของฮิวริสติกที่ใช้หาคำตอบของปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่ง ทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเดินรถ (Heuristic-LB) จะใช้ GRASP ที่มีขั้นตอนในการสร้างเส้นทางเบื้องต้น และการปรับปรุงคำตอบเช่นด้วย 2-opt Algorithm เช่นเดียวกับที่เสนอในหัวข้อ 4.4.2 โดยจะดัดแปลงเงื่อนไขการกำหนดเวลาออกรถ จากเดิมที่รถแต่ละคันสามารถเริ่มออกเดินรถได้ทันทีตั้งแต่จุดเวลาที่เริ่มกระบวนการจัดเส้นทาง มาเป็นการมีเงื่อนไขที่รถแต่ละคันจะเริ่มออกเดินทางได้หลังจากเวลาที่สินค้าทุกชิ้นที่ถูกจัดส่งโดยรถคันนั้นทุกชิ้นเข้ามาในระบบเสียก่อน เพื่อให้คล้ายกับการทำงานจริงมากที่สุด โดยฟังก์ชั่น Cal_Departure() ซึ่งใช้ในการตรวจสอบเงื่อนไขเวลาออกรถนั้นจะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.19 ซึ่งทำให้ฟังก์ชั่น Feasible() ซึ่งใช้ในการตรวจสอบว่าเส้นทางนั้นสอดคล้องเงื่อนไขหรือไม่ถูกปรับเปลี่ยนเป็นฟังก์ชั่น Feasible II () ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.20 โดยขั้นตอนการทำงานในส่วนอื่นของ GRASP จะเหมือนกับที่นำเสนอไว้ในหัวข้อ 4.4.2 โดยการวนซ้ำในการหาคำตอบจะกำหนดให้ ทำการวนซ้ำหาคำตอบทั้งหมด 400 รอบเพื่อเลือกคำตอบที่ได้จากรอบที่ดีที่สุด ซึ่งขั้นตอนการทำงานของการหาคำตอบเพื่อเป็น Lower Bound (Heuristic - LB) จะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.21

```
Temp1 ← 0
FOR i ∈ r DO
        IF AT_i > Temp1 THEN
        Temp1 = AT_i
        END IF
END FOR
DT ← temp1
```

รูปที่ 4.19 ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชั่น Cal_Departure()

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

R = Set of routes

FOR r ∈ R **DO**

Cal_Departure(r)

temp_time ← DT

sum_q ← 0

Infeasible ← 0

temp_route ← Insert(i,j,r)

FOR z = 1 to num_cust_in_temp_route **DO**

temp_time ← temp_time + $TT_{temp_route[z-1],temp_route[z]}$

IF temp_time < $RT_{temp_route[z]}$ **THEN**

temp_time ← $RT_{temp_route[z]}$

END IF

temp_time ← temp_time + $ST_{temp_route[z]}$

IF temp_time > $DD_{temp_route[z]}$ **THEN**

Infeasible ← 1

END IF

Sum_q ← sum_q + $q_{temp_route[z]}$

END FOR

IF sum_q > Q **THEN**

Infeasible ← 1

END IF

END FOR

รูปที่ 4.20 ขั้นตอนการทำงานของฟังก์ชั่น Feasible II

```
R = set of routes
loop_count ← 0
Best Distance ← 1000000
WHILE loop_count < 400  DO
        R ← Construction I()
        FOR  r ∈ R  DO
                2_Opt(r)
        END FOR
        GRASP Route ← r
        GRASP Distance ← Total_Cost(r)
        GRASP Slack ← Check_Slack(r)
        IF GRASP Distance <Best Distance THEN
                Best Route ← GRASP Route
                Best Distance ← GRASP Distance
                Best Slack ← GRASP Slack
        END IF
        loop_count = loop_count + 1
END WHILE
```

รูปที่ 4.21 ขั้นตอนการทำงานของ Heuristic - LB

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของฮิวริสติกที่ใช้ในการหาขอบเขตล่างจะกระทำโดยสร้างปัญหาที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 4 ขนาด ขนาดละ 8 ปัญหา ได้แก่ปัญหาในการจัดส่งสินค้า 5 ชิ้น 6 ชิ้น 7 ชิ้น และ 8 ชิ้น ซึ่งได้จากการนำข้อมูลปัญหาของ Solomon มาดัดแปลง และสุ่มข้อมูลของสินค้าออกมา 5 ชิ้น 6 ชิ้น 7 ชิ้น และ 8 ชิ้นตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดของชุดข้อมูลปัญหาทั้ง 32 ชุดดังกล่าวนี้ จะแสดงอยู่ในภาคผนวก ก

จากนั้นทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเดินรถ โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม CPLEX 8.0 และทำการหา

คำตอบ จากนั้นทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบเหล่านี้อีกครั้ง โดยใช้ฮิวริสติกที่นำเสนอ และทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ระหว่างวิธีทั้ง 2 วิธี ซึ่งผลการทดสอบที่ได้เป็นดังนี้

ตารางที่ 4.12 ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 5 จุดรับ

	ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 5 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Optimal	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
C107	257.47	257.47	0.00
C109	152.62	152.62	0.00
C201	292.31	292.31	0.00
C205	218.92	218.92	0.00
C208	158.00	158.00	0.00
R205	130.13	130.13	0.00
RC201	237.39	237.39	0.00
RC206	199.83	199.83	0.00

ตารางที่ 4.13 ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 6 จุดรับ

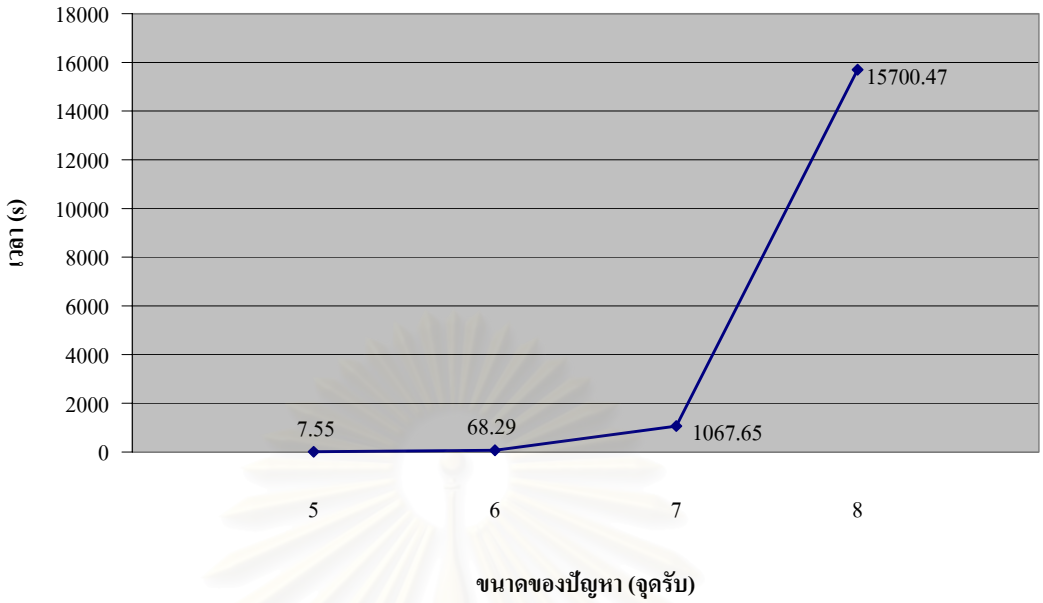
	ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 6 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Optimal	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
C107	145.21	145.21	0.00
C109	104.39	104.39	0.00
C201	244.02	244.02	0.00
C205	216.17	216.17	0.00
C208	187.51	187.51	0.00
R205	230.46	230.46	0.00
RC201	407.85	407.85	0.00
RC206	371.11	371.11	0.00

ตารางที่ 4.14 ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต
ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 7 จุดรับ

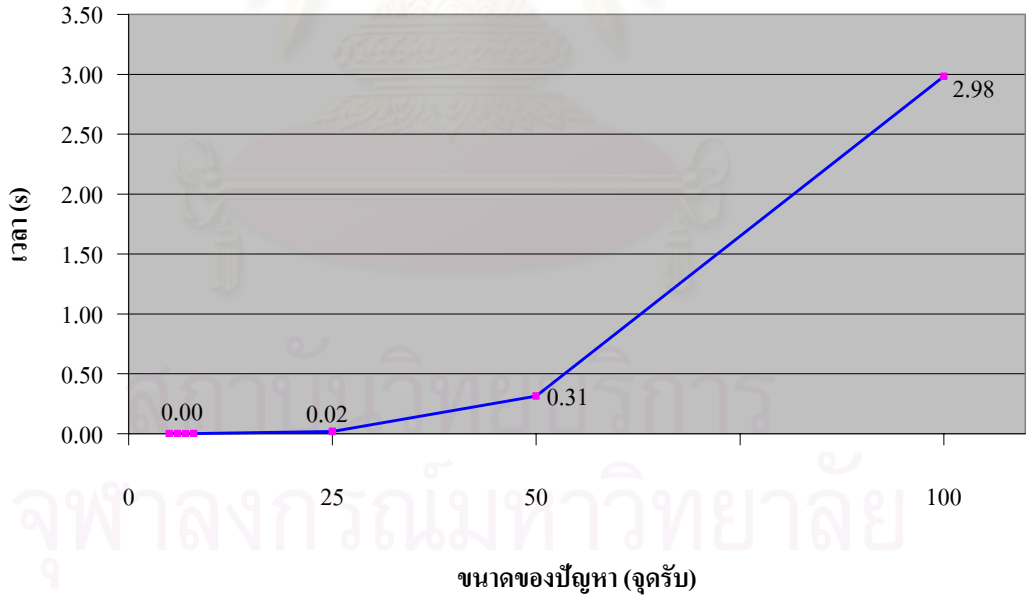
	ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 7 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Optimal	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
C107	219.17	219.17	0.00
C109	149.81	149.81	0.00
C201	314.01	314.01	0.00
C205	308.08	308.08	0.00
C208	227.45	227.45	0.00
R205	239.47	239.47	0.00
RC201	424.43	424.43	0.00
RC206	316.01	316.01	0.00

ตารางที่ 4.15 ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต
ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 8 จุดรับ

	ระยะทางในการจัดส่งสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้า ขนาด 8 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Optimal	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
C107	180.93	180.93	0.00
C109	112.97	112.97	0.00
C201	307.79	307.79	0.00
C205	250.02	250.02	0.00
C208	198.83	198.83	0.00
R205	244.59	244.59	0.00
RC201	478.66	478.66	0.00
RC206	371.55	371.55	0.00



รูปที่ 4.22 เวลาที่ใช้การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด



รูปที่ 4.23 เวลาที่ใช้การหาคำตอบด้วยฮิวริสติก Heuristic-LB

จากข้อมูลในตารางที่ 4.12 ถึง ตารางที่ 4.15 ซึ่งเป็นการหาคำตอบสำหรับปัญหาขนาด 5 6 7 และ 8 จุดรับ พบว่าระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้โดย Heuristic-LB มีค่าเท่ากับระยะทางในการจัดส่งที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม Cplex ทั้ง 32 ปัญหา โดยใช้เวลาใน

การหาคำตอบที่ไม่สูงมากนัก ซึ่งในปัญหาขนาด 5 6 7 และ 8 จุดรับ ฮิวริสติกสามารถคำตอบได้ภายในเวลาน้อยกว่า 0.01 วินาที และปัญหาขนาดใหญ่ที่สุดที่จะทำการทดสอบ คือปัญหาที่มีจำนวนจุดรับ 100 จุด จะใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ยเพียง 2.98 วินาทีดังที่แสดงในรูปที่ 4.23 ในขณะที่การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม Cplex นั้นจะใช้เวลาที่สูงมากโดยในปัญหาขนาด 5 6 7 และ 8 จุดรับจะใช้เวลาในการหาคำตอบโดยเฉลี่ย 7.75 68.29 1067.65 และ 15700.47 วินาทีตามลำดับ ดังที่แสดงในรูปที่ 4.22

ซึ่งผลของการทดสอบแสดงว่า Heuristic-LB มีประสิทธิภาพที่ดีในการหาคำตอบสำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้าทั้งหมด ดังนั้นในปัญหาขนาดใหญ่ซึ่งไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ จะใช้คำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งล่วงหน้าทั้งหมด โดยใช้ Heuristic-LB มาเป็นขอบเขตล่าง ในการเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการหาคำตอบของปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้ด้วยฮิวริสติกที่นำเสนอ

4.5 บทสรุป

ฮิวริสติกที่นำเสนอมีวิธีการแก้ไขปัญหาอย่างพลวัตโดยอาศัยข้อมูลตัดสินใจในเวลาจริง ขั้นตอนการทำงานจะแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการหลัก คือ กระบวนการจัดเตรียมข้อมูล กระบวนการจัดเส้นทาง และกระบวนการกำหนดเวลาออก ซึ่งจะทำงานต่อเนื่องกันเพื่อกำหนดเวลาออกรถ และเส้นทางในการจัดส่งที่เหมาะสม โดยในกระบวนการจัดเส้นทางนั้น จะนำเอา Insertion Heuristic และ GRASP มาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อให้สามารถตอบสนองกับปัญหาได้อย่างรวดเร็วในกรณีที่มีเวลาเหลืออยู่จำกัด และสามารถหาคำตอบในการจัดเส้นทางที่ดีได้ในกรณีที่เหลืออยู่มากขึ้น และเนื่องจากรูปแบบของปัญหาที่ไม่ทราบข้อมูลทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ จึงทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ ดังนั้นจึงใช้การหาขอบเขตล่างจากคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของจุดรับสินที่จะต้องจัดส่งทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ โดยการหาคำตอบของปัญหาที่ใช้เป็นขอบเขตล่างนั้น สำหรับปัญหาขนาดเล็กได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการหาคำตอบ ส่วนปัญหาขนาดใหญ่นั้นจะนำ Heuristic-LB มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ

บทที่ 5
ผลงานวิจัยและการวิเคราะห์ผลงานวิจัย

การประเมินผลการกำหนดเวลาออกรถ เส้นทางการจัดส่งที่ได้จากการหาคำตอบด้วยฮิวริสติกสำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่นำเสนอ จะแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการหาคำตอบที่เหมาะสม และประสิทธิภาพของการทำงานร่วมกันของกรรมวิธีการแก้ปัญหาที่นำมาประยุกต์ใช้ นอกจากนี้การวิเคราะห์ผลการวิจัย ยังจะทำให้ทราบถึงข้อบกพร่องของฮิวริสติกเพื่อการปรับปรุง ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์และประเมินผลการวิจัยมีดังนี้

5.1 วิธีการทดสอบฮิวริสติก

เนื่องจากฮิวริสติกที่นำเสนอมีการแก้ไขปัญหาอย่างพลวัต ระบบมีการเปลี่ยนแปลงตามข้อมูลของสินค้าที่เข้ามาในระบบไม่พร้อมกันหลังจากเริ่มต้นขั้นตอนการหาคำตอบ ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพการหาคำตอบของฮิวริสติก จึงควรเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้สภาวะเดียวกัน แต่เนื่องจากรูปแบบของปัญหาที่ไม่สามารถทราบข้อมูลของจุดรับสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมดในช่วงเวลาทำการ ก่อนเริ่มกระบวนการหาคำตอบทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ภายใต้สภาวะดังกล่าว ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติก จึงทำการเปรียบเทียบผล คือระยะทางรวมในการจัดส่ง กับปัญหาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับปัญหาในงานวิจัยฉบับนี้มากที่สุด ที่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ คือ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ

ทั้งนี้จะทำการทดสอบกับปัญหาที่สร้างขึ้นสองกลุ่ม กลุ่มแรก คือปัญหาขนาดเล็กจำนวน 4 ขนาด ขนาดละ 8 ปัญหา ได้แก่ปัญหาที่มีจำนวนจุดรับสินค้าที่ต้องจัดส่งทั้งหมด 5 จุด 6 จุด 7 จุด และ 8 จุด ซึ่งจะทำการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จากปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และหาคำตอบโดยใช้โปรแกรม CPLEX 8.0 เพื่อใช้เป็นขอบเขตล่าง จากนั้นทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบขนาดเล็กเหล่านี้อีกครั้ง ในรูปแบบของปัญหาจริงซึ่งทยอยทราบข้อมูลในระหว่างขั้นตอนการหาคำตอบ โดยใช้ฮิวริสติกที่นำเสนอ และทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับขอบเขตล่าง

สำหรับปัญหาในกลุ่มที่สองที่ใช้ในการทดสอบ คือปัญหาขนาดใหญ่ 3 ขนาด ขนาดละ 8 ปัญหา ได้แก่ปัญหาที่มีจำนวนจุดรับสินค้าจะต้องจัดส่งทั้งหมด 25 ชิ้น 50 ชิ้น และ 100 ชิ้น ซึ่งจะทำการหาคำตอบที่เหมาะสม จากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมดก่อนเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ เพื่อใช้เป็นขอบเขตล่างของคำตอบ

โดยใช้ Heuristic-LB ที่นำเสนอ จากนั้นทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบขนาดใหญ่เหล่านี้อีกครั้ง ในรูปแบบของปัญหาจริงซึ่งทยอยทราบข้อมูลในระหว่างขั้นตอนกำหนดเส้นทางเดินรถ โดยใช้ฮิวริสติกที่นำเสนอ และทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับขอบเขตล่าง

จากรูปแบบของปัญหา ที่ข้อมูลทยอยทราบระหว่างขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเดินรถซึ่งต้องมีข้อมูลเวลาจริงในปัจจุบัน แต่การทดสอบการทำงานของฮิวริสติกแบบใช้เวลาจริงนั้น จะต้องใช้เวลาในการทดสอบสำหรับปัญหาแต่ละปัญหาที่ยาวนาน ดังนั้นในขั้นตอนของการทดสอบการทำงานของฮิวริสติกจะใช้การจำลองการทำงาน โดยสร้างข้อมูลเวลาในปัจจุบัน(T_{now}) ขึ้น แทนการใช้ข้อมูลเวลาจริง โดยข้อมูลเวลาในปัจจุบันที่สร้างขึ้นนั้น จะสามารถลดระยะเวลาที่ใช้ในการทดสอบโดยการข้ามเวลาในส่วนที่ไม่มีเหตุการณ์สำคัญเกิดขึ้นในระบบ โดยเหตุการณ์สำคัญที่เกิดขึ้นในระบบได้แก่

- เวลาที่ต้องสั่งออกรถ (DT)
- เวลาที่ข้อมูลสินค้าเข้ามาเพิ่มในระบบ (Time_New_Arrive)

ขั้นตอนในการกำหนดข้อมูล T_{now} จะเริ่มต้นจากค่าเท่ากับ 0 และจะปรับค่าของ T_{now} ตามเวลาที่ใช้ในการคำนวณในกระบวนการทั้ง 3 โดย เมื่อการทำงาน วนผ่านมาถึงกระบวนการกำหนดเวลาออกรถแต่ละรอบนั้นจะตรวจสอบว่า T_{now} ได้เลื่อนมาถึงกำหนดเวลาออกรถหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้า แต่หากไม่ จะตรวจสอบว่าได้ทำการวนซ้ำแก้ปัญหาเดิมจากชุดข้อมูลสินค้าแบบเดียวกัน ครบตามจำนวนรอบที่กำหนด(Max_loop_solve) หรือไม่ ถ้าวนครบรอบตามที่กำหนดแล้วจะทำการปรับเวลาไปยังเวลาที่มีเหตุการณ์สำคัญต่อไป ขึ้นอยู่กับว่าเหตุการณ์ใดเกิดขึ้นก่อน เพื่อทำการตัดสินใจจากข้อมูล T_{now} ที่ทำการปรับใหม่ต่อไป

จากรูปที่ 5.1 จะตรวจสอบค่าของตัวแปร loop_solve ซึ่งเป็นตัวแปรที่บันทึกค่าจำนวนรอบในการวนซ้ำแก้ปัญหาสำหรับข้อมูลของสินค้าแบบเดียวกัน กับค่า Max_loop_solve โดยตัวแปร loop_solve นั้นจะมีการกำหนดค่าเป็น 0 เมื่อมีข้อมูลของสินค้าเข้ามาเพิ่มในระบบหรือตัดสินใจสั่งออกรถ

จากนั้นถ้าผลการเปรียบเทียบพบว่า loop_solve มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ Max_loop_solve จะเป็นกรณีที่ตรงกับเงื่อนไขในการปรับเวลา T_{now} ให้ข้ามไปยังเวลาที่เกิดเหตุการณ์สำคัญถัดไป โดยพิจารณาว่าเหตุการณ์ใดเกิดขึ้นก่อน ก็จะปรับค่า T_{now} ไปยังเวลาที่เกิดเหตุการณ์สำคัญนั้น

โดยในการทดสอบการทำงานของฮิวริสติกในงานวิจัยฉบับนี้ จะกำหนดค่า Max_loop_Solve เท่ากับ 20 เนื่องจากทำให้ใช้เวลาในการคำนวณที่เหมาะสม และคำตอบที่ได้โดยเฉลี่ยจะไม่มีการปรับปรุงเมื่อวนซ้ำหาคำตอบมากกว่า 20 รอบ

```
IF loop_solve ≥ Max_loop_solve THEN
        IF (DT ≤ Time_New_Arrive) THEN
                T_now ← DT
        ELSE
                T_now ← Time_New_Arrive
        END IF
END IF
```

รูปที่ 5.1 เงื่อนไขการตัดสินใจปรับเวลา T_{now}

5.2 ผลการการทดสอบฮิวริสติก

5.2.1 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 5 ชิ้น

เบื้องต้นได้ทำการสร้างข้อมูลนำเข้า คือ ปัญหาที่มีสินค้าที่ต้องทำการจัดส่ง 5 ชิ้น จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่ใช้เพื่อหาขอบเขตล่าง โดยทำการแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 6.50 วินาทีโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบทั้ง 8 ปัญหาโดยใช้ฮิวริสติก ซึ่งผลการสร้างข้อมูลนำเข้า และผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต สำหรับปัญหาทดสอบ 5n_c107 มีดังนี้

5.2.1.1 ข้อมูลนำเข้า

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 5n_c107

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
0	0	0	(40,50)
1	30	30	(22,75)
2	200	20	(38,68)
3	412	40	(20,85)
4	572	20	(40,69)
5	597	20	(25,85)
ระยะเวลารับประกัน			180

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าข้อมูลนำเข้ามีสินค้าที่จะต้องจัดส่งรวม 5 ชิ้น โดยข้อมูลของสินค้าชิ้นที่ 0 ในตาราง คือข้อมูลของท่ารถซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่จุด (40,50) และสินค้าชิ้นที่ 1 เข้าสู่ระบบในวินาทีที่ 30 มีปริมาตร 30 ลูกบาศก์หน่วย และต้องขนส่งไปยังจุดรับสินค้าที่ตำแหน่ง (22,75) สำหรับรายละเอียดของสินค้า

ชิ้นอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 5.1 โดยสินค้าทุกชิ้นต้องถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน คือ 180 วินาที

5.2.1.2 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
################## Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]         = 179.19
--> service cust[1]           = 1
--> total_service_cust        = 1
--> distance[1]               = 61.61
--> total_distance            = 61.61
--> Time at Depot             = 240.81
--> answer_cap[1]             = 30.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       1       30.00   210.00  210.00  0.00

################## Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2]         = 361.89
--> service cust[2]           = 1
--> total_service_cust        = 2
--> distance[2]               = 36.22
--> total_distance            = 97.83
--> Time at Depot             = 398.11
--> answer_cap[2]             = 20.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       2       200.00  380.00  380.00  0.00

################## Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]         = 551.69
--> service cust[3]           = 1
--> total_service_cust        = 3
--> distance[3]               = 80.62
--> total_distance            = 178.46
--> Time at Depot             = 632.31
--> answer_cap[3]             = 40.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       3       412.00  592.00  592.00  0.00

################## Answer Route No [4] ####################
--> Departure Time[4]  = 733.00
--> service cust[4]           = 2
--> total_service_cust        = 5
--> distance[4]               = 79.01
--> total_distance            = 257.47
--> Time at Depot             = 812.01
--> answer_cap[4]             = 40.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       4       572.00  752.00  752.00  0.00
2       5       597.00  773.93  777.00  3.07
```

รูปที่ 5.2 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 5n_c107

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 4 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 179.00 เพื่อจัดส่ง

สินค้าชิ้นที่ 1 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 1 ในเวลา 210.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 240.81

สำหรับเส้นทางที่ 2 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 361.89 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 2 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 2 ในเวลา 380 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 398.11

สำหรับเส้นทางที่ 3 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 551.69 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 3 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 3 ในเวลา 592 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 632.31

และสุดท้ายเส้นทางที่ 4 เริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 733.00 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 4 และ 5 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 4 ในเวลา 752.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 5 ในเวลา 773.93 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 812.01 ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 257.47 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.2.1.3 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 5 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
5n_C107	257.47	257.47	0.00
5n_C109	152.62	162.89	6.73
5n_C201	292.31	292.31	0.00
5n_C205	218.92	218.92	0.00
5n_C208	158.00	158.00	0.00
5n_R205	130.13	130.13	0.00
5n_RC201	237.39	237.39	0.00
5n_RC206	199.83	199.83	0.00
เฉลี่ย			0.84

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.84% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มี

ค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งเท่ากับขอบเขตล่าง 7 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

5.2.2 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 6 ชิ้น

เบื้องต้นได้ทำการสร้างข้อมูลนำเข้า คือ ปัญหาที่มีสินค้าที่ต้องทำการจัดส่ง 6 ชิ้น จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่ใช้เพื่อหาขอบเขตล่าง โดยทำการแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 98.70 วินาทีโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบทั้ง 8 ปัญหาโดยใช้ฮิวริสติก ซึ่งผลการสร้างข้อมูลนำเข้า และผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต สำหรับปัญหาทดสอบ 6n_c107 มีดังนี้

5.2.2.1 ข้อมูลนำเข้า

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 6n_c107

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
0	0	0	(40,50)
1	15	10	(42,65)
2	16	10	(42,66)
3	107	40	(25,52)
4	294	10	(35,66)
5	572	20	(40,69)
6	850	20	(30,52)
ระยะเวลารับประกัน			180

จากตารางที่ 5.3 จะเห็นว่าข้อมูลนำเข้ามีสินค้าที่จะต้องจัดส่งรวม 6 ชิ้น โดยข้อมูลของสินค้าชิ้นที่ 0 ในตาราง คือข้อมูลของท่ารถซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่จุด (40,50) และสินค้าชิ้นที่ 1 เข้าสู่ระบบในวินาทีที่ 15 มีปริมาตร 10 ลูกบาศก์หน่วย และต้องขนส่งไปยังจุดรับสินค้าที่ตำแหน่ง (42,65) สำหรับรายละเอียดของสินค้าชิ้นอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 5.3 โดยสินค้าทุกชิ้นต้องถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน คือ 180 วินาที

5.2.2.2 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
################## Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]         = 179.87
--> service cust[1]           = 3
--> total_service_cust        = 3
--> distance[1]               = 53.29
--> total_distance            = 53.29
--> Time at Depot             = 233.16
--> answer_cap[1]             = 60.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       1       15.00   195.00  195.00  0.00
2       2       16.00   196.00  196.00  0.00
3       3       107.00  218.02  287.00  68.98


################## Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2]         = 457.24
--> service cust[2]           = 1
--> total_service_cust        = 4
--> distance[2]               = 33.53
--> total_distance            = 86.81
--> Time at Depot             = 490.76
--> answer_cap[2]             = 10.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       4       294.00  474.00  474.00  0.00


################## Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]         = 733.00
--> service cust[3]           = 1
--> total_service_cust        = 5
--> distance[3]               = 38.00
--> total_distance            = 124.82
--> Time at Depot             = 771.00
--> answer_cap[3]             = 20.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       5       572.00  752.00  752.00  0.00


################## Answer Route No [4] ####################
--> Departure Time[4]         = 1019.80
--> service cust[4]           = 1
--> total_service_cust        = 6
--> distance[4]               = 20.40
--> total_distance            = 145.21
--> Time at Depot             = 1040.20
--> answer_cap[4]             = 20.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       6       850.00  1030.00 1030.00  0.00
```

รูปที่ 5.3 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 6n_c107

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 4 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 179.87 เพื่อจัดส่ง

สินค้าชิ้นที่ 1 2 และ 3 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 1 ในเวลา 195.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 2 ในเวลา 196.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 3 ในเวลา 218.02แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 233.16

สำหรับเส้นทางที่ 2 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 457.24 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 4 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 4 ในเวลา 474.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 490.76

สำหรับเส้นทางที่ 3 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 1019.80 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 5 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 5 ในเวลา 752 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 771.00

และสุดท้ายสำหรับเส้นทางที่ 4 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 733.00 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 6 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 6 ในเวลา 1030.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 1040.20 ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 145.21 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.2.2.3 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 6 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
6n_C107	145.21	145.21	0.00
6n_C109	104.39	104.39	0.00
6n_C201	244.02	244.02	0.00
6n_C205	216.17	216.17	0.00
6n_C208	187.51	187.51	0.00
6n_R205	230.46	230.46	0.00
6n_RC201	407.85	407.85	0.00
6n_RC206	371.11	375.98	1.31
เฉลี่ย			0.16

จากตารางที่ 5.4 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามี

ความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.16% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มีค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งเท่ากับขอบเขตล่าง 7 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

5.2.3 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 7 ชิ้น

เบื้องต้นได้ทำการสร้างข้อมูลนำเข้า คือ ปัญหาที่มีสินค้าที่ต้องทำการจัดส่ง 7 ชิ้น จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่ใช้เพื่อหาขอบเขตล่าง โดยทำการแปลงปัญหาให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 1067.65 วินาทีโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบทั้ง 8 ปัญหาโดยใช้ฮิวริสติก ซึ่งผลการสร้างข้อมูลนำเข้า และผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต สำหรับปัญหาทดสอบ 7n_c107 มีดังนี้

5.2.3.1 ข้อมูลนำเข้า

ตารางที่ 5.5 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 7n_c107

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
0	0	0	(40,50)
1	15	10	(25,50)
2	107	40	(25,52)
3	317	40	(20,80)
4	480	10	(38,70)
5	572	20	(40,69)
6	665	10	(42,68)
7	850	10	(45,68)
ระยะเวลารับประกัน			180

จากตารางที่ 5.5 จะเห็นว่าข้อมูลนำเข้ามีสินค้าที่จะต้องจัดส่งรวม 7 ชิ้น โดยข้อมูลของสินค้าชิ้นที่ 0 ในตาราง คือข้อมูลของท่ารถซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่จุด (40,50) และสินค้าชิ้นที่ 1 เข้าสู่ระบบในวินาทีที่ 15 มีปริมาตร 10 ลูกบาศก์หน่วย และต้องขนส่งไปยังจุดรับสินค้าที่ตำแหน่ง (25,50) สำหรับรายละเอียดของสินค้าชิ้นอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 5.5 โดยสินค้าทุกชิ้นต้องถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน คือ 180 วินาที

5.2.3.2 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
################## Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]         = 180.00
--> service cust[1]           = 2
--> total_service_cust        = 2
--> distance[1]               = 32.13
--> total_distance            = 32.13
--> Time at Depot             = 212.13
--> answer_cap[1]             = 50.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       1       15.00   195.00  195.00  0.00
2       2       107.00  197.00  287.00  90.00

################## Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2] = 460.94
--> service cust[2]           = 1
--> total_service_cust        = 3
--> distance[2]               = 72.11
--> total_distance            = 104.24
--> Time at Depot             = 533.06
--> answer_cap[2]             = 40.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       3       317.00  497.00  497.00  0.00

################## Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]         = 639.90
--> service cust[3]           = 2
--> total_service_cust        = 5
--> distance[3]               = 41.34
--> total_distance            = 145.58
--> Time at Depot             = 681.24
--> answer_cap[3]             = 30.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       4       480.00  660.00  660.00  0.00
2       5       572.00  662.24  752.00  89.76

################## Answer Route No [4] ####################
--> Departure Time[4]         = 826.89
--> service cust[4]           = 1
--> total_service_cust        = 6
--> distance[4]               = 36.22
--> total_distance            = 181.80
--> Time at Depot             = 863.11
--> answer_cap[4]             = 10.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       6       665.00  845.00  845.00  0.00

################## Answer Route No [5] ####################
--> Departure Time[5]         = 1011.32
--> service cust[5]           = 1
--> total_service_cust        = 7
--> distance[5]               = 37.36
--> total_distance            = 219.17
--> Time at Depot             = 1048.68
--> answer_cap[5]             = 10.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       7       850.00  1030.00 1030.00  0.00
```

รูปที่ 5.4 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 7n_c107

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 5 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 180.00 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 และ 2 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 1 ในเวลา 195.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 2 ในเวลา 197.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 212.13

สำหรับเส้นทางที่ 2 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 460.94 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 3 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 3 ในเวลา 497.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 533.06

สำหรับเส้นทางที่ 3 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 639.90 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 4 และ 5 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 4 ในเวลา 660.00 จากนั้นเดินทางไปยังจุดรับที่ 5 ในเวลา 752.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 681.24

สำหรับเส้นทางที่ 4 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 826.49 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 6 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 6 ในเวลา 845 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 863.11

และสุดท้ายสำหรับเส้นทางที่ 5 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 1011.32 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 7 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 7 ในเวลา 1030.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 1048.68 ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 219.17 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.2.3.3 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

จากตารางที่ 5.6 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.98% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มีค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งเท่ากับขอบเขตล่าง 7 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 7 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
7n_C107	219.17	219.17	0.00
7n_C109	149.81	161.55	7.84
7n_C201	314.01	314.01	0.00
7n_C205	308.08	308.08	0.00
7n_C208	227.45	227.45	0.00
7n_R205	239.47	239.47	0.00
7n_RC201	424.43	424.43	0.00
7n_RC206	316.01	316.01	0.00
เฉลี่ย			0.98

5.2.4 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 8 ชิ้น

เบื้องต้นได้ทำการสร้างข้อมูลนำเข้า คือ ปัญหาที่มีสินค้าที่ต้องทำการจัดส่ง 8 ชิ้น จากนั้นทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาที่ใช้เพื่อหาขอบเขตล่าง โดยทำการแปลงปัญหาให้อยู่ในแบบรูปจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด 15700.47 วินาทีโดยเฉลี่ย จากนั้นจึงทำการหาคำตอบของปัญหาทดสอบทั้ง 8 ปัญหาโดยใช้ฮิวริสติก ซึ่งผลการสร้างข้อมูลนำเข้า และผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต สำหรับปัญหาทดสอบ 8n_c107 มีดังนี้

5.2.4.1 ข้อมูลนำเข้า

จากตารางที่ 5.7 จะเห็นว่าข้อมูลนำเข้ามีสินค้าที่จะต้องจัดส่งรวม 7 ชิ้น โดยข้อมูลของสินค้าชิ้นที่ 0 ในตาราง คือข้อมูลของท่ารถซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่จุด (40,50) และสินค้าชิ้นที่ 1 เข้าสู่ระบบในวินาทีที่ 15 มีปริมาตร 10 ลูกบาศก์หน่วย และต้องขนส่งไปยังจุดรับสินค้าที่ตำแหน่ง (42,65) สำหรับรายละเอียดของสินค้าชิ้นอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 5.7 โดยสินค้าทุกชิ้นต้องถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน คือ 180 วินาที

ตารางที่ 5.7 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 8n_c107

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
0	0	0	(40,50)
1	15	10	(42,65)
2	15	10	(25,50)
3	16	10	(42,66)
4	107	40	(25,52)
5	294	10	(35,66)
6	572	20	(40,69)
7	758	30	(45,70)
8	850	20	(30,52)
ระยะเวลารับประกัน			180

5.2.4.2 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 4 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 154.98 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 2 3 และ 4 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 2 ในเวลา 169.98 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 4 ในเวลา 171.98 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 3 ในเวลา 194.0 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 1 ในเวลา 195.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 210.13

สำหรับเส้นทางที่ 2 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 457.24 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 5 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 5 ในเวลา 474.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 490.76

สำหรับเส้นทางที่ 3 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 733.00 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 6 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 6 ในเวลา 752.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 771.00

และสุดท้ายสำหรับเส้นทางที่ 4 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 917.38 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 7 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 7 ในเวลา 938.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 8 ในเวลา 961.43 แล้วเดินทางกลับมายังท่า

รถในเวลา 971.63 ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 180.93 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน สำหรับผลการทดสอบฮิวริสติก

```
################## Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]         = 154.98
--> service cust[1]           = 4
--> total_service_cust        = 4
--> distance[1]               = 55.16
--> total_distance            = 55.16
--> Time at Depot             = 210.13
--> answer_cap[1]             = 70.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       2       15.00   169.98  195.00  25.02
2       4       107.00  171.98  287.00  115.02
3       3       16.00   194.00  196.00  2.00
4       1       15.00   195.00  195.00  0.00

################## Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2]         = 457.24
--> service cust[2]           = 1
--> total_service_cust        = 5
--> distance[2]               = 33.53
--> total_distance            = 88.68
--> Time at Depot             = 490.76
--> answer_cap[2]             = 10.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       5       294.00  474.00  474.00  0.00

################## Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]         = 733.00
--> service cust[3]           = 1
--> total_service_cust        = 6
--> distance[3]               = 38.00
--> total_distance            = 126.68
--> Time at Depot             = 771.00
--> answer_cap[3]             = 20.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       6       572.00  752.00  752.00  0.00

################## Answer Route No [4] ####################
--> Departure Time[4]         = 917.38
--> service cust[4]           = 2
--> total_service_cust        = 8
--> distance[4]               = 54.24
--> total_distance            = 180.93
--> Time at Depot             = 971.63
--> answer_cap[4]             = 50.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       7       758.00  938.00  938.00  0.00
2       8       850.00  961.43  1030.00  68.57
```

รูปที่ 5.5 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 8n_c107

5.2.4.3 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

จากตารางที่ 5.8 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.16% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มีค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งเท่ากับขอบเขตล่าง 7 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 8 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
8n_C107	180.93	180.93	0.00
8n_C109	112.97	112.97	0.00
8n_C201	307.79	307.79	0.00
8n_C205	250.02	250.02	0.00
8n_C208	198.83	198.83	0.00
8n_R205	244.59	244.59	0.00
8n_RC201	478.66	478.66	0.00
8n_RC206	371.35	376.21	1.31
เฉลี่ย			0.16

5.2.5 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 25 ชิ้น

สำหรับปัญหาทดสอบที่มีจำนวนสินค้าที่จะต้องจัดส่งมากกว่า 8 จุดรับ จะใช้เวลาในการคำนวณที่ยาวนานมาก ทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาที่เป็นขอบเขตล่างได้ ดังนั้นจะทำการหาคำตอบโดยใช้ฮิวริสติกที่นำเสนอ แล้วเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับคำตอบของปัญหาที่ใช้เป็นขอบเขตล่างซึ่งหาคำตอบโดยใช้ฮิวริสติก GRASP-LB

ซึ่งข้อมูลนำเข้า และผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต สำหรับปัญหาทดสอบ 25n_c107 มีดังนี้

5.2.5.1 ข้อมูลนำเข้า

ตารางที่ 5.9 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 25n_c107

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
0	0	0	(40,50)
1	10	10	(30,50)
2	15	10	(42,65)
3	15	10	(25,50)
4	16	10	(42,66)
5	30	30	(22,75)
6	34	20	(18,75)
7	107	40	(25,52)
8	108	20	(40,66)
9	127	20	(15,75)
10	200	20	(38,68)
11	222	10	(15,80)
12	294	10	(35,66)
13	317	40	(20,80)
14	387	10	(35,69)
15	412	40	(20,85)
16	480	10	(38,70)
17	504	10	(22,85)
18	572	20	(40,69)
19	597	20	(25,85)
20	665	10	(42,68)
21	665	10	(28,55)
22	758	30	(45,70)
23	758	20	(28,52)
24	850	10	(45,68)
25	850	20	(30,52)

จากตารางที่ 5.9 จะเห็นว่าข้อมูลนำเข้ามีสินค้าที่จะต้องจัดส่งรวม 25 ชิ้น โดยข้อมูลของสินค้าชิ้นที่ 0 ในตาราง คือข้อมูลของท่ารถซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่จุด (40,50) และสินค้าชิ้นที่ 1 เข้าสู่ระบบในวินาทีที่ 10 มีปริมาตร 10 ลูกบาศก์หน่วย และต้องขนส่งไปยังจุดรับสินค้าที่ตำแหน่ง (30,50) สำหรับรายละเอียดของสินค้าชิ้นอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 5.9 โดยสินค้าทุกชิ้นต้องถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน คือ 180 วินาที

5.2.5.2 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
################### Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]          = 126.83
--> service cust[1]            = 8
--> total_service_cust         = 8
--> distance[1]                = 83.30
--> total_distance             = 83.30
--> Time at Depot              = 210.13
--> answer_cap[1]              = 150.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       1       10.00   136.83  190.00          53.17
2       3       15.00   141.83  195.00          53.17
3       7       107.00  143.83  287.00          143.17
4       6       34.00   167.88  214.00          46.12
5       5       30.00   171.88  210.00          38.12
6       8       108.00  192.00  288.00          96.00
7       4       16.00   194.00  196.00          2.00
8       2       15.00   195.00  195.00          0.00


################### Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2]          = 271.64
--> service cust[2]            = 3
--> total_service_cust         = 11
--> distance[2]                = 84.41
--> total_distance             = 167.71
--> Time at Depot              = 356.05
--> answer_cap[2]              = 50.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       9       127.00  307.00  307.00          0.00
2       11      222.00  312.00  402.00          90.00
3       10      200.00  337.94  380.00          42.06


################### Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]          = 450.31
--> service cust[3]            = 4
--> total_service_cust         = 15
--> distance[3]                = 82.75
--> total_distance             = 250.46
--> Time at Depot              = 533.06
--> answer_cap[3]              = 100.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       12      294.00  467.07  474.00          6.93
2       14      387.00  470.07  567.00          96.93
3       15      412.00  492.00  592.00          100.00
4       13      317.00  497.00  497.00          0.00
```

รูปที่ 5.6ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 1

```
################## Answer Route No [4] ####################
--> Departure Time[4]         = 638.76
--> service cust[4]           = 4
--> total_service_cust        = 19
--> distance[4]               = 83.44
--> total_distance            = 333.90
--> Time at Depot             = 722.21
--> answer_cap[4]             = 60.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       18      572.00  657.76  752.00          94.24
2       16      480.00  660.00  660.00          0.00
3       19      597.00  679.85  777.00          97.15
4       17      504.00  682.85  684.00          1.15


################## Answer Route No [5] ####################
--> Departure Time[5]         = 810.73
--> service cust[5]           = 4
--> total_service_cust        = 23
--> distance[5]               = 58.49
--> total_distance            = 392.39
--> Time at Depot             = 869.22
--> answer_cap[5]             = 70.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       23      758.00  822.89  938.00          115.11
2       21      665.00  825.89  845.00          19.11
3       20      665.00  845.00  845.00          0.00
4       22      758.00  848.61  938.00          89.39


################## Answer Route No [6] ####################
--> Departure Time[6]         = 997.87
--> service cust[6]           = 2
--> total_service_cust        = 25
--> distance[6]               = 50.81
--> total_distance            = 443.21
--> Time at Depot             = 1048.68
--> answer_cap[6]             = 30.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       25      850.00  1008.07 1030.00         21.93
2       24      850.00  1030.00 1030.00         0.00
```

รูปที่ 5.6ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 2

จากรูปที่ 5.6ก และ 5.6 ข จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 6 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 126.83 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 3 7 6 5 8 4 และ 2 ตามลำดับ แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 210.13 สำหรับรายละเอียดของเส้นทางการจัดส่งอื่นๆ แสดงดังในรูปที่ 5.6ก และรูปที่ 5.6ข ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 443.21 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน สำหรับผลการทดสอบฮิวริสติก

5.2.5.3 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.10 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP Single	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
25_C107	418.61	443.21	5.88
25_C109	243.38	243.67	0.12
25_C201	760.03	760.03	0.00
25_C205	519.73	519.73	0.00
25_C208	334.90	376.25	12.35
25_R205	591.44	686.03	15.99
25_RC201	1158.46	1430.36	23.47
25_RC206	626.00	844.96	34.98
เฉลี่ย			11.60

จากตารางที่ 5.10 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 11.60% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มีค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งโดยเฉลี่ย เท่ากับขอบเขตล่าง 2 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

5.2.6 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 50 ชิ้น

ข้อมูลนำเข้า และผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต สำหรับปัญหาทดสอบ 50n_c107 มีดังนี้

5.2.6.1 ข้อมูลนำเข้า

ตารางที่ 5.11 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 50_c107 ส่วนที่ 1

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
0	0	0	(40,50)
1	10	10	(30,50)

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
2	15	10	(42,65)
3	15	10	(25,50)
4	16	10	(42,66)
5	16	10	(33,35)
6	19	20	(33,32)
7	30	30	(22,75)
8	31	30	(10,40)
9	33	40	(8,40)
10	34	20	(18,75)
11	107	40	(25,52)
12	108	20	(40,66)
13	111	10	(35,32)
14	127	20	(15,75)
15	129	20	(10,35)
16	199	10	(23,52)
17	200	20	(38,68)
18	203	10	(35,30)
19	222	10	(15,80)
20	224	10	(5,35)
21	292	10	(20,50)
22	294	10	(35,66)
23	296	10	(32,30)
24	317	40	(20,80)
25	319	20	(2,40)
26	387	10	(35,69)
27	387	10	(20,55)
28	389	30	(30,32)
29	411	30	(0,40)
30	412	40	(20,85)
31	480	10	(38,70)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
32	480	20	(23,55)
33	481	10	(30,30)
34	504	10	(22,85)
35	506	20	(0,45)
36	572	20	(40,69)
37	572	10	(25,55)
38	573	10	(28,30)
39	597	20	(25,85)
40	601	10	(5,45)
41	665	10	(42,68)
42	665	10	(28,55)
43	694	20	(8,45)
44	758	30	(45,70)
45	758	20	(28,52)
46	758	10	(26,32)
47	850	10	(45,68)
48	850	20	(30,52)
49	944	10	(28,35)
50	947	10	(30,35)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 5.11 จะเห็นว่าข้อมูลนำเข้ามีสินค้าที่จะต้องจัดส่งรวม 50 ชิ้น โดยข้อมูลของสินค้าชิ้นที่ 0 ในตาราง คือข้อมูลของท่ารถซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่จุด (40,50) และสินค้าชิ้นที่ 1 เข้าสู่ระบบในวินาทีที่ 10 มีปริมาตร 10 ลูกบาศก์หน่วย และต้องขนส่งไปยังจุดรับสินค้าที่ตำแหน่ง (30,50) สำหรับรายละเอียดของสินค้าชิ้นอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 5.11 โดยสินค้าทุกชิ้นต้องถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน คือ 180 วินาที

5.2.6.2 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
#####################<< Answer Route No [1] >>#######################
--> Departure Time[1]         = 70.31
--> service cust[1]           = 10
--> total_service_cust        = 10
--> distance[1]               = 139.82
--> total_distance            = 139.82
--> Time at Depot             = 210.13
--> answer_cap[1]             = 190.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       1         10.00          80.31          190.00          109.69
2       3         15.00          85.31          195.00          109.69
3       5         16.00         102.32          196.00          93.69
4       6         19.00         105.32          199.00          93.69
5       8         31.00         129.67          211.00          81.33
6       9         33.00         131.67          213.00          81.33
7       10        34.00         168.07          214.00          45.93
8       7         30.00         172.07          210.00          37.93
9       4         16.00         194.00          196.00          2.00
10      2         15.00         195.00          195.00          0.00

#####################<< Answer Route No [2] >>#######################
--> Departure Time[2]         = 175.50
--> service cust[2]           = 5
--> total_service_cust        = 15
--> distance[2]               = 134.18
--> total_distance            = 274.00
--> Time at Depot             = 309.68
--> answer_cap[2]             = 110.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       12       108.00          191.50          288.00          96.50
2       14       127.00          218.07          307.00          88.93
3       11       107.00          243.15          287.00          43.85
4       15       129.00          265.82          309.00          43.18
5       13       111.00          291.00          291.00          0.00

#####################<< Answer Route No [3] >>#######################
--> Departure Time[3]         = 254.65
--> service cust[3]           = 5
--> total_service_cust        = 20
--> distance[3]               = 148.96
--> total_distance            = 422.96
--> Time at Depot             = 403.62
--> answer_cap[3]             = 60.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       17       200.00          272.76          380.00          107.24
2       19       222.00          298.71          402.00          103.29
3       16       199.00          327.83          379.00          51.17
4       20       224.00          352.59          404.00          51.41
5       18       203.00          383.00          383.00          0.00
```

รูปที่ 5.7ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 1

```
#####################<< Answer Route No [4] >>#######################
--> Departure Time[4]         = 356.51
--> service cust[4]           = 5
--> total_service_cust        = 25
--> distance[4]               = 141.04
--> total_distance            = 564.00
--> Time at Depot             = 497.54
--> answer_cap[4]             = 90.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       22       294.00          373.27          474.00         100.73
2       24       317.00          393.79          497.00         103.21
3       21       292.00          423.79          472.00         48.21
4       25       319.00          444.38          499.00         54.62
5       23       296.00          476.00          476.00         0.00

#####################<< Answer Route No [5] >>#######################
--> Departure Time[5]         = 441.37
--> service cust[5]           = 5
--> total_service_cust        = 30
--> distance[5]               = 148.22
--> total_distance            = 712.22
--> Time at Depot             = 589.59
--> answer_cap[5]             = 120.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       26       387.00          461.02          567.00         105.98
2       30       412.00          482.95          592.00         109.05
3       27       387.00          512.95          567.00         54.05
4       29       411.00          537.95          591.00         53.05
5       28       389.00          569.00          569.00         0.00

#####################<< Answer Route No [6] >>#######################
--> Departure Time[6]         = 530.33
--> service cust[6]           = 5
--> total_service_cust        = 35
--> distance[6]               = 153.03
--> total_distance            = 865.25
--> Time at Depot             = 683.36
--> answer_cap[6]             = 70.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       31       480.00          550.43          660.00         109.57
2       34       504.00          572.36          684.00         111.64
3       32       480.00          602.38          660.00         57.62
4       35       506.00          627.46          686.00         58.54
5       33       481.00          661.00          661.00         0.00

#####################<< Answer Route No [7] >>#######################
--> Departure Time[7]         = 632.25
--> service cust[7]           = 5
--> total_service_cust        = 40
--> distance[7]               = 144.08
--> total_distance            = 1009.32
--> Time at Depot             = 776.32
--> answer_cap[7]             = 70.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       36       572.00          651.25          752.00         100.75
2       39       597.00          673.18          777.00         103.82
3       37       572.00          703.18          752.00         48.82
4       40       601.00          725.54          781.00         55.46
5       38       573.00          753.00          753.00         0.00
```

รูปที่ 5.7ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 2

```
#####################<< Answer Route No [8] >>#######################
--> Departure Time[8]         = 801.67
--> service cust[8]           = 6
--> total_service_cust        = 46
--> distance[8]               = 112.53
--> total_distance            = 1121.85
--> Time at Depot             = 914.20
--> answer_cap[8]             = 100.00

=====================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=====================================================================
1       44       758.00          822.29          938.00         115.71
2       41       665.00          825.89          845.00         19.11
3       42       665.00          845.00          845.00         0.00
4       45       758.00          848.00          938.00         90.00
5       43       694.00          869.19          874.00         4.81
6       46       758.00          891.39          938.00         46.61

#####################<< Answer Route No [9] >>#######################
--> Departure Time[9]         = 989.39
--> service cust[9]           = 4
--> total_service_cust        = 50
--> distance[9]               = 77.76
--> total_distance            = 1199.61
--> Time at Depot             = 1067.15
--> answer_cap[9]             = 50.00
=====================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=====================================================================
1       47       850.00          1008.07         1030.00         21.93
2       48       850.00          1030.00         1030.00         0.00
3       49       944.00          1047.12         1124.00         76.88
4       50       947.00          1049.12         1127.00         77.88
```

รูปที่ 5.7ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 3

จากรูปที่ 5.7ก 5.7ข และ 5.7ค จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 9 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 70.31 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 3 5 8 9 10 7 4 และ 2 ตามลำดับ แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 210.13 สำหรับรายละเอียดของเส้นทางการจัดส่งอื่นๆ แสดงดังในรูปที่ 5.7ก 5.7ข และรูปที่ 5.7ค ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 1200.21 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.2.6.3 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP Single	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
50n_C107	996.42	1205.51	20.98
50n_C109	534.58	703.92	31.68
50n_C201	1587.98	1890.42	19.05
50n_C205	1013.87	1043.31	2.90
50n_C208	677.21	694.16	2.50
50n_R205	1054.30	1260.51	19.56
50n_RC201	2319.56	3338.48	43.93
50n_RC206	1245.57	1868.63	50.02
เฉลี่ย			23.83

จากตารางที่ 5.12 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 23.83% โดยปัญหาได้ความแตกต่างของคำตอบน้อยที่สุดคือ 50n_c208 ซึ่งมีความแตกต่างจากขอบเขตล่างอยู่ 2.50% และปัญหาที่ได้ความแตกต่างของคำตอบมากที่สุดคือ RC206 ซึ่งมีความแตกต่าง 50.02%

5.2.7 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 100 ชิ้น

ข้อมูลนำเข้า และผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต สำหรับปัญหาทดสอบ 100n_c107 มีดังนี้

5.2.7.1 ข้อมูลนำเข้า

ตารางที่ 5.13 ข้อมูลนำเข้าสำหรับปัญหาทดสอบที่ 100_c107 ส่วนที่ 1

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
0	0	0	(40,50)
1	10	10	(30,50)
2	12	10	(47,40)
3	13	10	(48,40)

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
4	15	10	(42,65)
5	15	10	(25,50)
6	16	10	(42,66)
7	16	10	(33,35)
8	19	20	(33,32)
9	20	10	(60,55)
10	25	20	(65,55)
11	30	30	(22,75)
12	30	20	(58,75)
13	31	30	(10,40)
14	33	40	(8,40)
15	34	20	(18,75)
16	35	40	(40,15)
17	36	10	(60,80)
18	37	10	(42,15)
19	47	30	(85,35)
20	50	20	(88,35)
21	105	50	(50,40)
22	107	40	(25,52)
23	108	20	(40,66)
24	111	10	(35,32)
25	116	10	(66,55)
26	127	20	(15,75)
27	128	30	(62,80)
28	129	20	(10,35)
29	132	40	(42,10)
30	142	10	(90,35)
31	199	10	(23,52)

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
32	200	20	(38,68)
33	200	20	(50,35)
34	203	10	(35,30)
35	212	10	(72,55)
36	221	10	(65,82)
37	222	10	(15,80)
38	224	10	(5,35)
39	227	20	(44,5)
40	237	20	(95,35)
41	292	10	(20,50)
42	293	50	(53,35)
43	294	10	(35,66)
44	296	10	(32,30)
45	305	20	(75,55)
46	315	20	(67,85)
47	317	40	(20,80)
48	319	20	(2,40)
49	321	30	(40,5)
50	332	30	(95,30)
51	387	10	(35,69)
52	387	10	(20,55)
53	388	10	(53,30)
54	389	30	(30,32)
55	401	20	(70,58)
56	407	40	(65,85)
57	411	30	(0,40)
58	412	40	(20,85)
59	413	30	(38,5)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
60	425	10	(92,30)
61	480	10	(38,70)
62	480	20	(23,55)
63	481	10	(30,30)
64	481	10	(50,30)
65	494	30	(68,60)
66	502	30	(60,85)
67	504	10	(22,85)
68	506	20	(0,45)
69	506	20	(35,5)
70	519	10	(88,30)
71	572	20	(40,69)
72	572	10	(25,55)
73	573	10	(28,30)
74	573	10	(48,30)
75	587	30	(65,60)
76	597	20	(25,85)
77	597	20	(55,85)
78	601	10	(5,45)
79	606	10	(38,15)
80	610	10	(87,30)
81	665	10	(42,68)
82	665	10	(28,55)
83	666	10	(25,30)
84	666	10	(45,30)
85	680	10	(63,58)
86	692	10	(55,80)
87	694	20	(8,45)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สินค้าชิ้นที่	เวลาที่เข้าระบบ	ปริมาตร	จุดรับสินค้า
88	705	10	(85,25)
89	758	30	(45,70)
90	758	20	(28,52)
91	758	10	(26,32)
92	761	10	(47,35)
93	773	10	(60,60)
94	850	10	(45,68)
95	850	20	(30,52)
96	851	10	(25,35)
97	853	10	(45,35)
98	943	20	(45,65)
99	944	10	(28,35)
100	947	10	(30,35)
88	705	10	(85,25)
89	758	30	(45,70)
90	758	20	(28,52)
91	758	10	(26,32)
92	761	10	(47,35)
93	773	10	(60,60)
94	850	10	(45,68)
95	850	20	(30,52)
96	851	10	(25,35)
97	853	10	(45,35)
98	943	20	(45,65)
99	944	10	(28,35)
100	947	10	(30,35)

จากตารางที่ 5.13 จะเห็นว่าข้อมูลนำเข้ามีสินค้าที่จะต้องจัดส่งรวม 50 ชิ้น โดยข้อมูลของสินค้าชิ้นที่ 0 ในตาราง คือข้อมูลของท่ารถซึ่งมีตำแหน่งอยู่ที่จุด

(40,50) และสินค้าชิ้นที่ 1 เข้าสู่ระบบในวินาทีที่ 10 มีปริมาตร 10 ลูกบาศก์หน่วย และต้องขนส่งไปยังจุดรับสินค้าที่ตำแหน่ง (30,50) สำหรับรายละเอียดของสินค้าชิ้นอื่นๆ แสดงดังในตารางที่ 5.13 โดยสินค้าทุกชิ้นต้องถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน คือ 180 วินาที

5.2.7.2 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
#####################<< Answer Route No [1] >>#######################
--> Departure Time[1]         = 30.00
--> service cust[1]           = 10
--> total_service_cust        = 10
--> distance[1]               = 117.02
--> total_distance            = 117.02
--> Time at Depot             = 147.02
--> answer_cap[1]             = 120.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       1         10.00           40.00          190.00         150.00
2       5         15.00           45.00          195.00         150.00
3       7         16.00           62.00          196.00         134.00
4       8         19.00           65.00          199.00         134.00
5       2         12.00           81.13          192.00         110.88
6       3         13.00           82.13          193.00         110.88
7       10        25.00          104.80          205.00         100.20
8       9         20.00          109.80          200.00         90.20
9       6         16.00          130.89          196.00         65.11
10      4         15.00          131.89          195.00         63.11

#####################<< Answer Route No [2] >>#######################
--> Departure Time[2]         = 47.00
--> service cust[2]           = 8
--> total_service_cust        = 18
--> distance[2]               = 193.03
--> total_distance            = 310.05
--> Time at Depot             = 240.03
--> answer_cap[2]             = 200.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       12        30.00           77.81          210.00         132.19
2       17        36.00           83.19          216.00         132.81
3       11        30.00          121.52          210.00         88.48
4       15        34.00          125.52          214.00         88.48
5       14        33.00          161.92          213.00         51.08
6       13        31.00          163.92          211.00         47.08
7       16        35.00          202.97          215.00         12.03
8       18        37.00          204.97          217.00         12.03

#####################<< Answer Route No [3] >>#######################
--> Departure Time[3]         = 127.00
--> service cust[3]           = 7
--> total_service_cust        = 25
--> distance[3]               = 166.81
--> total_distance            = 476.87
--> Time at Depot             = 293.81
--> answer_cap[3]             = 180.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
```

รูปที่ 5.8ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 1

```
1       22      107.00          142.13          287.00          144.87
2       24      111.00          164.49          291.00          126.51
3       21      105.00          181.49          285.00          103.51
4       19       47.00          216.85          227.00          10.15
5       20       50.00          219.85          230.00          10.15
6       25      116.00          249.58          296.00          46.42
7       23      108.00          277.81          288.00          10.19

######################<< Answer Route No [4] >>#######################
--> Departure Time[4]          = 142.00
--> service cust[4]            = 4
--> total_service_cust         = 29
--> distance[4]                = 205.44
--> total_distance             = 682.30
--> Time at Depot              = 347.44
--> answer_cap[4]              = 110.00
==================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
==================================================================
1       27      128.00          179.20          308.00          128.80
2       26      127.00          226.47          307.00          80.53
3       28      129.00          266.78          309.00          42.22
4       29      132.00          307.39          312.00          4.61

######################<< Answer Route No [5] >>#######################
--> Departure Time[5]          = 219.64
--> service cust[5]            = 6
--> total_service_cust         = 35
--> distance[5]                = 178.78
--> total_distance             = 861.08
--> Time at Depot              = 398.43
--> answer_cap[5]              = 80.00
==================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
==================================================================
1       31      199.00          236.76          379.00          142.24
2       32      200.00          258.69          380.00          121.31
3       35      212.00          295.09          392.00          96.91
4       30      142.00          322.00          322.00          0.00
5       33      200.00          362.00          380.00          18.00
6       34      203.00          377.81          383.00          5.19

######################<< Answer Route No [6] >>#######################
--> Departure Time[6]          = 227.00
--> service cust[6]            = 3
--> total_service_cust         = 38
--> distance[6]                = 174.82
--> total_distance             = 1035.91
--> Time at Depot              = 401.82
--> answer_cap[6]              = 30.00
==================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
==================================================================
1       36      221.00          267.61          401.00          133.39
2       37      222.00          317.65          402.00          84.35
3       38      224.00          363.75          404.00          40.25

######################<< Answer Route No [7] >>#######################
--> Departure Time[7]          = 292.01
--> service cust[7]            = 2
--> total_service_cust         = 40
--> distance[7]                = 161.36
--> total_distance             = 1197.26
--> Time at Depot              = 453.37
--> answer_cap[7]              = 40.00
==================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
==================================================================
1       39      227.00          337.19          407.00          69.81
2       40      237.00          396.36          417.00          20.64
```

รูปที่ 5.8ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 2

```
#####################<< Answer Route No [8] >>#######################
--> Departure Time[8]         = 315.02
--> service cust[8]           = 5
--> total_service_cust        = 45
--> distance[8]               = 148.69
--> total_distance            = 1345.96
--> Time at Depot             = 463.71
--> answer_cap[8]             = 100.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       43       294.00          331.78          474.00         142.22
2       41       292.00          353.71          472.00         118.29
3       44       296.00          377.04          476.00         98.96
4       42       293.00          398.62          473.00         74.38
5       45       305.00          428.35          485.00         56.65

#####################<< Answer Route No [9] >>#######################
--> Departure Time[9]         = 321.00
--> service cust[9]           = 3
--> total_service_cust        = 48
--> distance[9]               = 174.63
--> total_distance            = 1520.58
--> Time at Depot             = 495.63
--> answer_cap[9]             = 80.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       48       319.00          360.29          499.00         138.71
2       47       317.00          404.16          497.00         92.84
3       46       315.00          451.42          495.00         43.58

#####################<< Answer Route No [10] >>#######################
--> Departure Time[10]                = 387.00
--> service cust[10]          = 2
--> total_service_cust        = 50
--> distance[10]              = 163.94
--> total_distance            = 1684.52
--> Time at Depot             = 550.94
--> answer_cap[10]            = 60.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       49       321.00          432.00          501.00         69.00
2       50       332.00          492.42          512.00         19.58

#####################<< Answer Route No [11] >>#######################
--> Departure Time[11]                = 410.56
--> service cust[11]          = 6
--> total_service_cust        = 56
--> distance[11]              = 179.03
--> total_distance            = 1863.55
--> Time at Depot             = 589.59
--> answer_cap[11]            = 120.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       52       387.00          431.18          567.00         135.82
2       51       387.00          451.70          567.00         115.30
3       56       407.00          485.70          587.00         101.30
4       55       401.00          513.16          581.00         67.84
5       53       388.00          545.91          568.00         22.09
6       54       389.00          569.00          569.00         0.00

#####################<< Answer Route No [12] >>#######################
--> Departure Time[12]                = 425.00
--> service cust[12]          = 3
--> total_service_cust        = 59
--> distance[12]              = 186.26
--> total_distance            = 2049.81
--> Time at Depot             = 611.26
--> answer_cap[12]            = 100.00
```

รูปที่ 5.8ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 3

```
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       58       412.00          465.31          592.00         126.69
2       57       411.00          514.55          591.00         76.45
3       59       413.00          566.22          593.00         26.78

######################<< Answer Route No [13] >>#######################
--> Departure Time[13]                  = 494.00
--> service cust[13]            = 5
--> total_service_cust          = 64
--> distance[13]                = 184.99
--> total_distance              = 2234.80
--> Time at Depot               = 678.99
--> answer_cap[13]              = 60.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       60       425.00          549.71          605.00         55.29
2       64       481.00          591.71          661.00         69.29
3       63       481.00          611.71          661.00         49.29
4       62       480.00          637.68          660.00         22.32
5       61       480.00          658.89          660.00         1.11

######################<< Answer Route No [14] >>#######################
--> Departure Time[14]                  = 506.00
--> service cust[14]            = 3
--> total_service_cust          = 67
--> distance[14]                = 133.34
--> total_distance              = 2368.14
--> Time at Depot               = 639.34
--> answer_cap[14]              = 70.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       65       494.00          535.73          674.00         138.27
2       66       502.00          561.98          682.00         120.02
3       67       504.00          599.98          684.00         84.02

######################<< Answer Route No [15] >>#######################
--> Departure Time[15]                  = 546.94
--> service cust[15]            = 3
--> total_service_cust          = 70
--> distance[15]                = 204.06
--> total_distance              = 2572.20
--> Time at Depot               = 751.00
--> answer_cap[15]              = 50.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       68       506.00          587.25          686.00         98.75
2       69       506.00          640.40          686.00         45.60
3       70       519.00          699.00          699.00         0.00

######################<< Answer Route No [16] >>#######################
--> Departure Time[16]                  = 600.90
--> service cust[16]            = 7
--> total_service_cust          = 77
--> distance[16]                = 193.02
--> total_distance              = 2765.22
--> Time at Depot               = 793.93
--> answer_cap[16]              = 120.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       74       573.00          622.44          753.00         130.56
2       73       573.00          642.44          753.00         110.56
3       72       572.00          667.62          752.00         84.38
4       71       572.00          688.14          752.00         63.86
5       76       597.00          710.07          777.00         66.93
6       77       597.00          740.07          777.00         36.93
7       75       587.00          767.00          767.00         0.00
```

รูปที่ 5.8ง ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 4

```
#####################<< Answer Route No [17] >>#######################
--> Departure Time[17]                = 658.80
--> service cust[17]          = 3
--> total_service_cust        = 80
--> distance[17]              = 182.28
--> total_distance            = 2947.50
--> Time at Depot             = 841.08
--> answer_cap[17]            = 30.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       78       601.00          694.16          781.00         86.84
2       79       606.00          738.76          786.00         47.25
3       80       610.00          790.00          790.00         0.00

#####################<< Answer Route No [18] >>#######################
--> Departure Time[18]                = 705.00
--> service cust[18]          = 7
--> total_service_cust        = 87
--> distance[18]              = 170.21
--> total_distance            = 3117.70
--> Time at Depot             = 875.21
--> answer_cap[18]            = 80.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       84       666.00          725.62          846.00         120.38
2       83       666.00          745.62          846.00         100.38
3       87       694.00          768.29          874.00         105.71
4       82       665.00          790.65          845.00         54.35
5       81       665.00          809.75          845.00         35.25
6       86       692.00          827.45          872.00         44.55
7       85       680.00          850.86          860.00         9.14

#####################<< Answer Route No [19] >>#######################
--> Departure Time[19]                = 784.19
--> service cust[19]          = 6
--> total_service_cust        = 93
--> distance[19]              = 174.43
--> total_distance            = 3292.13
--> Time at Depot             = 958.62
--> answer_cap[19]            = 90.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       90       758.00          796.35          938.00         141.65
2       91       758.00          816.45          938.00         121.55
3       92       761.00          837.67          941.00         103.33
4       88       705.00          876.96          885.00         8.04
5       93       773.00          919.97          953.00         33.03
6       89       758.00          938.00          938.00         0.00

#####################<< Answer Route No [20] >>#######################
--> Departure Time[20]                = 954.54
--> service cust[20]          = 7
--> total_service_cust        = 100
--> distance[20]              = 94.27
--> total_distance            = 3386.41
--> Time at Depot             = 1048.81
--> answer_cap[20]            = 90.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       97       853.00          970.35         1033.00         62.65
2       100      947.00          985.35         1127.00         141.65
3       99       944.00          987.35         1124.00         136.65
4       96       851.00          990.35         1031.00         40.65
5       95       850.00         1008.07         1030.00         21.93
6       94       850.00         1030.00         1030.00         0.00
7       98       943.00         1033.00         1123.00         90.00
```

รูปที่ 5.8จ ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 5

จากรูปที่ 5.8ก ถึง 5.8จ จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 20 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 30.00 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 3 5 6 8 9 10 7 4 และ 2 ตามลำดับ แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 147.02 สำหรับรายละเอียดของเส้นทางการจัดส่งอื่นๆ แสดงดังในรูปที่ 5.8ก ถึง 5.7ฉ ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 3486.41 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.2.7.3 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.14 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 100 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP Single	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
100n_C107	2300.72	3463.58	50.54
100n_C109	1221.85	2416.88	97.80
100n_C201	3681.27	5158.51	40.13
100n_C205	2282.63	2596.11	13.73
100n_C208	1243.90	1290.05	3.71
100n_R205	1527.65	1995.19	30.61
100n_RC201	3263.37	4684.71	43.55
100n_RC206	2019.10	2943.63	45.79
เฉลี่ย			40.73

จากตารางที่ 5.14 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 40.73% โดยปัญหาได้ความแตกต่างของคำตอบน้อยที่สุดคือ 50n_c208 ซึ่งมีความแตกต่างจากขอบเขตล่างอยู่ 3.71% และปัญหาที่ได้ความแตกต่างของคำตอบมากที่สุดคือ C109 ซึ่งมีความแตกต่าง 97.80%

จากผลการทดสอบพบว่าระยะทางในการจัดส่งที่ได้ จากฮิวริสติกที่นำเสนอ มีค่าความแตกต่างของคำตอบจากขอบเขตล่างโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.84, 0.16 0.98 และ 0.16 สำหรับปัญหาขนาดเล็กคือ 5จุดรับ 6 จุดรับ 7 จุดรับ และ 8 จุดรับตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันมาก และสำหรับปัญหาขนาดใหญ่มีค่าความแตกต่างจากขอบเขตล่างโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 11.60, 23.83 และ 40.72 สำหรับปัญหาขนาด 25 50 และ 100 จุดรับตามลำดับ ซึ่งความแตกต่างนี้ส่วนหนึ่งจะมาจากการที่

ขอบเขตล่าง นั้นเป็นคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาแบบ Static และทราบข้อมูลล่วงหน้า ซึ่งแตกต่างจากปัญหาจริงที่ใช้ทดสอบซึ่งมีความเป็นพลวัต และอีกส่วนหนึ่งมาจากข้อจำกัดของกระบวนการกำหนดเส้นทางเดินรถซึ่งจะมีการพิจารณาโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป

5.3 การปรับปรุงกระบวนการหาคำตอบ

ประเด็นหนึ่งที่มีความน่าสนใจคือ ในบางปัญหาซึ่งมีค่าของระยะทางในการจัดส่งที่แตกต่างจากขอบเขตล่าง สูงมากเป็นพิเศษ ซึ่งเมื่อพิจารณาโดยละเอียดแล้วพบว่า คำตอบที่ได้ของขอบเขตล่าง จุดรับสินค้าจะมีการจัดลงในรถแบบข้ามลำดับได้ ซึ่งในฮิวริสติกที่นำเสนอนั้นจะทำการจัดจุดรับสินค้าครั้งละ 1 เส้นทาง ซึ่งเป็นการจัดแบ่งจุดรับสินค้าให้จัดส่งโดยรถตามลำดับ คือ จุดรับสินค้าที่ข้อมูลเข้ามาในระบบช้ากว่า จะไม่สามารถถูกจัดส่งโดยรถคันที่ออกเดินทางก่อนหน้ารถคันที่จัดส่งจุดรับสินค้าที่เข้ามาในระบบก่อนหน้าได้

โดยถ้ารถคันหนึ่ง มีสินค้าที่จะต้องจัดส่ง N ชิ้น สินค้าทั้ง N ชิ้นจะต้องเป็นสินค้าที่มีข้อมูลเข้ามาในระบบต่อเนื่องกัน N ชิ้น ตัวอย่างเช่น มีข้อมูลสินค้าเข้ามาในระบบ 7 ชิ้นคือ A B C D E F G ตามลำดับ การจัดจุดรับสินค้าลงในเส้นทางครั้งละหนึ่งเส้นทางสามารถ สร้างเส้นทางที่ A B C D สามารถถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกันได้ แต่จะไม่สามารถสร้างเส้นทางที่ A B DE ถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกัน นั่นคือสินค้าที่ถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกันจะข้ามลำดับไม่ได้ ซึ่งจะเป็นการปิดกั้นโอกาสในการได้เส้นทางการจัดส่งที่ดี

ตัวอย่างของกรณีที่การจัดจุดรับสินค้าลงเส้นทางแบบข้ามลำดับได้ เช่น ในเส้นทางเดิมมีจุดรับสินค้าอยู่ 4 ชิ้นคือ A B C D ซึ่งมีปริมาตรของสินค้ารวมกัน 16 หน่วย โดยรถมีปริมาตร 20 หน่วย ต่อมามีข้อมูล E เข้ามาในระบบซึ่งมีปริมาตร 6 หน่วย และถัดมามี F เข้ามาในระบบซึ่งมีปริมาตร 2 หน่วย

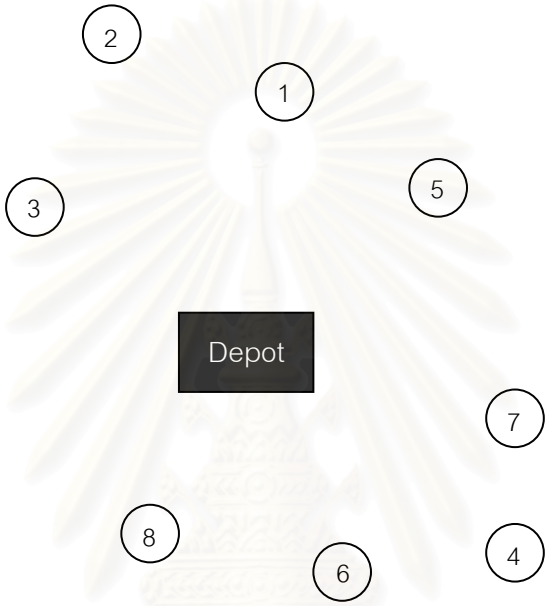
หากใช้การจัดเส้นทางครั้งละ 1 เส้นทาง เมื่อ E เข้ามาในระบบ จะทดลองแทรกจุดรับสินค้า E ลงในเส้นทางเดิม จะพบว่าไม่สามารถแทรกได้สำเร็จ ทำให้ต้องตัดสินใจสั่งออกรถไปส่งสินค้า A B C D โดยที่ยังเหลือปริมาตรอีก 4 หน่วย ซึ่งถ้ายอมให้เส้นทางพร้อมกันครั้งละมากกว่าหนึ่งเส้นทาง เมื่อเราแทรก E ลงในเส้นทางที่ 1 ซึ่งมี A B C D อยู่ในเส้นทางไม่สำเร็จ จะเส้นทางใหม่สำหรับ E เป็นเส้นทางที่ 2 โดยถ้าเส้นทางที่ 1 นั้นยังมีเวลารอก่อนส่งที่มากกว่า 0 เรายังสามารถรอข้อมูลสินค้าที่จะเข้ามาเพิ่มได้อีก ซึ่งถ้า F เข้ามาในระบบภายในช่วงเวลารอก่อนส่งของเส้นทางที่ 1 จะมีโอกาสที่จะแทรก F เข้าไปในเส้นทางที่ 1 ได้ ซึ่งมีโอกาสทำให้ได้ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ดีกว่า หรือในบางกรณีการที่การจัดแบ่งจุดรับสินค้าลงในเส้นทางตามลำดับ จะให้ระยะทางรวมในการเดินทาง มากกว่าการที่ยอมให้มีการข้ามลำดับได้

ตัวอย่างเช่น ตำแหน่งของจุดรับสินค้าที่ข้อมูลเข้ามาในระบบลำดับที่ 1 ถึง 8 เป็นดังเช่นในรูปที่ 5.9 ซึ่งหากใช้การจัดเส้นทางครั้งละ 1 เส้นทางจะได้เส้นทางในการจัดส่งสินค้าดังนี้คือ

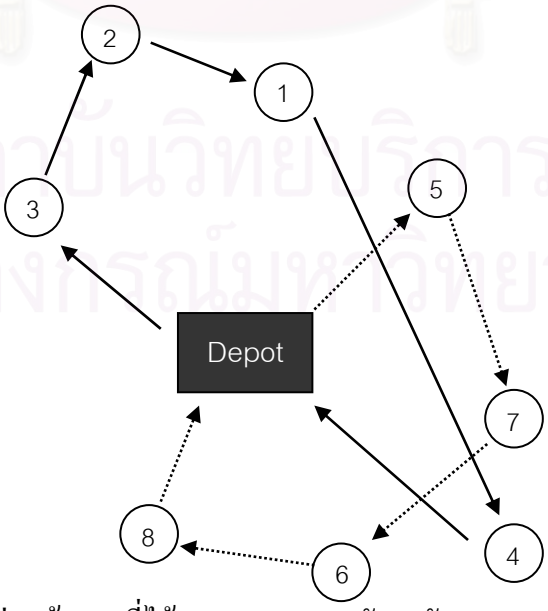
เส้นทางที่ 1 : Depot → 3 → 2 → 1 → 4 → Depot

เส้นทางที่ 2 : Depot → 5 → 7 → 6 → 8 → Depot

โดยเส้นทางการจัดส่งสินค้าที่ได้ ทั้งสองเส้นทาง จะเป็นดังเช่นที่แสดงอยู่ในรูปที่ 5.10



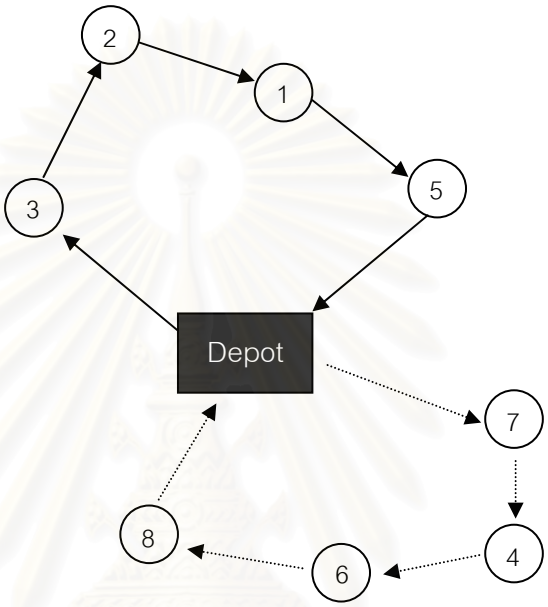
รูปที่ 5.9 ตำแหน่งจุดรับสินค้า ของสินค้าที่ข้อมูลเข้ามาในระบบเป็นลำดับที่ 1 ถึง 8



รูปที่ 5.10 ตัวอย่างเส้นทางที่ได้จากแนวทางการจัดจุดรับลงยานพาหนะครั้งละ 1 คัน

ซึ่งจุดรับสินค้าหมายเลข 1,2,3 และ 4 จะอยู่ในกลุ่มเดียวกันในเส้นทางที่ 1 ส่วน 5,6,7 และ 8 ก็จะอยู่กลุ่มเดียวกันในเส้นทางที่ 2 ซึ่งถ้าพิจารณาจากในรูปที่ 5.10 พบว่าถ้าจุดรับสินค้าหมายเลข 5 ถูกจัดอยู่เส้นทางที่ 1 และจุดรับที่ 4 มาอยู่ในเส้นทางที่ 2 ก็จะได้เส้นทางในการจัดส่งที่ดีกว่าดังนี้

ถ้าหากเรา สามารถทำให้จุดรับสินค้าที่ถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกันมีการข้ามลำดับได้ ดังเช่นที่แสดงอยู่ในรูปที่ 5.11 จะมีโอกาสทำให้ได้ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ดีกว่า



รูปที่ 5.11 เส้นทางการจัดส่งสินค้า ในกรณีที่ยอมให้สินค้าที่ถูกจัดส่งโดยรถคันเดียวกัน สามารถข้ามลำดับได้

นอกจากนี้ยังพบว่าการพิจารณาเส้นทางเพียงครั้งละ 1 เส้นทาง จะทำให้เมื่อไม่สามารถแทรกจุดรับสินค้าเข้าไปยังเส้นทางเดิมได้เพิ่ม จะต้องสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้าทันที ซึ่งทำให้เกิดการสั่งออกรถไปจัดส่งสินค้าโดยที่เวลารอก่อนส่งมีค่ามากกว่า 0 อยู่มาก ตัวอย่างเช่นในรูปที่ 5.8ก ถึงรูป 5.8จ พบว่ามีเพียงเส้นทางที่ 3 5 10 15 และ 19 เท่านั้นที่รอจนกระทั่ง CRST เท่ากับ 0 นอกนั้นจะสั่งออกรถก่อนที่ CRST เท่ากับ 0 เนื่องจากไม่สามารถแทรกจุดรับลำดับถัดไปลงในเส้นทางเดิมได้ ซึ่งหากเราสามารถเก็บเส้นทางนั้นไว้ก่อนและรอข้อมูลตัวถ้าไปที่อาจจะเข้ามาเพิ่มในเวลาใกล้เคียงและสามารถแทรกลงในเส้นทางเดิมนั้นได้สำเร็จก็จะมีโอกาสที่ได้คำตอบที่ดีขึ้นกว่าการที่ต้องสั่งออกรถไปในทันที ที่ไม่สามารถแทรกจุดรับสินค้าจุดล่าสุดลงในเส้นทางได้สำเร็จ

ดังนั้นเพื่อเป็นการแก้ไขข้อด้อยในการจัดเส้นทางด้วยวิธีการดังกล่าว จะทำการปรับปรุงวิธีการในกระบวนการจัดเส้นทาง ให้สามารถพิจารณาจัดเส้นทางพร้อมกันได้ครั้งละมากกว่าหนึ่งเส้นทาง โดยขั้นตอนการทำงานหลักจะยังคงเหมือนที่นำเสนอไว้ก่อนหน้า แต่จะทำการปรับปรุงใน

ส่วนของการจัดเส้นทางของ Insertion Heuristic ให้สามารถสร้างเส้นทางใหม่เพิ่มได้หากแทรกจุดรับสินค้าลงในเส้นทางเดิมไม่สำเร็จ และปรับปรุงในส่วนของการสร้างเส้นทางเบื้องต้นของ GRASP ให้สามารถสร้างเส้นทางขึ้นมาคราวละมากกว่าหนึ่งเส้นทางได้ โดยปรับปรุงในส่วนของการค้นหา seed เพื่อให้สามารถกำหนดจำนวน seed ได้สอดคล้องกับจำนวนจุดรับที่รอการจัดลงเส้นทางอยู่ในขณะนั้น และปรับปรุงในส่วนของการตัดสินใจเมื่อทำการแทรกจุดรับสินค้าจุดใหม่ในเส้นทางไม่สำเร็จ จากเดิมหากทำการแทรกในเส้นทางที่มีอยู่เดิมไม่สำเร็จจะต้องสั่งออกรถตามเส้นทางเดิมทันที แต่ในวิธีการในการจัดเส้นทางที่ปรับปรุงใหม่ หากแทรกจุดรับสินค้าลงในเส้นทางที่มีอยู่ทุกเส้นทางไม่สำเร็จ จะสร้างเส้นทางเพิ่มใหม่อีกหนึ่งเส้นทาง และแทรกจุดรับสินค้าที่แทรกไม่สำเร็จนั้นลงในเส้นทางที่สร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งจะทำให้สามารถแทรกจุดรับสินค้าใหม่ลงในเส้นทางได้สำเร็จ โดยที่เรายังสามารถเก็บเส้นทางทั้งหมดไว้ได้ แล้วจึงค่อยตัดสินใจกำหนดเวลาออกรถจากเงื่อนไขเวลารอก่อนส่งของแต่ละเส้นทาง

จะเห็นว่าการพิจารณาจัดเส้นทางครั้งละมากกว่าหนึ่งเส้นทางนั้นจะช่วยทำให้เกิดการจัดจุดรับสินค้าลงเส้นทางแบบข้ามลำดับได้ ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้สามารถได้เส้นทางที่ดีขึ้น และยังช่วยให้สามารถรอเพื่อรับข้อมูลได้นานขึ้นก่อนที่จะตัดสินใจสั่งออกรถ ซึ่งจะทำให้สามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีข้อมูลให้ใช้ข้อมูลในการตัดสินใจที่มากขึ้น

โดยเส้นทางที่ได้ในการจัดเส้นทางในแต่ละรอบนั้น จะยังไม่ใช่เส้นทางจริงในการจัดส่งทั้งหมด แต่หากไม่มีข้อมูลของสินค้าเข้ามาเพิ่มและเส้นทางที่จัดได้นั้น เส้นทางใดมีเวลารอก่อนส่งลดลงจนต้องสั่งออกรถ เส้นทางนั้นจึงจะเป็นเส้นทางในการจัดส่งจริง ดังนั้นแม้ว่าจะปรับปรุงให้มีการพิจารณาจัดเส้นทางครั้งละมากกว่าหนึ่งเส้นทาง ในส่วนของการปรับปรุงคำตอบของวิธีในการจัดเส้นทางด้วย GRASP นั้นจะยังคงเลือกใช้การปรับปรุงคำตอบด้วย 2-Opt เช่นเดิมโดยปรับปรุงคำตอบที่ได้ของเส้นทางแต่ละเส้นทางแยกกัน มิได้ทำการปรับปรุงคำตอบโดยรวมจากเส้นทางเบื้องต้นทั้งหมด เหตุผล คือ หากเราทำการปรับปรุงให้ระยะทางรวมทุกเส้นทางต่ำที่สุด อาจจะทำให้เกิดกรณีที่มีบางเส้นทางระยะทางในการจัดส่งเพิ่มขึ้น บางเส้นทางมีระยะทางในการจัดส่งที่ต่ำลง โดยที่ระยะทางรวมทั้งหมดทุกเส้นทางลดลง ซึ่งเส้นทางที่ถูกปรับปรุงแล้วระยะทางรวมเพิ่มขึ้น อาจเป็นเส้นทางที่จะกลายมาเป็นเส้นทางในการจัดส่งจริง ดังนั้นจึงควรปรับปรุงคำตอบโดยพิจารณาแยกแต่ละเส้นทางให้มีระยะทางในการจัดส่งต่ำลง เพราะไม่ว่าเส้นทางใดจะเป็นเส้นทางที่มีเวลารอก่อนส่งต่ำที่สุดแล้วจะต้องสั่งออกรถ ซึ่งเส้นทางนั้นจะกลายมาเป็นเส้นทางที่ใช้จัดส่งจริง เส้นทางนั้นก็จะได้รับการปรับปรุงให้มีระยะทางในการจัดส่งที่ต่ำลงแล้ว

5.3.1 การปรับปรุงกระบวนการสร้างเส้นทาง

ในกระบวนการจัดเส้นทางนั้น จะทำการปรับปรุงในส่วนของขั้นตอนการสร้างเส้นทางเบื้องต้น ของ GRASP โดยในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการหาสร้างเส้นทางเบื้องต้น (Initial Route) ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดระยะเวลารับประกันและความจุของรถขนส่งโดยในงานวิจัยฉบับนี้จะเริ่มจาก การกำหนดจำนวนเส้นเบื้องต้นซึ่งจะเท่ากับจำนวน seed ซึ่งคำนวณจาก จำนวนของรถจัดส่งน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ โดยพิจารณาจากเงื่อนไขข้อจำกัดความจุของรถที่ใช้ในการขนส่ง ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$SN = \left\lceil \sum_{i \subset Customer} q_i / Q \right\rceil$$

โดยที่

SN = จำนวน seed

Q = ความจุของรถที่ใช้ในการขนส่ง

q_i = ปริมาตรของสินค้าชิ้นที่ i

โดยเศษที่ได้จากการหารจะปัดขึ้นในทุกกรณี

ขั้นตอนถัดมาจะทำการคัดเลือกจุดรับสินค้าที่จะนำมาจัดลงในแต่ละเส้นทางเป็นจุดแรกซึ่งเรียกว่า seed โดยจำนวนของ seed ที่ต้องทำการคัดเลือกจะเท่ากับจำนวนเส้นทางเบื้องต้นที่ได้จากการคำนวณในขั้นตอนก่อนหน้านี้

เริ่มต้นจากการค้นหา seed ที่ 1 โดยจะเลือกจากจุดรับสินค้าที่มีเวลากำหนดส่งน้อยที่สุด เนื่องจากจุดรับสินค้าดังกล่าว มีโอกาสสูงที่จะไม่สามารถจัดลงเส้นทางได้สำเร็จ หากไม่ได้รับสิทธิ์เป็นอันดับต้นๆ ในการจัดลงเส้นทาง

จากนั้นจะทำการค้นหา seed ที่ 2 ถึง seed ตัวสุดท้ายโดยคัดเลือกจากจุดรับสินค้าที่มีระยะทางรวมห่างจาก seed เดิมที่มีอยู่มากที่สุด เช่นการคัดเลือก seed ที่ 3 จะเลือกจากจุดรับสินค้าที่มีผลรวมทางรวม ระหว่างจุดรับสินค้านั้นกับ seed ที่ 1 กับระยะทางระหว่างจุดรับสินค้านั้นกับ seed ที่ 2 มากที่สุด เหตุผลในการใช้เกณฑ์ดังกล่าวในการเลือก seed มาจากสมมุติฐานที่ว่า มีความเป็นไปได้สูงที่ในคำตอบที่ดี จุดรับสินค้าที่พิกัดที่ตั้งอยู่ห่างกันนั้นจะถูกจัดอยู่ในคนละเส้นทาง

โดยการทำงานในส่วนอื่นๆ ของกระบวนการจัดเส้นทางจะยังคงทำงานในแบบเดิม ตามที่ได้นำเสนอไปแล้วก่อนหน้านี้

สำหรับการคำนวณค่าเวลารอก่อนส่งของคำตอบที่ได้ในแต่ละรอบนั้น เนื่องจากมีเส้นทางที่จัดได้มากกว่าหนึ่งเส้นทาง ซึ่งแต่ละเส้นทางจะมีค่าเวลารอก่อนส่งที่แตกต่างกัน ดังนั้นเวลาก่อนส่งที่เป็นตัวกำหนดเวลาที่จะเกิดเหตุการณ์ การสั่งออกรถ ก็คือ เวลาก่อนส่งที่น้อยที่สุด จากทุกเส้นทาง ที่ได้จากการจัดเส้นทางในรอบนั้นๆ นั้นดังนั้นค่า Best Slack จะคำนวณได้จากความสัมพันธ์

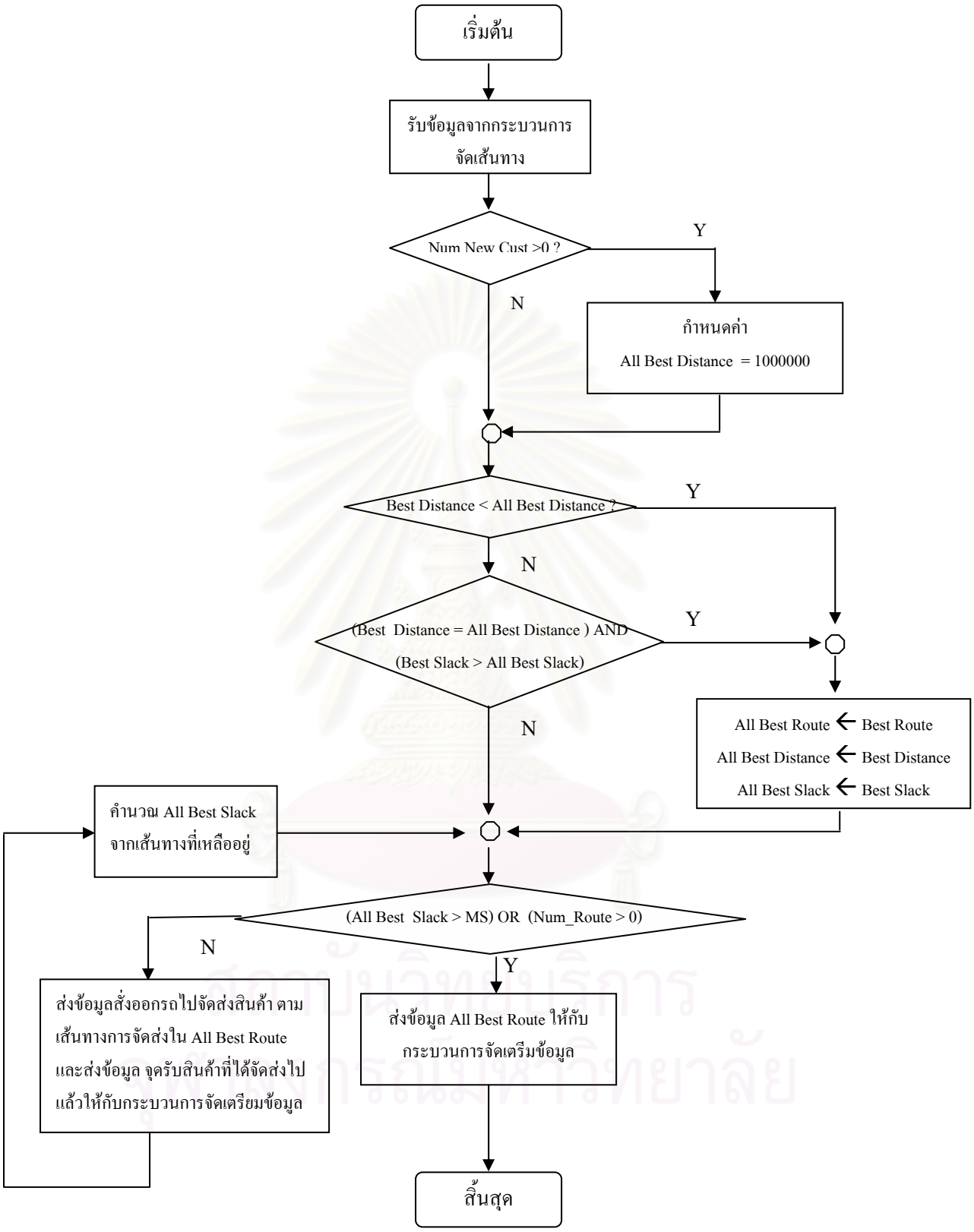
$$\text{Best Slack} = \underset{k \in R}{MIN}(CRST_k)$$

5.3.2 การปรับปรุงกระบวนการกำหนดเวลาออกรถ

จากการปรับปรุงกระบวนการจัดเส้นทางสามารถให้สามารถพิจารณาจัดเส้นทางได้ครั้งละมากกว่าหนึ่งเส้นทาง ส่งผลในกระบวนการกำหนดเวลาออกรถต้องมีการปรับปรุงการทำงานให้สอดคล้องกันด้วย โดยเมื่อตัดสินใจสั่งออกรถแล้ว จะต้องทำการวนตรวจสอบเวลารอก่อนส่งที่ต่ำที่สุดของเส้นทางที่เหลืออยู่ซ้ำอีก เพื่อพิจารณาว่า สำหรับเส้นทางที่เหลืออยู่นั้นมีเวลามากพอที่จะไปจัดเส้นทางหรือไม่ โดยถ้าค่า All Best Slack มากกว่า MS จะเป็นกรณีที่มีเวลามากพอที่จะส่งข้อมูลไปจัดเส้นทางใหม่ แต่หาก All Best Slack มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ MS จะเป็นกรณีที่เหลือเวลาก่อนส่งไม่มาก จะต้องตัดสินใจสั่งออกรถ เนื่องจากในบางกรณีค่า CRST ของเส้นทางที่จัดได้ มีค่าใกล้เคียงกัน โดยค่า MS นั้นจะกำหนดจากข้อมูลที่ปัญหาทดสอบทุกขนาดจะมีจำนวนจุดรับสินค้าที่รอการจัดส่งอยู่ในระบบเฉลี่ยไม่เกิน 50 จุดรับซึ่งจากข้อมูลในตารางที่ 4.8 เวลาที่ใช้ในการจัดเส้นทางสำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับจะมีค่าเฉลี่ยอยู่เท่ากับ 0.1869 วินาทีโดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณที่มากที่สุดเท่ากับ 0.3750 วินาที ซึ่งจะสำรองเวลาสำหรับการจัดเส้นทางอีกเล็กน้อย จึงกำหนดค่า MS เท่ากับ 0.5000 วินาที

ส่วนขั้นตอนในส่วนอื่นๆจะเหมือนกับ ขั้นตอนการทำงานของกระบวนตัดสินใจออกรถที่ได้เสนอไว้แล้วก่อนหน้านี้ โดยรายระเอียดของกระบวนการตัดสินออกรถที่ปรับปรุงใหม่จะแสดงอยู่ในรูปที่ 5.12

จากนั้นนำขั้นตอนการทำงานของกระบวนการจัดเส้นทาง และกระบวนการกำหนดเวลาออกรถ ที่ทำการปรับปรุง มาพัฒนาโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาโดยใช้ภาษาซี เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานต่อไป



รูปที่ 5.12 กระบวนการกำหนดเวลาออกรถที่ทำการปรับปรุง

5.4 ผลการการทดสอบฮิวริสติกที่ทำการปรับปรุง

สำหรับการทดสอบการทำงานของฮิวริสติกที่ปรับปรุงจะทำการทดสอบ โดยใช้ชุดข้อมูลนำเข้าชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของฮิวริสติกก่อนที่จะทำการปรับปรุง ซึ่งผลการทดสอบของฮิวริสติกหลังทำการปรับปรุงมีรายละเอียดดังนี้

5.4.1 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 5 ชิ้น

5.4.1.1 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
################## Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]         = 179.19
--> service cust[1]           = 1
--> total_service_cust        = 1
--> distance[1]               = 61.61
--> total_distance            = 61.61
--> Time at Depot             = 240.81
--> answer_cap[1]             = 30.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       1       30.00   210.00  210.00  0.00

################## Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2]         = 361.89
--> service cust[2]           = 1
--> total_service_cust        = 2
--> distance[2]               = 36.22
--> total_distance            = 97.83
--> Time at Depot             = 398.11
--> answer_cap[2]             = 20.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       2       200.00  380.00  380.00  0.00

################## Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]         = 551.69
--> service cust[3]           = 1
--> total_service_cust        = 3
--> distance[3]               = 80.62
--> total_distance            = 178.46
--> Time at Depot             = 632.31
--> answer_cap[3]             = 40.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       3       412.00  592.00  592.00  0.00

################## Answer Route No [4] ####################
--> Departure Time[4] = 733.00
--> service cust[4]           = 2
--> total_service_cust        = 5
--> distance[4]               = 79.01
--> total_distance            = 257.47
--> Time at Depot             = 812.01
--> answer_cap[4]             = 40.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       4       572.00  752.00  752.00  0.00
2       5       597.00  773.93  777.00  3.07
```

รูปที่ 5.13 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 5n_c107

จากรูปที่ 5.13 จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 4 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 179.00 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 1 ในเวลา 210.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 240.81

สำหรับเส้นทางที่ 2 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 361.89 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 2 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 2 ในเวลา 380 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 398.11

สำหรับเส้นทางที่ 3 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 551.69 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 3 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 3 ในเวลา 592 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 632.31

และสุดท้ายเส้นทางที่ 4 เริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 733.00 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 4 และ 5 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 4 ในเวลา 752.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 5 ในเวลา 773.93 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 812.01 ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 257.47 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.4.1.2 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.15 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 5 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
5n_C107	257.47	257.47	0.00
5n_C109	152.62	162.89	6.73
5n_C201	292.31	292.31	0.00
5n_C205	218.92	218.92	0.00
5n_C208	158.00	158.00	0.00
5n_R205	130.13	130.13	0.00
5n_RC201	237.39	237.39	0.00
5n_RC206	199.83	199.83	0.00
เฉลี่ย			0.84

จากตารางที่ 5.15 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.84% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มีค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งเท่ากับขอบเขตล่าง 7 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

5.4.2 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 6 ชิ้น

5.4.2.1 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
################### Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]          = 179.87
--> service cust[1]            = 3
--> total_service_cust         = 3
--> distance[1]                = 53.29
--> total_distance             = 53.29
--> Time at Depot              = 233.16
--> answer_cap[1]              = 60.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       1       15.00   195.00  195.00  0.00
2       2       16.00   196.00  196.00  0.00
3       3       107.00  218.02  287.00  68.98


################### Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2]          = 457.24
--> service cust[2]            = 1
--> total_service_cust         = 4
--> distance[2]                = 33.53
--> total_distance             = 86.81
--> Time at Depot              = 490.76
--> answer_cap[2]              = 10.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       4       294.00  474.00  474.00  0.00


################### Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]          = 733.00
--> service cust[3]            = 1
--> total_service_cust         = 5
--> distance[3]                = 38.00
--> total_distance             = 124.82
--> Time at Depot              = 771.00
--> answer_cap[3]              = 20.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       5       572.00  752.00  752.00  0.00
```

รูปที่ 5.14 ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 6n_c107 ส่วนที่ 1

```
################## Answer Route No [4] ###################
--> Departure Time[4]         = 1019.80
--> service cust[4]           = 1
--> total_service_cust        = 6
--> distance[4]               = 20.40
--> total_distance            = 145.21
--> Time at Depot             = 1040.20
--> answer_cap[4]             = 20.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       6       850.00  1030.00 1030.00  0.00
```

รูปที่ 5.14 ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 6n_c107 ส่วนที่ 2

จากรูปที่ 5.14 ก และรูปที่ 5.14 ข จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 4 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 179.87 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 2 และ 3 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 1 ในเวลา 195.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 2 ในเวลา 196.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 3 ในเวลา 218.02แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 233.16

สำหรับเส้นทางที่ 2 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 457.24 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 4 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 4 ในเวลา 474.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 490.76

สำหรับเส้นทางที่ 3 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 1019.80 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 5 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 5 ในเวลา 752 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 771.00

และสุดท้ายสำหรับเส้นทางที่ 4 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 733.00 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 6 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 6 ในเวลา 1030.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 1040.20 ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 145.21 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.4.2.2 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.16 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 6 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
6n_C107	145.21	145.21	0.00
6n_C109	104.39	104.39	0.00
6n_C201	244.02	244.02	0.00
6n_C205	216.17	216.17	0.00
6n_C208	187.51	187.51	0.00
6n_R205	230.46	230.46	0.00
6n_RC201	407.85	407.85	0.00
6n_RC206	371.11	375.98	1.31
เฉลี่ย			0.16

จากตารางที่ 5.16 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.16% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มีค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งเท่ากับขอบเขตล่าง 7 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

5.4.3 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 7 ชิ้น

5.4.3.1 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
################## Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]         = 180.00
--> service cust[1]           = 2
--> total_service_cust        = 2
--> distance[1]               = 32.13
--> total_distance            = 32.13
--> Time at Depot             = 212.13
--> answer_cap[1]             = 50.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       1       15.00   195.00  195.00  0.00
2       2       107.00  197.00  287.00  90.00
```

รูปที่ 5.15 ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 7n_c107 ส่วนที่ 1

```
################## Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2]  = 460.94
--> service cust[2]           = 1
--> total_service_cust        = 3
--> distance[2]               = 72.11
--> total_distance            = 104.24
--> Time at Depot             = 533.06
--> answer_cap[2]             = 40.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       3       317.00  497.00  497.00  0.00

################## Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]         = 639.90
--> service cust[3]           = 2
--> total_service_cust        = 5
--> distance[3]               = 41.34
--> total_distance            = 145.58
--> Time at Depot             = 681.24
--> answer_cap[3]             = 30.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       4       480.00  660.00  660.00  0.00
2       5       572.00  662.24  752.00  89.76

################## Answer Route No [4] ####################
--> Departure Time[4]         = 826.89
--> service cust[4]           = 1
--> total_service_cust        = 6
--> distance[4]               = 36.22
--> total_distance            = 181.80
--> Time at Depot             = 863.11
--> answer_cap[4]             = 10.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       6       665.00  845.00  845.00  0.00

################## Answer Route No [5] ####################
--> Departure Time[5]         = 1011.32
--> service cust[5]           = 1
--> total_service_cust        = 7
--> distance[5]               = 37.36
--> total_distance            = 219.17
--> Time at Depot             = 1048.68
--> answer_cap[5]             = 10.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       7       850.00  1030.00 1030.00  0.00
```

รูปที่ 5.15 ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 7n_c107 ส่วนที่ 2

จากรูปที่ 5.15 ก และ 5.15 ข จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 5 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 180.00 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 และ 2 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 1 ในเวลา 195.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 2 ในเวลา 197.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 212.13

สำหรับเส้นทางที่ 2 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 460.94 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 3 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 3 ในเวลา 497.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 533.06

สำหรับเส้นทางที่ 3 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 639.90 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 4 และ 5 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 4 ในเวลา 660.00 จากนั้นเดินทางไปยังจุดรับที่ 5 ในเวลา 752.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 681.24

สำหรับเส้นทางที่ 4 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 826.49 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 6 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 6 ในเวลา 845 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 863.11

และสุดท้ายสำหรับเส้นทางที่ 5 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 1011.32 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 7 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 7 ในเวลา 1030.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 1048.68 ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 219.17 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.4.3.2 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.17 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 7 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
7n_C107	219.17	219.17	0.00
7n_C109	149.81	161.55	7.84
7n_C201	314.01	314.01	0.00
7n_C205	308.08	308.08	0.00
7n_C208	227.45	227.45	0.00
7n_R205	239.47	239.47	0.00
7n_RC201	424.43	424.43	0.00
7n_RC206	316.01	316.01	0.00
เฉลี่ย			0.98

จากตารางที่ 5.17 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.98% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มีค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งเท่ากับขอบเขตล่าง 7 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

5.4.4 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 8 ชิ้น

5.4.4.1 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

จากรูปที่ 5.16 จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 4 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 154.98 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 2 3 และ 4 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 2 ในเวลา 169.98 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 4 ในเวลา 171.98 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 3 ในเวลา 194.0 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 1 ในเวลา 195.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 210.13

สำหรับเส้นทางที่ 2 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 457.24 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 5 โดยเดินทางไปถึงจุดรับสินค้าที่ 5 ในเวลา 474.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 490.76

สำหรับเส้นทางที่ 3 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 733.00 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 6 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 6 ในเวลา 752.00 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 771.00

และสุดท้ายสำหรับเส้นทางที่ 4 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 917.38 เพื่อไปจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 7 โดยเดินทางถึงจุดรับสินค้าที่ 7 ในเวลา 938.00 จากนั้นเดินทางต่อไปยังจุดรับสินค้าที่ 8 ในเวลา 961.43 แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 971.63 ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 180.93 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

```
################## Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]         = 154.98
--> service cust[1]           = 4
--> total_service_cust        = 4
--> distance[1]               = 55.16
--> total_distance            = 55.16
--> Time at Depot             = 210.13
--> answer_cap[1]             = 70.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       2       15.00   169.98  195.00  25.02
2       4       107.00  171.98  287.00  115.02
3       3       16.00   194.00  196.00  2.00
4       1       15.00   195.00  195.00  0.00

################## Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2]         = 457.24
--> service cust[2]           = 1
--> total_service_cust        = 5
--> distance[2]               = 33.53
--> total_distance            = 88.68
--> Time at Depot             = 490.76
--> answer_cap[2]             = 10.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       5       294.00  474.00  474.00  0.00

################## Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]         = 733.00
--> service cust[3]           = 1
--> total_service_cust        = 6
--> distance[3]               = 38.00
--> total_distance            = 126.68
--> Time at Depot             = 771.00
--> answer_cap[3]             = 20.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       6       572.00  752.00  752.00  0.00

################## Answer Route No [4] ####################
--> Departure Time[4]         = 917.38
--> service cust[4]           = 2
--> total_service_cust        = 8
--> distance[4]               = 54.24
--> total_distance            = 180.93
--> Time at Depot             = 971.63
--> answer_cap[4]             = 50.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       7       758.00  938.00  938.00  0.00
2       8       850.00  961.43  1030.00  68.57
```

รูปที่ 5.16 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 8n_c107

5.2.4.3 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

จากตารางที่ 5.18 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 0.16% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มี

ค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งเท่ากับขอบเขตล่าง 7 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

ตารางที่ 5.18 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 8 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
8n_C107	180.93	180.93	0.00
8n_C109	112.97	112.97	0.00
8n_C201	307.79	307.79	0.00
8n_C205	250.02	250.02	0.00
8n_C208	198.83	198.83	0.00
8n_R205	244.59	244.59	0.00
8n_RC201	478.66	478.66	0.00
8n_RC206	371.35	376.21	1.31
เฉลี่ย			0.16

5.4.5 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 25 ชิ้น

5.4.5.1 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
################### Answer Route No [1] ####################
--> Departure Time[1]  = 126.83
--> service cust[1]            = 8
--> total_service_cust         = 8
--> distance[1]                = 83.30
--> total_distance             = 83.30
--> Time at Depot              = 210.13
--> answer_cap[1]              = 150.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       1       10.00   136.83  190.00          53.17
2       3       15.00   141.83  195.00          53.17
3       7       107.00  143.83  287.00          143.17
4       6       34.00   167.88  214.00          46.13
5       5       30.00   171.88  210.00          38.13
6       8       108.00  192.00  288.00          96.00
7       4       16.00   194.00  196.00          2.00
8       2       15.00   195.00  195.00          0.00
```

รูปที่ 5.17ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 1

```
################## Answer Route No [2] ####################
--> Departure Time[2]  = 271.64
--> service cust[2]           = 3
--> total_service_cust        = 11
--> distance[2]               = 84.41
--> total_distance            = 167.71
--> Time at Depot             = 356.05
--> answer_cap[2]             = 50.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       9       127.00  307.00  307.00          0.00
2       11      222.00  312.00  402.00          90.00
3       10      200.00  337.94  380.00          42.06


################## Answer Route No [3] ####################
--> Departure Time[3]  = 450.31
--> service cust[3]           = 4
--> total_service_cust        = 15
--> distance[3]               = 82.75
--> total_distance            = 250.46
--> Time at Depot             = 533.06
--> answer_cap[3]             = 100.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       12      294.00  467.07  474.00          6.93
2       14      387.00  470.07  567.00          96.93
3       15      412.00  492.00  592.00          100.00
4       13      317.00  497.00  497.00          0.00


################## Answer Route No [4] ####################
--> Departure Time[4]  = 638.76
--> service cust[4]           = 4
--> total_service_cust        = 19
--> distance[4]               = 83.44
--> total_distance            = 333.90
--> Time at Depot             = 722.21
--> answer_cap[4]             = 60.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       18      572.00  657.76  752.00          94.24
2       16      480.00  660.00  660.00          0.00
3       19      597.00  679.85  777.00          97.15
4       17      504.00  682.85  684.00          1.15


################## Answer Route No [5] ####################
--> Departure Time[5]  = 810.73
--> service cust[5]           = 4
--> total_service_cust        = 23
--> distance[5]               = 58.49
--> total_distance            = 392.39
--> Time at Depot             = 869.22
--> answer_cap[5]             = 70.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       23      758.00  822.89  938.00          115.11
2       21      665.00  825.89  845.00          19.11
3       20      665.00  845.00  845.00          0.00
4       22      758.00  848.61  938.00          89.39
```

รูปที่ 5.17ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 2

```
################## Answer Route No [6] ###################
--> Departure Time[6]  = 997.87
--> service cust[6]           = 2
--> total_service_cust        = 25
--> distance[6]               = 50.81
--> total_distance            = 443.21
--> Time at Depot             = 1048.68
--> answer_cap[6]             = 30.00
================================================
R_No.   No.     AT      TAC     DD      Slack
================================================
1       25      850.00  1008.07         1030.00         21.93
2       24      850.00  1030.00         1030.00         0.00
```

รูปที่ 5.17ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 25n_c107 ส่วนที่ 3

จากรูปที่ 5.17ก 5.17ข และ 5.17 ค จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 6 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 126.83 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 1 3 7 6 5 8 4 และ 2 ตามลำดับ แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 210.13 สำหรับรายละเอียดของเส้นทางการจัดส่งอื่นๆ แสดงดังในรูปที่ 5.17ก 5.17ข และ 5.17ค ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 443.21 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.4.5.2 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.19 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP Single	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
25n_C107	418.61	443.21	5.88
25n_C109	243.38	243.71	0.14
25n_C201	760.03	760.03	0.00
25n_C205	519.73	519.73	0.00
25n_C208	334.90	374.57	11.85
25n_R205	591.44	654.56	10.67
25n_RC201	1158.46	1322.27	14.14
25n_RC206	626.00	721.19	15.21
เฉลี่ย			7.23

จากตารางที่ 5.19 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 7.23% โดยฮิวริสติกที่นำเสนอ สามารถให้คำตอบที่มีค่าของระยะทางรวมในการจัดส่งโดยเฉลี่ย เท่ากับขอบเขตล่าง 2 ปัญหาจากทั้งหมด 8 ปัญหา

5.4.6 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 50 ชิ้น

5.4.6.1 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
######################<< Answer Route No [1] >>########################
--> Departure Time[1]         = 70.32
--> service cust[1]           = 10
--> total_service_cust        = 10
--> distance[1]               = 139.82
--> total_distance            = 139.82
--> Time at Depot             = 210.13
--> answer_cap[1]             = 190.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       1         10.00          80.32          190.00         109.68
2       3         15.00          85.32          195.00         109.68
3       5         16.00         102.32          196.00         93.68
4       6         19.00         105.32          199.00         93.68
5       8         31.00         129.67          211.00         81.33
6       9         33.00         131.67          213.00         81.33
7       10        34.00         168.07          214.00         45.93
8       7         30.00         172.07          210.00         37.93
9       4         16.00         194.00          196.00         2.00
10      2         15.00         195.00          195.00         0.00

######################<< Answer Route No [2] >>########################
--> Departure Time[2]         = 175.50
--> service cust[2]           = 5
--> total_service_cust        = 15
--> distance[2]               = 134.18
--> total_distance            = 274.00
--> Time at Depot             = 309.68
--> answer_cap[2]             = 110.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       12        108.00         191.50          288.00         96.50
2       14        127.00         218.07          307.00         88.93
3       11        107.00         243.15          287.00         43.85
4       15        129.00         265.82          309.00         43.18
5       13        111.00         291.00          291.00         0.00
```

รูปที่ 5.18ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 1

```
######################<< Answer Route No [3] >>#######################
--> Departure Time[3]         = 254.65
--> service cust[3]           = 5
--> total_service_cust        = 20
--> distance[3]               = 148.96
--> total_distance            = 422.96
--> Time at Depot             = 403.62
--> answer_cap[3]             = 60.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       17       200.00          272.76          380.00         107.24
2       19       222.00          298.71          402.00         103.29
3       16       199.00          327.83          379.00         51.17
4       20       224.00          352.59          404.00         51.41
5       18       203.00          383.00          383.00         0.00


######################<< Answer Route No [4] >>#######################
--> Departure Time[4]         = 356.51
--> service cust[4]           = 5
--> total_service_cust        = 25
--> distance[4]               = 141.04
--> total_distance            = 564.00
--> Time at Depot             = 497.54
--> answer_cap[4]             = 90.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       22       294.00          373.27          474.00         100.73
2       24       317.00          393.79          497.00         103.21
3       21       292.00          423.79          472.00         48.21
4       25       319.00          444.38          499.00         54.62
5       23       296.00          476.00          476.00         0.00

######################<< Answer Route No [5] >>#######################
--> Departure Time[5]         = 441.37
--> service cust[5]           = 5
--> total_service_cust        = 30
--> distance[5]               = 148.22
--> total_distance            = 712.22
--> Time at Depot             = 589.59
--> answer_cap[5]             = 120.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       26       387.00          461.02          567.00         105.98
2       30       412.00          482.95          592.00         109.05
3       27       387.00          512.95          567.00         54.05
4       29       411.00          537.95          591.00         53.05
5       28       389.00          569.00          569.00         0.00

######################<< Answer Route No [6] >>#######################
--> Departure Time[6]         = 530.33
--> service cust[6]           = 5
--> total_service_cust        = 35
--> distance[6]               = 153.03
--> total_distance            = 865.25
--> Time at Depot             = 683.36
--> answer_cap[6]             = 70.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       31       480.00          550.43          660.00         109.57
2       34       504.00          572.36          684.00         111.64
3       32       480.00          602.38          660.00         57.62
4       35       506.00          627.46          686.00         58.54
5       33       481.00          661.00          661.00         0.00
```

รูปที่ 5.18ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 2

```
#####################<< Answer Route No [7] >>#######################
--> Departure Time[7]         = 632.25
--> service cust[7]           = 5
--> total_service_cust        = 40
--> distance[7]               = 144.08
--> total_distance            = 1009.32
--> Time at Depot             = 776.32
--> answer_cap[7]             = 70.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       36       572.00          651.25          752.00         100.75
2       39       597.00          673.18          777.00         103.82
3       37       572.00          703.18          752.00         48.82
4       40       601.00          725.54          781.00         55.46
5       38       573.00          753.00          753.00         0.00


#####################<< Answer Route No [8] >>#######################
--> Departure Time[8]         = 801.67
--> service cust[8]           = 6
--> total_service_cust        = 46
--> distance[8]               = 112.53
--> total_distance            = 1121.85
--> Time at Depot             = 914.20
--> answer_cap[8]             = 100.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       44       758.00          822.29          938.00         115.71
2       41       665.00          825.89          845.00         19.11
3       42       665.00          845.00          845.00         0.00
4       45       758.00          848.00          938.00         90.00
5       43       694.00          869.19          874.00         4.81
6       46       758.00          891.39          938.00         46.61

#####################<< Answer Route No [9] >>#######################
--> Departure Time[9]         = 989.39
--> service cust[9]           = 4
--> total_service_cust        = 50
--> distance[9]               = 77.76
--> total_distance            = 1199.61
--> Time at Depot             = 1067.15
--> answer_cap[9]             = 50.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       47       850.00          1008.07         1030.00        21.93
2       48       850.00          1030.00         1030.00        0.00
3       49       944.00          1047.12         1124.00        76.88
4       50       947.00          1049.12         1127.00        77.88
```

รูปที่ 5.18ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 50n_c107 ส่วนที่ 3

จากรูปที่ 5.18ก 5.18ข และ 5.18ค จะเห็นว่าคำตอบที่ได้ ใช้เส้นทางในการจัดส่งทั้งหมด 9 เส้นทาง โดยเส้นทางที่ 1 จะเริ่มออกเดินทางจากท่ารถเมื่อเวลา 72.13 เพื่อจัดส่งสินค้าชิ้นที่ 2 4 7 10 1 3 9 8 6 และ 5 ตามลำดับ แล้วเดินทางกลับมายังท่ารถในเวลา 212.55 สำหรับรายละเอียดของเส้นทางการจัดส่งอื่นๆ

แสดงดังในรูปที่ 5.18ก 5.18ข และรูปที่ 5.18ค ซึ่งทำให้มีระยะทางในการจัดส่ง 1200.21 หน่วย โดยที่สินค้าทุกชิ้นถูกส่งถึงจุดรับภายในระยะเวลารับประกัน

5.4.6.2 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.20 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP Single	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
50n_C107	996.42	1199.61	20.39
50n_C109	534.58	561.86	5.10
50n_C201	1587.98	1890.42	19.05
50n_C205	1013.87	1043.31	2.90
50n_C208	677.21	686.86	1.42
50n_R205	1054.30	1097.41	4.09
50n_RC201	2319.56	2499.32	7.75
50n_RC206	1245.57	1638.93	31.58
เฉลี่ย			11.54

จากตารางที่ 5.20 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 11.54% โดยปัญหาได้ความแตกต่างของคำตอบน้อยที่สุดคือ 50n_c208 ซึ่งมีความแตกต่างจากขอบเขตล่างอยู่ 1.42% และปัญหาที่ได้ความแตกต่างของคำตอบมากที่สุดคือ RC206 ซึ่งมีความแตกต่าง 31.58%

5.4.7 ปัญหาทดสอบที่มีสินค้าจะต้องจัดส่ง 100 ชิ้น

5.4.3.1 ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต

```
######################<< Answer Route No [1] >>#######################
--> Departure Time[1]         = 54.30
--> service cust[1]           = 10
--> total_service_cust        = 10
--> distance[1]               = 158.26
--> total_distance            = 158.26
--> Time at Depot             = 212.55
--> answer_cap[1]             = 180.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       2         12.00          66.50          192.00         125.50
2       3         13.00          67.50          193.00         125.50
3       9         20.00          86.71          200.00         113.29
4       10        25.00          91.71          205.00         113.29
5       20        50.00         122.19          230.00         107.81
6       19        47.00         125.19          227.00         101.81
7       18        37.00         172.62          217.00         44.38
8       16        35.00         174.62          215.00         40.38
9       8         19.00         193.00          199.00         6.00
10      7         16.00         196.00          196.00         0.00

######################<< Answer Route No [2] >>#######################
--> Departure Time[2]         = 56.50
--> service cust[2]           = 10
--> total_service_cust        = 20
--> distance[2]               = 153.63
--> total_distance            = 311.89
--> Time at Depot             = 210.13
--> answer_cap[2]             = 190.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       1         10.00          66.50          190.00         123.50
2       5         15.00          71.50          195.00         123.50
3       13        31.00          89.53          211.00         121.47
4       14        33.00          91.53          213.00         121.47
5       15        34.00         127.93          214.00         86.07
6       11        30.00         131.93          210.00         78.07
7       17        36.00         170.26          216.00         45.74
8       12        30.00         175.64          210.00         34.36
9       6         16.00         194.00          196.00         2.00
10      4         15.00         195.00          195.00         0.00

######################<< Answer Route No [3] >>#######################
--> Departure Time[3]         = 146.78
--> service cust[3]           = 5
--> total_service_cust        = 25
--> distance[3]               = 162.90
--> total_distance            = 474.79
--> Time at Depot             = 309.68
--> answer_cap[3]             = 130.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       22        107.00         161.91          287.00         125.09
2       26        127.00         186.99          307.00         120.01
3       28        129.00         227.31          309.00         81.69
4       29        132.00         267.91          312.00         44.09
5       24        111.00         291.00          291.00         0.00
```

รูปที่ 5.19ก ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 1

```
#####################<< Answer Route No [4] >>#######################
--> Departure Time[4]         = 150.91
--> service cust[4]           = 5
--> total_service_cust        = 30
--> distance[4]               = 153.09
--> total_distance            = 627.88
--> Time at Depot             = 304.00
--> answer_cap[4]             = 120.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       21      105.00          165.05          285.00          119.95
2       30      142.00          205.36          322.00          116.64
3       25      116.00          236.61          296.00          59.39
4       27      128.00          261.92          308.00          46.08
5       23      108.00          288.00          288.00          0.00


#####################<< Answer Route No [5] >>#######################
--> Departure Time[5]         = 250.54
--> service cust[5]           = 5
--> total_service_cust        = 35
--> distance[5]               = 147.48
--> total_distance            = 775.36
--> Time at Depot             = 398.03
--> answer_cap[5]             = 70.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       31      199.00          267.66          379.00          111.34
2       38      224.00          292.42          404.00          111.58
3       34      203.00          322.83          383.00          60.17
4       39      227.00          349.41          407.00          57.59
5       33      200.00          380.00          380.00          0.00

#####################<< Answer Route No [6] >>#######################
--> Departure Time[6]         = 264.53
--> service cust[6]           = 5
--> total_service_cust        = 40
--> distance[6]               = 209.47
--> total_distance            = 984.84
--> Time at Depot             = 474.01
--> answer_cap[6]             = 70.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       32      200.00          282.64          380.00          97.36
2       37      222.00          308.59          402.00          93.41
3       36      221.00          358.63          401.00          42.37
4       35      212.00          386.52          392.00          5.48
5       40      237.00          417.00          417.00          0.00

#####################<< Answer Route No [7] >>#######################
--> Departure Time[7]         = 341.84
--> service cust[7]           = 5
--> total_service_cust        = 45
--> distance[7]               = 151.01
--> total_distance            = 1135.85
--> Time at Depot             = 492.85
--> answer_cap[7]             = 120.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       41      292.00          361.84          472.00          110.16
2       48      319.00          382.43          499.00          116.57
3       44      296.00          414.06          476.00          61.94
4       49      321.00          440.30          501.00          60.70
5       42      293.00          473.00          473.00          0.00
```

รูปที่ 5.19ข ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 2

```
#####################<< Answer Route No [8] >>#######################
--> Departure Time[8]         = 365.62
--> service cust[8]           = 4
--> total_service_cust        = 49
--> distance[8]               = 204.91
--> total_distance            = 1340.75
--> Time at Depot             = 570.52
--> answer_cap[8]             = 110.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       47      317.00          401.67          497.00          95.33
2       46      315.00          448.94          495.00          46.06
3       45      305.00          479.98          485.00          5.02
4       50      332.00          512.00          512.00          0.00

#####################<< Answer Route No [9] >>#######################
--> Departure Time[9]         = 409.48
--> service cust[9]           = 7
--> total_service_cust        = 56
--> distance[9]               = 180.11
--> total_distance            = 1520.87
--> Time at Depot             = 589.59
--> answer_cap[9]             = 130.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       52      387.00          430.10          567.00          136.90
2       43      294.00          448.70          474.00          25.30
3       51      387.00          451.70          567.00          115.30
4       56      407.00          485.70          587.00          101.30
5       55      401.00          513.16          581.00          67.84
6       53      388.00          545.91          568.00          22.09
7       54      389.00          569.00          569.00          0.00

#####################<< Answer Route No [10] >>######################
--> Departure Time[10]                = 495.40
--> service cust[10]          = 4
--> total_service_cust        = 60
--> distance[10]              = 177.75
--> total_distance            = 1698.61
--> Time at Depot             = 673.15
--> answer_cap[10]            = 80.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       64      481.00          517.76          661.00          143.24
2       59      413.00          545.49          593.00          47.51
3       60      425.00          605.00          605.00          0.00
4       65      494.00          643.42          674.00          30.58

#####################<< Answer Route No [11] >>######################
--> Departure Time[11]                = 498.22
--> service cust[11]          = 5
--> total_service_cust        = 65
--> distance[11]              = 168.08
--> total_distance            = 1866.69
--> Time at Depot             = 666.30
--> answer_cap[11]            = 110.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       61      480.00          518.32          660.00          141.68
2       58      412.00          541.76          592.00          50.24
3       57      411.00          591.00          591.00          0.00
4       63      481.00          622.62          661.00          38.38
5       62      480.00          648.59          660.00          11.41
```

รูปที่ 5.19ค ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 3

```
#####################<< Answer Route No [12] >>#######################
--> Departure Time[12]                = 508.89
--> service cust[12]          = 4
--> total_service_cust        = 69
--> distance[12]              = 222.39
--> total_distance            = 2089.08
--> Time at Depot             = 731.28
--> answer_cap[12]            = 80.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       66       502.00          549.20          682.00         132.80
2       67       504.00          587.20          684.00         96.80
3       68       506.00          632.85          686.00         53.15
4       69       506.00          686.00          686.00         0.00

#####################<< Answer Route No [13] >>#######################
--> Departure Time[13]                = 603.80
--> service cust[13]          = 6
--> total_service_cust        = 75
--> distance[13]              = 208.21
--> total_distance            = 2297.30
--> Time at Depot             = 812.01
--> answer_cap[13]            = 110.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       74       573.00          625.34          753.00         127.66
2       70       519.00          665.34          699.00         33.66
3       75       587.00          703.14          767.00         63.86
4       77       597.00          730.07          777.00         46.93
5       71       572.00          752.00          752.00         0.00
6       76       597.00          773.93          777.00         3.07

#####################<< Answer Route No [14] >>#######################
--> Departure Time[14]                = 655.10
--> service cust[14]          = 5
--> total_service_cust        = 80
--> distance[14]              = 185.98
--> total_distance            = 2483.28
--> Time at Depot             = 841.08
--> answer_cap[14]            = 50.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       72       572.00          670.91          752.00         81.09
2       78       601.00          693.27          781.00         87.73
3       73       573.00          720.73          753.00         32.27
4       79       606.00          738.76          786.00         47.25
5       80       610.00          790.00          790.00         0.00

#####################<< Answer Route No [15] >>#######################
--> Departure Time[15]                = 706.82
--> service cust[15]          = 5
--> total_service_cust        = 85
--> distance[15]              = 159.80
--> total_distance            = 2643.08
--> Time at Depot             = 866.62
--> answer_cap[15]            = 50.00
================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
================================================================
1       81       665.00          724.93          845.00         120.07
2       86       692.00          742.62          872.00         129.38
3       85       680.00          766.03          860.00         93.97
4       88       705.00          805.69          885.00         79.31
5       84       666.00          846.00          846.00         0.00
```

รูปที่ 5.19ง ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 4

```
#####################<< Answer Route No [16] >>#######################
--> Departure Time[16]                = 786.14
--> service cust[16]          = 8
--> total_service_cust        = 93
--> distance[16]              = 150.13
--> total_distance            = 2793.21
--> Time at Depot             = 936.27
--> answer_cap[16]            = 120.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       82      665.00          799.14          845.00          45.86
2       90      758.00          802.14          938.00          135.86
3       87      694.00          823.33          874.00          50.67
4       83      666.00          846.00          846.00          0.00
5       91      758.00          848.24          938.00          89.76
6       92      761.00          869.45          941.00          71.55
7       93      773.00          897.63          953.00          55.37
8       89      758.00          915.65          938.00          22.35

#####################<< Answer Route No [17] >>#######################
--> Departure Time[17]                = 954.54
--> service cust[17]          = 7
--> total_service_cust        = 100
--> distance[17]              = 94.27
--> total_distance            = 2887.49
--> Time at Depot             = 1048.81
--> answer_cap[17]            = 90.00
=================================================================
R_No.   No.     AT              TAC             DD              Slack
=================================================================
1       97      853.00          970.35          1033.00         62.65
2       100     947.00          985.35          1127.00         141.65
3       99      944.00          987.35          1124.00         136.65
4       96      851.00          990.35          1031.00         40.65
5       95      850.00          1008.07         1030.00         21.93
6       94      850.00          1030.00         1030.00         0.00
7       98      943.00          1033.00         1123.00         90.00
```

รูปที่ 5.19จ ผลการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตสำหรับปัญหา 100n_c107 ส่วนที่ 5

5.4.7.2 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอ

ตารางที่ 5.21 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอและขอบเขตล่าง

	ระยะทางเฉลี่ยในการจัดส่งที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 100 จุดรับ		
ชุดปัญหา	Lower Bound	GRASP Single	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
100n_C107	2300.72	2996.11	30.22
100n_C109	1221.85	1566.21	28.18
100n_C201	3681.27	5072.50	37.79
100n_C205	2282.63	2540.60	11.30
100n_C208	1243.90	1285.46	3.34
100n_R205	1527.65	1767.43	15.70
100n_RC201	3263.37	3598.15	10.26
100n_RC206	2019.10	2146.51	6.31
เฉลี่ย			17.89

จากตารางที่ 5.21 จะเห็นว่า ระยะทางรวมในการจัดส่งที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอ และระยะทางรวมในการจัดส่งที่เป็นขอบเขตล่าง ทั้ง 8 ปัญหาพบว่ามีความแตกต่างกันโดยเฉลี่ย 17.89% โดยปัญหาได้ความแตกต่างของคำตอบน้อยที่สุดคือ 100n_C208 ซึ่งมีความแตกต่างจากขอบเขตล่างอยู่ 3.34% และปัญหาที่ได้ความแตกต่างของคำตอบมากที่สุดคือ C201 ซึ่งมีความแตกต่าง 37.79%

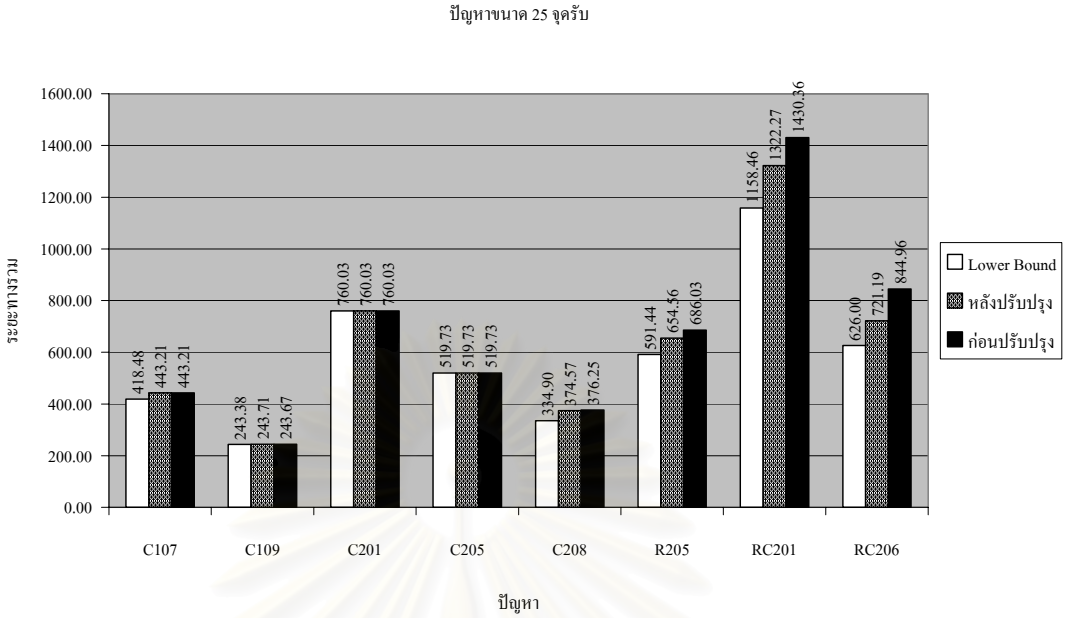
5.5 การวิเคราะห์ผล

จากผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอ ซึ่งทำการแบ่งการทำงานออกเป็นกระบวนการย่อย คือกระบวนการจัดเตรียมข้อมูล กระบวนการจัดเส้นทาง และกระบวนการกำหนดเวลาออกรถ โดยประยุกต์ใช้ Insertion Heuristic และ GRASP ในส่วนของกระบวนการจัดเส้นทาง ทั้งก่อนการปรับปรุงซึ่งใช้แนวทางในการจัดเส้นทางโดยพิจารณาจัดเส้นทางครั้งละ 1 เส้นทาง และหลังการปรับปรุงซึ่งพิจารณาจัดเส้นทางครั้งละมากกว่า 1 เส้นทาง โดยการจำลองการทำงานซึ่งกระทำบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel® Core™ 2 Duo Processor 1.83 GHz RAM 1 GB พบว่าสามารถกำหนดเส้นทาง และเวลาออกออกรถให้สามารถจัดส่งสินค้าได้ทันระยะเวลารับประกันทุกชิ้น สำหรับปัญหาขนาด 5 6 7 8 25 50 และ 100 จุดรับ โดยที่มีความคลาดเคลื่อนของเวลาในระดับไม่เกิน 1 วินาที ซึ่งความคลาดเคลื่อนในระดับดังกล่าวจะไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างในการทำงาน

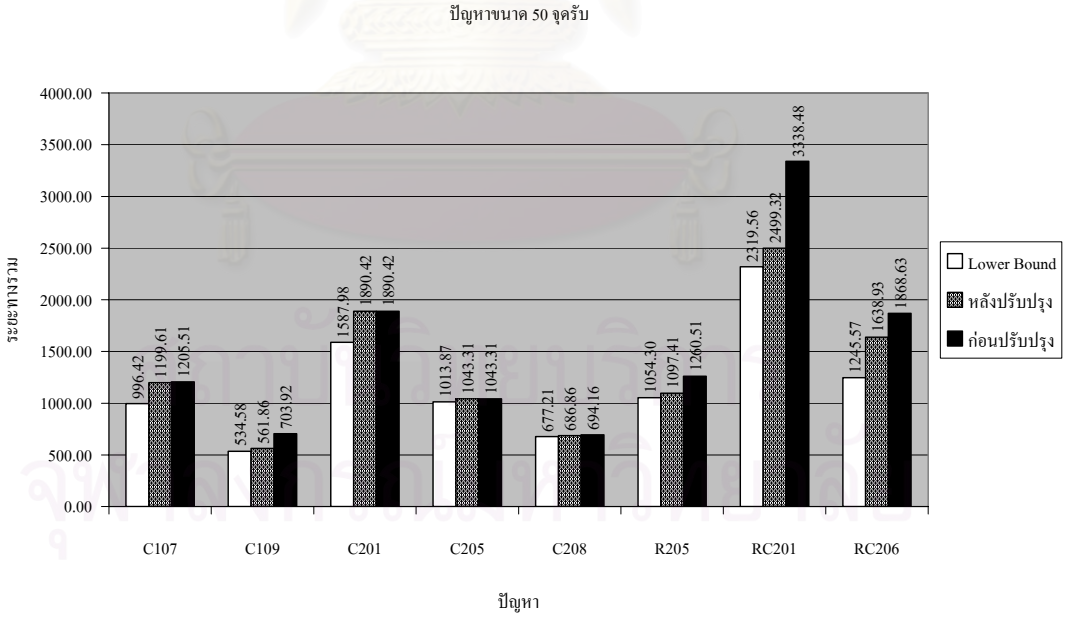
สำหรับปัญหาขนาด 5 จุดรับ 6 จุดรับ 7 จุดรับ และ 8 จุดรับ ฮิวริสติกที่นำเสนอทั้ง 2 แนวทาง สามารถให้คำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับขอบเขตล่าง โดยมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างของปัญหาแต่ละขนาดน้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์

สำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ 50 จุดรับ และ 100 จุดรับ ฮิวริสติกที่นำเสนอก่อนทำการปรับปรุงจะมีความแตกต่างของคำตอบเมื่อเทียบกับขอบเขตล่างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 11.60 23.83 และ 40.73 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และสำหรับฮิวริสติกหลังทำการปรับปรุง จะมีความแตกต่างของคำตอบเมื่อเทียบกับขอบเขตล่างโดยเฉลี่ยเท่ากับ 7.23 11.54 และ 17.89 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

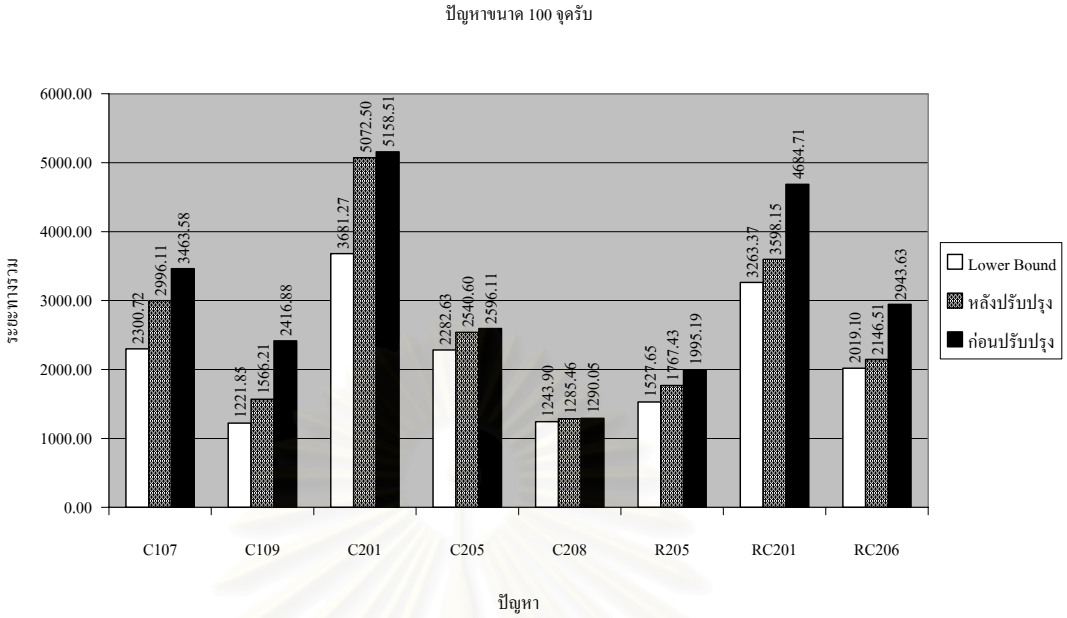
โดยระยะทางในการจัดส่งโดยเฉลี่ยที่ได้จากฮิวริสติก ทั้งก่อนและหลังการปรับปรุง จะมีค่าระยะทางที่ได้โดยเฉลี่ยสำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ 50 จุดรับ และ 100 จุดรับ เมื่อเทียบกับขอบเขตล่าง ดังที่แสดงในรูปที่ 5.20 รูปที่ 5.21 และรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.20 แผนภูมิเปรียบเทียบผลระยะทางรวมที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ



รูปที่ 5.21 แผนภูมิเปรียบเทียบผลระยะทางรวมที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับ



รูปที่ 5.22 แผนภูมิเปรียบเทียบผลระยะทางรวมที่ได้ สำหรับปัญหาขนาด 100 จุดรับ

ซึ่งโดยสรุป หลังทำการปรับปรุงจะทำให้ระยะทางรวมในการจัดส่งโดยเฉลี่ยมีค่าลดลง ดังที่แสดงในตาราง 5.18 ซึ่งระยะทางที่ลดลง สำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ เฉลี่ย 3.40 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 5.22 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอก่อนและหลังปรับปรุงสำหรับปัญหาขนาด 25 จุดรับ

ชุดปัญหา	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ระยะทางเฉลี่ยที่ลดลง(%)
25n_C107	443.21	443.21	0.00
25n_C109	243.67	243.71	-0.02
25n_C201	760.03	760.03	0.00
25n_C205	519.73	519.73	0.00
25n_C208	376.25	374.57	0.45
25n_R205	686.03	654.56	4.59
25n_RC201	1430.36	1322.27	7.56
25n_RC206	844.96	721.19	14.65
เฉลี่ย			3.40

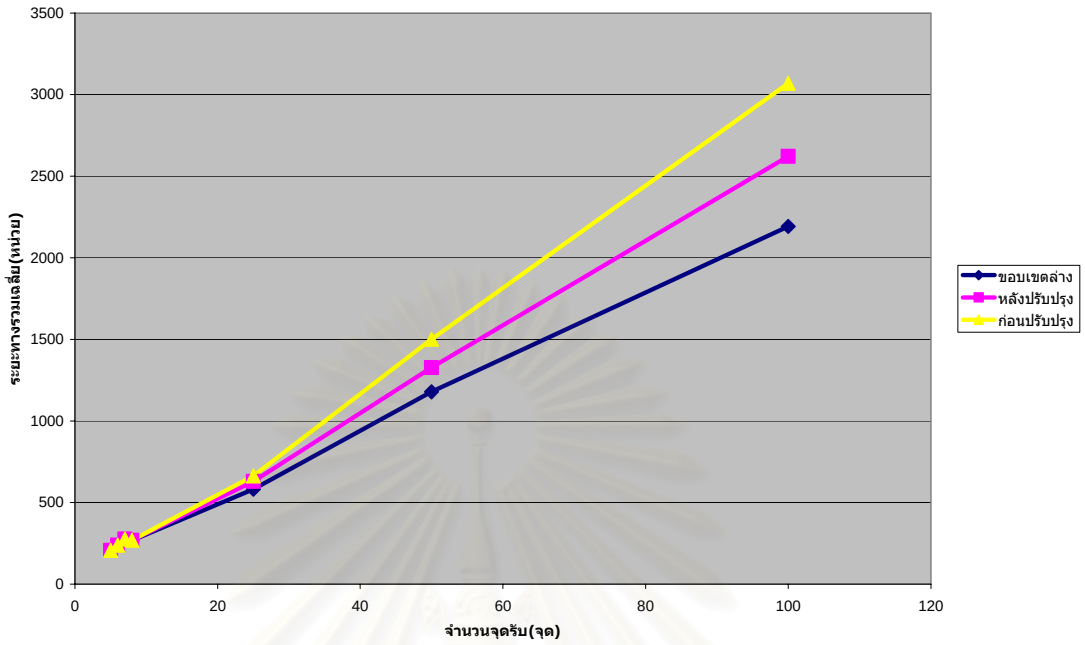
ตารางที่ 5.23 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอก่อนและหลังปรับปรุงสำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับ

ชุดปัญหา	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ระยะทางเฉลี่ยที่ลดลง(%)
50n_C107	1205.51	1199.61	0.49
50n_C109	703.92	561.86	20.18
50n_C201	1890.42	1890.42	0.00
50n_C205	1043.31	1043.31	0.00
50n_C208	694.16	686.86	1.05
50n_R205	1260.51	1097.41	12.94
50n_RC201	3338.48	2499.32	25.14
50n_RC206	1868.63	1638.93	12.29
เฉลี่ย			9.01

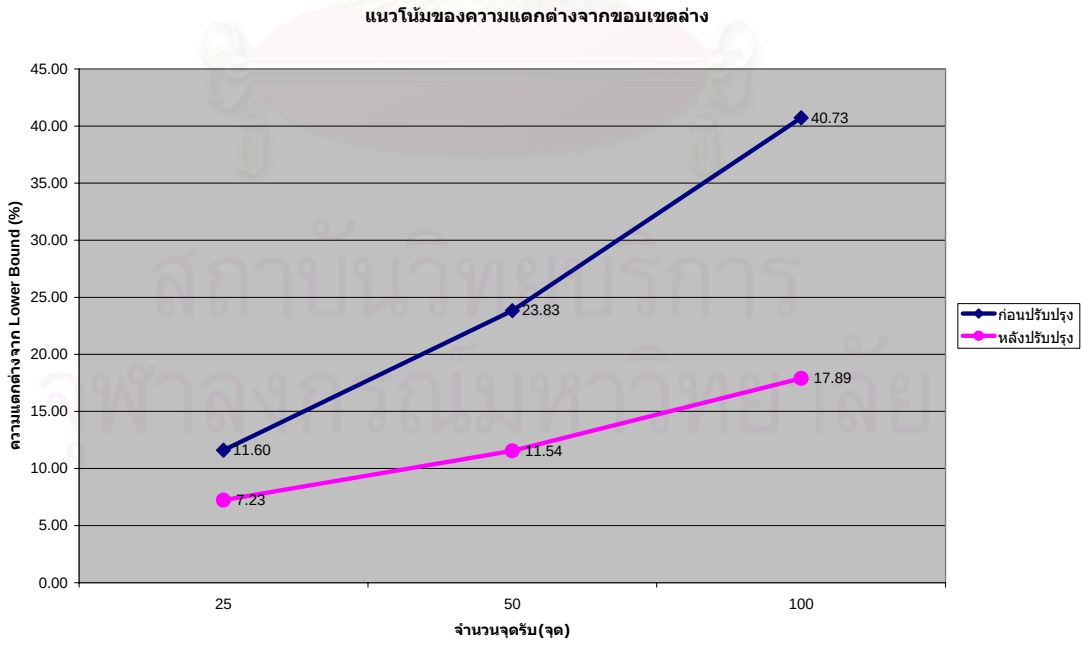
ตารางที่ 5.24 การเปรียบเทียบผลคำตอบของฮิวริสติกที่นำเสนอก่อนและหลังปรับปรุงสำหรับปัญหาขนาด 50 จุดรับ

ชุดปัญหา	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ระยะทางเฉลี่ยที่ลดลง(%)
100n_C107	3463.58	2996.11	13.50
100n_C109	2416.88	1566.21	35.20
100n_C201	5158.51	5072.50	1.67
100n_C205	2596.11	2540.60	2.14
100n_C208	1290.05	1285.46	0.36
100n_R205	1995.19	1767.43	11.42
100n_RC201	4684.71	3598.15	23.19
100n_RC206	2943.63	2146.51	27.08
เฉลี่ย			14.32

สำหรับปัญหาขนาด 50 และ 100 จุดรับดังที่แสดงในตาราง 5.23 และ 5.24 ซึ่งระยะทางที่ลดลง เฉลี่ย 9.01 เปอร์เซ็นต์ และ 14.32 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ



รูปที่ 5.23 แผนภูมิเส้น เปรียบเทียบระยะทางเฉลี่ยของคำตอบ ระหว่างขอบเขตล่าง ฮิวริสติกก่อนการปรับปรุง และฮิวริสติกหลังการปรับปรุง



รูปที่ 5.24 แผนภูมิเส้น เปรียบเทียบแนวโน้มความแตกต่างโดยเฉลี่ยจากขอบเขตล่าง

ซึ่งพบว่าหลังจากทำการปรับปรุงวิธีการในกระบวนการจัดเส้นทาง และกระบวนการตัดสินใจให้สอดคล้องกับปัญหามากขึ้น จะทำให้ระยะทางรวมโดยเฉลี่ย มีค่าที่ต่ำลง และเข้าใกล้ขอบเขตล่างมากยิ่งขึ้น เนื่องสามารถสร้างเส้นทางที่มีการสลับลำดับของจุดรับสินค้าได้ ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบเข้าใกล้กับขอบเขตล่างมากยิ่งขึ้น และการพิจารณาเส้นทางพร้อมกันมากกว่า 1 เส้นทาง จะทำให้เส้นทางในการจัดส่งทุกเส้นทาง จะเริ่มออกเดินทางเมื่อ CRST ลดลงจนไม่สามารถรอรับข้อมูลต่อไปได้เท่านั้น นั่นคือสามารถเก็บคำตอบของเส้นไว้ในระบบได้นานขึ้น ส่งผลให้ในแต่ละช่วงเวลาจะรอรับข้อมูลเพื่อทำการตัดสินใจนานขึ้น ทำให้การตัดสินใจที่ได้นั้นเกิดจากการรับข้อมูลมาตัดสินมากขึ้น ซึ่งหากพิจารณาแนวโน้มของค่าเฉลี่ยของความแตกต่างเมื่อเทียบกับขอบเขตล่าง พบว่า หลังจากที่ทำการปรับปรุงแนวโน้มการเพิ่มของของความแตกต่างจากขอบเขตล่าง เมื่อขนาดของปัญหาขยายใหญ่ขึ้น มีแนวโน้มที่ต่ำกว่าก่อนทำการปรับปรุงเส้นทาง ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 5.24

5.6 บทสรุป

ฮิวริสติกที่นำเสนอมีกระบวนการหาคำตอบให้แก่ข้อมูลนำเข้าอย่างพลวัต ซึ่งผลการทดสอบฮิวริสติกด้วยปัญหาทดสอบที่จำนวนจุดรับแตกต่างกัน พบว่าคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกที่นำเสนอทั้งสองแนวทาง สามารถกำหนดเวลาออกรถ และเส้นทางการจัดส่งให้สินค้าถูกจัดส่งได้ทันระยะเวลารับประกันทุกชิ้น โดยให้ค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกับขอบเขตล่างสำหรับปัญหาขนาดเล็ก และสำหรับปัญหาขนาดใหญ่จะมีค่าคำตอบที่ยอมรับได้ โดยฮิวริสติกที่นำเสนอแนวทางที่สองซึ่งพิจารณาจัดเส้นทางครั้งละมากกว่าหนึ่งเส้นทาง จะสามารถให้คำตอบที่ดีกว่า ฮิวริสติกที่นำเสนอแบบแรกที่พิจารณาจัดเส้นทางครั้งละหนึ่งเส้นทาง ซึ่งจากผลประสิทธิภาพการหาคำตอบของฮิวริสติกทั้งในด้านคุณภาพและในด้านความสามารถในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปัญหาได้อย่างรวดเร็ว จะเห็นว่าฮิวริสติกที่นำเสนอ มีความเหมาะสมสำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่ระบบมีความไม่คงที่และทยอยทราบข้อมูลของสินค้าในระหว่างขั้นตอนการกำหนดเส้นทางเดินรถ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
สรุปผลงานวิจัย

ผลการพัฒนาและทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของวิธีแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก สำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้นำมาสู่การสรุปผลงานวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย และแนวทางในการประยุกต์ใช้รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตดังนี้

6.1 สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์รูปแบบปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตให้ส่งสินค้าทันระยะเวลารับประกัน โดยศึกษาจากพฤติกรรมการจัดส่งเวชภัณฑ์จากห้องจ่ายยาไปยังหอผู้ป่วย มีวัตถุประสงค์ คือ ระยะทางรวมในการจัดส่งน้อยที่สุด ซึ่งปัญหามีความซับซ้อนในรายละเอียดของการทำงานในชีวิตจริง และเป็นรูปแบบปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดของโครงข่าย ที่มีความซับซ้อนของการคำนวณในระดับ NP-Hard โดยในเบื้องต้นได้ทำการสำรวจทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อศึกษารูปแบบ ลักษณะและแนวทางแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในภาพรวม ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถได้รับความสนใจศึกษาแยกย่อยออกไปอย่างหลากหลายตามแง่มุมเฉพาะของระบบงาน ก่อให้เกิดรูปแบบที่แตกต่างกันของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ได้รับความสนใจมากที่สุด คือ Traveling Salesman Problem และ Vehicle Routing Problem สำหรับวิธีการแก้ไขปัญหา ของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทางหลัก คือ วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด และวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์และศึกษารูปแบบปัญหาภายใต้ระบบที่เป็นแบบพลวัต ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการหาคำตอบทยอยทราบหลังจากเริ่มขั้นตอนการหาคำตอบ และต้องทำการตัดสินใจในเวลาจริง เพื่อกำหนดเวลาออกรถ และเส้นทางการจัดส่งให้สอดคล้องกับเงื่อนไขระยะเวลารับประกัน และความจุของรถที่ใช้ในการจัดส่ง โดยแนวทางแก้ปัญหาได้ออกแบบกระบวนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอ ออกเป็น 3 ส่วนคือ

- กระบวนการจัดเตรียมข้อมูล
- กระบวนการจัดเส้นทาง
- กระบวนการกำหนดเวลาออกรถ

โดยในกระบวนการจัดเส้นทางนั้นจะนำเอา Insertion Heuristic และ GRASP มาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อให้สามารถตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของปัญหาที่รวดเร็ว และสามารถ

ให้คุณภาพของคำตอบที่ดี

จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอทั้งสองแนวทาง ด้วยปัญหาทดสอบที่จำนวนจุดรับสินค้าแตกต่างกัน ให้ค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดสากล ของคำตอบจากปัญหาที่ใช้เป็นขอบเขตล่าง คือ ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่สมมุติให้ทราบข้อมูลของสินค้าที่จะต้องจัดส่งทุกชิ้นล่วงหน้าสำหรับปัญหาขนาด 5 6 7 และ 8 จุดรับ สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ คือ 25 50 และ 100 จุดรับ คำตอบที่ได้ก็อยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ เมื่อเปรียบเทียบกับขอบเขตล่าง โดยในปัญหาขนาดใหญ่ฮิวริสติกแนวทางที่สองซึ่งปรับปรุงให้มีการพิจารณาจัดเส้นทางได้ครั้งละมากกว่าหนึ่งเส้นทางสามารถให้คำตอบได้ใกล้กับขอบเขตล่างมากกว่าและมีแนวโน้มความผิดพลาดจากขอบเขตล่างต่ำกว่าเมื่อปัญหามีขนาดเพิ่มขึ้น และคำตอบที่ได้ จากปัญหาทดสอบทุกปัญหาสามารถจัดส่งสินค้าได้ทันระยะเวลารับประกันทุกชิ้น จากผลประสิทธิภาพในการหาคำตอบของฮิวริสติก ทั้งในด้านคุณภาพ และความรวดเร็วในการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปัญหา สรุปได้ว่าฮิวริสติกที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี มีความเหมาะสมสำหรับปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต ที่ต้องทำการตัดสินใจกำหนดเวลาออกรถ และเส้นทางในการจัดส่ง

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยและแนวทางประยุกต์ใช้

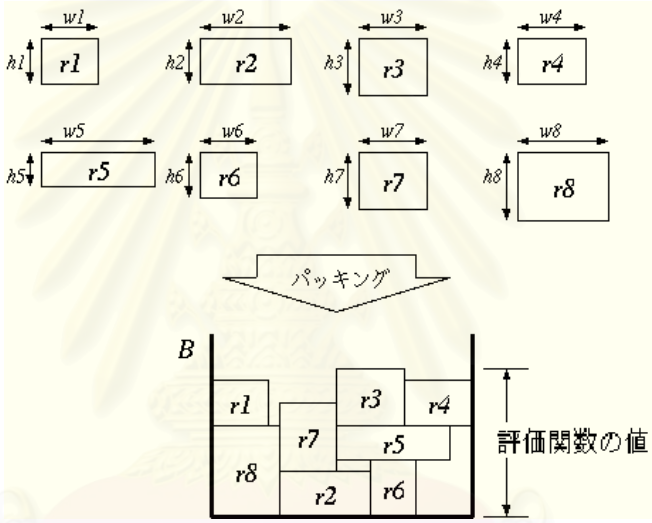
ฮิวริสติกที่นำเสนอในงานวิจัย สามารถกำหนดเวลาออกรถและเส้นทางการจัดส่งที่เหมาะสม โดยที่ให้ค่าระยะทางรวมที่เหมาะสม ภายใต้เงื่อนไขด้านกรอบระยะเวลารับประกัน และความจุของรถขนส่ง ซึ่งจากรูปแบบของฮิวริสติกที่ใช้การแก้ไขปัญหาอย่างพลวัต สำหรับข้อมูลตัดสินใจในเวลาจริง จึงทำให้ผลการกำหนดเวลาออกรถ และเส้นทางในการจัดส่งที่ได้ สามารถนำไปใช้ได้ในระบบการทำงานจริงอย่างสอดคล้อง โดยแนวทางในการประยุกต์ใช้จำเป็นต้องมีการปรับระบบจริงในส่วนการรับข้อมูลนำเข้าของสินค้า ให้รวดเร็วเพียงพอ เพื่อที่จะสามารถส่งผ่านข้อมูลให้แก่ฮิวริสติกทำการตัดสินใจกำหนดเวลาออกรถ และเส้นทางในการจัดส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การใช้สายพานลำเลียงและการอ่านข้อมูลโดยใช้รหัสแท่ง(Bar Code) หรือการใช้ RFID

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาและพัฒนาฮิวริสติก เพื่อการกำหนดเวลาออกรถ และเส้นทางในการจัดส่งที่เหมาะสม จากการทยอยรับข้อมูลของสินค้าเข้ามาในระหว่างกระบวนการจัดเส้นทาง ซึ่งพิจารณาครอบคลุมเนื้อหาในเรื่อง ความไม่คงที่ของระบบ ความไม่แน่นอนของความต้องการ ความจุของรถขนส่ง และกรอบด้านระยะเวลารับประกัน เพื่อให้สอดคล้องกับระบบจริงของงาน

โดยมีการทดสอบถึงปัญหาในรูปแบบที่ข้อจำกัดด้านกรอบเวลาในการจัดส่งเคร่งครัด (Hard Time Window Constraint) และในรูปแบบที่ข้อจำกัดด้านกรอบเวลาแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Window Constraint) ซึ่งนอกเหนือจากเนื้อหาที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยฉบับนี้ ยังคงมีแง่มุมที่น่าสนใจศึกษาซึ่งยังไม่ได้ถูกนำมาพิจารณา ได้แก่

การพิจารณาคุณสมบัติของสินค้าที่จะต้องจัดส่ง ทั้งในด้านปริมาตรของสินค้า และรูปร่างของสินค้า เนื่องจากในบางกรณี แม้ความจุของรถยังเหลืออยู่มากกว่าปริมาตรของสินค้าที่ต้องการจัดเรียงเพิ่มลงไปในรถ แต่อาจจะไม่สามารถจัดวางสินค้าลงในรถได้ หากพื้นที่ว่างของรถที่เหลืออยู่มีรูปร่างไม่สัมพันธ์กับรูปร่างของสินค้า ซึ่งอาจต้องอาศัยแนวคิดในการแก้ปัญหา Bin Packing Problem เข้ามาร่วมพิจารณาด้วย



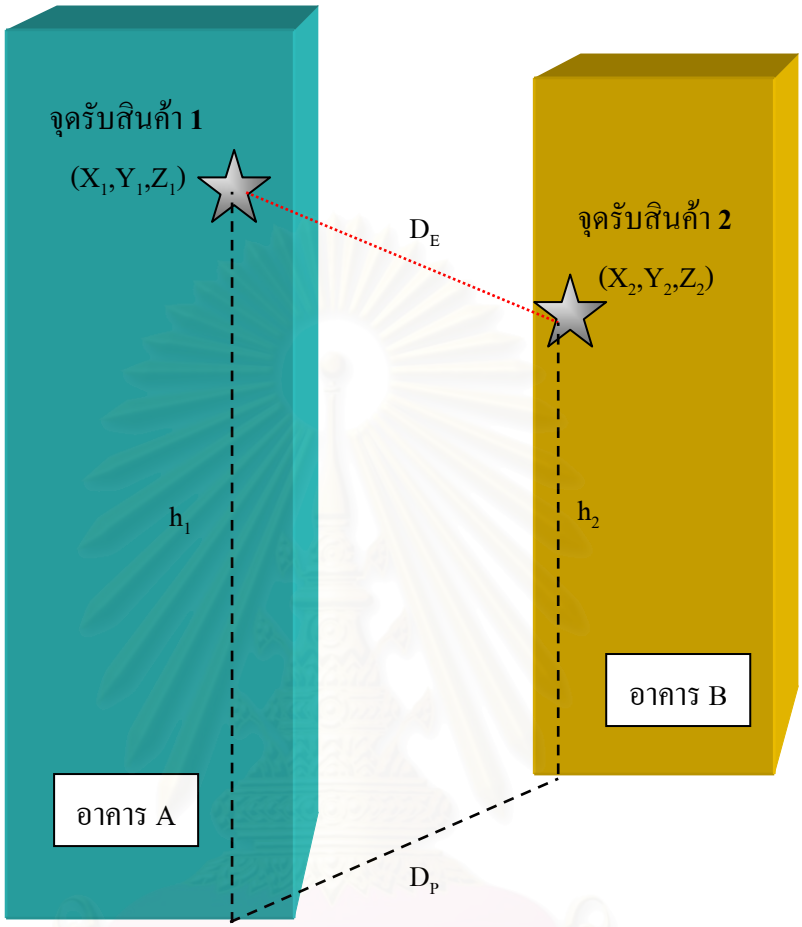
รูปที่ 6.1 ตัวอย่างปัญหา Bin Packing Problem

และเนื่องจากในงานวิจัยฉบับนี้พิจารณาระยะเวลารับประกันมีคงที่สำหรับจุดรับสินค้าทุกจุด ซึ่งในการทำงานจริงบางกรณีอาจมีจุดรับสินค้าที่มีความเร่งด่วนในการจัดส่งแตกต่างกัน ดังนั้นสำหรับการศึกษาในอนาคต อาจพิจารณาเป็นปัญหาที่จุดรับสินค้ามีระยะเวลารับประกันแตกต่างกัน

ในด้านของระยะทางระหว่างจุดรับสินค้าในงานวิจัยฉบับนี้จะพิจารณาเป็นแบบ Euclidian Distance ซึ่งเป็นระยะทางเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดสองจุดในระนาบ 2 มิติเพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการทดสอบที่ดัดแปลงจากปัญหาของ Solomon ซึ่งในความเป็นจริงตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับสองจุดที่มีระยะทางแบบ Euclidian Distance ไม่ห่างกันนั้น อาจจะมีระยะทางที่ใช้ในการเดินทางจริงมากกว่าค่า Euclidian Distance เช่น กรณีที่จุดรับสินค้าสองจุดอยู่กันคนละอาคารดังเช่นในรูปที่ 6.2 จุดรับสินค้าหมายเลข 1 และจุดรับสินค้าหมายเลข 2 อยู่ในอาคาร A และอาคาร B ตามลำดับ ซึ่งหากเราคิดระยะทางระหว่างกันในแนวเส้นตรงจะพบว่าจุดรับ

สินค้าหมายเลข 1 กับจุดรับสินค้าหมายเลข 2 อยู่ใกล้กันมากโดยมีระยะทางห่างกัน คือ

$$D_E = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2} \quad (6.1)$$



รูปที่ 6.2 ตัวอย่างตำแหน่งที่ตั้งของจุดรับสินค้าที่ตั้งอยู่ต่างอาคารกัน

แต่ในการเดินทางระหว่างจุดรับสินค้าสองจุดนี้จะต้องเดินทางลงมายังด้านล่างอาคารก่อนที่จะเดินทางไปยังอีกอาคารหนึ่งแล้วจึงเดินทางขึ้นไปยังจุดรับสินค้าเป้าหมายซึ่งจะมีระยะทางคือ

$$\begin{aligned} D_R &= h_1 + D_P + h_2 \\ &= Z_1 + \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2} + Z_2 \end{aligned} \quad (6.2)$$

ดังนั้นหากมีการเอาฮิวริสติกไปประยุกต์ใช้กับปัญหาจริง อาจต้องมีการรับข้อมูลเพิ่มเติมว่าจุดรับสินค้าใดอยู่ในอาคารใด แล้วทำการคำนวณระยะทางในการเดินทางให้สอดคล้องกับเส้นทางที่ใช้ในการเดินทางจริงเพื่อนำไปเป็นข้อมูลนำเข้าให้กับฮิวริสติกไปใช้ในการหาคำตอบ

นอกจากนี้สำหรับงานวิจัยในอนาคตอาจจะพิจารณาการทำงานเพิ่มเติมให้สามารถยกเลิกการสั่งซื้อได้หากรถยังไม่ได้เริ่มออกเดินทาง รวมถึงการพิจารณาระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางตามแต่ละช่วงเวลา

รายการอ้างอิง

ปารเมศ ชุติมา. 2546. **เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน.** กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พงศ์พัฒน์ โตตระกูล. 2546. **วิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเวชภัณฑ์ในระบบการกระจายเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาล.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรวรรณ ตันศิริเจริญกุล. 2534. **ระบบจัดเส้นทางขนส่ง กรณีศึกษา: การขนส่งเฟอร์นิเจอร์ประเภทถอดประกอบ.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Bard, J. F., Kontoravdis, G., and Yu, G. 2002. A branch-and-cut procedure for the vehicle routing problem with time windows. **Transportation Science** 30: 250-269.

Basnet, C., and Foulds, L. R. 1997. **Heuristics for vehicle routing on fir trees.** (Unpublished Manuscript)

Blum, C., and Roli, A. 2003. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. **ACM Computing Surveys** 35: 268-308.

Braysy, O., Gendreau, M. 2005. Vehicle Routing Problem with Time Windows,Part I: Route Construction and LocalSearch Algorithms. **Transportation Science** 39: 104-118.

Campbell, A. M., and Savelsbergh, M. 2004. Efficient insertion heuristics for vehicle routing and scheduling problems. **Transportation Science** 38: 369-378.

Chaovalitwongse, W., Kim, D., and Pardalos, P. M. 2003. GRASP with new local search scheme for vehicle routing problem with time windows. **Journal of Combinatorial Optimization** 7: 179-207.

Chen, C. H. 2005. A hybrid ant colony for vehicle routing problem with time windows. **Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies** 6: 2822-2836.

Clarke, G., and Wright, J. W. 1964. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. **Operations Research** 12: 568-581.

Dua, T.C., Lib, E. Y., and Chouc, D. 2005. Dynamic vehicle routing for online B2C delivery. **Omega** 33: 33 – 45.

Fisher, M. L., Jornsten, K. O., and Madsen, O. B. G. 1997. Vehicle routing with time windows: Two optimization algorithms. **Operations Research** 45: 488-492.

Gendreau, M., Laporte, G., and Seguin, R. 1996. Invited review stochastic vehicle routing. **European Journal of Operational Research** 88: 3-12.

Gendreau, M., Laporte, G., and Semet, F. 1998. A tabu search heuristic for the undirected selective travellingsalesman problem. **European Journal of Operational Research** 106: 539-545.

Gendreau, M., Laporte, G., and Semet, F. 2001. A dynamic model and parallel tabu search heuristic for real-time ambulance relocation. **Parallel Compution** 27: 1641-1653.

Gillett, B. E., and Miller, L. R. 1974. A heuristic algorithm for the vehicle dispatching problem. **Operations Research** 35: 254-265.

Kara, I., Laporte, G., and Bektas, T. 2004. A note on the lifted Miller–Tucker–Zemlin subtour elimination constraints for the capacitated vehicle routing problem. **European Journal of Operational Research** 158: 793-795.

Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J., and Semet, F. 2000. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. **International Transactions in Operational Research** 7: 285-300.

Larsen, A. 2000. **The Dynamic Vehicle Routing Problem.** Doctoral dissertation. Department of Mathematical Modeling, Technical University of Denmark.

Lee, S. H. 2005. **Greedy randomize adaptive search procedure for traveling salesman problem.** Master's Thesis. Department of Industrial Engineering, Texas A&M University.

Lu, Q., and Dessouk, M. 2004. An exact algorithm for the multiple vehicle pickup and delivery problem. **Transportation Science** 38: 503-514.

Montemanni, R., Gambardella, L. M., Rizoli, A. E., and Donati, A. V. 2005. Ant colony system for dynamic vehicle routing problem. **Journal of Combinatorial Optimization** 10: 327-343.

Renaud, J., and Boctor, F. F. 2002. A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem. **European Journal of Operational Research** 140: 618-628.

Solomon, M. M. 1987. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. **Operations Research** 35: 254-265.

Tan, K. C., Lee, L. H., and Ou, K. 2001. Artificial intelligence heuristics in solving vehicle routing problems with time window constraints. **Engineering Applications of Artificial Intelligence** 14: 825-837.

Tan, K. C., Lee, L. H., Zhu, Q. L., and Ou, K. 2001. Heuristic methods for vehicle routing problems with time windows. **Artificial Intelligence in Engineering** 15: 281-295.

Yang, J., Jaillet, P., Mahmassani, H. 2002. **Real-Time Multi-Vehicle Truckload Pick-Up and Delivery Problems.** (Unpublished Manuscript)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ทดสอบฮิวริสติก

ปัญหาทดสอบขนาด 5 จุดรับ

ปัญหาทดสอบ 5n_c107

```
================== INPUT ==================

Problem Name          5n_c107
Problem Size          5
Car Capacity          200
Guarantee Time        180

No.     X       Y       q       AT      DD
============================================
0       40      50      0       0       1236
1       22      75      30      30      210
2       38      68      20      200     380
3       20      85      40      412     592
4       40      69      20      572     752
5       25      85      20      597     777
```

ปัญหาทดสอบ 5n_c109

```
================== INPUT ==================

Problem Name          5n_c109
Problem Size          5
Car Capacity          200
Guarantee Time        360

No.     X       Y       q       AT      DD
============================================
0       40      50      0       0       1236
1       22      75      30      30      390
2       38      68      20      110     470
3       20      85      40      322     682
4       40      69      20      482     842
5       25      85      20      507     867
```

ปัญหาทดสอบ 5n_c201

```
================== INPUT ==================

Problem Name          5n_c201
Problem Size          5
Car Capacity          700
Guarantee Time        160

No.     X       Y       q       AT      DD
============================================
0       40      50      0       0       3390
1       16      42      20      497     657
2       20      85      40      1934    2094
3       25      85      20      2119    2279
4       22      75      30      2405    2565
5       34      60      20      2887    3047
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาทดสอบ 5n_c205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          5n_c205
Problem Size          5
Car Capacity          700
Guarantee Time        320

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       3390
1       16      42      20      417     737
2       20      85      40      1854    2174
3       25      85      20      2039    2359
4       22      75      30      2325    2645
5       34      60      20      2807    3127
```

ปัญหาทดสอบ 5n_c208

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          5n_c208
Problem Size          5
Car Capacity          700
Guarantee Time        640

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       3390
1       16      42      20      257     897
2       20      85      40      1694    2334
3       25      85      20      1879    2519
4       22      75      30      2165    2805
5       34      60      20      2647    3287
```

ปัญหาทดสอบ 5n_r205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          5n_r205
Problem Size          5
Car Capacity          1000
Guarantee Time        240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       35      35      0       0       1000
1       50      35      19      167     407
2       10      20      19      203     443
3       10      43      9       323     563
4       25      30      3       345     585
5       30      25      23      639     879
```

ปัญหาทดสอบ 5n_rc201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          5n_rc201
Problem Size          5
Car Capacity          1000
Guarantee Time        120
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	960
1	8	45	20	223	343
2	0	40	20	255	375
3	15	80	10	367	487
4	18	75	20	388	508
5	5	35	10	653	773

ปัญหาทดสอบ 5n_rc206

```
================== INPUT ==================

Problem Name          5n_rc206
Problem Size          5
Car Capacity          1000
Guarantee Time        240
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	960
1	8	45	20	163	403
2	0	40	20	195	435
3	15	80	10	307	547
4	18	75	20	328	568
5	5	35	10	593	833

ปัญหาทดสอบขนาด 6 จุดรับ

ปัญหาทดสอบ 6n_c107

```
================== INPUT ==================

Problem Name          6n_c107
Problem Size          6
Car Capacity          200
Guarantee Time        180
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	1236
1	42	65	10	15	195
2	42	66	10	16	196
3	25	52	40	107	287
4	35	66	10	294	474
5	40	69	20	572	752
6	30	52	20	850	1030

ปัญหาทดสอบ 6n_c109

```
================== INPUT ==================

Problem Name          6n_c109
Problem Size          6
Car Capacity          200
Guarantee Time        360
```

No.	X	Y	q	AT	DD

0	40	50	0	0	1236
1	42	65	10	15	375
2	42	66	10	16	376
3	25	52	40	17	377
4	35	66	10	204	564
5	40	69	20	482	842
6	30	52	20	760	1120

ปัญหาทดสอบ 6n_c201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           6n_c201
Problem Size           6
Car Capacity           700
Guarantee Time         160
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	42	65	10	25	185
2	16	42	20	497	657
3	62	69	10	1167	1327
4	22	66	40	2504	2664
5	35	66	10	2791	2951
6	30	56	20	2983	3143

ปัญหาทดสอบ 6n_c205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           6n_c205
Problem Size           6
Car Capacity           700
Guarantee Time         320
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	42	65	10	15	335
2	16	42	20	417	737
3	62	69	10	1087	1407
4	22	66	40	2424	2744
5	35	66	10	2711	3031
6	30	56	20	2903	3223

ปัญหาทดสอบ 6n_c208

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           6n_c208
Problem Size           6
Car Capacity           700
Guarantee Time         640
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	42	65	10	15	655
2	16	42	20	257	897
3	62	69	10	927	1567
4	22	66	40	2264	2904
5	35	66	10	2551	3191
6	30	56	20	2648	3288

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาทดสอบ 6n_r205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          6n_r205
Problem Size          6
Car Capacity          1000
Guarantee Time        240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       35      35      0       0       1000
1       15      30      26      20      260
2       45      20      11      153     393
3       25      30      3       345     585
4       55      45      13      436     676
5       30      60      16      485     725
6       65      20      6       716     956
```

ปัญหาทดสอบ 6n_rc201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          6n_rc201
Problem Size          6
Car Capacity          1000
Guarantee Time        120

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       960
1       20      85      20      73      193
2       40      5       10      215     335
3       18      75      20      388     508
4       22      85      10      471     591
5       10      40      30      519     639
6       35      5       20      784     904
```

ปัญหาทดสอบ 6n_rc206

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          6n_rc206
Problem Size          6
Car Capacity          1000
Guarantee Time        240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       960
1       20      85      20      40      280
2       40      5       10      155     395
3       18      75      20      328     568
4       22      85      10      411     651
5       10      40      30      459     699
6       35      5       20      664     904
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาทดสอบขนาด 7 จุดรับ

ปัญหาทดสอบ 7n_c107

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           7n_c107
Problem Size           7
Car Capacity           200
Guarantee Time         180

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       1236
1       25      50      10      15      195
2       25      52      40      107     287
3       20      80      40      317     497
4       38      70      10      480     660
5       40      69      20      572     752
6       42      68      10      665     845
7       45      68      10      850     1030
```

ปัญหาทดสอบ 7n_c109

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           7n_c109
Problem Size           7
Car Capacity           200
Guarantee Time         360

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       1236
1       25      50      10      15      375
2       25      52      40      17      377
3       20      80      40      227     587
4       38      70      10      390     750
5       40      69      20      482     842
6       42      68      10      575     935
7       45      68      10      760     1120
```

ปัญหาทดสอบ 7n_c201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           7n_c201
Problem Size           7
Car Capacity           700
Guarantee Time         160

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       3390
1       25      50      10      116     276
2       52      75      10      311     471
3       16      42      20      497     657
4       60      66      10      1261    1421
5       20      80      40      2216    2376
6       22      66      40      2504    2664
7       28      70      10      2601    2761
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาทดสอบ 7n_c205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           7n_c205
Problem Size           7
Car Capacity           700
Guarantee Time         320

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       3390
1       25      50      10      36      356
2       52      75      10      231     551
3       16      42      20      417     737
4       60      66      10      1181    1501
5       20      80      40      2136    2456
6       22      66      40      2424    2744
7       28      70      10      2521    2841
```

ปัญหาทดสอบ 7n_c208

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           7n_c208
Problem Size           7
Car Capacity           700
Guarantee Time         640

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       3390
1       25      50      10      15      655
2       52      75      10      71      711
3       16      42      20      257     897
4       60      66      10      1021    1661
5       20      80      40      1976    2616
6       22      66      40      2264    2904
7       28      70      10      2361    3001
```

ปัญหาทดสอบ 7n_r205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           7n_r205
Problem Size           7
Car Capacity           1000
Guarantee Time         240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       35      35      0       0       1000
1       30      5       8       118     358
2       55      60      16      329     569
3       25      30      3       345     585
4       55      20      19      620     860
5       65      35      3       656     896
6       41      49      10      658     898
7       65      20      6       716     956
```

ปัญหาทดสอบ 7n_rc201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           7n_rc201
Problem Size           7
Car Capacity           1000
Guarantee Time         120

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       960
1       2       40      20      174     294
2       10      35      20      371     491
3       18      75      20      388     508
4       20      80      40      644     764
5       25      85      20      673     793
6       38      15      10      681     801
7       35      5       20      784     904
```

ปัญหาทดสอบ 7n_rc206

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           7n_rc206
Problem Size           7
Car Capacity           1000
Guarantee Time         240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       960
1       2       40      20      114     354
2       10      35      20      311     551
3       18      75      20      328     568
4       20      80      40      584     824
5       25      85      20      613     853
6       38      15      10      621     861
7       35      5       20      664     904
```

ปัญหาทดสอบขนาด 8 จุดรับ

ปัญหาทดสอบ 8n_c107

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           8n_c107
Problem Size           8
Car Capacity           200
Guarantee Time         180

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       1236
1       42      65      10      15      195
2       25      50      10      15      195
3       42      66      10      16      196
4       25      52      40      107     287
```

5	35	66	10	294	474
6	40	69	20	572	752
7	45	70	30	758	938
8	30	52	20	850	1030

ปัญหาทดสอบ 8n_c109

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           8n_c109
Problem Size           8
Car Capacity           200
Guarantee Time         360
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	1236
1	42	65	10	15	375
2	25	50	10	15	375
3	42	66	10	16	376
4	25	52	40	17	377
5	35	66	10	204	564
6	40	69	20	482	842
7	45	70	30	668	1028
8	30	52	20	760	1120

ปัญหาทดสอบ 8n_c201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           8n_c201
Problem Size           8
Car Capacity           700
Guarantee Time         160
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	42	65	10	25	185
2	25	50	10	116	276
3	45	70	30	213	373
4	16	42	20	497	657
5	62	69	10	1167	1327
6	22	66	40	2504	2664
7	35	66	10	2791	2951
8	30	56	20	2983	3143

ปัญหาทดสอบ 8n_205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           8n_c205
Problem Size           8
Car Capacity           700
Guarantee Time         320
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	42	65	10	15	335
2	25	50	10	36	356
3	45	70	30	133	453
4	16	42	20	417	737
5	62	69	10	1087	1407
6	22	66	40	2424	2744

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
7       35      66      10      2711    3031
8       30      56      20      2903    3223
```

ปัญหาทดสอบ 8n_c208

```
=================== INPUT ===================

Problem Name            8n_c208
Problem Size            8
Car Capacity            700
Guarantee Time          640

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       3390
1       42      65      10      15      655
2       25      50      10      15      655
3       45      70      30      20      660
4       16      42      20      257     897
5       62      69      10      927     1567
6       22      66      40      2264    2904
7       35      66      10      2551    3191
8       30      56      20      2648    3288
```

ปัญหาทดสอบ 8n_r205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name            8n_r205
Problem Size            8
Car Capacity            1000
Guarantee Time          240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       35      35      0       0       1000
1       15      30      26      20      260
2       35      17      7       93      333
3       45      20      11      153     393
4       25      30      3       345     585
5       55      45      13      436     676
6       30      60      16      485     725
7       65      35      3       656     896
8       65      20      6       716     956
```

ปัญหาทดสอบ 8n_rc201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name            8n_rc201
Problem Size            8
Car Capacity            1000
Guarantee Time          120

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       960
1       20      85      20      73      193
2       22      75      30      152     272
```

3	40	5	10	215	335
4	18	75	20	388	508
5	22	85	10	471	591
6	10	40	30	519	639
7	38	15	10	681	801
8	35	5	20	784	904

ปัญหาทดสอบ 8n_rc206

```
================== INPUT ==================

Problem Name           8n_rc206
Problem Size           8
Car Capacity           1000
Guarantee Time         240
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	960
1	20	85	20	40	280
2	22	75	30	92	332
3	40	5	10	155	395
4	18	75	20	328	568
5	22	85	10	411	651
6	10	40	30	459	699
7	38	15	10	621	861
8	35	5	20	664	904

ปัญหาทดสอบขนาด 25 จุดรับ

ปัญหาทดสอบ 25n_c107

```
================== INPUT ==================

Problem Name           25n_c107
Problem Size           25
Car Capacity           200
Guarantee Time         180
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	1236
1	30	50	10	10	190
2	42	65	10	15	195
3	25	50	10	15	195
4	42	66	10	16	196
5	22	75	30	30	210
6	18	75	20	34	214
7	25	52	40	107	287
8	40	66	20	108	288
9	15	75	20	127	307
10	38	68	20	200	380
11	15	80	10	222	402
12	35	66	10	294	474
13	20	80	40	317	497
14	35	69	10	387	567
15	20	85	40	412	592
16	38	70	10	480	660
17	22	85	10	504	684
18	40	69	20	572	752
19	25	85	20	597	777
20	42	68	10	665	845
21	28	55	10	665	845

22	45	70	30	758	938
23	28	52	20	758	938
24	45	68	10	850	1030
25	30	52	20	850	1030

ปัญหาทดสอบ 25n_c109

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          25n_c109
Problem Size          25
Car Capacity          200
Guarantee Time        360
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	1236
1	30	50	10	10	370
2	42	65	10	15	375
3	25	50	10	15	375
4	42	66	10	16	376
5	25	52	40	17	377
6	40	66	20	18	378
7	22	75	30	30	390
8	18	75	20	33	393
9	15	75	20	37	397
10	38	68	20	110	470
11	15	80	10	132	492
12	35	66	10	204	564
13	20	80	40	227	587
14	35	69	10	297	657
15	20	85	40	322	682
16	38	70	10	390	750
17	22	85	10	414	774
18	40	69	20	482	842
19	25	85	20	507	867
20	42	68	10	575	935
21	28	55	10	575	935
22	45	70	30	668	1028
23	28	52	20	668	1028
24	45	68	10	760	1120
25	30	52	20	760	1120

ปัญหาทดสอบ 25n_c201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          25n_c201
Problem Size          25
Car Capacity          700
Guarantee Time        160
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	30	50	10	10	170
2	28	52	20	22	182
3	42	65	10	25	185
4	25	50	10	116	276
5	45	70	30	213	373
6	52	75	10	311	471
7	16	42	20	497	657
8	58	70	20	1073	1233
9	62	69	10	1167	1327
10	60	66	10	1261	1421
11	14	66	10	1643	1803
12	15	75	20	1742	1902
13	15	80	10	1837	1997

14	20	85	40	1934	2094
15	22	85	10	2026	2186
16	25	85	20	2119	2279
17	20	80	40	2216	2376
18	18	75	20	2311	2471
19	22	75	30	2405	2565
20	22	66	40	2504	2664
21	28	70	10	2601	2761
22	35	69	10	2698	2858
23	35	66	10	2791	2951
24	34	60	20	2887	3047
25	30	56	20	2983	3143

ปัญหาทดสอบ 25n_c205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           25n_c205
Problem Size           25
Car Capacity           700
Guarantee Time         320
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	30	50	10	10	330
2	28	52	20	12	332
3	42	65	10	15	335
4	25	50	10	36	356
5	45	70	30	133	453
6	52	75	10	231	551
7	16	42	20	417	737
8	58	70	20	993	1313
9	62	69	10	1087	1407
10	60	66	10	1181	1501
11	14	66	10	1563	1883
12	15	75	20	1662	1982
13	15	80	10	1757	2077
14	20	85	40	1854	2174
15	22	85	10	1946	2266
16	25	85	20	2039	2359
17	20	80	40	2136	2456
18	18	75	20	2231	2551
19	22	75	30	2325	2645
20	22	66	40	2424	2744
21	28	70	10	2521	2841
22	35	69	10	2618	2938
23	35	66	10	2711	3031
24	34	60	20	2807	3127
25	30	56	20	2903	3223

ปัญหาทดสอบ 25n_c208

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           25n_c208
Problem Size           25
Car Capacity           700
Guarantee Time         640
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	30	50	10	10	650
2	28	52	20	12	652
3	42	65	10	15	655
4	25	50	10	15	655
5	45	70	30	20	660

6	52	75	10	71	711
7	16	42	20	257	897
8	58	70	20	833	1473
9	62	69	10	927	1567
10	60	66	10	1021	1661
11	14	66	10	1403	2043
12	15	75	20	1502	2142
13	15	80	10	1597	2237
14	20	85	40	1694	2334
15	22	85	10	1786	2426
16	25	85	20	1879	2519
17	20	80	40	1976	2616
18	18	75	20	2071	2711
19	22	75	30	2165	2805
20	22	66	40	2264	2904
21	28	70	10	2361	3001
22	35	69	10	2458	3098
23	35	66	10	2551	3191
24	34	60	20	2647	3287
25	30	56	20	2648	3288

ปัญหาทดสอบ 25n_r205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           25n_r205
Problem Size           25
Car Capacity           1000
Guarantee Time         240
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	35	35	0	0	1000
1	15	30	26	20	260
2	15	10	20	32	272
3	35	17	7	93	333
4	30	5	8	118	358
5	20	65	12	146	386
6	55	5	29	146	386
7	45	20	11	153	393
8	50	35	19	167	407
9	10	20	19	203	443
10	15	60	17	204	444
11	20	50	5	251	491
12	20	40	12	286	526
13	10	43	9	323	563
14	55	60	16	329	569
15	45	10	18	332	572
16	25	30	3	345	585
17	55	45	13	436	676
18	30	60	16	485	725
19	45	65	9	504	744
20	55	20	19	620	860
21	30	25	23	639	879
22	65	35	3	656	896
23	41	49	10	658	898
24	5	30	2	682	922
25	65	20	6	716	956

ปัญหาทดสอบ 25n_rc201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           25n_rc201
Problem Size           25
Car Capacity           1000
Guarantee Time         120
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	960
1	5	45	10	35	155
2	20	85	20	73	193
3	22	75	30	152	272
4	2	40	20	174	294
5	8	40	40	195	315
6	38	5	30	201	321
7	40	5	10	215	335
8	8	45	20	223	343
9	42	10	40	254	374
10	0	40	20	255	375
11	15	75	20	300	420
12	44	5	20	335	455
13	15	80	10	367	487
14	10	35	20	371	491
15	40	15	40	375	495
16	18	75	20	388	508
17	22	85	10	471	591
18	10	40	30	519	639
19	42	15	10	537	657
20	20	80	40	644	764
21	5	35	10	653	773
22	25	85	20	673	793
23	38	15	10	681	801
24	0	45	20	703	823
25	35	5	20	784	904

ปัญหาทดสอบ 25n_rc206

```
================== INPUT ==================

Problem Name          25n_rc206
Problem Size          25
Car Capacity          1000
Guarantee Time        240
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	960
1	5	45	10	35	275
2	20	85	20	40	280
3	22	75	30	92	332
4	2	40	20	114	354
5	8	40	40	135	375
6	38	5	30	141	381
7	40	5	10	155	395
8	8	45	20	163	403
9	42	10	40	194	434
10	0	40	20	195	435
11	15	75	20	240	480
12	44	5	20	275	515
13	15	80	10	307	547
14	10	35	20	311	551
15	40	15	40	315	555
16	18	75	20	328	568
17	22	85	10	411	651
18	10	40	30	459	699
19	42	15	10	477	717
20	20	80	40	584	824
21	5	35	10	593	833
22	25	85	20	613	853
23	38	15	10	621	861
24	0	45	20	643	883
25	35	5	20	664	904

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาทดสอบขนาด 50 จุดรับ

ปัญหาทดสอบ 50n_c107

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          50n_c107
Problem Size          50
Car Capacity          200
Guarantee Time        180

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       1236
1       30      50      10      10      190
2       42      65      10      15      195
3       25      50      10      15      195
4       42      66      10      16      196
5       33      35      10      16      196
6       33      32      20      19      199
7       22      75      30      30      210
8       10      40      30      31      211
9       8       40      40      33      213
10      18      75      20      34      214
11      25      52      40      107     287
12      40      66      20      108     288
13      35      32      10      111     291
14      15      75      20      127     307
15      10      35      20      129     309
16      23      52      10      199     379
17      38      68      20      200     380
18      35      30      10      203     383
19      15      80      10      222     402
20      5       35      10      224     404
21      20      50      10      292     472
22      35      66      10      294     474
23      32      30      10      296     476
24      20      80      40      317     497
25      2       40      20      319     499
26      35      69      10      387     567
27      20      55      10      387     567
28      30      32      30      389     569
29      0       40      30      411     591
30      20      85      40      412     592
31      38      70      10      480     660
32      23      55      20      480     660
33      30      30      10      481     661
34      22      85      10      504     684
35      0       45      20      506     686
36      40      69      20      572     752
37      25      55      10      572     752
38      28      30      10      573     753
39      25      85      20      597     777
40      5       45      10      601     781
41      42      68      10      665     845
42      28      55      10      665     845
43      8       45      20      694     874
44      45      70      30      758     938
45      28      52      20      758     938
46      26      32      10      758     938
47      45      68      10      850     1030
48      30      52      20      850     1030
49      28      35      10      944     1124
50      30      35      10      947     1127
```

ปัญหาทดสอบ 50n_c109

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          50n_c109
Problem Size          50
Car Capacity          200
Guarantee Time        360

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       1236
1       30      50      10      10      370
2       42      65      10      15      375
3       25      50      10      15      375
4       42      66      10      16      376
5       33      35      10      16      376
6       25      52      40      17      377
7       40      66      20      18      378
8       33      32      20      19      379
9       35      32      10      21      381
10      22      75      30      30      390
11      10      40      30      31      391
12      18      75      20      33      393
13      8       40      40      33      393
14      15      75      20      37      397
15      10      35      20      39      399
16      23      52      10      109     469
17      38      68      20      110     470
18      35      30      10      113     473
19      15      80      10      132     492
20      5       35      10      134     494
21      20      50      10      202     562
22      35      66      10      204     564
23      32      30      10      206     566
24      20      80      40      227     587
25      2       40      20      229     589
26      35      69      10      297     657
27      20      55      10      297     657
28      30      32      30      299     659
29      0       40      30      321     681
30      20      85      40      322     682
31      38      70      10      390     750
32      23      55      20      390     750
33      30      30      10      391     751
34      22      85      10      414     774
35      0       45      20      416     776
36      40      69      20      482     842
37      25      55      10      482     842
38      28      30      10      483     843
39      25      85      20      507     867
40      5       45      10      511     871
41      42      68      10      575     935
42      28      55      10      575     935
43      8       45      20      604     964
44      45      70      30      668     1028
45      28      52      20      668     1028
46      26      32      10      668     1028
47      45      68      10      760     1120
48      30      52      20      760     1120
49      28      35      10      766     1126
50      30      35      10      767     1127
```

ปัญหาทดสอบ 50n_c201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           50n_c201
Problem Size           50
Car Capacity           700
Guarantee Time         160

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       3390
1       30      50      10      10      170
2       28      52      20      22      182
3       42      65      10      25      185
4       25      50      10      116     276
5       23      52      10      209     369
6       45      70      30      213     373
7       20      55      10      303     463
8       52      75      10      311     471
9       20      50      10      398     558
10      16      42      20      497     657
11      10      40      30      593     753
12      8       40      40      685     845
13      10      35      20      781     941
14      5       35      10      876     1036
15      48      20      10      967     1127
16      2       40      20      971     1131
17      0       40      30      1063    1223
18      58      70      20      1073    1233
19      0       45      20      1158    1318
20      62      69      10      1167    1327
21      5       45      10      1253    1413
22      60      66      10      1261    1421
23      8       45      20      1346    1506
24      4       55      20      1447    1607
25      8       62      10      1545    1705
26      14      66      10      1643    1803
27      15      75      20      1742    1902
28      36      18      10      1819    1979
29      15      80      10      1837    1997
30      32      20      10      1913    2073
31      20      85      40      1934    2094
32      34      25      30      2009    2169
33      22      85      10      2026    2186
34      30      30      10      2105    2265
35      25      85      20      2119    2279
36      20      80      40      2216    2376
37      26      32      10      2292    2452
38      18      75      20      2311    2471
39      22      75      30      2405    2565
40      30      35      10      2480    2640
41      22      66      40      2504    2664
42      33      35      10      2573    2733
43      28      70      10      2601    2761
44      33      32      20      2666    2826
45      35      69      10      2698    2858
46      35      32      10      2758    2918
47      35      66      10      2791    2951
48      36      40      10      2856    3016
49      34      60      20      2887    3047
50      30      56      20      2983    3143
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาทดสอบ 50n_c205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           50n_c205
Problem Size           50
Car Capacity           700
Guarantee Time         320

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       3390
1       30      50      10      10      330
2       28      52      20      12      332
3       42      65      10      15      335
4       25      50      10      36      356
5       23      52      10      129     449
6       45      70      30      133     453
7       20      55      10      223     543
8       52      75      10      231     551
9       20      50      10      318     638
10      16      42      20      417     737
11      10      40      30      513     833
12      8       40      40      605     925
13      10      35      20      701     1021
14      5       35      10      796     1116
15      48      20      10      887     1207
16      2       40      20      891     1211
17      0       40      30      983     1303
18      58      70      20      993     1313
19      0       45      20      1078    1398
20      62      69      10      1087    1407
21      5       45      10      1173    1493
22      60      66      10      1181    1501
23      8       45      20      1266    1586
24      4       55      20      1367    1687
25      8       62      10      1465    1785
26      14      66      10      1563    1883
27      15      75      20      1662    1982
28      36      18      10      1739    2059
29      15      80      10      1757    2077
30      32      20      10      1833    2153
31      20      85      40      1854    2174
32      34      25      30      1929    2249
33      22      85      10      1946    2266
34      30      30      10      2025    2345
35      25      85      20      2039    2359
36      20      80      40      2136    2456
37      26      32      10      2212    2532
38      18      75      20      2231    2551
39      22      75      30      2325    2645
40      30      35      10      2400    2720
41      22      66      40      2424    2744
42      33      35      10      2493    2813
43      28      70      10      2521    2841
44      33      32      20      2586    2906
45      35      69      10      2618    2938
46      35      32      10      2678    2998
47      35      66      10      2711    3031
48      36      40      10      2776    3096
49      34      60      20      2807    3127
50      30      56      20      2903    3223
```

ปัญหาทดสอบ 50n_c208

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           50n_c208
Problem Size           50
Car Capacity           700
Guarantee Time         640

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       3390
1       30      50      10      10      650
2       28      52      20      12      652
3       42      65      10      15      655
4       25      50      10      15      655
5       23      52      10      17      657
6       45      70      30      20      660
7       20      55      10      63      703
8       52      75      10      71      711
9       20      50      10      158     798
10      16      42      20      257     897
11      10      40      30      353     993
12      8       40      40      445     1085
13      10      35      20      541     1181
14      5       35      10      636     1276
15      48      20      10      727     1367
16      2       40      20      731     1371
17      0       40      30      823     1463
18      58      70      20      833     1473
19      0       45      20      918     1558
20      62      69      10      927     1567
21      5       45      10      1013    1653
22      60      66      10      1021    1661
23      8       45      20      1106    1746
24      4       55      20      1207    1847
25      8       62      10      1305    1945
26      14      66      10      1403    2043
27      15      75      20      1502    2142
28      36      18      10      1579    2219
29      15      80      10      1597    2237
30      32      20      10      1673    2313
31      20      85      40      1694    2334
32      34      25      30      1769    2409
33      22      85      10      1786    2426
34      30      30      10      1865    2505
35      25      85      20      1879    2519
36      20      80      40      1976    2616
37      26      32      10      2052    2692
38      18      75      20      2071    2711
39      22      75      30      2165    2805
40      30      35      10      2240    2880
41      22      66      40      2264    2904
42      33      35      10      2333    2973
43      28      70      10      2361    3001
44      33      32      20      2426    3066
45      35      69      10      2458    3098
46      35      32      10      2518    3158
47      35      66      10      2551    3191
48      36      40      10      2616    3256
49      34      60      20      2647    3287
50      30      56      20      2648    3288
```

ปัญหาทดสอบ 50n_r205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           50n_r205
Problem Size           50
Car Capacity           1000
Guarantee Time         240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       35      35      0       0       1000
1       15      30      26      20      260
2       53      52      11      24      264
3       24      12      5       25      265
4       6       38      16      29      269
5       15      10      20      32      272
6       60      12      31      33      273
7       2       60      5       41      281
8       8       56      27      48      288
9       35      40      16      60      300
10      41      37      16      65      305
11      35      17      7       93      333
12      31      52      27      94      334
13      30      5       8       118     358
14      64      42      9       132     372
15      20      65      12      146     386
16      55      5       29      146     386
17      45      20      11      153     393
18      50      35      19      167     407
19      11      14      18      167     407
20      40      60      21      187     427
21      10      20      19      203     443
22      15      60      17      204     444
23      5       5       16      234     474
24      20      50      5       251     491
25      40      25      9       279     519
26      20      40      12      286     526
27      10      43      9       323     563
28      55      60      16      329     569
29      45      10      18      332     572
30      42      7       5       334     574
31      25      30      3       345     585
32      6       68      30      401     641
33      55      45      13      436     676
34      65      55      14      452     692
35      2       48      1       452     692
36      47      47      13      475     715
37      30      60      16      485     725
38      45      65      9       504     744
39      45      30      17      508     748
40      20      20      8       530     770
41      23      3       7       543     783
42      35      69      23      599     839
43      55      20      19      620     860
44      63      65      8       630     870
45      30      25      23      639     879
46      65      35      3       656     896
47      41      49      10      658     898
48      5       30      2       682     922
49      65      20      6       716     956
50      13      52      36      720     960
```

ปัญหาทดสอบ 50n_rc201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          50n_rc201
Problem Size          50
Car Capacity          1000
Guarantee Time        120

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       960
1       55      80      10      33      153
2       5       45      10      35      155
3       20      82      10      37      157
4       65      85      40      43      163
5       60      80      10      64      184
6       20      85      20      73      193
7       85      25      10      80      200
8       2       45      10      105     225
9       95      35      20      146     266
10      92      30      10      149     269
11      22      75      30      152     272
12      88      35      20      165     285
13      2       40      20      174     294
14      90      35      10      194     314
15      8       40      40      195     315
16      38      5       30      201     321
17      40      5       10      215     335
18      55      82      10      217     337
19      8       45      20      223     343
20      88      30      10      246     366
21      42      10      40      254     374
22      0       40      20      255     375
23      62      80      30      278     398
24      15      75      20      300     420
25      60      85      30      329     449
26      44      5       20      335     455
27      15      80      10      367     487
28      10      35      20      371     491
29      40      15      40      375     495
30      58      75      20      376     496
31      18      75      20      388     508
32      42      12      10      440     560
33      22      85      10      471     591
34      85      35      30      487     607
35      18      80      10      489     609
36      72      35      30      507     627
37      10      40      30      519     639
38      95      30      30      529     649
39      42      15      10      537     657
40      65      82      10      557     677
41      55      85      20      574     694
42      87      30      10      621     741
43      20      80      40      644     764
44      5       35      10      653     773
45      67      85      20      657     777
46      25      85      20      673     793
47      38      15      10      681     801
48      0       45      20      703     823
49      42      5       10      732     852
50      35      5       20      784     904
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาทดสอบ 50n_rc206

```
=================== INPUT ===================

Problem Name           50n_rc206
Problem Size           50
Car Capacity           1000
Guarantee Time         240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       960
1       55      80      10      33      273
2       5       45      10      35      275
3       60      80      10      36      276
4       20      82      10      37      277
5       20      85      20      40      280
6       65      85      40      43      283
7       2       45      10      45      285
8       85      25      10      51      291
9       95      35      20      86      326
10      92      30      10      89      329
11      22      75      30      92      332
12      88      35      20      105     345
13      2       40      20      114     354
14      90      35      10      134     374
15      8       40      40      135     375
16      38      5       30      141     381
17      40      5       10      155     395
18      55      82      10      157     397
19      8       45      20      163     403
20      88      30      10      186     426
21      42      10      40      194     434
22      0       40      20      195     435
23      62      80      30      218     458
24      15      75      20      240     480
25      60      85      30      269     509
26      44      5       20      275     515
27      15      80      10      307     547
28      10      35      20      311     551
29      40      15      40      315     555
30      58      75      20      316     556
31      18      75      20      328     568
32      42      12      10      380     620
33      22      85      10      411     651
34      85      35      30      427     667
35      18      80      10      429     669
36      72      35      30      447     687
37      10      40      30      459     699
38      95      30      30      469     709
39      42      15      10      477     717
40      65      82      10      497     737
41      55      85      20      514     754
42      87      30      10      561     801
43      20      80      40      584     824
44      5       35      10      593     833
45      67      85      20      597     837
46      25      85      20      613     853
47      38      15      10      621     861
48      0       45      20      643     883
49      35      5       20      664     904
50      42      5       10      664     904
```

ปัญหาทดสอบขนาด 100 จุดรับ

ปัญหาทดสอบ 100n_c107

```
=================== INPUT ==================

Problem Name          100n_c107
Problem Size          100
Car Capacity          200
Guarantee Time        180

No.     X       Y       q       AT      DD
============================================
0       40      50      0       0       1236
1       30      50      10      10      190
2       47      40      10      12      192
3       48      40      10      13      193
4       42      65      10      15      195
5       25      50      10      15      195
6       42      66      10      16      196
7       33      35      10      16      196
8       33      32      20      19      199
9       60      55      10      20      200
10      65      55      20      25      205
11      22      75      30      30      210
12      58      75      20      30      210
13      10      40      30      31      211
14      8       40      40      33      213
15      18      75      20      34      214
16      40      15      40      35      215
17      60      80      10      36      216
18      42      15      10      37      217
19      85      35      30      47      227
20      88      35      20      50      230
21      50      40      50      105     285
22      25      52      40      107     287
23      40      66      20      108     288
24      35      32      10      111     291
25      66      55      10      116     296
26      15      75      20      127     307
27      62      80      30      128     308
28      10      35      20      129     309
29      42      10      40      132     312
30      90      35      10      142     322
31      23      52      10      199     379
32      38      68      20      200     380
33      50      35      20      200     380
34      35      30      10      203     383
35      72      55      10      212     392
36      65      82      10      221     401
37      15      80      10      222     402
38      5       35      10      224     404
39      44      5       20      227     407
40      95      35      20      237     417
41      20      50      10      292     472
42      53      35      50      293     473
43      35      66      10      294     474
44      32      30      10      296     476
45      75      55      20      305     485
46      67      85      20      315     495
47      20      80      40      317     497
48      2       40      20      319     499
49      40      5       30      321     501
50      95      30      30      332     512
51      35      69      10      387     567
52      20      55      10      387     567
53      53      30      10      388     568
54      30      32      30      389     569
```

55	70	58	20	401	581
56	65	85	40	407	587
57	0	40	30	411	591
58	20	85	40	412	592
59	38	5	30	413	593
60	92	30	10	425	605
61	38	70	10	480	660
62	23	55	20	480	660
63	30	30	10	481	661
64	50	30	10	481	661
65	68	60	30	494	674
66	60	85	30	502	682
67	22	85	10	504	684
68	0	45	20	506	686
69	35	5	20	506	686
70	88	30	10	519	699
71	40	69	20	572	752
72	25	55	10	572	752
73	28	30	10	573	753
74	48	30	10	573	753
75	65	60	30	587	767
76	25	85	20	597	777
77	55	85	20	597	777
78	5	45	10	601	781
79	38	15	10	606	786
80	87	30	10	610	790
81	42	68	10	665	845
82	28	55	10	665	845
83	25	30	10	666	846
84	45	30	10	666	846
85	63	58	10	680	860
86	55	80	10	692	872
87	8	45	20	694	874
88	85	25	10	705	885
89	45	70	30	758	938
90	28	52	20	758	938
91	26	32	10	758	938
92	47	35	10	761	941
93	60	60	10	773	953
94	45	68	10	850	1030
95	30	52	20	850	1030
96	25	35	10	851	1031
97	45	35	10	853	1033
98	45	65	20	943	1123
99	28	35	10	944	1124
100	30	35	10	947	1127

ปัญหาทดสอบ 100n_c109

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          100n_c109
Problem Size          100
Car Capacity          200
Guarantee Time        360

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       1236
1       30      50      10      10      370
2       48      40      10      12      372
3       47      40      10      12      372
4       42      65      10      15      375
5       25      50      10      15      375
6       50      40      50      15      375
7       42      66      10      16      376
8       33      35      10      16      376
9       25      52      40      17      377
10      40      66      20      18      378
11      33      32      20      19      379
12      60      55      10      20      380
13      35      32      10      21      381
```

14	65	55	20	25	385
15	66	55	10	26	386
16	22	75	30	30	390
17	58	75	20	30	390
18	10	40	30	31	391
19	18	75	20	33	393
20	8	40	40	33	393
21	42	15	10	35	395
22	40	15	40	35	395
23	60	80	10	36	396
24	15	75	20	37	397
25	62	80	30	38	398
26	10	35	20	39	399
27	42	10	40	42	402
28	85	35	30	47	407
29	88	35	20	50	410
30	90	35	10	52	412
31	23	52	10	109	469
32	38	68	20	110	470
33	50	35	20	110	470
34	35	30	10	113	473
35	72	55	10	122	482
36	65	82	10	131	491
37	15	80	10	132	492
38	5	35	10	134	494
39	44	5	20	137	497
40	95	35	20	147	507
41	20	50	10	202	562
42	53	35	50	203	563
43	35	66	10	204	564
44	32	30	10	206	566
45	75	55	20	215	575
46	67	85	20	225	585
47	20	80	40	227	587
48	2	40	20	229	589
49	40	5	30	231	591
50	95	30	30	242	602
51	35	69	10	297	657
52	20	55	10	297	657
53	53	30	10	298	658
54	30	32	30	299	659
55	70	58	20	311	671
56	65	85	40	317	677
57	0	40	30	321	681
58	20	85	40	322	682
59	38	5	30	323	683
60	92	30	10	335	695
61	38	70	10	390	750
62	23	55	20	390	750
63	30	30	10	391	751
64	50	30	10	391	751
65	68	60	30	404	764
66	60	85	30	412	772
67	22	85	10	414	774
68	0	45	20	416	776
69	35	5	20	416	776
70	88	30	10	429	789
71	40	69	20	482	842
72	25	55	10	482	842
73	28	30	10	483	843
74	48	30	10	483	843
75	65	60	30	497	857
76	25	85	20	507	867
77	55	85	20	507	867
78	5	45	10	511	871
79	38	15	10	516	876
80	87	30	10	520	880
81	42	68	10	575	935
82	28	55	10	575	935
83	25	30	10	576	936
84	45	30	10	576	936
85	63	58	10	590	950
86	55	80	10	602	962
87	8	45	20	604	964
88	85	25	10	615	975

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

89	45	70	30	668	1028
90	28	52	20	668	1028
91	26	32	10	668	1028
92	47	35	10	671	1031
93	60	60	10	683	1043
94	45	68	10	760	1120
95	30	52	20	760	1120
96	25	35	10	761	1121
97	45	35	10	763	1123
98	28	35	10	766	1126
99	30	35	10	767	1127
100	45	65	20	770	1130

ปัญหาทดสอบ 100n_c201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name            100n_c201
Problem Size            100
Car Capacity            700
Guarantee Time          160
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	42	58	40	8	168
2	30	50	10	10	170
3	47	40	10	12	172
4	28	52	20	22	182
5	42	65	10	25	185
6	50	40	50	25	185
7	25	50	10	116	276
8	45	65	20	118	278
9	50	35	20	120	280
10	23	52	10	209	369
11	45	70	30	213	373
12	53	35	50	213	373
13	20	55	10	303	463
14	53	30	10	308	468
15	52	75	10	311	471
16	20	50	10	398	558
17	50	30	10	401	561
18	55	80	10	407	567
19	48	30	10	493	653
20	16	42	20	497	657
21	55	85	20	502	662
22	47	35	10	588	748
23	10	40	30	593	753
24	60	85	30	597	757
25	45	35	10	680	840
26	8	40	40	685	845
27	67	85	20	694	854
28	42	30	10	776	936
29	10	35	20	781	941
30	65	82	10	788	948
31	44	25	10	871	1031
32	5	35	10	876	1036
33	62	80	30	881	1041
34	48	20	10	967	1127
35	2	40	20	971	1131
36	58	75	20	978	1138
37	0	40	30	1063	1223
38	42	15	10	1065	1225
39	58	70	20	1073	1233
40	0	45	20	1158	1318
41	42	10	40	1160	1320
42	62	69	10	1167	1327
43	5	45	10	1253	1413
44	44	5	20	1256	1416
45	60	66	10	1261	1421
46	8	45	20	1346	1506
47	40	5	30	1350	1510

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

48	56	64	10	1355	1515
49	38	5	30	1442	1602
50	4	55	20	1447	1607
51	60	60	10	1451	1611
52	35	5	20	1535	1695
53	8	62	10	1545	1705
54	65	60	30	1546	1706
55	38	10	10	1630	1790
56	70	58	20	1641	1801
57	14	66	10	1643	1803
58	38	15	40	1725	1885
59	66	55	10	1736	1896
60	15	75	20	1742	1902
61	36	18	10	1819	1979
62	72	55	10	1832	1992
63	15	80	10	1837	1997
64	32	20	10	1913	2073
65	75	55	20	1925	2085
66	20	85	40	1934	2094
67	34	25	30	2009	2169
68	22	85	10	2026	2186
69	86	46	30	2029	2189
70	30	30	10	2105	2265
71	25	85	20	2119	2279
72	90	35	10	2131	2291
73	25	30	10	2200	2360
74	20	80	40	2216	2376
75	95	35	20	2226	2386
76	26	32	10	2292	2452
77	18	75	20	2311	2471
78	95	30	30	2321	2481
79	25	35	10	2385	2545
80	22	75	30	2405	2565
81	92	30	10	2414	2574
82	30	35	10	2480	2640
83	22	66	40	2504	2664
84	85	25	10	2513	2673
85	33	35	10	2573	2733
86	28	70	10	2601	2761
87	87	30	10	2608	2768
88	33	32	20	2666	2826
89	35	69	10	2698	2858
90	85	35	30	2703	2863
91	35	32	10	2758	2918
92	35	66	10	2791	2951
93	78	40	20	2802	2962
94	36	40	10	2856	3016
95	34	60	20	2887	3047
96	72	45	10	2900	3060
97	30	56	20	2983	3143
98	62	40	10	3001	3161
99	64	46	20	3097	3257
100	60	55	10	3119	3279

ปัญหาทดสอบ 100n_c205

```
================== INPUT ==================

Problem Name          100n_c205
Problem Size          100
Car Capacity          700
Guarantee Time        320

No.     X       Y       q       AT      DD
============================================
0       40      50      0       0       3390
1       42      58      40      8       328
2       30      50      10      10      330
3       28      52      20      12      332
4       47      40      10      12      332
5       50      40      50      14      334
6       42      65      10      15      335
```

7	25	50	10	36	356
8	45	65	20	38	358
9	50	35	20	40	360
10	23	52	10	129	449
11	45	70	30	133	453
12	53	35	50	133	453
13	20	55	10	223	543
14	53	30	10	228	548
15	52	75	10	231	551
16	20	50	10	318	638
17	50	30	10	321	641
18	55	80	10	327	647
19	48	30	10	413	733
20	16	42	20	417	737
21	55	85	20	422	742
22	47	35	10	508	828
23	10	40	30	513	833
24	60	85	30	517	837
25	45	35	10	600	920
26	8	40	40	605	925
27	67	85	20	614	934
28	42	30	10	696	1016
29	10	35	20	701	1021
30	65	82	10	708	1028
31	44	25	10	791	1111
32	5	35	10	796	1116
33	62	80	30	801	1121
34	48	20	10	887	1207
35	2	40	20	891	1211
36	58	75	20	898	1218
37	0	40	30	983	1303
38	42	15	10	985	1305
39	58	70	20	993	1313
40	0	45	20	1078	1398
41	42	10	40	1080	1400
42	62	69	10	1087	1407
43	5	45	10	1173	1493
44	44	5	20	1176	1496
45	60	66	10	1181	1501
46	8	45	20	1266	1586
47	40	5	30	1270	1590
48	56	64	10	1275	1595
49	38	5	30	1362	1682
50	4	55	20	1367	1687
51	60	60	10	1371	1691
52	35	5	20	1455	1775
53	8	62	10	1465	1785
54	65	60	30	1466	1786
55	38	10	10	1550	1870
56	70	58	20	1561	1881
57	14	66	10	1563	1883
58	38	15	40	1645	1965
59	66	55	10	1656	1976
60	15	75	20	1662	1982
61	36	18	10	1739	2059
62	72	55	10	1752	2072
63	15	80	10	1757	2077
64	32	20	10	1833	2153
65	75	55	20	1845	2165
66	20	85	40	1854	2174
67	34	25	30	1929	2249
68	22	85	10	1946	2266
69	86	46	30	1949	2269
70	30	30	10	2025	2345
71	25	85	20	2039	2359
72	90	35	10	2051	2371
73	25	30	10	2120	2440
74	20	80	40	2136	2456
75	95	35	20	2146	2466
76	26	32	10	2212	2532
77	18	75	20	2231	2551
78	95	30	30	2241	2561
79	25	35	10	2305	2625
80	22	75	30	2325	2645
81	92	30	10	2334	2654

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

82	30	35	10	2400	2720
83	22	66	40	2424	2744
84	85	25	10	2433	2753
85	33	35	10	2493	2813
86	28	70	10	2521	2841
87	87	30	10	2528	2848
88	33	32	20	2586	2906
89	35	69	10	2618	2938
90	85	35	30	2623	2943
91	35	32	10	2678	2998
92	35	66	10	2711	3031
93	78	40	20	2722	3042
94	36	40	10	2776	3096
95	34	60	20	2807	3127
96	72	45	10	2820	3140
97	30	56	20	2903	3223
98	62	40	10	2921	3241
99	64	46	20	2955	3275
100	60	55	10	2959	3279

ปัญหาทดสอบ 100n_c208

```
=================== INPUT ===================

Problem Name            100n_c208
Problem Size            100
Car Capacity            700
Guarantee Time          640
```

No.	X	Y	q	AT	DD
0	40	50	0	0	3390
1	42	58	40	8	648
2	30	50	10	10	650
3	28	52	20	12	652
4	47	40	10	12	652
5	50	40	50	14	654
6	42	65	10	15	655
7	25	50	10	15	655
8	45	65	20	15	655
9	23	52	10	17	657
10	50	35	20	18	658
11	53	35	50	19	659
12	45	70	30	20	660
13	20	55	10	63	703
14	53	30	10	68	708
15	52	75	10	71	711
16	20	50	10	158	798
17	50	30	10	161	801
18	55	80	10	167	807
19	48	30	10	253	893
20	16	42	20	257	897
21	55	85	20	262	902
22	47	35	10	348	988
23	10	40	30	353	993
24	60	85	30	357	997
25	45	35	10	440	1080
26	8	40	40	445	1085
27	67	85	20	454	1094
28	42	30	10	536	1176
29	10	35	20	541	1181
30	65	82	10	548	1188
31	44	25	10	631	1271
32	5	35	10	636	1276
33	62	80	30	641	1281
34	48	20	10	727	1367
35	2	40	20	731	1371
36	58	75	20	738	1378
37	0	40	30	823	1463
38	42	15	10	825	1465
39	58	70	20	833	1473
40	0	45	20	918	1558

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

41	42	10	40	920	1560
42	62	69	10	927	1567
43	5	45	10	1013	1653
44	44	5	20	1016	1656
45	60	66	10	1021	1661
46	8	45	20	1106	1746
47	40	5	30	1110	1750
48	56	64	10	1115	1755
49	38	5	30	1202	1842
50	4	55	20	1207	1847
51	60	60	10	1211	1851
52	35	5	20	1295	1935
53	8	62	10	1305	1945
54	65	60	30	1306	1946
55	38	10	10	1390	2030
56	70	58	20	1401	2041
57	14	66	10	1403	2043
58	38	15	40	1485	2125
59	66	55	10	1496	2136
60	15	75	20	1502	2142
61	36	18	10	1579	2219
62	72	55	10	1592	2232
63	15	80	10	1597	2237
64	32	20	10	1673	2313
65	75	55	20	1685	2325
66	20	85	40	1694	2334
67	34	25	30	1769	2409
68	22	85	10	1786	2426
69	86	46	30	1789	2429
70	30	30	10	1865	2505
71	25	85	20	1879	2519
72	90	35	10	1891	2531
73	25	30	10	1960	2600
74	20	80	40	1976	2616
75	95	35	20	1986	2626
76	26	32	10	2052	2692
77	18	75	20	2071	2711
78	95	30	30	2081	2721
79	25	35	10	2145	2785
80	22	75	30	2165	2805
81	92	30	10	2174	2814
82	30	35	10	2240	2880
83	22	66	40	2264	2904
84	85	25	10	2273	2913
85	33	35	10	2333	2973
86	28	70	10	2361	3001
87	87	30	10	2368	3008
88	33	32	20	2426	3066
89	35	69	10	2458	3098
90	85	35	30	2463	3103
91	35	32	10	2518	3158
92	35	66	10	2551	3191
93	78	40	20	2562	3202
94	36	40	10	2616	3256
95	72	45	10	2627	3267
96	64	46	20	2635	3275
97	62	40	10	2635	3275
98	60	55	10	2639	3279
99	34	60	20	2647	3287
100	30	56	20	2648	3288

ปัญหาทดสอบ 100n_r205

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          100n_r205
Problem Size          100
Car Capacity          1000
Guarantee Time        240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
```

0	35	35	0	0	1000
1	21	24	28	17	257
2	22	22	2	18	258
3	15	30	26	20	260
4	47	16	25	22	262
5	53	52	11	24	264
6	24	12	5	25	265
7	6	38	16	29	269
8	15	10	20	32	272
9	60	12	31	33	273
10	27	69	10	34	274
11	2	60	5	41	281
12	25	24	20	42	282
13	8	56	27	48	288
14	62	77	20	49	289
15	14	37	11	53	293
16	35	40	16	60	300
17	41	37	16	65	305
18	35	17	7	93	333
19	31	52	27	94	334
20	15	47	16	106	346
21	37	47	6	108	348
22	24	58	19	113	353
23	27	43	9	117	357
24	30	5	8	118	358
25	19	21	10	125	365
26	64	42	9	132	372
27	20	65	12	146	386
28	55	5	29	146	386
29	45	20	11	153	393
30	15	77	9	154	394
31	50	35	19	167	407
32	11	14	18	167	407
33	49	11	18	171	411
34	40	60	21	187	427
35	57	68	15	198	438
36	10	20	19	203	443
37	15	60	17	204	444
38	49	42	13	212	452
39	12	24	13	214	454
40	26	52	9	214	454
41	67	5	25	228	468
42	5	5	16	234	474
43	44	17	9	234	474
44	20	50	5	251	491
45	20	26	9	263	503
46	40	25	9	279	519
47	49	58	10	281	521
48	20	40	12	286	526
49	16	22	41	299	539
50	57	48	23	307	547
51	4	18	35	307	547
52	55	54	26	314	554
53	28	18	26	314	554
54	31	67	3	320	560
55	61	52	3	322	562
56	10	43	9	323	563
57	55	60	16	329	569
58	45	10	18	332	572
59	37	31	14	332	572
60	42	7	5	334	574
61	25	30	3	345	585
62	26	27	27	350	590
63	11	31	7	354	594
64	32	12	7	356	596
65	6	68	30	401	641
66	55	45	13	436	676
67	65	55	14	452	692
68	2	48	1	452	692
69	47	47	13	475	715
70	30	60	16	485	725
71	45	65	9	504	744
72	45	30	17	508	748
73	53	12	6	519	759
74	49	73	25	523	763

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

75	25	21	12	523	763
76	22	27	11	529	769
77	20	20	8	530	770
78	23	3	7	543	783
79	63	23	2	560	800
80	57	29	18	568	808
81	56	39	36	575	815
82	35	69	23	599	839
83	55	20	19	620	860
84	46	13	8	622	862
85	63	65	8	630	870
86	30	25	23	639	879
87	65	35	3	656	896
88	41	49	10	658	898
89	17	34	3	672	912
90	5	30	2	682	922
91	15	19	1	683	923
92	65	20	6	716	956
93	26	35	15	718	958
94	13	52	36	720	960
95	18	18	17	725	965
96	37	56	5	728	968
97	56	37	6	728	968
98	18	24	22	729	969
99	53	43	14	730	970
100	36	26	18	740	980

ปัญหาทดสอบ 100n_rc201

```
=================== INPUT ===================

Problem Name            100n_rc201
Problem Size            100
Car Capacity            1000
Guarantee Time          120

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       960
1       35      40      16      11      131
2       53      43      14      14      134
3       55      80      10      33      153
4       5       45      10      35      155
5       20      82      10      37      157
6       65      20      6       39      159
7       10      20      19      42      162
8       65      85      40      43      163
9       63      65      8       60      180
10      60      80      10      64      184
11      20      85      20      73      193
12      85      25      10      80      200
13      56      37      6       100     220
14      2       45      10      105     225
15      37      31      14      105     225
16      95      35      20      146     266
17      92      30      10      149     269
18      22      75      30      152     272
19      27      43      9       152     272
20      31      52      27      157     277
21      88      35      20      165     285
22      65      35      3       167     287
23      26      52      9       172     292
24      2       40      20      174     294
25      25      30      3       175     295
26      45      30      17      191     311
27      90      35      10      194     314
28      8       40      40      195     315
29      38      5       30      201     321
30      40      5       10      215     335
31      55      82      10      217     337
32      8       45      20      223     343
33      5       5       16      232     352
```

34	65	55	14	241	361
35	88	30	10	246	366
36	42	10	40	254	374
37	0	40	20	255	375
38	45	65	9	258	378
39	24	58	19	260	380
40	64	42	9	268	388
41	60	12	31	268	388
42	62	80	30	278	398
43	2	60	5	286	406
44	15	75	20	300	420
45	26	35	15	308	428
46	55	20	19	326	446
47	60	85	30	329	449
48	44	5	20	335	455
49	63	23	2	344	464
50	21	24	28	349	469
51	6	68	30	352	472
52	49	58	10	355	475
53	12	24	13	359	479
54	37	47	6	359	479
55	8	56	27	365	485
56	15	80	10	367	487
57	10	35	20	371	491
58	40	15	40	375	495
59	20	50	5	375	495
60	58	75	20	376	496
61	18	75	20	388	508
62	57	48	23	392	512
63	57	29	18	395	515
64	30	25	23	397	517
65	42	12	10	440	560
66	22	85	10	471	591
67	85	35	30	487	607
68	18	80	10	489	609
69	72	35	30	507	627
70	10	40	30	519	639
71	95	30	30	529	649
72	42	15	10	537	657
73	4	18	35	547	667
74	65	82	10	557	677
75	50	35	19	557	677
76	55	54	26	562	682
77	41	37	16	566	686
78	55	85	20	574	694
79	30	60	16	599	719
80	55	60	16	601	721
81	40	60	21	612	732
82	87	30	10	621	741
83	20	80	40	644	764
84	20	20	8	645	765
85	5	35	10	653	773
86	67	85	20	657	777
87	25	85	20	673	793
88	38	15	10	681	801
89	15	60	17	694	814
90	0	45	20	703	823
91	67	5	25	713	833
92	49	42	13	719	839
93	42	5	10	732	852
94	23	3	7	764	884
95	15	10	20	782	902
96	35	5	20	784	904
97	61	52	3	808	928
98	35	69	23	810	930
99	31	67	3	810	930
100	47	47	13	822	942

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาทดสอบ 100n_rc206

```
=================== INPUT ===================

Problem Name          100n_rc206
Problem Size          100
Car Capacity          1000
Guarantee Time        240

No.     X       Y       q       AT      DD
=============================================
0       40      50      0       0       960
1       35      40      16      11      251
2       53      43      14      14      254
3       63      65      8       27      267
4       55      80      10      33      273
5       5       45      10      35      275
6       60      80      10      36      276
7       20      82      10      37      277
8       65      20      6       39      279
9       20      85      20      40      280
10      56      37      6       40      280
11      10      20      19      42      282
12      65      85      40      43      283
13      2       45      10      45      285
14      37      31      14      45      285
15      85      25      10      51      291
16      95      35      20      86      326
17      92      30      10      89      329
18      22      75      30      92      332
19      27      43      9       92      332
20      31      52      27      97      337
21      88      35      20      105     345
22      65      35      3       107     347
23      26      52      9       112     352
24      2       40      20      114     354
25      25      30      3       115     355
26      45      30      17      131     371
27      90      35      10      134     374
28      8       40      40      135     375
29      38      5       30      141     381
30      40      5       10      155     395
31      55      82      10      157     397
32      8       45      20      163     403
33      5       5       16      172     412
34      65      55      14      181     421
35      88      30      10      186     426
36      42      10      40      194     434
37      0       40      20      195     435
38      45      65      9       198     438
39      24      58      19      200     440
40      64      42      9       208     448
41      60      12      31      208     448
42      62      80      30      218     458
43      2       60      5       226     466
44      15      75      20      240     480
45      26      35      15      248     488
46      55      20      19      266     506
47      60      85      30      269     509
48      44      5       20      275     515
49      63      23      2       284     524
50      21      24      28      289     529
51      6       68      30      292     532
52      49      58      10      295     535
53      12      24      13      299     539
54      37      47      6       299     539
55      8       56      27      305     545
56      15      80      10      307     547
57      10      35      20      311     551
58      40      15      40      315     555
59      20      50      5       315     555
60      58      75      20      316     556
61      18      75      20      328     568
62      57      48      23      332     572
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

63	57	29	18	335	575
64	30	25	23	337	577
65	42	12	10	380	620
66	22	85	10	411	651
67	85	35	30	427	667
68	18	80	10	429	669
69	72	35	30	447	687
70	10	40	30	459	699
71	95	30	30	469	709
72	42	15	10	477	717
73	4	18	35	487	727
74	65	82	10	497	737
75	50	35	19	497	737
76	55	54	26	502	742
77	41	37	16	506	746
78	55	85	20	514	754
79	30	60	16	539	779
80	55	60	16	541	781
81	40	60	21	552	792
82	87	30	10	561	801
83	20	80	40	584	824
84	20	20	8	585	825
85	5	35	10	593	833
86	67	85	20	597	837
87	25	85	20	613	853
88	38	15	10	621	861
89	15	60	17	634	874
90	0	45	20	643	883
91	67	5	25	653	893
92	49	42	13	659	899
93	23	3	7	660	900
94	15	10	20	662	902
95	35	5	20	664	904
96	42	5	10	664	904
97	61	52	3	688	928
98	35	69	23	690	930
99	31	67	3	690	930
100	47	47	13	702	942

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายกฤศณภัทร สวาสดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 28 ตุลาคม พ.ศ.2524 บ้านเกิดอยู่ที่ อำเภอเมือง จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จาก จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อวันที่ 6 พฤษภาคม พ.ศ.2547 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย