ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมัน

นายจิรภัทร วัธนเวคิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FUEL-DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM

Mr.Jiraphat Wattanavekin

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Logistics Management

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมัน
โดย	นายจิรภัทร วัธนเวคิน
สาขาวิชา	การจัดการด้านโลจิสติกส์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พงศา พรชัยวิเศษกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จิรภัทร วัธนเวคิน : ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมัน. (FUEL-DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์, 95 หน้า.

สภาพเศรษฐกิจตกต่ำและการแข่งขันที่สูงขึ้นของภาคธุรกิจ ผลักดันให้ผู้ประกอบการแต่ละรายหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานเพื่อให้สามารถลดต้นทุนในการประกอบการและรักษาระดับความสามารถในการแข่งขันต่อไปได้ การขนส่งถือเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งของผู้ประกอบการหลายราย การวางแผนการจัดส่งที่ดีและมีประสิทธิภาพจะส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนของบริษัท อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งส่งผลดีในด้านการประหยัดพลังงานและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นปัญหาระดับนานาชาติ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งน้ำมัน โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการแบ่งเซต (Set Partitioning Model) ในการประเมินทางเลือกเส้นทางในการเดินรถ ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ เพื่อทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดส่งต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้ทดสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มช่วยลดระยะทางในการเดินทางโดยรวมลงได้ โดยการลดลงดังกล่าวมีแนวโน้มที่มากขึ้นเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น จากนั้นได้นำผลที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองมาวิเคราะห์ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสำหรับปัญหาเพื่อการจัดเส้นทางการเดินรถในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา..การจัดการด้านโลจิสติกส์..... ลายมือชื่อนิสิต.....J. Wattaravel.....

ปีการศึกษา..2552..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

5087123320 : MAJOR LOGISTICS MANAGEMENT
KEYWORDS : VEHICLE ROUTING PROBLEM / SET PARTITIONING MODEL / OPTIMIZATION PROBLEM

JIRAPHAT WATTANAVEKIN : FUEL-DELIVERY VEHICLE ROUTING PROBLEM. THESIS ADVISOR : ASST.PROF. MANOJ LOHATEPANONT, Sc.D., 95 pp.

Due to economic downturn and therefore higher competition in the market, this forces many companies to find ways to improve their work efficiency. This is to be able to reduce costs and stay competitive among their competitors. Distribution is one of the main key focus area that many companies believe the cost has directly and big impact to the company. With improvement in distribution cost, this means saving energy and also leads to saving environment which is now a shared concern worldwide. The objective of this study is to develop a mathematical model for the fuel-deliver routing problem which is a combined load acceptance and rich vehicle routing problem incorporating a diversity of practical complexities. By using set partitioning model to apply with this vehicle routing problem, the model can help identify the best route and therefore reduce in distribution cost. The model is applied to data generated based on actual distribution network of a sample company. The results show the reduction in total transportation distances. In our findings, the percentages of the reductions tend to be increased when a problem sizes become larger. This model can also be further developed for business improvement.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of Study : Logistics Management Student's Signature J. Wattanavekin

Academic Year : 2009 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้ความรู้ คำชี้แนะ คอยให้คำปรึกษา และช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พงศา พรชัยวิเศษกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.อำพล การุณสุนทวงษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับความกรุณาที่สละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ทั้งยังให้คำปรึกษาอันมีค่ายิ่ง และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณนายธีระพล วัธนเวคิน และนายยศพล วัธนเวคิน สำหรับความช่วยเหลือ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่างๆในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆ นิสิตสาขาการจัดการโลจิสติกส์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเพื่อนๆพี่ๆ แผนกจัดส่ง บริษัทเอ็กซอนโมบิล จำกัด ทุกคน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา (นายธนาพันธ์ วัธนเวคิน) มารดา (นางดารุณี วัธนเวคิน) ที่ให้กำเนิด คอยอบรมสั่งสอน และให้การสนับสนุน จนทำให้ข้าพเจ้ามีความรู้ความสามารถจนประสบความสำเร็จในการศึกษาในปัจจุบัน ทั้งยังคอยให้คำแนะนำอันจะเป็นแนวทางในการดำเนินชีวิตของผู้วิจัยในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญภาพ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 โจทย์ปัญหา..... 5

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 6

1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 7

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 8

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ..... 8

2.2 แบบจำลองการแบ่งเซต..... 11

2.3 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ..... 12

2.4 งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ..... 25

บทที่ 3 การศึกษาการดำเนินการของแผนกจัดส่งของบริษัทตัวอย่างและวิธีดำเนินการวิจัย.. 31

3.1 ลักษณะการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่าง..... 31

3.2 ปัญหาในการวางแผนการจัดส่งของบริษัทตัวอย่าง..... 33

3.3 แนวทางการปรับปรุงการวางแผนการจัดส่งของบริษัทตัวอย่าง..... 34

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 34

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

บทที่ 4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหา..... 38

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมัน..... 38

4.2 ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาเบื้องต้นที่ได้พัฒนาขึ้นกับปัญหาตัวอย่างขนาดเล็กและทดสอบด้วยซอฟแวร์สำเร็จรูป..... 40

4.3 การลดจำนวนตัวแปรของแบบจำลองก่อนนำไปหาผลลัพธ์..... 41

4.4 แอพลิเคชั่นสำหรับการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด..... 43

บทที่ 5 ผลการทดสอบ..... 47

5.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง..... 47

5.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบแบบจำลอง..... 51

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและแนวทางในการพัฒนาในอนาคต..... 63

6.1 สรุป..... 63

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต..... 63

รายการอ้างอิง..... 65

ภาคผนวก..... 68

ภาคผนวก ก. รายละเอียดของ SCIP..... 69

ภาคผนวก ข. ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูลทั้งหมด..... 74

ภาคผนวก ค. ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูลทั้งหมด 90

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	รายละเอียดของรถที่ใช้ในการจัดส่งของบริษัทตัวอย่าง.....	31
5.1	รายละเอียดจำนวนคำสั่งซื้อของชุดข้อมูลหลักและรองที่ใช้ทำการทดสอบแบบจำลอง.....	47
5.2	จำนวนตัวแปรของแบบจำลองก่อนและหลังการเพิ่มเงื่อนไข.....	48
5.3	เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงของบริษัทตัวอย่างกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง.....	51
5.4	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-0.....	53
5.5	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-1.....	54
5.6	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-2.....	54
5.7	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-3.....	55
5.8	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-4.....	55
5.9	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-0.....	56
5.10	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-1.....	56
5.11	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-2.....	57
5.12	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-3.....	57
5.13	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-4.....	58
5.14	สัดส่วนค่าใช้จ่ายต่อเที่ยวและค่าใช้จ่ายต่อระยะทางที่ลดลงต่อค่าใช้จ่ายรวมที่ลดลง.....	58
5.15	ผลลัพธ์ด้านเวลาในการสร้างแบบจำลองและเวลาในการแก้ปัญหา.....	59
5.16	เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านค่าใช้จ่ายและเวลาระหว่างผลลัพธ์ของการแก้ชุดปัญหาหลักกับผลลัพธ์รวมของชุดปัญหารอง.....	62

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า
1.1 ขั้นตอนการสร้างคำสั่งซื้อจากลูกค้า..... 2
2.1 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ..... 12
2.2 การลดระยะทางในการเดินทางโดยการรวมเส้นทาง..... 18
2.3 จัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีกวาด..... 19
2.4 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง..... 21
2.5 ปัญหาดีที่สุดเฉพาะที่..... 24
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของบริษัทตัวอย่าง..... 33
3.2 ขั้นตอนการวิจัย..... 37
4.1 หน้าจอทำงานหลักของแอพลิเคชัน..... 44
4.2 หน้าจอแสดงผลรายละเอียดของแบบจำลอง..... 45
4.3 ซอฟท์แวร์ Terminal สำหรับเรียกใช้ SCIP ไลบรารี..... 45
4.4 หน้าจอหลักแสดงค่าผลลัพธ์..... 46
5.1 ความสัมพันธ์ของจำนวนคำสั่งซื้อกับจำนวนตัวแปรหลังเพิ่มเงื่อนไข..... 50
5.2 ความสัมพันธ์ของจำนวนคำสั่งซื้อกับจำนวนสมการเงื่อนไขบังคับ..... 50
5.3 ความสัมพันธ์ของจำนวนคำสั่งซื้อกับเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง..... 61
5.4 ความสัมพันธ์ของจำนวนคำสั่งซื้อกับเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา..... 61

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

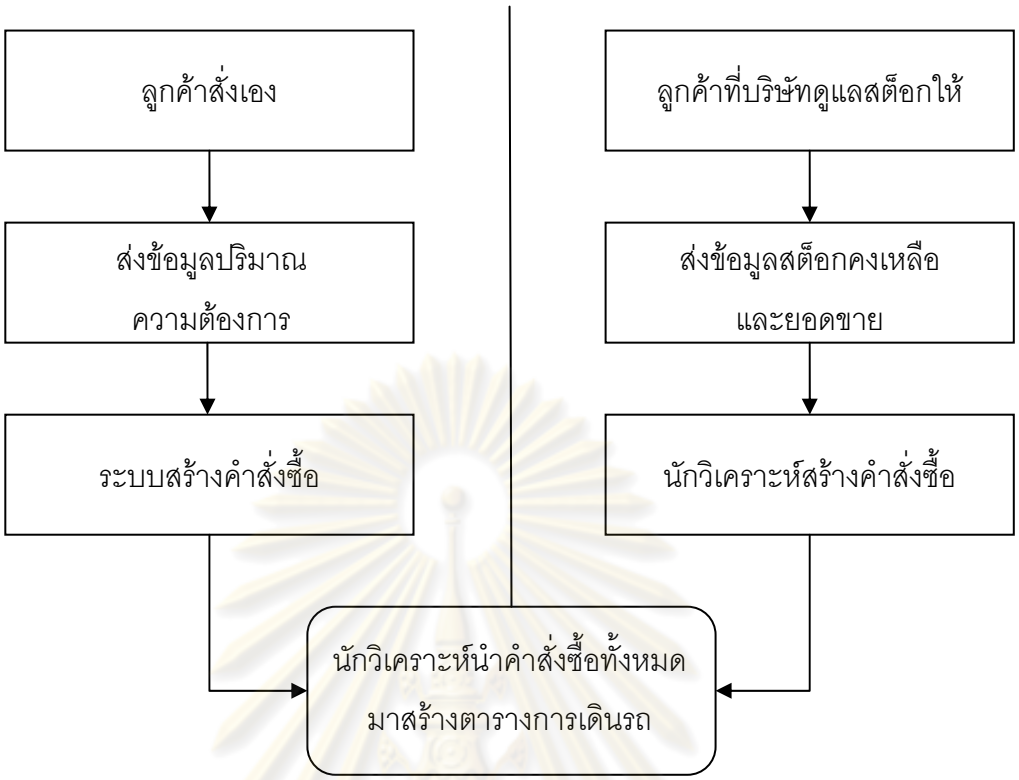
บริษัทตัวอย่างเป็นบริษัทผู้ผลิตน้ำมันและจำหน่ายน้ำมัน โดยจำหน่ายผ่านสถานีบริการน้ำมันภายใต้ตราสินค้าของบริษัทและโรงงานอุตสาหกรรม โดยในส่วนที่บริษัทดูแลการจัดส่งมีสถานีบริการ 1,467 สถานี และลูกค้าโรงงาน 8,693 โรง โดยลูกค้าจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ลูกค้าสั่งเอง คือลูกค้าที่ทำการดูแลสต็อกน้ำมันของตัวเอง และเมื่อต้องการน้ำมันจะทำการออกคำสั่งซื้อเข้ามาในระบบ เมื่อแผนกจัดส่งได้รับข้อมูลคำสั่งซื้อจะทำการจัดส่งให้ภายในวันถัดไป

2. ลูกค้าที่บริษัทดูแลสต็อกให้ ลูกค้าในส่วนนี้ทางนักวิเคราะห์การวางแผนการจัดส่งของบริษัทจะเป็นคนดูแลสต็อก โดยลูกค้ามีหน้าที่แค่ส่งข้อมูลสต็อกและยอดขายเข้ามาในระบบนักวิเคราะห์จะดูแลว่าควรจะจัดส่งเมื่อไหร่ในปริมาณเท่าใด

จากรูปที่ 1.1 จะเห็นว่าเมื่อนักวิเคราะห์การวางแผนการจัดส่งของบริษัทตัวอย่าง ทำการรวบรวมคำสั่งซื้อทั้งหมดที่ต้องทำการจัดส่งในวันถัดไป ทั้งจากที่ระบบสร้างคำสั่งซื้อให้ (ลูกค้าสั่งเอง) และที่นักวิเคราะห์สร้างคำสั่งซื้อให้ (ลูกค้าที่บริษัทดูแลสต็อกให้) โดยมีเวลาปิดรับคำสั่งซื้อคือ ณ เวลาเที่ยงวันของวันก่อนหน้าที่จะทำการจัดส่ง ขั้นตอนต่อไปคือนักวิเคราะห์จะต้องทำการจัดตารางการเดินรถให้มีประสิทธิผลและมีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายและข้อจำกัดทั้งหมด ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากเป็นขั้นตอนที่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการจัดส่งของบริษัทตัวอย่างโดยตรง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนการสร้างคำสั่งซื้อจากลูกค้า

บริษัทตัวอย่างมีค่าใช้จ่ายด้านการจัดส่งประมาณ 600 ล้านบาทต่อปี ซึ่งค่าใช้จ่ายด้านการจัดส่งถือเป็นค่าใช้จ่ายหลักของแผนกจัดส่งของบริษัท การจัดเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญมากเพราะจะสามารถช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลงได้ โดยค่าใช้จ่ายในการจัดส่งหลักสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน

1. ค่าใช้จ่ายต่อเดือน (Cost per Month) คือค่าเช่ารถที่ทางบริษัทจ่ายให้บริษัทผู้รับเหมาเป็นรายเดือน อัตราค่าเช่าขึ้นอยู่กับขนาดความจุของรถ และโดยส่วนใหญ่แล้วรถที่ขนาดความจุมากมักจะมีต้นทุนในการจัดส่งต่อหน่วยต่ำกว่ารถที่มีขนาดความจุน้อย เช่น รถขนาดความจุ 46,000 ลิตร เมื่อเปรียบเทียบเป็นต้นทุนในการจัดส่งต่อลิตรแล้วจะมีต้นทุนถูกกว่ารถขนาดความจุ 22,000 ลิตร เป็นต้น เพราะฉะนั้นสิ่งที่นักวิเคราะห์ต้องคำนึงคือต้องเลือกใช้รถขนาดที่มีความจุมากซึ่งเป็นรถที่มีต้นทุนต่อหน่วยถูก และต้องจัดตารางการเดินรถให้เต็มเวลาไม่ให้เหลือเวลาที่สูญเปล่า เพื่อให้ในหนึ่งเดือนรถสามารถทำเที่ยวได้มากที่สุดเพื่อให้ต้นทุนเฉลี่ยต่อเที่ยวออกมาต่ำที่สุด ซึ่งในท้ายที่สุดจะส่งผลต่อต้นทุนการจัดส่งต่อหน่วยในแต่ละเดือน (Unit Cost)

2. ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว (Cost per Trip) คือค่าใช้จ่ายที่บริษัทจ่ายให้แก่ผู้รับเหมาเมื่อรถมีการวิ่ง 1 เที่ยว อัตราค่าใช้จ่ายขึ้นอยู่กับขนาดความจุของรถ สิ่งที่นักวิเคราะห์ต้องคำนึงคือในแต่ละเที่ยวที่มีการวิ่งต้องบรรจุน้ำมันให้เต็มความจุของคันรถและพยายามใช้รถที่มีขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่จะทำได้ เพื่อลดจำนวนเที่ยวในการจัดส่งและจะส่งผลให้ต้นทุนการจัดส่งต่อหน่วยต่ำที่สุด

3. ค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง (Cost per Distance) คือค่าใช้จ่ายที่บริษัทจ่ายตามระยะทางที่รถมีการวิ่งจริง อัตราค่าใช้จ่ายขึ้นอยู่กับขนาดความจุของรถเช่นกัน สิ่งที่นักวิเคราะห์ต้องคำนึงคือต้องทำการจับคู่คำสั่งซื้อให้มีระยะทางระหว่างกันน้อยที่สุด เพื่อลดต้นทุนด้านระยะทาง

ในทางปฏิบัตินอกจากค่าใช้จ่ายที่นักวิเคราะห์ต้องคำนึงถึงแล้ว นักวิเคราะห์ยังต้องคำนึงถึงข้อจำกัดในการจัดส่งด้านต่างๆด้วย เพื่อให้การจัดตารางการเดินรถสามารถนำไปใช้ได้จริง โดยข้อจำกัดในการจัดส่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 ข้อหลักๆ

1. ข้อจำกัดด้านขนาดของรถในการเข้าถึงลูกค้า เนื่องจากลักษณะของสถานที่ในการรับน้ำมันหรือเส้นทางการเดินทางของลูกค้าแต่ละรายมีลักษณะแตกต่างกัน ทำให้ลูกค้าบางรายมีข้อจำกัดในเรื่องขนาดของรถที่ใช้ในการจัดส่งน้ำมัน เช่น บางรายสถานีบริการมีขนาดเล็ก ต้องใช้รถขนาดเล็กเท่านั้นถึงจะส่งได้ เป็นต้น

2. ข้อจำกัดด้านเวลาในการจัดส่ง ลูกค้าแต่ละรายจะมีข้อกำจัดด้านเวลาแตกต่างกันไป เช่น บางรายไม่ได้เปิดให้บริการตลอด 24 ชม. จึงไม่สามารถรับน้ำมันช่วงเวลากลางคืนได้ บางรายเส้นทางที่ใช้ในการจัดส่ง มีกฎหมายห้ามรถบรรทุกวิ่งในบางช่วงเวลา หรือเส้นทางเดินทางการจราจรจะติดขัดมากถ้าจัดส่งในช่วงเร่งด่วนจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงไปส่งช่วงเวลาอื่น เป็นต้น และนอกจากข้อจำกัดด้านเวลาโดยทั่วไปแล้ว ในบางวันอาจมีข้อจำกัดด้านเวลาที่เกิดขึ้นเป็นกรณีพิเศษจากความต้องการลูกค้า เช่น ในส่วนของลูกค้าสั่งเองลูกค้าจะบอกช่วงเวลาที่ต้องการเข้ามา หรือในส่วนของลูกค้าที่บริษัทดูแลสต็อกให้ ยอดขายอาจจะมากกว่าที่บริษัทคาดการณ์ไว้ ทำให้ต้องทำการจัดส่งในช่วงเวลาเช้าเท่านั้นเพราะถ้าไปช้าน้ำมันอาจจะหมดก่อน เป็นต้น

3. ข้อจำกัดด้านปริมาณของคำสั่งซื้อ ในส่วนของลูกค้าสั่งเองปริมาณในแต่ละคำสั่งซื้อจะมีปริมาณแตกต่างกัน เนื่องจากลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการ และสถานะทางการเงินแตกต่างกัน ทางบริษัทได้มีการทำข้อตกลงกับลูกค้าไว้ว่าจะไม่เปลี่ยนแปลงปริมาณคำสั่งซื้อเกิน 10% ของปริมาณคำสั่งซื้อ ส่วนในส่วนลูกค้าที่บริษัทดูแลสต็อกให้ ปริมาณคำสั่งซื้ออยู่ที่นักวิเคราะห์เห็นสมควร สามารถเพิ่มหรือลดปริมาณได้ ขอเพียงแค่ลูกค้ามีน้ำมันเพียงพอสำหรับการขาย เพราะฉะนั้นปริมาณของคำสั่งซื้ออาจจะเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาที่จะทำการจัดส่ง แต่เนื่องจากนักวิเคราะห์ต้องจัดตารางการจัดส่งให้มีต้นทุนต่ำที่สุด จึงต้องจับคู่คำสั่งซื้อที่มีระยะทางใกล้กัน และปริมาณของคำสั่งซื้อที่พอดีกับขนาดของรถที่ใช้

4. ข้อจำกัดด้านจำนวนช่องใส่น้ำมันในรถ เนื่องจากในแต่ละคำสั่งซื้อต้องใช้จำนวนช่องในการใส่สินค้าต่างๆกันไป และในรถแต่ละขนาดก็จะมีจำนวนช่องในการใส่สินค้าต่างๆกันไป เช่น รถขนาดความจุ 46,000 ลิตร มีจำนวนช่องทั้งหมด 7 ช่อง แต่รถขนาดความจุ 22,000 ลิตรจะมีเพียง 4 ช่อง เป็นต้น นักวิเคราะห์จึงต้องจัดคำสั่งซื้อให้มีจำนวนช่องที่ต้องใช้ไม่เกินจำนวนที่รถขนาดนั้นๆจะสามารถบรรจุได้

5. ข้อจำกัดด้านจำนวนรถในแต่ละขนาด และค่าใช้จ่ายของรถแต่ละขนาด เนื่องจากรถที่บริษัททำสัญญาเช่ากับบริษัทผู้รับเหมามี 5 ขนาด โดยในแต่ละขนาดก็จะมีจำนวนที่ทำสัญญาและอัตราค่าใช้จ่ายด้านต่างๆแตกต่างกันไป เช่น บางขนาดเหมาะกับการวิ่งทางไกลเนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่อระยะทางถูกกว่า เป็นต้น

ปัญหาที่เกิดจากการจัดตารางการเดินรถของบริษัทตัวอย่าง คือ การที่ต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายด้านต่างๆ และข้อจำกัดจำนวนมาก ดังที่กล่าวมาข้างต้น ถึงแม้บริษัทตัวอย่างจะมีการแบ่งงานออกเป็นส่วนๆและใช้นักวิเคราะห์มากถึง 5 คนในการจัดตารางการเดินรถ เพื่อลดปริมาณงานต่อคนลง (โดยเฉลี่ยประมาณ 60 คำสั่งซื้อต่อคนต่อวัน) และมีการแบ่งโซนลูกค้าเพื่อให้ง่ายต่อการจับคู่ลูกค้าให้ระยะทางใกล้กัน แต่ก็ยังส่งผลให้นักวิเคราะห์ต้องใช้เวลาในการจัดมากถึง 1-2 ชม.ต่อวัน (ขึ้นอยู่กับปริมาณคำสั่งซื้อ ความยากง่ายของปัญหา และความเชี่ยวชาญของตัวนักวิเคราะห์เอง) อีกทั้งยังมีข้อจำกัดด้านเวลาในการส่งตารางการเดินรถให้แก่ผู้รับเหมาภายในเวลาที่ได้ตกลงกันไว้ เพื่อให้ผู้รับเหมามีเวลาเพียงพอที่จะตรวจสอบและแจกจ่ายงานให้แก่คนขับ

เพื่อที่จะพร้อมวิ่งงานในเช้าวันถัดไป ซึ่งจากข้อจำกัดต่างๆและขั้นตอนวิธีการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่าง ทำให้การจัดตารางการเดินรถถึงแม้จะมีประสิทธิผล แต่ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

แนวทางการแก้ไขปัญหาข้างต้น ทำได้โดยการเขียนโปรแกรมขึ้นมาช่วยในการจัดตารางการเดินรถ โดยนำรูปแบบแบบจำลองการแบ่งเซต (Set Partitioning Model) มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้น เนื่องจากการใช้รูปแบบแบบจำลองการแบ่งเซต จะสามารถแก้ปัญหาด้านค่าใช้จ่ายและข้อกำจัดทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นได้ แล้วจึงนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาหาผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่เนื่องจากการใช้แบบจำลองรูปแบบนี้จะทำให้ปัญหามีความซับซ้อนในการหาค่าผลเฉลยสูง (Non-Deterministic Polynomial-Time Hard) กล่าวคือ เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาเพิ่มในอัตราส่วนแบบเอ็กซ์โพแนนเชียล เมื่อเทียบกับขนาดของปัญหาที่เพิ่มขึ้นจึงจำเป็นต้องใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดขนาดใหญ่ (Large-scale optimization) ที่มีประสิทธิภาพ มาช่วยให้โปรแกรมสามารถหาผลเฉลยได้ในเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในจริงในบริษัทตัวอย่าง

1.2 โจทย์ปัญหา

ลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถในงานวิจัยนี้เป็นการเดินรถส่งสินค้ามากกว่าหนึ่งจุด (Multi Drop Distribution) มีศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่ง (Single Depot) โดยมีสมการวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือหาขีดจำกัดล่างของค่าใช้จ่ายที่สามารถเป็นไปได้ (Minimize Cost) โดยคำนึงถึงข้อจำกัดในการจัดส่งหลายประการดังนี้

- ใน 1 วันรถ 1 คันสามารถจัดส่งได้ 3 เที่ยว คือ เช้า กลางวัน และเย็น
- มีรถทั้งหมด 5 ขนาด ขนาดละ k คัน
- ใน 1 เที่ยวการจัดส่งสามารถส่งลูกค้าได้สูงสุด 2 ราย
- ในแต่ละเที่ยวต้องบรรทุกสินค้าไม่ต่ำกว่า 90% ของขนาดรถ
- ทุกคำสั่งซื้อต้องได้รับการจัดส่งและจัดส่งภายในครั้งเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยข้อมูลที่กำหนดให้มีดังนี้

- ระยะทางระหว่างแต่ละสถานที่
- ช่วงเวลาที่ลูกค้าแต่ละรายสามารถรับสินค้าได้
- ขนาดของรถที่สามารถใช้จัดส่งสินค้าให้ลูกค้าแต่ละราย
- ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของฝูงรถแต่ละขนาด
- ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละราย

1.3 **วัตถุประสงค์ของการวิจัย** (Objective)

1. ประยุกต์ใช้แบบจำลองการแบ่งเซต (Set Partitioning) ในการประเมินทางเลือกเส้นทาง ขนาดรถ และช่วงเวลาการจัดส่ง ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ เพื่อทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดส่งต่ำที่สุด

2. พัฒนาอัลกอริทึมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อลดเวลาในการแก้ปัญหา เนื่องจากแบบจำลองการแบ่งเซต ถึงแม้จะแก้ไขข้อจำกัดต่างๆที่กล่าวมาได้ทั้งหมด แต่ปัญหาจะมีขนาดใหญ่มาก การใช้อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพจะสามารถช่วยลดเวลาในการแก้ปัญหา และทำให้แบบจำลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษา โดยอาศัยข้อมูลเอกสารจากบริษัทตัวอย่าง ซึ่งการจัดส่งถือเป็นการดำเนินการหลักที่มีความสำคัญต่อธุรกิจเป็นอย่างมาก ข้อมูลที่ได้มานี้ ผู้วิจัยจะนำมาเพื่อเป็นตัวอย่างในการทดสอบ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแบบจำลองในงานวิจัยกับระบบของบริษัทตัวอย่าง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เข้าใจปัญหาการจัดตารางการเดินรถของบริษัทตัวอย่าง

2. ข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้ระหว่างการศึกษา สามารถนำไปใช้ในการกำหนดแนวทางปรับปรุงระบบการจัดส่งของบริษัทตัวอย่างเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. สามารถนำแบบจำลองและโปรแกรมไปใช้ในการวางแผน และจัดตารางการเดินรถได้อย่างเหมาะสม

4. สามารถลดต้นทุนในการขนส่งสินค้า โดยเฉพาะลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิง อีกทั้งยังส่งผลดีในด้านของการประหยัดพลังงาน และอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ซึ่งปัจจุบันถือได้ว่าเป็นปัญหาระดับนานาชาติ

5. ทราบและเข้าใจถึงประโยชน์ รวมไปถึงข้อจำกัดต่างๆของการนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้เพื่อช่วยในการจัดเส้นทางการเดินรถ

6. เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยทางด้านการประยุกต์การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) เพื่อพัฒนาการขนส่งในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา พบว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem) โดยทำการศึกษาในรูปแบบปัญหาและข้อจำกัดที่แตกต่างกันไป อีกทั้งวิธีในการแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยที่แตกต่างกันออกไป เนื่องมาจากปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถเป็นกลุ่มปัญหาที่รวบรวมปัญหาที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งแต่ละปัญหามีลักษณะและรายละเอียดปลีกย่อยที่แตกต่างกันอยู่มาก ดังนั้นปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถจึงยังคงเป็นปัญหาที่ควรค่าแก่การศึกษาในปัจจุบัน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ แบบจำลองการแบ่งเซต การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ และงานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) คือ ปัญหาที่ประกอบไปด้วยเซตของเส้นทางการเดินรถ อาจจะมีจุดกระจายสินค้าหนึ่งจุด (Single Depot) หรือจุดกระจายสินค้าหลายจุด (Multi Depot) และมีจุดประสงค์ของการแก้ปัญหาคือสามารถหาเส้นทางการเดินรถที่ขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าทุกคนในปริมาณตามความต้องการของลูกค้า โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเท่าที่จะสามารถเป็นไปได้โดยคำนึงถึงข้อจำกัดหลายประการที่เกิดขึ้นเนื่องจากสภาพการปฏิบัติงานจริง ยิ่งไปกว่านั้นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเดินรถจะต้องอยู่ที่จุดกระจายสินค้า

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถมีลักษณะปัญหาเป็นรูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) และถูกจัดอยู่ในกลุ่มปัญหาที่มีความซับซ้อนในการหาค่าผลเฉลยสูง (Non-Deterministic Polynomial-Time Hard) กล่าวคือ เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาเพิ่มในอัตราส่วนแบบ เอ็กซ์โพแนนเชียลกับขนาดของปัญหาที่เพิ่มขึ้น มีอยู่บ่อยครั้งที่การหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจะใช้วิธีการหาผลเฉลยโดยประมาณ ซึ่งสามารถหาค่าผลเฉลยได้ภายใต้เวลาที่ใช้และคุณภาพของผลเฉลยที่ยอมรับได้ วิธีการโดยประมาณที่ถูกนำมาใช้ คือ วิธีฮิวริสติคในหลายๆรูปแบบ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถหนึ่งๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเป็นการศึกษาที่สำคัญในลักษณะงานทางด้านการขนส่ง การกระจายสินค้า และโลจิสติกส์

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (ต่อไปนี้จะเรียกว่า VRP) ถูกจำแนกออกเป็นรูปแบบตามข้อจำกัดและลักษณะในการขนส่ง Toth และ Vigo (2001) ได้จำแนกลักษณะปัญหาของ VRP เป็นรูปแบบต่างๆ โดยคำนึงถึงความแตกต่างของวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหา (Objective) เส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ (Feasibility) และลักษณะของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ (Formulation) ดังนี้

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุก (Capacitated VRP - CVRP)

CVRP เป็นรูปแบบปัญหาที่คำนึงถึงปริมาณสินค้าที่รถสามารถบรรทุกได้ โดยมีเงื่อนไขในการแก้ปัญหาคือ ปริมาณบรรทุกรวมในเส้นทางการขนส่งจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสูงสุดที่รถสามารถบรรทุกได้

2.1.2 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีจุดกระจายสินค้าหลายจุด (Multiple Depot VRP - MDVRP)

MDVRP เป็นลักษณะปัญหา VRP ที่มีจุดกระจายสินค้าหลายๆจุด โดยแต่ละจุดจะมีฝูงรถที่ประจำอยู่ในจุด เมื่อทำการขนส่งสินค้าเรียบร้อยก็จะกลับมายังจุดกระจายสินค้าที่ประจำอยู่

2.1.3 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีรอบการขนส่งหลายวัน (Periodic VRP - PVRP)

ลักษณะของ PVRP คือ การขนส่งสินค้าที่เปลี่ยนจากลักษณะการวิเคราะห์การขนส่งในรอบวันให้สามารถวิเคราะห์ถึงการขนส่งที่มีรอบการขนส่งเกิน 1 วัน เช่น การขนส่งไปยังจุดหมายปลายทางที่ไกลได้ ทำให้รอบของการขนส่งมีความแตกต่างกัน รูปแบบการขนส่งที่เป็นไปได้จึงมีตัวเลือกจำนวนมาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีการแยกสินค้าออกส่งเป็นส่วนๆ ไปยังลูกค้า 1 ราย (Split Delivery VRP - SDVRP)

SDVRP คือลักษณะของการขนส่งที่ยอมให้ลูกค้าหนึ่งรายสามารถรับสินค้าจากรถขนส่งได้หลายคันเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เช่น กรณีที่ปริมาณสินค้าที่ต้องการเกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถบรรทุก 1 คัน

2.1.5 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความไม่แน่นอนขององค์ประกอบในการขนส่ง (Stochastic VRP - SVRP)

SVRP เป็นรูปแบบวิธีการที่คำนึงถึงความไม่แน่นอนขององค์ประกอบต่างๆในการขนส่ง ซึ่งมีอยู่ 3 ส่วนหลักๆ คือ ความไม่แน่นอนของลูกค้า ความไม่แน่นอนในปริมาณสินค้าที่ต้องการ และความไม่แน่นอนในเวลาที่ใช้ในการขนส่ง

2.1.6 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีการบรรทุกเที่ยวกลับ (VRP with Backhauls - VRPB)

VRPB เป็นรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ลูกค้าบางรายสามารถส่งสินค้าบางอย่างกลับสู่จุดกระจายสินค้าได้ โดยมีลักษณะที่สำคัญคือจะต้องทำการส่งสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆในเส้นทางการขนส่งให้หมดก่อนที่จะรับสินค้าที่จะบรรทุกกลับมายังจุดเริ่มต้น

2.1.7 การจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถรับและส่งสินค้าได้ตลอดเส้นทาง (VRP with Pick-Up and Delivering - VRPPD)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.8 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ คำนึงถึงช่วงเวลา (VRP with Time Windows - VRPTW)

VRPTW คือลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่คำนึงถึงช่วงเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ โดยเวลารับสินค้าจะกำหนดเป็นลักษณะช่วงเวลา (Time Windows) การขนส่งสินค้าจะต้องให้บริการภายในเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ

การจำแนกประเภทของปัญหาโดย Toth และ Vigo (2001) ที่กล่าวมาเป็นการจำแนกที่อาจยังไม่ครอบคลุมปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่เกิดขึ้นจริงทุกปัญหา แต่ก็เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของรูปแบบปัญหา ยิ่งไปกว่านั้นปัญหาจริงบางปัญหาก็อาจมีลักษณะปัญหาที่เป็นการควบรวมของรูปแบบที่กล่าวมา เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบหลายจุดส่ง และมีการแบ่งส่ง (Multiple Depot VRP with Split Delivery) เป็นต้น การวิเคราะห์ปัญหาจะต้องคำนึงถึงลักษณะของปัญหาที่สอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆเพื่อให้การแก้ปัญหามีความเหมาะสมที่สุด รูปแบบแต่ละรูปแบบอาจมีวิธีการหาคำตอบได้มากกว่าหนึ่งวิธี การวิเคราะห์ถึงรูปแบบที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

2.2 แบบจำลองการแบ่งเซต

ในงานวิจัยของ Hoffman และ Padberg (2007) ได้กล่าวถึงแบบจำลอง Set Partitioning ซึ่งเป็นแบบจำลองที่มักถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ ปัญหาการจัดตารางเวลา (Scheduling problems) และปัญหาด้านตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสม (Location problems) ซึ่งมีแบบจำลองทั่วไปดังนี้

ฟังชั่นวัตถุประสงค์

$$\text{Min} \sum_{j \in J} c_j x_j$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{j \in J} a_{rj} x_j = 1 \qquad r \in R$$

$$x_j \in \{1,0\} \qquad j \in J$$

เมื่อ R คือ Set ของเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ต่างๆ

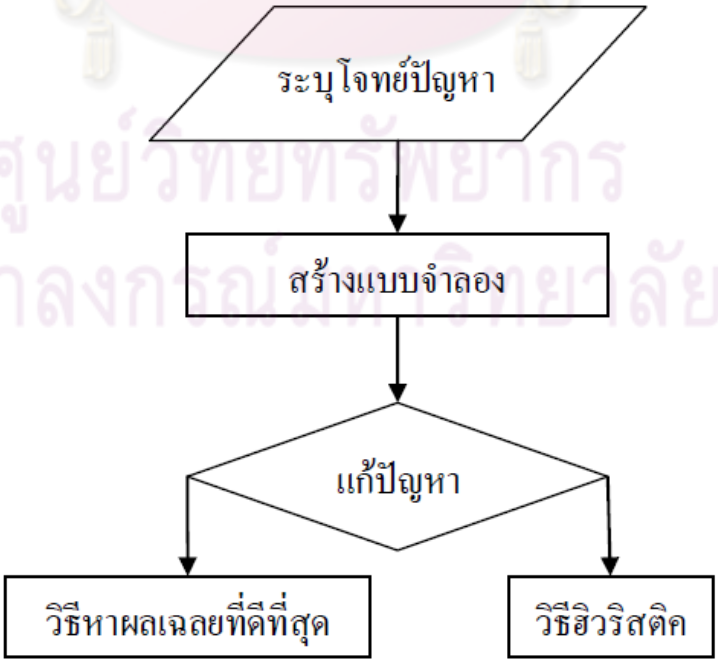
J คือ Set ของสดมภ์ (Column) ต่างๆ

c_j คือ Cost ของ Column j

a_{ij} มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ Column j ถูกบรรจุใน Row r

การแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยของแบบจำลองการแบ่งเซตสามารถแก้ปัญหาได้ทั้ง 2 รูปแบบคือวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด และวิธีฮิวริสติค โดยปรกติแบบจำลองการแบ่งเซตจะมีขนาดใหญ่ และมีตัวแปรในการตัดสินใจจำนวนมาก การศึกษาปัญหาต่างๆ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองประเภทนี้จึงมักสนใจในแง่ของการพัฒนาเทคนิคเพื่อลดตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลองคณิตศาสตร์ลง หรือการปรับรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้เหมาะสมและมีจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ โดยที่ผลของการประยุกต์ใช้เทคนิคเหล่านี้ไม่ทำให้แบบจำลองมีค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้อยไปกว่าเดิม ซึ่งเทคนิคการลดขนาดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต่างๆ นี้มีมากมาย ดังจะกล่าวถึงในส่วนต่อไป

2.3 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ ซึ่งสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนหลักๆ ได้ทั้งหมด 3 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ระบุโจทย์ปัญหา คือ การศึกษาระบบการทำงานปัจจุบันและระบุว่าปัญหาที่แท้จริงคืออะไร รวมไปถึงระบุวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหา (Objective) ที่แน่ชัดอีกด้วย โดยส่วนมากวัตถุประสงค์ที่ต้องการในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถมีดังนี้

   - เพื่อหาเส้นทางการเดินรถที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด (Minimize Cost) ซึ่งค่าใช้จ่ายในที่นี้อาจมีความหมายคลอบคลุมถึงสิ่งอื่นๆ นอกเหนือจากตัวเงิน เช่น เวลาการปฏิบัติงาน และความเชื่อมั่นของลูกค้าที่มีต่อบริษัท เป็นต้น

   - เพื่อหาเส้นทางการเดินรถที่ส่งสินค้าไปยังลูกค้าคลาดเคลื่อนจากกำหนดเวลาการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด (Minimize Violation Time) กล่าวคือ เส้นทางการเดินรถที่สามารถส่งสินค้าได้ตรงกำหนดเวลาการขนส่งสินค้ามากที่สุด

   - เพื่อหาเส้นทางการเดินรถที่ใช้จำนวนยานพาหนะในการขนส่งน้อยที่สุด (Minimize Number of Truck)

2. สร้างแบบจำลอง คือ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา โดยแบบจำลองประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆ คือ วัตถุประสงค์ (Objective) และข้อจำกัด (Constraint) ซึ่งข้อจำกัดในการแก้ปัญหานั้นสร้างเพื่อให้ผลเฉลยสอดคล้องกับการทำงานจริง เช่น กำหนดเวลาการขนส่งสินค้า ความจุของยานพาหนะที่ใช้ เป็นต้น

3. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) โดยการนำศาสตร์การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) มาประยุกต์ใช้ในการช่วยแก้ปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยศาสตร์การวิจัยดำเนินงาน จำแนกออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ วิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact) และ วิธีฮิวริสติค (Heuristic) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยรายละเอียดของทั้ง 2 ทฤษฎีจะกล่าวถึงในลำดับถัดไป

2.3.1 วิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

วิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact Method) เป็นแนวทางการแก้ปัญหาแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ได้ผลเฉลยที่มีคุณภาพสูงที่สุด อย่างไรก็ดีในเชิงปฏิบัตินั้นยังมีข้อจำกัดที่สำคัญคือ ปัญหาในความเป็นจริงนั้นซับซ้อนและมีปัจจัยซึ่งมีผลกระทบจำนวนมาก เป็นเหตุให้วิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนี้นั้นเหมาะกับปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น โดยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้รับความนิยมนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีซิมเพล็กซ์ วิธีแตกกิ่ง และ วิธีกำเนิดสดมภ์ เป็นต้น

2.3.1.1 วิธีซิมเพล็กซ์

วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) เป็นวิธีแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming Problem – LP) ด้วยหลักการทางพีชคณิตเพื่อหาผลเฉลยของปัญหา วิธีซิมเพล็กซ์จะเริ่มต้นด้วยปรับรูปแบบของปัญหาให้เข้าเป็นรูปแบบทาบูย์ (Tableau form) ซึ่งเป็นมาตรฐานของโปรแกรมเชิงเส้นที่สามารถแก้ปัญหาได้ จากนั้นทำการวนซ้ำ (Iteration) จนกระทั่งได้ค่าที่ดีที่สุด รูปแบบทาบูย์ เป็นรูปแบบเมตริกซ์เงื่อนไขที่มีลักษณะเครื่องหมายบังคับให้เป็นเครื่องสมการเท่านั้น กล่าวคือเครื่องหมาย (Sense) ต้องเป็นเครื่องหมายเท่ากับเท่านั้นห้ามเป็นเครื่องหมายอื่น ดังนั้นหากสมการเงื่อนไขมีเครื่องหมายเป็นเครื่องหมายอื่นที่ไม่ใช่เท่ากับต้องเปลี่ยนให้เป็นเครื่องหมายเท่ากับก่อนจึงจะสามารถแก้ปัญหาได้ ยิ่งไปกว่านั้นต้องเป็นรูปแบบปัญหาการหาขีดจำกัดล่าง (Minimize Problem) หากเป็นปัญหาการหาขีดจำกัดบน (Maximize Problem) ก็จำเป็นต้องเปลี่ยนรูปแบบปัญหาให้เป็นปัญหาขีดจำกัดล่างตามรูปแบบมาตรฐานของทาบูย์เช่นกัน

2.3.1.2 วิธีแตกกิ่ง

วิธีแตกกิ่ง (Branch & Bound) คือวิธีในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming – IP) โดยการแบ่งหรือแตกกิ่ง (Dividing or Branching) และ การหยุด

(Conquering) โดยเริ่มต้นจากปัญหาที่มีขนาดใหญ่และแบ่งเป็นปัญหาย่อยๆ (Sub problem) จากนั้นพิจารณาขอบเขต (Bounding) ของคำตอบสำหรับปัญหาย่อยและพิจารณาตัดปัญหาที่ไม่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดในขณะนั้นได้ และทำซ้ำกับทุกปัญหาย่อยๆจนกระทั่งพบปัญหาย่อยที่ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งวิธี Branch & Bound นั้นสามารถนำไปแก้ปัญหาได้หลายรูปแบบ เช่น Integer Programming (IP) หรือ Binary Integer Programming (BP) เป็นต้น

2.3.1.3 วิธีกำเนิดสดมภ์

จากงานวิจัยของ Barnhart และคณะ (1998) สรุปไว้ว่าวิธีกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เป็นเทคนิคเพื่อหาคำตอบในปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดขนาดใหญ่ (Large-Scale Optimization Problem) โดยวิธีการนี้จะเริ่มต้นด้วยการสร้างเซตของแบบจำลองซึ่งเป็นสับเซตของแบบจำลองที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Master Problem: MP) ของปัญหาเรียกว่า Restricted Master Problem (RMP) จากนั้นหาค่าคำตอบของ RMP เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Objective Function Value) เมื่อค่ากำหนดของสมการเงื่อนไข (Right hand side) เปลี่ยนแปลง 1 หน่วย (Shadow price) จากนั้นนำมาหาค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced cost) ตามสมการความสัมพันธ์ดังนี้

ฟังชั่นวัตถุประสงค์

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

เมื่อ $\bar{c}_a$ Reduced cost ของตัวแปร

c_a ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปร

y^* Matrix ของค่า Shadow price

a Matrix ของ element ของตัวแปรใน Master Problem

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หากมีตัวแปรใดที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้ (กล่าวคือมีค่าของค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้เป็นลบ สำหรับกรณีของปัญหาค่าต่ำที่สุด) จะเพิ่มตัวแปรนั้นเข้าไปใน RMP และทำการหาค่าผลเฉลยใหม่อีกครั้ง จนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้จึงได้ผลเฉลยที่ดีที่สุด เห็นได้ว่าวิธีกำเนิดสดมภ์สามารถช่วยลดขนาดของปัญหาในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดลงได้อย่างมาก ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถช่วยลดความยุ่งยากของการแก้ปัญหาได้ทั้ง IP และ LP อีกด้วย

จากการศึกษาการแก้ปัญหา LP ขนาดใหญ่ด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ของ Wayne (2004) พบว่าเทคนิคการกำเนิดสดมภ์สามารถช่วยลดขนาดและความซับซ้อนของปัญหา LP ขนาดใหญ่ลงได้อย่างมาก

2.3.2 วิธีฮิวริสติค

วิธีฮิวริสติค (Heuristic Method) เป็นแนวทางที่พยายามลดความซับซ้อนของปัญหาด้วยหลักการคิดของผู้ที่พัฒนาวิธีเพื่อประมาณหาค่าผลเฉลยที่มีคุณภาพในระดับที่สามารถยอมรับได้ ดังนั้นวิธีฮิวริสติคจึงมีรูปแบบในการแก้ปัญหาที่ค่อนข้างยืดหยุ่นอย่างมาก ส่งผลให้ในปัญหาหนึ่งๆ อาจมีวิธีในการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติคที่แตกต่างกันมากมายหลายวิธี และ แม้ว่าวิธีฮิวริสติคจะได้ผลเฉลยที่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุดแต่วิธีนี้ก็มีจุดเด่นอยู่ที่ความรวดเร็วในการคำนวณผลเฉลย จากงานวิจัยของ Cordeau และคณะ (2005) ทำการจำแนกวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติคออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

- Constructive Heuristics คือวิธีฮิวริสติคที่ได้ผลเฉลยจากการแก้ปัญหาเพียงรอบเดียว วิธีฮิวริสติคกลุ่มนี้มักจะใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่น้อย แต่จะได้คุณภาพของผลเฉลยที่ไม่ดีเท่าไร เช่น วิธีประหยัด (Saving Method) จากงานวิจัยของ Clarke และ Wright (1964) และ วิธีกวาด (Sweep Method) จากงานวิจัยของ Gillett และ Miller (1974) เป็นต้น

- Improvement Heuristics คือวิธีฮิวริสติคที่นำผลเฉลยเบื้องต้นมาทำการพัฒนาคุณภาพของผลเฉลย โดยมากผลเฉลยเบื้องต้นจะได้มาจากวิธี Construction Heuristics ตัวอย่างวิธีฮิวริสติคในกลุ่มนี้จากการศึกษางานวิจัยในอดีต เช่น r-opt exchanges เป็นต้น

- Population Mechanism คือวิธีฮิวริสติคที่ทำการวนรอบเพื่อหาผลเฉลยที่ดีขึ้นเรื่อยๆ โดยพัฒนาจากผลเฉลยเดิมในรอบก่อนหน้า วิธีฮิวริสติคในกลุ่มนี้มักจะเป็นวิธีที่มีแนวคิดพื้นฐานแบบ Genetic Algorithm เช่น วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถในงานวิจัยของ Reeves (2003) เป็นต้น

- Learning Mechanism คือวิธีฮิวริสติคที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับ Population Mechanism ซึ่งจะทำการแก้ปัญหาเบื้องต้น จากนั้นทำการวนรอบแก้ปัญหาใหม่ทั้งหมดโดยเรียนรู้จากการแก้ปัญหาในรอบก่อนหน้าเพื่อที่จะหาผลเฉลยที่ดีขึ้นกว่าเดิมในทุกๆรอบ และหยุดการวนรอบเมื่อได้ผลเฉลยที่ต้องการ วิธีฮิวริสติคในกลุ่มนี้จากงานวิจัยในอดีตมีไม่มากนัก เช่น Ant Algorithm Heuristic ในงานวิจัยของ Reimann, Doerner และ Hartl (2004) เป็นต้น

2.3.2.1 วิธีประหยัด (Savings Method)

งานวิจัยของ Clarke และ Wright (1964) ได้พัฒนาวิธีการ วิธีประหยัด (Savings Method) นี้ขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีขนาดของปัญหาใหญ่ คำตอบที่ได้มีค่าแตกต่างโดยเฉลี่ยจากคำตอบที่ดีที่สุดประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ จากรูปที่ 2.2(a) แสดงตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีประหยัด เริ่มต้นจากการกำหนดให้รถวิ่งขนส่งระหว่างศูนย์กระจายสินค้า (Depot Center: DC) และ ลูกค้าทั้ง 3 ราย คือ i, j และ k แบบไปกลับจุดต่อจุด จากนั้นคำนวณค่าใช้จ่าย (Cost) ที่สามารถประหยัดเมื่อทำการรวมลูกค้าให้วิ่งไปด้วยรถคันเดียวกันดังสมการ

ฟังชั่นวัตถุประสงค์

$$S(i,j) = d(D,i) + d(D,j) - d(i,j)$$

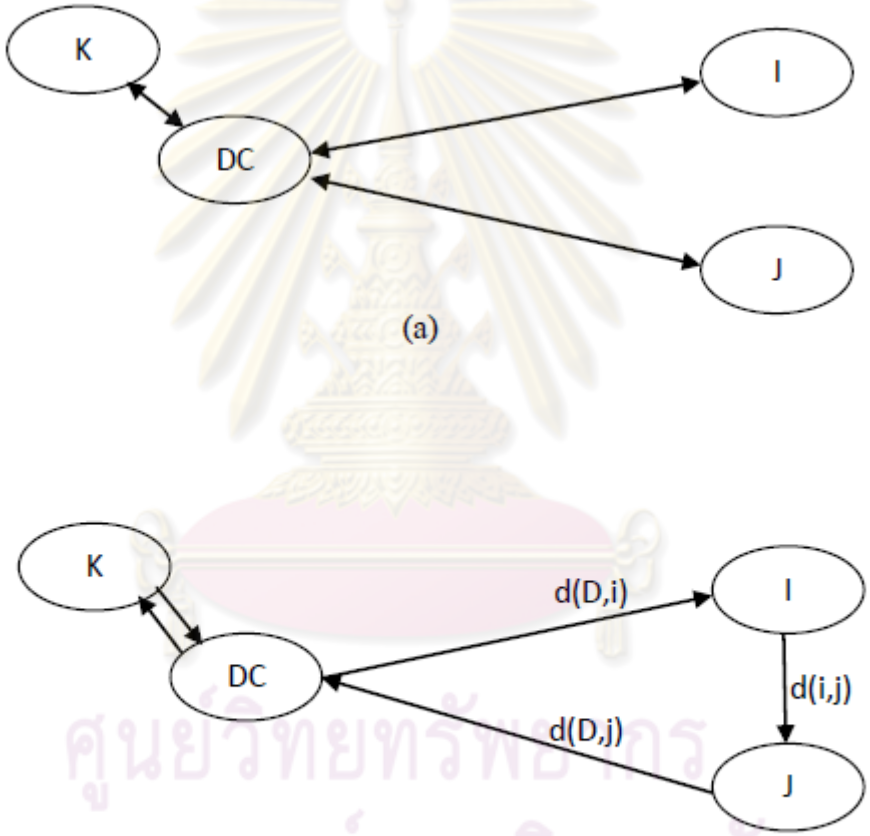
เมื่อ S(i,j) คือ ระยะทางที่สามารถประหยัดได้ในการรวมลูกค้าคนที่ i และ j

D(i,j) คือ ระยะทางจากจุด i ไปยังจุด j

D คือ จุดกระจายสินค้า (Distribution Center: DC)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อความง่ายต่อการเข้าใจกำหนดให้ค่าใช้จ่ายค่าใช้จ่ายคือระยะทาง เมื่อทำการคำนวณระยะทางที่ประหยัดได้สำหรับทุกคู่แล้วจึงเริ่มทำการรวมลูกค้าแต่ละคู่ให้อยู่ในเส้นทางเดินรถ (Route) เดียวกันโดยเริ่มรวมจากคู่ที่มาสามารถประหยัดได้มากที่สุดเรียงลำดับไปจนถึงน้อยที่สุด อย่างไรก็ดีต้องคำนึงถึงความจุของยานพาหนะอีกด้วย เมื่อได้ผลลัพธ์เส้นทางการเดินรถดังแสดงในรูปที่ 2.2(b) เห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้ทำการรวมลูกค้าราย i และ j ไว้ในเส้นทางการเดินรถเดียวกัน ซึ่งนอกจากจะสามารถลดระยะทางในการเดินทางแล้ว ยังสามารถช่วยลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในขนส่งอีกด้วย



รูปที่ 2.2 การลดระยะทางในการเดินทางโดยการรวมเส้นทาง

ขั้นตอนการทำ Saving Method นั้นเห็นได้ชัดว่าเป็นการแก้ปัญหาอย่างตะกละ (Greedy Algorithm) กล่าวคือ เลือกรวมลูกค้าที่ประหยัดได้มากที่สุดโดยไม่นึกผลกระทบที่เกิดขึ้นภายหลัง ซึ่งอาจจะให้ผลเฉลยที่ดีกว่า ยิ่งไปกว่านั้นความผิดพลาดดังกล่าวยังส่งผลกระทบมากขึ้นเมื่อ

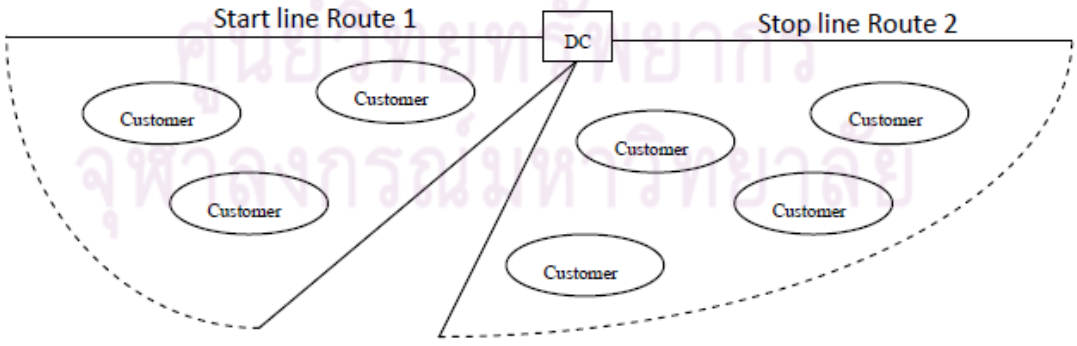
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหามีขนาดใหญ่เนื่องจากปัญหาที่มีขนาดใหญ่จะมีทางเลือกที่ไม่ได้คำนึงถึงมากขึ้นตามไปด้วย จากวิธีการทั้งหมดของ Saving Method นั้นจะได้เส้นทางการเดินรถ (Route) ก่อนที่จะได้กลุ่มของลูกค้าที่ได้รับส่งสินค้าด้วยยานพาหนะคันเดียวกัน (Cluster) ดังนั้นวิธีนี้ถือเป็นวิธีแก้ปัญหาแบบแบ่งเส้นทางการเดินรถก่อนการแบ่งกลุ่ม (Route First Cluster Second)

2.3.2.2 วิธีแทรก (Insertion Heuristic)

จากงานวิจัยของ Dantzig และ Ramser (1959) นำเสนอวิธีแทรก (Insertion Heuristic) ซึ่งเป็นวิธีในการแก้ปัญหาที่มีอัลกอริทึมที่ง่ายและตรงไปตรงมา อัลกอริทึมมีความคล้ายคลึงกับ Saving Method โดยอัลกอริทึมนี้คือการพยายามแทรกลูกค้าใหม่เข้าไประหว่างลูกค้าในเส้นทางการเดินทาง ซึ่งการแทรกนี้จะทำการเลือกแทรกลูกค้าที่มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นในการแทรกน้อยที่สุดก่อน อย่างไรก็ดีการแทรกต้องคำนึงถึงข้อจำกัดหลักอื่นให้สามารถเป็นไปได้ด้วย เช่น ความจุยานพาหนะ และ กำหนดการขนส่งสินค้า เป็นต้น เมื่อเส้นทางการเดินรถในปัจจุบันไม่สามารถเพิ่มลูกค้าในเส้นทางการเดินรถได้อีก อัลกอริทึมจะทำการสร้างเส้นทางการเดินรถใหม่และกระทำเช่นเดิมจนกระทั่งส่งสินค้าไปยังลูกค้าครบทุกราย จากวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีแทรกทั้งหมดข้างต้นเห็นได้ว่าวิธีแทรกเป็นรูปแบบการแก้ปัญหาอย่างตะกละ และได้เส้นทางการเดินรถก่อนที่จะได้กลุ่มของลูกค้าที่ได้รับส่งสินค้าด้วยยานพาหนะคันเดียวกันเช่นเดียวกับวิธีประหยัด

2.3.2.3 วิธีกวาด (Sweep Method)



รูปที่ 2.3 จัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีกวาด

วิธีกวาด (Sweep Method) เป็นวิธีการที่สะดวกและใช้เวลาในการแก้ปัญหาน้อย เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ คำตอบที่ได้มีค่าแตกต่างกับคำตอบที่ดีที่สุดโดยเฉลี่ยประมาณ

10 เปอร์เซ็นต์ วิธีการนี้เริ่มต้นจากการกำหนดพื้นที่ความรับผิดชอบของศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่ง แล้วกำหนดเส้นตรงออกจากศูนย์กระจายสินค้าให้หมุนไปในทิศตามเข็มหรือทวนเข็มนาฬิกา เมื่อเส้นตรงนี้ตัดกับลูกค้ารายใดก็ให้รวมเข้าอยู่ในเส้นทางเดินรถ หมุนเส้นตรงนี้ต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าจะไม่สามารถรวมลูกค้ารายใหม่เข้ามาในเส้นทางเดินรถได้ เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆ เช่น ปริมาณสินค้าเกินความจุของรถ เป็นต้น แล้วจึงเริ่มต้นจัดสายรถใหม่จากลูกค้าที่เหลืออยู่ จนกระทั่งลูกค้าทุกรายมีสายรถครบดังรูปที่ 2.3 จากนั้นเพื่อให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุดควรใช้เทคนิคต่างๆในการเดินรถภายใน เช่น หลักการปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของผลเฉลย แต่อย่างไรก็ดี ข้อเสียของวิธีนี้ คือ การควบคุมปัจจัยภายนอกอื่นๆ เช่น เวลาในการเดินทางทั้งหมด และ ช่วงเวลากำหนดการส่งสินค้า (Time Windows) นั้นทำได้ยาก

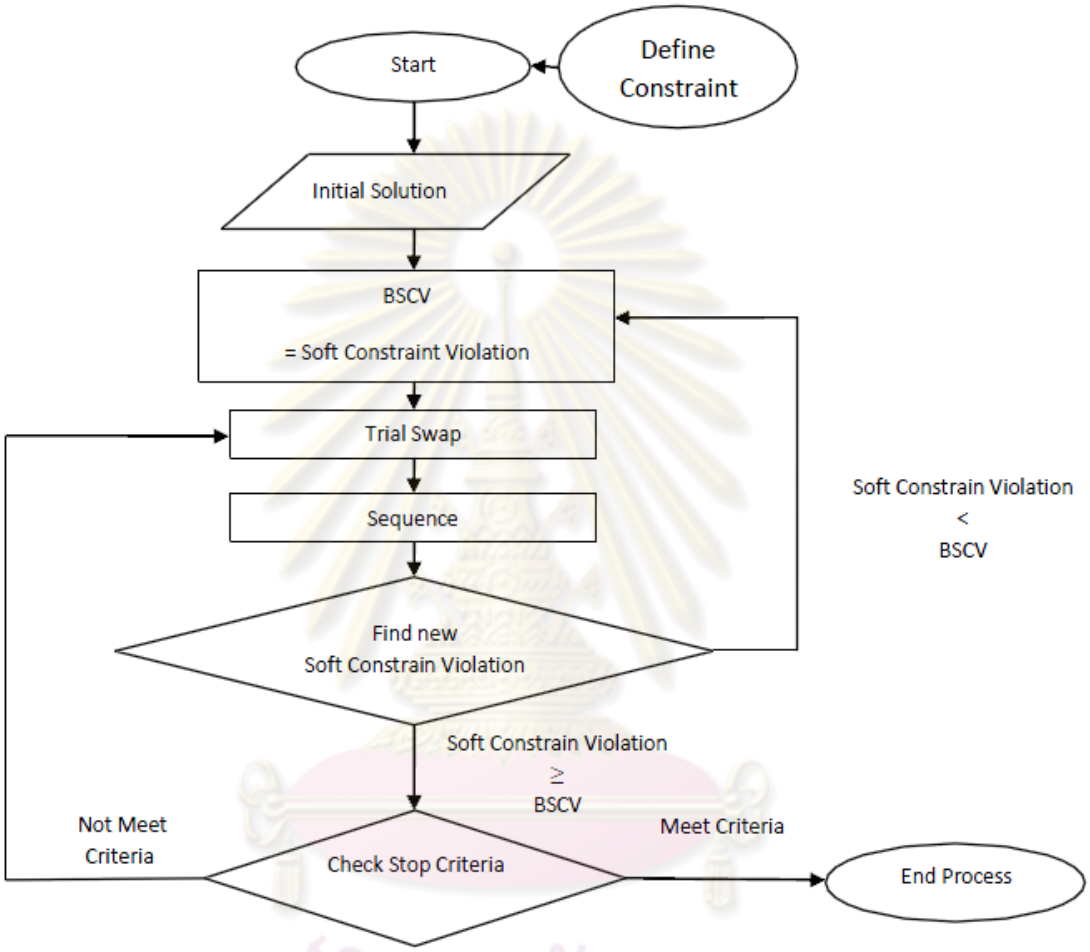
จากวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีกวาดทั้งหมดข้างต้นเห็นได้ว่าเป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบที่จะได้กลุ่มของลูกค้าที่ได้รับการขนส่งสินค้าด้วยยานพาหนะคันเดียวกันก่อนที่จุดได้เส้นทางการเดินรถ (Cluster First Route Second) ซึ่งแตกต่างจากวิธีประหยัด และ วิธีแทรก อย่างไรก็ตามวิธีกวาดนั้นยังคงเป็นวิธีการแก้ปัญหาอย่างตะกละ

2.3.2.4 วิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง (Neighborhood Search)

Shaw (1998) ทำการศึกษาวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง (Neighborhood Search: NS) หรืออีกชื่อหนึ่งที่เป็นที่รู้จักคือ local Search คือวิธีฮิวริสติคอีกวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาของศาสตร์การวิจัยดำเนินงานที่มีการวิจัยซึ่งได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องมาจากมีอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาที่ยืดหยุ่นและเข้าใจง่าย อัลกอริทึมจะเริ่มต้นด้วยเส้นทางการเดินรถเบื้องต้น (Initial Solution) จากนั้นทำการวนรอบเพื่อหาเส้นทางการเดินรถที่ดีขึ้นจนกระทั่งได้เส้นทางการเดินรถที่ต้องการจึงหยุดการวนรอบ อีกทั้งอัลกอริทึมจะมีการคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ อีกด้วย จากรูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง โดยวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งเริ่มต้นด้วยกำหนดข้อจำกัดของปัญหาโดยแบ่งข้อจำกัด (Constraint) ออกเป็น 2 กลุ่มดังนี้

1. ข้อจำกัดหลัก (Hard Constraint) คือ ข้อจำกัดที่ห้ามฝ่าฝืนโดนเด็ดขาด เช่น ความจุของยานพาหนะ และ ช่วงเวลาห้ามวิ่ง เป็นต้น

2. ข้อจำกัดรอง (Soft Constraint) คือ ข้อจำกัดที่สามารถฝ่าฝืนได้แต่ทางเลือกที่ดีที่สุดของผลเฉลยจะเลือกทางเลือกที่ฝ่าฝืนข้อจำกัดรองน้อยที่สุด เช่น ระยะทางรวมในการขนส่งสินค้า และ จำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง เป็นต้น



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง

จากนั้น ทำการสร้างผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) โดยผลเฉลยเบื้องต้นนั้นควรได้มาด้วยวิธีการที่ง่าย รวดเร็ว และ ไม่ขัดต่อข้อจำกัดหลัก ส่วนขั้นตอนต่อไปคือการวนรอบซึ่งจะเริ่มต้นด้วยการเก็บค่าการฝ่าฝืนข้อจำกัดรอง (Soft Constraint Violation) ของผลเฉลยเบื้องต้นเป็นค่าการฝ่าฝืนของปัญหา (Base Soft Constraint Violation: BSCV) และ ทำการเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถ (Trial Swap) จากนั้นทำการหาค่าการฝ่าฝืนข้อจำกัดรองของเส้นทางการเดินรถใหม่ หากมีค่าการฝ่าฝืนข้อจำกัดรองที่น้อยกว่าค่าการฝ่าฝืนของปัญหาและไม่ฝ่าฝืนข้อจำกัดหลัก ก็จะถูกจัดเก็บค่าการฝ่าฝืนนั้นเป็นค่าการฝ่าฝืนของปัญหาและเก็บผลเฉลยเป็นผลเฉลยของปัญหา แต่หากมีค่าการฝ่าฝืนค่าจำกัดรองมากกว่าค่าการฝ่าฝืนของปัญหาจะไม่ถูกจัดเก็บ จากนั้นทำการ

วนรอบกระทำซ้ำแบบเดิมไปเรื่อยจนผลเฉลยมีคุณภาพระดับที่ต้องการจึงหยุดการวนรอบ อย่างไรก็ดีตัวชี้วัดในการหยุดการวนรอบของ Neighborhood Search มีหลากหลายดังจะกล่าวถึงในลำดับถัดไป

วิธีในการสลับเปลี่ยนแปลงเส้นทางการเดินรถเพื่อหาเส้นทางการเดินรถที่ดีขึ้นในแต่ละรอบ (Trial Swap) มีอยู่ด้วยกันมากมายหลายวิธีเนื่องจากเป็นวิธีฮิวริสติค ดังนั้นวิธีการขึ้นอยู่กับหลักการคิดของผู้พัฒนาและลักษณะของปัญหา งานวิจัยของเกรียงศักดิ์ วณิชชากรพงศ์ และ ณกร อินทร์พยุง (2007) สามารถแบ่งวิธีการสลับได้เป็น 2 กลุ่มตามระดับของการแก้ปัญหาคือ การสลับเปลี่ยนภายในยานพาหนะ (Internal Trial Swap) และ การสลับเปลี่ยนภายนอกยานพาหนะ (External Trial Swap)

1. การสลับภายในยานพาหนะ คือ การสลับลำดับการขนส่งสินค้าภายในยานพาหนะคันเดียวกัน อย่างไรก็ตามการสลับเปลี่ยนภายในยานพาหนะนั้นเป็นประเด็นที่ไม่มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมากนัก เนื่องจากเป็นปัญหาขนาดเล็ก มีลูกค้าในยานพาหนะเพียงไม่กี่ราย ดังนั้นการสลับเปลี่ยนภายในจึงไม่ได้รับประโยชน์จากการใช้วิธีค้นหาเฉพาะแห่งซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติคมากเท่าใด เนื่องจากสามารถใช้วิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหาโดยใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่ไม่แตกต่างกันมากนัก

2. การสลับเปลี่ยนภายนอกยานพาหนะคือ การสลับเปลี่ยนลูกค้าที่จะต้องไปส่งระหว่างยานพาหนะคนละคัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะกระทำเมื่อ ไม่สามารถทำการสลับเปลี่ยนภายในยานพาหนะแล้วไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีกว่าปัจจุบันได้อีกแล้ว โดยมีรูปแบบการสลับเช่นเดียวกันกับ การสลับเปลี่ยนภายในยานพาหนะ

จากงานวิจัยของ Ahuja และ Orlin (2000) สรุปไว้ว่าเทคนิคในการสลับเปลี่ยนเส้นทางการเดินรถนั้นมีอยู่ด้วยกันหลากหลาย และ สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทหลักๆ ดังนี้

1. ประเภททำลายเส้นทางระหว่างสองจุดใดๆ บนเส้นทางการเดินรถและนำมาสร้างใหม่ในลักษณะที่แตกต่าง (Adding and Delete Arcs)

2. ประเภทสลับเปลี่ยนลำดับและลูกค้าระหว่างยานพาหนะ (Compounded swap)

3. ประเภทสลับเปลี่ยนลูกค้าแบบหมุนวน (Cyclical shift)

ตัวชี้วัดในการหยุดการวนรอบของวิธี Neighborhood Search มีอยู่ด้วยกันหลายตัวชี้วัดขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้สร้างอัลกอริทึม อย่างไรก็ดีสามารถสรุปตัวชี้วัดที่นิยมใช้ทั่วไปได้ 3 ตัว คือ ระยะเวลาในการคำนวณ จำนวนรอบ และ จำนวนรอบที่ไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้ ซึ่งตัวชี้วัดที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือ จำนวนรอบที่ไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้ เช่น หากกำหนดจำนวนรอบเป็น 3 หมายความว่าหากไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้ภายใน 3 รอบการทำงาน โปรแกรมจะหยุดการคำนวณและถือว่าผลเฉลยดังกล่าวเป็นผลเฉลยของปัญหา

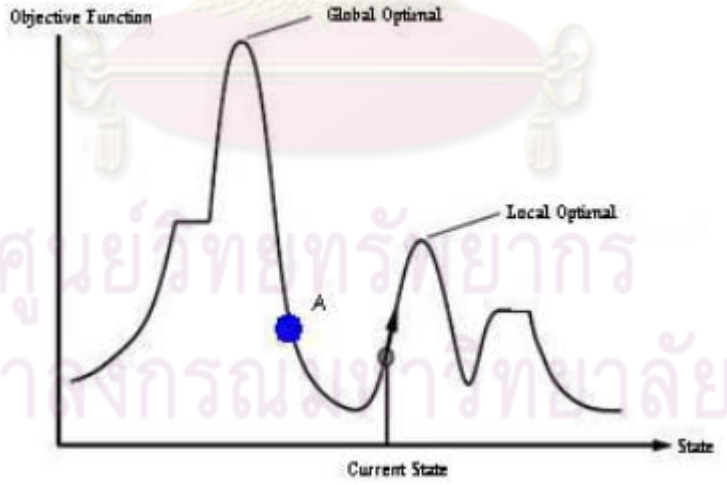
2.3.2.5 วิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ (Large Scale Neighborhood Search)

ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งนั้นจะประสบปัญหาการไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Global Optimal) เนื่องมาจากการกำหนดผลเฉลยเบื้องต้นที่ตายตัว ทำให้การค้นหาผลเฉลยนั้นทำได้ในขอบเขตที่แคบ ในเชิงวิชาการนั้นปัญหาดังกล่าวถูกเรียกว่าปัญหาดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optima) จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาวิธีการในการแก้ปัญหาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งวิธีการที่พัฒนาขึ้นดังกล่าว คือ วิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ (Large Scale Neighborhood Search: LNS) ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับถัดไป

จากงานวิจัยของ Ahuja และ Orlin (2000) สรุปไว้ว่าวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ (Large Scale Neighborhood Search: LNS) คือวิธีที่พัฒนามาจากวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ โดยวิธีการในการแก้ปัญหาจะคล้ายคลึงกับวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง แต่จะมีระยะของการค้นหาผลเฉลยข้างเคียง (Neighborhood solution) ที่กว้างขึ้น กล่าวคือ เส้นทางการเดินรถในแต่ละรอบของการวนรอบจะมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างมาก เช่น ทำการวนรอบโดยเปลี่ยนวิธีหาผลเฉลยเบื้องต้น (Initial Solution) วิธีการนี้สามารถช่วยแก้ปัญหาดีที่สุดเฉพาะพื้นที่ (Local Optima) ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ลงได้ ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับถัดไป

รูปที่ 2.5 แสดงการเกิดปัญหาดีที่สุดเฉพาะแห่ง (Local Optima) โดยผลเฉลยเบื้องต้นปัจจุบันอยู่ที่ตำแหน่ง Current State เห็นได้ว่าเมื่อทำการวนรอบด้วยวิธีค้นหาเฉพาะแห่ง (NS) ซึ่งมีระยะของการค้นหาผลเฉลยข้างเคียงที่แคบ ผลเฉลยจะค่อยๆ มีแนวโน้มไปในทิศทางเข้าหาผล

เฉลยดีที่สุดเฉพาะแห่ง (Local Optimal) และในที่สุด จะได้ผลเฉลยสุดท้ายเป็นผลเฉลยดีที่สุดเฉพาะแห่งเท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่ายังมีผลเฉลยอื่นๆ ที่ให้ผลเฉลยที่ดีกว่าผลเฉลยดีที่สุดเฉพาะแห่ง แต่หากทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ (LNS) ซึ่งมีระยะของการหาผลเฉลยข้างเคียงที่กว้าง แล้วพบว่าผลเฉลยสามารถกระโดดข้ามจากจุด Current State ไปยังจุด A ได้ และเมื่อวนรอบเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดแล้ว ผลเฉลยจะมีแนวโน้มไปทางผลเฉลยที่ดีที่สุด (Global Optimal) จนได้ผลเฉลยสุดท้ายเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุด สังเกตได้ว่า แม้ตำแหน่งของผลเฉลยเบื้องต้นที่เปลี่ยนแปลงแตกต่างกันไม่เยอะ ก็สามารถให้ผลเฉลยสุดท้ายที่แตกต่างกันมากได้ เนื่องมาจากวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง เป็นวิธีที่วนรอบเพื่อไปในทิศทางที่ผลเฉลยมีแนวโน้มที่ดีขึ้นโดยไม่ได้สนใจว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดอยู่ในทิศทางใด แต่วิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่แก้ปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการขยายระยะการค้นหาผลเฉลยข้างเคียง จึงสรุปได้ว่าในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่นั้นวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่เหมาะสมกว่าวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถก็จัดเป็นปัญหาขนาดใหญ่เช่นเดียวกัน อย่างไรก็ดีวิธีแก้ปัญหาด้วยการเปลี่ยนผลเฉลยเบื้องต้นก็ยังคงมีปัญหา เนื่องจากการขยายขนาดการค้นหาผลเฉลยข้างเคียงนั้นส่งผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลย กล่าวคือ ยิ่งระยะการค้นหาผลเฉลยข้างเคียงกว้างเท่าไหร่ ก็จะยิ่งใช้เวลาในการหาผลเฉลยมากขึ้นเท่านั้น



รูปที่ 2.5 ปัญหาดีที่สุดเฉพาะที่

เพื่อที่จะแก้ปัญหาดีที่สุดเฉพาะแห่ง (Local Optima) ในบางครั้งยังสามารถใช้วิธี Trial Swap ภายนอกเพื่อแก้ปัญหาดีที่สุดเฉพาะแห่งได้อีกด้วย โดยจะทำการสลับเปลี่ยนภายนอกแม้ว่าผลเฉลยหลังจากการสลับเปลี่ยนจะไม่ให้ค่าการฝ่าฝืนข้อจำกัดรองที่ต่ำกว่าก็ตาม การกระทำดังกล่าวเปรียบเสมือนการเปลี่ยนผลเฉลยเบื้องต้น อย่างไรก็ตามข้อจำกัดหลักยังคงเป็นข้อจำกัดที่ห้ามฝ่าฝืนเสมอไม่ว่าในกรณีใดๆ

2.4 งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

Burns และคณะ (1985) พัฒนาวิธีฮิวริสติกส์เพื่อใช้ในการจัดเส้นทางและตารางเวลารถบรรทุกสำหรับอุตสาหกรรมน้ำมันและก๊าซเหลว ซึ่งมีสถานีบริการน้ำมันและก๊าซจำนวนมากกว่า 3,000 แห่งกระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆ ระบบที่พัฒนาขึ้นได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับระบบการจัดเส้นทาง และตารางเวลารถบรรทุกที่ใช้อยู่ในปัจจุบันโดยบุคลากรแผนกการวางแผนการขนส่งของบริษัทที่มีประสบการณ์ ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยให้บริษัทสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการกระจายสินค้าลงได้ถึง 23% ในแต่ละปี

Webb และ Larson (1995) ได้ทำการแบ่งประเภทของปัญหาการจัดส่งออกเป็น 2 ระดับ คือปัญหาการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์และปัญหาการเชิงปฏิบัติการ ปัญหาการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์จะพิจารณาถึงจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งน้ำมัน ซึ่งบริษัทผู้ผลิตอาจจะเป็นเจ้าของกองยานพาหนะของตนหรือทำสัญญาเช่ากับบริษัทรถบรรทุกเป็นรายปี หรือแบบระยะยาว ในปัญหาเชิงกลยุทธ์นี้จะสมมุติให้ความต้องการสินค้าเป็นแบบเฉลี่ยหรือสามารถคำนวณได้จากสถิติของยอดขายที่ผ่านมา ปัญหาเชิงปฏิบัติการเป็นการตัดสินใจวางแผนการขนส่งและกระจายสินค้าในแต่ละวัน ซึ่งบริษัทจะต้องคาดคะเนถึงปริมาณน้ำมันที่เหมาะสมจะนำเข้าไปเติมเต็มให้กับสถานีบริการน้ำมันแต่ละแห่ง

Shaw (1998) ทำการศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธี Large Scale Neighborhood Search (LNS) บนข้อจำกัดทางด้านช่วงเวลากำหนดส่งสินค้า (Time Windows) และ ความจุ (Capacity) ขั้นตอนในงานวิจัยนี้ใช้หลักการคัดออก (Removal) และ แทรกกลับ (Re-insertion) โดยทำการทดสอบวิธีในการแทรกกลับหลายวิธี ได้ผลสรุปว่าวิธีการในการแทรกกลับที่แตกต่างกันส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลเฉลยและระยะเวลาในการประมวลผลอย่างมาก

ดังนั้นสิ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึงในการใช้วิธีการนี้คือ วิธีการในการคัดออกและแทรกกลับที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับปัญหา

งานวิจัยของ Jiyin Liu Chung-Lun Li และ Chun-Yan Chan (2003) ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาเส้นทางการเดินด้วยวิธีผสมผสานระหว่างวิธีใช้จุดกระจายสินค้า (Hub-and-spoke) และ ขนส่งโดนตรง (Direct Shipment) โดยใช้ค่าใช้จ่ายเป็นตัวชี้วัดในการช่วยแก้ปัญหา สรุปได้ว่าวิธีผสมผสานนี้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่ดีกว่าวิธีทั้ง 2 ข้างต้น เห็นได้ว่าในบางครั้งหากนำวิธีพื้นฐานที่ไม่มีความซับซ้อนมาผสมผสานใช้ในการแก้ปัญหาก็อาจทำให้เกิดวิธีการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพได้

งานวิจัยของ Ching-Wu Chu (2005) ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง โดยการจำแนกปัญหาออกเป็น 2 กลุ่มคือ สินค้าเต็มคันรถ และ สินค้าไม่เต็มคันรถ ก่อนจะทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีการวนรอบเพื่อหาผลเฉลย สรุปได้ว่าวิธีการนี้เป็นวิธีการที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว แต่คุณภาพของผลเฉลยจะค่อนข้างแตกต่างกับผลเฉลยที่ดีที่สุด

Ergun และ Savelsbergh (2004) ทำการแก้ปัญหา Time-constrained lane covering (TCLC) ด้วยวิธีฮิวริสติคโดยจะทำการกำหนดให้ตำแหน่งเริ่มต้น (Starting Location) และระยะเวลาการเดินทาง (Duration of Tour) เป็นค่าคงที่ในการแก้ปัญหาและมีสมการเป้าหมาย (Objective Function) คือ Minimize Duration of Tour โดยใช้ข้อจำกัดคือ Time windows ซึ่งขั้นตอนของงานวิจัยเริ่มต้นด้วยการกำหนดรอบการขนส่ง (Cycle) ที่เป็นไปได้ หรือ Cycle Generation ด้วยข้อจำกัด 2 ประการคือ ระยะทางสูงสุดต่อรอบการขนส่ง และ จำนวนจุดขนส่งสูงสุดต่อรอบการขนส่ง จากนั้นจำกัดข้อจำกัดเกี่ยวกับกำหนดการขนส่งด้วย Time Windows Algorithm ซึ่งมีหลักการคือ วนรอบเปลี่ยนเลือกจุดที่มีระยะเวลาการรอ (Waiting Time) สูงที่สุดมาเป็นจุดเริ่มต้นเสมอ (Origin) สุดท้ายจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่าวิธีการนี้จะให้ผลเฉลยที่ดีเทียบเคียงกับวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดแต่ไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงเนื่องจากเลือกจุดที่มีระยะเวลารอคอยสูงสุดเป็นจุดเริ่มต้นเสมอซึ่งในความเป็นจริงลูกค้าที่มีกำหนดการขนส่งสินค้าช่วงเย็นจะไม่สามารถเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีได้เลย แต่ในงานวิจัยนี้สามารถเป็นได้เนื่องจากกำหนดช่วงเวลาการขนส่งสินค้าเป็นค่าคงที่ ยิ่งไปกว่านั้นจากงานวิจัยนี้สามารถสรุปเพิ่มเติมได้ว่าหากเพิ่มระยะทางสูงสุดต่อรอบการส่งสูงสุด หรือ จำนวนจุดขนส่งสูงสุดต่อรอบการขนส่งสามารถช่วย

เพิ่มคุณภาพของผลเฉลยได้แต่จะทำให้ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นอย่างมาก กล่าวคือ การหย่อนข้อจำกัดการทำ Cycle Generation สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพของผลเฉลยได้แต่จะส่งผลกระทบให้ขนาดปัญหาใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการเลือกข้อจำกัดการสร้างรอบการขนส่งเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

Pepin และคณะ (2006) ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติคที่แตกต่างกัน 5 วิธี พบว่าแม้ว่าวิธีกำเนิดสดมภ์จะให้ผลเฉลยที่มีคุณภาพมากที่สุดแต่ใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่มาก ในขณะที่วิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่มีคุณภาพผลเฉลยที่แย่กว่าเล็กน้อยแต่กลับใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่น้อยกว่ามาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งเป็นวิธีฮิวริสติคที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

Bent และ Hentenryck (2006) เสนอวิธีที่ผสมผสานระหว่างวิธี 2 วิธีที่ได้รับความนิยมในการจัดเส้นทางการเดินรถไว้ด้วยกัน 2 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกใช้วิธี Simulated annealing (SA) ในการลดจำนวนเส้นทางเดินรถ (Route) เพื่อช่วยลดขนาดของปัญหาและเพิ่มความถูกต้องของผลเฉลยเมื่อใช้วิธีฮิวริสติค และในขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธี Large neighborhood search (LNS) ในการหาเส้นทางการเดินรถที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ซึ่งอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถหาคำตอบของปัญหา VRP ที่จำนวนลูกค้ามากถึง 600 แห่ง ภายในเวลาอันรวดเร็วและได้ผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีฮิวริสติคอื่น ดังนั้นงานวิจัยนี้เป็นผลลัพธ์ที่สามารถสนับสนุนความคิดที่ว่าการรวมข้อดีของหลายวิธีเพื่อพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาใหม่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการในการแก้ปัญหาได้

อัลกอริทึมของวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ที่ได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุดในปัจจุบันคือ งานวิจัยของ Pisinger และ Ropke (1987) ซึ่งเริ่มต้นทำการวนรอบเพื่อหาผลเฉลยด้วยการทำลายเส้นทางการเดินรถเดิม (Destruction) โดยวิธีในการทำลายเส้นทางการเดินรถมีด้วยกัน 2 วิธีคือ

1. Neighborhood Operators คือ การเลือกทำลายด้วยตัวชี้วัดอย่างใดอย่างหนึ่ง เช่น เลือกทำลายจุดที่จะสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากที่สุดเมื่อออกไปจากเส้นทางการเดินรถนั้นๆ เป็นต้น

2. Roulette – wheel คือ การเลือกใช้ตัวชี้วัดหลายตัว แต่ละรอบของการวนรอบจะใช้ตัวชี้วัดที่แตกต่างกัน โดยใช้หลักความน่าจะเป็นและสถิติเข้าช่วยในการเลือกตัวชี้วัดที่จะนำมาใช้ในแต่ละรอบ

หลังจากทำการทำลายโดยนำจุดบางจุดออกจากเส้นทางการเดินรถแล้วอัลกอริทึมจะทำการสร้างเส้นทางการเดินรถใหม่ (Reconstruction) ด้วยวิธีที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับการทำลายเส้นทางการเดินรถ ทำเช่นนี้จนได้เฉลยที่ต้องการจึงทำการหยุดการวนรอบ จากงานวิจัยสรุปได้ว่าอัลกอริทึมนี้สามารถหาผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุดในระยะเวลาสั้นในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนาดใหญ่

งานวิจัยของ Desaulniers และคณะ (2008) นำเสนอวิธีผสม (Hybrid Method) โดยนำวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งของ Pisinger และ Ropke (2007) มาพัฒนาโดยการใช้วิธีกำเนิดสดมภ์ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุดมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการสร้างเส้นทางการเดินรถใหม่ (Reconstruction) สรุปได้ว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีค้นหาเฉพาะแห่งของ Pisinger และ Ropke เมื่อใช้กับปัญหาที่มีลูกค้าไม่เกิน 200 ราย อย่างไรก็ดีวิธีที่พัฒนาขึ้นใช้เวลาในการแก้ปัญหาที่สูงกว่าอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกัน

เกรียงศักดิ์ วณิชชากรพงศ์ และ ณกร อินทร์พยุง (2007) ทำการศึกษาวิธีประยุกต์ระหว่างวิธี Column Generation (CG) และ Large Scale Neighborhood Search (LNS) เพื่อแก้ปัญหา Pickup and Delivery Problem (PDP) โดยใช้ CG ในการจำกัดขนาดปัญหาและกำหนดสร้างปัญหาย่อย โดยโครงสร้างของ CG เป็นรูปแบบที่ออกแบบมาเฉพาะรูปแบบของปัญหาหรือเงื่อนไขของปัญหาภายใต้ Branch and Bound Tree และ ใช้วิธี Local Search ซึ่งมีโครงสร้างที่ง่ายและยืดหยุ่นมาประยุกต์ใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาย่อย โดยเกรียงศักดิ์ และ ณกร ใช้ข้อจำกัดหลัก (Hard Constraint) ทั้งหมด 5 อย่างด้วยกันคือ

1. งานรับหรือส่งสินค้าแต่ละงานต้องถูกรองรับด้วยรถเพียงคันเดียว

2. การรับและส่งสินค้าชิ้นเดียวกันต้องเป็นกิจกรรมที่ปฏิบัติโดยรถคันเดียวกัน

3. การรับสินค้าเป็นกิจกรรมที่ต้องกระทำก่อนการส่งสินค้าชิ้นนั้น

4. ปริมาณสินค้าภายในยานพาหนะเมื่อมาถึงจุดรับ/ส่งสินค้าลำดับที่ i จะต้องมีปริมาณเท่ากับผลรวมปริมาณสินค้าเมื่อมาถึงจุดที่ i-1 กับ ปริมาณสินค้าที่ให้บริการที่จุด i-1
5. ปริมาณสินค้าที่บรรทุกบนยานพาหนะต้องไม่เกินความจุที่สามารถรองรับได้

นอกจากนี้เกรียงศักดิ์ และ ณกร กำหนดข้อจำกัดรอง (Soft Constraint) ทั้งหมด 2 ข้อ ดังต่อไปนี้

1. จำนวนยานพาหนะที่ใช้

2. ระยะทางรวมที่เดินทางเพื่อการขนส่ง

สังเกตได้ว่าข้อจำกัดรองสามารถมีมากกว่า 1 ข้อจำกัดได้ ทั้งที่การเปรียบเทียบแต่ละเส้นทางการเดินรถนั้นต้องเปรียบเทียบกันบนมาตรฐาน (Standard) เดียวกัน โดยใช้ตัวแปรน้ำหนัก (Weight Factor) ของแต่ละข้อจำกัดลงไป กล่าวคือหากการเพิ่มขึ้นของจำนวนรถหนึ่งคันส่งผลกระทบเทียบเท่าระยะทางที่เพิ่มขึ้น 10 กิโลเมตร ค่าของตัวแปรน้ำหนักค่าเท่ากับ 10 กิโลเมตรต่อคัน เป็นต้น

ยศศิริ อดุลยศักดิ์ (2007) ศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบเต็มคันรถ กล่าวคือไม่มีการรับสินค้าเพิ่มเติมระหว่างทางโดยการควบรวมรอบการขนส่งเพื่อให้เกิดเส้นทางการขนส่งอย่างต่อเนื่อง ยิ่งไปกว่านั้นยังมีการเพิ่มเงื่อนไขตามสภาพความเป็นจริงของปัญหา เช่น ลักษณะสินค้า ฝูงรถ เวลาการนำสินค้าขึ้น-ลง ช่วงเวลาห้ามวิ่ง และกรอบเวลา เป็นต้น พบว่าการกำหนดเงื่อนไขสามารถลดขนาดของปัญหาลงได้อย่างมากซึ่งเป็นข้อดีของแบบจำลองแบบเส้นทาง (Path Base) อย่างไรก็ดีการกำหนดเงื่อนไขเป็นสิ่งที่พึงระวังอย่างยิ่ง เนื่องจากการจำกัดเงื่อนไขที่มากเกินไปอาจทำให้จำกัดขอบเขตในการค้นหาผลเฉลยซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของโปรแกรมถูกจำกัดจนได้ผลเฉลยที่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าที่ควรจะเป็น และจากงานวิจัยนี้สรุปได้ว่า การแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองขนาดเต็มและการแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ให้ค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดมีค่าใกล้เคียงกันอย่างมาก แต่การแก้ปัญหาด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ใช้เวลาในการแก้ปัญหาน้อยกว่าอย่างมาก

นอกจากนี้ ยศศิริ อดุลยศักดิ์ ยังเสนอแนวคิดในการพัฒนาวิธีการกำเนิดสดมภ์โดยการพัฒนาขั้นตอนในการหาเส้นทางที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากที่สุดหรือการหาเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด (Shortest Path Algorithm) มาประยุกต์ร่วม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การศึกษาการดำเนินการ
ของแผนกจัดส่งของบริษัทตัวอย่างและวิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาการดำเนินการของแผนกจัดส่งของบริษัทตัวอย่าง ตลอดจนปัญหาและแนวทางในการปรับปรุงการดำเนินการของแผนกจัดส่ง ในส่วนสุดท้ายจะนำเสนอถึงขั้นตอนวิธีการวิจัยที่ใช้ในงานวิจัยนี้

3.1 ลักษณะการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่าง

แผนกจัดส่งของบริษัทตัวอย่าง ทำหน้าที่การวางแผนการจัดส่งน้ำมันให้แก่สถานีบริการน้ำมันภายใต้แบรนด์สินค้าของบริษัท และลูกค้าโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ การวางแผนจะเป็นการวางแผนแบบวันต่อวัน หมายความว่า นักวิเคราะห์การจัดส่งของแผนกจะต้องทำการวางแผนการจัดส่งหนึ่งวันล่วงหน้าก่อนที่จะมีการจัดส่งจริง ลักษณะของการขนส่งจะเป็นการขนส่งทางรถทั้งหมด โดยมีรถที่ใช้ในการทำการจัดส่งทั้งหมด 5 ขนาดความจุ ซึ่งในรถแต่ละขนาดจะมีจำนวนช่องใส่สินค้า และขนาดความจุของช่องแตกต่างกันไป ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของรถที่ใช้ในการจัดส่งของบริษัทตัวอย่าง

รหัสรถ	ขนาดความจุรถ (ลิตร)	จำนวนช่องเติม	ขนาดของช่องเติม (ลิตร)
A	46,000	7	9,000/6,500/4,000/9,000/5,500/6,000/6,000
B	38,000	7	6,000/6,000/4,000/4,000/6,000/6,000/6,000
C	32,000	5	10,000/4,000/6,000/6,000/6,000
D	22,000	4	6,000/4,000/6,000/6,000
E	12,000	2	6,000/6,000

ในแต่ละวันทางแผนกจัดส่งจะได้รับข้อมูลจากแผนกต่างๆที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการจัดส่งในวันถัดไป คือ ข้อมูลรายละเอียดของปริมาณน้ำมันคงเหลือในคลังน้ำมัน ข้อมูลรายละเอียดของฝูงรถที่พร้อมสำหรับทำการจัดส่งในวันถัดไป และข้อมูลความต้องการน้ำมันของลูกค้า โดยในแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

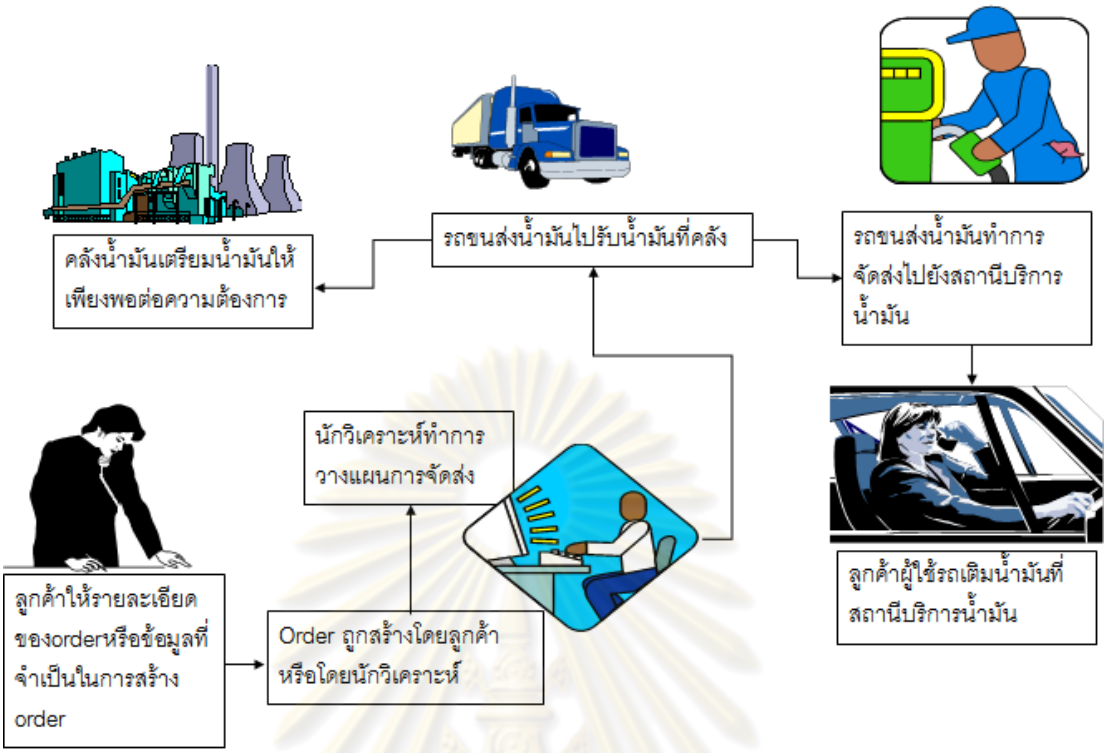
- ข้อมูลรายละเอียดของปริมาณน้ำมันคงเหลือในคลังน้ำมัน เป็นข้อมูลที่ได้มาจากฝ่ายคลังน้ำมัน ซึ่งมีหน้ามีดูแลให้น้ำมันมีเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า นอกเหนือจากข้อมูลด้านปริมาณน้ำมันคงเหลือ ยังมีข้อมูลทางเทคนิคของน้ำมันแต่ละชนิดซึ่งส่งผลต่อน้ำหนักของน้ำมัน

- ข้อมูลรายละเอียดของฝูงรถที่พร้อมสำหรับทำการจัดส่งในวันถัดไป เป็นข้อมูลที่ได้จากผู้รับเหมาซึ่งมีหน้าดำเนินการขนส่งตามคำสั่งของบริษัท โดยข้อมูลที่ได้รับจะบอกถึงจำนวนรถที่สามารถใช้งานได้ในวันถัดไปของรถแต่ละขนาด จำนวนพนักงานขับรถ รวมถึงจำนวนรถและพนักงานขับรถนอกสัญญา ที่อาจจะมีความจำเป็นต้องใช้ในกรณีฉุกเฉิน

- ข้อมูลความต้องการน้ำมันของลูกค้า เป็นข้อมูลที่ฝ่ายขายจะทำการรวบรวมจากลูกค้าและส่งมาให้แผนกจัดส่ง มีทั้งในรูปแบบปริมาณคำสั่งซื้อสำหรับลูกค้าสั่งเอง และในรูปแบบข้อมูลสต็อกและยอดขายสำหรับลูกค้าที่บริษัทดูแลสต็อกให้

นอกเหนือจากข้อมูลที่ได้รับเพื่อการวางแผนการจัดส่งแบบวันต่อวันแล้ว ยังมีข้อมูลที่จำเป็นอื่นๆในฐานข้อมูลของบริษัท เช่น ข้อมูลรายละเอียดด้านระยะทาง ข้อมูลรายละเอียดของลูกค้า เป็นต้น ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดมีการแบ่งหน้าที่อย่างชัดเจนว่าแผนกใดเป็นผู้ดูแลข้อมูลให้มีความถูกต้องอยู่อย่างสม่ำเสมอ

เมื่อนักวิเคราะห์รวบรวมข้อมูลครบทั้งหมด นักวิเคราะห์จะทำการวางแผนการจัดส่ง โดยงานจะมีการแบ่งเป็นส่วนๆให้แก่นักวิเคราะห์จำนวน 5 คน เพื่อให้นักวิเคราะห์สามารถทำการวางแผนให้เสร็จได้ภายในเวลา แล้วทำการส่งตารางงานที่วางแผนเสร็จให้แก่ผู้รับเหมา เพื่อให้ผู้รับเหมานำงานไปแจกจ่ายงานให้แก่พนักงานขับรถ เพื่อดำเนินการจัดส่งในวันถัดไป ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงานของบริษัทตัวอย่าง

3.2 ปัญหาในการวางแผนการจัดส่งของบริษัทตัวอย่าง

- ใช้นักวิเคราะห์จำนวนมากเนื่องจากเป็นงานที่มีรายละเอียดของข้อมูลสูง รวมถึงมีข้อจำกัดในหลายๆด้านที่ต้องคำนึงถึง เช่น ต้องทำการวางแผนให้เสร็จสมบูรณ์ภายในหนึ่งวันล่วงหน้าก่อนที่จะมีการทำการจัดส่งจริง และต้องวางแผนการจัดส่งให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดส่งต่ำที่สุด เป็นต้น

- จากข้อจำกัดต่างๆที่กล่าวมาถึงแม้จะมีการแบ่งงานออกเป็นส่วนๆ เพื่อให้จำนวนงานต่อนักวิเคราะห์หนึ่งคนมีสัดส่วนที่น้อยลง แต่ยังมีโอกาสมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น และการวางแผนยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร

3.3 แนวทางการปรับปรุงการวางแผนการจัดส่งของบริษัทตัวอย่าง

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า การแก้ปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น สามารถทำได้โดยการเขียนโปรแกรมขึ้นมาช่วยในการจัดตารางการเดินรถ โดยนำรูปแบบแบบจำลองการแบ่งเซต (Set Partitioning Model) มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้น เนื่องจากการใช้รูปแบบแบบจำลองนี้ จะสามารถแก้ปัญหาด้านค่าใช้จ่ายและข้อกำจัดทั้งหมดที่กล่าวมาข้างต้นได้ แล้วจึงนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาหาผลเฉลยที่ดีที่สุด แล้วใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดขนาดใหญ่ (Large-scale optimization) ที่มีประสิทธิภาพ มาช่วยให้โปรแกรมสามารถหาผลเฉลยได้ในเวลาที่มีอยู่อย่างจำกัด เพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในจริงในบริษัทตัวอย่าง

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้วางโครงร่างงานวิจัยโดยวิเคราะห์ถึงแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมัน ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนการวิจัยได้ดังนี้

1. ศึกษาปัญหาและรวบรวมข้อมูลของระบบการทำงานปัจจุบัน

    - ข้อมูลปฐมภูมิ ได้จากการสอบถามไปยังผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่จะทำการวิจัย ได้แก่ นักวิเคราะห์การจัดส่งในบริษัทตัวอย่าง

    - ข้อมูลทุติยภูมิ ได้จากการรวบรวมข้อมูล, เอกสาร, ระเบียบและข้อบังคับต่างๆ ของบริษัทตัวอย่าง

2. ค้นคว้าเอกสาร ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

    - ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

    - แบบจำลองการแบ่งเซต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

- งานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

3. รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่องานวิจัยโดยมีโครงร่างของข้อมูลที่ต้องการดังนี้

- เส้นทางและระยะทางของโครงข่าย

- ชนิดและลักษณะของฝูงรถ

- จำนวนรถในแต่ละประเภท

- โครงสร้างราคาค่าขนส่ง

- รายละเอียดและข้อจำกัดของลูกค้า

- ช่วงเวลาการห้ามวิ่งของรถขนส่งน้ำมัน

- รายละเอียดคำสั่งซื้อ

4. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมัน

5. พัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ปัญหา

- ทดลองขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาเบื้องต้นที่ได้พัฒนาขึ้นกับปัญหาตัวอย่างซึ่งมีขนาดเล็ก และทำการทดสอบด้วยซอฟแวร์สำเร็จรูป

- จัดหาซอฟแวร์สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีความเหมาะสม เพื่อนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาในงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ศึกษารูปแบบของภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแอพลิเคชันที่สามารถทำงานร่วมกับซอฟแวร์สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้

- สร้างแอพลิเคชันสำหรับการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดซึ่งเป็นการพัฒนาขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาต้นทุนการขนส่งรวมที่ต่ำที่สุด

- สร้างรูปแบบการแสดงผลลัพธ์ที่ได้

- ตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้โดยเปรียบเทียบผลกับซอฟแวร์อื่น และทำการปรับปรุงแก้ไข

- ตรวจสอบผลลัพธ์โดยให้นักวิเคราะห์การจัดส่งในบริษัทตัวอย่าง ประเมินความถูกต้องและความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ และทำการปรับปรุงแก้ไข

6. ทดสอบวิธีการแก้ปัญหาด้วยชุดข้อมูลจากบริษัท

โดยทำการทดสอบชุดข้อมูลหลัก และทดสอบแยกเป็นชุดข้อมูลรอง เพื่อให้สามารถนำผลมาวิเคราะห์ถึงผลกระทบของการที่ขนาดข้อมูลมีความแตกต่างกัน

7. วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง

ทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลลัพธ์ที่ได้จากบริษัทตัวอย่าง โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และระยะเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา

8. สรุปผลงานวิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหา

การพัฒนาแบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งน้ำมัน จะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ในการขนส่งที่มีความซับซ้อนหลายข้อจำกัดด้วยกัน ซึ่งแบบจำลองที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนั้น เป็นแบบจำลองที่สามารถรองรับปัญหาการวางแผนการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งน้ำมันที่มีความซับซ้อนได้ ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น วิธีการในการแก้ไขข้อจำกัดด้านขนาดของรถในการเข้าถึงลูกค้า ด้านเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า ด้านจำนวนช่องที่ต้องใช้ใส่น้ำมันบนรถ ด้านระยะทางระหว่างสถานีบริการ และด้านปริมาณน้ำมันที่ทำการจัดส่ง และรายละเอียดการวิจัยในส่วนแอพลิเคชันสำหรับการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมัน

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นแบบจำลองที่มีโครงสร้างของแบบจำลองการแบ่งเซต (Set Partitioning Model) ซึ่งเป็นการแบ่งส่วนของเส้นทางการขนส่งที่ประกอบไปด้วยเซตของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทางในการขนส่ง (OD Shipment) ต่างๆที่เป็นไปได้ ซึ่งแบบจำลองนี้ มีคำจำกัดความตัวแปร สัมประสิทธิ์ และเซตของแบบจำลองดังนี้

<u>เซต</u>

P_{kt} คือเซตของเส้นทางการขนส่งทั้งหมดของประเภทฝูงรถ k ณ ช่วงเวลา t ซึ่งสมาชิกประกอบด้วย p_{kt}

K คือเซตของขนาดความจุของฝูงรถ ซึ่งสมาชิกประกอบด้วย k

T คือเซตของช่วงเวลาในการเดินเที่ยวรถ ซึ่งสมาชิกประกอบด้วย t

O คือเซตของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง (Original-Destination) ซึ่งประกอบด้วยสมาชิก ij

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวแปร

$x_{p_{kt}}$ คือตัวแปรในการตัดสินใจ ถ้าเส้นทาง p_{kt} ถูกเลือกในการเดินรถจะมีค่าเท่ากับ 1 และกรณีอื่นๆจะมีค่าเท่ากับ 0

สัมประสิทธิ์

$c_{p_{kt}}$ คือค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการเดินทางในเส้นทาง p_{kt}

$\delta_{p_{kt}}^{ij}$ คือพารามิเตอร์ระบุว่า ถ้าเส้นทาง p_{kt} ครอบคลุมการขนส่งลูกค้า ij จะมีค่าเท่ากับ 1 และกรณีอื่นๆจะมีค่าเท่ากับ 0

$\delta_{p_{kt}}^{kt}$ คือพารามิเตอร์ระบุว่า ถ้าเส้นทาง p_{kt} ใช้ฝูงรถชนิด k ณ ช่วงเวลา t จะมีค่าเท่ากับ 1 และกรณีอื่นๆจะมีค่าเท่ากับ 0

N^{kt} คือจำนวนฝูงรถชนิด k ทั้งหมดที่สามารถเดินรถได้ในช่วงเวลา t

ฟังชั่นวัตถุประสงค์

$$\text{Min} \sum_{t\in T}\sum_{k\in K}\sum_{p_{kt}\in P_{kt}} c_{p_{kt}} x_{p_{kt}} \qquad (1)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{p_{kt}\in P_{kt}} \delta_{p_{kt}}^{ij} x_{p_{kt}} = 1 \qquad \forall ij \in O \qquad (2)$$

$$\sum_{p_{kt}\in P_{kt}} \delta_{p_{kt}}^{kt} x_{p_{kt}} \le N^{kt} \text{ And integer} \qquad \forall k \in K, \forall t \in T \qquad (3)$$

$$x_{p_{kt}} \in \{0,1\} \qquad (4)$$

ฟังชั่นวัตถุประสงค์ (1) เพื่อหาผลเฉลยที่มีค่าที่ต่ำที่สุด (Minimize) ของค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งหมด เงื่อนไข (2) กำหนดให้แต่ละคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายต้องได้รับการจัดส่งเพียงหนึ่งครั้ง เงื่อนไข (3) กำหนดให้การใช้ฝูงรถแต่ละชนิดในแต่ละช่วงเวลาต้องไม่ใช้รถเกินที่กำหนด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และต้องเป็นจำนวนเต็มบวก และเงื่อนไข (4) กำหนดให้ตัวแปรเกิดได้ 2 กรณีคือ เลือก (ตัวแปรมีค่าเท่ากับ 1) หรือไม่เลือก (ตัวแปรมีค่าเท่ากับ 0)

การพิจารณาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้น จะคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในเส้นทางการขนส่งนั้นเฉพาะส่วนที่เป็นค่าใช้จ่ายแปรผัน (Variable Cost) คือ ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว (Cost per Trip) และค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง (Cost per Distance) เนื่องจากแบบจำลองนี้ไม่มีผลต่อการวางแผนระดับกลยุทธ (Strategic Planning) งานวิจัยนี้จึงไม่นำในส่วนของค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) เข้ามาคำนวณซึ่งจะกล่าวถึงโดยละเอียดในบทถัดไป

ค่าใช้จ่ายในส่วนที่นำมาคำนวณนี้จะเป็นสัมประสิทธ์ของสมการเป้าหมาย (Objective Function Coefficient) คือ $c_{p_{kt}}$ การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้น จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายที่พิจารณาเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดในเส้นทางหนึ่งๆ ดังนั้น การคำนวณค่าใช้จ่ายจึงสามารถคำนวณจากวิธีการคิดค่าใช้จ่ายในรูปแบบวิธีการต่างๆได้ ซึ่งเป็นข้อดีของแบบจำลองที่มีโครงสร้างของแบบจำลองรูปแบบการแบ่งเซต

4.2 ขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาเบื้องต้นที่ได้พัฒนาขึ้นกับปัญหาตัวอย่างขนาดเล็กและทำการทดสอบด้วยซอฟแวร์สำเร็จรูป

เพื่อทดสอบความเป็นไปได้ของแบบจำลองเบื้องต้นที่ได้พัฒนาขึ้นมา ผู้วิจัยได้ทดลองทำการสร้างแบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนาดย่อซึ่งมีรูปแบบคล้ายคลึงกับปัญหาในงานวิจัย โดยใช้หลักการแบบจำลองการแบ่งเซต แล้วนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนำมาทำการทดสอบกับโปรแกรม Microsoft Excel 2003 โดยใช้ Add-in ของ Frontline Systems ชื่อ Premium Solver ช่วยในการหาผลเฉลยของปัญหา โดยปัญหาขนาดย่อมีข้อสมมุติของปัญหาดังนี้

- มีลูกค้าทั้งหมด 30 ราย
- มีรถ 3 ขนาด และแต่ละขนาดมีค่าใช้จ่ายในการจัดส่งแตกต่างกัน
- ใน 1 วันสามารถจัดส่งได้ 3 เที่ยว

- ปริมาณความต้องการ และระยะทางระหว่างสถานที่ใช้เป็นตัวเลขที่สุ่มขึ้นมา

จากปัญหาที่สมมุติขึ้นเมื่อนำไปพัฒนาเป็นแบบจำลองจะมีข้อจำกัดทั้งหมด 39 ตัว และมีตัวแปรทั้งหมด 4,185 ตัว โดยมีรายละเอียดของข้อจำกัดและตัวแปรดังนี้

- ลูกค้า 1 รายจัดส่งเพียงวันละ 1 ครั้ง ทำให้เกิดข้อจำกัด 30 ตัว

- รถมีทั้งหมด 3 ขนาด โดยรถทุกขนาด ใน 1 วันสามารถจัดส่งได้ 3 เที่ยว ทำให้เกิดข้อจำกัด 9 ตัว

- ตัวแปรส่วนที่ 1 : 1 คำสั่งซื้อต่อ 1 เที่ยวการจัดส่ง ลูกค้า 30 ราย รถ 3 ชนิด และวิ่งงานวันละ 3 เที่ยว ทำให้เกิดตัวแปร 270 ตัว

- ตัวแปรส่วนที่ 2 : 2 คำสั่งซื้อต่อ 1 เที่ยวการจัดส่ง ลูกค้า 30 ราย รถ 3 ชนิด และวิ่งงานวันละ 3 เที่ยว ทำให้เกิดตัวแปร 3,915 ตัว

จากการทดสอบแบบจำลองของปัญหาขนาดย่อที่สร้างขึ้น โปรแกรม Premium Solver โปรแกรมสามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ แต่เมื่อนำปัญหาการจัดเส้นทางการจัดส่งที่เกิดขึ้นจริงของบริษัทตัวอย่างซึ่งมีปริมาณคำสั่งซื้อสูงถึง 300 คำสั่งซื้อต่อวัน และมีข้อจำกัดต่างๆตามที่กล่าวไว้ในข้างต้นมาคำนวณหาจำนวนตัวแปรและข้อจำกัด โดยใช้หลักการแบบจำลองการแบ่งเซตปัญหาของงานวิจัยจะทำให้เกิดตัวแปรมากถึง 1,083,600 ตัว และข้อจำกัดมากถึง 324 ตัว ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยด้วยโปรแกรม Premium Solver ได้

4.3 การลดจำนวนตัวแปรของแบบจำลองก่อนนำไปหาผลลัพธ์

ปัญหาเรื่องจำนวนตัวแปรที่เพิ่มมากขึ้นในอัตราส่วนแบบเอ็กซ์โพแนนเชียล กับขนาดของปัญหาเป็นปัญหาหลักของการสร้างแบบจำลองด้วยแบบจำลองการแบ่งเซต (Set Partitioning Model) งานวิจัยนี้จึงจะทำการลดตัวแปรของแบบจำลองลงก่อนที่จะนำไปหาผลเฉลย โดยนำข้อจำกัดทางการจัดส่งต่างๆของบริษัทตัวอย่างมาแปลงเป็นเงื่อนไขเพื่อลดจำนวนตัวแปรที่ไม่สามารถเป็นไปได้ในการจัดส่ง ถ้าตัวแปรใดๆของแบบจำลองไม่ผ่านเงื่อนไขจะทำการกำจัดตัวแปร

นั้นออกจากแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองเหลือเฉพาะตัวแปรที่มีประสิทธิภาพเท่านั้นก่อนที่จะนำไปหาผลเฉลยในขั้นตอนต่อไป โดยเงื่อนไขในการลดจำนวนตัวแปรมีดังต่อไปนี้

- เงื่อนไขด้านขนาดของรถในการเข้าถึงลูกค้า
- เงื่อนไขด้านเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า
- ระยะทางระหว่างสถานีบริการที่จัดส่งภายในรถคันเดียวกันต้องมีในฐานข้อมูล เพื่อเป็นการลดตัวแปรที่จับคู่ระหว่างสถานีบริการที่อยู่ไกลเกินความสามารถในการจัดส่ง
- ปริมาณของน้ำมันบนรถที่จะทำการจัดส่งต้องเกิน 90% ของขนาดรถ เพราะถ้าทำการจัดส่งโดยขนส่งไม่เต็มคันจะทำให้ต้นทุนต่อหน่วยสูงเกินไป
- ปริมาณของน้ำมันบนรถที่จะทำการจัดส่งต้องไม่เกิน 110% ของขนาดรถ เนื่องจากตามสัญญาที่บริษัทตัวอย่างตกลงกับลูกค้าจะไม่ลดปริมาณเกิน 10% ของปริมาณคำสั่งซื้อที่ลูกค้าสั่ง
- จำนวนช่องที่ต้องใช้ในการใส่น้ำมันของคำสั่งซื้อบนรถต้องไม่เกินจำนวนช่องที่มีในรถนั้นๆ

อย่างไรก็ตามตัวแปรที่พิจารณาของแบบจำลองในงานวิจัยนี้ คือเส้นทางการขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทำให้ตัวแปรที่เกิดขึ้นในแบบจำลองนี้ยังมีจำนวนมาก ดังนั้นการแก้ปัญหาจึงต้องการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา ซึ่งรายละเอียดของวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาแบบจำลองนี้ จะกล่าวถึงโดยละเอียดในส่วนถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 แอพลิเคชันสำหรับการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด

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

1. แบบการโต้ตอบ (Interactive)

2. แบบการใช้ไลบรารีที่เรียกใช้ได้ (Callable Library)

การใช้งานแบบโต้ตอบคือการใช้งานแบบที่ผู้ใช้งานป้อนข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์โดยตรงด้วยมือ ซึ่งเหมาะสำหรับปัญหาขนาดเล็ก

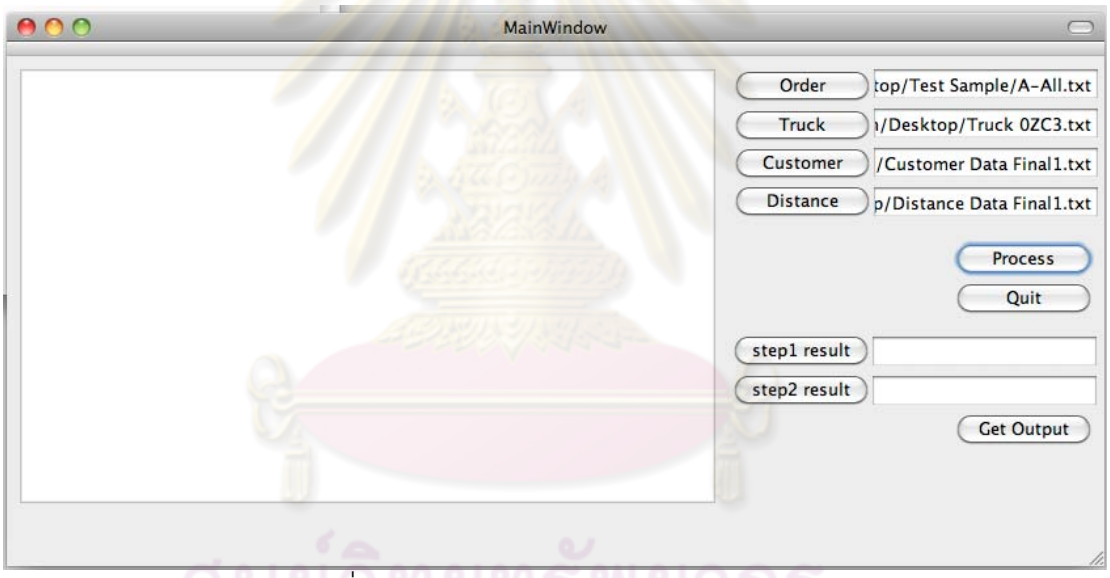
การใช้งานแบบไลบรารีที่เรียกใช้ได้คือการสร้างโปรแกรมเฉพาะสำหรับปัญหาเฉพาะด้านขึ้นมา โดยควบรวมเครื่องมือสำหรับการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimization Engine) นี้เข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมในลักษณะการเรียกใช้ไลบรารี หรือฟังก์ชั่นจากไลบรารี (Callable Library) การใช้งานจะใช้ผ่านโปรแกรมเฉพาะที่ผู้ใช้สร้างขึ้นเอง วิธีนี้เหมาะสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ที่มีสูตรคำนวณซับซ้อนและไม่เหมาะต่อการป้อนข้อมูลด้วยมือ

ซอฟท์แวร์เชิงพาณิชย์เหล่านี้มีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีราคาแพงมาก ทำให้ผู้สนใจหรือนักวิจัยภายในประเทศไม่สามารถนำซอฟท์แวร์เหล่านี้ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้เขียนจึงได้พัฒนาซอฟท์แวร์เพื่อการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดขึ้นเองดังมีรายละเอียดดังนี้

หลังจากการศึกษาซอฟแวร์สำหรับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและรูปแบบของภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมเพื่อสร้างแอพลิเคชันที่สามารถทำงานร่วมกับซอฟแวร์ได้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแอพลิเคชัน โดยใช้ภาษา C++ ร่วมกับซอฟท์แวร์ QT SDK ของบริษัท Nokia ให้ทำการการสร้างแบบจำลองการแบ่งเซตรวมถึงในส่วนของการลดขนาดแบบจำลองโดยการเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัด หลังจากนั้นจะนำแบบจำลองที่ได้มาหาผลเฉลยโดยเรียกใช้ฟังก์ชันจากซอฟท์แวร์ Solving

Constraint Integer Programs (SCIP) version 1.2 – CLP1.10.1 ซึ่งเป็นไลบรารีที่เรียกใช้งานได้ภายใต้ License ของ ZIB Academic License ซึ่งเป็นโปรแกรม Non-Commercial ที่มีประสิทธิภาพสูงในการแก้ปัญหา Mixed Integer Programming โดยแอพลิเคชันที่ใช้มีรายละเอียดและขั้นตอนการใช้งานดังนี้ (ข้อมูลรายละเอียดของ SCIP แสดงอยู่ในภาคผนวก ก.)

หน้าจอทำงานหลักของแอพลิเคชันที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ ในขั้นตอนแรกจะให้ผู้ใช้ทำการใส่ข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างแบบจำลอง และเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆเพื่อลดขนาดแบบจำลอง ลงในตัวหน้าจอทำงานหลักของแอพลิเคชัน โดยข้อมูลที่จำเป็นคือ รายละเอียดและข้อจำกัดของคำสั่งซื้อ รายละเอียดและค่าใช้จ่ายของฝูงรถ รายละเอียดและข้อจำกัดของลูกค้า และข้อมูลระยะทางทั้งหมดที่มีในฐานข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 4.1

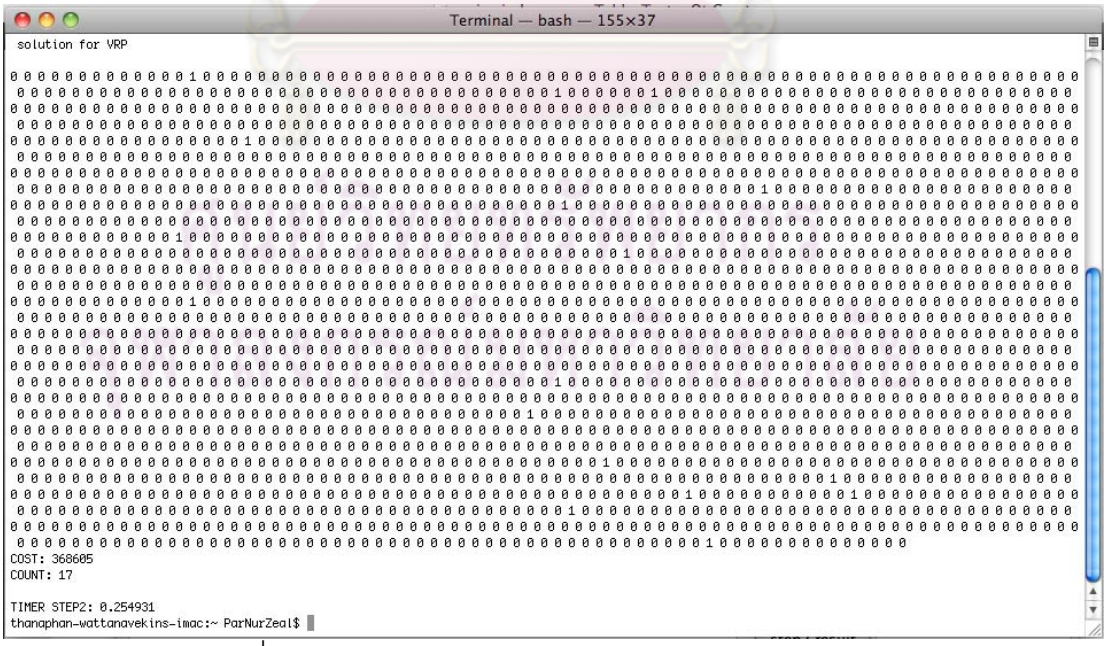


รูปที่ 4.1 หน้าจอทำงานหลักของแอพลิเคชัน

หลังจากทำการใส่ข้อมูลที่จำเป็นในการสร้างและลดขนาดแบบจำลองทั้งหมดลงในแอพลิเคชัน เมื่อสั่งคำสั่งให้แอพลิเคชันทำงาน แอพลิเคชันจะทำการสร้างแบบจำลองการแบ่งเซตและทำการตัดตัวแปรที่ไม่ผ่านเงื่อนไขของข้อจำกัดต่างๆ แล้วสร้างผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของแอพลิเคชันเป็นไฟล์เมตริกซ์เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนต่อไป พร้อมทั้งบอกรายละเอียดของไฟล์เมตริกซ์ผ่านทางหน้าจอแสดงผลรอง ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พร้อมทั้งทำการสร้างไฟล์ข้อมูลของชุดปัญหา (ไฟล์ผลลัพธ์ส่วนที่ 1) เพื่อนำไปใช้ในการแปลค่าผลลัพธ์ของไฟล์เมตริกซ์ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (ไฟล์ผลลัพธ์ส่วนที่ 2) ที่จะได้จากขั้นตอนถัดไป

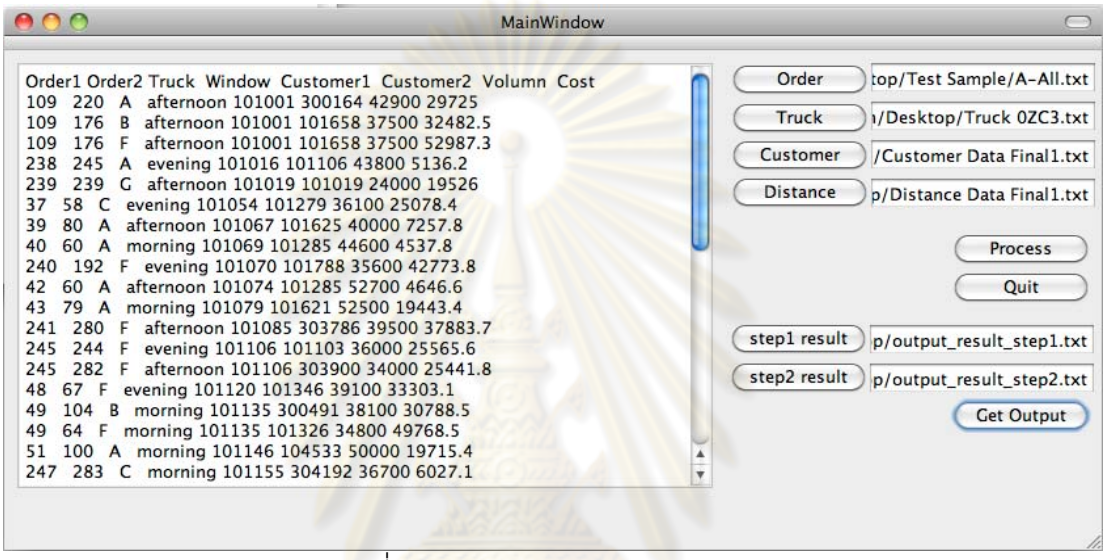
รูปที่ 4.2 หน้าจอแสดงผลรายละเอียดของแบบจำลอง

เมื่อได้ผลลัพธ์จากแอพลิเคชันที่สร้างขึ้นเป็นไฟล์เมตริกซ์ จะนำไปทำการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด หรือในงานวิจัยนี้คือนำไปหาผลลัพธ์ของชุดปัญหาที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดส่งต่ำที่สุด โดยเรียกใช้ฟังก์ชันจากซอฟท์แวร์ Solving Constraint Integer Programs (SCIP) version 1.2 – CLP1.10.1 ซึ่งเป็นไลบรารีที่เรียกใช้งานได้ ผ่านทางซอฟแวร์ Terminal ซึ่งเป็นซอฟแวร์พื้นฐานของระบบปฏิบัติการ OSX เพื่อให้หาผลเฉลยให้กับไฟล์เมตริกซ์ที่สร้างขึ้นจากขั้นตอนก่อนหน้า เมื่อไลบรารี SCIP ทำการหาผลเฉลยจนได้ค่าผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดแล้ว ซอฟแวร์ Terminal จะทำการสร้างไฟล์ผลลัพธ์ในรูปแบบเมตริกซ์ (ไฟล์ผลลัพธ์ส่วนที่ 2) บอกถึงค่าผลเฉลยที่ได้จากการทำงานของไลบรารี ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ซอฟท์แวร์ Terminal สำหรับเรียกใช้ SCIP ไลบรารี

นำไฟล์ผลลัพธ์ที่ได้จากทั้ง 2 ส่วน (ไฟล์ผลลัพธ์ส่วนที่ 1 และไฟล์ผลลัพธ์ส่วนที่ 2) ใส่ในหน้าจอการทำงานหลักของแอพลิเคชัน แล้วสั่งให้แอพลิเคชันทำการแปลค่าผลลัพธ์ แอพลิเคชันจะทำการแปลค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด ให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ ผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงว่าคำสั่งซื้อใด ใช้รถขนาดใด จัดส่งในช่วงเวลาใด และมีค่าใช้จ่ายในการจัดส่งเป็นเท่าไหร่ ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 หน้าจอหลักแสดงค่าผลลัพธ์

ในบทนี้ผู้วิจัยได้กล่าวถึงการพัฒนาวิธีการหาค่าผลเฉลยของแบบจำลองการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งน้ำมันด้วยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงวิธีการลดจำนวนเส้นทางที่เป็นไปได้ที่ต้องพิจารณาโดยการเพิ่มเงื่อนไขต่างๆลงในแบบจำลอง ในบทถัดไปจะแสดงถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ดังกล่าว เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการปฏิบัติการจริงของบริษัทตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
ผลการทดสอบ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้ถูกนำมาทดสอบโดยใช้ชุดข้อมูลที่ได้จากบริษัทตัวอย่าง การทดสอบได้ใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผล Intel Core 2 Duo processor ความเร็ว 3.06GHz โดยมีหน่วยความจำ 4GB และใช้ซอฟท์แวร์ QT SDK ในการสร้างแบบจำลอง และหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ซอฟแวร์ Terminal ทำการเรียกใช้ฟังก์ชันจากไลบรารีของ Solving Constraint Integer Programs (SCIP) version 1.2 – CLP1.10.1 ผ่านทางซอฟแวร์ Terminal ซึ่งเป็นซอฟแวร์พื้นฐานของระบบปฏิบัติการ OSX

5.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง

ข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองนั้น เป็นข้อมูลมาตราฐานที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริงของบริษัทตัวอย่างซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายน้ำมัน มีการขนส่งกระจายน้ำมันไปยังสถานีบริการ และลูกค้าโรงงานอุตสาหกรรมทั่วประเทศ โดยข้อมูลที่จะใช้ทดสอบเป็นข้อมูลที่ทำการสุ่มมาจำนวน 6 ชุดข้อมูลหลัก (A-F) โดยสุ่มข้อมูลแต่ละชุดจากแต่ละเดือนตั้งแต่ กันยายน 2552 – กุมพาพันธ์ 2553 ในแต่ละชุดข้อมูลหลัก (รหัสชุดข้อมูล 0) สามารถแบ่งย่อยได้เป็น 4 ชุดข้อมูลรอง (รหัสชุดข้อมูล 1-4) ทำให้เกิดข้อมูลสำหรับใช้ทำการทดสอบทั้งหมด 30 ชุด โดยมีรายละเอียดของแต่ละชุดข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดจำนวนคำสั่งซื้อของชุดข้อมูลหลักและรองที่ใช้ทำการทดสอบแบบจำลอง

ชุดปัญหา	หลัก	รอง			
	0	1	2	3	4
A (ก.ย. 2552)	290	32	54	76	128
B (ต.ค. 2552)	295	28	55	81	131
C (พ.ย. 2552)	281	23	49	78	131
D (ธ.ค. 2552)	300	28	55	78	139
E (ม.ค. 2553)	304	29	54	86	135
F (ก.พ. 2553)	300	23	55	85	137

ตารางที่ 5.2 แสดงถึงรายละเอียดจำนวนตัวแปรของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อนำมาทำการสร้างแบบจำลองการแบ่งเซตโดยไม่ทำการเพิ่มเงื่อนไข เปรียบเทียบกับจำนวนตัวแปรของแบบจำลองเมื่อนำไปลดจำนวนตัวแปรลงโดยการเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆทางการจัดส่ง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มเงื่อนไขลงในแบบจำลองก่อนนำไปทำการหาผลเฉลย ทำให้แบบจำลองมีขนาดเล็กลงอย่างมาก ซึ่งขนาดของแบบจำลองจะส่งผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 5. 2 จำนวนตัวแปรของแบบจำลองก่อนและหลังเพิ่มเงื่อนไข

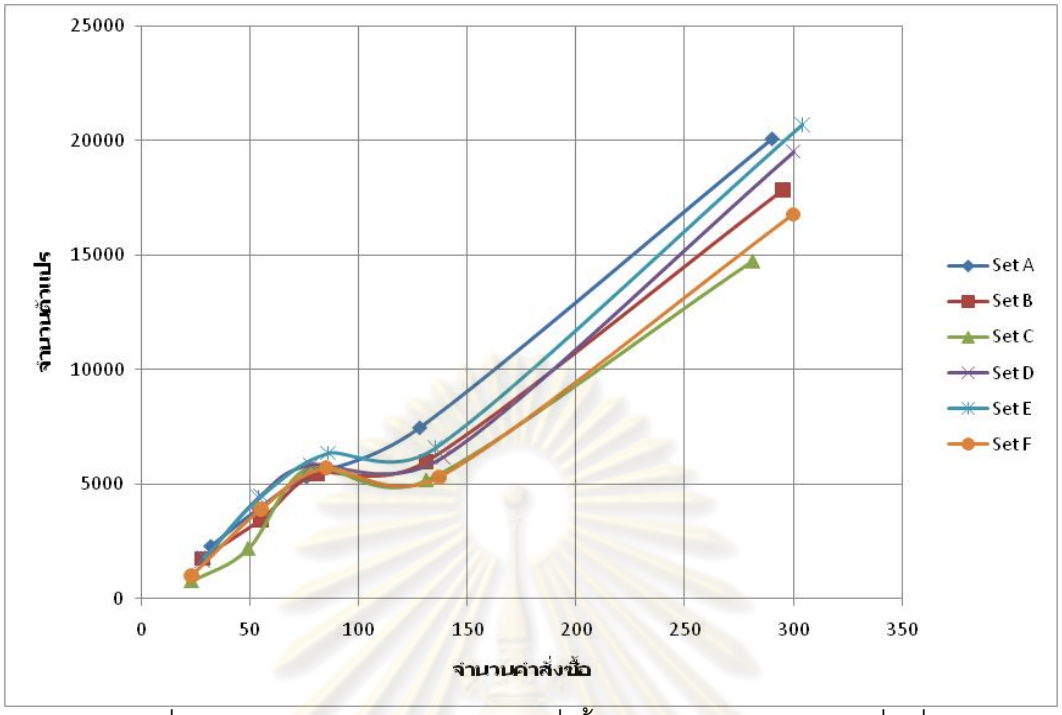
ชุดข้อมูล	จำนวนตัวแปร ก่อนทำการเพิ่มเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร หลังทำการเพิ่มเงื่อนไข	จำนวนสมการเงื่อนไข
A-0	1,012,680	20,067	314
A-1	12,672	2,313	56
A-2	35,640	3,954	78
A-3	70,224	5,331	100
A-4	198,144	7,479	152
B-0	1,047,840	17,850	319
B-1	9,744	1,761	52
B-2	36,960	3,456	79
B-3	79,704	5,469	105
B-4	207,504	5,982	155
C-0	950,904	14,766	305
C-1	6,624	768	47
C-2	29,400	2,190	73
C-3	73,944	5,811	102
C-4	207,504	5,187	155

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

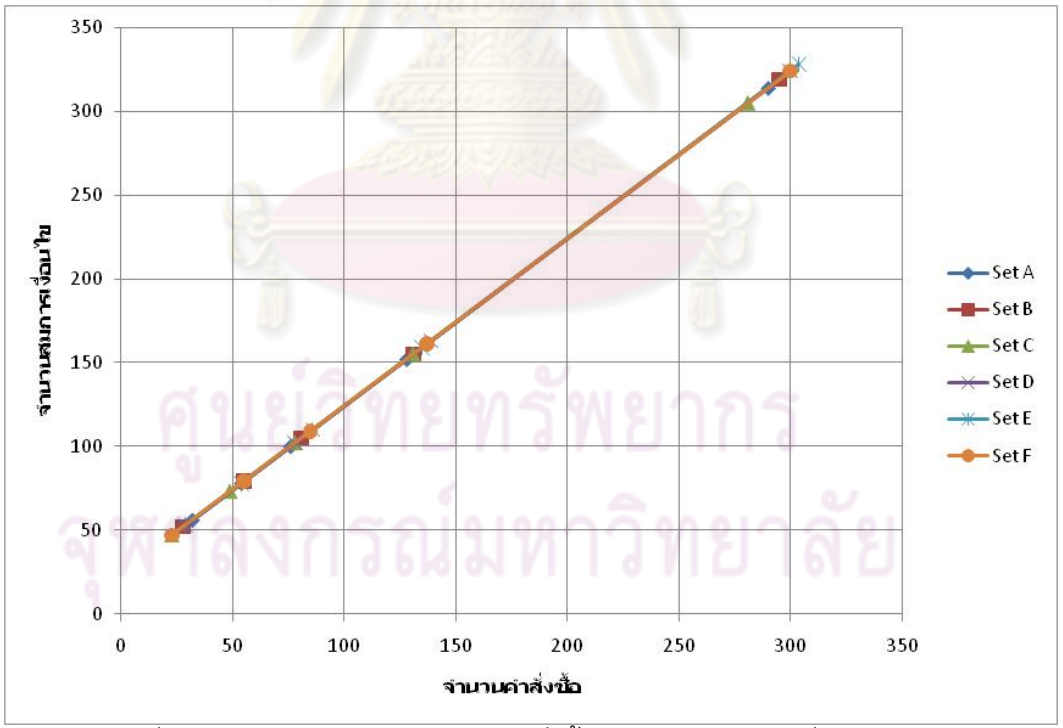
ตารางที่ 5. 2 จำนวนตัวแปรของแบบจำลองก่อนและหลังเพิ่มเงื่อนไข (ต่อ)

ชุดข้อมูล	จำนวนตัวแปร ก่อนทำการเพิ่มเงื่อนไข	จำนวนตัวแปร หลังทำการเพิ่มเงื่อนไข	จำนวนสมการเงื่อนไข
D-0	1,083,600	19,530	324
D-1	9,744	1,659	52
D-2	36,960	4,506	79
D-3	73,944	5,841	102
D-4	233,520	6,186	163
E-0	1,112,640	20,706	328
E-1	10,440	1,809	53
E-2	35,640	44,198	78
E-3	89,784	6,378	110
E-4	220,320	6,594	159
F-0	1,083,600	16,790	324
F-1	6,624	1,017	47
F-2	36,960	3,924	79
F-3	87,720	5,715	109
F-4	226,872	5,325	161

ข้อดีของการเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆลงในแบบจำลองก่อนนำไปหาผลเฉลย ทำให้ตัวแปรที่ไม่มีประสิทธิภาพถูกตัดออกจากแบบจำลอง จากรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าจำนวนตัวแปรหรือจำนวนสดมภ์ของชุดข้อมูลแต่ละชุดเพิ่มขึ้นในอัตราค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับขนาดของชุดข้อมูล ในส่วนจำนวนสมการเงื่อนไขหรือจำนวนแถวของชุดข้อมูลแต่ละชุด มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างคงที่เมื่อเทียบกับขนาดของชุดข้อมูล ซึ่งคุณลักษณะดังกล่าว ถือเป็นข้อดีของการใช้แบบจำลองการแบ่งเซ็ต (Set Partitioning Model) ในการสร้างแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ของจำนวนคำสั่งซื้อกับจำนวนตัวแปรหลังเพิ่มเงื่อนไข



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของจำนวนคำสั่งซื้อกับจำนวนสมการเงื่อนไขบังคับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบแบบจำลอง

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองกับผลลัพธ์ที่ได้จากบริษัทตัวอย่าง และจะทำการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองระหว่างผลลัพธ์รวมของชุดปัญหารองกับผลลัพธ์ของชุดปัญหาหลัก โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และระยะเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา

5.2.1. เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

ค่าใช้จ่ายที่นำมาเปรียบเทียบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของผลลัพธ์ คือ ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยวและค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง ไม่รวมถึงค่าใช้จ่ายต่อเดือนเนื่องจากจำนวนฝูงรถของบริษัทตัวอย่างมีการทำสัญญา ระยะยาว ค่าใช้จ่ายต่อเดือนจึงถือเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ซึ่งไม่สามารถลดลงได้จากการเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการจัดส่งในระดับปฏิบัติการ

จากการทดสอบเมื่อนำค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงของบริษัทตัวอย่าง เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากแอพลิเคชันที่สร้างขึ้นในงานวิจัยชิ้นนี้ แสดงให้เห็นว่างานวิจัยชิ้นนี้สามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายของชุดปัญหาได้ตั้งแต่ประมาณ 8% จนมากถึงประมาณ 40% ในบางชุดปัญหา หรือเฉลี่ยประมาณ 21% ดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงของบริษัทตัวอย่างกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง

ชุดข้อมูล	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของบริษัทตัวอย่าง	ผลลัพธ์ของแบบจำลอง	สัดส่วนค่าใช้จ่ายที่ลดลง
A-0	1,132,393	872,213	23.0%
A-1	187,108	159,705	14.6%
A-2	135,282	107,689	20.4%
A-3	263,971	217,425	17.6%
A-4	546,033	389,638	28.6%
B-0	1,118,358	888,686	20.5%
B-1	158,810	137,559	13.4%

ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงของบริษัทตัวอย่างกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลอง (ต่อ)

ชุดข้อมูล	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งของบริษัทตัวอย่าง	ผลลัพธ์ของแบบจำลอง	สัดส่วนค่าใช้จ่ายที่ลดลง
B-2	153,500	111,920	27.1%
B-3	277,054	233,357	15.8%
B-4	528,990	406,320	23.2%
C-0	1,131,393	824,679	27.1%
C-1	123,852	105,770	14.6%
C-2	146,476	106,409	27.4%
C-3	265,584	221,931	16.4%
C-4	595,481	399,192	33.0%
D-0	1,149,047	907,427	21.0%
D-1	159,456	144,523	9.4%
D-2	136,812	105,039	23.2%
D-3	260,282	226,032	13.2%
D-4	592,497	437,455	26.2%
E-0	1,191,689	933,571	21.7%
E-1	165,255	150,672	8.8%
E-2	142,668	105,233	26.2%
E-3	297,226	264,174	11.1%
E-4	586,540	423,041	27.9%
F-0	1,177,103	872,948	25.8%
F-1	124,152	90,463	27.1%
F-2	171,431	106,349	38.0%
F-3	298,961	259,021	13.4%
F-4	582,559	433,859	25.5%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพื่อแสดงให้เห็นถึงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่ลดลง จะทำการแจกแจงและวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูล B-0, B-1, B-2, B-3 และ B-4 (รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอย่างละเอียดของชุดข้อมูลทั้งหมดแสดงอยู่ในภาคผนวก ข. และ ค.)

โดยรายละเอียดจะแบ่งเป็นจำนวนเที่ยว ระยะทางรวม ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว ค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง และค่าใช้จ่ายรวม แยกตามขนาดความจุของรถที่ใช้ โดยข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงของบริษัทตัวอย่างแสดงอยู่ในตารางที่ 5.4 ถึง 5.8 ส่วนข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองแสดงในตารางที่ 5.9 ถึง 5.13

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	115	25,952	48,162	661,776	709,938
	38,000	30	6,840	13,800	158,004	171,804
	32,000	27	5,680	11,386	127,800	139,186
	22,000	19	6,087	8,822	67,782	76,604
	12,000	5	815	1,837	18,990	20,826
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		196	45,374	84,006	1,034,352	1,118,358

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	4	2,638	1,675	67,269	68,944
	38,000	7	2,505	3,220	57,866	61,086
	32,000	4	1,069	1,687	24,053	25,739
	22,000	2	960	929	2,112	3,041
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		17	7,172	7,511	151,299	158,810

ตารางที่ 5.6 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	22	3,328	9,214	84,864	94,078
	38,000	8	800	3,680	18,480	22,160
	32,000	8	1,253	3,374	28,193	31,566
	22,000	1	2,380	464	5,236	5,700
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		39	7,761	16,732	136,773	153,504

ตารางที่ 5.7 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	26	5,768	10,889	147,084	157,973
	38,000	14	3,301	6,440	76,253	82,693
	32,000	3	599	1,265	13,478	14,743
	22,000	4	341	1,857	7,502	9,359
	12,000	3	480	1,102	11,184	12,286
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		50	10,489	21,553	255,501	277,054

ตารางที่ 5.8 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	63	14,218	26,384	362,559	388,943
	38,000	1	234	460	5,405	5,865
	32,000	12	2,759	5,060	62,078	67,138
	22,000	12	2,406	5,572	52,932	58,504
	12,000	2	335	735	7,806	8,540
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		90	19,952	38,211	490,779	528,990

ตารางที่ 5.9 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	130	25,104	54,444	640,152	694,596
	38,000	12	2,046	5,520	47,263	52,783
	32,000	24	3,399	10,121	76,478	86,598
	22,000	15	1,540	6,965	33,880	40,845
	12,000	4	532	1,469	12,396	13,865
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		185	32,621	78,519	810,168	888,686

ตารางที่ 5.10 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	6	3,295	2,513	84,023	86,535
	38,000	5	1,238	2,300	28,598	30,898
	32,000	4	617	1,687	13,883	15,569
	22,000	1	186	464	4,092	4,556
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		16	5,336	6,964	130,595	137,559

ตารางที่ 5.11 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	24	2,943	10,051	75,047	85,098
	38,000	2	292	920	6,745	7,665
	32,000	10	664	4,217	14,940	19,157
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		36	3,899	15,188	96,732	111,920

ตารางที่ 5.12 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	26	6,485	10,889	165,368	176,256
	38,000	12	1,044	5,520	24,116	29,636
	32,000	3	480	1,265	10,800	12,065
	22,000	6	527	2,786	11,594	14,380
	12,000	1	28	367	652	1,020
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		48	8,564	20,827	212,530	233,357

ตารางที่ 5.13 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	63	11,614	26,384	296,157	322,541
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	12	1,954	5,060	43,965	49,025
	22,000	8	827	3,714	18,194	21,908
	12,000	3	504	1,102	11,743	12,845
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		86	14,899	36,261	370,059	406,320

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ลดลงทั้งจากด้านค่าใช้จ่ายต่อเที่ยวและค่าใช้จ่ายต่อระยะทางต่อค่าใช้จ่ายที่สามารถลดลงได้ทั้งหมด แสดงให้เห็นว่าสัดส่วนค่าใช้จ่ายที่ลดลงมากกว่า 95% มาจากด้านค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง ดังแสดงในตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 สัดส่วนค่าใช้จ่ายต่อเที่ยวและค่าใช้จ่ายต่อระยะทางที่ลดลงต่อค่าใช้จ่ายรวมที่ลดลง

ชุดข้อมูล	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยวที่ลดลง	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทางที่ลดลง	ค่าใช้จ่ายรวมที่ลดลง	สัดส่วนค่าใช้จ่ายต่อเที่ยวที่ลดลง/ค่าใช้จ่ายรวมที่ลดลง	สัดส่วนค่าใช้จ่ายต่อระยะทางที่ลดลง/ค่าใช้จ่ายรวมที่ลดลง
B-0	5,488	224,184	229,671	2.39%	97.61%
B-1	547	20,704	21,251	2.57%	97.43%
B-2	1,543	40,041	41,584	3.71%	96.29%
B-3	726	42,970	43,696	1.66%	98.34%
B-4	1,950	120,720	122,670	1.59%	98.41%

5.2.2. ระยะเวลาในการหาคำตอบ

ด้านระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและแก้ปัญหาถือเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งในการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลอง เนื่องจากลักษณะการวางแผนการจัดส่งเป็นการดำเนินการแบบรายวัน เวลาที่ใช้ต้องอยู่ในช่วงเวลาที่เหมาะสมและยอมรับได้ จึงจะสามารถแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ เวลาที่ได้จากการทดสอบแบบจำลอง ทั้งเวลาในส่วนที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและในส่วนที่ใช้แก้ปัญหาของชุดข้อมูล แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในสถานการณ์จริง ดังแสดงในตารางที่ 5.15

เมื่อพิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองขนาดเต็ม โดยเป็นเวลารวมในขั้นตอนการสร้างและการตรวจสอบเงื่อนไขในการขนส่งเพื่อให้เหลือเฉพาะเส้นทางที่เป็นไปได้ พบว่าเมื่อจำนวนตัวแปรที่ต้องพิจารณามากขึ้น เวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองจะสูงขึ้นในอัตราส่วนที่ใกล้เคียงกัน ลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 5.3

แต่เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา เวลาที่ใช้ไม่คงที่ขึ้นอยู่กับรายละเอียดของคำสั่งซื้อของแต่ละชุดข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนรถที่กำหนดให้ในแต่ละชุดข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 5.4

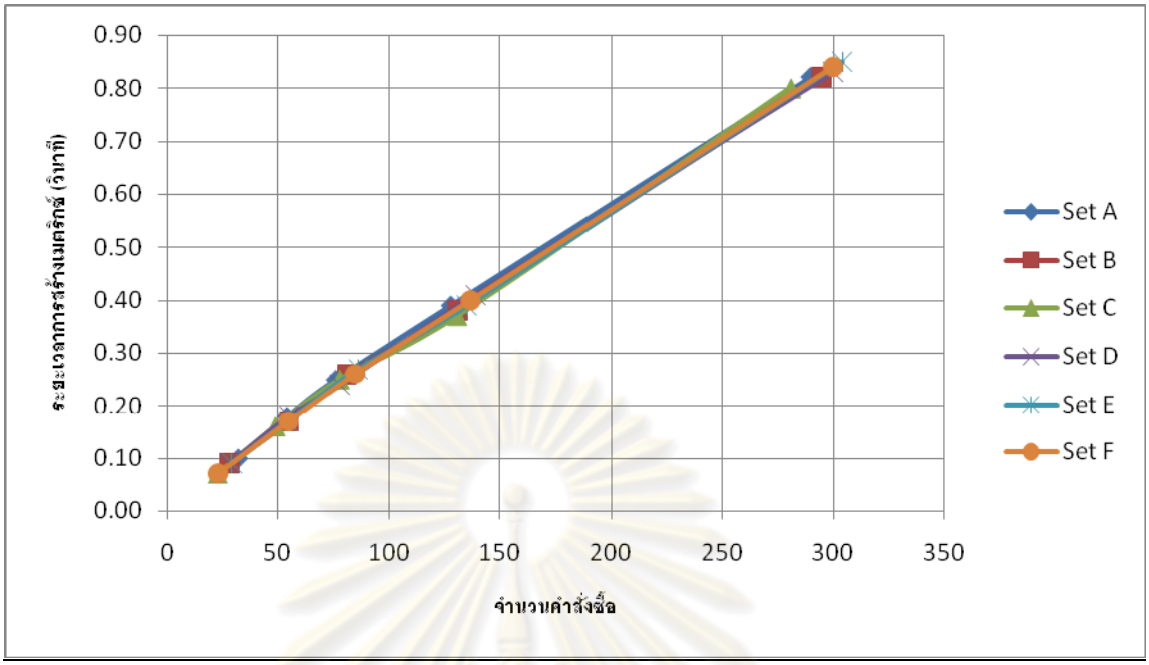
ตารางที่ 5.15 ผลลัพธ์ด้านเวลาในการสร้างแบบจำลองและเวลาในการแก้ปัญหา

ชุดข้อมูล	เวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (วินาที)	เวลาในการแก้ปัญหา (วินาที)
A-0	0.82	3.12
A-1	0.10	0.13
A-2	0.18	0.31
A-3	0.25	0.56
A-4	0.39	0.52
B-0	0.82	2.88
B-1	0.09	0.15

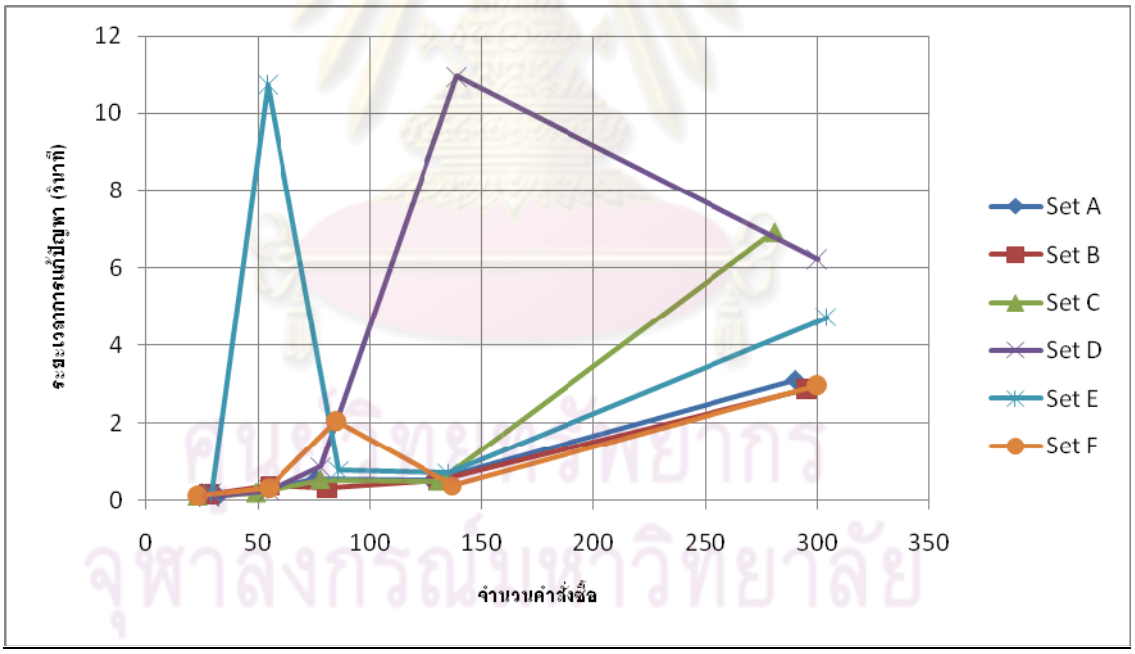
ตารางที่ 5.15 ผลลัพธ์ด้านเวลาในการสร้างแบบจำลองและเวลาในการแก้ปัญหา (ต่อ)

ชุดข้อมูล	เวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง (วินาที)	เวลาในการแก้ปัญหา (วินาที)
B-2	0.17	0.37
B-3	0.26	0.30
B-4	0.38	0.50
C-0	0.80	6.94
C-1	0.07	0.11
C-2	0.16	0.20
C-3	0.25	0.54
C-4	0.37	0.50
D-0	0.83	6.24
D-1	0.09	0.10
D-2	0.18	0.27
D-3	0.24	0.87
D-4	0.41	10.94
E-0	0.85	4.74
E-1	0.09	0.20
E-2	0.17	10.73
E-3	0.27	0.78
E-4	0.39	0.72
F-0	0.84	2.98
F-1	0.07	0.13
F-2	0.17	0.33
F-3	0.26	2.07
F-4	0.40	0.38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของจำนวนคำสั่งซื้อกับเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลอง



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ของจำนวนคำสั่งซื้อกับเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา

5.2.3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบจำลองระหว่างผลลัพธ์รวมของชุดปัญหารองกับผลลัพธ์ของชุดปัญหาหลัก

เมื่อนำผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาชุดข้อมูลหลัก มาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์รวมของการแก้ปัญหาโดยแยกเป็นชุดข้อมูลรอง ซึ่งถึงแม้การแก้ชุดข้อมูลขนาดใหญ่จะส่งผลให้เกิดจำนวนตัวแปรเพิ่มมากขึ้น และใช้เวลาในการแก้ปัญหามากขึ้น แต่การแก้ชุดข้อมูลหลักส่งผลให้ค่าใช้จ่ายรวมลดลงได้อีกเฉลี่ย 2.44% ดังแสดงในตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 เปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านค่าใช้จ่ายและเวลาระหว่างผลลัพธ์ของการแก้ชุดปัญหาหลักกับผลลัพธ์รวมของชุดปัญหารอง

ชุดข้อมูล	จำนวนคำสั่งซื้อ	จำนวนตัวแปร	จำนวนสมการเงื่อนไข	ค่าใช้จ่าย	เวลาในการสร้างเมตริกซ์	เวลาในการแก้ปัญหา
A	0.00%	5.19%	0.00%	-1.39%	-10.87%	105.26%
B	0.00%	7.09%	0.00%	-1.31%	-8.89%	118.18%
C	0.00%	5.80%	0.00%	-1.43%	-5.88%	414.07%
D	0.00%	7.35%	0.00%	-1.64%	-9.78%	-48.77%
E	0.00%	7.84%	0.00%	-5.67%	-7.61%	-61.87%
F	0.00%	5.07%	0.00%	-3.19%	-6.67%	2.41%
AVG	0.00%	6.39%	0.00%	-2.44%	-8.28%	88.21%

จะเห็นได้ว่าจากผลการทดสอบและเปรียบเทียบ ผลลัพธ์ของแบบจำลองในงานวิจัยนี้ของทุกชุดข้อมูลต่างก็สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจัดส่งลงได้เมื่อเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางการเดินรถของบริษัทตัวอย่าง อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองและเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหายังแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในสถานการณ์จริง

บทที่ 6
สรุปผลการศึกษาและแนวทางในการพัฒนาในอนาคต

6.1 สรุป

สภาพเศรษฐกิจตกต่ำและการแข่งขันที่สูงขึ้นของภาคธุรกิจ ผลักดันให้ผู้ประกอบการแต่ละรายหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานเพื่อให้สามารถลดต้นทุนในการประกอบการและรักษาระดับความสามารถในการแข่งขันต่อไปได้ การขนส่งถือเป็นปัจจัยหลักปัจจัยหนึ่งของผู้ประกอบการหลายราย การวางแผนการจัดส่งที่ดีและมีประสิทธิภาพจะส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนของบริษัท อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งส่งผลดีในด้านการประหยัดพลังงานและการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นปัญหาระดับนานาชาติ งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งน้ำมัน โดยประยุกต์ใช้แบบจำลองการแบ่งเซต (Set Partitioning Model) ในการประเมินทางเลือกเส้นทางในการเดินรถ ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ เพื่อทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดส่งต่ำที่สุด ผู้วิจัยได้ทดสอบแบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้น ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพดีกว่าระบบปัจจุบันของบริษัทตัวอย่าง ในด้านค่าใช้จ่ายในการขนส่ง อีกทั้งเวลาประมวลผลที่ใช้แสดงให้เห็นว่าสามารถพัฒนาแบบจำลองให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ ซึ่งถ้านำไปประยุกต์ใช้จริงคาดว่าจะสามารถช่วยลดต้นทุนในการจัดส่งของบริษัทตัวอย่างได้สูงถึง 70 ล้านบาท/ปี

6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยในอนาคต

ผลงานวิจัยชิ้นนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาต่อเนื่องในอนาคตได้ โดยผู้วิจัยได้เล็งเห็นในหลายประเด็นสำคัญ ดังนี้

- การพัฒนาวิธีการประเมินผล เนื่องจากการประเมินผลของงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลค่าใช้จ่ายของบริษัทตัวอย่างที่ได้มาจากข้อมูลที่เกิดจากการปฏิบัติงานจริง ผลลัพธ์ของข้อมูลในด้านค่าใช้จ่ายในการจัดส่งจึงเป็นผลลัพธ์ที่ได้รวมปัญหาที่เกิดขึ้นขณะปฏิบัติงาน เช่น มีเหตุการณ์ฉุกเฉิน อย่างเช่น รถเสียทำให้ต้องใช้รถนอกสัญญามาทำการจัดส่งแทน ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการจัดส่งสูงกว่าที่ควรจะเป็น เมื่อเทียบกับตารางการจัดส่งที่ได้ทำการวางแผนไว้ จึงควรมี

การทดสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลขณะวางแผนเพื่อให้ผลลัพธ์โดยเปรียบเทียบที่ได้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

- การพัฒนาขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์ เมื่อใช้วิธีการสร้างแบบจำลองแบบการแบ่งเซ็ตในการแก้ปัญหาจะส่งผลให้เกิดตัวแปรจำนวนมาก ซึ่งในงานวิจัยนี้สามารถทำการลดตัวแปรโดยการเพิ่มเงื่อนไขต่างๆ จนทำให้แบบจำลองมีจำนวนตัวแปรที่มีประสิทธิภาพในปริมาณที่สามารถนำไปหาค่าผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ แต่ในบางปัญหาอาจจะไม่สามารถทำการเพิ่มเงื่อนไขเพื่อลดขนาดของแบบจำลองได้ วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกส์จะสามารถช่วยในการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่และมีข้อจำกัดด้านเวลาในการแก้ปัญหาได้ ซึ่งถึงแม้วิธีการแก้ปัญหานี้ จะไม่ได้ให้ผลลัพธ์ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง แต่มักจะได้ผลลัพธ์ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในทางปฏิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ วณิชชากรพงศ์ และ ณกร อินทร์พยุง. A column generation based local search for pickup and delivery problem. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, วิทยาลัยการขนส่งและโลจิ สติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2550.

ยศศิริ อดุลยศักดิ์. แบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ภาษาอังกฤษ

Ahuja, K., Punnen, P., and Orlin, B. A Survey of Very Large-Scale Neighborhood Search Techniques. Discrete Applied Mathematics 123 (2002): 75-102.

Pepin, A.S., Desaulniers, G., Hertz, A., and Huisman, D. Comparison of heuristic approaches for the multiple depot vehicle scheduling problem. Econometric Institute Report 34 (2006): 453-471.

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

Bent, R., and Hentenryck. A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problem with time Windows. Computers & Operations Research 33 (2006): 875–893.

Burns, L.D., Hall, R.W., Blumenfeld, D.E., and Daganzo, C.F. Distribution strategy that minimize transportation and inventory costs. Operations Research 33 (1985): 469 -490.

Ching-Wu Chu. A heuristic algorithm for the truck load and less than truck load problem. European Journal of Operational Research 165 (2005): 657-667.

Clarke, G., and Wright, J.W. Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. Operations Research 11 (1964): 568-581.

Frontline Systems Inc. Premium Solver for Excel - Optimization Software [Online]. Available from: http://www.solver.com [2009, May]

Gillett, B.E., and Miller, R. A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem. Operations Research 22 (1974): 340–349.

Hoffman, K., and Padberg, M. Set Covering, Packing and Partitioning Problems [Online]. 2007. Available from: http://iris.gmu.edu/~khoffman/papers/set_covering.html. [2009, January 12]

Jiyin Liu Chung-Lun Li and Chun-Yan Chan. Mixed truck delivery systems with both hub-and-spoke and direct shipment. Transportation Research 39 (2003): 325-339.

Nokia Corporation. QT (A cross-platform application and UI framework) [Online]. 2008. Available from: http://qt.nokia.com [2009, December]

Ozlem, E., Gultekin, K., Martin, S. Reducing Truckload Transportation Costs through Collaboration. Transportation Science 41 (2007): 206-221

Pisinger, D., and Ropke, S. Adaptive Large Neighborhood Search applied to mixed vehicle routing problems. Operations Research 35 (1987): 254-265.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Reimann, M., Doerner, K., and Hartl, R.F. D-Ants: Savings based ants divide and conquer the vehicle routing problem. Computers & Operations Research 31 (2004): 563-591.

Shaw, P. Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. In Jean-Francois Puget (ed.), Proceedings of the fourth international conference on the principles and practice of constraint programming: 4th international conference, pp 417–431. Berlin: Springer, 1998.

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

Toth, P., and Vigo, D. The Vehicle Routing Problem: Monographs on Discrete Mathematics and Applications. Philadelphia: SIAM, 2001.

Wayne, L.W. Advance Topics in Linear Programming. Operations research Application and Algorithm (2004): 562-610.

Webb, R., and Larson, R. Period and phase of customer replenishment: a new approach to the strategic inventory/routing problem. European Journal of Operations Research 85 (1995): 132-184.

Zuse Institute Berlin (ZIB). Solving Constraint Integer Programs (SCIP) version 1.2 – CLP1.10.1. [Online]. 2004. Available from: http://scip.zib.de/scip.shtml [2009, December]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลรายละเอียดของ SCIP

SCIP is distributed under the ZIB Academic License. SCIP is allowed to retrieve only for research purpose as a member of a *non-commercial* and *academic* institution.

SCIP is a framework to solve constraint integer programs (CIPs). In particular,

- SCIP is a branch-and-cut-and-price framework,
- incorporates a full-scale mixed integer programming (MIP) solver,
- is also a constraint programming (CP) solver, and
- Incorporates SAT-solving features (conflict analysis, restarts).

SCIP is based on SIP (Solving Integer Programs) by Alexander Martin. The main developer of SCIP was Tobias Achterberg (2002-2007) with contributions by Timo Berthold and Kati Wolter. The persons listed above contributed or are currently contributing to SCIP.

SCIP is developed together with TU Braunschweig and TU Darmstadt and has approx. 270'000 lines of C code

ZIB ACADEMIC LICENSE

This license for ZIB software is designed to guarantee freedom to share and change software for academic use, but restricting commercial firms from exploiting your knowhow for their benefit. The precise terms and conditions for using, copying, distribution, and modification follow.

Terms and Conditions for Using, Copying, Distribution, and Modification

The "Program" below refers to source, object and executable code, and a "work based on the Program" means either the Program or any derivative work under copyright law: that is a work containing the Program or a portion of it, either verbatim or with modifications and/or translated into another language. Each licensee is addressed as "you".

1. This license applies to you only if you are a member of a noncommercial and academic institution, e.g., a university. The license expires as soon as you are no longer a member of this institution.
2. Every publication and presentation for which work based on the Program or its output has been used must contain an appropriate citation and acknowledgment of the author(s) of the Program.
3. You may copy and distribute the Program or work based on the Program in source, object, or executable form provided that you also meet all of the following conditions:

   a. You must cause any work that you distribute or publish, that in whole or in part contains or is derived from the Program or any part thereof, to be licensed as a whole at no charge under the terms of this License. You must accompany it with this unmodified license text. These requirements apply to the Program or work based on the Program as a whole. If identifiable sections of that work are not derived from the Program, and can be reasonably considered independent and separate works in themselves, this License does not apply to those sections when you distribute them as separate works. But when you distribute the same sections as part of a whole which is a work based on the Program, the distribution of the whole must be on the terms of this License, whose permissions for other licensees extend to the entire whole and, thus, to each and every part regardless of who wrote it.

   b. You must cause the modified files to carry prominent notices stating that you changed the files and the date of any change.

   c. You must keep track of access to the Program (e.g., similar to the registration procedure at ZIB).

d. You must accompany it with the complete corresponding machine-readable source code.

The source code for a work means the preferred form of the work for making modifications to it. For an executable work, complete source code means all the source code for all modules it contains, plus any associated interface definition files, plus the scripts used to control compilation and installation of the executable. However, as a special exception, the source code distributed need not include anything that is normally distributed (in either source or binary form) with the major components (compiler, kernel, and so on) of the operating system on which the executable runs, unless that component itself accompanies the executable.

4. You may not copy, modify, sublicense, or distribute the Program except as expressly provided under this License. Any attempt otherwise to copy, modify, sublicense, or distribute the Program is void and will automatically terminate your rights under this License. However, parties who have received copies or rights from you under this License will not have their licenses terminated so long as such parties remain in full compliance.
5. You are not required to accept this License, since you have not signed it. However, nothing else grants you permission to use, modify, or distribute the Program or its derivative works. These actions are prohibited by law if you do not accept this License. Therefore, by using, modifying or distributing the Program (or any work based on the Program), you indicate your acceptance of this License to do so and all its terms and conditions for copying, distributing or modifying the Program or works based on it.
6. Each time you redistribute the Program (or any work based on the Program),the recipient automatically receives a license from the original licensor to copy, distribute or modify the Program subject to these terms and conditions. You may not impose any further restrictions on the recipient's exercise of the rights granted herein. You are not responsible for enforcing compliance by third parties to this License.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. If, as a consequence of a court judgment or allegation of patent infringement or for any other reason (not limited to patent issues), conditions are imposed on you (whether by court order, agreement, or otherwise) that contradict the conditions of this License, they do not excuse you from the conditions of this License.
8. If you wish to incorporate parts of the Program into other programs whose distribution conditions are different, write to ZIB to ask for permission.

NO WARRANTY

9. Because the program is licensed free of charge, there is no warranty for the program to the extent permitted by applicable law. The copyright holders provide the program "as is" without warranty of any kind, either expressed or implied, including, but not limited to, the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose. The entire risk as to the quality and performance of the program is with you. Should the program prove defective, you assume the cost of all necessary servicing, repair, or correction.
10. In no event will any copyright holder, or any other party who may modify and/or redistribute the program as permitted above, be liable to you for damages, including any general, special, incidental or consequential damages arising out of the use or inability to use the program (including but not limited to loss of data or data being rendered inaccurate or losses sustained by you or third parties or a failure of the program to operate with any other programs), even if such holder or other party has been advised of the possibility of such damages.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูลทั้งหมด

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล A-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	103	24,383	43,136	621,767	664,903
	38,000	32	7,403	14,720	171,009	185,729
	32,000	32	5,990	13,494	134,775	148,269
	22,000	15	4,042	6,965	88,924	95,889
	12,000	9	1,472	3,306	34,298	37,603
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		196	43,290	81,621	1,050,772	1,132,393

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล A-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	16	6,762	6,701	172,431	179,132
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	2	317	843	7,133	7,976
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		18	7,079	7,544	179,564	187,108

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล A-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	20	2,543	8,376	64,847	73,223
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	11	1,381	4,639	31,073	35,711
	22,000	6	1,071	2,786	23,562	26,348
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		37	4,995	15,801	119,481	135,282

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล A-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	-	-	-	-	-
	38,000	30	6,911	13,800	159,644	173,444
	32,000	-	-	-	-	-
	22,000	6	2,279	2,786	50,138	52,924
	12,000	9	1,472	3,306	34,298	37,603
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		45	10,662	19,892	244,080	263,971

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล A-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	67	15,078	28,060	384,489	412,549
	38,000	2	492	920	11,365	12,285
	32,000	19	4,292	8,012	96,570	104,582
	22,000	3	692	1,393	15,224	16,617
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		91	20,554	38,385	507,648	546,033

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	115	25,952	48,162	661,776	709,938
	38,000	30	6,840	13,800	158,004	171,804
	32,000	27	5,680	11,386	127,800	139,186
	22,000	19	6,087	8,822	67,782	76,604
	12,000	5	815	1,837	18,990	20,826
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		196	45,374	84,006	1,034,352	1,118,358

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	4	2,638	1,675	67,269	68,944
	38,000	7	2,505	3,220	57,866	61,086
	32,000	4	1,069	1,687	24,053	25,739
	22,000	2	960	929	2,112	3,041
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		17	7,172	7,511	151,299	158,810

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	22	3,328	9,214	84,864	94,078
	38,000	8	800	3,680	18,480	22,160
	32,000	8	1,253	3,374	28,193	31,566
	22,000	1	2,380	464	5,236	5,700
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		39	7,761	16,732	136,773	153,504

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	26	5,768	10,889	147,084	157,973
	38,000	14	3,301	6,440	76,253	82,693
	32,000	3	599	1,265	13,478	14,743
	22,000	4	341	1,857	7,502	9,359
	12,000	3	480	1,102	11,184	12,286
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		50	10,489	21,553	255,501	277,054

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล B-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	63	14,218	26,384	362,559	388,943
	38,000	1	234	460	5,405	5,865
	32,000	12	2,759	5,060	62,078	67,138
	22,000	12	2,406	5,572	52,932	58,504
	12,000	2	335	735	7,806	8,540
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		90	19,952	38,211	490,779	528,990

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล C-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	118	27,720	49,418	706,860	756,278
	38,000	31	5,282	14,260	122,014	136,274
	32,000	31	5,764	13,073	129,690	142,763
	22,000	17	2,999	7,893	65,978	73,871
	12,000	4	890	1,469	20,737	22,206
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		196	42,655	86,113	1,045,279	1,131,393

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล C-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	4	2,196	1,675	55,998	57,673
	38,000	6	1,974	2,760	45,599	48,359
	32,000	4	717	1,687	16,133	17,819
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		14	4,887	6,122	117,730	123,852

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล C-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	20	3,039	8,376	77,495	85,871
	38,000	9	1,179	4,140	27,235	31,375
	32,000	7	804	2,952	18,090	21,042
	22,000	2	330	929	7,260	8,189
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		38	5,352	16,397	130,079	146,476

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล C-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	23	6,457	9,632	164,654	174,286
	38,000	16	2,129	7,360	49,180	56,540
	32,000	3	476	1,265	10,710	11,975
	22,000	3	511	1,393	11,242	12,635
	12,000	2	404	735	9,413	10,148
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		47	9,977	20,385	245,199	265,584

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล C-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	71	16,028	29,735	408,714	438,449
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	17	3,767	7,169	84,758	91,926
	22,000	12	2,158	5,572	47,476	53,048
	12,000	2	486	735	11,324	12,058
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		102	22,439	43,210	552,271	595,481

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล D-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	117	26,526	42	676,413	725,413
	38,000	31	6,128	46	141,557	155,817
	32,000	29	6,846	42	154,035	166,264
	22,000	16	3,354	46	73,788	81,217
	12,000	5	794	37	18,500	20,337
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		196	43,648	43	1,064,293	1,149,047

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล D-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	6	2,633	42	67,142	69,654
	38,000	6	1,898	46	43,844	46,604
	32,000	4	1,662	42	37,395	39,082
	22,000	1	166	46	3,652	4,116
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		17	6,359	176	152,032	159,456

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล D-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	21	2,863	42	73,007	81,801
	38,000	7	977	46	22,569	25,789
	32,000	8	917	42	20,633	24,006
	22,000	1	216	46	4,752	5,216
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		37	4,973	176	120,960	136,812

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล D-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	22	5,579	42	142,265	151,478
	38,000	17	3,013	46	69,600	77,420
	32,000	2	522	42	11,745	12,588
	22,000	4	347	46	7,634	9,491
	12,000	3	352	37	8,202	9,304
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		48	9,813	213	239,445	260,282

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล D-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	68	15,451	42	394,001	422,479
	38,000	1	240	46	5,544	6,004
	32,000	15	3,745	42	84,263	90,588
	22,000	10	2,625	46	57,750	62,393
	12,000	2	442	37	10,299	11,033
รถนอกสัญญา	38,000	-	-		-	-
	22,000	-	-		-	-
	12,000	-	-		-	-
รวม		96	22,503	213	551,856	592,497

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล E-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	119	26,421	49,837	673,736	723,573
	38,000	33	7,002	15,180	161,746	176,926
	32,000	36	7,557	15,181	170,033	185,214
	22,000	21	3,002	9,750	66,044	75,794
	12,000	7	1,185	2,571	27,611	30,182
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		196	45,167	92,520	1,099,169	1,191,689

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล E-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	5	2,888	2,094	73,644	75,738
	38,000	5	2,017	2,300	46,593	48,893
	32,000	4	1,389	1,687	31,253	32,939
	22,000	3	286	1,393	6,292	7,685
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		17	6,580	7,474	157,781	165,255

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล E-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	22	3,479	9,214	88,715	97,928
	38,000	6	819	2,760	18,919	21,679
	32,000	8	875	3,374	19,688	23,061
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		36	5,173	15,347	127,321	142,668

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล E-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	21	5,860	8,795	149,430	158,225
	38,000	16	2,906	7,360	67,129	74,489
	32,000	3	788	1,265	17,730	18,995
	22,000	11	1,254	5,107	27,588	32,695
	12,000	3	503	1,102	11,720	12,822
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		54	11,311	23,629	273,597	297,226

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล E-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	71	14,194	29,735	361,947	391,682
	38,000	6	1,260	2,760	29,106	31,866
	32,000	21	4,505	8,856	101,363	110,218
	22,000	7	1,462	3,250	32,164	35,414
	12,000	4	682	1,469	15,891	17,360
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		109	22,103	46,070	540,470	586,540

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล F-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	116	23,930	48,581	610,215	658,796
	38,000	40	8,878	18,400	205,082	223,482
	32,000	32	6,115	13,494	137,588	151,082
	22,000	26	4,327	12,072	95,194	107,266
	12,000	6	1,471	2,204	34,274	36,478
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		196	44,721	94,751	1,082,353	1,177,103

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล F-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	3	1,115	1,256	28,433	29,689
	38,000	4	2,492	1,840	57,565	59,405
	32,000	3	952	1,265	21,420	22,685
	22,000	4	478	1,857	10,516	12,373
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		14	5,037	6,219	117,934	124,152

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล F-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	17	3,319	7,120	84,635	91,754
	38,000	12	1,587	5,520	36,660	42,180
	32,000	10	1,216	4,217	27,360	31,577
	22,000	1	248	464	5,456	5,920
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		40	6,370	17,321	154,110	171,431

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล F-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	23	5,773	9,632	147,212	156,844
	38,000	17	3,255	7,820	75,191	83,011
	32,000	3	581	1,265	13,073	14,338
	22,000	10	1,387	4,643	30,514	35,157
	12,000	2	381	735	8,877	9,612
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		55	11,377	24,095	274,866	298,961

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากบริษัทตัวอย่างของชุดข้อมูล F-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	73	13,723	30,572	349,937	380,509
	38,000	7	1,544	3,220	35,666	38,886
	32,000	16	3,366	6,747	75,735	82,482
	22,000	11	2,214	5,107	48,708	53,815
	12,000	4	1,090	1,469	25,397	26,866
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		111	21,937	47,116	535,443	582,559

ภาคผนวก ค.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูลทั้งหมด

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล A-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	123	22,505	51,512	573,878	625,390
	38,000	17	3,423	7,820	79,071	86,891
	32,000	28	4,829	11,808	108,653	120,460
	22,000	8	1,141	3,714	25,102	28,816
	12,000	3	410	1,102	9,553	10,655
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		179	32,308	75,956	796,256	872,213

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล A-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	6	3,156	2,513	80,478	82,991
	38,000	6	1,525	2,760	35,228	37,988
	32,000	4	1,515	1,687	34,088	35,774
	22,000	2	92	929	2,024	2,953
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		18	6,288	7,888	151,817	159,705

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล A-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	24	3,148	10,051	80,274	90,325
	38,000	2	169	920	3,904	4,824
	32,000	7	339	2,952	7,628	10,579
	22,000	1	68	464	1,496	1,960
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		34	3,724	14,387	93,301	107,689

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล A-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	26	4,917	10,889	125,384	136,272
	38,000	10	1,838	4,600	42,458	47,058
	32,000	3	742	1,265	16,695	17,960
	22,000	4	649	1,857	14,278	16,135
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		43	8,146	18,611	198,814	217,425

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล A-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	63	10,837	26,384	276,344	302,728
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	17	2,594	7,169	58,365	65,534
	22,000	3	424	1,393	9,328	10,721
	12,000	3	410	1,102	9,553	10,655
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		86	14,265	36,048	353,590	389,638

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	130	25,104	54,444	640,152	694,596
	38,000	12	2,046	5,520	47,263	52,783
	32,000	24	3,399	10,121	76,478	86,598
	22,000	15	1,540	6,965	33,880	40,845
	12,000	4	532	1,469	12,396	13,865
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		185	32,621	78,519	810,168	888,686

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	6	3,295	2,513	84,023	86,535
	38,000	5	1,238	2,300	28,598	30,898
	32,000	4	617	1,687	13,883	15,569
	22,000	1	186	464	4,092	4,556
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		16	5,336	6,964	130,595	137,559

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	24	2,943	10,051	75,047	85,098
	38,000	2	292	920	6,745	7,665
	32,000	10	664	4,217	14,940	19,157
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		36	3,899	15,188	96,732	111,920

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	26	6,485	10,889	165,368	176,256
	38,000	12	1,044	5,520	24,116	29,636
	32,000	3	480	1,265	10,800	12,065
	22,000	6	527	2,786	11,594	14,380
	12,000	1	28	367	652	1,020
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		48	8,564	20,827	212,530	233,357

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล B-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	63	11,614	26,384	296,157	322,541
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	12	1,954	5,060	43,965	49,025
	22,000	8	827	3,714	18,194	21,908
	12,000	3	504	1,102	11,743	12,845
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		86	14,899	36,261	370,059	406,320

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล C-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	115	21,167	48,162	539,759	587,921
	38,000	30	3,358	13,800	77,570	91,370
	32,000	27	3,720	11,386	83,700	95,086
	22,000	13	1,290	6,036	28,380	34,416
	12,000	5	603	1,837	14,050	15,886
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		190	30,138	81,220	743,458	824,679

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล C-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	6	2,550	2,513	65,025	67,538
	38,000	3	446	1,380	10,303	11,683
	32,000	4	1,105	1,687	24,863	26,549
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		13	4,101	5,580	100,190	105,770

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล C-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	21	2,512	8,795	64,056	72,851
	38,000	7	617	3,220	14,253	17,473
	32,000	6	379	2,530	8,528	11,058
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	1	200	367	4,660	5,027
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		35	3,708	14,912	91,496	106,409

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล C-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	26	6,340	10,889	161,670	172,559
	38,000	12	1,025	5,520	23,678	29,198
	32,000	2	271	843	6,098	6,941
	22,000	5	496	2,322	10,912	13,234
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		45	8,132	19,574	202,357	221,931

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล C-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	65	10,627	27,222	270,989	298,211
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	17	2,625	7,169	59,063	66,231
	22,000	9	896	4,179	19,712	23,891
	12,000	4	403	1,469	9,390	10,859
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		95	14,551	40,039	359,153	399,192

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล D-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	132	24,753	55,282	631,202	686,483
	38,000	14	2,537	6,440	58,605	65,045
	32,000	28	4,731	11,808	106,448	118,255
	22,000	10	1,164	4,643	25,608	30,251
	12,000	3	270	1,102	6,291	7,393
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		187	33,455	79,274	828,153	907,427

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล D-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	6	3,520	2,513	89,760	92,273
	38,000	6	1,410	2,760	32,571	35,331
	32,000	4	677	1,687	15,233	16,919
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		16	5,607	6,960	137,564	144,523

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล D-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	23	2,411	9,632	61,481	71,113
	38,000	3	620	1,380	14,322	15,702
	32,000	8	660	3,374	14,850	18,224
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		34	3,691	14,386	90,653	105,039

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล D-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	26	6,156	10,889	156,978	167,867
	38,000	12	1,307	5,520	30,192	35,712
	32,000	2	336	843	7,560	8,403
	22,000	6	512	2,786	11,264	14,050
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		46	8,311	20,038	205,994	226,032

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล D-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	68	11,857	28,478	302,354	330,832
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	16	3,248	6,747	73,080	79,827
	22,000	5	845	2,322	18,590	20,912
	12,000	2	221	735	5,149	5,884
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		91	16,171	38,282	399,173	437,455

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล E-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	128	25,605	53,606	652,928	706,534
	38,000	11	2,415	5,060	55,787	60,847
	32,000	32	5,391	13,494	121,298	134,792
	22,000	13	878	6,036	19,316	25,352
	12,000	2	228	735	5,312	6,047
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		186	34,517	78,931	854,640	933,571

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล E-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	6	3,535	2,513	90,143	92,655
	38,000	5	1,662	2,300	38,392	40,692
	32,000	4	695	1,687	15,638	17,324
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		15	5,892	6,500	144,172	150,672

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล E-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	24	2,976	10,051	75,888	85,939
	38,000	1	80	460	1,848	2,308
	32,000	8	605	3,374	13,613	16,986
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		33	3,661	13,885	91,349	105,233

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล E-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	26	7,447	10,889	189,899	200,787
	38,000	13	997	5,980	23,031	29,011
	32,000	3	942	1,265	21,195	22,460
	22,000	7	266	3,250	5,852	9,102
	12,000	1	105	367	2,447	2,814
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		50	9,757	21,751	242,423	264,174

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล E-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	63	11,729	26,384	299,090	325,474
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	17	2,776	7,169	62,460	69,629
	22,000	9	933	4,179	20,526	24,705
	12,000	1	123	367	2,866	3,233
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		90	15,561	38,099	384,941	423,041

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล F-0

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	111	19,640	46,487	500,820	547,307
	38,000	31	5,353	14,260	123,654	137,914
	32,000	32	5,117	13,494	115,133	128,627
	22,000	15	1,707	6,965	37,554	44,519
	12,000	5	547	1,837	12,745	14,582
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		194	32,364	83,042	789,906	872,948

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล F-1

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	6	1,952	2,513	49,776	52,289
	38,000	1	371	460	8,570	9,030
	32,000	4	1,142	1,687	25,695	27,382
	22,000	1	59	464	1,298	1,762
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		12	3,524	5,124	85,339	90,463

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล F-2

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	19	2,231	7,957	56,891	64,848
	38,000	8	779	3,680	17,995	21,675
	32,000	8	648	3,374	14,580	17,954
	22,000	1	64	464	1,408	1,872
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		36	3,722	15,475	90,873	106,349

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล F-3

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	26	6,239	10,889	159,095	169,983
	38,000	14	1,795	6,440	41,465	47,905
	32,000	3	230	1,265	5,175	6,440
	22,000	9	1,387	4,179	30,514	34,693
	12,000	-	-	-	-	-
รถนอกสัญญา	38,000	-	-	-	-	-
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		52	9,651	22,773	236,248	259,021

ตารางแสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากแบบจำลองของชุดข้อมูล F-4

ประเภทของรถ	ความจุรถ (ลิตร)	จำนวนเที่ยว	ระยะทาง (กิโลเมตร)	รวมค่าใช้จ่ายต่อเที่ยว	รวมค่าใช้จ่ายต่อระยะทาง	ค่าใช้จ่ายรวม
รถในสัญญา	46,000	62	11,048	25,966	281,724	307,690
	38,000	-	-	-	-	-
	32,000	17	2,745	7,169	61,763	68,931
	22,000	11	1,243	5,107	27,346	32,453
	12,000	5	547	1,837	12,745	14,582
รถนอกสัญญา	38,000	1	88	8,100	2,103	10,203
	22,000	-	-	-	-	-
	12,000	-	-	-	-	-
รวม		96	15,671	48,178	385,681	433,859

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายจิรภัทร วัธนเวคิน เป็นบุตรชายของนายธนาพันธ์ วัธนเวคิน และนางดารุณี วัธนเวคิน เกิดเมื่อวันที่ 27 พฤษภาคม พ.ศ. 2527 ได้สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนวชิราวุธวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี จากคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2549

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย