แบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง

นายยศศิริ อดุลยศักดิ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODEL AND SOLUTION ALGORITHMS FOR TRUCKLOAD CONTINUOUS MOVE ROUTING PROBLEM

Mr.Yossiri Adulyasak

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง
โดย	นายยศศิริ อตุลยศักดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์)

.... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.เจริญชัย โขมพัตราภรณ์)

.... กรรมการ

(นายเทอดพงศ์ ธัญกุลสัมพันธ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยศศิริ อดุลยศักดิ์ : แบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง. (MODEL AND SOLUTION ALGORITHMS FOR TRUCKLOAD CONTINUOUS MOVE ROUTING PROBLEM) อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ 95 หน้า

ปัญหาการเดินรถเที่ยวเปล่าเป็นปัญหาที่สำคัญในการวางแผนและดำเนินงานของการขนส่งแบบเต็มคันรถที่มีลักษณะการขนส่งสินค้าจากจุดเริ่มต้นตรงไปยังจุดปลายทางโดยไม่มีการแวะรับ-ส่งสินค้าในระหว่างเส้นทางการขนส่ง ระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้นนั้นสามารถลดลงได้โดยใช้การควบรวมรอบการขนส่งตั้งแต่ 2 รอบหรือมากกว่า เพื่อให้เกิดเส้นทางการขนส่งที่ต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่องสำหรับโครงข่ายการขนส่งขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนสูงในด้านต่างๆ ได้แก่ ความเข้ากันได้ของประเภทรถและสินค้า ค่าใช้จ่ายที่ขึ้นอยู่กับแต่ละลักษณะการเดินรถ และกรอบเวลา ผู้วิจัยได้ใช้แบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่องที่มีโครงสร้างจากแบบจำลองการแบ่งห้อง (Set Partitioning Formulation) โดยขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาถูกพัฒนาขึ้นใน 2 รูปแบบ คือ การแก้ปัญหาแบบแม่นตรงโดยใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์เข้าช่วยในการแก้ปัญหา (Exact Column-generation-based Branch-and-bound Algorithm) และวิธีฮิวริสติก (Heuristic)

ผลลัพธ์ที่ได้สามารถลดระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าได้ระหว่างร้อยละ 30 ถึงร้อยละ 42 โดยเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นแบบจำลองดังกล่าวสามารถลดสัดส่วนการเดินรถเที่ยวเปล่าได้มากขึ้นแต่ในอัตราที่ต่ำลง นอกจากนี้ผลที่ได้จากทั้งสองขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหานั้น แสดงถึงความแตกต่างเพียงเล็กน้อยของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ โดยที่วิธีแม่นตรงนั้นจะได้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงผลเฉลยที่ดีที่สุดมากกว่าวิธีฮิวริสติก แต่จะใช้เวลาในการแก้ปัญหานานกว่า ในการตัดสินใจในการเลือกรูปแบบวิธีการแก้ปัญหานั้นจะต้องพิจารณาถึงความคุ้มค่าของเวลาที่ลดลงในการหาค่าคำตอบเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ดีขึ้นของทั้ง 2 รูปแบบขั้นตอนการแก้ปัญหา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา............วิศวกรรมโยธา......... ลายมือชื่อนิสิต..
สาขาวิชา...........วิศวกรรมโยธา.......... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.................................
ปีการศึกษา......2549......

4970518221 : MAJOR TRANSPORTATION ENGINEERING
KEY WORD: VEHICLE ROUTING/ LANE COVERING/ CONTINUOUS MOVE / COLUMN GENERATION

YOSSIRI ADULYASAK : MODEL AND SOLUTION ALGORITHMS FOR TRUCKLOAD CONTINUOUS MOVE ROUTING PROBLEM. THESIS ADVISOR : MANOJ LOHATEPANONT, Sc.D. 95 pp.

The problem of excessive empty backhaul distances is a major challenge in the planning and operation of truckload transportation, in which goods are picked up from an origin and delivered to a destination without mid-route pickups or deliveries. The empty backhaul distances can be reduced by combining two or more truckload trips together to form a sequence of continuous move truckload trips. The objectives of this research are to develop a truckload continuous move optimization model and solution algorithms of this problem for large-scale transportation network, incorporating major operational complexities, namely, fleet-commodity compatibility, trip-based cost function, and time windows. We present a Continuous Move Optimization Model (CMO), which is based on the set partitioning formulation. We develop two solution approaches—an exact column-generation-based branch-and-bound algorithm and a heuristic algorithm—which yield significant empty haul distance reduction under relatively short runtimes, and provide a comparison study measuring the effectiveness and applicability of the two methods.

The results show substantial reduction in empty haul distances, ranging from 30% to 42%. Our findings indicate that as problems become larger, empty haul reduction increases but at a decreasing rate. The comparison between the branch-and-bound with column generation approach and the heuristic shows better cost savings with the former and markedly better runtimes with the latter.

Department.........Civil Engineering..........Student's signature.......................................
Field of study.......Civil Engineering..........Advisor's signature.......................................
Academic year ..... 2006 ....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่เสียสละเวลาอันมีค่าให้คำแนะนำ แนวทางการทำวิจัย ตลอดจนแนวทางในการแก้ปัญหาและอุปสรรคต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อ.ดร.สีรง ปรีชานนท์ และ อ.ดร.เจริญชัย โขมพัตราภรณ์ที่กรุณาให้คำแนะนำ และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ คุณเทอดพงศ์ ธัญกุลสัมพันธ์ และพี่อลงกรณ์ ดอนสกุลเป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาในด้านการดำเนินงาน การวิจัย และสนับสนุนข้อมูลตัวอย่างในการศึกษาวิจัยนี้

ขอบคุณเพื่อนๆ และรุ่นพี่ภาควิชาวิศวกรรมขนส่งทุกๆ คน ที่ช่วยเหลือตลอดการศึกษาที่ผ่านมา และขอบคุณพี่นก ห้องธุรการภาควิชา ที่ให้คำแนะนำต่างๆ ในขั้นตอนการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องสาวทั้ง 2 คน และน้องยุที่ช่วยเหลือ สนับสนุน ให้กำลังใจ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....จ
กิตติกรรมประกาศ....ฉ
สารบัญ....ช
สารบัญตาราง....ญ
สารบัญรูปภาพ....ฎ
บทที่ 1 บทนำ....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย....4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย....5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....6
2.1 รายละเอียดของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ....6
2.2 รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ....7
2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ผ่านมาในประเทศไทย....10
2.4 ปัญหาการครอบคลุมเส้นทาง (Lane Covering Problems)....13
2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการครอบคลุมเส้นทาง....15
2.5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นเชื่อม (Arc Base)....15
2.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นทาง (Path Base)....17
2.6 แบบจำลองการแบ่งเซต (Set Partitioning Formulation)....18
2.6.1 การใช้วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาการแบ่งเซต....19
2.6.2 การใช้วิธีฮิวริสติคในการแก้ปัญหาการแบ่งเซต....21
บทที่ 3 การศึกษาการดำเนินการของบริษัทตัวอย่างและวิธีดำเนินการวิจัย....22
3.1 ลักษณะการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่าง....22
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่าง....23
3.3 ปัญหาในการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถบรรทุก....26
3.4 แนวทางการปรับปรุงการวางแผนการขนส่งสินค้า....27
3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย....28

บทที่ 4 การพัฒนาแบบจำลองการแก้ปัญหาการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง 31
4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แก้ปัญหาการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง 31
4.2 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขการขนส่งต่างๆ 35
4.2.1 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขประเภทของสินค้า 35
4.2.2 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขประเภทฝูงรถ 35
4.2.3 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขด้านเวลา 36
4.3 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขอื่นๆ 44
บทที่ 5 ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาแบบจำลองการเดินรถขนส่ง แบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง 45
5.1 ภาพรวมของวิธีการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้น 45
5.2 วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของแบบจำลองการเดินรถขนส่ง แบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง 46
5.2.1 การพัฒนาเครื่องมือเพื่อการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด 46
5.2.2 การพัฒนาประสิทธิภาพการหาผลที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ 48
5.2.3 ประเด็นสำคัญในการใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ในแบบจำลอง CMO 52
5.3 วิธีฮิวริสติคของแบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง 52
5.3.1 วิธีฮิวริสติคแบบที่ 1 อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยเกณฑ์ลำดับความสำคัญและอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนัก 53
5.3.2 วิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยดรรชนีมูลค่าการขนส่ง 56
5.4 การพิจารณาจำนวนรอบการขนส่งสูงสุดที่เหมาะสมในแบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง 58
5.5 การพัฒนาขั้นตอนวิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งจากค่าผลเฉลย 60
บทที่ 6 ผลการทดสอบ 63
6.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการแก้ปัญหา 63
6.2 รายละเอียดของแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้น 64
6.3 ผลการหาค่าผลเฉลยของแบบจำลอง 66
6.3.1 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาในส่วนค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 68
6.3.2 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาในส่วนระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่า 70
6.3.3 ประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยในแง่ของเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา 72
6.3.4 ประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยในส่วนวิเคราะห์อื่นๆ 74
6.4 การวิเคราะห์ขนาดของแบบจำลองจำกัดขนาดในวิธีการใช้เทคนิคก่อกำเนิดสดมภ์ 78
6.5 การวิเคราะห์ผลของความกว้างกรอบเวลาของลูกค้าในการขนส่ง 79

บทที่ 7 สรุปและเสนอแนะแนวทางการพัฒนาในอนาคต 83
7.1 สรุป........ 83
7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต........ 85
7.2.1 การพัฒนาประสิทธิภาพของเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์........ 85
7.2.2 การพัฒนาวิธีการควบรวมเที่ยวการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ........ 85
7.2.3 การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการเดินรถแบบไม่เต็มคันรถ........ 86
รายการอ้างอิง 88
ภาคผนวก 90
ภาคผนวก ก รายละเอียดส่วนประกอบทั้งหมดของ COIN-OR. 91
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศ จำแนกตามรูปแบบการขนส่ง 1
ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของปัญหาแต่ละชุด 58
ตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการแก้ปัญหากรณีเดินรถต่อเนื่องได้สูงสุด 2 เที่ยว 59
ตารางที่ 4.3 ผลที่ได้จากการแก้ปัญหากรณีเดินรถต่อเนื่องได้สูงสุด 3 เที่ยว 59
ตารางที่ 6.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง 63
ตารางที่ 6.2 รายละเอียดของแบบจำลองที่สร้างขึ้นของแต่ละชุดปัญหา 64
ตารางที่ 6.3 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาทั้ง 5 รูปแบบในส่วนค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 68
ตารางที่ 6.4 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาทั้ง 5 รูปแบบในส่วนระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่า 70
ตารางที่ 6.5 เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 5 แบบ 72
ตารางที่ 6.5 จำนวนรถที่ใช้ในการหาผลเฉลยของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 5 แบบ 74
ตารางที่ 6.6 ขนาดของแบบจำลองจำกัดขนาดในวิธีการใช้เทคนิคก่อกำเนิดสดมภ์ 78
ตารางที่ 6.6 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ผลของความกว้างกรอบเวลาของลูกค้า
ในการขนส่ง 79
ตารางที่ 6.7 การสรุปในแง่มุมต่างๆ ของวิธีการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้น 82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงรูปแบบการเดินรถแบบเต็มคันรถตามปรกติ 2

รูปที่ 1.2 ตัวอย่างการเดินรถแบบต่อเนื่องสูงสุด 2 รอบ (ด้านซ้าย) และ 3 รอบ (ด้านขวา) ตามลำดับ 3

รูปที่ 1.3 ตัวอย่างเส้นทางการเดินรถขนส่งแบบต่อเนื่องที่แตกต่างกัน 3

รูปที่ 2.1 แสดงลำดับการขนส่งสินค้า 14

รูปที่ 2.2 การเดินรถขนส่งสินค้าภายใต้ข้อจำกัดกรอบเวลา 14

รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนของเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ในงานวิจัย [14] 20

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการขนส่งแบบเต็มคันรถของบริษัทตัวอย่าง 23

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างตัวแปรเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ 34

รูปที่ 4.2 ภาพแสดงการพิจารณาเงื่อนไขด้านเวลาในการขนส่ง 37

รูปที่ 4.3 การพิจารณาเงื่อนไขเวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง 38

รูปที่ 4.4 ข้อจำกัดช่วงเวลาห้ามวิ่งกรณีที่ 1 เวลาที่รถออกอยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง 39

รูปที่ 4.5 ข้อจำกัดช่วงเวลาห้ามวิ่งกรณีที่ 2 เวลาที่รถถึงจุดปลายทางอยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง 39

รูปที่ 4.6 ข้อจำกัดช่วงเวลาห้ามวิ่งกรณีที่ 3 เวลาตลอดการเดินรถอยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง 39

รูปที่ 4.7 การแก้ปัญหาข้อจำกัดช่วงเวลาห้ามวิ่ง 40

รูปที่ 4.8 รหัสขั้นตอน (PSEUDO CODE) ของอัลกอริทึมในการพิจารณาข้อจำกัดด้านกรอบเวลา 41

รูปที่ 4.9 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปไม่ได้ภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลา 42

รูปที่ 4.10 เวลาที่รถบรรทุกเดินทางถึงจุด C1 ถูกขยับไปยังเวลาจุดเริ่มกรอบเวลาที่ C1 42

รูปที่ 4.11 เวลาที่รถบรรทุกเดินทางถึงจุด C1 ถูกขยับเท่ากับค่าความยืดหยุ่นของเส้นทาง (f_s) 43

รูปที่ 4.12 รถบรรทุกไปถึงจุดปลายทางภายในกรอบเวลาการขนส่ง 43

รูปที่ 5.1 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ 49

รูปที่ 5.2 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1 53

รูปที่ 5.3 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 56

รูปที่ 5.4 ผลเฉลยในแง่ของสัดส่วนเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้น 59

รูปที่ 5.5 ผลจากการควบรวม 2 เส้นทางการขนส่งโดยใช้รถบรรทุก 1 คันในการขนส่ง 60

รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของจำนวนคู่ค้าที่เพิ่มขึ้นกับจำนวนตัวแปร (ก่อน) และ (หลัง) 65

รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้สร้างแบบจำลองกับจำนวนตัวแปร (ก่อน) 66

รูปที่ 6.3 เปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายในการเดินทางเมื่อเทียบกับการเดินรถแบบปรกติ 69

รูปที่ 6.4 เปอร์เซ็นต์ระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าเมื่อเทียบกับการเดินรถแบบปรกติ 70

รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการขนส่งและระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่า กับจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า 71
รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยกับจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ที่พิจารณา 73
รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ของจำนวนรถที่ใช้ในการหาผลเฉลยกับจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า 75
รูปที่ 6.8 จำนวนรอบเฉลี่ยที่เกิดขึ้นของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 5 รูปแบบ........ 76
รูปที่ 6.9 ค่า HHR เฉลี่ยของวิธีการหาผลเฉลยทั้ง 5 รูปแบบ 77
รูปที่ 6.10 สัดส่วนตัวแปรที่พิจารณาในแบบจำลองจำกัดขนาดเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น........ 78
รูปที่ 6.11 จำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้เมื่อกรอบเวลามีการเปลี่ยนแปลง........ 80
รูปที่ 6.12 การเปลี่ยนแปลงของค่าผลเฉลยเมื่อกรอบเวลามีการเปลี่ยนแปลง 81
รูปที่ 6.13 การเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ใช้ในการหาค่าผลเฉลยเมื่อกรอบเวลามีการเปลี่ยนแปลง 81
รูปที่ 7.1 วิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้........ 85
รูปที่ 7.2 วิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ 86

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การขนส่งสินค้า เป็นกิจกรรมหนึ่งที่สำคัญในระบบโลจิสติกส์ และจัดเป็นต้นทุนที่สำคัญส่วนหนึ่งของสินค้าและวัตถุดิบ เมื่อพิจารณาจากจำนวนการขนส่งในรูปแบบการขนส่งสินค้าต่างๆ จากข้อมูลการขนส่งสินค้าภายในประเทศ จะเห็นได้ว่ารูปแบบการขนส่งสินค้าที่ได้รับความนิยมสูงที่สุด คือ การขนส่งสินค้าทางถนน

ตารางที่ 1.1 แสดงปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศ จำแนกตามรูปแบบการขนส่ง

	ปริมาณการขนส่ง (พันตัน)				
รูปแบบการขนส่งสินค้า	2544	2545	2546	2547	2548
ทางถนน	400,241	434,918	440,018	435,147	430,275
ทางรถไฟ	8,776	8,893	10,521	12,883	12,267
ทางน้ำภายในประเทศ	17,833	25,043	25,839	26,825	29,630
ชายฝั่งทะเล	19,657	24,795	22,941	25,862	25,625
ทางอากาศ	66	56	54	53	54
รวม	446,573	493,705	499,373	500,770	497,851

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม

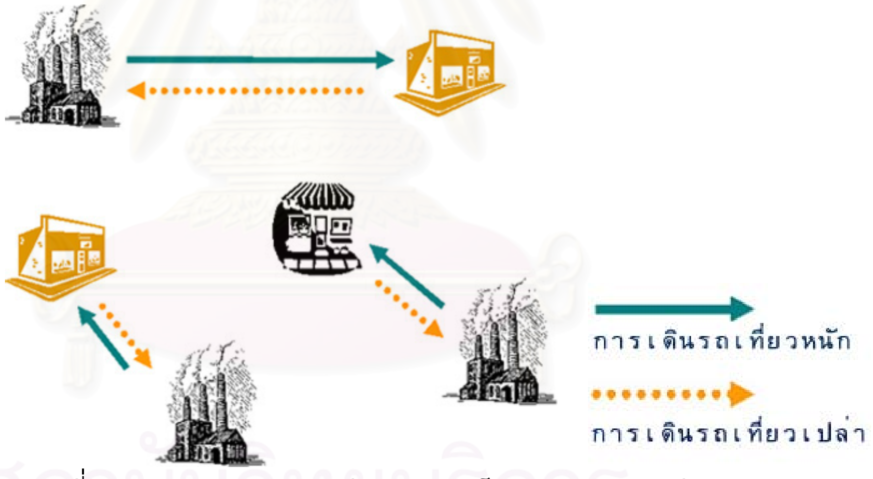
จากตารางที่ 1.1 ในปี 2548 มีสินค้าที่ขนส่งในประเทศทั้งหมด 497.851 ล้านตัน เป็นรูปแบบการขนส่งทางถนนมากที่สุด 430.275 ล้านตัน (86.43%) และรูปแบบการขนส่งทางน้ำภายในประเทศเป็นอันดับที่สอง 29.630 ล้านตัน (5.95%) สังเกตได้ว่าการขนส่งสินค้าทางถนนมีบทบาทมากที่สุด ดังนั้น การวางแผนเพื่อลดต้นทุนทางการขนส่งสินค้าทางบกจึงมีความสำคัญในการลดต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ภายในประเทศ

การขนส่งสินค้าทางถนนสามารถจำแนกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือ การขนส่งแบบเต็มคันรถ (Truck Load – TL) และการขนส่งแบบไม่เต็มคันรถ (Less Than Truck Load – LTL) ลักษณะของการขนส่งสินค้าแบบเต็มคันรถ คือ การขนส่งจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทางโดยไม่มีการแวะรับ-ส่งสินค้าในระหว่างเส้นทางการขนส่ง กล่าวคือ เมื่อรถขนส่งสินค้าได้บรรทุกสินค้าจากจุดเริ่มต้นแล้ว จะไม่มีการนำสินค้าเข้า-ออกจากตัวรถอีกจนกระทั่งถึงจุดปลายทางซึ่งสินค้าทั้งหมดถูกนำลง ส่วนลักษณะของการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันรถมีความแตกต่างที่สำคัญ คือ

มีสถานีแยกและเรียงสินค้า (Sorting Terminal) และอาจมีการแวะรับ-ส่งสินค้าในระหว่างเส้นทางขนส่งจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง ซึ่งถ้ามีการวางแผนการขนส่งที่ดีแล้ว ลักษณะของการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันรถจะใช้ประโยชน์จากความสามารถในการบรรทุกสินค้าได้อย่างคุ้มค่ามากกว่ารูปแบบการขนส่งสินค้าแบบเต็มคันรถ

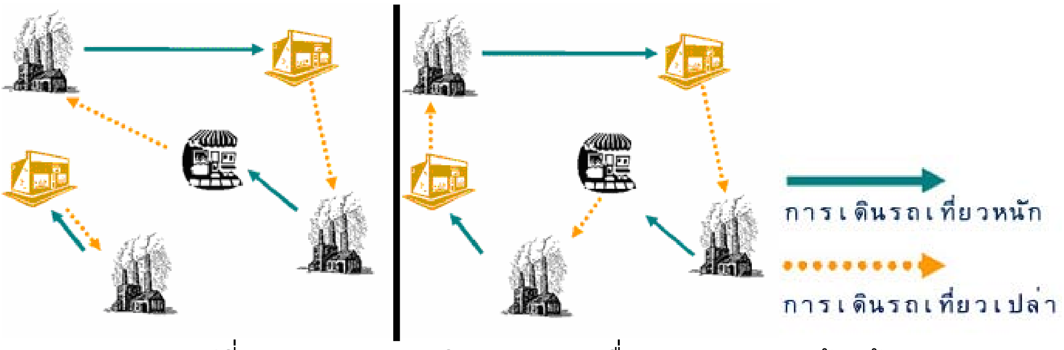
รูปแบบของการขนส่งสินค้าทางถนนที่นำมาศึกษาวิจัยในงานวิจัยนี้ คือการขนส่งสินค้าแบบเต็มคันรถที่มีลักษณะการขนส่งสินค้าจากจุดเริ่มต้น 1 จุดตรงไปยังจุดปลายทางของสินค้า 1 จุด ในการขนส่งรูปแบบนี้ เมื่อรถบรรทุกสินค้าได้ส่งสินค้าเรียบร้อยแล้ว จึงเดินทางเพื่อกลับมาที่จุดเริ่มต้น สังเกตว่า การเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นนี้เป็นการเดินรถเที่ยวเปล่า (Empty Haul) ซึ่งเป็นการเดินรถที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจใดๆ ทั้งสิ้น

ปัญหาการเดินรถเที่ยวเปล่านี้เป็นปัญหาสำคัญในระบบการขนส่งสินค้าทางถนน เนื่องจากความสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งทางด้านทรัพยากร สิ่งแวดล้อมและการเงิน อัตราการสูญเสียในส่วนนี้อยู่ในสัดส่วนที่สูงมาก หากไม่มีการจัดการเพื่อลดการเดินรถเที่ยวเปล่า ทุกๆ รอบที่รถบรรทุกออกเดินรถขนส่งจะเป็นการวิ่งเที่ยวเปล่าถึงร้อยละ 50 ของระยะทางทั้งหมด ดังรูปที่ 1.1



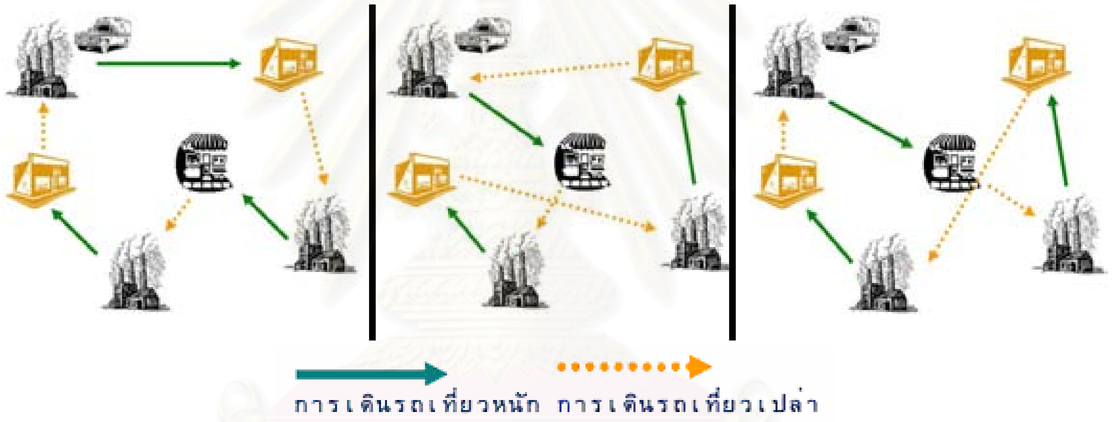
รูปที่ 1.1 แสดงรูปแบบการเดินรถแบบเต็มคันรถตามปรกติ

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาการวิ่งรถเที่ยวเปล่าคือการจัดการเดินรถขนส่งแบบต่อเนื่อง (Continuous Move) ซึ่งเป็นการควบรวมเที่ยวการส่งสินค้าแบบเต็มคันรถหลายๆ เที่ยวเข้าด้วยกัน เพื่อให้รถหนึ่งคันสามารถส่งสินค้าจากหลายจุดเริ่มต้นไปหลายจุดปลายทางตามลำดับ พิจารณาจากตัวอย่างในรูปที่ 1.2 ซึ่งแสดงตัวอย่างบางรูปแบบของการเดินรถแบบต่อเนื่อง ซึ่งประกอบไปด้วยการเดินรถต่อเนื่องที่ให้รถ 1 คัน สามารถวิ่งขนส่งสินค้าได้มากที่สุด 2 เที่ยว และ 3 เที่ยว ด้วยรถจำนวน 2 คัน และ 1 คันตามลำดับ



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างการเดินรถแบบต่อเนื่องสูงสุด 2 รอบ (ด้านซ้าย)
และ 3 รอบ (ด้านขวา) ตามลำดับ

การจัดการเดินรถต่อเนื่องที่มีประสิทธิภาพ สามารถลดระยะทางการเดินรถลงได้ อย่างไรก็ตาม การจัดการเดินรถรูปแบบนี้มีความซับซ้อนสูง เนื่องจากมีตัวเลือกในการสร้างเส้นทางการเดินรถอยู่มาก ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 ตัวอย่างเส้นทางการเดินรถขนส่งแบบต่อเนื่องที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 1.3 เมื่อให้รถขนส่งสินค้าออกจากโรงงานเริ่มต้น เดินรถไปยังลูกค้ารายแรกตามลูกศรเส้นทึบเพื่อทำการส่งสินค้า และเดินรถเที่ยวเปล่าไปยังโรงงานแห่งที่สองตามลูกศรเส้นประ จะเห็นได้ว่า ในกลุ่มคู่ค้าชุดเดิม คือโรงงาน 3 แห่ง และลูกค้า 3 ราย มีตัวเลือกในปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เป็นไปได้อยู่จำนวนมาก การเลือกเส้นทางที่มีระยะทางน้อยที่สุดในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้ากลุ่มหนึ่งๆ จะต้องมีการพิจารณาเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้แบบต่างๆ ทั้งหมด นอกจากนี้ การพิจารณาเลือกเส้นทางการขนส่งที่สั้นที่สุดสำหรับรถคันหนึ่งๆ ทีละคัน อาจทำให้เส้นทางการขนส่งของรถคันที่เหลือไม่สามารถเลือกเส้นทางการขนส่งที่สั้นที่สุดได้ ซึ่งในท้ายที่สุดแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่สามารถลดระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

แนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ คือ การนำเอาศาสตร์ทางด้านการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) ซึ่งเป็นวิธีการในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดเข้ามาประยุกต์ใช้ โดยทั่วไปแนวทางในการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้ สามารถแบ่งได้เป็น 2 แนวทางใหญ่ๆ คือ

1. วิธีฮิวริสติค (Heuristic Method) เป็นวิธีการหาผลเฉลยโดยการใช้หลักความคิดเพื่อประมาณผลเฉลยที่มีคุณภาพยอมรับได้ รูปแบบการหาผลเฉลยประเภทนี้จะมีจุดเด่นที่ความรวดเร็วในการคำนวณ แม้ผลเฉลยนั้นอาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดก็ตาม การพิจารณาวิธีการทางฮิวริสติคนี้ จะขึ้นกับหลักความคิดของผู้พัฒนารูปแบบการแก้ปัญหาเป็นหลัก ในแบบจำลองหนึ่งๆ อาจมีรูปแบบการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติคส์ ที่แตกต่างกันได้มากมาย
2. วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact Solution Method) เป็นการหาผลเฉลยด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ซึ่งผลเฉลยที่ได้มักจะมีคุณภาพดีกว่ารูปแบบวิธีฮิวริสติค การแก้ปัญหารูปแบบนี้ จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการประมวลผลเพื่อหาผลเฉลย และเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยอาจมากกว่าวิธีการแบบฮิวริสติค

ปัญหาที่สำคัญในการประยุกต์ใช้การวิจัยดำเนินงานเข้าช่วยในการแก้ปัญหา คือ ลักษณะปัญหาของแต่ละกรณีปัญหายังมีรูปแบบรายละเอียดปลีกย่อยที่แตกต่างกัน ทำให้ผู้วิจัยจะต้องหารูปแบบที่เหมาะสมที่สุดกับลักษณะปัญหา นอกจากนี้ ยังต้องกำหนดเงื่อนไขในการแก้ปัญหาต่างๆ ให้สอดคล้องกับแต่ละรูปแบบปัญหาอีกด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการขนส่ง เช่น ความสามารถในการบรรทุกของรถ ระยะทางหรือเวลาสูงสุดที่รถวิ่งได้ใน 1 วัน และกรอบเวลาการขนส่งสินค้า เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่ศึกษา

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบต่อเนื่อง
2. พัฒนาอัลกอริทึมการหาผลเฉลยด้วยวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วย รูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) และอัลกอริทึมการหาผลเฉลยด้วยวิธีฮิวริสติค
3. เปรียบเทียบความสามารถ และประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดและวิธีฮิวริสติค

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ จะทำการศึกษารูปแบบการเดินรถแบบเต็มคันรถ (Truckload) โดยพิจารณาถึงเงื่อนไข และข้อจำกัดในการขนส่งต่างๆ คือ ประเภทของสินค้า (Commodity) ฝูงรถ (Fleet) เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง (Loading – Unloading Time) และกรอบเวลา (Time Windows) ของโรงงานและลูกค้า เพื่อสร้างรูปแบบเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ (Feasible Delivery Route) และใช้เทคนิคทางด้านการวิจัยดำเนินงานในการหาผลเฉลยเพื่อจัดเส้นทางการเดินรถให้มีต้นทุนการเดินรถต่ำที่สุด

การพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อใช้แก้ปัญหา มี 2 รูปแบบ คือ วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด และวิธีฮิวริสติค และจะทำการเปรียบเทียบผลของการแก้ปัญหา ตลอดจนประยุกต์การทำงานของทั้ง 2 รูปแบบเพื่อการทำงานที่มีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ไม่ได้มีการพัฒนาในด้านการเขียนโปรแกรมกราฟิกเพื่อการติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface) เนื่องจากเป็นลักษณะการพัฒนาที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยตรง และต้องใช้เวลามากในการศึกษาและพัฒนา นอกจากนี้ การพัฒนาด้านกราฟิกการติดต่อกับผู้ใช้งานสามารถพัฒนาขึ้นสำหรับงานวิจัยนี้ได้โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านนี้โดยตรง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าทางถนน และสร้างรูปแบบการบริหารจัดการการเดินรถขนส่งที่มีประสิทธิภาพ โดยอาศัยโปรแกรมเฉพาะสำหรับการจัดการเดินรถขนส่งแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะก่อให้เกิดผลบวกต่อเศรษฐกิจของประเทศในแง่การประหยัดพลังงาน และผลบวกต่อสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากมลพิษที่ลดลง

2. สร้างเครื่องมือ (Tool) ที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดในรูปแบบจำนวนเต็ม (Integer Program) และเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยด้านการประยุกต์ใช้การวิจัยดำเนินงานเพื่อแก้ปัญหาทางด้านการขนส่งรูปแบบอื่นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้น เป็นที่รู้จักทั่วไปในชื่อ Vehicle Routing Problem (VRP) มีงานวิจัยจำนวนมากที่มีความแตกต่างกันทั้งลักษณะของปัญหา รูปแบบวิธีการและเทคนิคต่างๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหา แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการหาค่าผลเฉลยของปัญหา

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถในรูปแบบต่างๆ งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ผ่านมา รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมกับลักษณะปัญหาในงานวิจัย แนวทางการหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด และเทคนิคในการหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด

2.1 รายละเอียดของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ มีลักษณะของปัญหาที่ประกอบไปด้วยเซตเส้นทางของฝูงรถจากจุดกระจายสินค้า 1 จุด หรือหลายๆ จุด โดยมีเป้าหมายในการแก้ปัญหา คือ การหาวิธีจัดเส้นทางเดินรถจากจุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้าให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ มีลักษณะปัญหาเป็นรูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) และถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาที่มีความซับซ้อนในการหาค่าผลเฉลยสูง (Non-Deterministic Polynomial-Time Hard) **[1]** กล่าวคือ เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาเพิ่มในอัตราส่วนแบบเอกโปเนนเชียลกับขนาดของปัญหาที่เพิ่มขึ้น มีอยู่บ่อยครั้งที่การหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจะใช้วิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ ซึ่งสามารถหาค่าผลเฉลยได้ภายใต้เวลาที่ใช้และคุณภาพของผลเฉลยที่ยอมรับได้ วิธีการโดยประมาณที่ถูกนำมาใช้ คือ วิธีฮิวริสติคในหลายๆ รูปแบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถหนึ่งๆ

การศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเป็นการศึกษาที่สำคัญในลักษณะงานทางด้านการขนส่ง การกระจายสินค้า และโลจิสติกส์ รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสามารถจำแนกได้หลายประเภทดังจะกล่าวต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (ต่อไปนี้จะเรียกว่า VRP) ถูกจำแนกออกเป็นรูปแบบตามข้อจำกัดและลักษณะในการขนส่ง Toth และ Vigo **[2]** ได้จำแนกลักษณะปัญหาของ VRP เป็นรูปแบบต่างๆ โดยคำนึงถึงความแตกต่างของวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหา (Objective) เส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ (Feasibility) และลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ (Formulation) ดังนี้

1. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุก (Capacitated VRP - CVRP)

   CVRP เป็นรูปแบบปัญหาที่คำนึงถึงปริมาณสินค้าที่รถสามารถบรรทุกได้ โดยมีเงื่อนไขในการแก้ปัญหาคือ ปริมาณบรรทุกรวมในเส้นทางการขนส่งจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสูงสุดที่รถสามารถบรรทุกได้

2. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีจุดกระจายสินค้าหลายจุด (Multiple Depot VRP - MDVRP)

   MDVRP เป็นลักษณะปัญหา VRP ที่มีจุดกระจายสินค้าหลายๆ จุด โดยแต่ละจุดจะมีฝูงรถที่ประจำอยู่ในจุด เมื่อทำการขนส่งสินค้าเรียบร้อยก็จะกลับมายังจุดกระจายสินค้าที่ประจำอยู่

3. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีรอบการขนส่งหลายวัน (Periodic VRP - PVRP)

   ลักษณะของ PVRP คือ การขนส่งสินค้าที่เปลี่ยนจากลักษณะการวิเคราะห์การขนส่งในรอบวันให้สามารถวิเคราะห์ถึงการขนส่งที่มีรอบการขนส่งเกิน 1 วัน เช่น การขนส่งไปยังจุดหมายปลายทางที่ไกลได้ ทำให้รอบของการขนส่งมีความแตกต่างกัน รูปแบบการขนส่งที่เป็นไปได้จึงมีตัวเลือกจำนวนมาก

4. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีการแยกสินค้าออกส่งเป็นส่วนๆ ไปยังลูกค้า 1 ราย (Split Delivery VRP - SDVRP)

   SDVRP คือลักษณะของการขนส่งที่ยอมให้ลูกค้าหนึ่งรายสามารถรับสินค้าจากรถขนส่งได้หลายคันเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เช่น กรณีที่ปริมาณสินค้าที่ต้องการเกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถบรรทุก 1 คัน

5. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความไม่แน่นอนขององค์ประกอบในการขนส่ง (Stochastic VRP - SVRP)

   SVRP เป็นรูปแบบวิธีการที่คำนึงถึงความไม่แน่นอนขององค์ประกอบต่างๆ ในการขนส่ง ซึ่งมีอยู่ 3 ส่วนหลักๆ คือ ความไม่แน่นอนของลูกค้า ความไม่แน่นอนในปริมาณสินค้าที่ต้องการ และความไม่แน่นอนในเวลาที่ใช้ในการขนส่ง

6. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีการบรรทุกเที่ยวกลับ (VRP with Backhauls - VRPB)

   VRPB เป็นรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ลูกค้าบางรายสามารถส่งสินค้าบางอย่างกลับสู่จุดกระจายสินค้าได้ โดยมีลักษณะที่สำคัญ คือ จะต้องทำการส่งสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ ในเส้นทางการขนส่งให้หมดก่อนที่จะรับสินค้าที่จะบรรทุกกลับมายังจุดเริ่มต้น

7. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถรับและส่งสินค้าได้ตลอดเส้นทาง (VRP with Pick-Up and Delivering - VRPPD)

   VRPPD เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่รถบรรทุกสามารถรับและส่งสินค้าได้ตลอดเส้นทางโดยที่ปริมาณบรรทุกไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถ และจะต้องไม่มีการส่งสินค้าจากลูกค้ารายหนึ่งไปยังอีกรายหนึ่ง ลักษณะของ VRPPD แตกต่างจาก VRPB ที่ลักษณะการบรรทุกสินค้าจากลูกค้ากลับมายังจุดกระจายสินค้า VRPB จะต้องส่งสินค้าให้เรียบร้อยก่อนจึงบรรทุกสินค้ากลับ ส่วน VRPPD จะมีการรับ-ส่งสินค้าตลอดเส้นทาง แต่ต้องไม่มีการขนส่งสินค้าในระหว่างลูกค้าด้วยกันเอง

8. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่คำนึงถึงช่วงเวลา (VRP with Time Windows - VRPTW)

   VRPTW คือลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่คำนึงถึงช่วงเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ โดยเวลารับสินค้าจะกำหนดเป็นลักษณะช่วงเวลา (Time Windows) การขนส่งสินค้าจะต้องให้บริการภายในเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การจำแนกประเภทของปัญหาโดย Toth และ Vigo [2] ที่กล่าวมาเป็นการจำแนกที่อาจยังไม่ครอบคลุมปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่เกิดขึ้นจริงทุกปัญหา แต่ก็เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของรูปแบบปัญหา ยิ่งไปกว่านั้น ปัญหาจริงบางปัญหาก็อาจมีลักษณะปัญหาที่เป็นการควบรวมของรูปแบบที่กล่าวมา เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบหลายจุดส่ง และมีการแบ่งส่ง (Multiple Depot VRP with Split Delivery) เป็นต้น

การวิเคราะห์ปัญหาจะต้องคำนึงถึงลักษณะของปัญหาที่สอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆ เพื่อให้การแก้ปัญหามีความเหมาะสมที่สุด รูปแบบแต่ละรูปแบบอาจมีวิธีการหาคำตอบได้มากกว่าหนึ่งวิธี การวิเคราะห์ถึงรูปแบบที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในงานวิจัยนี้ เป็นรูปแบบการเดินรถขนส่งแบบต่อเนื่อง (Continuous Move) ซึ่งเป็นการควบรวมเที่ยวการส่งสินค้าแบบเต็มคันรถหลายๆ เที่ยวเข้าด้วยกันเพื่อให้รถหนึ่งคันวิ่งส่งสินค้าจากหลายจุดเริ่มต้นไปหลายจุดปลายทาง ซึ่งมีลักษณะเฉพาะหลายอย่างที่แตกต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยทั่วไป กล่าวคือ คำนึงถึงความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถที่ใช้โดยพิจารณาความต้องการในการขนส่งระบุเป็นจำนวนรอบการขนส่ง มีขอบเขตการส่งสินค้าที่ต้องอยู่ภายในขอบเขตเวลาที่ลูกค้ากำหนด ลักษณะปัญหาในงานวิจัยนี้จึงเป็นลักษณะของการเดินรถขนส่งแบบต่อเนื่องโดยมีข้อจำกัดด้านเวลา (Continuous Move With Time Windows)

งานวิจัยของ Assad [3] ได้กล่าวถึงการนำเอาศาสตร์ทางด้านการวิจัยดำเนินงานเข้ามาแก้ปัญหา VRP ในช่วงทศวรรษที่ 80 โดยลักษณะของปัญหานั้นจะมีจุดเด่นที่ความสัมพันธ์ในเชิงทฤษฎีและการพัฒนาเพื่อการนำไปใช้ได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ Assad ได้ทำการจำแนกองค์ประกอบต่างๆ ของ VRP ซึ่งมีความซับซ้อนหลากหลายของปัญหาไว้ในแง่มุมต่างๆ คือ ลักษณะของอุปสงค์ ข้อมูลของอุปสงค์ ลักษณะหรือประเภทของรถ (Fleet) ข้อกำหนดหรือเงื่อนไขของคนขับรถ ข้อกำหนดเวลาการส่งสินค้า และข้อมูลที่ต้องการในการแก้ปัญหาอย่างเหมาะสม

Assad ยังได้เสนอการเปรียบเทียบวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ว่าควรพิจารณาในปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้

- คุณภาพของผลเฉลยที่ได้
- ความสามารถของอัลกอริทึมโดยพิจารณาถึงการได้ผลเฉลยที่คุณภาพสูง โดยสัมพันธ์กับเวลาในการคำนวณหาคำตอบ
- ความสะดวกในการใช้งานของผู้ใช้
- เวลาที่ใช้ในกรณีที่มีการสร้างใหม่ และเปลี่ยนแปลงของผลเฉลย
- ความเหมาะสมของรูปแบบการปฏิบัติงานที่เป็นข้อกำหนด กับเงื่อนไขในการแก้ปัญหาตามข้อกำหนดนั้น

งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้นมีมากมาย ในประเทศไทยก็ได้มีการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถอยู่หลายงานวิจัยด้วยกัน ซึ่งจะได้กล่าวในส่วนถัดไป

2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ผ่านมาในประเทศไทย

ภราดร [4] ได้พัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจากจุดกระจายสินค้าจุดเดียวไปยังลูกค้าหลายจุด ในรูปแบบการขนส่งแบบเต็มคันรถ (Truckload) ภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุก และกรอบเวลาการขนส่ง มีเป้าหมายในการแก้ปัญหา คือ จัดส่งสินค้าให้ได้จำนวนเที่ยวมากที่สุดและทันเวลา กล่าวคือ เป็นการใช้รถบรรทุกให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยมีลักษณะปัญหาเป็นการขนส่งกระเบื้องมุงหลังคาจากจุดกระจายสินค้า 1 จุดไปยังลูกค้าต่างๆ รูปแบบการขนส่งเป็นการขนส่งแบบเต็มคันรถ (Full-Truck Load) มีลูกค้า 2 ประเภท คือ ลูกค้าที่มีระยะห่างจากจุดกระจายสินค้าเป็นระยะทางไม่เกิน 200 กิโลเมตร จะใช้เวลาส่งสินค้าไม่เกิน 1 วันและลูกค้าที่มีระยะห่างจากจุดกระจายสินค้าเป็นระยะทางเกิน 200 กิโลเมตร จะใช้เวลาส่งสินค้าไม่เกิน 3 วัน ในงานวิจัยของภราดรมีการวิเคราะห์เฉพาะการส่งสินค้ารอบวันเท่านั้น และมีเงื่อนไขในการขนส่ง แบ่งเป็น

- เงื่อนไขทั่วไป ประกอบไปด้วย ประเภทของฝูงรถ ข้อจำกัดด้านจำนวนรถยก และจำนวนรถที่สามารถใช้เดินรถได้

- เงื่อนไขทางด้านกรอบเวลาการขนส่ง ประกอบไปด้วย เวลาพร้อมดำเนินการที่แตกต่างกันของรถแต่ละคัน ช่วงเวลาการนำสินค้าขึ้น ช่วงเวลาการรับสินค้า และช่วงเวลาห้ามวิ่งสำหรับรถบรรทุกในเส้นทางบางเส้นทาง

วิธีการหาผลเฉลยใช้วิธีฮิวริสติค มีวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการสร้างผลลัพธ์จากผลเฉลยจากค่าผลเฉลยเริ่มต้น (Initial Solution) 3 วิธี และนำผลเฉลยที่ดีที่สุดของแต่ละค้นจาก 3 วิธีที่ได้มาเป็นผลเฉลยหลัก เพื่อทำการสลับลำดับกับอีก 2 ผลเฉลย และคิดดัชนีวัดคุณภาพของผลเฉลย คือ เวลาที่เหลืออยู่หลังทำการขนส่งในแต่ละรอบเสร็จ โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดของเวลาและรถยกเรียบร้อยแล้ว ถ้าผลเฉลยมีคุณภาพดีกว่าเดิมก็จะเก็บผลเฉลยนี้ไว้ โดยใช้การค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) ในการป้องกันการวนกลับมายังผลเฉลยเดิม

การแก้ข้อจำกัดทางด้านเวลา ใช้วิธีการเลื่อนช่วงเวลาที่ติดอยู่ในช่วงที่มีข้อจำกัดทางด้านเวลาให้พ้นช่วงที่มีข้อจำกัดทางด้านกรอบเวลาการขนส่ง และมีการเปรียบเทียบถึงผลของการใช้การแก้ปัญหากับการวางแผนแบบปรกติของบริษัทเพื่อวิเคราะห์ผลเฉลยที่ได้ว่ามีคุณภาพเพียงใด โดยมีตัวชี้วัดที่ใช้เปรียบเทียบ คือ จำนวนรถที่ใช้ และรอบการขนส่งที่ทำได้ พบว่าการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านการขนส่งลงได้เมื่อเทียบกับการจัดการเดินรถแบบเดิม

งานวิจัยของวิจิตรา [5] และงานวิจัยของเอกภพ [6] ได้นำแนวคิดการแก้ปัญหาของภราดรมาใช้กับลักษณะปัญหาการการจัดเส้นทางเดินรถจากจุดกระจายสินค้าจุดเดียวไปยังลูกค้าหลายจุด ในรูปแบบการขนส่งไม่เต็มคันรถที่มีข้อจำกัดทางด้านกรอบเวลาการขนส่ง โดยรูปแบบการขนส่งแบบไม่เต็มคันรถในงานวิจัยนี้ กำหนดให้การบรรทุก 1 รอบสามารถขนส่งไปยังลูกค้าได้สูงสุด 2 ราย และใช้อัลกอริทึมการประหยัด (Savings Algorithm) ในการจัดเส้นทางการขนส่ง เมื่อสร้างเส้นทางการขนส่งได้แล้ว จึงใช้ธีการค้นหาคำตอบเชิงพันธุกรรมกับการค้นหาแบบทาบูในการจัดตารางเวลาการขนส่ง โดยรายละเอียดในการจัดตารางเวลานั้นมีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยของภราดร แต่มีการใช้ดัชนีชี้วัดคุณภาพของผลเฉลยที่แตกต่างออกไป ความแตกต่างของงานวิจัยของผู้วิจัยทั้งสอง คือ งานวิจัยของวิจิตรามีการพัฒนาอัลกอรีทึมให้รถสามารถบรรทุกสินค้าเที่ยวกลับ (Backhaul) เพื่อนำวัตถุดิบส่งคืนจากลูกค้ากลับมายังโรงงาน หลักการของการวางแผนการบรรทุกสินค้าเที่ยวกลับ คือ เมื่อการส่งสินค้าไปยังลูกค้ารายสุดท้ายในรอบการขนส่งเสร็จสิ้นแล้ว จะตรวจสอบว่ารถบรรทุกคันนั้น สามารถแวะรับสินค้าเที่ยวกลับจากลูกค้ารายใดโดยที่ไม่ส่งผลต่อรอบการวิ่งรอบถัดไปของรถคันดังกล่าวได้บ้าง ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านกรอบเวลาการขนส่ง ส่วนงานวิจัยของเอกภพ มีการพัฒนาการแก้ปัญหาให้ครอบคลุมรูปแบบการขนส่งของโรงงานที่ศึกษาซึ่งตั้งอยู่ที่จังหวัดปทุมธานี โดยแบ่งเป็นการขนส่งภายในเขตกรุงเทพมหานครและการขนส่งไปยังเขตปริมณฑล ทั้ง 2 รูปแบบของการศึกษามีรูปแบบการเดินรถที่แตกต่างกัน การขนส่งภายในเขตกรุงเทพมหานครจะมีรูปแบบการเดินรถแบบไม่เต็มคันรถ ส่วนการขนส่งไปยัง

เขตปริมณฑลจะเป็นการเดินรถแบบเต็มคันรถ การวางแผนในการแก้ปัญหาจะแยกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วนตามรูปแบบการเดินรถดังกล่าว

จากการศึกษางานวิจัยการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในอดีต จะเห็นได้ว่างานวิจัยต่างๆ ในประเทศไทยที่ได้กล่าวถึงนั้น มีจุดเด่นที่การศึกษาการปฏิบัติงานจริงของบริษัทที่เป็นกรณีศึกษาอย่างละเอียด แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยในประเทศไทยที่ผ่านมาไม่ได้มุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหา ซึ่งสามารถสรุปประเด็นความแตกต่างจากงานวิจัยนี้ได้ดังนี้

1. งานวิจัยต่างๆ ที่ได้กล่าวมา เป็นการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ที่ประกอบไปด้วยจุดกระจายสินค้า 1 จุด และขนส่งไปยังลูกค้าที่มีจำนวนไม่มาก (ไม่เกิน 40 ราย) ซึ่งแตกต่างกับลักษณะปัญหาในงานวิจัยนี้ที่มีหลายจุดกระจายสินค้า และมีการขนส่งไปยังลูกค้าจำนวนมาก คือ มี จุดกระจายสินค้า 9 จุด และลูกค้า 166 ราย นอกจากนี้

2. งานวิจัยที่กล่าวมามีวิธีการหาค่าผลเฉลยเป็นรูปแบบฮิวริสติคเพียงอย่างเดียว เนื่องจากมีความเหมาะสมกับการแก้ปัญหาการขนส่งรายวัน (Daily Operation) มากกว่าการหาผลเฉลยจากการแก้ปัญหารูปแบบการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดที่อาจให้ผลเฉลยที่ดีกว่า แต่ข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยทำให้มีความไม่เหมาะสมกับลักษณะปัญหาในงานวิจัย

3. เมื่อวิเคราะห์ถึงการพิจารณาข้อจำกัดในการขนส่ง พบว่างานวิจัยต่างๆ ไม่ได้มีการพัฒนาอัลกอริทึม หรือวิธีการในการแก้ปัญหาเงื่อนไขทางด้านกรอบเวลาในการขนส่ง ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหามีลักษณะไม่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาที่มีเงื่อนไขการขนส่งที่ซับซ้อน เนื่องจากจะทำให้การแก้ปัญหาเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า ปัญหาในงานวิจัยนี้มีความแตกต่างซึ่งเป็นข้อจำกัดที่สำคัญคือการมีจุดกระจายสินค้าหลายจุด ในการขนส่งสินค้ารอบหนึ่งๆ สินค้าทั้งหมดจะถูกส่งไปยังลูกค้าเพียงรายเดียว ดังนั้น การขนส่งใน 1 รอบจึงมีลักษณะการเป็นคู่ค้า (Pair) ระหว่างจุดกระจายสินค้าและลูกค้า งานวิจัยของ Ergun, Kuyzu และ Savelsbergh **[7], [8]** ได้ศึกษาการเดินรถขนส่งต่อเนื่องแบบเต็มคันรถ (Continuous Move with Full Truck Load) ในการสร้างเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องที่เหมาะสม โดยเรียกลักษณะปัญหานี้ว่า ปัญหาการครอบคลุมเส้นทาง (Lane Covering Problem – LCP) ซึ่งจะได้กล่าวในส่วนถัดไป

2.4 ปัญหาการครอบคลุมเส้นทาง (Lane Covering Problems)

ปัญหาการครอบคลุมเส้นทาง (ต่อไปนี้จะเรียกว่า LCP) เป็นการวิเคราะห์ปัญหาการขนส่งที่วิเคราะห์ถึงเส้นทางการขนส่งแบบต่อเนื่อง และการขนส่งเป็นแบบเต็มคันรถ (Full truck load) มีแนวคิดในการแก้ปัญหาคือ ปัญหาจะประกอบไปด้วยเซตขององค์ประกอบต่างๆ คือ

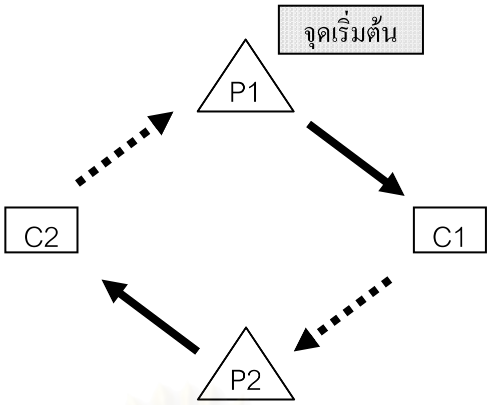
1. จุดขนส่งและจุดรับสินค้า
2. เส้นทางการขนส่งสินค้า
3. ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของแต่ละเส้นทางการขนส่งสินค้า

ลักษณะของเส้นทางการขนส่ง อาจมีการควบรวมการขนส่งหลายๆ เส้นทางเข้าด้วยกัน ซึ่งเป็นลักษณะของการเดินรถขนส่งแบบต่อเนื่อง และมีเป้าหมายในการหาผลเฉลยคือ การหาเส้นทางการขนส่งที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำที่สุด

ในงานวิจัยของ Ergun, Kuyzu และ Savelsbergh ได้ทำการศึกษาลักษณะปัญหา LCP ที่มีข้อจำกัดต่างกันในการขนส่ง คือ ระยะทางที่ขนส่งจะต้องไม่เกินระยะทางสูงสุดที่กำหนด (Length Constrained Lane Covering Problem หรือ LCLCP) ในงานวิจัย [7] และคำนึงถึงช่วงเวลาที่ลูกค้าสามารถรับสินค้า (Time-Constrained Lane Covering Problem หรือ TCLCP) ในงานวิจัย [8]

เงื่อนไขในการขนส่งใน LCP ทั้ง 2 รูปแบบนั้น ทำให้เกิดข้อจำกัดในการเลือกเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ (Feasible Route) รูปแบบปัญหา LCLCP ส่งผลให้การวิเคราะห์จะต้องคำนึงถึงรอบการขนส่ง (Cycle) ที่สูงสุดสามารถขนส่งได้ โดยเส้นทางการขนส่งแต่ละเส้นนั้นจะต้องไม่เกินระยะทางสูงสุดที่กำหนด ส่วนรูปแบบปัญหา TCLCP การสร้างเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้จะต้องคำนึงถึงกรอบเวลาที่ลูกค้าต้องการในการรับสินค้า ทำให้เส้นทางการขนส่งที่เป็นได้อาจเกิดช่วงเวลาที่ต้องรอ (Waiting Time) ซึ่งทำให้เกิดความสูญเปล่าขึ้น

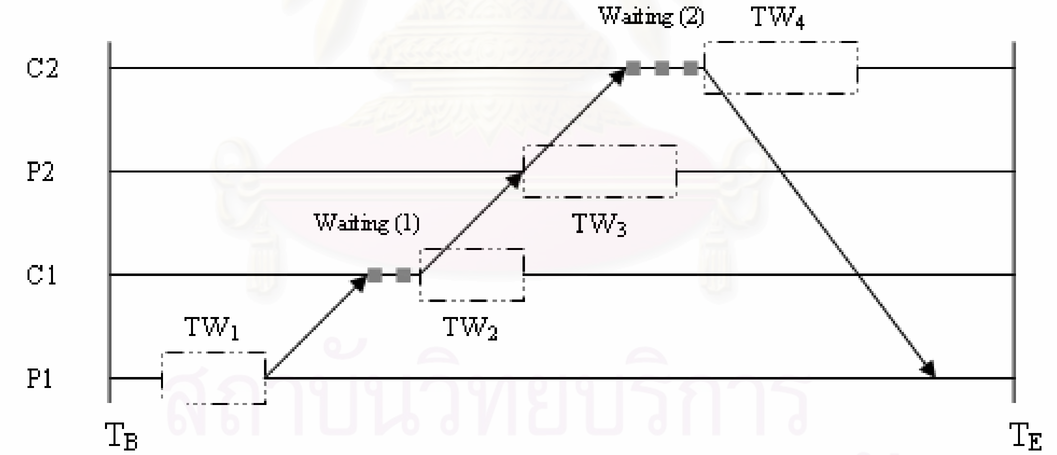
งานวิจัยดังกล่าว ได้พัฒนาอัลกอริทึมเพื่อลดช่วงเวลาที่ต้องรอในเส้นทางการขนส่งให้เหลือน้อยที่สุด โดยมีหลักการ คือ จะสร้างเส้นทางการขนส่งที่มีลำดับคู่ค้าหนึ่งๆ ขึ้นมาก่อน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงลำดับการขนส่งสินค้า

รูป 2.1 กำหนดลักษณะเส้นทางการขนส่งโดยเริ่มจากจุดเริ่มต้นที่โรงงานแห่งที่ 1 (P1) ขนส่งไปยังลูกค้าแห่งที่ 1 (C1) จากนั้นเดินรถเที่ยวเปล่าไปยังโรงงานแห่งที่ 2 (P2) และขนส่งไปยังลูกค้าแห่งที่ 2 (C2) สุดท้ายเดินรถเปล่ากลับมาที่โรงงานเริ่มต้น

เมื่อสร้างลำดับเส้นทางการขนส่งเรียบร้อยแล้ว จึงพิจารณาถึงข้อจำกัดด้านกรอบเวลา โดยกำหนดให้ T_B และ T_E เป็นเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดที่สามารถขนส่งได้ในแต่ละวันตามลำดับ โดย TW_i คือ กรอบเวลา ณ โรงงานหรือลูกค้าใดๆ เวลาสูญเปล่าที่เกิดขึ้น แสดงได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 การเดินรถขนส่งสินค้าภายใต้ข้อจำกัดกรอบเวลา

จากรูปที่ 2.2 ช่วงเวลา Waiting (1) และ Waiting (2) เป็นเวลาสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากการรอ เมื่อรถไปถึงจุดหมายก่อนเวลาเร็วที่สุดที่สามารถขนส่งในจุดหมายนั้นๆ ได้ งานวิจัยดังกล่าวได้พัฒนาอัลกอริทึมในการลดช่วงเวลาสูญเปล่าที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการรอให้น้อยที่สุด มีวิธีการ คือ การหาตำแหน่งของคู่ค้าที่มีช่วงเวลาที่ต้องรอสูงที่สุด และเปลี่ยนลำดับเส้นทางการเดินรถขนส่งให้มีจุดเริ่มต้นจากโรงงานที่ขนส่งในคู่ค้านั้น โดยการเปลี่ยนลำดับเส้นทางการเดินรถนี้จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อการเดินรถขนส่งในรอบวันถัดไป

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าว เป็นการพัฒนาอัลกอริทึมเพื่อสร้างเส้นทางการเดินรถโดยพิจารณาจากระยะทางเท่านั้น ไม่ได้พิจารณาถึงข้อจำกัดด้านจำนวนรถ และค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการเดินรถขนส่งสินค้า

ในส่วนถัดไป จะกล่าวถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการครอบคลุมเส้นทางที่เคยมีการศึกษาวิจัยมาแล้ว

2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการครอบคลุมเส้นทาง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการครอบคลุมเส้นทาง แบ่งได้ 2 รูปแบบ คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นเชื่อม (Arc Base) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นทาง (Path Base) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นเชื่อม (Arc Base)

วันชนะ [9] ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นเชื่อม รูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มที่ให้ผลเฉลยเป็นเลขฐานสอง (Binary) โดยมีข้อจำกัด คือ รถ 1 คันมีการขนส่งสินค้าในแต่ละเส้นทางได้ไม่เกิน 3 เที่ยว และไม่พิจารณาถึงกรอบเวลา

รายละเอียดของแบบจำลองมีดังนี้

$$Min \quad \sum_{i\in V}\sum_{j\in N}\sum_{k\in N} AD_{jk}x_{ijk} \tag{1.1}$$

Subject to:

$$P_{jk} - \sum_{i\in V} x_{ijk} = 0 \qquad \forall j \in F, \forall k \in C \tag{1.2}$$

$$\sum_{j\in N} x_{ijk} - \sum_{j\in N} x_{ikj} = 0 \qquad \forall i \in V, \forall k \in N \tag{1.3}$$

$$\sum_{j\in N}\sum_{k\in N} D_{jk}x_{ijk} \le D_m \qquad \forall i \in V \tag{1.4}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\sum_{i \in V} x_{ilj} \leq Y_j \qquad \forall j \in F, \forall l \in S \qquad (1.5)$$

$$x_{ijk} - \sum_{l \in C-k} x_{ilj} \leq 0 \qquad \forall i \in V, \forall j \in F, \forall k \in C \qquad (1.6)$$

$$\sum_{k \in F} x_{ilk} \leq 1 \qquad \forall i \in V, \forall l \in S \qquad (1.7)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in N} x_{ijk} - \sum_{k \in F} B x_{ilk} \leq 0 \qquad \forall i \in V, \forall l \in S \qquad (1.8)$$

$$x_{ilj} - \sum_{k \in N-S} x_{ijk} \leq 0 \qquad \forall i \in V, \forall j \in F, \forall l \in S \qquad (1.9)$$

$$x_{ilj} - x_{ijl} = 0 \qquad \forall i \in V, \forall j \in F, \forall l \in S \qquad (1.10)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in V, \forall j, k \in N \qquad (1.11)$$

โดย

V คือ เซตของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งสินค้า

S คือ เซตของจุดเทียม (Dummy Node) ซึ่งกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดในการขนส่งสินค้าแต่ละเส้นทาง

F คือ เซตของโรงงานทั้งหมด

C คือ เซตของลูกค้าทั้งหมด

N คือ เซตของจุดทุกจุดที่รถบรรทุกสามารถวิ่งไปได้ มีค่าเท่ากับ S∪F∪C

A คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการขนส่งสินค้าต่อระยะทาง 1 กิโลเมตร

B คือ จำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าทั้งหมด

D_m คือ ระยะทางสูงสุดที่รถบรรทุกสามารถวิ่งได้

Y_j คือ จำนวนรถของแต่ละโรงงาน $j \in F$

D_{jk} คือ ระยะทางจากจุด $j \in N$ ไปยังจุด $k \in N$

P_{jk} คือ รอบการขนส่งสินค้าที่ต้องการจากโรงงาน $j \in F$ ไปยังลูกค้า $k \in C$

x_{ijk} คือ ตัวแปรในการตัดสินใจ จะมีค่าเป็น 1 เมื่อรถบรรทุกคันที่ $j \in F$ เดินรถจากจุด $j \in N$ ไปยังจุด $k \in N$ และกรณีอื่นๆ จะมีค่าเท่ากับ 0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เงื่อนไขที่ (1.2) บังคับให้ทุกคำสั่งขนส่งสินค้าจะต้องได้รับการขนส่ง เงื่อนไขที่ (1.3) กำหนดให้จำนวนครั้งของการเดินรถไปยังจุดใดๆ ต้องเท่ากับจำนวนครั้งของการเดินรถออกจากจุดนั้น เงื่อนไขที่ (1.4) กำหนดให้ระยะทางในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินระยะทางสูงสุดที่รถบรรทุกสามารถวิ่งได้ เงื่อนไขที่ (1.5) กำหนดให้จำนวนรถบรรทุกที่ออกจากโรงงานใดๆ ต้องไม่เกินจำนวนรถที่โรงงานนั้นมีอยู่ เงื่อนไขที่ (1.6) เพื่อป้องกันการวิ่งวนที่ไม่ผ่านจุดเริ่มต้นของรถบรรทุก (สำหรับการเดินรถขนส่งสินค้าไม่เกิน 3 เที่ยวเท่านั้น) เงื่อนไขที่ (1.7) กำหนดให้รถบรรทุก 1 คัน มีโรงงานเริ่มต้นโรงงานเดียว เงื่อนไขที่ (1.8)-(1.10) กำหนดให้รถบรรทุกแต่ละคันที่ออกจากโรงงานเริ่มต้นจะต้องกลับมาที่โรงงานเริ่มต้นเมื่อสิ้นสุดการเดินรถ และเงื่อนไขที่ (1.11) กำหนดให้ลักษณะตัวแปรเป็นเลขฐานสอง (Binary Variable)

ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นเชื่อมนี้ พบว่าไม่สามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ กล่าวคือ ปัญหาที่มีจำนวนโรงงาน 8 แห่ง และลูกค้า 12 แห่ง ซึ่งมีคำสั่งขนส่งสินค้าทั้งหมด 96 รอบ ไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ภายในเวลา 3 ชั่วโมง วันชนะ [9] ได้วิเคราะห์ว่าเมื่อมีจำนวนโรงงานและลูกค้ามากขึ้น จำนวนตัวแปรในการตัดสินใจ และสมการขอบเขตจะเพิ่มขึ้นในอัตราส่วนที่สูงกว่า ซึ่งจะส่งผลให้เวลาในการหาผลเฉลยเพิ่มขึ้นแบบเอกโปเนนเชียล และได้สรุปว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นเชื่อมไม่เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์เพื่อใช้แก้ปัญหาการเดินรถขนส่งแบบต่อเนื่อง

2.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นทาง (Path Base)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นทาง คือ แบบจำลองที่มีเส้นทางที่เป็นไปได้ของการเดินรถขนส่งสินค้าเป็นตัวแปรในการตัดสินใจ งานวิจัยของ Jordan [10] ได้ศึกษาถึงลักษณะปัญหาการเดินรถขนส่งแบบต่อเนื่อง กรณีศึกษาของบริษัท เจเนอรัล มอเตอร์ส ที่สหรัฐอเมริกา โดยกำหนดให้รถ 1 คันสามารถวิ่งไปสู่จุดกระจายสินค้าได้ 2 ครั้ง และพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นทาง รูปแบบการแบ่งเซต (Set Partitioning) เพื่อสร้างเส้นทางการขนส่งที่สามารถลดการเดินรถเที่ยวเปล่า นอกจากนี้ Ergun, Kuyzu และ Savelsbergh [7], [8] ยังได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา LCP คือแบบจำลองการแบ่งเซตเช่นเดียวกัน ซึ่งรายละเอียดของแบบจำลองการแบ่งเซต จะได้กล่าวในหัวข้อถัดไป

2.6 แบบจำลองการแบ่งเซต (Set Partitioning Formulation)

ในงานวิจัยของ Hoffman และ Padberg [11] ได้กล่าวถึงแบบจำลอง Set Partitioning ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มักถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการขนส่งและเส้นทางการขนส่ง (Delivery and Routing Problems) ปัญหาการจัดตารางเวลา (Scheduling Problems) และปัญหาด้านตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม (Location Problems) ซึ่งมีรูปแบบของแบบจำลองทั่วไปดังนี้

Set Partitioning Formulation:

$$Min\sum_{r\in R} c_r x_r \qquad (2.1)$$

Subject to
$$\sum_{r\in R}\delta_{ir}x_r = 1 \qquad \forall i \in C \qquad (2.2)$$

$$x_r \in \{0,1\} \qquad \forall r \in R \qquad (2.3)$$

โดย

R คือ เซตของเส้นทางทั้งหมด

C คือ เซตของลูกค้า

c_r คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางในเส้นทาง r

x_r คือ ตัวแปรในการตัดสินใจ ถ้าเส้นทาง r ถูกเลือกในการเดินรถ จะมีค่าเท่ากับ 1 และกรณีอื่นๆ จะมีค่าเท่ากับ 0

δ_{ir} คือ พารามิเตอร์ระบุเซตของลูกค้าในเส้นทาง r มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อลูกค้า i ได้รับการส่งสินค้าจากเส้นทาง r และกรณีอื่นๆ จะมีค่าเท่ากับ 0

การแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของแบบจำลองการแบ่งเซตนั้น สามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ วิธีการฮิวริสติค และวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด งานวิจัยต่างๆ ที่ได้พัฒนารูปแบบการแก้ปัญหาทั้ง 2 รูปแบบที่สำคัญ มีดังนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.1 การใช้วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาการแบ่งเซต

วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนั้นได้มุ่งเน้นไปที่การหาขอบเขตของผลเฉลยอย่างรวดเร็วโดยใช้หลักการการแก้ปัญหาแบบผ่อนคลาย (Relaxation) จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการแบ่งเซต ซึ่งมี 2 วิธีการมาตรฐานที่ใช้ คือ ลากรานเกียนแบบผ่อนคลาย (Lagrangean Relaxation) และกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย (Linear Program Relaxation) ในงานวิจัยของ Jordan [10] ได้ใช้วิธีลากรานเกียนแบบผ่อนคลายในการประมาณค่าขอบเขตของผลเฉลยที่ดีที่สุดเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติค

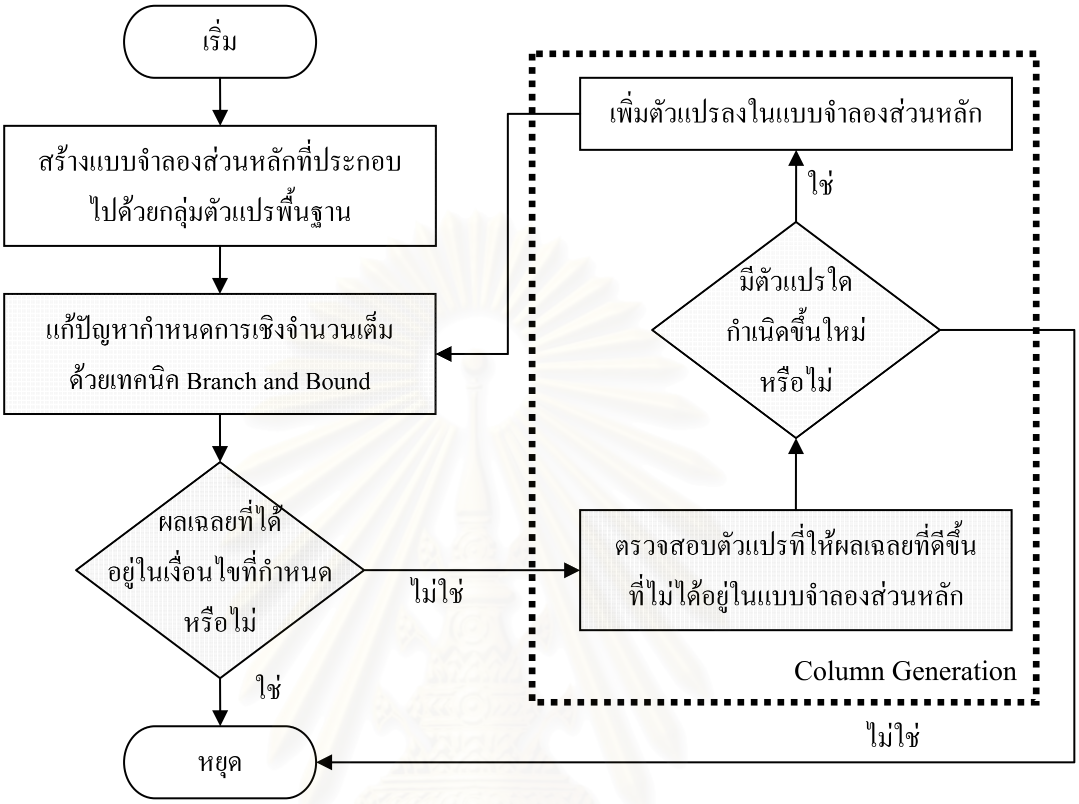
นอกจากนี้ ยังมีทางเลือกในการใช้เทคนิคต่างๆ เข้าช่วยเพื่อการผลเฉลยให้ได้เร็วขึ้น เช่น การใช้วิธีลากรานเกียน (Lagrangean Formulation) ควบคู่กับวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดแบบซับเกรเดียน (Subgradient Optimization) โดย Etcheberry [12] หรือการใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) ควบคู่ไปกับการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย โดย M. Parker และ J. Ryan [13] นอกจากนี้ วันชนะ [9] ได้ใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์กับการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองการแบ่งเซตเพื่อลดเวลาในการหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด

การเพิ่มประสิทธิภาพในการหาค่าผลเฉลยด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ (Column Generation Technique)

Branhart et al. [14] กล่าวถึงเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ว่าเป็นวิธีการที่ใช้ช่วยในการหาผลเฉลยของปัญหารูปแบบกำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ (Large-Scale Linear Programming) ซึ่งมีตัวแปรในการตัดสินใจที่จำนวนมาก วิธีการของเทคนิคนี้ จะเริ่มที่การสร้างเซตของกลุ่มตัวแปรพื้นฐาน และหาค่าผลเฉลยภายใต้กลุ่มตัวแปรนั้น จากนั้นคำนวณค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced Costs) ของตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มเซตของตัวแปรพื้นฐาน ถ้ามีตัวแปรใดที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้ (กล่าวคือมีค่าค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้เป็นลบ สำหรับกรณีปัญหาค่าต่ำที่สุด) จึงเพิ่มตัวแปรนั้นเข้าไปในเซตของกลุ่มตัวแปรพื้นฐาน และทำการหาค่าผลเฉลยใหม่อีกครั้งจนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้อีก

วันชนะ [9] ได้ใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์โดยแบ่งปัญหาที่สนใจออกเป็นปัญหาหลัก และปัญหารอง โดยปัญหาหลักจะเป็นการตัดสินใจว่าจะใช้เส้นทางใดในการขนส่งสินค้า ซึ่งมีลักษณะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบแบบจำลองการแบ่งห้อง และมีปัญหารองเป็นการสร้างเส้นทางเพื่อนำไปใช้เป็นตัวแปรในการตัดสินใจในปัญหาหลัก ซึ่งใช้วิธีการแก้ปัญหารอง คือ การใช้วิธีการหาเส้นทางสั้นที่สุดแบบหลายป้าย (Multi-Label Shortest Path)

Branhart et al. [14] ได้พัฒนาเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ในการหาค่าผลเฉลยรูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้



รูปที่ 2.3 แสดงขั้นตอนของเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ในงานวิจัย [14]

การหาค่าผลเฉลยด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์สำหรับแบบจำลองรูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม เริ่มจากการสร้างแบบจำลองส่วนหลักด้วยกลุ่มตัวแปรพื้นฐาน และหาค่าผลเฉลยด้วยเทคนิค Branch and Bound หลังจากนั้นนำผลเฉลยที่ได้มาตรวจสอบกับเงื่อนไขที่ตั้งไว้ คือ มีส่วนต่างจากขอบเขตล่างของผลเฉลยที่หาจากการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายมากกว่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้าอยู่ในขอบเขตก็จบการทำงาน แต่ถ้าผลเฉลยมีค่าความแตกต่างเกินขอบเขตที่ตั้งไว้ จะทำการตรวจสอบดูว่ามีตัวแปรใดที่สามารถทำให้ผลเฉลยมีค่าลดลงได้หรือไม่ ถ้ามีก็จะเพิ่มตัวแปรกลุ่มนั้นเข้าไปในแบบจำลองส่วนหลัก และทำการแก้ปัญหากำหนดการรูปแบบเชิงจำนวนเต็มอีกครั้ง

2.6.2 การใช้วิธีฮิวริสติคในการแก้ปัญหาการแบ่งเซต

วิธีการฮิวริสติคนั้น ได้มีงานวิจัยจำนวนมากซึ่งใช้วิธีการหาผลเฉลยที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับลักษณะของปัญหา Jordan [10] ได้ใช้อัลกอริทึมกรีดดี้ (Greedy Algorithm) ในการหาค่าผลเฉลย Ergun, Kuyzu และ Savelsbergh [7], [8] ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมกรีดดี้ในชื่ออัลกอริทึมกรีดดี้รวม (Greedy Merge Algorithm) เพื่อหาค่าผลเฉลย

Jordan [10] ได้เปรียบเทียบผลการหาค่าผลเฉลยโดยใช้ลากรานเกียนแบบผ่อนคลายเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมกรีดดี พบว่าค่าผลเฉลยต่างกันไม่ถึง 1% แต่การแก้ปัญหารูปแบบฮิวริสติคโดยใช้อัลกอริทึมกรีดดีนั้น ใช้เวลาในการแก้ปัญหาต่ำกว่า และสามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ที่ไม่สามารถหาผลเฉลยด้วยวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้

Ergun, Kuyzu และ Savelsbergh [7], [8] ได้นำการแก้ปัญหาทั้ง 2 รูปแบบมาเปรียบเทียบเช่นกัน และสรุปได้ว่า ค่าผลเฉลยที่ได้จากวิธีฮิวริสติคที่ได้พัฒนาขึ้นมีคุณภาพของผลเฉลยที่ดีมาก โดยมีความแตกต่างกับรูปแบบการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยใช้ซอฟแวร์ X-PRESS Optimizer 2005B ประมาณ 2-3% และใช้เวลาในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ต่ำกว่ารูปแบบการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

K. Hoffman และ M. Padberg [11] ได้กล่าวถึงการนำเอาวิธีการทางฮิวริสติคมาใช้ในการแก้ปัญหาร่วมกับวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการทางฮิวริสติคเพื่อประมาณค่าขอบเขตของผลเฉลย การประมาณค่าขอบเขตของคำตอบที่ดี คือมีช่วงที่แคบและใกล้เคียงผลเฉลยจริงนั้นจะทำให้เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหารูปแบบการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดลดลงไปได้มาก ตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาในด้านนี้ คือ งานวิจัยของ K. Hoffman และ M. Padberg [15] ที่นำวิธีการทางฮิวริสติคมาใช้ในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มประกอบกับเทคนิคการแตกกิ่งและตัด (Branch and Cut)

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งด้วยเทคนิคออฟติไมเซชั่นนั้น ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ และอัลกอริทึมในการหาผลเฉลย เพื่อให้สามารถหาค่าผลเฉลยที่มีคุณภาพภายในเวลาที่ยอมรับได้ ในบทถัดไป จะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งต่อเนื่อง และรายละเอียดของการดำเนินงานในงานวิจัย

บทที่ 3
การศึกษาการดำเนินการของบริษัทตัวอย่างและวิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาการดำเนินการของบริษัทตัวอย่าง ตลอดจนปัญหาและแนวทางในการปรับปรุงการดำเนินการของบริษัทตัวอย่าง ในส่วนสุดท้ายจะนำเสนอถึงขั้นตอนวิธีการวิจัยที่ใช้ในงานวิจัยนี้

3.1 ลักษณะการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่าง

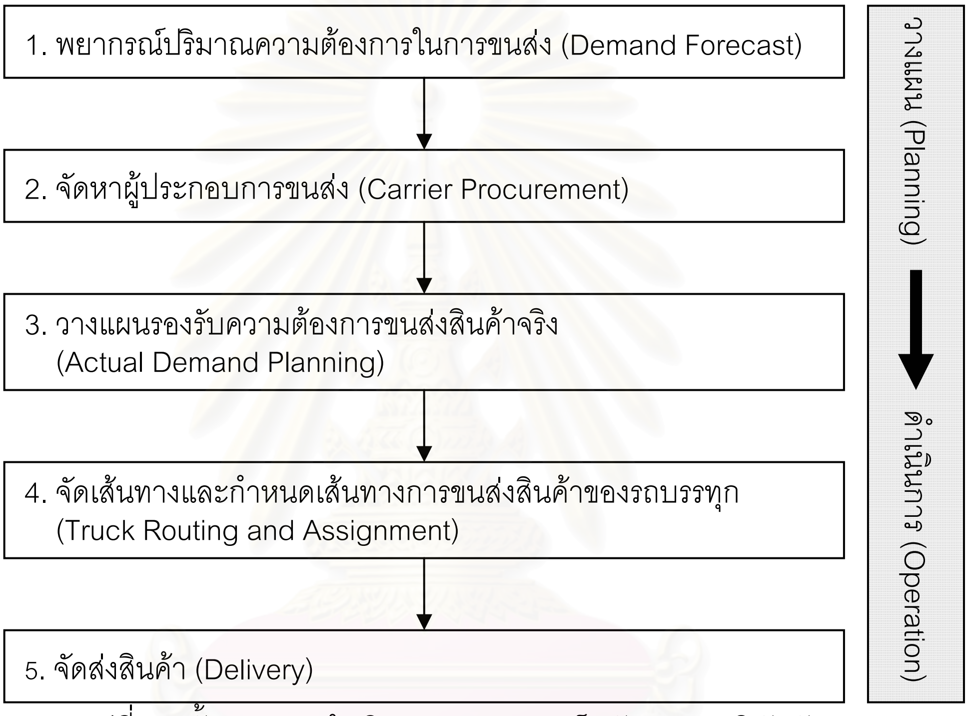
บริษัทตัวอย่างเป็นบริษัทที่ทำหน้าที่รับจัดการการขนส่งในบริการหลากหลายรูปแบบและมีโครงข่ายการขนส่งในระดับประเทศ ลักษณะรูปแบบการขนส่งของบริษัทตัวอย่างที่ให้บริการมีทั้งการขนส่งแบบเต็มคันรถและการขนส่งแบบไม่เต็มคันรถ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การดำเนินการขนส่งแบบเต็มคันรถ เป็นการให้บริการขนส่งตรงจากโรงงานไปยังจุดรับสินค้าปลายทาง (Direct Shipment) ลักษณะของสินค้าที่ขนส่งจะเป็นสินค้าที่มีการบรรทุกแบบเต็มคันรถ (Full Truck Load) โดยรับสินค้าจากโรงงานของลูกค้าขนส่งตรงไปยังจุดรับสินค้าปลายทาง และนำสินค้าลงทั้งหมด เมื่อทำการขนส่งสินค้าเรียบร้อยแล้ว รถบรรทุกเปล่าจะวิ่งไปยังโรงงานเพื่อนำสินค้าขนส่งไปสู่จุดรับสินค้าต่อไป

   ลักษณะการขนส่งแบบเต็มคันรถของบริษัทตัวอย่างนั้น มีการใช้ประโยชน์จากความจุของรถบรรทุกขนส่งในอัตราส่วนที่สูง (90-100% ของความจุ) อย่างไรก็ตามลักษณะการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่างมีการจัดการขนส่งแบบไป-กลับ เนื่องจากการจัดการวางแผนการขนส่งจะถูกดำเนินการแยกออกจากกันในแต่ละโรงงาน ดังนั้นจึงทำให้เกิดการวิ่งเที่ยวเปล่าสูงถึงครึ่งหนึ่งของระยะทางการขนส่งทั้งหมด
2. การดำเนินการขนส่งแบบไม่เต็มคันรถ เป็นการขนส่งผ่านจุดพักและกระจายสินค้า (Hub) โดยลักษณะของสินค้าที่ขนส่งจะเป็นสินค้าที่บรรทุกแบบไม่เต็มคันรถ (Less Than Truck Load) เพื่อขนส่งไปยังลูกค้าหลายรายเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง โดยในระหว่างเส้นทางการขนส่ง รถบรรทุกขนส่งสามารถแวะเพื่อรับสินค้าหรือจัดเรียงสินค้าระหว่างทางได้ โดยการดำเนินการขนส่งแบบไม่เต็มคันรถของบริษัทตัวอย่างนั้นจะมีการใช้ประโยชน์จากความจุของรถบรรทุกที่ต่ำกว่ารูปแบบการขนส่งแบบเต็มคันรถ (60-85% ของความจุ)

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการศึกษาในส่วนของการขนส่งแบบเต็มคันรถ เนื่องจากบริษัทตัวอย่างได้พิจารณาเปลี่ยนแปลงลักษณะการวางแผนการขนส่งแบบเต็มคันรถให้มีการดำเนินการวางแผนการขนส่งในส่วนกลาง ส่งผลให้ผู้วางแผนสามารถพิจารณาทางเลือกในการขนส่งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ เช่น การวางแผนการเดินรถขนส่งอย่างต่อเนื่อง เป็นต้น ขั้นตอนการวางแผนการขนส่งของบริษัทตัวอย่าง มีรายละเอียดดังส่วนถัดไป

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่าง



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการขนส่งแบบเต็มคันรถของบริษัทตัวอย่าง

มีรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังนี้

1. พยากรณ์ปริมาณความต้องการในการขนส่ง (Demand Forecast)

เพื่อพยากรณ์ปริมาณความต้องการในการขนส่งของแต่ละพื้นที่เป็นรอบสัปดาห์ โดยค่าที่พยากรณ์ คือ น้ำหนักของสินค้าประเภทต่างๆ ที่ขนส่งในรอบสัปดาห์ และแปลงเป็นรอบวัน ทั้งนี้การพยากรณ์ปริมาณความต้องการในการขนส่ง จะถูกใช้ประโยชน์เพื่อพิจารณาในการวางแผนจำนวนรถที่ใช้ในการจัดส่งสินค้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวางแผนจำนวนรถที่ใช้ในการจัดส่งสินค้า จะทำการเปลี่ยนน้ำหนักสินค้าจากความต้องการในการขนส่งที่พยากรณ์ ให้เป็นจำนวนรอบการขนส่งไปยังลูกค้ารายต่างๆ ซึ่งจะต้องพิจารณาประเภทรถที่เหมาะสม โดยจะดูจากประเภทสินค้า ประกอบกับการขนส่งจริงที่ผ่านมา และนำน้ำหนักสินค้ามาคำนวณเป็นจำนวนรอบการขนส่งจากน้ำหนักบรรทุกมาตรฐานของรถ

2. จัดหาผู้ประกอบการขนส่ง (Carrier Procurement)

เมื่อได้จำนวนรถที่จะต้องใช้จากขั้นตอนที่แล้ว จะส่งข้อมูลจำนวนรถที่ต้องการให้กับพนักงานที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบ ซึ่งแบ่งเป็นพื้นที่รับผิดชอบในส่วนภาคเหนือ ภาคอีสาน ภาคกลาง ภาคใต้ และส่วนการขนส่งในหลายภาค เพื่อจัดหารถตามจำนวนรถที่ได้วางแผนไว้ โดยจะติดต่อกับผู้ประกอบการเดินรถในพื้นที่การขนส่งของตน หลังจากนั้น จะต้องส่งข้อมูลจำนวนรถประเภทต่างๆ ที่สามารถจัดหาได้จริง เพื่อการตัดสินใจในขั้นตอนต่อไป

3. วางแผนรองรับความต้องการขนส่งสินค้าจริง (Actual Demand Planning)

ในการรับคำสั่งขนส่งสินค้า บริษัทตัวอย่างจะรับคำสั่งขนส่งสินค้าผ่านทางเวบไซต์ และหน่วยงานบริการลูกค้า หลังจากนั้นจะต้องทำการตรวจสอบยอดวงเงินสั่งซื้อรวมของลูกค้า (Credit Limit Check) แต่ละราย ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามประวัติการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า และทำการตรวจสอบความพร้อมของสินค้า (Inventory Check) ว่าสินค้ามีความพร้อมในการจัดส่งหรือไม่

เมื่อมีคำสั่งขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายต่างๆ เข้ามา ผู้ที่รับผิดชอบในการวางแผนการขนส่งสินค้า จะต้องตัดสินใจเมื่อมีคำสั่งการขนส่งสินค้าเกิน หรือน้อยกว่าที่ได้วางแผนไว้ ในกรณีที่มีคำสั่งขนส่งสินค้าเกิน ผู้รับผิดชอบในพื้นที่จะต้องสอบถามไปยังผู้ประกอบการเดินรถ ว่ามีรถขนส่งสินค้าที่สามารถขนส่งได้อีกหรือไม่ นอกจากนี้ ถ้าสินค้านั้น เป็นสินค้าที่บริษัทในเครือทำการผลิตเอง จะต้องพิจารณาถึงปริมาณสินค้าที่สามารถขนส่งได้ด้วย

แต่ในกรณีที่มีคำสั่งขนส่งสินค้าน้อยกว่าที่ได้พยากรณ์ไว้ ผู้วางแผนจะต้องตัดสินใจในการลดจำนวนรถที่ใช้ลง โดยอาจจะพิจารณาจากความแน่นอน และองค์ประกอบอื่นๆ ของผู้ประกอบการเดินรถขนส่งรายต่างๆ เพื่อตัดสินใจในการลดจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งของผู้ประกอบการรายนั้น และติดต่อไปยังผู้ประกอบการเดินรถต่อไป

4. จัดเส้นทางและกำหนดเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถบรรทุก (Truck Routing and Assignment)

การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าแบบเดิม เป็นการให้รถในแต่ละพื้นที่เข้ามารับคำสั่งการขนส่งที่จุดกระจายสินค้า และทำการขนส่งแบบไป – กลับ โดยการบริหารจัดการ มุ่งเน้นที่การใช้ประโยชน์สูงสุดจากรถที่มีเป็นหลัก อย่างไรก็ตาม การขนส่งรูปแบบนี้จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่สูงเนื่องจากอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวเปล่าที่สูงนั่นเอง

การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าในปัจจุบัน จะต้องพิจารณาความเป็นไปได้ในการขนส่งแบบต่อเนื่อง ซึ่งมีเงื่อนไขในการขนส่งที่ซับซ้อน การวางแผนการขนส่งแบบต่อเนื่อง จะต้องใช้เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงในการวางแผนการขนส่ง ในขั้นตอนนี้ รถแต่ละคันจะได้รับการวางแผนเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า และเวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้า

5. จัดส่งสินค้า (Delivery)

รถแต่ละคันจะทำการขนส่งสินค้าตามเส้นทางที่ได้วางแผนไว้ และจะกลับมายังจุดเริ่มต้นเมื่อสิ้นสุดการขนส่ง

ขั้นตอนที่สำคัญที่จะต้องทำการวิเคราะห์คือขั้นตอนการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถบรรทุก ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีการวางแผนที่ซับซ้อน ตลอดจนการวางแผนนั้นอยู่ภายใต้เงื่อนไขหลายประการ ทำให้การวางแผนในส่วนนี้จำเป็นต้องใช้ระบบการวางแผนที่มีประสิทธิภาพสูงเข้ามาช่วยในการวางแผน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 ปัญหาในการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถบรรทุก

1. ลักษณะการบริหารจัดการของบริษัทตัวอย่างมีการกระจายการจัดการ (Decentralized) สู่พื้นที่รับผิดชอบ หรือโรงงานแต่ละแห่ง ทำให้มีการวางแผนที่ไม่มีประสิทธิภาพ โดยรถแต่ละคันที่บรรทุกสินค้าแบบเต็มคันรถจะวิ่งในรูปแบบที่เกิดเที่ยวเปล่าขึ้นในอัตราส่วนที่สูง นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดการปฏิบัติงานที่ซ้ำซ้อนกันของบุคลากร และการใช้ประโยชน์จากรถบรรทุกขนส่งอย่างไม่มีประสิทธิภาพ
2. ผู้วางแผนการจัดเส้นทางการขนส่ง จะทำการวางแผนจากประสบการณ์และการวางแผนในอดีต ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความชำนาญส่วนบุคคล ดังนั้นการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งในแต่ละครั้งจึงไม่มีมาตรฐานการวางแผนที่ชัดเจน นอกจากนี้ในกรณีที่ผู้วางแผนลาออก จะทำให้เกิดปัญหาในระบบการวางแผนและการดำเนินการขนส่งได้
3. เนื่องจากการขนส่งแต่ละเที่ยวก่อให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่สูง จึงทำให้ผู้ประกอบการขนส่งจะต้องทำการขนส่งในรอบวันให้มีจำนวนรอบ หรือระยะทางการขนส่งที่สูง ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในด้านน้ำมันเชื้อเพลิง การจ้างพนักงานขับรถ ตลอดจนการสึกหรอของรถที่สูง ทำให้การประกอบการขนส่งเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ
4. เมื่อต้องมีการขนส่งสินค้าในเส้นทางใหม่ ผู้วางแผนจะต้องทำการศึกษาเส้นทางตลอดจนปรับเปลี่ยนรูปแบบการวางแผนโดยใช้เวลานาน
5. การขนส่งสินค้าในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑลมีข้อจำกัดในการเดินรถ ดังต่อไปนี้
    - ข้อจำกัดด้านขนาดของรถบรรทุกในการขนส่ง โดยในเขตพื้นที่วงแหวนชั้นในของกรุงเทพมหานครจะมีการห้ามมิให้รถบรรทุกขนาดใหญ่เข้ามาขนส่งสินค้า
    - ข้อจำกัดของเวลาปฏิบัติงานของรถบรรทุกที่เข้ามาส่งสินค้าในเขตพื้นที่วงแหวนชั้นใน
    - ข้อจำกัดในด้านการจราจร ซึ่งในเขตกรุงเทพมหานครจะมีการจัดการจราจรที่อาจจะแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา เช่น การกำหนดการเดินรถทางเดียว นอกจากนี้การจราจรที่ติดขัดยังทำให้การขนส่งสินค้าอาจมีความล่าช้าได้
6. ลูกค้าที่จุดปลายทางแต่ละรายจะมีข้อจำกัดด้านเวลาที่สามารถรับสินค้าได้ที่แตกต่างกัน และลูกค้าบางรายจะมีข้อจำกัดด้านขนาดของรถบรรทุกที่สามารถเข้าไปส่งสินค้าได้ ทำให้การวางแผนการขนส่งสินค้าจะต้องใช้เวลานานในการพิจารณาข้อจำกัดของลูกค้า และอาจทำให้การวางแผนที่เกิดขึ้นไม่มีประสิทธิภาพได้

3.4 แนวทางการปรับปรุงการวางแผนการขนส่งสินค้า

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า การวางแผนการขนส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง จะต้องมีการวางแผนในส่วนกลาง เพื่อทำให้การวางแผนที่เกิดขึ้นมีประสิทธิภาพ และลดการใช้ทรัพยากรอย่างสิ้นเปลือง ดังนั้น การวางแผนการเดินรถขนส่งสินค้า จะต้องมีระบบ และมาตรฐานในการวางแผน โดยระบบการวางแผนที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนการเดินรถขนส่งสินค้าแบบเต็มคันรถของบริษัทตัวอย่างนี้ คือ การวางแผนการขนส่งสินค้าแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง (Truckload Continuous Move Planning) ซึ่งมีรายละเอียดการวางแผนดังนี้

1. การวางแผนจะมีระบบฐานข้อมูลของลูกค้าและโรงงานต่างๆ ซึ่งจะต้องประกอบไปด้วยข้อมูลที่ใช้ในการวางแผน เช่น ตำแหน่งที่ตั้ง เวลาเปิด-ปิดของโรงงานและลูกค้า ระยะทางในการขนส่งจากโรงงานไปยังลูกค้าแต่ละราย เวลาที่ใช้ในการขนส่งในช่วงเวลาต่างๆ

2. การวางแผนจะต้องมีระบบข้อมูลในส่วนสนับสนุนการวางแผน คือ ข้อมูลค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ความสามารถในการบรรทุกมาตรฐานของรถบรรทุกสินค้า ระยะทางสูงสุดที่รถแต่ละคันสามารถวิ่งได้แต่วัน ข้อมูลเกี่ยวกับข้อจำกัดในการวิ่งขนส่งสินค้า เช่น ช่วงระยะเวลาห้ามวิ่ง เป็นต้น

3. การวางแผนจะต้องใช้ระบบการจัดเส้นทางที่มีประสิทธิภาพภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ

การปรับปรุงระบบการวางแผนนั้น บริษัทตัวอย่างได้ทำการว่าจ้างบริษัทที่ปรึกษาในการศึกษาวิจัย และการปรับปรุงระบบการวางแผน โดยในส่วนข้อมูลด้านตำแหน่งที่ตั้งและระยะทางต่างๆ ได้ถูกสร้างเป็นระบบที่เชื่อมโยงไปยังระบบทางภูมิศาสตร์ ส่งผลให้การวิเคราะห์ระยะทางจากจุดต่างๆ ต้องสร้างระบบที่ทำงานร่วมกับระบบนี้ ซึ่งทำให้การวิจัยจะต้องสิ้นเปลืองเวลาในส่วนที่ไม่เป็นประเด็นสำคัญในงานวิจัย อย่างไรก็ตาม เพื่อสนับสนุนการวิจัย บริษัทตัวอย่างได้สนับสนุนข้อมูลในการศึกษาวิจัยในส่วนข้อมูลตัวอย่างแก้ผู้วิจัย ซึ่งจะประกอบไปด้วยระยะทางจากโรงงานต่างๆ ไปยังลูกค้าแต่ละราย และตัวอย่างลักษณะคำสั่งการขนส่งสินค้า ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาเครื่องการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่องภายใต้ตัวอย่างข้อมูลที่ได้รับ การวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับการแก้ปัญหาเป็นหลัก โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดในการขนส่งต่างๆ คือ ประเภทของสินค้า ฝูงรถ เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง และกรอบเวลา

3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้วางโครงร่างงานวิจัยโดยวิเคราะห์ถึงแบบจำลองที่เหมาะสมกับลักษณะของปัญหาการเดินรถขนส่งต่อเนื่องในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พิจารณาแบบจำลองการแบ่งเซตเป็นแบบจำลองที่ใช้ในการแก้ปัญหาการเดินรถขนส่ง โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดในการขนส่งต่างๆ คือ ประเภทของสินค้า ฝูงรถ เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง ช่วงเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุก และกรอบเวลา

การหาผลเฉลยของแบบจำลองได้ใช้วิธีการหาผลเฉลยทั้ง 2 รูปแบบ คือ รูปแบบฮิวริสติค และรูปแบบการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. วิธีฮิวริสติคในงานวิจัยนี้ จะใช้ในการเลือกเส้นทางการขนส่ง เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลยที่ได้ ตลอดจนวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมของการแก้ปัญหาเมื่อเทียบกับวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

2. วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดจะใช้ออฟติไมเซชั่นซอฟแวร์ ที่มีพัฒนาในลักษณะไลบรารี่ที่เรียกใช้งานได้ ทำงานร่วมกับแอพพลิเคชั่นที่เขียนขึ้นเพื่อแก้ปัญหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการเดินรถขนส่งสินค้าที่พัฒนาขึ้น เพื่อเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้ในแง่ของคุณภาพของคำตอบ และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหากับวิธีฮิวริสติค

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังมีแนวทางในการรวมการแก้ปัญหาทั้ง 2 รูปแบบเข้าด้วยกัน โดยการใช้วิธีฮิวริสติคในจุดเด่นด้านเวลาในการหาผลเฉลยที่รวดเร็วเข้ากับวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดที่สามารถหาผลเฉลยที่มีคุณภาพดีกว่า เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยอีกด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยได้วางขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยไว้ดังนี้

1. ศึกษาลักษณะของปัญหา และศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2. รวบรวมข้อมูล โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่ต้องการดังนี้
    - จำนวนจุดกระจายสินค้าและลูกค้าทั้งหมด
    - ระยะทางระหว่างจุดกระจายสินค้าและลูกค้าทั้งหมด
    - จำนวนรถในแต่ละจุดกระจายสินค้าแบ่งตามประเภทรถ
    - จำนวนเที่ยวขนส่งสินค้าตามจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง
    - ค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการขนส่งสินค้า เช่น ค่าน้ำมัน ค่าจ้างคนขับรถ
    - กรอบเวลาที่โรงงานและลูกค้า
    - ช่วงเวลาการห้ามวิ่งของรถบรรทุกขนส่งสินค้า
    - เวลาที่ใช้ในการนำสินค้าขึ้น – ลง ของโรงงานและลูกค้า

3. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งต่อเนื่องในงานวิจัย

4. พัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ปัญหา

    4.1 พัฒนาวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งมีขั้นตอนในการแก้ปัญหาดังต่อไปนี้

        1. จัดหาออฟติไมเซชั่นซอฟแวร์ที่เหมาะสมเพื่อนำมาสร้างเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหา และศึกษา Source Code ของออฟติไมเซชั่นซอฟแวร์ในด้านการสร้างแอพพลิเคชั่น
        2. เขียน Code โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์กับแอพพลิเคชั่นที่สร้างขึ้น
        3. ตรวจสอบความถูกต้องของผลที่ได้ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาเมื่อไม่ใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์
        4. ตรวจสอบหาข้อผิดพลาดโดยเปรียบเทียบผลกับซอฟแวร์อื่นๆ และทำการปรับปรุงแก้ไข

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2 พัฒนาวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการฮิวริสติค โดยการสร้างแนวคิดในการแก้ปัญหา ซึ่งในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ จะต้องอาศัยอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจึงต้องศึกษาถึงอัลกอริทึมในการจัดเรียงเพื่อประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของปัญหา ตลอดจนทดสอบผลที่ได้ว่าผลเฉลยที่ได้มีคุณภาพที่ยอมรับได้หรือไม่อีกด้วย

5. ประยุกต์การทำงานของการแก้ปัญหารูปแบบฮิวริสติค และรูปแบบการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยพิจารณาถึงข้อจำกัดในการแก้ปัญหาของทั้งสองรูปแบบวิธี กล่าวคือโดยทั่วไปแล้ววิธีการ หาผลเฉลยที่ดีที่สุดนั้นสามารถให้ผลเฉลยที่มีคุณภาพดี แต่จะใช้เวลาในการแก้ปัญหานานกว่าวิธีฮิวริสติคที่ให้ผลเฉลยที่คุณภาพแย่กว่า ดังนั้น จึงมีแนวคิดการประยุกต์ใช้ในการใช้วิธีการทางฮิวริสติคมาช่วยในการหาผลเฉลยใหม่เมื่อเกิดปัญหาเฉพาะหน้าขึ้น โดยหาผลเฉลยในส่วนที่เกิดผลกระทบจากปัญหาด้วยวิธีการทางฮิวริสติค และในส่วนที่ไม่เกิดผลกระทบให้ใช้ผลเฉลยจากวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดในการทำงานต่อไป

6. ทดสอบวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 2 รูปแบบด้วยข้อมูลหลายๆ ชุดที่มีความแตกต่างของลักษณะของข้อมูล

7. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการแก้ปัญหาทั้ง 2 รูปแบบ

8. ตรวจสอบความถูกต้องของผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และความเหมาะสมของวิธีการที่ใช้กับลักษณะของปัญหาจริง

9. สรุป และเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การพัฒนาแบบจำลองการแก้ปัญหาการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง

การพัฒนาแบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่องนั้น จะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการขนส่งที่มีความซับซ้อนหลายข้อจำกัดด้วยกัน ซึ่งแบบจำลองที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนั้น เป็นแบบจำลองที่สามารถรองรับปัญหาการขนส่งที่มีข้อจำกัดการขนส่งที่ซับซ้อนได้ ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น วิธีการในการพิจารณาข้อจำกัดประเภทของสินค้า ฝูงรถ เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง ช่วงเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุกและกรอบเวลา และรายละเอียดการวิจัยในส่วนวิธีการแก้ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยทั้งในรูปแบบวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดและวิธีการฮิวริสติค

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แก้ปัญหาการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง

แบบจำลองที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นทาง (Path Base) ที่มีโครงสร้างของแบบจำลองรูปแบบการแบ่งเซต (Set Partitioning Model) ซึ่งเป็นการแบ่งส่วนของเส้นทางการขนส่งที่ประกอบไปด้วยเซตของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางในการขนส่ง (OD Shipment) ต่างๆ ที่เป็นไปได้ ในกรณีที่มีการขนส่งต่อเนื่อง ซึ่งมีเซตของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางในการขนส่งมากกว่า 1 คู่ เส้นทางการขนส่งนั้นจะถูกเรียกว่าเส้นทางการขนส่งที่ต่อเนื่อง (Continuous Move Trip)

แบบจำลองในงานวิจัยนี้ จะถูกเรียกว่า *แบบจำลองการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง (Continuous Move Optimization Model – CMO)* ซึ่งต่อไปจะเรียกว่าแบบจำลอง CMO มีคำจำกัดความของตัวแปร สัมประสิทธิ์ และเซตของแบบจำลอง CMO ดังนี้

<u>เซต</u>

P_k คือเซตของเส้นทางการขนส่งทั้งหมดของประเภทฝูงรถ k ซึ่งประกอบด้วยสมาชิก p_k

I คือเซตของจุดเริ่มต้นทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วยสมาชิก i

J คือเซตของจุดปลายทาง ซึ่งประกอบด้วยสมาชิก j

O คือเซตของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง (Origin-Destination) ซึ่งประกอบด้วยสมาชิก ij

<u>ตัวแปร</u>

x_{p_k} คือจำนวนครั้งที่เกิดการเดินทางในเส้นทาง p_k ของประเภทฝูงรถ *k* ซึ่งเทียบเท่ากับจำนวนรถบรรทุกของประเภทฝูงรถ *k* ที่ถูกใช้ในเส้นทาง p_k

n_k^i คือจำนวนรถของประเภทฝูงรถ *k* ที่จุดเริ่มต้น *i*

<u>สัมประสิทธิ์</u>

c_{p_k} คือค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการเดินทางในเส้นทาง p_k

r_k^i คือค่าใช้จ่ายในการใช้รถบรรทุก 1 คันต่อวันของประเภทฝูงรถ *k*

$\delta_{p_k}^{ij}$ คือจำนวนครั้งที่เส้นทาง p_k ครอบคลุมการขนส่งของคู่ค้า *ij* ของประเภทฝูงรถ *k* หรือ t_k^{ij}

$\alpha_{p_k}^i$ มีค่าเท่ากับ 1 ถ้ารถบรรทุกประเภทฝูงรถ *k* ที่เดินทางในเส้นทาง p_k มีจุดเริ่มต้นของการเดินทางในรอบวันที่ *i* ส่วนกรณีอื่นๆ มีค่าเท่ากับ 0

T_k^{ij} คือความต้องการการขนส่งเป็นจำนวนรอบการขนส่งของประเภทฝูงรถ *k* จากจุดเริ่มต้น *i* ไปยังจุดปลายทาง *j*

N_k^i คือจำนวนรถบรรทุกของประเภทฝูงรถ *k* ที่สามารถใช้ขนส่งสินค้าได้ที่มีจุดเริ่มต้นการขนส่งในรอบวันที่จุดเริ่มต้น *i*

ตัวแปรที่ใช้พิจารณา คือ x_{p_k} แสดงถึงเส้นทางการขนส่งที่จะครอบคลุมคู่จุดเริ่มต้นและจุดปลายทางในการขนส่ง ij ต่างๆ ที่เป็นสมาชิกของเซตของเส้นทางการขนส่ง *O* ทั้งหมดเป็นจำนวน $\delta_{p_k}^{ij}$ ครั้ง

การพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้น จะคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในเส้นทางขนส่งนั้นทั้งหมด ซึ่งจะครอบคลุมค่าใช้จ่ายทั้งในส่วนค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) และค่าใช้จ่ายส่วนที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะทาง (Variable Cost) ค่าใช้จ่ายนี้จะเป็นค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเป้าหมาย (Objective Function Coefficient) คือ c_{p_k} การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้น จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายที่พิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดในเส้นทางหนึ่งๆ ดังนั้น การคำนวณค่าใช้จ่ายจึงสามารถคำนวณจากวิธีการคิดค่าใช้ในที่ซับซ้อนได้ ซึ่งเป็นข้อดีของแบบจำลองที่มีโครงสร้างของรูปแบบการแบ่งเซต

แบบจำลอง CMO ที่พัฒนาขึ้นนั้น มีรายละเอียดดังนี้

$$Min \quad \sum_{k\in K}\sum_{p_k\in P_k} c_{p_k} x_{p_k} + \sum_{k\in K}\sum_{i\in I} r_k^i n_k^i \tag{3.1}$$

Subject to:

$$\sum_{p_k\in P_k} \delta_{p_k}^{ij} x_{p_k} = T_k^{ij} \qquad \forall k\in K, \forall ij\in O \tag{3.2}$$

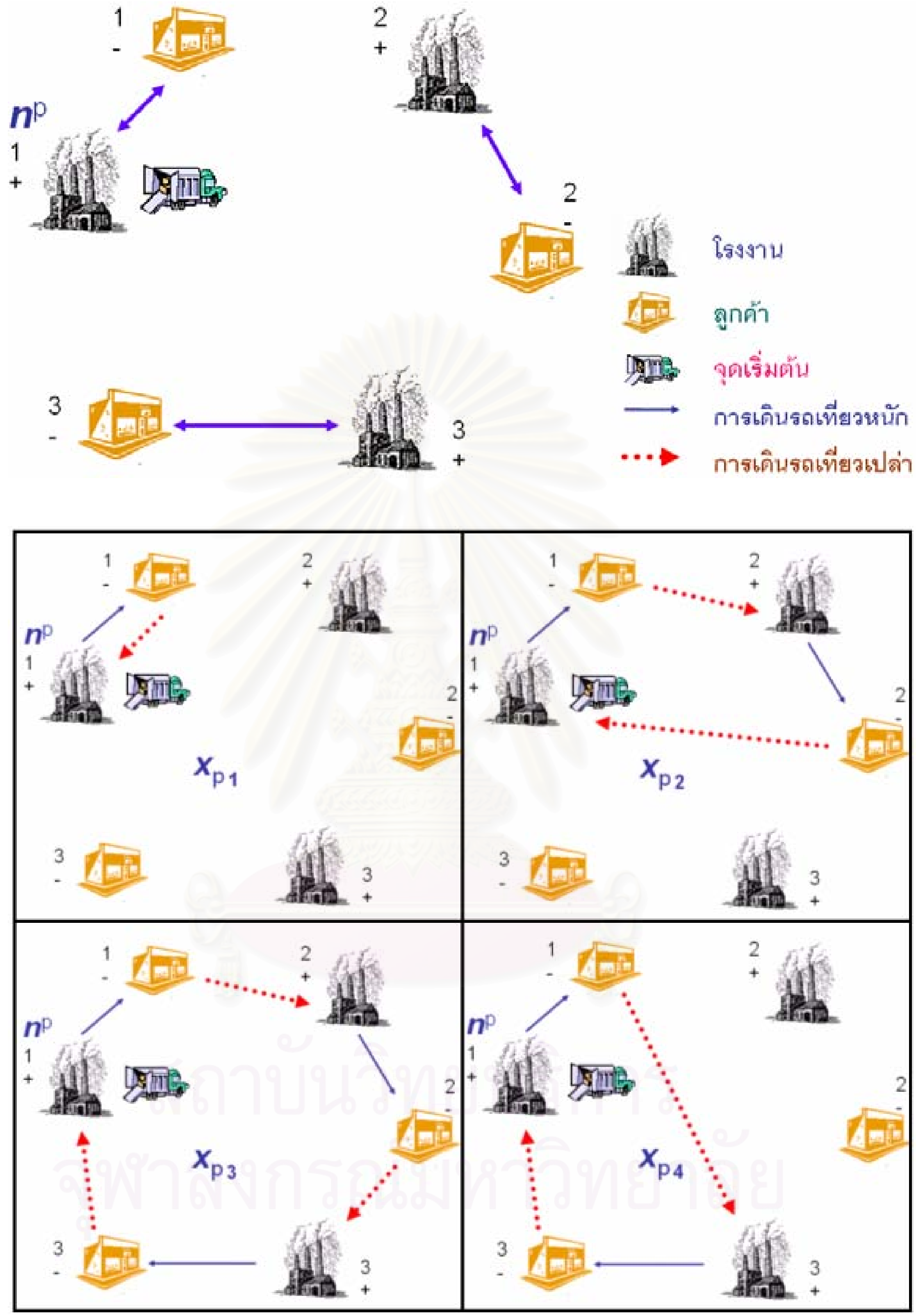
$$\sum_{p_k\in P_k} \alpha_{p_k}^{i} x_{p_k} - n_k^i = 0 \qquad \forall k\in K, \forall i\in I \tag{3.3}$$

$$x_{p_k} \geq 0 \quad \text{and integer} \qquad \forall k\in K, \forall p\in P_k \tag{3.4}$$

$$0 \leq n_k^i \leq N_k^i \quad \text{and integer} \qquad \forall k\in K, \forall i\in I\,. \tag{3.5}$$

สมการเป้าหมาย (3.1) เพื่อหาผลเฉลยที่มีค่าที่ต่ำที่สุด (Minimize) ของผลรวมค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งหมดและค่าใช้จ่ายในการใช้รถ ซึ่งสมการเป้าหมายนี้รวมถึงการลดการใช้รถขนส่งที่ไม่จำเป็นอีกด้วย เงื่อนไข (3.2) กำหนดให้ลูกค้าทุกรายต้องได้รับสินค้าเท่ากับจำนวนรอบที่กำหนด ซึ่งจำนวนรอบที่ต้องการสำหรับรูปแบบรถ k ใดๆ (T_k^{ij}) จะถูกระบุสำหรับทุกคู่ค้า โดยการขนส่งจะต้องไม่ใช้รถเกินที่กำหนดในเงื่อนไข (3.3) และ (3.5) เงื่อนไข (3.4) บังคับให้จำนวนรถที่ได้จะต้องเป็นจำนวนเต็มบวก

ลักษณะของตัวแปร x_{p_k} ที่แสดงถึงเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ มีรายละเอียดดังรูปที่ 4.1 รูปส่วนบนแสดงถึงคำสั่งขนส่งสินค้าของคู่ค้า *ij* ตามลูกศรทึบ 2 ทิศทาง โดยกำหนดให้มีการสร้างตัวแปรในการตัดสินใจของรถบรรทุกที่มีจุดเริ่มต้นโรงงานทางซ้ายมือ ตัวแปรที่การตัดสินใจของรถบรรทุกนี้สามารถสร้างได้ 4 รูปแบบดังแสดง จะเห็นได้ว่าลักษณะของแบบจำลอง CMO ที่มีโครงสร้างของแบบจำลองรูปแบบการแบ่งห้องนี้ ตัวแปรการตัดสินใจแต่ละตัวจะเป็นเส้นทางการขนส่งที่มีความเป็นอิสระต่อกัน การเลือกเส้นทางการขนส่งเส้นทางหนึ่งจะไม่มีผลต่อการเดินทางในเส้นทางอื่นๆ ดังนั้น การพิจารณาเงื่อนไขทางการขนส่งของเส้นทางต่างๆ จะเป็นการตรวจสอบว่าเส้นทางการขนส่งแต่ละเส้นทางสามารถขนส่งได้ตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ ซึ่งเป็นข้อดีของแบบจำลองที่ทำให้ขนาดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเส้นทางจะมีขนาดของแบบจำลองที่ลดลงเมื่อมีเงื่อนไขทางการขนส่งของเส้นทางที่สูงขึ้น ทำให้แบบจำลองรูปแบบเส้นทางนี้มีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาที่มีเงื่อนไขการขนส่งของเส้นทางมาก ต่างจากแบบจำลองแบบเส้นเชื่อม (Arc Base) ที่ไม่เหมาะสมต่อการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนของเงื่อนไขการขนส่งของเส้นทางที่ซับซ้อน ในส่วนต่อไปจะกล่าวถึงวิธีการสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขของการขนส่งต่างๆ ของแบบจำลองแบบจำลองการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างตัวแปรเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้

4.2 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขการขนส่งต่าง ๆ

การพิจารณาเงื่อนไขต่างๆ ของเส้นทางการขนส่งนั้น จะประกอบไปด้วยเงื่อนไขต่างๆ ที่พิจารณา คือ ประเภทของสินค้า ฝูงรถ เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง ช่วงเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุก กรอบเวลาของการขนส่งสินค้า และเงื่อนไขอื่นๆ รายละเอียดวิธีการสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้มีดังนี้

4.2.1 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขประเภทของสินค้า

เงื่อนไขด้านประเภทของสินค้านั้น จะถูกพิจารณาในขั้นตอนการเตรียมข้อมูลก่อนนำเข้าสู่แบบจำลอง โดยจะต้องพิจารณาสินค้าที่ขนส่งนั้นจะต้องเป็นสินค้าที่สามารถขนส่งได้โดยฝูงรถประเภทที่กำหนด กล่าวคือ สินค้าแต่ละประเภทจะถูกระบุประเภทรถที่เหมาะสมที่ใช้ในการขนส่งและสินค้าที่ถูกขนส่งด้วยรถคันเดียวกัน จะต้องเป็นสินค้าที่สามารถขนส่งด้วยกันได้ ลักษณะความต้องการของสินค้าแต่ละประเภทที่จะต้องขนส่งจะถูกระบุเป็นจำนวนรอบการขนส่งที่ต้องการ ดังนั้นการพิจารณาเงื่อนไขประเภทของสินค้าจึงเป็นกระบวนการก่อนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจะไม่ส่งผลต่อแบบจำลองที่สร้างขึ้นแต่อย่างใด

4.2.2 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขประเภทฝูงรถ

แบบจำลอง CMO ที่ได้แสดงในส่วนที่แล้วนั้น เป็นแบบจำลองที่แก้ปัญหารวมทุกประเภทฝูงรถในเซต K ซึ่งทำให้แบบจำลองมีขนาดใหญ่ ในการพิจารณาเงื่อนไขประเภทฝูงรถนั้น เนื่องจากสินค้าแต่ละประเภทจะถูกระบุประเภทของฝูงรถที่เหมาะสมที่ใช้ในการขนส่ง จึงถือได้ว่าการขนส่งสินค้าตามความต้องการใดๆ ของฝูงรถต่างชนิดกันจะเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้แยกการพิจารณาการแก้ปัญหาทีละฝูงรถ กล่าวคือ จะพิจารณาการแก้ปัญหาของฝูงรถ k ทีละประเภท โดยค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดจะเป็นองค์ประกอบของค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดจากการแก้ปัญหาของฝูงรถแต่ละประเภทนำมารวมกัน ดังนั้น ในการพิจารณาแต่ละประเภทฝูงรถ k จึงมีแบบจำลองของแต่ละประเภทฝูงรถดังนี้

$$Min \quad \sum_{k\in K}\sum_{p_k\in P_k} c_{p_k} x_{p_k} + \sum_{k\in K}\sum_{i\in I} r_k^i n_k^i \tag{4.1}$$

Subject to:

$$\sum_{p_k\in P_k} \delta_{p_k}^{ij} x_{p_k} = T_k^{ij} \qquad \forall ij \in O \tag{4.2}$$

$$\sum_{p_k\in P_k} \alpha_{p_k}^{i} x_{p_k} - n_k^i = 0 \qquad \forall i \in I \tag{4.3}$$

$$x_{p_k} \ge 0 \quad \text{and integer} \qquad \forall p \in P_k \tag{4.4}$$

$$0 \le n_k^i \le N_k^i \quad \text{and integer} \qquad \forall i \in I . \tag{4.5}$$

การพิจารณาแก้ปัญหาเงื่อนไขประเภทฝูงรถด้วยวิธีนี้นั้น จะทำให้แบบจำลองสามารถลดความซับซ้อนของการแก้ปัญหาลงได้ เนื่องจากฝูงรถแต่ละประเภทมีความแตกต่างในการขนส่ง เช่น ความสามารถในการบรรทุก ความเร็ว ค่าใช้จ่าย ข้อจำกัดด้านเวลาห้ามวิ่ง และความสามารถในการรองรับการขนส่งสินค้าของลูกค้าจากประเภทฝูงรถแต่ละประเภท ซึ่งการลดความซับซ้อนในส่วนนี้จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาของแบบจำลองที่ดีขึ้น นอกจากนี้ การพิจารณาประเภทฝูงรถที่เหมาะสมยังสะท้อนได้ถึงสภาพการปฏิบัติงานจริงที่ผู้วางแผนการขนส่งสินค้าจะทำการพิจารณาประเภทฝูงรถที่เหมาะสมในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าก่อนการจัดเส้นทางการขนส่งอีกด้วย

4.2.3 **การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขด้านเวลา**

การพิจารณาเงื่อนไขการขนส่งทางด้านเวลานั้น จะประกอบไปด้วยเงื่อนไข 3 รูปแบบด้วยกัน คือ

1. เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง
2. ช่วงเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุก
3. กรอบเวลาการขนส่งของโรงงานและลูกค้า

เพื่อง่ายต่อการอธิบายวิธีการสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขด้านเวลา ผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างการพิจารณากรณีต่างๆ ที่ส่งผลต่อการขนส่งด้วยรูปภาพแสดงประกอบ โดยคำอธิบายในส่วนองค์ประกอบต่างๆ ของรูปภาพที่แสดง มีดังนี้

k คือรอบการขนส่งต่อเนื่องสูงสุดที่ยอมให้ขนส่งได้ในเส้นทางการขนส่งสินค้า

e_i คือเวลาจุดเริ่มของกรอบเวลาที่ตำแหน่ง i (e_o คือตำแหน่งเริ่มต้น)

l_i คือเวลาจุดสุดท้ายของกรอบเวลาที่ตำแหน่ง i (l_o คือตำแหน่งเริ่มต้น)

d_o คือเวลาที่รถออกจากจุดเริ่มต้น

a คือเวลาที่รถถึงจุดที่หมายต่างๆ ระหว่างการพิจารณาเงื่อนไขทางด้านเวลา

t_i คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางของรถบรรทุกทั้งหมดจากจุด i ไปยังจุดหมายถัดไป

s คือส่วนของเวลาที่รถออกจากจุดเริ่มต้นที่ขยับออกจากเวลาที่เร็วที่สุดที่รถสามารถออกได้ (e_o) เท่ากับผลต่างระหว่าง d_o และ e_o

s_i คือส่วนของเวลาที่รถออกจากจุด i ที่ขยับออกจากเวลาที่เร็วที่สุดที่รถสามารถออกได้ที่จุดนั้น (e_i)

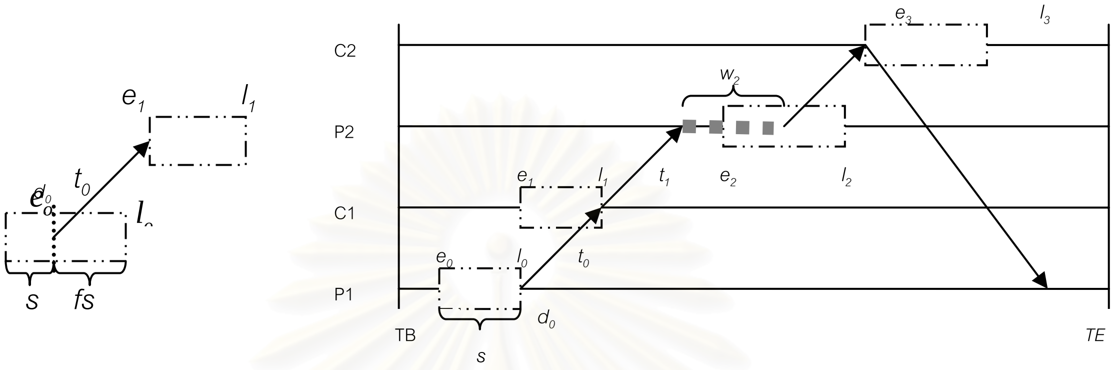
f_s คือความยืดหยุ่นของการเดินทาง กล่าวคือช่วงเวลาที่รถสามารถเปลี่ยนเวลาที่รถออกได้เพื่อลดช่วงเวลาที่รถจะต้องรอ (Waiting Time)ในระหว่างการขนส่งสินค้า

w_i คือช่วงเวลาที่รถต้องรอที่จุด *i*

w คือช่วงเวลารวมทั้งหมดที่รถจะต้องรอ (Total Waiting Time)

TE คือเวลาจุดสุดท้ายที่รถยังสามารถกลับมายังจุดเริ่มต้นได้

องค์ประกอบต่างๆ ถูกแสดงในภาพดังนี้



รูปที่ 4.2 ภาพแสดงการพิจารณาเงื่อนไขด้านเวลาในการขนส่ง

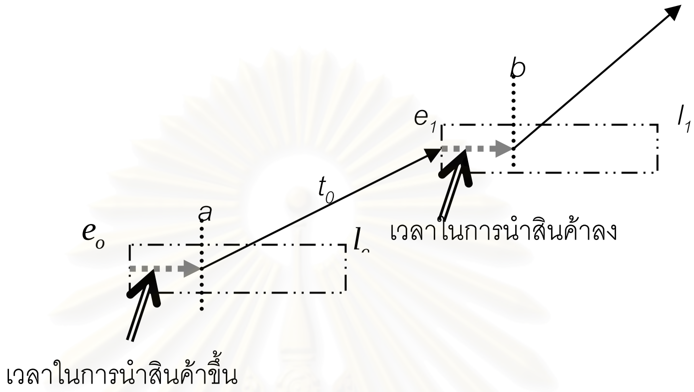
จากรูปที่ 4.2 รูปทางซ้ายแสดงถึงรายละเอียดของกรอบเวลาแต่ละจุด ลูกศรทึบแสดงถึงการเดินทางจากจุดเริ่มต้นที่ 0 ไปยังจุดที่ 1 โดยที่จุดเริ่มต้น 0 นั้นมีความกว้างของกรอบเวลาเท่ากับ $l_o - e_o$ และที่จุดปลายทางที่ 1 นั้นมีความกว้างของกรอบเวลาเท่ากับ $l_1 - e_1$ รถบรรทุกขนส่งสินค้าจะออกจากจุดเริ่มต้นที่เวลา $d_o = e_o + s$ และไปถึงจุดปลายทางที่ 1 ที่เวลา $a = d_o + t_o$ เมื่อ t_o คือเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุดที่ 0 ไปยังจุดที่ 1 ตามลำดับ ในกรณีที่รถบรรทุกออกจากจุดเริ่มต้นก่อนเวลา $e_o + s$ จะทำให้เกิดช่วงเวลาที่ต้องรอ (Waiting Time) ของรถบรรทุกที่จุดปลายทาง 1 พจน์ f_s แสดงถึงความยืดหยุ่นของกรอบเวลาที่รถบรรทุกสามารถออกจากจุดเริ่มต้นได้โดยที่ไม่เกิดช่วงเวลาที่ต้องรอขึ้น มีค่าเท่ากับ $l_o - d_o$

ภาพทางขวามือแสดงถึงตัวอย่างการขนส่งที่มีจุดเริ่มต้น (P1) โดยเวลาที่รถออกเท่ากับเวลาจุดสุดท้ายของกรอบเวลา ($d_o = l_o$) และเดินทางไปถึงลูกค้ารายแรก (C1) ที่เวลา l_1 เมื่อรถบรรทุกขนส่งสินค้าเรียบร้อยแล้วก็ออกจากจุด C1 ไปยังโรงงานแห่งถัดไป (P2) แต่รถบรรทุกนั้นไปถึงโรงงานก่อนจุดเริ่มของกรอบเวลา e_2 จึงเกิดช่วงเวลารอเท่ากับ w_2 นาที หลังจากนั้นรถบรรทุกก็ทำการขนส่งจุด P2 ไปยังลูกค้า C2 ที่จุดเริ่มต้นของกรอบเวลาของลูกค้า C3 และเมื่อทำการขนส่งสินค้าเรียบร้อยแล้ว รถบรรทุกจะกลับมายังจุดเริ่มต้นก่อนเวลา *TE*

รายละเอียดการพิจารณาเงื่อนไขการขนส่งด้านเวลาเป็นดังนี้

1. เงื่อนไขเวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง

เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลงเป็นข้อจำกัดทางด้านเวลาที่จะส่งผลต่อการพิจารณาการขนส่งไปยังลูกค้าให้ทันกรอบเวลาที่กำหนด ซึ่งเวลาทั้ง 2 ส่วนนี้จะเป็นองค์ประกอบส่วนย่อยดังแสดงในรูป 4.3



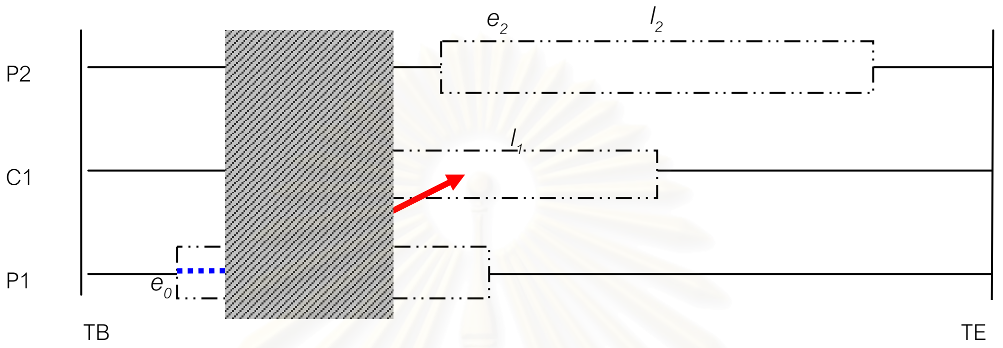
รูปที่ 4.3 การพิจารณาเงื่อนไขเวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง

จุด *a* เป็นจุดที่รถบรรทุกทำการนำสินค้าขึ้นเรียบร้อย และจุด *b* เป็นจุดที่รถบรรทุกทำการนำสินค้าลงที่จุดปลายทางเรียบร้อย ซึ่งทั้ง 2 จุดนี้เป็นจุดที่รถบรรทุกพร้อมที่จะดำเนินการอื่นๆ ต่อไป การพิจารณาการนำสินค้าขึ้นและลงจะถูกพิจารณาไปพร้อมกับการตรวจสอบข้อจำกัดทางด้านกรอบเวลา กล่าวคือ ในการขนส่ง รถบรรทุกจะออกจากจุดใดๆ ได้ จะต้องทำการนำสินค้าขึ้นหรือลงให้เรียบร้อย และเมื่อไปถึงจุดปลายทาง รถบรรทุกจะต้องไปถึงจุดปลายทางภายในกรอบเวลา ตลอดจนนำสินค้าขึ้นหรือลงให้เสร็จเรียบร้อยภายในกรอบเวลาอีกด้วย

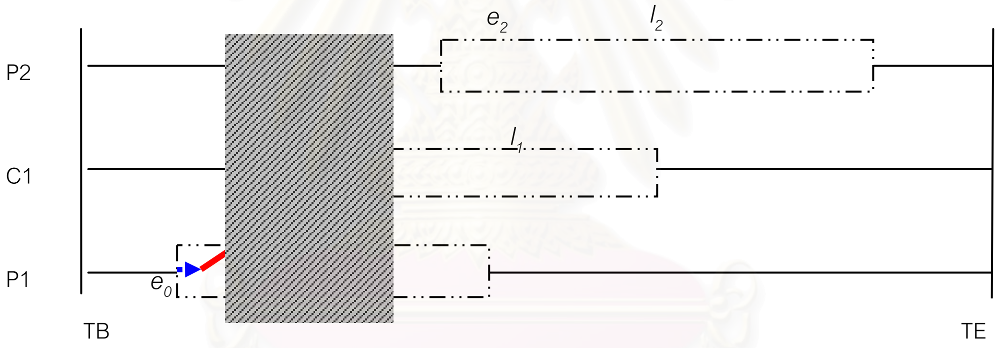
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. เงื่อนไขช่วงเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุก

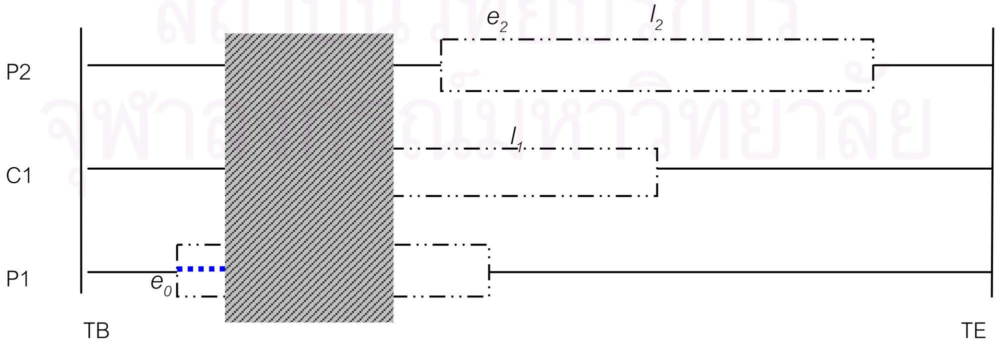
เงื่อนไขช่วงเวลาห้ามวิ่งนั้น จะส่งผลให้รถบรรทุกขนส่งสินค้าจะไม่สามารถเดินรถขนส่งสินค้าในช่วงเวลาห้ามวิ่งดังกล่าวได้ ซึ่งมีกรณีที่สามารถเกิดขึ้นได้ 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 ข้อจำกัดช่วงเวลาห้ามวิ่งกรณีที่ 1 เวลาที่รถออกอยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง



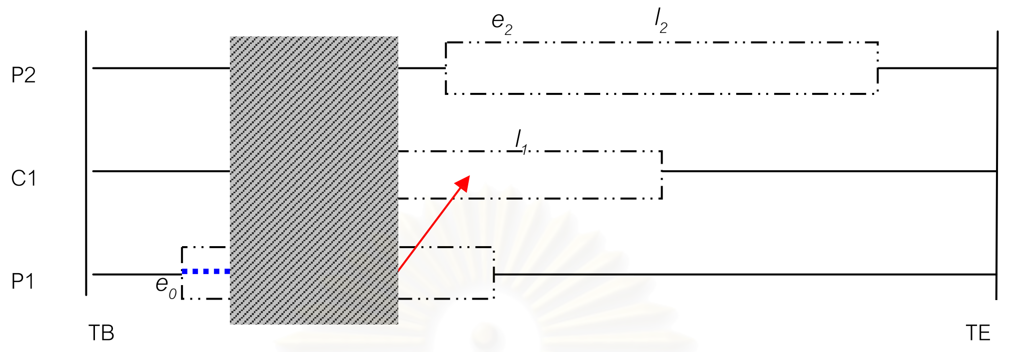
รูปที่ 4.5 ข้อจำกัดช่วงเวลาห้ามวิ่งกรณีที่ 2 เวลาที่รถถึงจุดปลายทางอยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง



รูปที่ 4.6 ข้อจำกัดช่วงเวลาห้ามวิ่งกรณีที่ 3 เวลาตลอดการเดินรถอยู่ในช่วงเวลาห้ามวิ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเห็นได้ว่าการเกิดข้อจำกัดทั้ง 3 กรณีนั้น คือส่วนหนึ่งของการเดินรถมีการคาบเกี่ยวกับช่วงเวลาห้ามวิ่ง วิธีการแก้ปัญหาช่วงเวลาห้ามวิ่งดังกล่าว สามารถทำได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การแก้ปัญหาข้อจำกัดช่วงเวลาห้ามวิ่ง

จากรูปที่ 4.7 กรณีที่เกิดข้อจำกัดช่วงเวลาห้ามวิ่งทั้ง 3 กรณีดังกล่าวข้างต้น จะส่งผลให้รถต้องรอจนกระทั่งหมดช่วงเวลาห้ามวิ่งแล้วจึงเดินรถขนส่งต่อไปได้ ดังนั้นเวลาที่รถสามารถออกจากจุด P1 ได้เร็วที่สุดคือเวลา ณ จุดสิ้นสุดช่วงเวลาห้ามวิ่งนั่นเอง

3. เงื่อนไขกรอบเวลาการขนส่งของโรงงานและลูกค้า

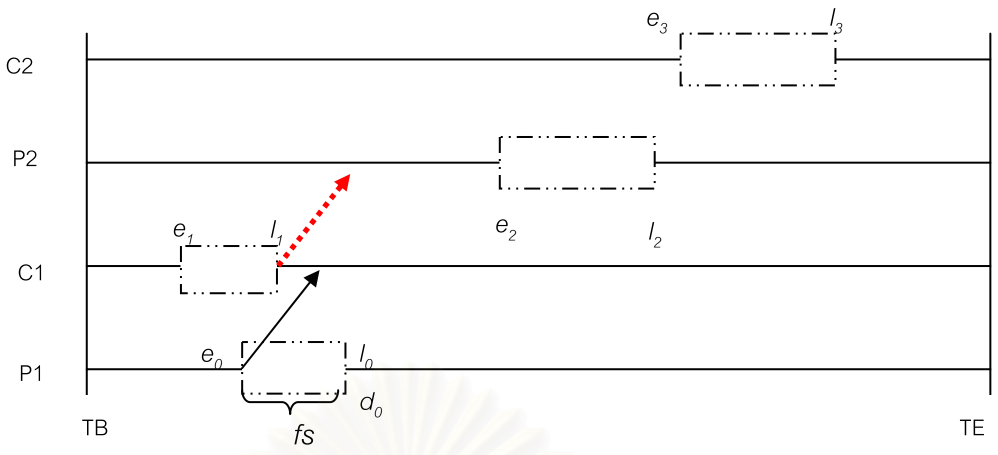
เงื่อนไขกรอบเวลาการขนส่งของโรงงานและลูกค้า เป็นเงื่อนไขที่มีความซับซ้อนสูง ผู้วิจัยได้พัฒนาอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านกรอบเวลาของโรงงานและลูกค้า โดยอัลกอริทึมนี้จะมีหน้าที่ในการตรวจสอบความเป็นไปได้ของการขนส่งภายใต้กรอบเวลา ตลอดจนการจัดลำดับและเวลาการขนส่งให้เกิดช่วงเวลาที่ต้องรอน้อยที่สุดสำหรับเส้นทางหนึ่งๆ อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาข้อจำกัดด้านกรอบเวลาของโรงงานและลูกค้ามีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
d ← e_o
f_s ← l_o − e_o
s ← 0
for i = 1 to 2k do
    s_i ← 0
    a ← d + t_{i−1}
    d ← a
    w ← 0
    if ( d > l_i ) then break   //Infeasible Trip
    if (d ≤ e_i ) then
        s_i = min (e_i − a,  f_s )
        w_i = max (e_i − a −  f_s , 0)
        w = w + w_i
        f_s = min (l_i − e_i , f_s − s_i )
        s = s + s_i
        d = e_i
    endif
    f_s = min (l_i − d , f_s )
    d_o = e_o + s
endfor
```

รูปที่ 4.8 รหัสขั้นตอน (Pseudo code) ของอัลกอริทึมในการพิจารณาข้อจำกัดด้านกรอบเวลา

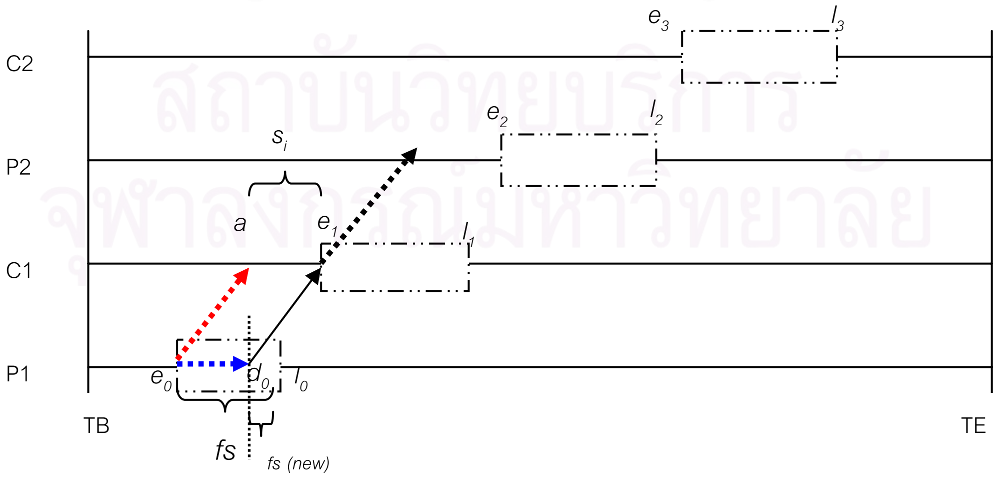
ในขั้นตอนแรก อัลกอริทึมจะสร้างตัวแปร d f_s และ s โดยตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปรนี้จะถูกดำเนินการเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งที่ถูกสร้างขึ้นภายใต้เงื่อนไขกรอบเวลาในการขนส่ง การเกิดกรณีที่ทำให้เส้นทางการขนส่งที่พิจารณาเป็นเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Route) ดังแสดงในรูปที่ 4.9 เมื่อรถบรรทุกออกจากจุดใดๆ ที่จุดเริ่มของเวลาขนส่งหรือเวลาที่เร็วที่สุดที่รถบรรทุกสามารถเดินรถออกไปได้ แต่วิ่งไปถึงจุดปลายทาง i ไม่ทันช่วงเวลาสุดท้ายของกรอบเวลา (l_i) ในกรณีนี้เส้นทางนี้จะถูกระบุเป็นเส้นทางที่เป็นไปไม่ได้ภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลา และจะลบเส้นทางนี้ออกจากเส้นทางที่เป็นไปได้ที่สร้างขึ้น



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปไม่ได้ภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลา

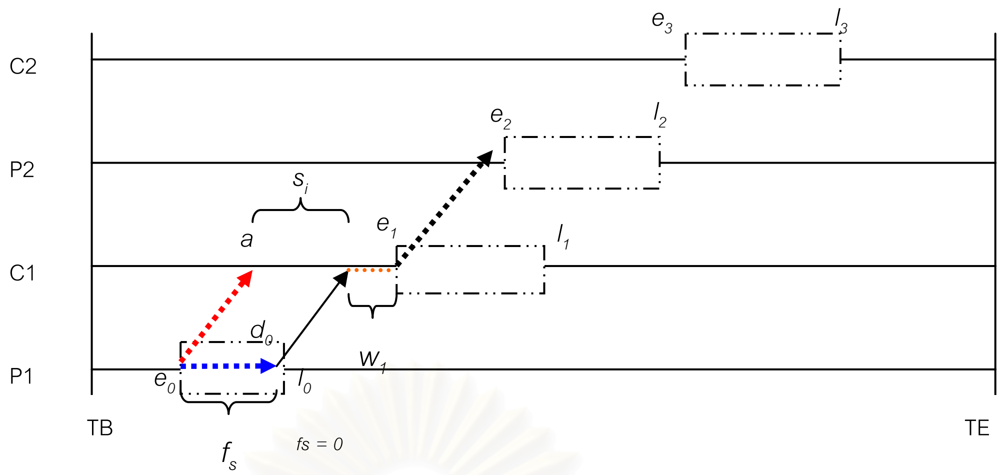
ในกรณีที่เวลาที่รถวิ่งไปถึงจุด *i* (จุด C1 ในรูป) ก่อนเวลาจุดเริ่มต้นของกรอบเวลา (e_i) เวลาที่ไปถึงจะถูกขยับเพื่อลดช่วงเวลาที่ต้องรอที่เกิดขึ้น (w_i) โดยมีข้อจำกัดของเวลาที่สามารถขยับได้คือค่าที่น้อยกว่าระหว่าง $e_i - a$ (ดังแสดงในรูปที่ 4.10) and f_s (ดังแสดงในรูปที่ 4.11) โดยการขยับในรูปแบบหลังจะทำให้เกิดช่วงเวลาที่ต้องรอ (w_i) ซึ่งจะเป็นค่ามากระหว่าง $e_i - a - f_s$ และค่า 0 ช่วงเวลาที่ต้องรอทั้งหมดของเส้นทาง (w) จะเป็นผลรวมของช่วงเวลาที่ต้องรอในแต่ละรอบการตรวจสอบ (w_i)

ตัวแปรความยืดหยุ่นของกรอบเวลาในเส้นทางการเดินรถ (f_s) จะเป็นค่าน้อยระหว่างค่า $l_i - e_i$ ค่า $l_i - d$ และค่า $f_s - s_i$ ที่เกิดขึ้นระหว่างที่รถบรรทุกเดินทางไปถึงจุดต่างๆ และเวลาที่รถออก ณ จุดเริ่มต้น (d_o) จะถูกขยับไปเท่ากับ s ซึ่งจะถูกบวกเพิ่มเข้าไปเรื่อยๆ ทุกรอบการตรวจสอบเท่ากับ s_i โดยเวลาที่รถสามารถเดินรถออกจากจุด *i* ใดๆ ที่เร็วที่สุดคือเวลา d_i



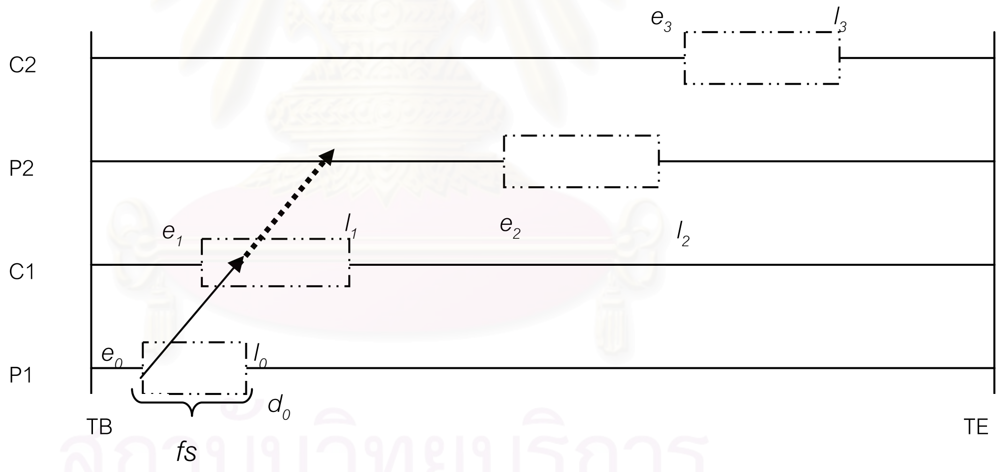
รูปที่ 4.10 เวลาที่รถบรรทุกเดินทางถึงจุด C1 ถูกขยับไปยังเวลาจุดเริ่มกรอบเวลาที่ C1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 เวลาที่รถบรรทุกเดินทางถึงจุด C1 ถูกขยับเท่ากับค่าความยืดหยุ่นของเส้นทาง (f_s)

รูปที่ 4.12 แสดงกรณีที่รถบรรทุกสามารถมาถึงจุดปลายทาง *i* ภายในกรอบเวลาของจุด *i* โดยในกรณีนี้ค่าความยืดหยุ่นของเส้นทาง (f_s) จะมีค่าเท่ากับค่าน้อยระหว่างค่า $l_i - d$ และค่า f_s ปัจจุบัน และเวลาที่เร็วที่สุดที่รถสามารถเดินรถขนส่งออกจากจุดนี้ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างใด



รูปที่ 4.12 รถบรรทุกไปถึงจุดปลายทางภายในกรอบเวลาการขนส่ง

ในทุกกรณีที่กล่าวมานั้น รถบรรทุกที่เดินทางในเส้นทางจะต้องเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นหลังจากสิ้นสุดการขนส่งในรอบวันก่อนเวลา *TE* โดยในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองนั้น เส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะถูกสร้างขึ้น และตรวจสอบความเป็นไปได้ภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลาที่ได้กล่าวมา ในกรณีที่เส้นทางนั้นไม่สามารถทำการขนส่งภายใต้เงื่อนไขด้านเวลานี้ได้ เส้นทางนั้นจะถูกลบออกจากเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ นอกจากนี้ จะต้องตรวจสอบกรณีที่คู่ค้าใดๆ ไม่สามารถสร้างเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้เพื่อครอบคลุมการขนส่งภายใต้เงื่อนไขกรอบเวลาได้ คู่ค้านั้นจะต้องถูกนำออกจากการวิเคราะห์โดยแบบจำลอง และใช้การวางแผนการขนส่งตามความเหมาะสมหรือพิจารณาไม่ขนส่งไปยังคู่ค้านั้น

4.3 การสร้างแบบจำลองภายใต้เงื่อนไขอื่นๆ

เงื่อนไขอื่นๆ นั้นเป็นเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ของเส้นทาง และความเหมาะสมของเส้นทาง ซึ่งมีเงื่อนไขกลุ่มนี้อยู่ 2 ส่วน ได้แก่ เงื่อนไขระยะทางวิ่งสูงสุดของรถบรรทุกต่อวัน และเงื่อนไขความเหมาะสมของเส้นทาง การพิจารณาเงื่อนไขเหล่านี้มีรายละเอียดดังนี้

1. ตัดตัวแปรที่มีค่าระยะทางการวิ่งมีระยะทางการวิ่งต่อวันเกินกำหนดออกจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง
2. ตัดตัวแปรที่มีค่าจำนวนรอบการขนส่งสินค้ามีจำนวนรอบเกินยอดการสั่งซื้อออกจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง

อย่างไรก็ตาม ตัวแปรที่พิจารณาในแบบจำลอง CMO นั้นคือเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทำให้ตัวแปรที่เกิดขึ้นในแบบจำลองนั้นมีจำนวนมาก เช่นกรณีโครงข่ายตัวอย่างที่พิจารณานั้น

ในกรณีจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าเท่ากับ 76 คำสั่ง

- จำนวนตัวแปรสูงสุดในรูปแบบการวิ่ง 2 รอบ เท่ากับ 5,852 ตัวแปร
- จำนวนตัวแปรสูงสุดในรูปแบบการวิ่ง 3 รอบ เท่ากับ 444,828 ตัวแปร

ในกรณีจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าเท่ากับ 900 คำสั่ง

- จำนวนตัวแปรสูงสุดในรูปแบบการวิ่ง 2 รอบ เท่ากับ 810,900 ตัวแปร
- จำนวนตัวแปรสูงสุดในรูปแบบการวิ่ง 3 รอบ เท่ากับ 729,810,900 ตัวแปร

ดังนั้น การแก้ปัญหาแบบจำลอง CMO จึงต้องใช้วิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา ซึ่งรายละเอียดของวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาแบบจำลองนี้ดังแสดงในบทถัดไป

บทที่ 5
ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาแบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง

ในบทนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอในส่วนของรายละเอียดของขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยของแบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง หรือแบบจำลอง CMO ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการพัฒนารูปแบบการแก้ปัญหาใน 2 รูปแบบด้วยกัน คือ รูปแบบการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact Solution Method) และรูปแบบวิธีฮิวริสติค (Heuristic Method) ในส่วนสุดท้ายของบทจะเป็นขั้นตอนวิธีการในการควบรวมการขนส่งที่เกิดขึ้นเพื่อลดจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง

5.1 ภาพรวมของวิธีการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้น

ขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาถูกพัฒนาขึ้นใน 2 รูปแบบ คือ วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์เข้าช่วยในการแก้ปัญหา (Exact Column Generation Based Branch-and-bound Algorithm) และวิธีฮิวริสติค (Heuristic) โดยวิธีการการแก้ปัญหาแบบแม่นตรงได้นำเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์เข้าช่วยในการแก้ปัญหา กระบวนการที่สำคัญคือ การสร้างแบบจำลองลดขนาด (Reduced Size Problem) เพื่อแก้ปัญหา ถ้าผลที่ได้ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดก็จะเพิ่มตัวแปรที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีขึ้นได้ และแก้ปัญหาใหม่จนกระทั่งได้ผลเฉลยที่ดีที่สุดหรือไม่มีตัวแปรที่ให้ผลเฉลยที่ดีขึ้นได้อีก การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกใช้หาเส้นทางที่มีคุณภาพดีจากตัวชี้วัดที่เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้จะมีวิธีฮิวริสติคที่ใช้ตัวชี้วัดที่แตกต่างกัน คือ อัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนัก (Heavy Haul Ratio - HHR) ซึ่งเป็นระยะทางการเดินรถเที่ยวหนักต่อระยะทางทั้งหมดในเส้นทาง และดรรชนีมูลค่าการขนส่ง (Trip Value Index - TVI) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างระยะทางการขนส่งเที่ยวหนักต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งหมดของเส้นทางนั้น ตัวชี้วัดทั้ง 2 นี้จะใช้ในการประมาณมูลค่าของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด และรถจะถูกจัดลงสู่เส้นทางโดยวิธีการที่ประยุกต์จากกรีดดีอัลกอริทึม (Greedy Algorithm) ซึ่งมีรายละเอียดในส่วนของอัลกอริทึมที่ประยุกต์ขึ้นสำหรับวิธีฮิวริสติคทั้ง 2 วิธีที่แตกต่างกันอันเนื่องมาจากการพัฒนาอัลกอริทึมที่ต้องคำนึงถึงการให้ค่าคำตอบที่เป็นไปได้และเหมาะสมของวิธีการฮิวริสติค

5.2 วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดแบบแม่นตรงของแบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง

วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนี้จำเป็นต้องใช้ซอฟแวร์การหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimization Software) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด มีผู้ผลิตซอฟท์แวร์ประเภทนี้ในเชิงพาณิชย์อยู่หลายรายในต่างประเทศ อาทิ ILOG CPLEX [16] หรือ Dash Xpress-MP [17] การใช้งานซอฟท์แวร์ประเภทนี้สามารถทำได้ผ่าน 2 รูปแบบหลัก ได้แก่

1. แบบการโต้ตอบ (Interactive)
2. แบบการใช้ไลเบอรี่ที่เรียกใช้ได้ (Callable Library)

การใช้งานแบบโต้ตอบคือการใช้งานแบบที่ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์โดยตรงด้วยมือ ซึ่งเหมาะสำหรับปัญหาขนาดเล็ก

การใช้งานแบบไลเบอรี่ที่เรียกใช้ได้คือการสร้างโปรแกรมเฉพาะสำหรับปัญหาเฉพาะด้านขึ้นมา โดยควบรวมเครื่องมือสำหรับการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimization Engine) นี้เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมในลักษณะการเรียกใช้ไลเบอรี่ หรือฟังก์ชั่นจากไลเบอรี่ (Callable Library) การใช้งานจะใช้ผ่านโปรแกรมเฉพาะที่ผู้ใช้สร้างขึ้นเองนี้ วิธีนี้เหมาะสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่มีสูตรคำนวณซับซ้อนและไม่เหมาะต่อการป้อนข้อมูลด้วยมือ

ซอฟท์แวร์เชิงพาณิชย์เหล่านี้มีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีราคาแพงมาก ทำให้ผู้สนใจหรือนักวิจิยภายในประเทศไม่สามารถนำซอฟท์แวร์เหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในงานได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้เขียนจึงได้พัฒนาซอฟท์แวร์เพื่อการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดขึ้นเองดังรายละเอียดในส่วนถัดไป

5.2.1 การพัฒนาเครื่องมือเพื่อการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

ในงานวิจัยนี้ ผู้เขียนได้พัฒนาซอฟท์แวร์เพื่อการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดขึ้นโดยอาศัยเทคโนโลยี Open Source จากโครงการ Computational Infrastructure for Operations Research (COIN-OR) [18] ซึ่งเป็นโครงการที่นักวิจัยจากทั่วโลกร่วมมือกันพัฒนาขึ้น เพื่อให้ผู้สนใจและนักวิจัยทั่วไปสามารถนำไปใช้ได้อย่างอิสระ Open Source ดังกล่าวถูกเขียนขึ้นในภาษา C/C++ และมีองค์ประกอบย่อยหลายส่วน แต่ละส่วนถูกสร้างขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดหลากหลายประเภทต่างกันไป เช่น กำหนดการเชิงเส้น (Linear Programing) กำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Program) เป็นต้น

1) รายละเอียดของ Computational Infrastructure for Operation research (COIN-OR)

COIN-OR เป็นงานวิจัยของบิรัษัท IBM ซึ่งเป็นเครื่องมือ (Tool) ที่ใช้ในการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) เพื่อแก้ปัญหาลักษณะ การหาค่าที่ดีที่สุด ในรูปแบบต่างๆ โดยมีลักษณะเป็นซอฟแวร์ที่เปิดให้ดาวโหลดได้ฟรีที่จะมีการพัฒนาและปรับปรุงอยู่อย่างต่อเนื่อง โดยภาษาโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนา COIN-OR ทั้งหมดจะใช้ภาษา C/C++ โดยมีเป้าหมายในการพัฒนา COIN-OR ดังนี้

1. ช่วยในการศึกษาพัฒนาเทคโนโลยีในด้านการวิจัยดำเนินงาน
   - ลดเวลาในการศึกษาพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพในงานวิจัยด้านการวิจัยดำเนินงาน
   - เพิ่มการเชื่อมโยงการทำงานของ Software อื่นๆ
2. เพื่อให้สามารถใช้ซอฟแวร์ แบบจำลอง และข้อมูลด้านการวิจัยดำเนินงานที่มีโดยปราศจากค่าใช้จ่ายและรองรับความต้องการได้
3. ลดความยุ่งยากในการทำงานกับซอฟแวร์หลายๆ แบบ

ในงานวิจัยนี้ เนื่องจากจะมีการสร้างแอพพลิเคชั่นเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งจะต้องใช้ไลเบอรี่ติดต่อในการทำงานร่วมกันระหว่างเครื่องมือสำหรับการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Engine หรือ Solver) กับแอพพลิเคชั่นที่สร้างขึ้น โดยมีรายละเอียดของไลเบอรี่ที่เกี่ยวข้องต่างๆ ดังนี้

CLP (Common Linear Program Solver)

เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหารูปแบบกำหนดการเชิงเส้นที่ (Linear Programming) ซึ่งจะมีลักษณะพิเศษคือ ลักษณะรหัสโปรแกรม (Source Code) จะเป็นไปในรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและสามารถนำไปพัฒนาได้ง่าย โดยที่มีประสิทธิภาพที่ดีด้วย ซึ่งต่างจากโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่เน้นในด้านประสิทธิภาพเพียงอย่างเดียว ทำให้ความสามารถในการทำงานของ CLP ยังด้อยกว่าโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่มีความสามารถสูงๆ

ลักษณะรหัสโปรแกรมนี้จะถูกเขียนขึ้นด้วยของภาษา C/C++ ซึ่งการสร้าง (Build) ขึ้นมาเป็นซอฟแวร์การหาค่าที่ดีที่สุดนั้นโดยปกติจะใช้การสร้างในระบบปฏิบัติการแบบ UNIX แต่ในงานวิจัยนี้จะการสร้างโดยโปรแกรม VisualC++6.0 ผ่านทางระบบปฏิบัติการ Windows

เมื่อสร้าง CLP สำเร็จแล้ว พบว่าในการทำงานด้วยไลบารี่ตัวนี้เพียงอย่างเดียวนั้นไม่เหมาะสม เนื่องจากการแก้ปัญหาด้วยเครื่องมือตัวนี้โดยตรงจะต้องสร้างไฟล์รูปแบบมาตรฐาน (MPS file) ซึ่งมีความยุ่งยาก และไม่สามารถแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มได้ จึงพิจารณาการใช้ เครื่องมือตัวนี้ร่วมกับชุดของไลบารี่เรียกใช้งานที่สามารถทำงานร่วมกับ CLP ได้ คือ SYMPHONY

SYMPHONY

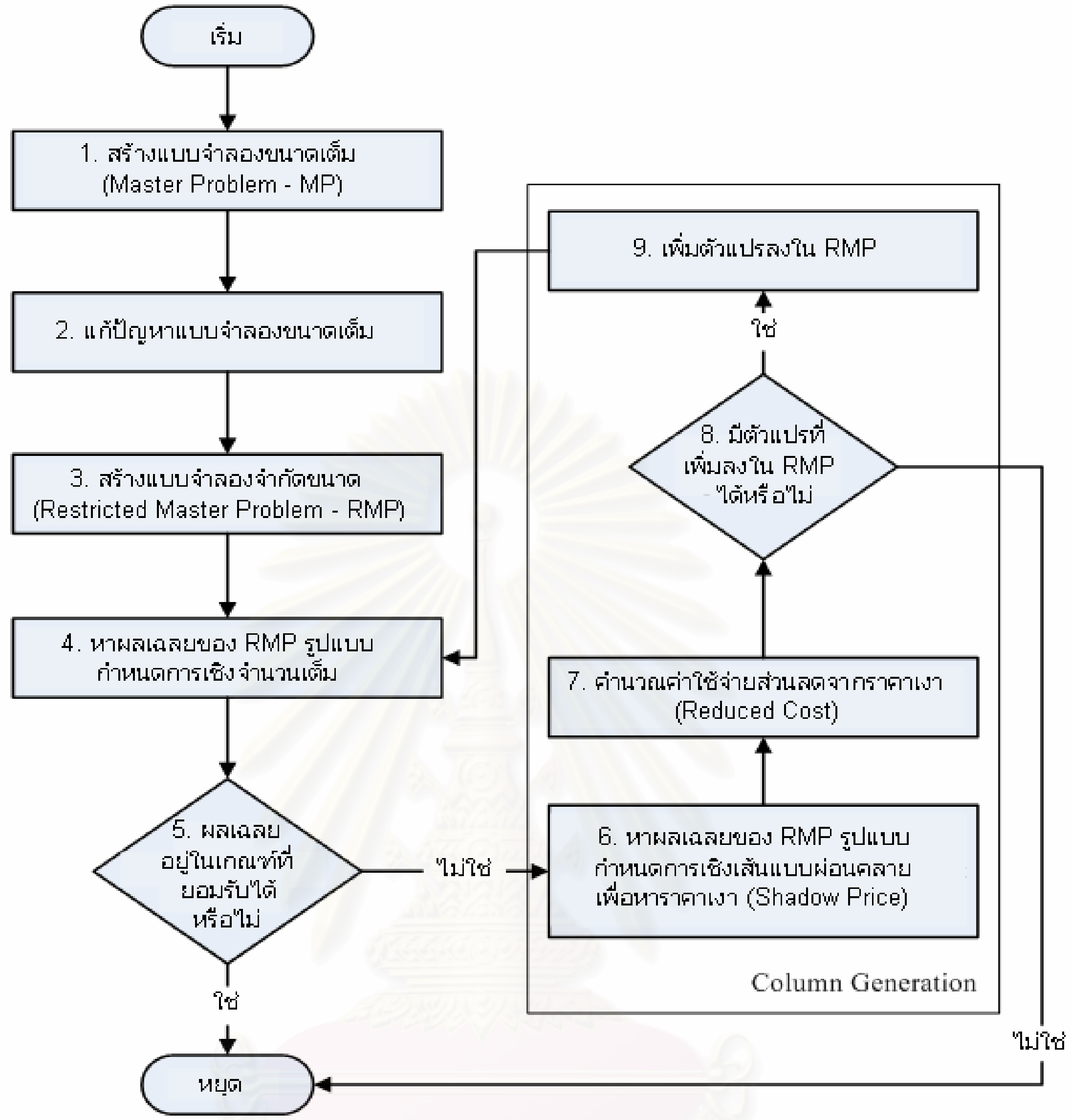
เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม ซึ่งจะต้องทำงานร่วมกับเครื่องมือในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ใช้ในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น คือ CLP ซึ่งจะมีไลเบอรี่ที่ใช้ติดต่อจาก SYMPHONY ไปยังเครื่องมือหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

รายละเอียดการพัฒนาเครื่องมือในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด จะกล่าวอย่างละเอียดในส่วน *ภาคผนวก ก. รายละเอียดวิธีการสร้างซอฟแวร์การหาผลเฉลยที่ดีที่สุด*

5.2.2 การพัฒนาประสิทธิภาพการหาผลที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์

เนื่องจากลักษณะของแบบจำลอง CMO นั้นมีตัวแปรในแบบจำลองเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงได้พิจารณานำเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เข้ามาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์นี้เป็นวิธีการที่ใช้ในการหาผลเฉลยของแบบจำลองรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ (Large Scale Linear Program) โดยเฉพาะแบบจำลองที่มีจำนวนตัวแปรหรือสดมภ์จำนวนมาก ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ดังแสดงในรูปที่ 5.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์

รายละเอียดในแต่ละส่วนของขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์มีดังนี้

1) สร้างแบบจำลองขนาดเต็ม (Master Problem - MP) เป็นแบบจำลองที่ประกอบไปด้วยตัวแปรในการตัดสินใจคือเส้นทางที่เป็นได้ทั้งหมด ซึ่งแบบจำลอง MP ส่วนนี้จะถูกใช้เป็นแบบจำลองอ้างอิงในการทำงานส่วนถัดไป
2) แก้ปัญหาแบบจำลอง MP ที่สร้างขึ้นในส่วนแรกด้วยรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย (Linear program Relaxation – LP Relax) เพื่อหาค่าผลเฉลยของแบบจำลอง โดยผลเฉลยที่ได้นี้ยังไม่ใช่ผลเฉลยที่มีค่าคำตอบเป็นจำนวนเต็ม แต่เป็นผลเฉลยที่เป็นขอบเขตต่ำสุดของผลเฉลยที่ดีที่สุด ค่าผลเฉลยนี้จะถูกเก็บไว้เพื่อเป็นค่าในการตรวจสอบคุณภาพของค่าคำตอบที่ได้ในขั้นตอนต่อไป

3) สร้างแบบจำลองจำกัดขนาด (Restricted Master Problem – RMP) แบบจำลอง RMP นี้จะเป็นแบบจำลองที่ถูกจำกัดตัวแปร ซึ่งตัวแปรที่พิจารณาในแบบจำลอง RMP นี้จะประกอบไปด้วยกลุ่มตัวแปร 2 ส่วน คือ

   I. กลุ่มตัวแปรพื้นฐาน (Basic Variables) ตัวแปรกลุ่มนี้จะเป็นตัวแปรที่ทำให้แบบจำลองสามารถหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) ในกรณีแบบจำลอง CMO ตัวแปรกลุ่มนี้จะเป็นตัวแปรของเส้นทางการเดินรถแบบไป-กลับแบบปรกติ

   II. กลุ่มตัวแปรจากตัวแปรที่มีค่าคำตอบไม่ใช่ศูนย์จากการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายในข้อที่ 2) (Non-Zero Columns From The MP's LP Relaxation) การสร้างตัวแปรกลุ่มนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของแบบจำลอง CMO อย่างมาก ซึ่งจะแสดงรายละเอียดในส่วนถัดไป

4) แก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของแบบจำลองจำกัดขนาด (RMP) ซึ่งค่าผลเฉลยที่ได้จะเป็นเพียงค่าผลเฉลยของแบบจำลอง RMP เท่านั้น ไม่ใช่ผลเฉลยของแบบจำลองส่วนเต็ม (MP) เนื่องจากแบบจำลอง RMP นี้ถูกจำกัดตัวแปรเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้อื่นๆ ไว้

5) ตรวจสอบค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดจากข้อ 4) ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ โดยเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการแก้ปัญหานี้คือเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จาก RMP เปรียบเทียบกับค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดจากการแก้ปัญหาเชิงเส้นแบบผ่อนคลายของ MP ที่ได้ในข้อที่ 2) ในการวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตนี้ไว้เท่ากับ 0.25% ซึ่งมีค่าน้อยมาก

6) ในกรณีที่ผลเฉลยที่ดีที่สุดจาก RMP ไม่ผ่านเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การแก้ปัญหาจะเข้าสู่กระบวนการพิจารณาตัวแปรที่จะเพิ่มลงในแบบจำลอง (Column Generation Process) โดยในขั้นตอนที่ 6) นี้ทำการตรึงตัวแปรที่แก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มจากขั้นตอนที่ 4) และแก้ปัญหาแบบจำลอง RMP ในรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายเพื่อหาค่าราคาเงา (Shadow Price) ของสมการเงื่อนไขแต่ละสมการ ค่าราคาเงาที่ได้นี้จะนำไปคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced Cost) ในขั้นตอนถัดไป

7) การพิจารณาตัวแปรที่จะเพิ่มลงในแบบจำลองลดขนาด RMP นั้น จะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายส่วนลดของตัวแปร ซึ่งคำนวณได้จาก

$$\bar{c}_a = c_a - (y^*)^T a$$

เมื่อ

$\bar{c}_a$ ค่าใช้จ่ายส่วนลด (Reduced Cost) ของตัวแปร

c_a ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

y^* เมทริกซ์ของค่าราคาเงา (Shadow Price)

a เมทริกซ์ของ Element ของตัวแปรใน Master Problem

ซึ่งในกรณีที่ฟังก์ชั่นจุดประสงค์ของปัญหาหลักเป็นการหาค่าน้อยสุด (Minimize) เส้นทางที่มีแนวโน้มลดค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสินค้าได้ จะเป็นเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายส่วนลด ($\bar{c}_a$) น้อยกว่าศูนย์ ในการพิจารณาการเพิ่มตัวแปรลงในแบบจำลองจะเพิ่มตัวแปรที่มีค่าใช้ส่วนลดน้อยกว่าศูนย์นี้ลงในแบบจำลอง RMP

8) ในกรณีที่มีตัวแปรที่สามารถเพิ่มลงในแบบจำลอง RMP ได้ กระบวนการหาผลเฉลยจะไปสู่ขั้นตอนการเพิ่มตัวแปรลงในแบบจำลอง แต่ในในกรณีที่ไม่มีตัวแปรที่สามารถเพิ่มลงในแบบจำลอง RMP ได้ หมายถึงไม่มีตัวแปรใดๆ ที่สามารถเพิ่มลงในแบบจำลอง RMP และทำให้แบบจำลอง RMP สามารถหาผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้ ก็จะจบกระบวนการแก้ปัญหา

9) ถ้ามีตัวแปรที่สามารถเพิ่มลงในแบบจำลองได้จากขั้นตอนการพิจารณาตัวแปร ก็จะเพิ่มตัวแปรลงในแบบจำลอง RMP และทำการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของ RMP ในรอบกระบวนการถัดไป

การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ดังแสดงนี้ มีประเด็นสำคัญที่ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของแบบจำลอง CMO ที่สูงขึ้น ซึ่งมีรายละเอียดดังส่วนถัดไป

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3 ประเด็นสำคัญในการใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ในแบบจำลอง CMO

จากการทดสอบและวิจัยการใช้แบบจำลอง CMO ด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ในเบื้องต้น พบว่าการแก้ปัญหาแบบจำลอง CMO ขนาดเต็ม (MP) ด้วยรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายนั้น ค่าคำตอบของตัวแปรที่มีค่าไม่เท่ากับศูนย์จะมีค่าเป็นจำนวนเต็มมากกว่า 80% ซึ่ง Padberg [19] ได้อธิบายว่าเป็นข้อดีของแบบจำลองที่มีโครงสร้างของแบบจำลองการแบ่งห้องที่มีลักษณะของเมตริกซ์ของแบบจำลองที่ประกอบไปด้วยเลข 0 และ 1 อย่างสมบูรณ์ (Perfect 0-1 Matrix) และมีค่าขอบเขตกำหนดทางขวา (Right Hand Side – RHS) เท่ากับ 1 ทำให้แบบจำลองนั้นมีความตึง (Tight) มาก ผลเฉลยที่ได้จากรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นจึงมีตัวแปรที่ได้ค่าคำตอบเป็นจำนวนเต็มอยู่ในสัดส่วนที่สูง

ในแบบจำลอง CMO นี้ แม้ว่าจะไม่ได้มีลักษณะเมตริกซ์ที่ที่ประกอบไปด้วยเลข 0 และ 1 อย่างสมบูรณ์ และมีความแตกต่างในส่วนของค่าขอบเขตกำหนดทางขวาซึ่งเท่ากับจำนวนรอบการขนส่งที่ต้องการ แต่ลักษณะเมตริกซ์ของแบบจำลองก็ประกอบไปด้วยเลข 0 และ 1 อยู่ในสัดส่วนที่มากโดยเฉพาะแบบจำลอง CMO ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นค่าคำตอบของตัวแปรแต่ละตัวจึงมีตัวแปรที่มีค่าเป็นจำนวนเต็มอยู่มาก

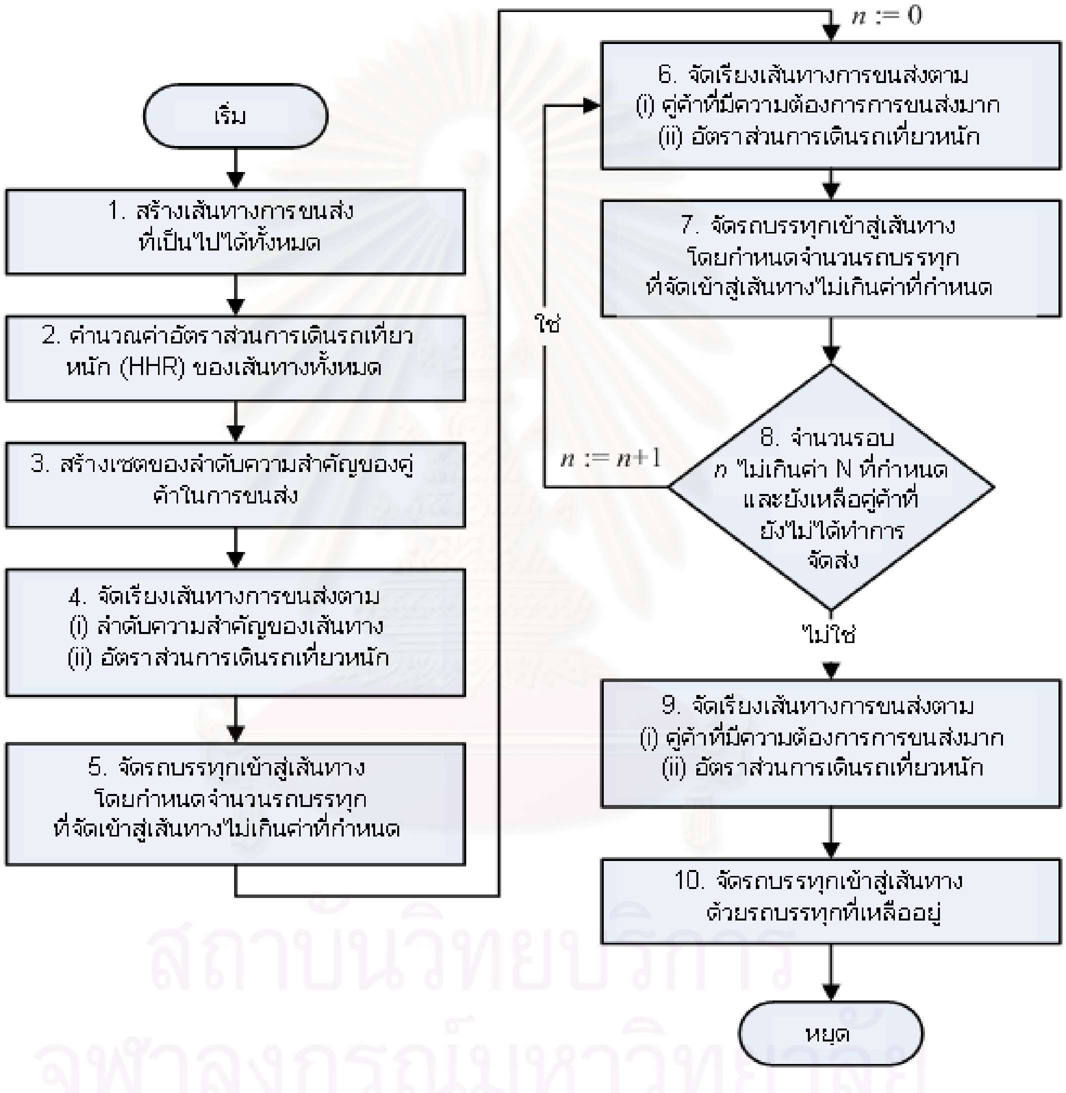
จากลักษณะดังกล่าว ทำให้ผู้วิจัยได้พัฒนาขั้นตอนการสร้างตัวแปรของแบบจำลองลดขนาด (RMP) โดยพิจารณากลุ่มตัวแปรจากตัวแปรที่มีค่าคำตอบไม่ใช่ศูนย์จากการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย การสร้างตัวแปรกลุ่มนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของแบบจำลอง CMO อย่างมาก เนื่องจากความใกล้เคียงของค่าคำตอบของตัวแปรที่ได้จากการหาผลเฉลยรูปแบบกำหนดการเชิงเส้น และรูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม กล่าวคือ ตัวแปรส่วนมากจากกลุ่มตัวแปรนี้ที่เพิ่มเข้าไปจะทำให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดของ RMP มีค่าใกล้เคียงผลเฉลยที่ดีที่สุดของ MP อย่างมาก

5.3 วิธีฮิวริสติคของแบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง

วิธีฮิวริสติคที่พัฒนาขึ้นนั้น เป็นวิธีที่ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหานี้ถูกใช้ในการหาเส้นทางที่มีคุณภาพดีจากตัวชี้วัดคุณภาพของเส้นทาง (Route Indicator) ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มี 2 รูปแบบ โดยทั้ง 2 วิธีการจะใช้ตัวชี้วัดคุณภาพของเส้นทางและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาที่แตกต่างกันซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.3.1 วิธีฮิวริสติคแบบที่ 1 อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยเกณฑ์ลำดับความสำคัญและอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนัก (C-Move Route Selection Algorithm based on Priority and Heavy Haul Criteria)

ขั้นตอนวิธีการนี้ใช้ตัวชี้วัดคุณภาพของเส้นทาง คือ อัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนัก โดยการเลือกเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งจะพิจารณาคุณภาพของเส้นทางนี้ประกอบกับเกณฑ์ลำดับความสำคัญที่ใช้ ขั้นตอนการแก้ปัญหาดังแสดงในรูป 5.2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.2 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1

รายละเอียดในแต่ละส่วนของขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยวิธีฮิวริสติค ดังรูปที่ 5.2 มีดังนี้

1) สร้างเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ คือ ข้อจำกัดประเภทของสินค้า ฝูงรถ เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง ช่วงเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุกและกรอบเวลาการขนส่ง
2) คำนวณอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนัก (Heavy Haul Ratio – HHR) ของเส้นทางแต่ละเส้น ซึ่งอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนักหาได้จาก

$$HHR = \frac{\text{ระยะทางเดินรถเที่ยวหนัก}}{\text{ระยะทางทั้งหมด}}$$

ค่า HHR ที่คำนวณนี้ จะบ่งบอกถึงคุณภาพของเส้นทางในแง่ของอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนักที่ก่อให้เกิดรายได้ เส้นทางที่มี HHR สูงจะมีคุณภาพของเส้นทางมาก โดยในกรณีการเดินทางไป-กลับแบบปรกตินั้นจะมีค่า HHR ของเส้นทางเท่ากับ 0.5 หรือมีสัดส่วนการเดินรถเที่ยวหนักเท่ากับ 50% ดังนั้น การเดินรถต่อเนื่องที่มีประสิทธิภาพจึงควรมีค่า HHR สูงกว่า 50%

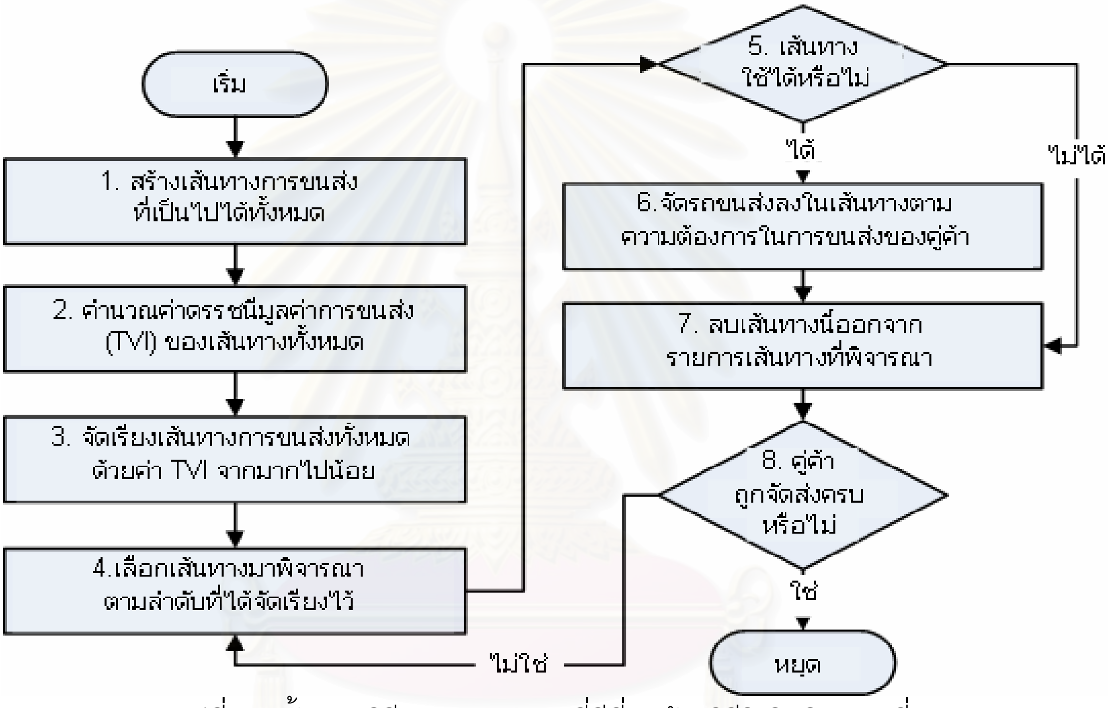
3) ขั้นตอนนี้จะทำการสร้างเซตของลำดับความสำคัญเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งแต่ละเส้นทาง การพิจารณาความสำคัญของเส้นทางการขนส่งโดยให้เส้นทางที่มีการขนส่งผ่านลูกค้าที่มีความต้องการเท่ากับ 1 รอบการขนส่งเป็นอันดับแรก เนื่องจากลักษณะเส้นทางรูปแบบนี้ถ้าไม่มีการพิจารณาการจัดการขนส่งด้วยรูปแบบการขนส่งต่อเนื่องก่อน การจัดการขนส่งในเส้นทางกลุ่มนี้ในภายหลังซึ่งตัวเลือกเส้นทางถูกจำกัดเนื่องจากมีเส้นทางที่ถูกจัดการขนส่งไปแล้ว จะทำให้การจัดรถเพื่อขนส่งในเส้นทางนี้จะเป็นการวิ่งแบบไป-กลับเพียง 1 รอบ ซึ่งเป็นการใช้รถบรรทุกขนส่งที่ไม่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ กลุ่มลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าตั้งแต่ 2 รอบการขนส่งขึ้นไป ยังสามารถพิจารณาการขนส่งแบบไป-กลับ ในหลายๆ รอบการขนส่งด้วยรถ 1 คันได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการประหยัดต้นทุนการขนส่งในค่าใช้จ่ายการใช้รถบรรทุกขนส่งได้มากกว่าการวิ่งไป-กลับเพียง 1 รอบอีกด้วย
4) ในขั้นตอนนี้ จะทำการจัดเรียงเส้นทางโดยให้เส้นทางที่มีลำดับความสำคัญจากการพิจารณาในขั้นตอนที่ 4 ถูกพิจารณาก่อนเป็นอันดับแรก และในแต่ละกลุ่มเส้นทางที่ถูกจัดลำดับความสำคัญ จะทำการจัดเรียงด้วยค่า HHR เพื่อให้เส้นทางถูกจัดเรียงตามลำดับที่ชัดเจนตามคุณภาพของเส้นทาง

5) ทำการจัดรถบรรทุกสู่เส้นทาง โดยพิจารณาจากลำดับที่ได้จัดเรียงไว้ในขั้นตอนที่ 4 จำนวนรถบรรทุกที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความต้องการที่ถูกขนส่งด้วยเส้นทางนั้น การจัดรถบรรทุกในขั้นตอนนี้จะถูกจำกัดจำนวนรถบรรทุกสูงสุดไว้ เนื่องจากในแต่ละกระบวนการจัดรถบรรทุก การจัดเรียงเส้นทางจะมีการจัดลำดับความสำคัญด้วยเกณฑ์ที่แตกต่างกันเพื่อความเหมาะสมและเพื่อให้ได้ผลเฉลยที่มีคุณภาพดี โดยปรกติผู้วิจัยได้จำกัดจำนวนรถที่ถูกจัดในแต่ละรอบการจัดรถเท่ากับ 1 ใน 10 ของจำนวนรถที่สามารถใช้ขนส่งได้
6) หลังจากการจัดรถบรรทุกลงสู่เส้นทางในรอบแรกเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการจัดเรียงเส้นทางการขนส่งด้วยเกณฑ์ลำดับความสำคัญที่แตกต่างออกไป คือการให้เส้นทางที่รองรับการขนส่งไปยังคู่ค้าที่มีปริมาณความต้องการขนส่งสินค้าที่สูงถูกพิจารณาจัดการขนส่งก่อน และในแต่ละกลุ่มที่ได้ถูกแบ่งตามลำดับความสำคัญจะถูกจัดเรียงลำดับภายในกลุ่มด้วยค่า HHR อีกครั้ง
7) ทำการจัดรถบรรทุกสู่เส้นทางเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 5 โดยไม่ให้จำนวนรถที่ถูกจัดเกินกำหนด
8) ในการประมวลผลจะถูกจำกัดรอบการประมวลผลสูงสุดไว้เท่ากับ N ครั้ง ในขั้นตอนนี้จะทำการตรวจสอบว่ามีรอบการประมวลผลยังไม่เกินที่กำหนด และมีคู่ค้าที่ยังไม่ถูกจัดการขนส่งหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการประมวลผลรอบถัดไปในขั้นตอนที่ 6 กรณีที่รอบการประมวลผลครบตามที่กำหนดแล้ว (โดยปรกติ ผู้วิจัยได้กำหนดไว้ที่ 15 รอบการประมวลผล) ก็จะไปยังขั้นตอนที่ 9 ต่อไป
9) ในขั้นตอนนี้ จะทำการจัดเรียงเส้นทางที่พิจารณาด้วยเกณฑ์เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 6
10) ทำการจัดรถบรรทุกสู่เส้นทาง โดยพิจารณาการจัดรถด้วยจำนวนรถที่เหลืออยู่ทั้งหมด

อย่างไรก็ตาม การใช้วิธีการฮิวริสติครูปแบบนี้ยังมีความไม่เหมาะสมกับแบบจำลองที่สร้างขึ้นในแง่ของตัวชี้วัดที่ใช้พิจารณา เนื่องจากลักษณะปัญหามีสมการเป้าหมาย (Objective Function) คือค่าใช้จ่ายรวมของการขนส่งที่น้อยที่สุด แต่ตัวชี้วัดที่ใช้คือค่า HHR หรือค่าอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนัก ซึ่งอาจจะไม่สัมพันธ์ถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับระยะทางการขนส่ง เช่น ค่าใช้จ่ายส่วนคงที่ในการใช้รถ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาวิธีการฮิวริสติคแบบที่ 2 โดยมีรายละเอียดในส่วนถัดไป

5.3.2 วิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยดรรชนีมูลค่าการขนส่ง (C-Move Route Selection Algorithm Based On Trip Value Index)

ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหานี้จะใช้ในการหาเส้นทางที่มีคุณภาพดีจากตัวชี้วัดที่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดในเส้นทางการขนส่ง คือ ดรรชนีมูลค่าการขนส่ง (Trip Value Index - TVI) ซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างระยะทางการขนส่งเที่ยวหนักต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งหมดของเส้นทางนั้น ดรรชนีตัวนี้จะใช้ในการประมาณมูลค่าของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด และรถจะถูกจัดลงสู่เส้นทางโดยวิธีการเลือกที่ประยุกต์จากกรีดดีอัลกอริทึม (Greedy Algorithm) ซึ่งรายละเอียดของวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 มีดังนี้



รูปที่ 5.3 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2

ขั้นตอนวิธีฮิวริสติควิธีที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.3 นั้น มีรายละเอียดดังนี้

1) สร้างเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ คือ ข้อจำกัดประเภทของสินค้า ฝูงรถ เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง ช่วงเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุกและกรอบเวลาการขนส่ง
2) คำนวณค่าดรรชนีมูลค่าการขนส่ง (Trip Value Index – TVI) ของเส้นทางแต่ละเส้น ซึ่งคำนวณได้จาก

$$TVI = \frac{\text{ระยะทางเดินรถเที่ยวหนัก}}{\text{ค่าใช้จ่ายทั้งหมด}}$$

   ค่า TVI ที่คำนวณนี้ จะบ่งบอกถึงคุณภาพของเส้นทางในแง่ของความคุ้มค่าในการขนส่ง เนื่องจากระยะทางที่เกิดในการเดินรถเที่ยวหนักเป็นระยะทางที่จำเป็นต้องเดินรถเพื่อขนส่งสินค้าไปยังลูกค้า และยังเป็นระยะทางส่วนที่ก่อให้เกิดรายได้ ค่า TVI ที่คำนวณขึ้นนั้นสะท้อนถึงระยะทางเดินรถเที่ยวหนักที่เกิดขึ้นต่อ 1 หน่วยค่าใช้จ่าย ดังนั้น เส้นทางที่มีค่า TVI สูงจึงเป็นเส้นทางที่มีความคุ้มค่าในการขนส่งสินค้ามาก
3) จัดเรียงเส้นทางการขนส่งด้วยค่า TVI จากมากไปน้อย
4) ในขั้นตอนนี้จะทำการเลือกเส้นทางการขนส่งขึ้นมาพิจารณาตามลำดับในรายการที่มีการจัดเรียงเส้นทางการขนส่งด้วยค่า TVI จากขั้นตอนที่ 3
5) ตรวจสอบว่าเส้นทางนี้ถูกใช้ขนส่งได้หรือไม่ โดยพิจารณาว่าคู่ค้าที่เส้นทางการขนส่งนี้ทำการขนส่งสินค้ายังมีความต้องการการขนส่งสินค้าที่ยังไม่ได้มีการจัดรถบรรทุกเพื่อขนส่งสินค้าหรือไม่ ถ้าคู่ค้าอย่างน้อย 1 คู่ในเส้นทางนี้ถูกจัดรถบรรทุกลงในเส้นทางที่รองรับความต้องการขนส่งสินค้าครบถ้วนแล้ว ก็จะลบเส้นทางนี้ออกจากรายการเส้นทางที่ใช้ขนส่งสินค้าในขั้นตอนที่ 7 แต่ถ้าเส้นทางนี้สามารถใช้ขนส่งสินค้าได้ คือคู่ค้าทั้งหมดในเส้นทางยังมีความต้องการสินค้าที่ยังไม่ได้ถูกจัดรถบรรทุกเพื่อขนส่งสินค้า ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนที่ 6
6) ทำการจัดรถบรรทุกเพื่อรองรับความต้องการขนส่งสินค้าในเส้นทางที่พิจารณา โดยจำนวนรถบรรทุกที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความต้องการที่น้อยที่สุดของคู่ค้าในเส้นทางการขนส่ง
7) ลบเส้นทางการขนส่งที่พิจารณาแล้วออกจากรายการเส้นทางการขนส่งที่พิจารณา
8) ตรวจสอบว่าคู่ค้าทุกคู่ถูกจัดการขนส่งเพื่อรองรับความต้องการในการขนส่งครบถ้วนหรือไม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จะเห็นได้ว่า ขั้นตอนวิธีการของวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 นี้มีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีแรกมาก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้ตัวชี้วัดที่สัมพันธ์กับสมการเป้าหมายจะทำให้การเลือกเส้นทางเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงสามารถลดความซับซ้อนของขั้นตอนการประมวลผลได้

อย่างไรก็ตาม วิธีการต่างๆ ที่กล่าวมานี้ ต่างก็มีขั้นตอนในการสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดเป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์ ในกรณีที่มีเส้นทางที่เป็นไปได้จำนวนมาก เช่น การขนส่งเป็นการขนส่งระยะทางใกล้ และไม่มีข้อจำกัดทางด้านเวลาที่ส่งผลต่อการขนส่งมาก อาจจะทำให้เส้นทางที่เป็นไปได้ที่สร้างขึ้นมีจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อการแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ถึงจำนวนรอบการขนส่งสูงสุดที่เหมาะสม ซึ่งมีรายละเอียดในส่วนถัดไป

5.4 การพิจารณาจำนวนรอบการขนส่งสูงสุดที่เหมาะสมในแบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง

จากการวิจัยในเบื้องต้น ผู้วิจัยได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ที่สร้างขึ้นกับคุณภาพของผลเฉลยที่ได้โดยไม่พิจารณาถึงข้อจำกัดด้านเวลา วิเคราะห์โดยจำกัดจำนวนรอบที่รถสามารถวิ่งได้สูงสุดต่อ 1 คันไว้ที่ 2 รอบและ 3 รอบตามลำดับ และหาค่าผลเฉลยของปัญหาดังกล่าวโดยวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มของปัญหาขนาดเต็ม รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ประกอบไปด้วย 6 ชุดปัญหาดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดของปัญหาแต่ละชุด

	ชุดข้อมูล					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนจุดเริ่มต้น	4	9	9	9	9	9
จำนวนจุดปลายทาง	14	47	51	129	77	166
จำนวนคู่ค้า (*i,j*)	14	51	76	225	315	900
จำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า	46	222	326	803	1,278	3,368
จำนวนรถบรรทุกที่แต่ละจุดเริ่มต้น	10	25	30	80	80	250
ระยะทางสูงสุดที่วิ่งได้ (กม.)	600	800	800	1,000	1,000	1,000

ผลที่ได้จากการแก้ปัญหาในแง่ของจำนวนตัวแปร และเวลาที่ใช้แก้ปัญหาเป็นดังตารางที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการแก้ปัญหากรณีเดินรถต่อเนื่องได้สูงสุด 2 เที่ยว

	ชุดข้อมูล					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้	210	2,652	5,852	50,850	99,540	810,900
เวลาแก้ปัญหา (นาที)	0.1	0.2	0.5	2.0	48.5	685.0

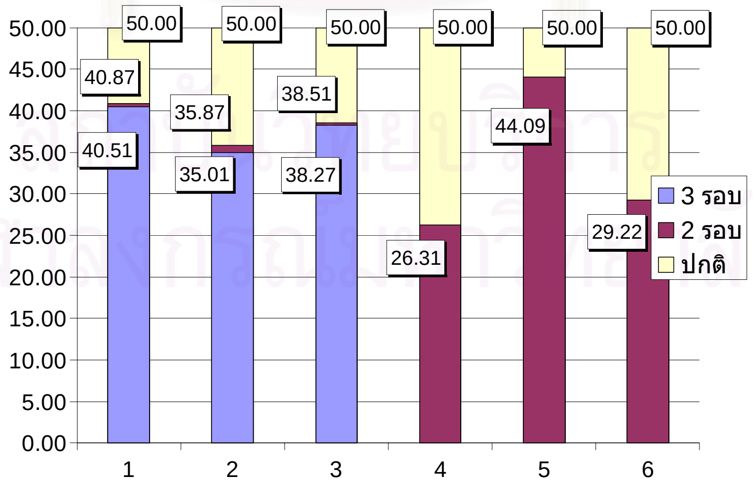
ตารางที่ 4.3 ผลที่ได้จากการแก้ปัญหากรณีเดินรถต่อเนื่องได้สูงสุด 3 เที่ยว

	ชุดข้อมูล					
	1	2	3	4	5	6
จำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้	2,954	135,303	444,828	11.4×10^{6}	31.4×10^{6}	729.8×10^{6}
เวลาแก้ปัญหา (นาที)	0.1	0.6	144.0	N/A	N/A	N/A

หมายเหตุ: N/A คือใช้เวลาในการแก้ปัญหาเกินกว่า 12 ชม.

จะเห็นได้ว่า การเพิ่มจำนวนรอบสูงสุดที่ให้เดินรถต่อเนื่องได้จาก 2 รอบเป็น 3 รอบนั้น ทำให้จำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ในการขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้นอย่างมาก ซึ่งส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาค่าผลเฉลยที่มากขึ้น โดยปัญหาชุดที่ 4 ถึง 6 ไม่สามารถหาค่าผลเฉลยของปัญหากรณีที่ให้เดินรถต่อเนื่องได้สูงสุด 3 เที่ยวได้

คุณภาพของผลเฉลยที่ได้ในแง่ของสัดส่วนเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5.4

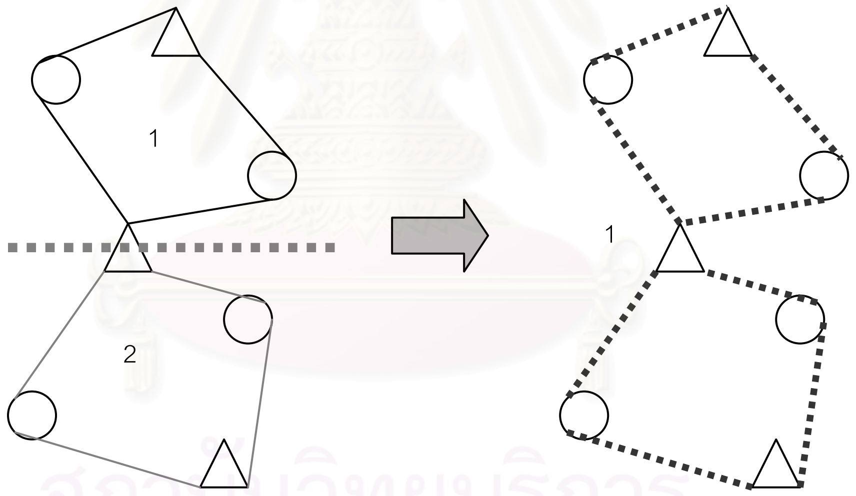


รูปที่ 5.4 ผลเฉลยในแง่ของสัดส่วนเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้น

จากรูปที่ 5.4 คุณภาพของผลเฉลยที่เกิดขึ้นนั้น มีความแตกต่างของผลเฉลยของการแก้ปัญหาทั้ง 2 รูปแบบไม่ถึง 1% จะสามารถสรุปได้ว่า การจำกัดจำนวนรอบการขนส่งมีผลต่อคุณภาพของค่าคำตอบน้อยมาก อย่างไรก็ตาม การแก้ปัญหาเดินรถต่อเนื่องได้สูงสุด 3 เที่ยวนั้น จะมีการใช้ประโยชน์ของรถบรรทุก (Truck Utilization) ได้อย่างคุ้มค่ากว่า ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาขั้นตอนวิธีการในเพิ่มการใช้ประโยชน์ของรถบรรทุกขึ้นจากค่าผลเฉลยที่ได้ รายละเอียดของวิธีการดังแสดงในหัวข้อถัดไป

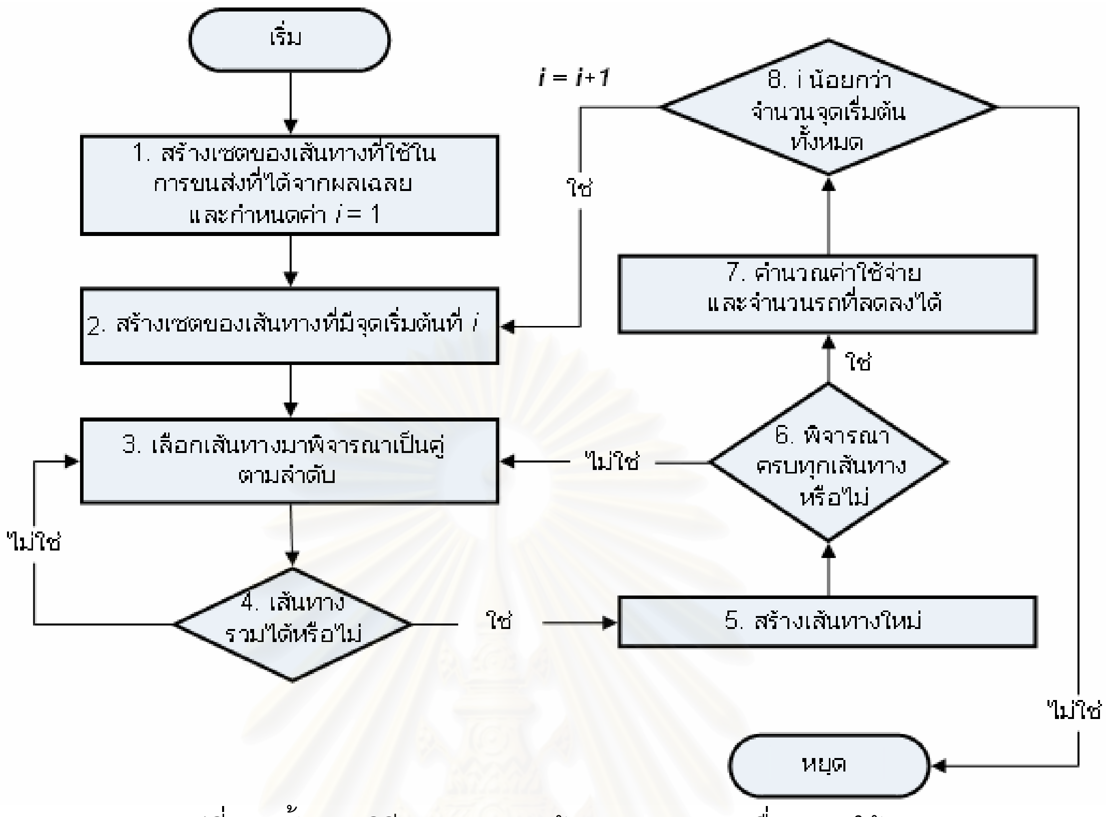
5.5 การพัฒนาขั้นตอนวิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งจากค่าผลเฉลย

ลักษณะการควบรวมเส้นทาง คือ การพิจารณาเส้นทางที่ออกจากจุดเริ่มต้นเดียวกัน ซึ่งเส้นทางแต่ละเส้นจะใช้รถบรรทุกขนส่งคนละคัน การพิจารณาควบรวมเส้นทางคือการตรวจสอบความเป็นไปได้ในการใช้รถขนส่ง 1 คันวิ่งขนส่งต่อเนื่องใน 2 เส้นทางขึ้นไป ภายใต้ข้อจำกัดด้านประเภทสินค้า ฝูงรถ ระยะทางการวิ่งสูงสุด และข้อจำกัดทางด้านเวลาต่างๆ คือ เวลานำขึ้นค้าขึ้นและลง ช่วงเวลาห้ามวิ่ง และกรอบเวลา ลักษณะการควบรวมเส้นทางดังแสดงในรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 ผลจากการควบรวม 2 เส้นทางการขนส่งโดยใช้รถบรรทุก 1 คันในการขนส่ง

ขั้นตอนวิธีการควบรวมเส้นทางดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 ขั้นตอนวิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งเพื่อลดค่าใช้จ่าย

รายละเอียดของขั้นตอนวิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งมีดังนี้

1) สร้างเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ คือ ข้อจำกัดประเภทของสินค้า ฝูงรถ เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง ช่วงเวลาห้ามวิ่งของรถบรรทุกและกรอบเวลาการขนส่ง
2) สร้างเซตของกลุ่มเส้นทางการขนส่งที่จะพิจารณา คือ เส้นทางการขนส่งที่มีจุดเริ่มต้นเดียวกัน
3) จับคู่เส้นทางทีละคู่ เพื่อนำมาพิจารณาการควบรวมเส้นทางการขนส่งโดยใช้รถ 1 คันวิ่งต่อเนื่อง โดยมีข้อจำกัดในการรวมเส้นทางคือ
   I. เส้นทางจะต้องรวมได้ภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลาที่พิจารณาในหัวข้อที่ 4.2.3 การพิจารณาข้อจำกัดด้านเวลาดังกล่าวจะต้องสร้างลำดับการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดเพื่อนำมาตรวจสอบว่ามีรูปแบบใดหรือไม่ที่สามารถขนส่งได้ภายใต้ข้อจำกัดเวลาการขนส่ง
   II. เส้นทางที่รวมจะต้องมีระยะทางวิ่งรวมของรถไม่เกินระยะทางวิ่งสูงสุดต่อวันของฝูงรถที่กำหนด และไม่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นกว่าเดิม

4) ในกรณีที่ไม่สามารถรวมเส้นทางได้ ก็จะพิจารณาเส้นทางคู่ใหม่ในขั้นตอนที่ 3 แต่ถ้าเส้นทางสามารถรวมได้ก็จะสร้างเส้นทางใหม่ขึ้นในขั้นตอนที่ 5
5) สร้างเส้นทางใหม่ขึ้นเป็นรูปแบบการวิ่งต่อเนื่องจากเส้นทางแรกสู่เส้นทางที่สองด้วยรถ 1 คัน ลำดับการวิ่งจะเป็นการวิ่งที่ทำให้เกิดช่วงเวลาที่ต้องรอ (Waiting Time) ในเส้นทางนั้นต่ำที่สุด
6) ตรวจสอบว่าเส้นทางถูกพิจารณาครบแล้วหรือไม่ ถ้ายังก็จะพิจารณาเส้นทางคู่อื่นต่อไปในขั้นตอนที่ 3 แต่ถ้าครบทุกเส้นทางที่มีจุดเริ่มต้นที่ i แล้วก็จะไปยังขั้นตอนที่ 7
7) คำนวณค่าใช้จ่าย และจำนวนรถที่ลดลงได้ทั้งหมด เพื่อนำมาคำนวณหาผลเฉลยใหม่ที่เกิดขึ้นหลังจากการควบรวมเส้นทางเรียบร้อยแล้ว
8) กรณีที่ยังพิจารณาไม่ครบทุกจุดเริ่มต้น ก็จะพิจารณาจุดเริ่มต้นต่อไปในขั้นตอนที่ 2 แต่ถ้าพิจารณาครบทุกจุดเริ่มต้นแล้วก็จะจบการทำงาน

การควบรวมการขนส่งรูปแบบนี้ จะช่วยลดจำนวนรถที่ต้องใช้ในการขนส่ง และทำให้รถแต่ละคันถูกใช้ประโยชน์ได้มากขึ้น ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ลดลง อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ข้อจำกัดทางด้านเวลามีผลมากในการพิจารณาการแก้ปัญหา จะทำให้ทางเลือกในการควบรวมการขนส่งลดลง และไม่สามารถควบรวมการขนส่งได้

ในบทนี้ผู้วิจัยได้กล่าวถึงการพัฒนาวิธีการหาค่าผลเฉลยของแบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่องด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุด และวิธีการฮิวริสติค นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงวิธีการลดจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ที่ต้องพิจารณา ในบทถัดไป จะแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ดังกล่าว เปรียบเทียบกับการจัดการเดินรถแบบไป-กลับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
ผลการทดสอบ

การทดสอบวิธีการแก้ปัญหา ผู้วิจัยได้สร้างชุดปัญหาที่ใช้ทดสอบ โดยในแต่ละชุดปัญหาจะมีความแตกต่างในด้านขนาดของปัญหา ในการทดสอบได้ใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผล Pentium IV 3.06 GHz และหน่วยความจำเท่ากับ 2 GB และใช้ซอฟแวร์ Visual C++ 6.0 ในการทำงานของโปรแกรมที่สร้างขึ้นด้วยไลเบอรี่ที่เรียกใช้งานได้คือ CLP และ SYMPHONY

6.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการแก้ปัญหา

ข้อมูลที่ใช้ในการแก้ปัญหานั้น ผู้วิจัยได้สร้างข้อมูลขึ้นจากข้อมูลตัวอย่าง อย่างไรก็ตามข้อมูลตัวอย่างที่ได้รับจากบริษัทนั้นมีจำนวนคำสั่งสินค้าที่น้อย ผู้วิจัยจึงได้สร้างชุดข้อมูลโดยการสุ่มและทำการทดสอบแบบจำลองด้วยข้อมูล 6 ชุดที่มีขนาดของปัญหาแตกต่างกัน โดยกำหนดให้รถบรรทุกสามารถเดินรถต่อเนื่องได้ 2 เที่ยวต่อวัน ข้อจำกัดทางด้านกรอบเวลาที่ใช้ จะกำหนดให้โรงงานเปิดเพื่อนำสินค้าขึ้น–ลงในช่วงเวลา 8.00–18.00 น. และรถบรรทุกที่ประจำในแต่ละโรงงานจะต้องกลับมายังโรงงานก่อนเวลา 21.00 น. ส่วนกรอบเวลาของลูกค้านั้นจะมีความแตกต่างกันในลูกค้าแต่ละราย โดยมีกรอบเวลาเฉลี่ยของลูกค้าดังแสดง นอกจากนี้ยังมีการพิจารณาข้อจำกัดห้ามวิ่งของรถบรรทุกขนาดใหญ่ในช่วงเวลา 6.00–9.00 น. และ 16.00–19.00 น.

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ทดสอบแบบจำลอง

ชุดปัญหาที่	1	2	3	4	5	6
จำนวนประเภทฝูงรถ	6	6	6	6	6	6
รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ทดสอบ						
จำนวนจุดเริ่มต้น	4	9	9	9	9	9
จำนวนคู่ค้า *(i,j)*	118	342	540	1,080	2,340	4,320
จำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า	314	1,058	1,984	3,960	9,539	13,657
จำนวนรถบรรทุกที่ใช้ขนส่งได้	377	1,431	2,232	2,925	7,700	11,835
กรอบเวลาของโรงงาน	*เปิด 8.00 – 18.00 รถต้องกลับถึงก่อน 21.00 น.*					
ความกว้างกรอบเวลาของลูกค้าเฉลี่ย (ชม.)	6.15	5.97	5.97	5.97	5.97	5.97

ในการพิจารณาค่าใช้จ่าย จะพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งในส่วนของค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายส่วนผันแปร ซึ่งประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังนี้

1. ค่าใช้จ่ายในการใช้รถบรรทุกต่อวัน
2. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง
3. ค่าจ้างคนขับ
4. ค่าใช้จ่ายส่วนเพิ่มเมื่อวิ่งจำนวนรอบสูงขึ้น

ค่าใช้จ่ายเหล่านี้จะถูกคำนวณขึ้นในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมด

6.2 รายละเอียดของแบบจำลองที่ถูกสร้างขึ้น

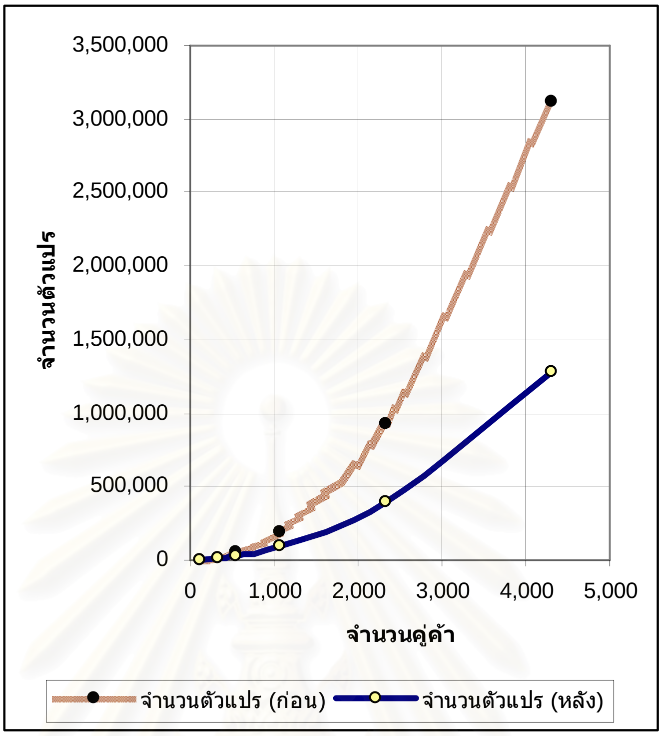
แบบจำลองการเดินรถขนส่งต่อเนื่องแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง (CMO) ที่สร้างขึ้นนั้นเป็นแบบจำลองที่แก้ปัญหาการขนส่งทีละประเภทฝูงรถ ตารางที่ 6.2 แสดงถึงรายละเอียดของแบบจำลองรวมทุกประเภทฝูงรถ

ตารางที่ 6.2 รายละเอียดของแบบจำลองที่สร้างขึ้นของแต่ละชุดปัญหา

ชุดปัญหาที่	1	2	3	4	5	6
จำนวนตัวแปร (ก่อน)	2,468	20,050	49,140	195,480	925,740	3,114,720
จำนวนตัวแปร (หลัง)	1,075	7,901	24,298	95,340	389,003	1,276,441
สัดส่วนตัวแปรที่เหลือ	44%	39%	49%	49%	42%	41%
จำนวนแถว	142	396	594	1,134	2,394	4,374
เวลาที่ใช้ในการสร้าง	0.1	0.7	1.7	7.0	31.9	111.3

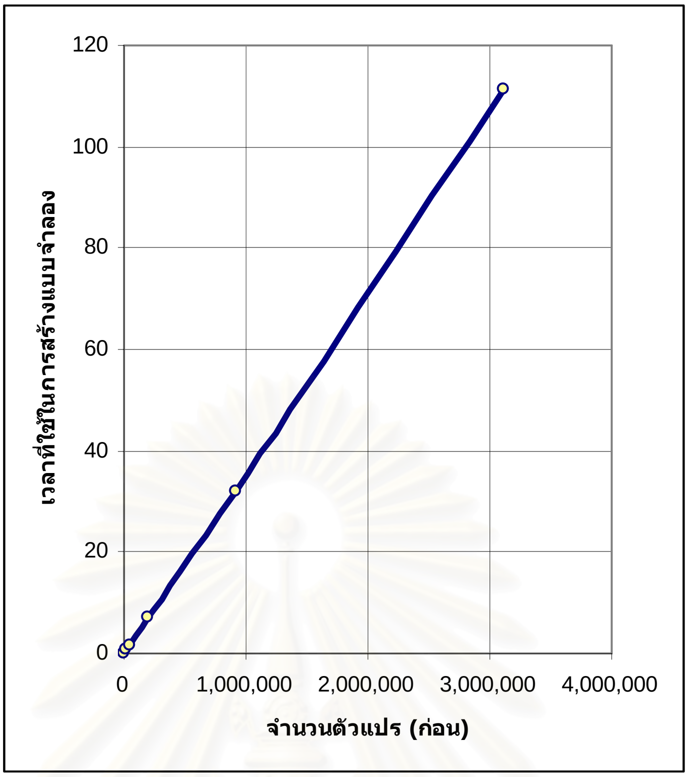
จำนวนตัวแปร (ก่อน) คือจำนวนตัวแปรก่อนการพิจารณาเงื่อนไขระยะทางเดินรถสูงสุดและข้อจำกัดทางด้านเวลา ซึ่งเมื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของเส้นทางทั้งหมดแล้ว พบว่ามีจำนวนตัวแปรหลังจากพิจารณาเงื่อนไขที่ลดลงเหลือประมาณ 39 – 49% ของจำนวนตัวแปรก่อนการพิจารณาเงื่อนไข จะเห็นได้ชัดเจนว่า การเพิ่มเงื่อนไขจะส่งผลทำให้ขนาดของปัญหาที่ต้องแก้เล็กลง ซึ่งเป็นข้อดีของแบบจำลองแบบเส้นทาง (Path Base)

อย่างไรก็ตาม จำนวนตัวแปรที่เกิดขึ้นในแบบจำลองซึ่งก็คือเส้นทางที่เป็นไปได้ มีจำนวนเพิ่มขึ้นแบบเอกโปเนนเชี่ยลเมื่อเทียบกับจำนวนคู่ค้าที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ของจำนวนคู่ค้าที่เพิ่มขึ้นกับจำนวนตัวแปร (ก่อน) และ (หลัง)

เมื่อพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองขนาดเต็ม โดยเป็นเวลารวมในขั้นตอนการสร้างและการตรวจสอบเงื่อนไขในการขนส่ง พบว่าเมื่อจำนวนตัวแปรที่ต้องพิจารณา (ก่อน) มากขึ้น เวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจะสูงขึ้นในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน ลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้สร้างแบบจำลองกับจำนวนตัวแปร (ก่อน)

อนึ่ง จะเห็นได้ว่าจำนวนแถวของแบบจำลองนั้น มีการเพิ่มขึ้นที่น้อยเมื่อเทียบกับการเพิ่มของจำนวนตัวแปร ซึ่งเป็นลักษณะของแบบจำลองที่มีโครงสร้างของแบบจำลองการแบ่งห้อง

6.3 ผลการหาค่าผลเฉลยของแบบจำลอง

การหาค่าผลเฉลยของแบบจำลอง ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบวิธีการหาค่าผลเฉลยใน 5 รูปแบบ คือ

1. การวางแผนการเดินรถแบบปรกติ

   เป็นวิธีการวางแผนโดยการจัดให้มีการเดินรถแบบไป-กลับ ซึ่งจะมีอัตราส่วนเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้นเท่ากับ 50% วิธีการจัดการเดินรถรูปแบบนี้จะเป็นตัวเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแง่ของคุณภาพของผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธีการอื่นๆ

2. การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม

   เป็นการใช้ซอฟแวร์การหาค่าที่ดีที่สุดหาผลเฉลยของแบบจำลองที่สร้างขึ้นขนาดเต็มในรูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหารูปแบบนี้จะเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดของแบบจำลอง โดยในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลเฉลยของกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม ผู้วิจัยได้กำหนดค่าความแตกต่างของผลเฉลยรูปแบบจำนวนเต็มเมื่อเทียบกับขอบเขตล่างของผลเฉลยไม่เกิน 0.25%

3. การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์

เป็นการปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหารูปแบบการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นดังที่แสดงในหัวข้อที่ 5.2.2 การแก้ปัญหารูปแบบนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของผลเฉลยที่ดีที่สุดของแบบจำลองลดขนาด (RMP) ให้มีความแตกต่างได้ไม่เกิน 0.25% ของผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาขนาดเต็มด้วยรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย

4. การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติควิธีที่ 1

เป็นการหาค่าผลเฉลยด้วยวิธีฮิวริสติควิธีที่ 1 อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยเกณฑ์ลำดับความสำคัญและอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนัก ดังแสดงในหัวข้อที่ 5.3.1

5. การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติควิธีที่ 2

เป็นการหาค่าผลเฉลยด้วยวิธีฮิวริสติควิธีที่ 2 อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยดรรชนีมูลค่าการขนส่ง ดังแสดงในหัวข้อที่ 5.3.2

อนึ่ง ในแต่ละรูปแบบการแก้ปัญหา ผู้วิจัยได้กำหนดรอบการเดินรถต่อเนื่องสูงสุดเท่ากับ 2 รอบ และใช้วิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งดังแสดงในหัวข้อ 5.5

การวิเคราะห์คุณภาพของผลเฉลยที่ได้จะพิจารณาในส่วนหลัก 4 ส่วน คือ

1. ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (Operating Cost)
2. ระยะการเดินรถเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้น (Empty Haul Distance)
3. เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา (Runtime)
4. ส่วนวิเคราะห์อื่นๆ คือ จำนวนรถที่ใช้ขนส่ง จำนวนรอบเฉลี่ยต่อคันที่ใช้ในการขนส่ง และอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนักเฉลี่ยต่อเส้นทาง

การทดสอบปัญหาแต่ละชุดนั้น ในบางชุดปัญหาใช้เวลานานมากในการประมวลผล ผู้ทดสอบจึงได้จำกัดเวลาการประมวลผลไว้ที่เวลาประมาณ 720 นาที หรือ 12 ชั่วโมง เนื่องจากลักษณะของปัญหาเป็นการขนส่งรายวัน ซึ่งการใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่มากเกินไป จะทำให้ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาไม่เหมาะสมกับการวางแผนการขนส่ง

6.3.1 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาในส่วนค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

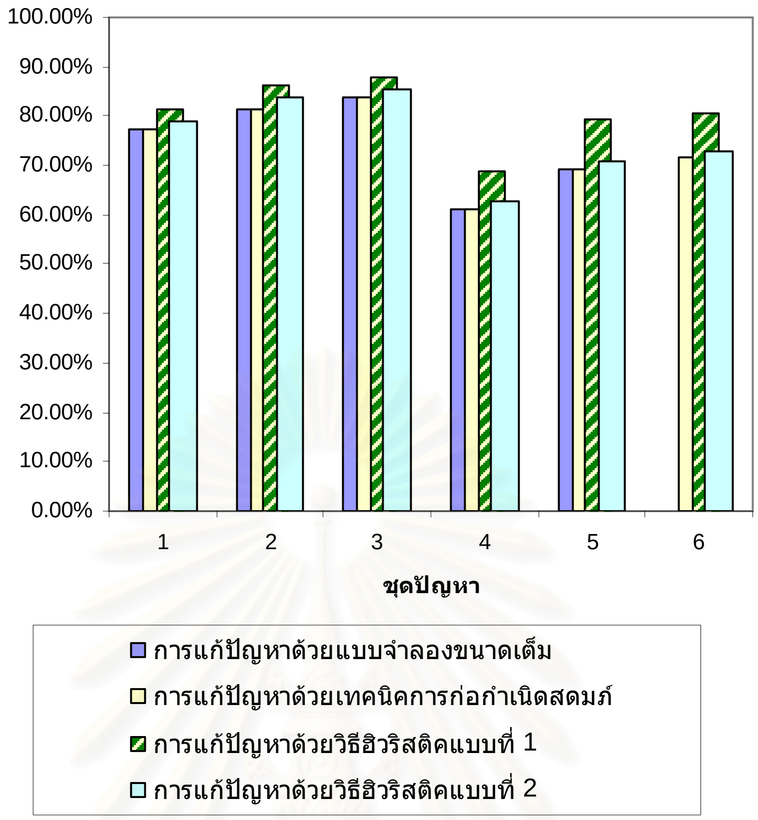
ตารางที่ 6.3 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาทั้ง 5 รูปแบบในส่วนค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

	ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง (พันบาท)					
ชุดปัญหาที่	1	2	3	4	5	6
การเดินรถแบบปรกติ	654.12	1,924.77	3,812.26	9,314.13	21,001.20	26,520.00
การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม	505.59	1,568.73	3,196.36	5,706.40	14,530.44	N/A
ค่าใช้จ่ายลดลง	*22.7%*	*18.5%*	*16.2%*	*38.7%*	*30.8%*	N/A
การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์	505.59	1,569.33	3,196.92	5,704.92	14,529.92	19,023.81
ค่าใช้จ่ายลดลง	*22.7%*	*18.5%*	*16.1%*	*38.7%*	*30.8%*	*28.3%*
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1	532.09	1,663.35	3,348.71	6,392.19	16,680.05	21,357.08
ค่าใช้จ่ายลดลง	*18.7%*	*13.6%*	*12.2%*	*31.4%*	*20.6%*	*19.5%*
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2	516.58	1,616.70	3,263.84	5,839.84	14,890.83	19,367.52
ค่าใช้จ่ายลดลง	*21.0%*	*16.0%*	*14.4%*	*37.3%*	*29.1%*	*27.0%*

หมายเหตุ: N/A คือ ใช้เวลาหาค่าผลเฉลยนานกว่า 12 ชม. จึงถือว่าไม่สามารถหาผลเฉลยได้

ทุกวิธีการหาค่าผลเฉลยที่นำมาพิจารณานั้น ต่างก็สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเดินรถลงได้เมื่อเทียบกับวิธีการเดินรถแบบปรกติ (ยกเว้นวิธีการแก้ปัญหาแบบจำลองขนาดเต็มในชุดปัญหาที่ 6 ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยได้ในเวลา 12 ชม.) เมื่อทำการวิเคราะห์คุณภาพของค่าผลเฉลยที่ได้ พบว่าค่าผลเฉลยที่ดีสุดจะสามารถหาได้โดยวิธีการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม อย่างไรก็ตาม ค่าผลเฉลยที่มีความแตกต่างกับการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์น้อยมาก (ไม่เกิน 0.1%) ส่วนวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 มีค่าผลเฉลยที่แตกต่างจากวิธีการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็มในช่วง 1-2% และวิธีการที่มีค่าผลเฉลยแตกต่างจากวิธีการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็มมากที่สุดคือ การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1 ซึ่งมีความแตกต่างอยู่ในช่วง 1.5-8% ค่าความแตกต่างดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 6.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 เปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายในการเดินทางเมื่อเทียบกับการเดินรถแบบปรกติ

ดังนั้น เมื่อเรียงลำดับประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยตามคุณภาพของผลเฉลยที่ได้ สามารถสรุปลำดับวิธีการที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้ดีที่สุดได้ดังนี้

1. การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม ลดค่าใช้จ่ายลงได้ 25.4% โดยเฉลี่ย
2. การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ ลดค่าใช้จ่ายลงได้ 25.9% โดยเฉลี่ย
3. การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 ลดค่าใช้จ่ายลงได้ 24.1% โดยเฉลี่ย
4. การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1 ลดค่าใช้จ่ายลงได้ 19.3% โดยเฉลี่ย

อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหา ต้องคำนึงถึงประเด็นอื่นๆ ประกอบ ในส่วนถัดไปจะทำการวิเคราะห์ปัญหาในแง่ของระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าที่ลดลง

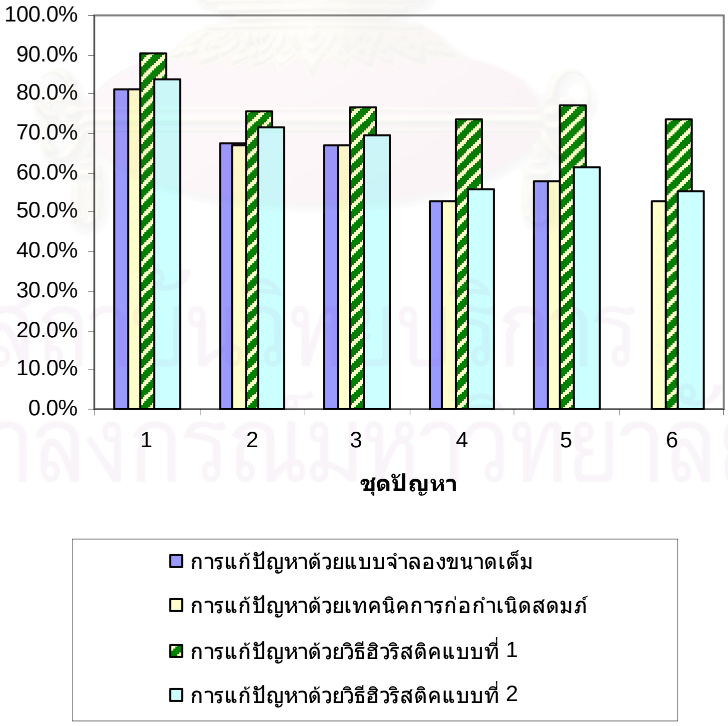
6.3.2 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาในส่วนระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่า

ตารางที่ 6.4 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหาทั้ง 5 รูปแบบในส่วนระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่า

	ระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่า (กิโลเมตร)					
ชุดปัญหาที่	1	2	3	4	5	6
การเดินรถแบบปรกติ	17,307	60,777	110,386	223,201	518,606	772,907
การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม	14,045	40,906	73,806	117,488	299,441	N/A
สัดส่วนเที่ยวเปล่าเทียบกับการเดินรถแบบปรกติ	*81.2%*	*67.3%*	*66.9%*	*52.6%*	*57.7%*	N/A
การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์	14,045	40,871	73,754	117,441	299,449	407,533
สัดส่วนเที่ยวเปล่าเทียบกับการเดินรถแบบปรกติ	*81.2%*	*67.2%*	*66.8%*	*52.6%*	*57.7%*	*52.7%*
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1	15,678	45,959	84,678	164,112	400,756	567,626
สัดส่วนเที่ยวเปล่าเทียบกับการเดินรถแบบปรกติ	*90.6%*	*75.6%*	*76.7%*	*73.5%*	*77.3%*	*73.4%*
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2	14,525	43,595	76,882	124,865	317,286	427,592
สัดส่วนเที่ยวเปล่าเทียบกับการเดินรถแบบปรกติ	*83.9%*	*71.7%*	*69.6%*	*55.9%*	*61.2%*	*55.3%*

หมายเหตุ: N/A คือ ใช้เวลาหาค่าผลเฉลยนานกว่า 12 ชม. จึงถือว่าไม่สามารถหาผลเฉลยได้

จากการวิเคราะห์พบว่า การแก้ปัญหาแบบจำลองขนาดเต็มกับการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ให้ค่าผลเฉลยที่มีสัดส่วนระยะทางเดินรถที่ต่ำที่สุด และผลเฉลยของทั้งวิธีการมีความใกล้เคียงกันมาก สัดส่วนระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6.4

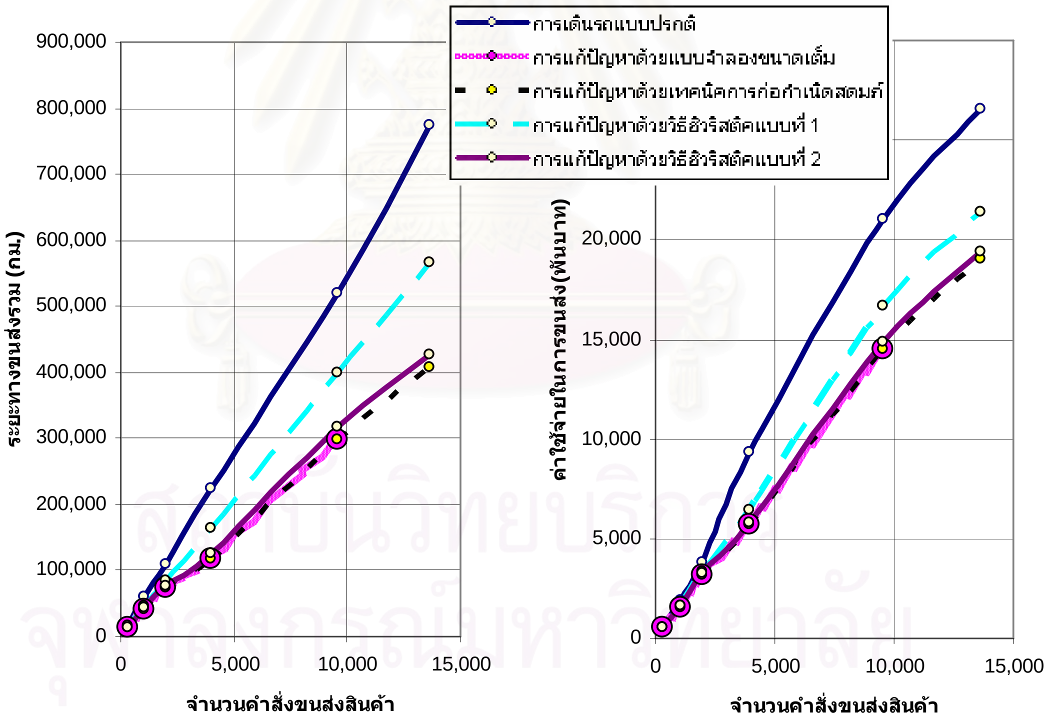


รูปที่ 6.4 เปอร์เซ็นต์ระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าเมื่อเทียบกับการเดินรถแบบปรกติ

จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการลดระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้นของวิธีการแก้ปัญหารูปแบบต่างๆ นั้น เป็นเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ส่วนค่าใช้จ่ายในหัวข้อที่ 6.3.1 ดังนี้

1. การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม
   ลดระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าลงได้ 28.0% โดยเฉลี่ย
2. การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์
   ลดระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าลงได้ 27.9% โดยเฉลี่ย
3. การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2
   ลดระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าลงได้ 26.4% โดยเฉลี่ย
4. การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1
   ลดระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าลงได้ 21.8% โดยเฉลี่ย

เมื่อทำการวิเคราะห์สาเหตุที่เกิดขึ้นพบว่า ค่าใช้จ่ายในการขนส่งกับระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่านั้น มีความสัมพันธ์กับจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าในลักษณะการเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการขนส่งและระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่ากับจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า

ทั้งนี้เนื่องจาก ค่าใช้จ่ายส่วนหลักในการเดินรถขนส่งสินค้าในแต่ละเส้นทางนั้น เป็นค่าใช้จ่ายที่ผันแปรกับระยะทางที่เดินรถขนส่ง ดังนั้น การลดระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าจึงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดลงเช่นเดียวกัน

6.3.3 ประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยในแง่ของเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา

การวัดประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยส่วนหนึ่งที่สำคัญคือ เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาแบบจำลองที่สร้างขึ้น เนื่องจากลักษณะการจัดการขนส่งสินค้าเป็นการดำเนินการแบบรายวัน การหาค่าผลเฉลยเพื่อนำมาพิจารณาการดำเนินการจึงต้องเสร็จสิ้นในช่วงเวลาที่ยอมรับได้ เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาของรูปแบบวิธีการหาค่าผลเฉลยแบบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 6.5 อนึ่ง รูปแบบการวางแผนการเดินรถแบบปรกติจะถือว่าสามารถวางแผนได้ในระยะเวลาอันสั้น จึงไม่นำมาพิจารณาในส่วนนี้

ตารางที่ 6.5 เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 5 แบบ

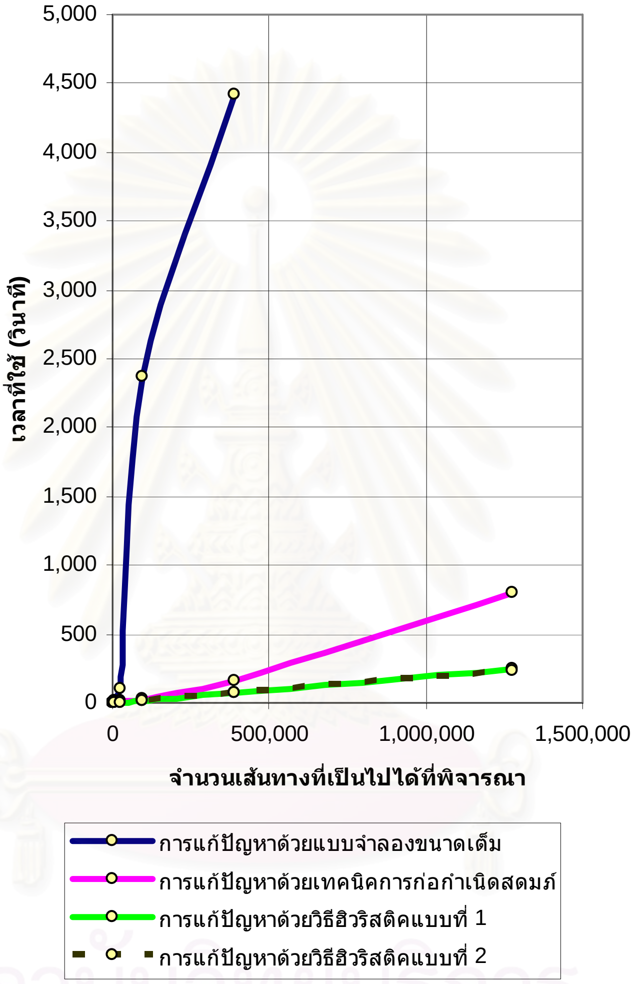
	เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย (วินาที)					
ชุดปัญหาที่	1	2	3	4	5	6
การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม	0.5	19.1	107.6	2,375.5	4,421.5	> 12 ชม.
การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์	0.4	2.3	7.6	26.2	159.3	806.5
% เวลาเทียบกับการแก้ปัญหาขนาดเต็ม	*88%*	*12.1%*	*7.0%*	*1.1%*	*3.6%*	*1.9%*
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1	0.2	1.6	3.6	14.4	67.3	248.2
% เวลาเทียบกับการแก้ปัญหาขนาดเต็ม	*45%*	*8.4%*	*3.4%*	*0.6%*	*1.5%*	*0.6%*
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2	0.2	1.6	3.6	14.4	68.2	237.4
% เวลาเทียบกับการแก้ปัญหาขนาดเต็ม	*45%*	*8.3%*	*3.3%*	*0.6%*	*1.5%*	*0.5%*

จะเห็นได้ว่า ขนาดของปัญหาที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่สูงกว่า และเมื่อพิจารณาวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยในแง่ของเวลาที่ใช้ดีที่สุด โดยพิจารณาเวลาที่ใช้เปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็มซึ่งใช้เวลาในการแก้ปัญหานานที่สุด ได้ลำดับดังนี้

1. การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2
2. การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1
3. การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์
4. การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาแนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา พบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 รูปแบบ คือ การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1 การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 และการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ จะสามารถลดเวลาในการหาผลเฉลยได้มากขึ้นเมื่อขนาดปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยกับจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ที่ต้องพิจารณา



รูปที่ 6.6 ความสัมพันธ์ของเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยกับจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ที่พิจารณา

จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ ช่วงความแตกต่างของเวลาที่ใช้ในวิธีการแก้ปัญหาขนาดเต็ม กับวิธีการแก้ปัญหาอีก 3 รูปแบบจะเพิ่มขึ้น โดยวิธีฮิวริสติคทั้ง 2 รูปแบบสามารถแก้ปัญหาได้โดยเวลาในการหาค่าผลเฉลยต่ำที่สุด

6.3.4 ประสิทธิภาพของวิธีการหาผลเฉลยในส่วนวิเคราะห์อื่นๆ

ในส่วนนี้ จะทำการวิเคราะห์ส่วนอื่นๆ คือ จำนวนรถที่ใช้ขนส่ง จำนวนรอบเฉลี่ยต่อคันที่ใช้ในการขนส่ง และอัตราส่วนระยะทางการเดินรถเที่ยวหนักเฉลี่ยต่อเส้นทางของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 5 รูปแบบ

1. จำนวนรถที่ใช้ขนส่ง

จำนวนรถที่ใช้ขนส่งที่ได้จากผลเฉลยในวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 5 รูปแบบเป็นดังนี้

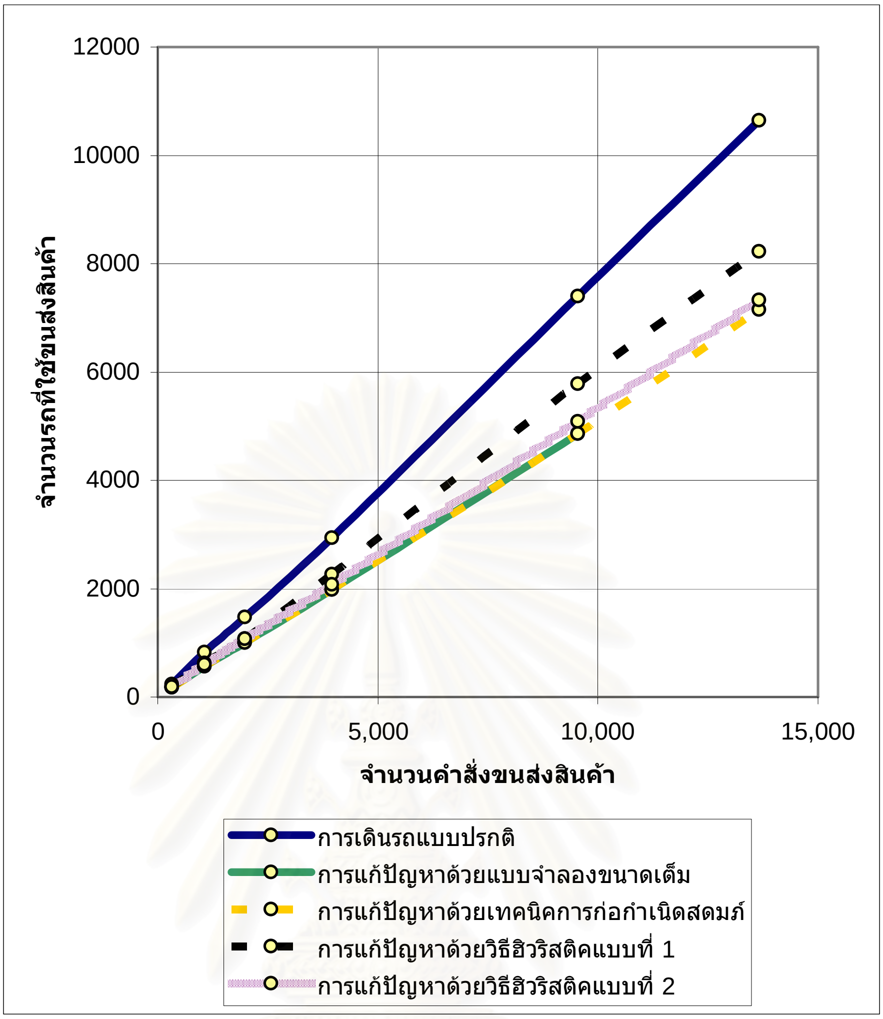
ตารางที่ 6.5 จำนวนรถที่ใช้ในการหาผลเฉลยของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 5 แบบ

	จำนวนรถที่ใช้ (คัน)					
ชุดปัญหาที่	1	2	3	4	5	6
การเดินรถแบบปรกติ	237	827	1,479	2,940	7,401	10,638
การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม	180	565	1,003	1,988	4,866	N/A
การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์	180	566	1,004	1,983	4,856	7,154
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1	192	621	1,078	2,269	5,783	8,225
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2	192	604	1,076	2,077	5,087	7,324

จะเห็นได้ว่าจำนวนรถที่ใช้จากผลเฉลยจากการแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม และการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งสัมพันธ์กับค่าใช้จ่ายที่ใกล้เคียงกันดังแสดงในหัวข้อที่ 6.3.1 ส่วนวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 และวิธีการฮิวริสติคแบบที่ 1 จะให้ค่าผลเฉลยที่ใช้จำนวนรถมากขึ้นตามลำดับ และการจัดการเดินรถรูปแบบปรกติจะใช้จำนวนรถในการขนส่งมากที่สุด

ความสัมพันธ์ของจำนวนรถที่ใช้ และจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้ามีลักษณะเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 6.7 เมื่อคำสั่งขนส่งสินค้ามากขึ้น จะทำให้จำนวนรถที่ใช้เพิ่มขึ้นในอัตราส่วนใกล้เคียงกันในทุกรูปแบบการแก้ปัญหา

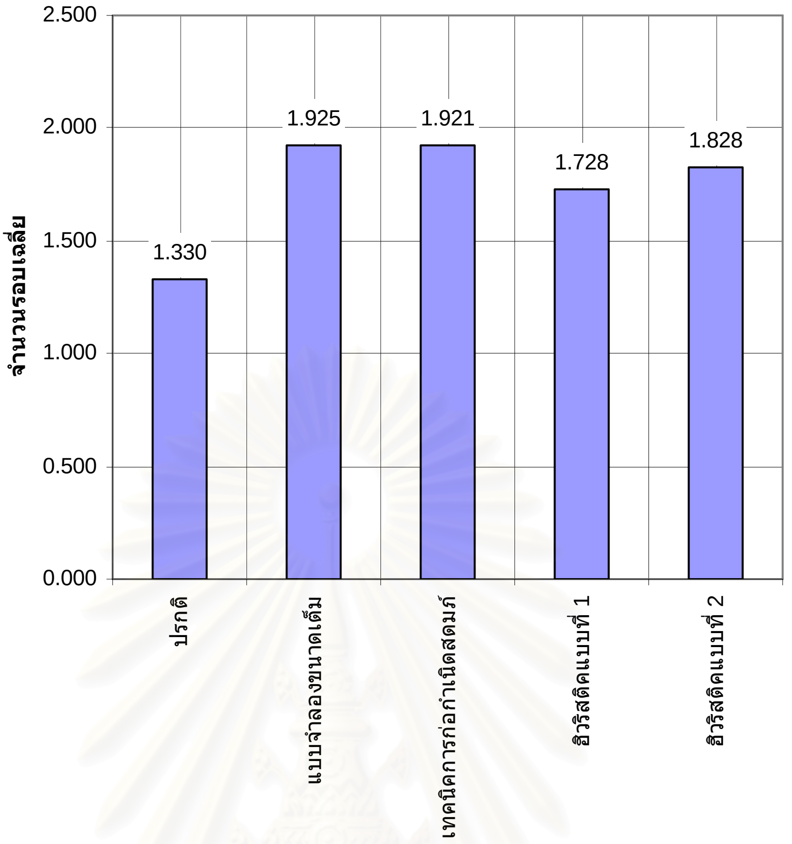
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ของจำนวนรถที่ใช้ในการหาผลเฉลยกับจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า

2. จำนวนรอบเฉลี่ยต่อคันที่ใช้ในการขนส่ง

จำนวนรอบเฉลี่ยที่ใช้ในการขนส่งจะแสดงถึงการใช้ประโยชน์จากรถบรรทุก รูปแบบการหาผลเฉลยที่ให้จำนวนรอบการขนส่งเฉลี่ยต่อคันที่สูง จะแสดงถึงการจัดการเดินรถขนส่งที่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือ รถ 1 คันสามารถทำการขนส่งไปยังคู่ค้าได้หลายรอบการขนส่งมากกว่ารูปแบบการหาผลเฉลยที่ให้จำนวนรอบการขนส่งเฉลี่ยต่อคันที่ต่ำ จำนวนรอบเฉลี่ยที่เกิดขึ้นของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 5 รูปแบบเป็นดังแสดง



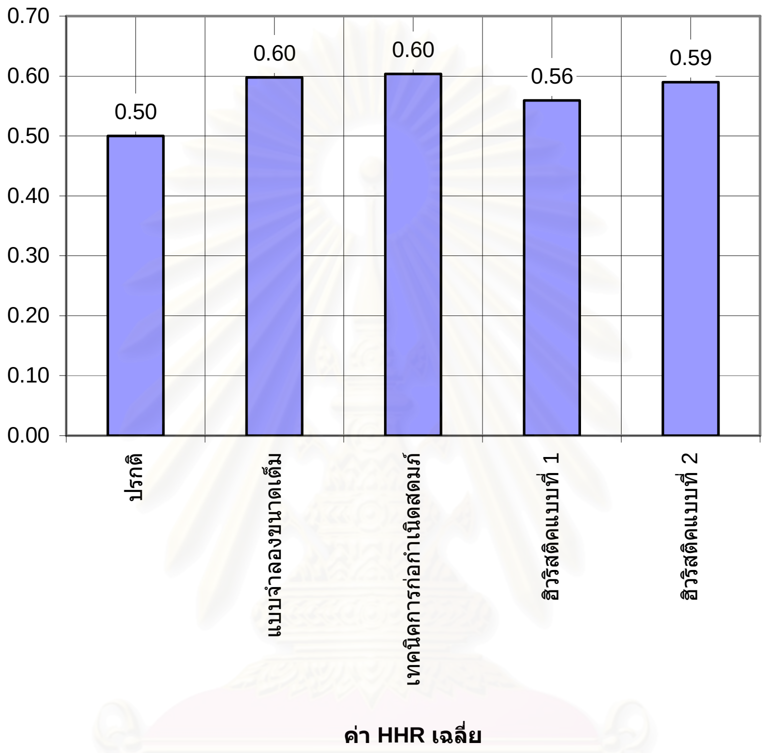
รูปที่ 6.8 จำนวนรอบเฉลี่ยที่เกิดขึ้นของวิธีการแก้ปัญหาทั้ง 5 รูปแบบ

จะเห็นได้ชัดเจนว่า วิธีการที่ให้ค่าผลเฉลยที่มีคุณภาพดีนั้น จะมีจำนวนรอบเฉลี่ยต่อคันของรถบรรทุกขนส่งที่สูง ดังนั้น การจัดการขนส่งต่อเนื่องที่มีประสิทธิภาพ จึงสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบการขนส่งต่อคัน ประกอบกับการลดระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. อัตราส่วนระยะทางการเดินรถเที่ยวหนักเฉลี่ยต่อเส้นทาง

อัตราส่วนระยะทางการเดินรถเที่ยวหนักเฉลี่ยต่อเส้นทางคือค่า HHR ที่พิจารณาในส่วนนี้จะวิเคราะห์ถึงค่า HHR เฉลี่ยของเส้นทางที่ถูกเลือกใช้ในการเดินรถขนส่งของวิธีการหาผลเฉลยทั้ง 5 รูปแบบ อนึ่ง วิธีการเดินรถขนส่งแบบปรกตินั้น จะมีค่านี้เท่ากับ 0.5 เนื่องจากเป็นการวิ่งแบบไป-กลับ



รูปที่ 6.9 ค่า HHR เฉลี่ยของวิธีการหาผลเฉลยทั้ง 5 รูปแบบ

ค่า HHR มีค่าอยู่ระหว่าง 0.56 – 0.60 สำหรับวิธีการหาผลเฉลยที่พัฒนาขึ้น ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันมาก อย่างไรก็ตาม วิธีการหาผลเฉลยที่มีค่า HHR เฉลี่ยสูง จะมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำ

การวิเคราะห์ปัญหาในส่วนนี้ เป็นการวิเคราะห์ถึงคุณภาพและประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดเท่านั้น ในส่วนถัดไปผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ในส่วนของขนาดของปัญหาในแบบจำลองจำกัดขนาด (RMP) ของวิธีการก่อกำเนิดสดมภ์ และผลลัพธ์ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของกรอบเวลาการรับสินค้าของลูกค้า

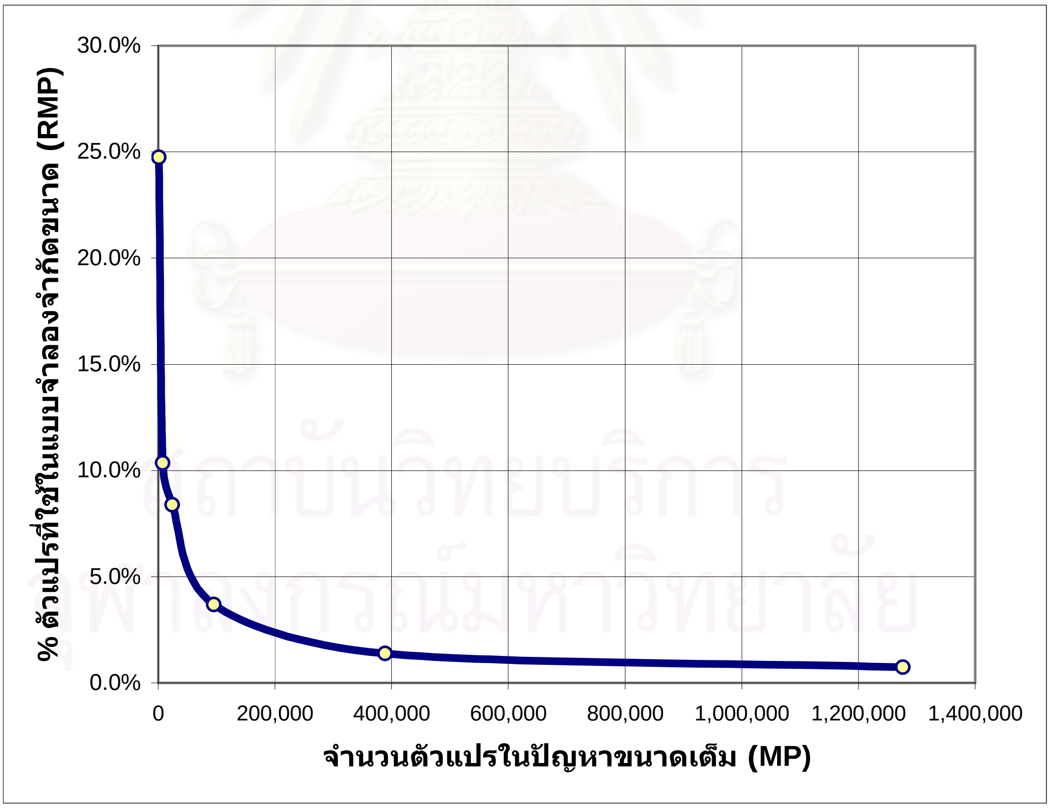
6.4 การวิเคราะห์ขนาดของแบบจำลองจำกัดขนาดในวิธีการใช้เทคนิคก่อกำเนิดสดมภ์

การใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์เป็นวิธีการลดจำนวนเส้นทางที่ต้องพิจารณาดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 5.2.3 ประสิทธิภาพของวิธีการแก้ปัญหาจึงขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นทางที่เป็นไปได้หรือตัวแปรที่ต้องพิจารณานั่นเอง จากการแก้ปัญหาข้อมูลตัวอย่างทั้ง 6 ชุดดังกล่าว จำนวนตัวแปรที่พิจารณาในแบบจำลองจำกัดขนาดเป็นดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ขนาดของแบบจำลองจำกัดขนาดในวิธีการใช้เทคนิคก่อกำเนิดสดมภ์

ชุดปัญหาที่	1	2	3	4	2	6
จำนวนตัวแปรในปัญหาขนาดเต็ม (MP)	1,075	7,901	24,298	95,340	389,003	1,276,441
จำนวนตัวแปรในปัญหาจำกัดขนาด (RMP)	266	818	2036	3514	5380	9480
% ของตัวแปรที่พิจารณา	24.7%	10.4%	8.4%	3.7%	1.4%	0.7%

จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น กล่าวคือมีตัวแปรที่ต้องพิจารณาในปัญหาขนาดเต็มมากขึ้น จำนวนตัวแปรที่ต้องพิจารณาในแบบจำลองจำกัดขนาดจะมีสัดส่วนที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 6.10



รูปที่ 6.10 สัดส่วนตัวแปรที่พิจารณาในแบบจำลองจำกัดขนาดเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น

ทั้งนี้เนื่องจาก การเพิ่มขึ้นของตัวแปรที่พิจารณาในรูปแบบเอกโปเนนเชี่ยลเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น แต่เส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced Cost) ที่เป็นลบที่นำมาพิจารณาในการเพิ่มตัวแปรลงในแบบจำลองจำกัดขนาด ซึ่งจะแสดงถึงคุณภาพของเส้นทางที่สามารถขนส่งได้โดยมีแนวโน้มการใช้ค่าใช้จ่ายที่ลดลงมีจำนวนที่เพิ่มขึ้นที่ไม่ได้สัมพันธ์กับจำนวนตัวแปรที่ต้องพิจารณาในปัญหาเต็ม ลักษณะการเพิ่มของตัวแปรกลุ่มนี้มีอัตราส่วนที่น้อยกว่าตัวแปรที่พิจารณาทั้งหมด ดังนั้น การใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์จึงมีจำนวนตัวแปรที่ต้องพิจารณาเป็นสัดส่วนที่ลดลงเมื่อขนาดของปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น การแก้ปัญหาโดยการใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์จึงสามารถลดเวลาในการหาค่าผลเฉลยได้ในสัดส่วนที่มากขึ้นเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นเช่นเดียวกัน

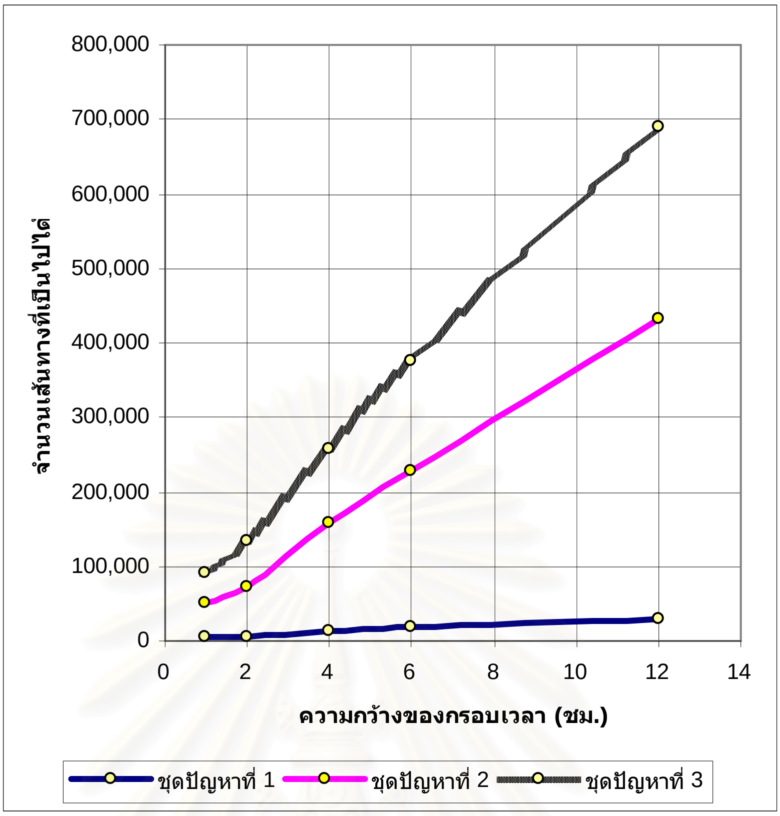
6.5 การวิเคราะห์ผลของความกว้างกรอบเวลาของลูกค้าในการขนส่ง

กรอบเวลาการขนส่ง เป็นข้อจำกัดในการขนส่งที่ส่งผลต่อการหาผลเฉลยในแง่ของเส้นทางที่เป็นไปได้ในการวางแผนการเดินรถขนส่ง การวิเคราะห์ในส่วนนี้ ผู้วิจัยได้สร้างชุดปัญหาสำหรับการวิเคราะห์ขึ้นมา 3 ชุด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 6.6 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์ผลของความกว้างกรอบเวลาของลูกค้าในการขนส่ง

ชุดปัญหา	1	2	3
จำนวนโรงงาน	9	9	9
จำนวนลูกค้า	102	164	134
จำนวนคู่ค้า	180	720	900
จำนวนรอบการขนส่งที่ต้องการ	750	2132	4437
จำนวนรถบรรทุกในแต่ละจุดเริ่มต้น	75	200	320
ระยะทางวิ่งเที่ยวหนัก	87,037	246,209	550,392
ค่าใช้จ่ายในการเดินรถแบบปรกติ	1,656,904	6,782,440	12,575,108

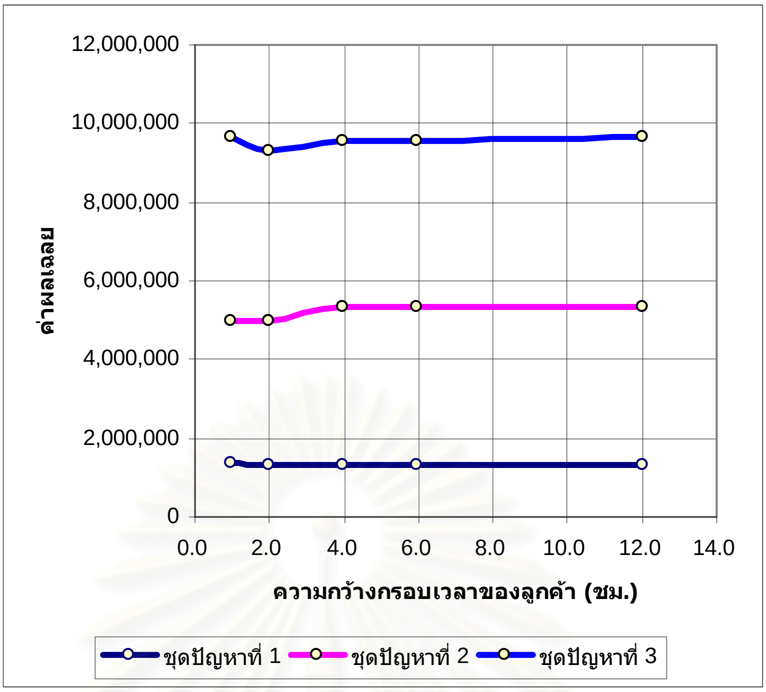
ในการหาผลเฉลย ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ในการวิเคราะห์ผลเฉลยเนื่องจากเป็นวิธีการที่ให้ค่าผลเฉลยที่ใกล้เคียงผลเฉลยที่ดีที่สุดมาก และใช้เวลาในการหาค่าผลเฉลยในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ รายละเอียดการสร้างแบบจำลองโดยการพิจารณาจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ภายใต้กรอบเวลานั้น เป็นดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 จำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้เมื่อกรอบเวลามีการเปลี่ยนแปลง

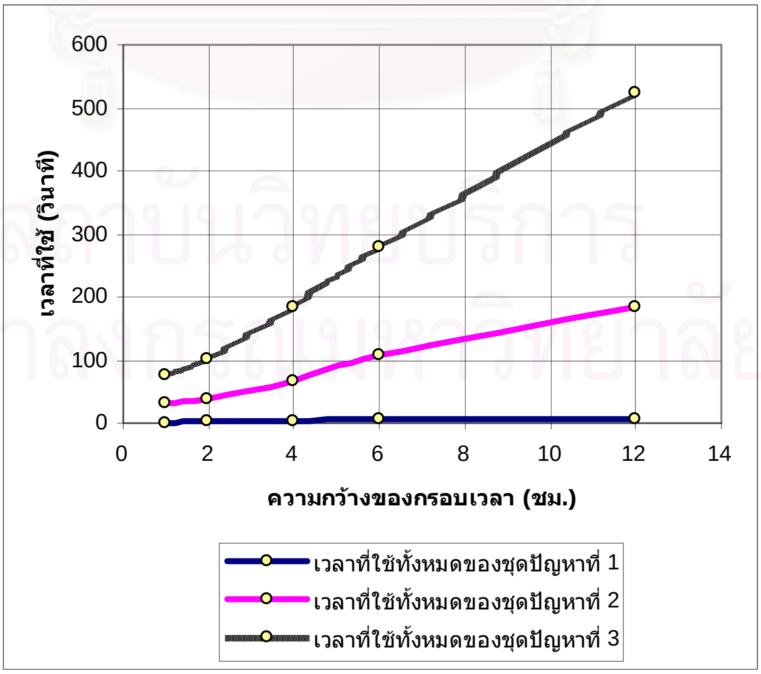
จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า กรอบเวลาที่มีความกว้างของช่วงเวลามากขึ้น จะส่งผลให้การวางแผนการเดินรถขนส่งจะสามารถสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้ในการขนส่งได้จำนวนมากกว่ากรอบเวลาที่มีความแคบของช่วงเวลา ดังนั้น ผลของกรอบเวลาจึงส่งผลต่อขนาดของปัญหาที่ต้องพิจารณาโดยตรง ในรูปที่ 6.12 ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ในแง่ของผลเฉลยที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งพบว่าไม่มีนัยสำคัญใดๆ แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงกรอบเวลาจะส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการเดินรถขนส่งมีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.12 การเปลี่ยนแปลงของค่าผลเฉลยเมื่อกรอบเวลามีการเปลี่ยนแปลง

สังเกตได้ว่า ค่าผลเฉลย (ต้นทุน) ที่เกิดขึ้นนั้นมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากเมื่อกรอบเวลามีขนาดใหญ่ขึ้น อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงกรอบเวลาจะส่งผลต่อขนาดของปัญหาที่พิจารณา ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ถึงเวลาทั้งหมดในการหาผลเฉลยของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 6.13 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เวลาที่ใช้ในการหาค่าผลเฉลยมีค่าสูงขึ้นเมื่อกรอบเวลากว้างขึ้น เนื่องจากขนาดของปัญหาที่พิจารณาที่ใหญ่ขึ้นนั่นเอง



รูปที่ 6.13 การเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ใช้ในการหาค่าผลเฉลยเมื่อกรอบเวลามีการเปลี่ยนแปลง

การเปลี่ยนแปลงของกรอบเวลาที่ส่งผลต่อแบบจำลองที่มีโครงสร้างของแบบจำลองการแบ่งห้องนั้น ทำให้ขนาดของแบบจำลองมีขนาดเล็กลงเมื่อกรอบเวลามีความแคบของช่วงเวลามากขึ้น ดังนั้น การพิจารณาใช้แบบจำลองการแบ่งห้องในลักษณะปัญหาที่มีข้อจำกัดในการขนส่งทางด้านเวลามาก จึงมีความเหมาะสมในแง่ของประสิทธิภาพในการหาค่าผลเฉลย เนื่องจากการมีข้อจำกัดต่อเส้นทางที่มากขึ้น จะส่งผลให้เกิดเส้นทางที่เป็นไปได้ในการขนส่งที่น้อยลง ขนาดปัญหาที่ต้องพิจารณาจึงมีขนาดเล็กลงตามลำดับ

ในบทนี้ ผู้วิจัยในทำการทดสอบหาผลเฉลยขอแบบจำลองด้วยชุดปัญหา 6 ชุดตัวอย่าง พบว่าวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นต่างก็สามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งลงได้ อย่างไรก็ตาม คุณภาพของค่าผลเฉลยและประสิทธิภาพในการหาค่าผลเฉลยของวิธีการต่างๆ นั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 การสรุปในแง่มุมต่างๆ ของวิธีการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้น

	คุณภาพของผลเฉลย	การลดการวิ่งเที่ยวเปล่า	เวลาที่ใช้หาผลเฉลย
การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็ม	ดีมาก	ดีมาก	แย่มาก
การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์	ดีมาก	ดีมาก	ดี
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1	ดี	ดี	ดีมาก
การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2	ดีมาก	ดีมาก	ดีมาก

อย่างไรก็ตาม การพิจารณาเลือกวิธีการที่เหมาะสมในการหาผลเฉลย จำเป็นต้องวิเคราะห์ถึงความเหมาะสมทั้งในของของคุณภาพของผลเฉลย และเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย ผู้วิจัยได้แนะนำวิธีการการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ และวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยดรรชนีมูลค่าการขนส่งเป็นวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงในการหาค่าผลเฉลย

บทที่ 7
สรุปและเสนอแนะแนวทางการพัฒนาในอนาคต

7.1 สรุป

ปัญหาการเดินรถเที่ยวเปล่าเป็นปัญหาที่สำคัญในการวางแผนและดำเนินงานของการขนส่งแบบเต็มคันรถที่มีลักษณะการขนส่งสินค้าจากจุดเริ่มต้นตรงไปยังจุดปลายทางโดยไม่มีการแวะรับ-ส่งสินค้าในระหว่างเส้นทางการขนส่ง ระยะทางเดินรถเที่ยวเปล่าที่เกิดขึ้นนั้น สามารถลดลงได้โดยใช้การควบรวมรอบการขนส่งตั้งแต่ 2 รอบหรือมากกว่า เพื่อให้เกิดเส้นทางการขนส่งที่ต่อเนื่อง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่องโดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนวิธีการสำหรับโครงข่ายการขนส่งขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนสูงในด้านต่างๆ คือ ความเข้ากันได้ของประเภทรถและสินค้า ค่าใช้จ่ายที่ขึ้นอยู่กับแต่ละลักษณะการเดินรถ และกรอบเวลา

ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในชื่อ แบบจำลองการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง (Continuous Move Optimization Model) ซึ่งมีโครงสร้างของแบบจำลองในลักษณะของแบบจำลองการแบ่งห้อง โดยผู้วิจัยขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาถูกพัฒนาขึ้นใน 2 รูปแบบ คือ

1. การแก้ปัญหาแบบแม่นตรงโดยใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์เข้าช่วยในการแก้ปัญหา (Exact Column-generation-based Branch-and-bound Algorithm) กระบวนการที่สำคัญคือ การสร้างแบบจำลองลดขนาด (Reduced Size Problem) เพื่อแก้ปัญหา ถ้าผลที่ได้ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดก็จะเพิ่มตัวแปรที่สามารถให้ค่าผลเฉลยที่ดีขึ้นได้ และแก้ปัญหาใหม่จนกระทั่งได้ค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดหรือไม่มีตัวแปรที่ให้ค่าผลเฉลยที่ดีขึ้นได้อีก
2. วิธีฮิวริสติก (Heuristic) ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหานี้ถูกใช้ในการหาเส้นทางที่มีคุณภาพดีจากตัวชี้วัดที่เหมาะสม โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ตัวชี้วัด 2 รูปแบบ คือ อัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนัก (Heavy Haul Ratio) และดรรชนีมูลค่าการขนส่ง (Trip Value Index - TVI) โดยพัฒนาวิธีการฮิวริสติคขึ้นใน 2 รูปแบบที่มีชื่อว่า อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยเกณฑ์ลำดับความสำคัญและอัตราส่วนการเดินรถเที่ยวหนัก และอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยดรรชนีมูลค่าการขนส่ง

การทดสอบแบบจำลองได้ใช้ชุดข้อมูลทั้งสิ้น 6 ชุดข้อมูล โดยเรียงจากชุดข้อมูลขนาดเล็กไปยังขนาดใหญ่ กำหนดให้รถบรรทุกสามารถเดินรถต่อเนื่องได้ 2 เที่ยวต่อวัน ข้อจำกัดทางด้านกรอบเวลาที่ใช้ จะกำหนดให้โรงงานเปิดเพื่อนำสินค้าขึ้น–ลงในช่วงเวลา 8.00–18.00 น. และรถบรรทุกที่ประจำในแต่ละโรงงานจะต้องกลับมายังโรงงานก่อนเวลา 21.00 น. ส่วนกรอบเวลาของลูกค้านั้นจะมีความแตกต่างกันในลูกค้าแต่ละราย

การพิจารณาเส้นทางที่เป็นไปได้ในเงื่อนไขข้อจำกัดของปัญหาในด้านต่างๆ คือ ลักษณะสินค้า ฝูงรถ เวลาการนำสินค้าขึ้น-ลง ช่วงเวลาห้ามวิ่ง และกรอบเวลา พบว่าจำนวนตัวแปรก่อนการพิจารณาเงื่อนไขระยะทางเดินรถสูงสุดและข้อจำกัดทางด้านเวลา ซึ่งเมื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ของเส้นทางทั้งหมดแล้ว มีจำนวนตัวแปรหลังจากพิจารณาเงื่อนไขที่ลดลงเหลือประมาณ 39 – 49% ของจำนวนตัวแปรก่อนการพิจารณาเงื่อนไข จะเห็นได้ชัดเจนว่า การเพิ่มเงื่อนไขจะส่งผลทำให้ขนาดของปัญหาที่ต้องแก้เล็กลง ซึ่งเป็นข้อดีของแบบจำลองแบบเส้นทาง (Path Base)

ในการหาค่าผลเฉลย ผลที่ได้แสดงถึงการลดระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าที่สูง ตั้งแต่ 30% ถึง 42% เมื่อเทียบกับระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าในกรณีการวิ่งแบบไป-กลับ โดยในขนาดปัญหาที่ใหญ่ขึ้นจะมีสัดส่วนระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าที่ต่ำลง แต่สัดส่วนเที่ยวเปล่าจะลดลงในอัตราส่วนที่น้อยลงเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจาก (i) การมีคำสั่งการขนส่งมากขึ้นทำให้เกิดรูปแบบการควบรวมรอบการขนส่งมากขึ้น (ii) การลดสัดส่วนระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าที่ในอัตราส่วนที่น้อยลงเนื่องจากการมีระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าที่ต้องเกิดขึ้น (Deadweight Empty Haul Distance) ซึ่งเป็นลักษณะที่สะท้อนถึงปัญหาจริง

การแก้ปัญหาแบบจำลองขนาดเต็มและการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ให้ค่าผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยมีสัดส่วนระยะทางเดินรถที่ต่ำที่สุด และผลเฉลยของทั้งวิธีการมีความใกล้เคียงกันมาก ส่วนวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 ที่ใช้ตัวชี้วัด คือ ค่าดรรชนีมูลค่าการขนส่ง มีค่าผลเฉลยที่แตกต่างจากวิธีการแก้ปัญหาแบบจำลองขนาดเต็มอยู่ในช่วงประมาณ 1-2% และวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1 ให้ผลเฉลยที่คุณภาพต่ำที่สุด การพิจารณาประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยในแง่ของเวลาเปรียบเทียบกับการแก้ปัญหาขนาดเต็ม วิธีที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 รูปแบบ คือ การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 1 การแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 และการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ จะสามารถลดเวลาในการหาผลเฉลยได้มากขึ้นเมื่อขนาดปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น โดยวิธีฮิวริสติคทั้ง 2 รูปแบบสามารถแก้ปัญหาได้โดยเวลาในการหาค่าผลเฉลยต่ำที่สุด

ผู้วิจัยได้แนะนำวิธีการการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์ และวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติคแบบที่ 2 อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางการเดินรถอย่างต่อเนื่องด้วยดรรชนีมูลค่าการขนส่ง เป็นวิธีการที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงในการหาค่าผลเฉลย

7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต

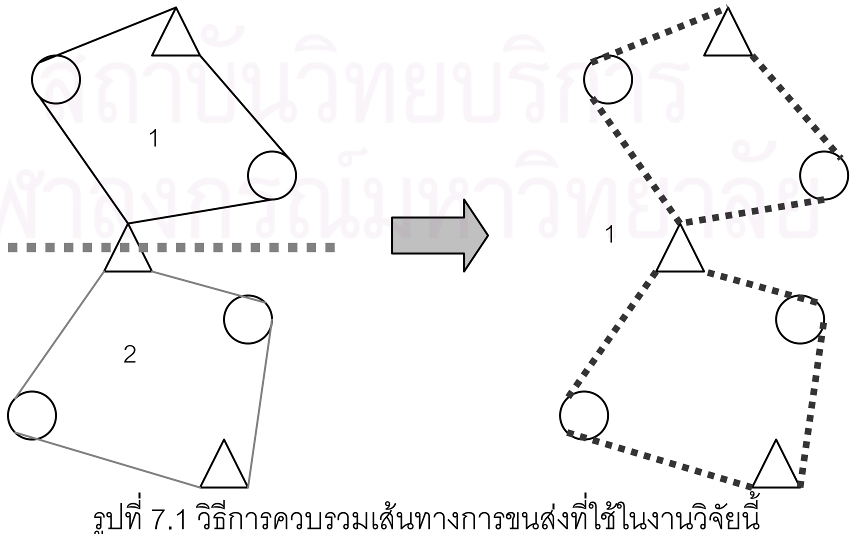
งานวิจัยนี้ ยังมีส่วนสำคัญที่สามารถพัฒนาต่อเนื่องในอนาคตได้ ซึ่งผู้วิจัยได้เล็งเห็นประเด็นสำคัญต่างๆ ดังนี้

7.2.1 การพัฒนาประสิทธิภาพของเทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์

ในงานวิจัยนี้ การใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์จะต้องพิจารณาเส้นทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้โดยต้องพิจารณาเส้นทางที่ไม่อยู่ในแบบจำลองจำกัดขนาด (RMP) ทั้งหมด ดังนั้น การเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการใช้เทคนิคการก่อกำเนิดสดมภ์อาจทำได้โดยการพัฒนาขั้นตอนวิธีการในการหาเส้นทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้สูงที่สุด เช่น การประยุกต์การแก้ปัญหาระยะทางสั้นที่สุด (Shortest Path Problem) มาใช้ในการสร้างเส้นทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้สูงที่สุด ซึ่งจะทำให้สามารถลดจำนวนเส้นทางที่ต้องพิจารณาลงได้ ทำให้เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยลดลง

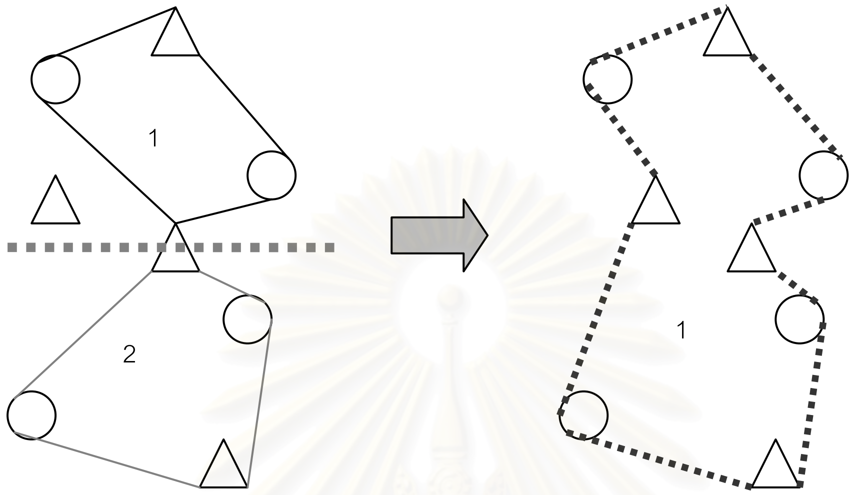
7.2.2 การพัฒนาวิธีการควบรวมเที่ยวการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ

ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ 5.5 ถึงวิธีการในการควบรวมเที่ยวการขนส่ง อย่างไรก็ตาม การควบรวมเที่ยวการขนส่งในงานวิจัยนี้เป็นลักษณะการควบรวมระหว่างเส้นทางการขนส่งที่มีการกลับมายังจุดเริ่มต้น และให้รถมีการวิ่งต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 วิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ซึ่งวิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งที่สามารถก่อให้เกิดประสิทธิภาพของการพัฒนาคุณภาพของผลเฉลยได้นั้น จะต้องมีการควบรวมเส้นทางที่ทำให้เกิดทางเลือกในการขนส่งได้มากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 วิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ

วิธีการควบรวมเส้นทางการขนส่งดังกล่าว จะทำให้เกิดเส้นทางการขนส่งเส้นทางใหม่ที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการเดินรถขนส่งลงได้ อย่างไรก็ตาม ความซับซ้อนในการสร้างเส้นทางการขนส่งลักษณะนี้อยู่ที่ลักษณะของปัญหาที่มีหลายจุดกระจายสินค้า และความซับซ้อนของเงื่อนไขที่ต้องพิจารณา ในการแก้ปัญหาอาจพิจารณาที่จุดสุดท้ายก่อนที่รถบรรทุกจะกลับมายังจุดเริ่มต้นเป็นจุดเริ่มในการพิจารณาการควบรวมเส้นทางแทนจุดสิ้นสุดการขนส่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้ แต่การพิจารณาดังกล่าวจะต้องอาศัยเกณฑ์การพิจารณาที่มีประสิทธิภาพเพื่อเลือกคู่เส้นทางการขนส่งที่จะควบรวม เช่น การใช้ค่าการประหยัด (Saving) ที่เกิดขึ้นเป็นเกณฑ์ในการเลือก เป็นต้น

7.2.3 **การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการเดินรถแบบไม่เต็มคันรถ**

ปัญหาการเดินรถแบบไม่เต็มคันรถ (Less Than Truck Load) เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและทางเลือกในการแก้ปัญหาสูงกว่า อย่างไรก็ตาม การขนส่งแบบไม่เต็มคันรถที่มีประสิทธิภาพสามารถลดระยะทางการเดินรถเที่ยวเปล่าลงได้มาก และเป็นการขนส่งที่ถูกดำเนินการกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทย ดังนั้น การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการเดินรถแบบไม่เต็มคันรถที่มีความซับซ้อนของปัญหาสูงด้วยแบบจำลองการแบ่งห้องเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งจึงเป็นแนวทางการพัฒนาที่น่าสนใจ

การประยุกต์ใช้แบบจำลองการแบ่งห้องในปัญหาการเดินรถแบบไม่เต็มคันรถอาจทำได้โดยการกำหนดรอบการขนส่งมาตรฐาน และการใช้รถขนส่งที่มีความจุไม่เท่ากับรอบการขนส่งมาตรฐานจะทำการขนส่งได้ไม่เต็มจำนวนรอบ ดังนั้น ในการสร้างแบบจำลอง ค่าสัมประสิทธิ์ที่ไม่เท่ากับศูนย์ จะเปลี่ยนจากจำนวนรอบ เป็นอัตราการขนส่งเทียบกับจำนวนรอบมาตรฐาน อย่างไรก็ตาม จะทำให้เกิดตัวแปรเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งจำนวนมาก การศึกษาจึงต้องพิจารณาวิธีการในการลดจำนวนเส้นทางในการขนส่งโดยไม่ทำให้ค่าผลเฉลยมีคุณภาพต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Solomon, M.M. Algorithms for the vehicle routing and scheduling problem with time window constraints. Operation Research 35(2) (1987): 245-265.

[2] Toth, P., and Vigo, D. The Vehicle Routing Problem: Monographs on Discrete Mathematics and Applications. SIAM (2001).

[3] Assad, AA. Modeling and Implementation Issue in Vehicle Routing. Vehicle Routing : Method and Studies (1988): 7-45.

[4] ภราดร เหลืองวิทิตกุล. การจัดตารางการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดด้านเวลา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[5] วิจิตรา ภูมิชาติพงศ์. การจัดตารางเวลาการเดินรถขนส่งเครื่องดื่มน้ำอัดลมระหว่างฐานจ่าย. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[6] เอกภพ กองกาญจน์. การจัดตารางเวลาการเดินรถขนส่งเครื่องดื่มน้ำอัดลมไปยังลูกค้ารายใหญ่. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[7] Ergun, O., Kuyzu, G., and Savelsbergh, M.W.P. The shipper collaboration problem. Computers and Operations Research, Odysseus 2003 Special Issue (2003).

[8] Ergun, O., Kuyzu, G., and Savelsbergh, M.W.P. Reducing Truckload Transportation Costs Through Collaboration. Transportation Science (2005).

[9] วันชนะ วชิรวัฒนะธำรง. ขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาการรับและส่งสินค้าแบบเต็มความจุที่มีจุดรับสินค้าหลายแห่ง. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

[10] Jordan, W. C. Truck Backhauling on Networks with Many Terminals. Transportation Research-B 21B-3 (1987): 183-193.

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[11] Hoffman, K., and Padberg, M. Set Covering, Packing and Partitioning Problems [Online]. Available from: http://iris.gmu.edu/~khoffman/papers/set_covering.html [2005, Jan 12].

[12] Etcheberry, J. The Set Covering Problem: A New Implicit Enumeration Algorithm. Operations Research 25 (1977): 760-772.

[13] Parker, M., and Ryan J. A column generation algorithm for bandwidth packing. Telecommunications Systems 2 (1994): 185-196.

[14] Barnhart, C., E.L. Johnson, G.L. Nemhauser, M.W.P. Savelsgergh, and P.H. Vance. Branch-and-price: column generation for solving huge integer programs. Operations Research 46-3 (1998): 316-329.

[15] Hoffman, K., and Padberg, M. Solving Airline Crew Scheduling Problems by Branch and Cut. Management Science 39 (1993): 657-682.

[16] ILOG CPLEX [Online]. Available from: http://www.ilog.com/products/cplex/ [2005, April 22].

[17] Dash Optimization [Online]. Available from: http://www.dashopt.com [2005, April 22].

[18] Computational Infrastructure for Operations Research (COIN-OR) [Online]. Available from: http://www.coin-or.org [2005, Febuary 18].

[19] Padberg, M.W. Perfect zero-one matrices. Mathematical Programming 6 (1974): 180-196.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
รายละเอียดส่วนประกอบทั้งหมดของ COIN-OR

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BCP (Branch – Cut – Price Framework)

เป็นโครงร่างที่พัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการกำหนดเกี่ยวกับการใช้เทคนิคด้าน Branch, cut และ price สำหรับใช้ในการแก้ปัญหารูปแบบ Mixed Integer problem โดยใช้หลักการของกำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายใช้งานโดยผ่าน OSI ไปยังซอฟแวร์การหาค่าที่ดีที่สุดรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นและสามารถ

OSI (Open Solver Interface)

มีจุดมุ่งหมายในการกำหนดรูปแบบการใช้งานร่วมกันระหว่างซอฟแวร์การหาค่าที่ดีที่สุดต่างๆ ทั้งเชิงพาณิชย์และการพัฒนา โดยการสร้าง OSI ขึ้นนี้ เนื่องจากพบว่ารูปแบบมาตรฐานของ API (Application Programming Interface) ของซอฟแวร์การหาค่าที่ดีที่สุดรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นต่างๆ นั้นมีความแตกต่างกัน โดยซอฟแวร์การหาค่าที่ดีที่สุดรูปแบบกำหนดการเชิงเส้นต่าง ๆ นั้น จะใช้รูปแบบไลบารี่ที่ไม่เหมือนกัน ซึ่งทำให้ผู้ใช้ที่ใช้เครื่องมือหลายแบบในการสร้างแอพพลิเคชั่นจะมีความสับสนในการใช้ ซึ่ง OSI นี้ จะทำให้สามารถทำงานกับเครื่องมือที่ไม่คุ้นเคยได้ง่ายขึ้น โดยจะสามารถสร้าง แอพพลิเคชั่นผ่านทาง OSI ซึ่งจะถูกกำหนดเป็นรูปแบบมาตรฐานและจะทำการแปลงไลบารี่ต่างๆ ให้เข้ากับที่เครื่องมือนั้นๆ รองรับ

เครื่องมือการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ OSI สามารถใช้งานร่วมได้ในปัจจุบัน คือ CPLEX dylp FortMP GLPK MOSEK OSL SOPLEX SYMPHONY VOL XPRESS-MP

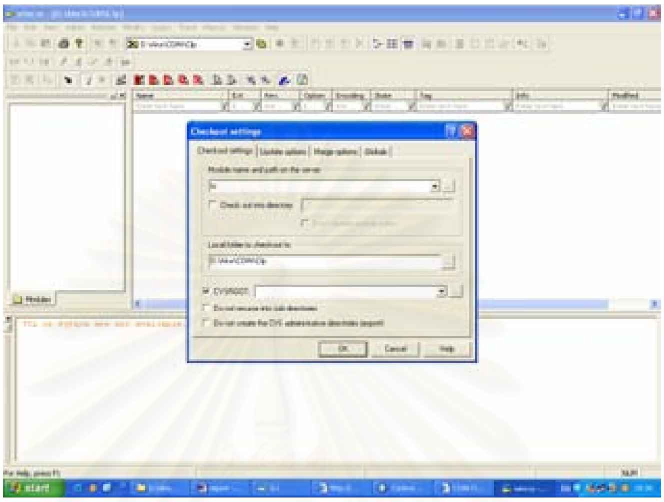
CLP (Common Linear Program Solver)

เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหารูปแบบกำหนดการเชิงเส้นที่ (Linear Programming) ซึ่งจะมีลักษณะพิเศษคือ ลักษณะรหัสโปรแกรม (Source Code) จะเป็นไปในรูปแบบที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจและสามารถนำไปพัฒนาได้ง่าย โดยที่มีประสิทธิภาพที่ดีด้วย ซึ่งต่างจากโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่เน้นในด้านประสิทธิภาพเพียงอย่างเดียว ทำให้ความสามารถในการทำงานของ CLP ยังด้อยกว่าโปรแกรมเชิงพาณิชย์ที่มีความสามารถสูงๆ

ลักษณะรหัสโปรแกรมนี้จะถูกเขียนขึ้นด้วยของภาษา C/C++ ซึ่งการสร้าง (Build) ขึ้นมาเป็นซอฟแวร์การหาค่าที่ดีที่สุดนั้นโดยปกติจะใช้การสร้างในระบบปฏิบัติการแบบ UNIX แต่ในงานวิจัยนี้จะการสร้างโดยโปรแกรม VisualC++6.0 ผ่านทางระบบปฏิบัติการ Windows

วิธีการสร้าง COIN-OR และ SYMPHONY โดย VisualC++ 6.0

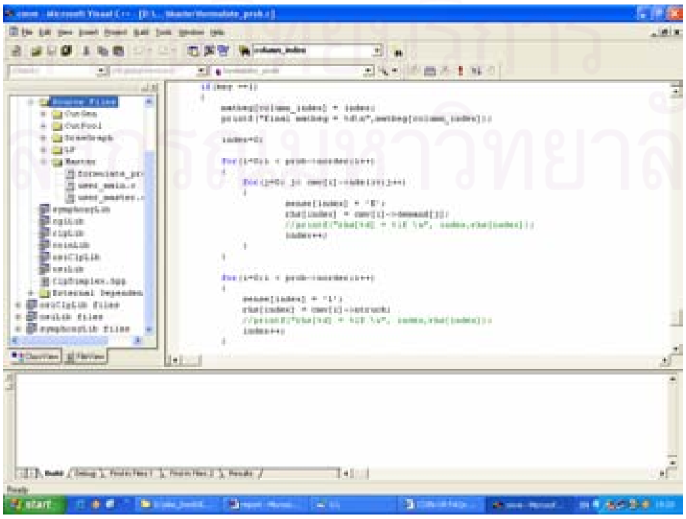
1. การดาวน์โหลด COIN-OR สามารถทำได้โดยผ่านโปรแกรม WinCVS รายละเอียดสามารถดูได้ที่ http://www.coin-or.org



โปรแกรม WinCVS

2. การดาวน์โหลด SYMPHONY สามารถดาวน์โหลดได้ผ่านการกำหนด Module SYMPHONY ใน WinCVS หรือดาวน์โหลดผ่านทาง http://www.branchandcut.org และนำไปไว้ที่โฟลเดอร์ COIN

3. ในการใช้ VisualC++ 6.0 สร้าง Application นั้น จะมีโฟลเดอร์ COIN/WIN ที่จะเก็บ Workspace ของ COIN ไว้ ซึ่งในการสร้างจะมีหลายๆ องค์ประกอบที่สร้างแล้วจะมีการแจ้งความผิดพลาด แต่องค์ประกอบหลักๆ ที่ใช้ของ CLP คือ COIN,CLP,OSI (บางส่วน) และ CGL จะสามารถใช้ได้



การใช้ VisualC++ 6.0 ในการสร้าง Application

4. ในการสร้าง Application ผ่านทาง SYMPHONY จะต้อง Build ตัว Application โดยสามารถดูตัวอย่างส่วนประกอบของ Workspace ได้ที่ COIN\SYMPHONY\Applications\USER ซึ่งจะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ ของ Code ว่ามีการส่ง Argument ไปที่ใด และทำงานอย่างไรบ้าง อย่างไรก็ตาม Workspace นี้ไม่สามารถใช้แก้ปัญหาใดๆ ได้ เนื่องจากเป็นตัวอย่างโครงสร้างการสร้าง Application เท่านั้น การทำงานในส่วนของการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลจะต้องเขียนขึ้นเองทั้งหมด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายยศศิริ อดุลยศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 22 เมษายน พ.ศ.2527 ที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนธัญรัตน์ จังหวัดปทุมธานี เมื่อปีการศึกษา 2544 สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี ในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2548 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย