การจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการกระจายสินค้า

นายธเนศ ทักษิณวราจาร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0146-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPUTERIZED VEHICLE ROUTING FOR GOODS DISTRIBUTION

Mr. Thanest Thuksinvarachan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Civil Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2000
ISBN 974-13-0146-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการกระจายสินค้า
โดย	นาย ธเนศ ทักษิณวราจาร
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ)

…… กรรมการ
(นางสาว ศิริรัตน์ เซี่ยงฉิน)

…… กรรมการ
(นาย ชวลิต สุวิทย์ศักดานนท์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธเนศ ทักษิณวราจาร : การจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการกระจายสินค้า. (COMPUTERIZED VEHICLE ROUTING FOR GOODS DISTRIBUTION) อ. ที่ปรึกษา : ผศ. ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ , 215 หน้า. ISBN 974-13-0146-4.

การวิจัยเป็นการพัฒนาระบบการจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการกระจายสินค้าด้วยกลุ่มรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวไปยังจุดส่งต่างๆ การวิจัยนี้ได้ดำเนินการจัดเส้นทางเดินรถโดยใช้วิธีฮิวริสติกภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุของรถ และเขตการส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางในการขนส่งต่ำสุด

การพัฒนาระบบการจัดเส้นทางได้แบ่งงานออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการกระจายสินค้า ณ ศูนย์กระจายสินค้าที่เลือกเป็นกรณีศึกษา 2) การพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น และการปรับปรุงเส้นทางให้ดียิ่งขึ้น และ 3) การนำวิธีการจัดเส้นทางเดินรถมาพัฒนาเป็นระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจที่ให้ผู้ใช้ระบบมีส่วนร่วมในการจัดเส้นทาง

การทดสอบระบบได้ถูกแบ่งเป็น 1) การทดสอบโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาอื่นที่ผ่านมา และ 2) การทดสอบกับข้อมูลจริงที่ได้จากศูนย์กระจายสินค้าที่เป็นกรณีทดสอบ ผลการศึกษาพบว่าระบบการจัดเส้นทางที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ด้อยกว่าวิธีการที่ถูกพัฒนาโดยการศึกษาที่ผ่านมาเล็กน้อย แต่ให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางดีกว่าการจัดเส้นทางเดินรถด้วยพนักงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2543 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4170337221 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: GOODS DISTRIBUTION / HEURISTIC / VEHICLE ROUTING / MICROCOMPUTER / DSS

THANEST THUKSINVARACHAN : COMPUTERIZED VEHICLE ROUTING FOR GOODS DISTRIBUTION. THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. SOMPONG SIRISOPONSILP, Ph.D., 215 pp. ISBN 974-13-0146-4.

This study develops a computerized system for routing a fleet of vehicles from a distribution center (DC) to multiple delivery points. The vehicle routing method applies heuristic techniques under the restrictions on vehicle capacities and site dependence with the objective to minimize the travel distance.

The development of the vehicle routing system is divided into 3 key tasks. The first task involves the collection of data pertinent to goods distribution at a DC selected as the test site. The second task develops algorithms for determining an initial routing solution and subsequent routing improvements. The last task enchances the algorithms into the decision support system(DSS) which allows user interaction.

The system is validated against 1) hypothetical problem sets used by earlier studies of vehicle routing and 2) actual data experienced at the tested DC. The analysis reveals that the developed system performs slightly poorer than those developed in previous studies but provides significantly better routes than those determined manually.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department……Civil Engineering…… Student's signature…….
Field of study…..Civil Engineering…… Advisor's signature.....
Academic year …2000…… Co-advisor's

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษาตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง นอกจากนี้ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ประธานคณะกรรมการและกรรมการทุกท่าน ซึ่งประกอบด้วย รองศาสตราจารย์ อนุกัลย์ อิศรเสนา ณ อยุธยา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ เรี่ยวเดชะ คุณศิริรัตน์ เชี่ยงฉิน คุณชวลิต สุวิทย์ศักดานนท์ ที่ให้คำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชัยชนะ แสงสว่าง ภาควิชาการวางแผนภาคและเมือง คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ยืมแผนที่อิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรม ArcView GIS ใช้ที่ภาควิชา และ รองศาสตราจารย์ ผ่องศรี จั่นห้าว หัวหน้าภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะอักษรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์แผนที่ในพื้นที่ศึกษา ท่านผู้จัดการและพนักงานของบริษัทตัวอย่างทุกท่านที่ให้คำแนะนำและให้ความอนุเคราะห์ด้านข้อมูลอย่างดี

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งเป็นกำลังใจ และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้เขียนจนสามารถทำงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนี้ผู้เขียนขอบพระคุณหน่วยงานราชการที่ให้ความสนับสนุนข้อมูลในการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์สิทธิศักดิ์ พงษ์ธนาพานิช ที่ช่วยให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรมทางไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ รวมทั้งพี่ๆน้องๆและเพื่อนๆในกระดานซอฟท์แวร์ในพันธ์ทิพย์ดอตคอมที่ช่วยตอบกระทู้เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับงานวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ผู้เขียนขอมอบคุณงามความดีและคุณประโยชน์ของวิทยานิพนธ์นี้ ให้เป็นสิ่งตอบแทนต่อผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 ลักษณะและปัญหาการประกอบการขนส่งสินค้า 4

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 5

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 5

1.5 ขั้นตอนและวิธีการในการวิจัย 6

1.6 ประโยชน์ของการวิจัย 7

2 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

2.1 การทบทวนทฤษฎีการจัดเส้นทางออกจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว 8

2.1.1. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง 11

2.1.2. ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesmen Problem MTSP) 17

2.1.3. ปัญหาแบบ Vehicle Routing Problem (VRP) 18

2.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support Systems) 22

2.2.1 ข้อมูลป้อนเข้าสู่ระบบและฐานข้อมูล 22

2.2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) 23

2.2.3 ข้อกำหนดการให้บริการ 23

2.2.4 แนวทางการติดต่อกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) 24

2.3 การทบทวนผลงานที่ผ่านมา 26

หน้า

2.4. บทสรุป 34
3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล
3.1 การสำรวจรวบรวมรายละเอียดการปฏิบัติงานในสนาม 37
3.1.1 ขั้นตอนในการทำงานของบริษัทตัวอย่าง 38
3.1.2 การศึกษาข้อมูลและลักษณะงานของบริษัทตัวอย่าง 41
3.2 การกำหนดแนวทางเบื้องต้นในการสำรวจรวบรวมข้อมูล 43
3.2.1 ระยะทาง 43
3.2.2 เวลาในการเดินทาง 47
3.2.3 ต้นทุนการขนส่ง 49
3.2.4 การเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เหมาะสม 52
3.3 การวางแผนและดำเนินงานสำรวจข้อมูล 53
3.3.1 ข้อมูลเขตการส่ง 53
3.3.2 ข้อมูลสินค้า 55
3.3.3 ข้อมูลรถขนส่งสินค้า 56
3.3.4 ข้อมูลระยะทาง 57
3.4 การเลือกเทคนิคการจัดเส้นทางเบื้องต้น 58
4 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ
4.1 การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยเทคนิคการหาค่าประหยัด 62
4.1.1 การกำหนดการทำงานของแบบจำลอง 64
4.1.2 ลำดับขั้นตอนการทำงาน 70
4.2 การปรับปรุงเส้นทาง 75
4.2.1 การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง 75
4.2.2 การปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง 78
4.3 การปรับลำดับการส่งโดยพนักงาน 85
4.3.1 พื้นฐานความคิดและขั้นตอนการเพิ่มจุดส่ง 85
4.3.2 พื้นฐานความคิดและขั้นตอนการลดจุดส่ง 88

หน้า

5 โครงสร้างและกระบวนการของโปรแกรม
5.1 โครงสร้างฐานข้อมูล 90
5.1.1 ฐานข้อมูลหลัก 90
5.1.2 รายการธุรกรรม 92
5.1.3 ตารางอื่นๆ 92
5.2 กระบวนการเตรียมและนำเข้าข้อมูล 96
5.2.1 การนำเข้าข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้า 96
5.2.2 การนำเข้าข้อมูลพิกัดจุดส่งสินค้า 100
5.2.3 การนำเข้าข้อมูลรถที่สามารถให้บริการ 102
5.2.4 การนำเข้าค่าพารามิเตอร์ 104
5.3 กระบวนการวิเคราะห์และบันทึกผล 106
5.3.1 การวิเคราะห์และบันทึกลงฐานข้อมูล 106
5.3.2 การเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงฐานข้อมูล 108
5.4 กระบวนการนำเสนอและสรุปผล 110
5.5 ข้อสรุปของโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถ 114
6 การทดสอบระบบและการวิเคราะห์ผล
6.1 กรอบและกฎเกณฑ์ในการทดสอบ 117
6.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง 117
6.2.1 การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง 118
6.2.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง 119
6.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง 121
6.3.1 การทดสอบผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับการศึกษาอื่นที่ผ่านมา 124
6.3.2 การทดสอบแบบจำลองกับสภาพจริง 127
7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
7.1 การทบทวนทฤษฎีการจัดเส้นทาง 136
7.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล 138

หน้า

7.3 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ 140
7.4 โครงสร้างและกระบวนการของโปรแกรม 142
7.5 การทดสอบระบบและการวิเคราะห์ผล 143
7.6 ข้อเสนอแนะ 144
รายการอ้างอิง 145
ภาคผนวก 152
ภาคผนวก ก รหัสเขตการปกครอง 153
ภาคผนวก ข ตัวอย่างโครงข่ายและการคำนวณหาค่า k ที่เหมาะสม
สำหรับ AD และ SD 172
ภาคผนวก ค ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองการจัดเส้นทาง
กับการศึกษาที่ผ่านมา 176
ภาคผนวก ง ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองการจัดเส้นทางกับข้อมูลจริง 196
ประวัติผู้เขียน 215

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 ปริมาณการขนส่งสินค้าในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2538 1
1.2 อัตราการใช้ยวดยานโดยเฉลี่ยของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา 3
2.1 ประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ 10
2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา..... 27
3.1 พื้นที่รับผิดชอบของศูนย์กระจายสินค้าต่างๆ ของบริษัทตัวอย่าง 39
3.2 การจำแนกปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ..... 40
3.3 ความยาวในหน่วยองศาของเส้นละติจูดและลองติจูด..... 46
3.4 ประเภทสินค้าจำแนกตามบริษัทเจ้าของสินค้าที่สำรวจได้..... 56
3.5 ความจุของรถสำหรับการวิเคราะห์ 57
3.6 ระยะทางโดยวิธีประมาณและค่าจริง 60
3.7 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองต่างๆ..... 61
5.1 การเปรียบเทียบรายงานจากโปรแกรมอื่นและรายงานจากบริษัท..... 110
6.1 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมา 126
6.2 ค่าใช้จ่ายน้ำมันในการขนส่งสินค้า 129
6.3 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับการจัดด้วยพนักงานโดยใช้ระยะทาง..... 130
6.4 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับการจัดด้วยพนักงานด้วยตัวชี้วัดอื่น..... 132

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปภาพที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนของการส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันรถ 2
2.1 ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวไปยังลูกค้าต่างๆ 8
2.2 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (TSP) 9
2.3 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทาง (MTSP) 10
2.4 ตัวอย่างการปรับปรุงเส้นทางแบบ 2-opt 16
2.5 เทคนิคการจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทางด้วยการเสมือนปัญหา TSP 18
2.6 ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาด้วยวิธี Sweep Approach 21
2.7 ระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ 22
3.1 ลำดับขั้นตอนการพัฒนาระบบ 36
3.2 ขอบเขตพื้นที่ให้บริการขนส่งสินค้าที่ทำการศึกษา 41
3.3 ระยะทางจริง และระยะทางจากวิธีแมนฮัตตัน 47
3.4 ฟังก์ชั่นของความเร็วกับระยะทาง 48
3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนในการขนส่งกับระยะทางแบบเส้นตรง 51
3.6 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่าง AD และ k 59
3.7 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่าง SD และ k 59
3.8 ระยะทางจากวิธีประมาณและระยะทางจริง 59
4.1 รูปแบบการหาจุดส่งที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าการประหยัด 66
4.2 การเปลี่ยนข้อมูลการส่งจาก 2 ปลายเป็นลำดับการส่ง ในแต่ละเส้นทาง 67
4.3 การอนุญาตใช้รถสำหรับจุดส่งต่างๆ 68
4.4 ขั้นตอนการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัด 73
4.5 การปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธี 2-opt 76
4.6 ลำดับขั้นตอนการทำงานของการปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง 77
4.7 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Cross 79
4.8 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Exchange 80
4.9 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Relocation 80
4.10 ขั้นตอนการทำงานของ String Exchange 82
4.11 การแลกเปลี่ยนจุดส่งของ String Exchange 83

รูปภาพที่ หน้า

4.12 ขั้นตอนการทำงานของ String Relocation 84
4.13 การย้ายจุดส่งของ String Relocation 85
4.14 การเพิ่มจุดส่งลงในเส้นทางของ ALTO 86
4.15 ขั้นตอนการเพิ่มจุดส่งเข้าไปในเส้นทาง 87
4.16 ขั้นตอนการลดจุดส่งในเส้นทาง 88
5.1 การเปลี่ยนสถานะของใบรายการสินค้า 95
5.2 ขั้นตอนการบันทึกใบรายการสินค้า 98
5.3 ตัวอย่างการพัฒนาการบันทึกใบรายการสินค้า 99
5.4 ขั้นตอนการคัดเลือกใบรายการสินค้า 99
5.5 ตัวอย่างการพัฒนาการเลือกใบรายการสินค้า 100
5.6 ขั้นตอนการรวบรวมปริมาณสินค้าในเขตการส่ง 101
5.7 ตัวอย่างการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการรวบรวมใบรายการสินค้าในแต่ละเขตการส่ง 102
5.8 ขั้นตอนการคำนวณหาระยะทาง 103
5.9 ตัวอย่างการพัฒนาการเลือกรถที่จะจัดเส้นทาง 104
5.10 ขั้นตอนการเลือกรถที่ใช้จัดเส้นทาง 105
5.11 ตัวอย่างการพัฒนาการนำเข้าค่าพารามิเตอร์ 106
5.12 ขั้นตอนการวิเคราะห์เส้นทาง 107
5.13 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์และปรับปรุงเส้นทาง 108
5.14 การแก้ไขและเปลี่ยนแปลงสถานะใบรายการสินค้า 109
5.15 รายงานแสดงรายละเอียดของใบรายการสินค้า 111
5.16 รายงานการจัดเส้นทาง 112
5.17 รายงานประสิทธิภาพการใช้รถ 113
5.18 แผนภูมิประสิทธิภาพของรถในวันที่ระบุ 113
5.19 แผนภูมิประสิทธิภาพของรถตามช่วงเวลา 114
5.20 ส่วนต่างๆ ของโปรแกรมจัดเส้นทาง 115
6.1 การวัดผลและตัวชี้วัดในระดับต่างๆ 122
6.2 พฤติกรรมความต้องการสินค้าในระยะเวลา 1 เดือน 128
6.3 แผนภูมิการเปรียบเทียบระยะทางแบบเดิมกับคอมพิวเตอร์ 131

รูปภาพที่ หน้า

6.4 ลำดับการส่งสินค้าด้วยการใช้คอมพิวเตอร์และด้วยพนักงานของปัญหา “1811”..... 135

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การขนส่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีพของมนุษย์ เนื่องจากการขนส่งช่วยในการกระจายสินค้าจากแหล่งผลิตไปจนถึงผู้บริโภคต่างๆ ซึ่งในต่างประเทศพบว่า มูลค่าการขนส่งมีค่าประมาณร้อยละ 10 ของผลผลิตมวลรวมประชาชาติ (Gross National Product, GNP) (Roy,1984)

จากสถิติปริมาณการขนส่งสินค้าในประเทศไทยในปี พ.ศ.2538 ของกรมการขนส่งทางบกดังแสดงในตารางที่ 1.1 จะเห็นว่า การขนส่งสินค้าทางถนนมีปริมาณสูงมากและอาจถือได้ว่าการขนส่งสินค้าในประเทศส่วนใหญ่ใช้การขนส่งทางถนนเป็นหลัก เพราะว่าการขนส่งทางถนนเป็นรูปแบบการขนส่งที่สามารถเข้าถึงผู้ต้องการรับบริการได้รวดเร็วและสะดวกกว่ารูปแบบอื่น

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการขนส่งสินค้าในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2538

ประเภทการขนส่ง	จำนวน(ตัน)	หมายเหตุ
ทางเรือ	95,082,000	การขนส่งสินค้าทางทะเล
ทางอากาศ	789,134	ในประเทศและระหว่างประเทศ
ทางถนน	78,418,847	เฉพาะเข้า-ออกเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ที่มา : กรมการขนส่งทางบก

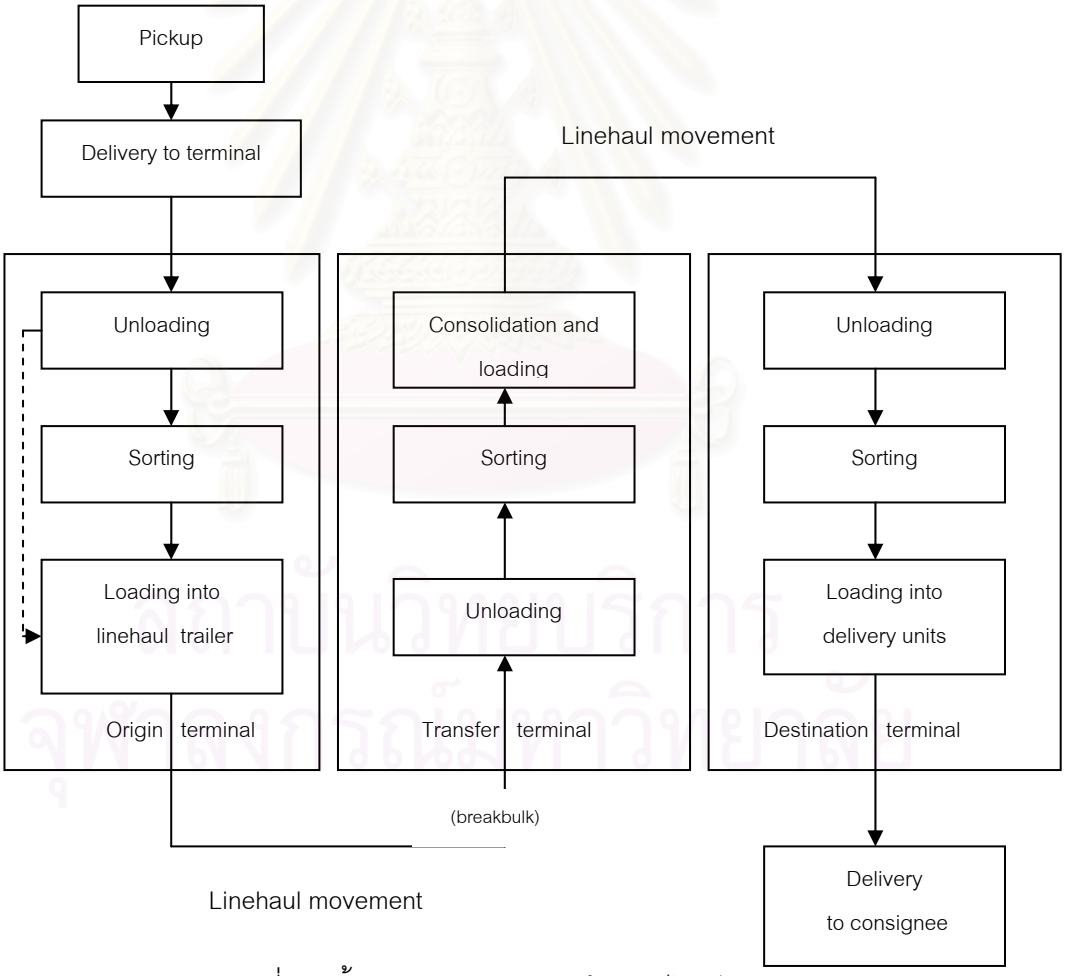
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะของการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุกของประเทศไทยและในต่างประเทศอาจจำแนกตามลักษณะของการบรรทุกสินค้า (Roy,1989) ได้ 2 ลักษณะ คือ

1. การขนส่งสินค้าแบบเต็มคันรถ (Full truckload or FTL Freight)

2. การขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันรถ (Less-than-truckload or LTL Freight)

Barker, Sharon และ San (1981) ได้นิยามการขนส่งแบบเต็มคันรถ (FTL) ว่าเป็นลักษณะหนึ่งของการขนส่งแบบว่าจ้าง ซึ่งต้องการส่งสินค้าทั้งหมดไปสถานที่หนึ่งๆ เช่น การขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้ต้องการสินค้า หรือการส่งสินค้าวัสดุก่อสร้างไปยังบริเวณที่ก่อสร้าง เป็นต้น ดังนั้นการขนส่งสินค้าในลักษณะนี้จึงไม่จำเป็นต้องมีสถานีขนส่งสินค้า (terminals) หรืออุปกรณ์พิเศษในการขนย้าย เนื่องจากไม่ต้องการจัดเรียง (sorting) หรือการเคลื่อนย้ายสินค้าภายในศูนย์ (handling) ในขณะที่ Powell และ Sheffi (1983) ได้นิยามการขนส่งแบบไม่เต็มคันรถ (LTL) ว่า เป็นการขนส่งสินค้าจำนวนมากชิ้นโดยมีจำนวนน้อยกว่า 10,000 ปอนด์ ไปยังลูกค้าต่างๆที่กระจายอยู่ทั่วพื้นที่ แต่เนื่องจากรถบรรทุกสินค้ามีความสามารถในการบรรทุกสินค้าได้ประมาณ 30,000 ถึง 50,000 ปอนด์ ดังนั้นจึงต้องมีการรวมสินค้าจากหลายๆ แหล่ง (consolidation) เพื่อให้สินค้าเต็มคันรถทั้งนี้เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า ดังนั้นการขนส่งสินค้าในลักษณะนี้จึงต้องมีสถานีขนส่งสินค้า (terminals) เป็นจำนวนมากเพื่อที่จะใช้ในการจัดเรียงสินค้า (sorting) ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขั้นตอนของการส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันรถ

ที่มา : Roy และ Delorme (1989)

จากรูปจะเห็นได้ว่า กระบวนการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันรถจะประกอบด้วยกิจกรรมที่สำคัญคือ การนำสินค้าไปส่งยังสถานีขนส่ง แล้วจึงนำสินค้าลงรถ (Unloading) เพื่อจัดเรียงสินค้า (sorting) หลังจากนั้นจึงรวบรวมสินค้า (Consolidation) เพื่อเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งแบบไม่เต็มคันรถมาเป็นการขนส่งแบบเต็มคันรถ แล้วจึงนำสินค้าขึ้นรถ (Loading) ในที่สุด

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าในประเทศไทยยังไม่มีการนำวิชาการมาพัฒนาการบริหารและจัดการอย่างจริงจัง ซึ่งแตกต่างกับภาคอุตสาหกรรมและการบริการอื่นๆ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรต่ำและทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มมากขึ้น จากผลการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการจัดระบบการจราจรทางบกเรื่องประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรของผู้ประกอบการขนส่งเมื่อเทียบกับสหรัฐอเมริกา ดังตารางที่ 1.2 พบว่าความสามารถในการใช้อรรถประโยชน์ของยวดยานของผู้ประกอบการในประเทศไทยต่ำกว่ามาก นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่า ผู้ประกอบการไทยใช้รถขนส่งสินค้าเพียงขาเดียวถึงร้อยละ 66 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้ประกอบการใช้รถอย่างไม่คุ้มค่า จึงทำให้ต้นทุนในการขนส่งสูงขึ้น และทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นจะต้องแบกน้ำหนักเกินเพื่อแข่งขันในด้านราคากับผู้ประกอบการรายอื่นๆ ซึ่งเป็นวิธีที่ผิดกฎหมาย นอกจากนี้แล้วการเข้ามาของบริษัทขนส่งจากต่างประเทศที่มีเทคโนโลยีในการบริหารที่ดีกว่า ย่อมทำให้ผู้ประกอบการของไทยที่ล้าหลังในการบริหารและการใช้เทคโนโลยีได้รับผลกระทบมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องยกระดับการทำงานของผู้ประกอบการขนส่งให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วยการใช้เทคโนโลยีและข้อมูลข่าวสารที่รวดเร็วและทันสมัย

ตารางที่ 1.2 อัตราการใช้ยวดยานโดยเฉลี่ยของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา

	ประเทศไทย		**สหรัฐอเมริกา**
ระยะทางในการเดินทางโดยประมาณในแต่ละครั้ง (กิโลเมตร)	จำนวนครั้งในการเดินทาง (ครั้งต่อเดือน)	อัตราการใช้ยวดยานต่อปี (กิโลเมตร)	อัตราการใช้ยวดยานต่อปี (กิโลเมตร)
1,200	9	129,600	149,000
500	13	78,000	131,000
200	26	62,400	104,000

ที่มา : Office of the Commission for the Management of Land Traffic (1996)

1.2 ลักษณะและปัญหาการประกอบการขนส่งสินค้า

การขนส่งสินค้าเป็นกระบวนการของการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือบริการที่ช่วยให้เกิดอรรถประโยชน์ทั้งเวลาและสถานที่ โดยส่งผลให้ประสิทธิผลทางเศรษฐกิจดีขึ้น ดังจะเห็นได้จากการทำให้สินค้ามีมูลค่าสูงขึ้น รวมทั้งการคงคุณภาพของสินค้า เนื่องจากสินค้าถูกส่งทันเวลาและทันต่อการใช้งาน แต่เนื่องจากการขนส่งประกอบด้วยกิจกรรมจำนวนมาก เช่น กิจกรรมเพื่อการเก็บสินค้า เคลื่อนย้ายสินค้า ส่งสินค้า เป็นต้น ดังนั้นผู้ประกอบการจึงต้องแบ่งการบริหารออกเป็น 3 ระดับ (Crainic และ Laporte,1997) คือ

1. ปัญหาในระดับกลยุทธ์ (Strategic) ปัญหาแบบนี้มักเป็นการตัดสินใจที่มีผลต่อองค์กรในระยะยาว ตัวอย่างปัญหาการขนส่งของผู้ประกอบการในระดับนี้ ได้แก่

- ปัญหาของการเลือกที่ตั้ง เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งที่ตั้งของสถานีบริการ เช่นศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น

2. ปัญหาในระดับยุทธวิธี (Tactical) เป็นการบริหารและวางแผนจัดสรรทรัพยากรต่างๆขององค์กรเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรสูงสุด เช่น ยวดยาน เป็นต้น ตัวอย่างปัญหาของผู้ประกอบการในระดับนี้ได้แก่

- การออกแบบโครงข่ายการให้บริการสำหรับการขนส่งสินค้าไม่เต็มคัน โดยเริ่มตั้งแต่กิจกรรมการรวบรวมสินค้าจากศูนย์ที่มีสินค้าไม่เต็มคัน (End-of-line) เพื่อนำไปที่ศูนย์อีกแห่งโดยรวบรวมสินค้าจนเต็มคัน (Breakbulk terminal) แล้วส่งสินค้าต่อไปยังจุดปลายทางเพื่อกระจายสินค้า โดยพยายามลดจำนวนรถขนส่งสินค้าที่ไม่เต็มคันให้มีน้อยที่สุด เพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยลง

3. ปัญหาในระดับปฏิบัติการ (Operational) เป็นปัญหาในระดับของการควบคุมงานในแต่ละวัน โดยการแก้ปัญหาในระดับนี้จะต้องดำเนินการได้ง่ายขึ้น และรวดเร็ว เนื่องจากมีระยะเวลาในการตัดสินใจค่อนข้างจำกัด ตัวอย่างปัญหาที่เกิดขึ้น ได้แก่

- การจัดเส้นทางการเดินรถ เป็นปัญหาของการออกแบบเส้นทางการขนส่งและเลือกขนาดรถที่เหมาะสมเพื่อส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยัง

ลูกค้าต่างๆ ให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดการจัดส่งสินค้า เช่น ระยะเวลา ความจุของรถ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาระดับของปัญหาต่างๆ จะเห็นได้ว่าการจัดเส้นทางการเดินรถเป็นปัญหาในระดับปฏิบัติการที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นงานพื้นฐานที่เกิดขึ้นเกือบทุกวันและมีผลโดยตรงต่อคุณภาพการให้บริการและต้นทุนขนส่ง โดยอาจวัดได้จากประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างคุ้มค่า (Utilization) และการเพิ่มระดับการให้บริการ (Service Level) เช่น การช่วยลดค่าใช้จ่ายน้ำมัน และค่าใช้จ่ายในการลงทุน ซึ่งส่งผลให้การวางแผนและลงทุนในระดับสูงขึ้นไปมีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นต้น

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นกรอบและแนวทางในการดำเนินการไว้ดังนี้

1. เพื่อศึกษาระบบงานในการขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุก
2. เพื่อศึกษาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถและการปล่อยรถของผู้ประกอบการ
3. เพื่อพัฒนาแบบจำลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าให้เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริง โดยให้เกิดการประหยัดต้นทุนในการขนส่งและเพิ่มความรวดเร็วในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาวิธีการขนส่งสินค้าจากบริษัทตัวอย่าง ซึ่งเป็นบริษัทขนส่งสินค้าอุปโภคและบริโภคจากบริษัทผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค โดยศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทจะทำหน้าที่รวบรวมสินค้าจากหลายผู้ผลิต แล้วจึงจัดเรียงและบรรทุกสินค้าขึ้นรถเพื่อกระจายสินค้าไปยังผู้บริโภคต่อไป จะเห็นได้ว่าลักษณะของการขนส่งสินค้าของบริษัทดังกล่าวมีลักษณะใกล้เคียงกับการขนส่งแบบไม่เต็มคัน โดยการวิจัยนี้จะครอบคลุมเฉพาะการจัดเส้นทางขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าในจังหวัดพิษณุโลกไปยังลูกค้าที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการเท่านั้น

1.5 ขั้นตอนและวิธีการในการวิจัย

ขั้นตอนของการวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

- ศึกษาขั้นตอนและวิธีการทำงานของบริษัทขนส่งสินค้าจากบริษัทตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นก่อนนำไปพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสม โดยข้อมูลที่สำคัญได้แก่ กระบวนการดำเนินงาน ลักษณะของการขนส่งสินค้า เงื่อนไขและข้อกำหนดที่สำคัญ
- ศึกษาปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนส่งสินค้า โดยพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในเบื้องต้น และศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาแบบจำลอง
- ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมา โดยรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าภายใต้ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการพิจารณาถึงผลงานที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศที่สอดคล้องกับการขนส่งสินค้า
- ออกแบบแบบจำลองจัดเส้นทางเดินรถที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาและเงื่อนไขที่เกิดขึ้น
- เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่วิเคราะห์ตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้น
- ทดสอบการทำงาน ปรับปรุงแบบจำลองและโปรแกรม โดยทดสอบทั้งความถูกต้องในแต่ละขั้นตอนของการทำงานและผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม
- วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้และเปรียบเทียบผลจากการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น
- สรุปผลจากงานวิจัยและเสนอแนะ
- จัดทำวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.6 ประโยชน์ของการวิจัย

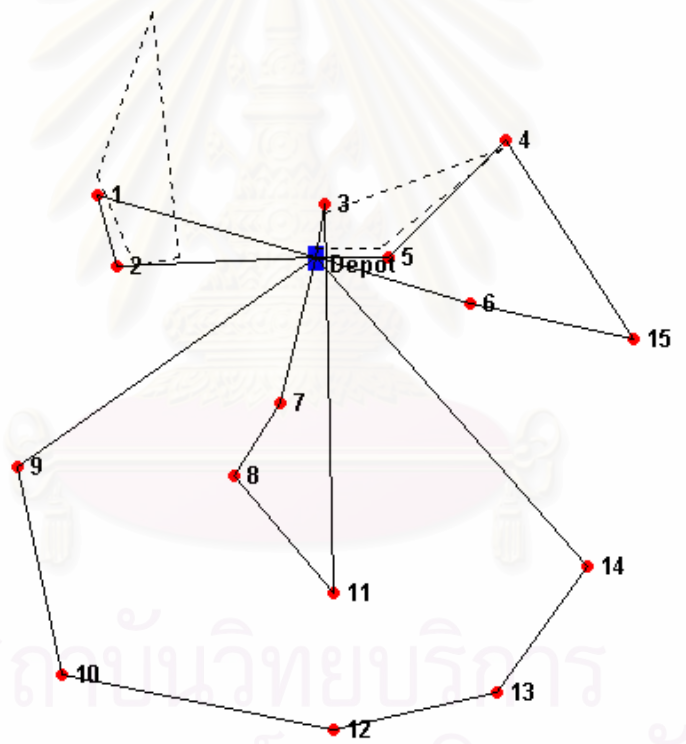
ผลการวิจัยนี้จะอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถใช้งานได้จริงซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่มีความเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางในการเดินรถมีแนวทางที่เกิดประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าได้ตามเป้าหมาย เช่น ลดระยะเวลาในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าและสามารถประหยัดต้นทุนในการขนส่งสินค้ารวมทั้งควบคุมประสิทธิภาพในการทำงานให้ดีขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

2.1 การทบทวนทฤษฎีการจัดเส้นทางออกจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem) เป็นปัญหาของการจัดการเพื่อหาจำนวนเส้นทางและลำดับของการเดินรถที่มีความเหมาะสมไปยังลูกค้าต่างๆ ในแต่ละเส้นทางและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายทางธุรกิจดังรูปที่ 2.1 ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ที่สำคัญต่อการจัดเส้นทางเดินรถ (Hall และ Partyka , 1997) ได้แก่



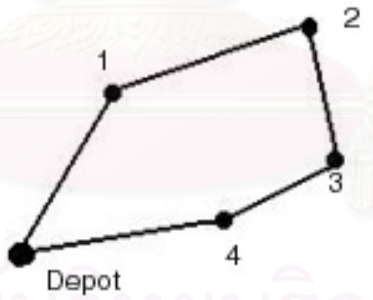
รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวไปยังลูกค้าต่างๆ
ที่มา : Ballou (1999)

- ข้อจำกัดในเส้นทาง (Route Capacities) ซึ่งสะท้อนถึงขนาดของรถหรือเงื่อนไขของเวลาในการขับขี่รถบรรทุกที่กฎหมายอนุญาต

- กรอบของเวลา (Time Window) เป็นการกำหนดช่วงเวลาของวันที่จะลงสินค้าในแต่ละร้านค้าโดยข้อกำหนดนี้อาจเป็นได้ทั้งข้อกำหนดที่เข้มงวด คือ หลีกเลี่ยงไม่ได้ (Hard time window) และข้อกำหนดที่ไม่เข้มงวด (Soft time window) คือผ่อนปรนได้บ้าง แต่อาจจะมีบทปรับหรือลงโทษ

แนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจะมีความซับซ้อนและแปรเปลี่ยนไปตามรายละเอียดขององค์ประกอบของปัญหาดังตารางที่ 2.1 ซึ่งงานวิจัยนี้จะเน้นการวางแผนเส้นทางของรถบรรทุกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว ซึ่งมีวิธีการจำลองปัญหานี้อยู่ 3 รูปแบบเรียงลำดับจากปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยไปมาก คือ

- การจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem , TSP) เป็นปัญหาในระดับง่ายสุด เนื่องจากเป็นการจัดลำดับการส่งสินค้าที่ใช้เส้นทางเดียวให้กับลูกค้าต่างๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว และไม่มีข้อจำกัดของเวลาและความจุของรถ โดยผลลัพธ์ของเส้นทางที่จัดได้จะเริ่มและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้าและผ่านลูกค้าแต่ละรายเพียงครั้งเดียว ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (TSP)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

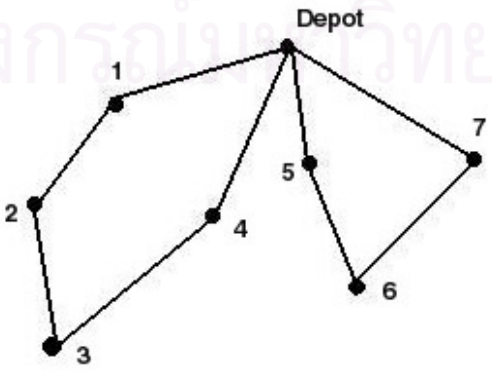
- การจัดเส้นทางการเดินรถแบบหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesmen Problem , MTSP) เป็นปัญหาในการจัดลำดับการส่งสินค้าโดยใช้เส้นทางหลายเส้นทางให้กับลูกค้าต่างๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวโดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาและความจุของรถ ดังรูปที่ 2.3

ตารางที่ 2.1 ประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

Characteristics	Options
- Size of the fleet	- One - Multiple
- Housing of the fleet	- Single depot - Multiple depot
- Type of demand	- At the nodes - On the arcs - On the nodes and the arcs
- Network type	- Undirected - Directed - Mixed
- Vehicle capacity	- All the same - Different - Unlimited
- Maximum route time	- Same for all vehicles - Different for all vehicles - Not present
- Types of operations	- Pickups only - Deliveries only - Mixed
- Objectives	- Minimum total routing costs - Minimum fixed and variable costs - Minimum number of vehicles - Minimum response time - Minimum customer inconvenience

ที่มา : Murdick และคณะ (1990)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทาง (MTSP)

- ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Classical Vehicle Routing Problem (Classical VRP) ปัญหาในระดับนี้จะเป็นการหาจำนวนเส้นทางและลำดับในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าต่างๆโดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวโดยทราบปริมาณสินค้าของแต่ละลูกค้า ภายใต้ข้อจำกัดของรถซึ่งบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินความจุที่กำหนดไว้

รายละเอียดของแต่ละปัญหามีดังนี้

2.1.1. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง

สมมติให้โครงข่ายการขนส่ง (network) $G = [N, A, C]$ โดยที่ N แทนเซตของจุดส่ง (nodes) ต่าง ๆ A แทนเซตของเส้นทางต่างๆ (arcs) และ $C = \lfloor c_{ij} \rfloor$ แทนเมตริกซ์ของ c_{ij} ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j โดยสมมติให้ค่าใช้จ่ายมีลักษณะแบบสมมาตร คือ $c_{ij} = c_{ji}$ ยกเว้น $c_{ii} = \infty$ สำหรับ i = 1,2,…n และให้เส้นทางต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้า (แทนด้วยจุดส่งที่ 1 (node 1)) ซึ่งสามารถจำลองปัญหา (Model Formulation) ได้ดังนี้

กำหนดให้

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{¶éÒarc(i, j) ÍÂÙèã¹àÊé¹} \\ 0 & \text{¶éÒarc(i, j) äÁèÍÂÙèã¹à}\end{cases}$$

และ X = เมตริกซ์ของ x_{ij} ดังนั้นจะเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ได้เป็น

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \qquad (2\text{-}1)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = b_j = 1 \qquad (j = 1,\ldots n) \qquad (2\text{-}2)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i = 1 \qquad (i = 1,\ldots n) \qquad (2\text{-}3)$$

$$X = (x_{ij}) \in S \qquad (2\text{-}4)$$

$$x_{ij} = 0 \quad or \quad 1 \qquad (i, j = 1,...n) \quad (2\text{-}5)$$

โดย S เป็นเซตที่ใช้ในการขจัดการเกิดเส้นทางย่อย (subtour) ซึ่งไม่ใช่ผลลัพธ์ของเส้นทางเดินรถที่ต้องการ เนื่องจากเส้นทางย่อยที่ได้เป็นเส้นทางที่ไม่ได้เริ่มต้นและสิ้นสุดที่จุดเริ่มต้น แต่อาจสอดคล้องกับเงื่อนไข (2-2) (2-3) และ (2-5) ซึ่งการขจัดการเกิดเส้นทางย่อยดังกล่าวเรียกว่า subtour-breaking constraint โดย S ที่เป็นไปได้ได้แก่

1. $S = \left\{ (x_{ij}) : \sum_{i \in Q} \sum_{j \notin Q} x_{ij} \geq 1 \right\}$ ทุกสับเซตของ $Q \in N$ แทนการขจัดการเกิดเส้นทางย่อย (subtour) อยู่ภายในเส้นทางเดินรถ

2. $S = \left\{ (x_{ij}) : \sum_{i \in R} \sum_{j \in R} x_{ij} \leq |R| - 1 \right\}$ สำหรับ $R \in \{2,3,..n\}$ แทนเส้นทางที่เลือกจะต้องไม่มีเส้นทางที่เป็นวงซ้อนอยู่

3. $S = \{ (x_{ij}) : y_i - y_j + nx_{ij} \leq n - 1 \quad _i \}$ สำหรับ $2 \leq i \neq j \leq n$ โดย สมมติให้

$$y_i = \begin{cases} t & \text{¶éÒÅÙ¡¤éÒ ÍÂÙèã¹ÅÓ´Ñº t ã¹àÊé¹·Ò§} \\ 0 & \text{¶éÒà»ç¹¡ÃÐÍ×è¹} \end{cases}$$

นอกจากนี้แล้วยังมีวิธีในการจำลองปัญหาแบบอื่น ๆ อีก เช่น Gavish และ Graves (1978) ได้สมมติค่าตัวแปรที่เรียกว่า flow variables (y_{ij}) ซึ่งเป็นตัวแปรแทนปริมาณสินค้าที่จะต้องถูกส่งจากจุด i ไป j และสมมติว่ามีลูกค้าจำนวน $(n-1)$ ราย โดยการขนส่งจะเริ่มต้นจากจุดส่งที่ 1 (node 1) และลูกค้าแต่ละรายต้องการลงสินค้าเพียง 1 หน่วยเท่านั้น ดังนั้น เมื่อมีการส่งไปยังจุดส่งถัดไป ค่า y_{ij} ก็จะมีค่าลดลง แบบจำลองปัญหาดังกล่าวจะสามารถเขียนได้เป็น

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \qquad (2\text{-}6)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad (j = 1,...n) \quad (2\text{-}7)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \qquad (i = 1,...n) \quad (2\text{-}8)$$

$$\sum_{j=1}^{n} y_{ij} - \sum_{j=1}^{n} y_{ji} = -1 \qquad (i = 2,...n) \quad (2\text{-}9)$$

$$y_{ij} \le U x_{ij} \qquad (i,j = 1,....n) \quad (2\text{-}10)$$

$$x_{ij} = 0 \quad or \quad 1 \qquad , y_{ij} \ge 0 \qquad (i, j = 1,...n) \quad (2\text{-}11)$$

โดยที่ $U \ge n - 1$ และเงื่อนไขที่ (2-7) และ (2-8) หมายความว่า แต่ละจุดส่ง (node) จะมีเส้นทางเดินรถผ่านได้เพียงเส้นทางเดียว ในขณะที่ข้อจำกัด (2-10) จะแทนข้อจำกัดบังคับ (forcing constraint) เพื่อให้ค่า flow ของ y_{ij} ที่อยู่บน arc (i,j) มีค่าเป็นศูนย์ ถ้าเส้นทาง (arc) ดังกล่าวไม่ได้อยู่ตามเส้นทางที่ต้องการ ซึ่งสะท้อนว่า ถ้า x_{ij} มีค่าเท่ากับศูนย์ ก็จะทำให้ y_{ij} เท่ากับศูนย์

เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง จากศูนย์กระจายสินค้าสามารถจำแนกได้ 2 แนวทาง ดังนี้

2.1.1.1.เทคนิคในการหาคำตอบด้วยการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)

การแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นวิธีในการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบที่ดีสุด ทั้งนี้ปัญหาของการจัดเส้นทางเป็นปัญหา Integer Programming เนื่องจากคำตอบที่เป็นไปได้จะประกอบด้วยค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะนี้มีหลายวิธี เช่น เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound) เป็นต้น แต่วิธีในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมักประสบปัญหา เนื่องจากต้องใช้ศักยภาพในการวิเคราะห์ที่สูงและใช้เวลาในการวิเคราะห์นานมาก จึงไม่สามารถแก้ปัญหาซึ่งมีความสลับซับซ้อนในเวลาที่จำกัด

2.1.1.2. เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristics)

วิธีการฮิวริสติกเป็นวิธีการที่อาศัยการกำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมา เพื่อหาคำตอบที่ดีและเหมาะสมในระดับหนึ่งถึงแม้ไม่ใช่คำตอบที่ดีสุดโดยสามารถแบ่งวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบได้ 3 วิธี คือ

- วิธีการสร้างเส้นทาง (Tour Construction Procedure) เป็นวิธีการในการค้นหาเส้นทางในการเดินรถที่เป็นไปได้ โดยแต่ละเทคนิคจะกำหนดวิธีการและกฎเกณฑ์การสำรวจเพื่อหาเส้นทางที่เป็นไปได้ที่แตกต่างกัน
- วิธีการปรับปรุงเส้นทาง (Tour Improvement Procedure) เป็นการนำเส้นทางเดินรถที่มีอยู่แล้วซึ่งอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีสุดมาปรับปรุงเส้นทาง โดยการสลับหรือแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้เส้นทางใหม่ที่พัฒนาขึ้นเป็นคำตอบที่ดีกว่าเดิม
- วิธีผสมผสาน (Composite Procedure) เป็นวิธีการที่รวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกันเพื่อลดระยะเวลาในการแก้ปัญหา โดยเริ่มต้นกำหนดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการสร้างเส้นทางและปรับปรุงเส้นทางที่ได้จากขั้นต้นด้วยวิธีการปรับปรุงเส้นทาง

<u>วิธีการสร้างเส้นทาง (Tour Construction Procedure)</u>

♦ Nearest Neighbor Procedure (Rosenkrantz, Stearns และ Lewis, 1977) วิธีการนี้จะมีกฎเกณฑ์ในการค้นหาจุดส่ง โดยการหาจุดส่งที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งไปยังจุดถัดไป (c_{ij}) น้อยที่สุด ซึ่งมีวิธีการดังนี้

<u>ขั้นที่ 1</u> กำหนดจุดส่ง (node) ที่เป็นจุดเริ่มต้นของเส้นทาง

<u>ขั้นที่ 2</u> หาจุดส่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากจุดส่งที่ถูกจัดให้อยู่ในเส้นทางแล้วไปยังจุดส่งข้างเคียงที่น้อยที่สุด และนำจุดส่งที่เลือกเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง

<u>ขั้นที่ 3</u> ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนสามารถผ่านจุดส่งทุกจุด แล้วจึงบรรจบจุดส่งสุดท้ายเข้ากับจุดส่งที่เริ่มต้น

<u>ข้อสังเกต</u> การคำนวณแต่ละครั้งจะมีจำนวนครั้งในการคำนวณเท่ากับ n^2 ครั้ง โดย n แทนจำนวนจุดส่ง (node) แต่การคำนวณอาจต้องกระทำซ้ำเป็นจำนวน n ครั้ง เนื่องจากจะต้องเลือกจุดส่งเพื่อเป็นค่าเริ่มต้นใหม่เป็นจำนวน n ครั้ง เพื่อหาเส้นทางที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำสุด

- Clarke and Wright Saving (Clarke และ Wright, 1964 ; Golden, 1977) วิธีนี้มี กฎเกณฑ์ในการค้นหาจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดด้วยการผนวก 2 จุดส่งเข้าสู่เส้นทางเดียวกันแทนการแยกกันส่งคนละเส้นทาง ซึ่งมีวิธีการดังนี้

ขั้นที่ 1 เลือกจุดส่ง (node) ที่เป็น ศูนย์กระจายสินค้า (Central Depot) แล้วกำหนดเป็นจุดส่งที่ 1
ขั้นที่ 2 คำนวณหาค่าการประหยัดที่จะผนวกเป็นเส้นทางเดียวกันของคู่จุดส่ง i ใดๆ ไปยังจุดส่ง j ใดๆ (s_{ij}) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $c_{1i} + c_{1j} - c_{ij}$
ขั้นที่ 3 เรียงลำดับค่าการประหยัด (s_{ij}) จากมากไปน้อย
ขั้นที่ 4 เริ่มสร้างเส้นทางย่อยโดยเชื่อมจุดส่ง i และ j ที่มีค่าการประหยัดมากที่สุด และทำซ้ำจนครบทุกจุดส่ง

- Insertion Procedure (Rosenkrantz, Stearns และ Lewis, 1977) วิธีการนี้จะเป็นการสร้างเส้นทาง (tour) ที่เป็นคำตอบที่เหมาะสมโดยเลือกจุดส่ง (node) ที่ควรจะถูกเชื่อมต่อกับเส้นทางย่อย (subtour) ที่มีอยู่แล้วจนได้เส้นทางที่ผ่านจุดส่งทั้งหมด โดยมีแนวทางในการหาคำตอบอยู่ 2 ลักษณะ คือ

  - Nearest Insertion Procedure เป็นวิธีการนำจุดส่งข้างเคียงที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทางย่อย โดยมีวิธีการดังนี้
    ขั้นที่ 1 เริ่มต้นสร้างเส้นทางที่เรียกว่า กราฟส่วนย่อย (subgraph) ที่ประกอบด้วยจุดส่ง i เพียงจุดเดียวก่อน
    ขั้นที่ 2 หาจุดส่ง p ที่ทำให้ c_{ip} มีค่าน้อยที่สุดและสร้างเส้นทางย่อย (subtour) ในการเดินทางจาก i ไปยัง p และกลับมาที่ i อีกครั้ง (i-p-i)
    ขั้นที่ 3 (เรียกว่า Insertion step) หาเส้นเชื่อม arc(i,j) ในเส้นทางย่อย (subtour) ที่ทำให้ค่า $c_{ip} + c_{pj} - c_{ij}$ ต่ำสุด และนำจุดส่ง p ดังกล่าวไปอยู่ระหว่างจุดส่ง i และ j
    ขั้นที่ 4 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3 จนกระทั่งจุดส่งทุกจุดส่งอยู่ในเส้นทางย่อย

  - Farthest Insertion Procedure จะมีวิธีการแก้ปัญหาที่ใกล้เคียงกับวิธี Nearest Insertion Procedure แต่เปลี่ยนจากการเลือกจุดส่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุดมาเป็นจุดส่งที่มีค่าใช้จ่ายสูงสุด และเปลี่ยนการเลือกค่า $c_{ip} + c_{pj} - c_{ij}$ ที่ต่ำที่สุดเป็นค่าสูงที่สุด และดำเนินการเดียวกับวิธี Nearest Insertion Procedure ต่อไป

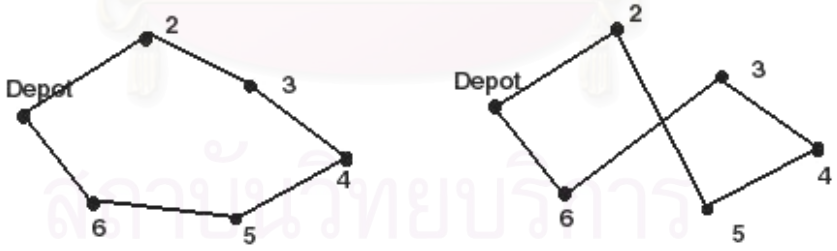
วิธีการปรับปรุงเส้นทาง (Tour Improvement Procedure)

วิธีการนี้นิยมใช้ในการแก้ปัญหา TSP ที่มีความซับซ้อนเพื่อลดระยะเวลาการวิเคราะห์ปัญหา โดยแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อหาเส้นทางที่ดีที่สุดจากเส้นทางเดินรถที่มีอยู่แล้ว ซึ่งวิธีการที่นิยมใช้ในการปรับปรุงเส้นทางคือ การเปลี่ยนเส้นทางขนส่งครั้งละ 2 เส้นทาง (2-opt) หรือ การแลกเปลี่ยนเส้นทางขนส่งครั้งละ 3 เส้นทาง (3-opt) หรือ k เส้นทาง (k-opt) ในกรณีที่ $k \geq 3$ โดยขั้นตอนในการแก้ปัญหาจะดำเนินการดังนี้

ขั้นที่ 1. หาเส้นทางเดินรถเบื้องต้น โดยอาจสมมติเส้นทางตามประสบการณ์ของผู้จัดเส้นทางเดินรถเพื่อหาเส้นทางที่เป็นไปได้

ขั้นที่ 2. ปรับปรุงเส้นทางด้วยการสลับลำดับการส่งใหม่ โดยสามารถดำเนินการได้โดยลบเส้นเดิมที่มีอยู่ k เส้นทาง หลังจากนั้นจึงแทนที่เส้นใหม่ k เส้นทางที่ทำให้เส้นทางผ่านทุกจุดส่ง ดังรูปที่ 2.4 หลังจากนั้นจึงตรวจสอบเส้นทางใหม่ที่ปรับปรุงว่ามีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ต่ำกว่าเส้นทางเดิมหรือไม่ ถ้าเส้นทางที่ได้มีค่าต่ำกว่าเดิม แสดงว่า เส้นทางใหม่ที่ได้เป็นคำตอบที่ดีกว่า

ขั้นที่ 3. ปรับปรุงเส้นทางใหม่อีกครั้งด้วยวิธีการในขั้นที่ 2 จนไม่สามารถปรับปรุงเส้นทางได้ ซึ่งโดยปกติมักพบว่าวิธีการแบบ 3-opt จะมีประสิทธิภาพดีกว่า 2- opt



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างการปรับปรุงเส้นทางแบบ 2-opt

วิธีผสมผสาน (Composite Procedure)

เป็นวิธีการจัดเส้นทางที่นำเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหาของทั้งการสร้างเส้นทางและปรับปรุงเส้นทางมาผสมผสานกัน ซึ่งแนวทางที่นิยมในการแก้ปัญหาจะดำเนินการดังนี้

ขั้นที่1 หาเส้นทางเริ่มต้นโดยใช้วิธีการสร้างเส้นทาง

ขั้นที่2 ปรับปรุงเส้นทางเดินทางในเบื้องต้นด้วยวิธีการแลกเปลี่ยน 2 เส้นทาง (2-opt)

ขั้นที่3 ปรับปรุงเส้นทางเดินทางในขั้นต่อไปด้วยวิธีการแลกเปลี่ยน 3 เส้นทาง (3-opt)

วิธีการนี้จะสามารถย่นระยะเวลาคำนวณให้น้อยลงและรวดเร็ว ซึ่งให้เส้นทางที่เป็นผลลัพธ์ดีและมีความถูกต้องกว่าการหาผลลัพธ์จากวิธีการปรับปรุงเส้นทาง

2.1.2. ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesmen Problem MTSP)

สมมติให้ M เป็นจำนวนรถหรือเส้นทางซึ่งจะส่งสินค้าไปยังร้านค้าต่างๆ จำนวน n-1 แห่ง โดยทำให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนส่งของเส้นทางจำนวน M เส้นทางมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสามารถจำลองแบบปัญหาด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \qquad (2\text{-}12)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = b_j = \begin{cases} M & if \ \mathrm{j} = 1 \\ 1 & if \ \mathrm{j} = 2,3,..n \end{cases} \qquad (2\text{-}13)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = b_i = \begin{cases} M & if \ i = 1 \\ 1 & if \ i = 2,3,..n \end{cases} \qquad (2\text{-}14)$$

$$X = (x_{ij}) \in S \qquad (2\text{-}15)$$

$$x_{ij} = 0 \ \ or \ \ 1 \qquad (i, j = 1,...n) \qquad (2\text{-}16)$$

โดย S เป็นเซตที่ใช้ในการขจัดการเกิดเส้นทางย่อย (subtour) เช่นเดียวกับที่ใช้ในปัญหาประเภท TSP โดยเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหา MTSP มีหลายแนวทางเช่นเดียวกับปัญหาประเภท TSP นอกจากนี้ยังมีเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหาอีกแบบหนึ่ง คือการเปลี่ยนปัญหาให้เสมือนเป็นปัญหาประเภท TSP (Bellmore และ Hong, 1974) โดยการเพิ่มจุดส่ง (nodes) ใหม่จำนวน M จุดส่ง คือ D_1 D_2 ….D_M และให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งจาก

จุดส่งใหม่ไปจุดส่งต่าง ๆ มีค่าเท่ากับค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากศูนย์ไปยังตำแหน่งต่างๆ และกำหนดให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างตำแหน่งที่เพิ่มขึ้นมาใหม่มีค่าสูงมากเพื่อให้ไม่มีการเชื่อมกันระหว่างศูนย์ เช่น D_1-D_2 เป็นต้น แล้วจึงวิเคราะห์ปัญหาแบบ TSP แทน โดยภายหลังจากการวิเคราะห์จะต้องแปลงเส้นทางที่ได้ดังกล่าวกลับเป็นปัญหาแบบ MTSP ตามเดิมแทน ดังรูปที่ 2.5 แต่วิธีการดังกล่าวอาจพบข้อบกพร่อง ได้แก่

- วิธีการนี้มักไม่ให้คำตอบที่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด
- เส้นทางในการเดินรถของแต่ละเส้นทางอาจมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่แตกต่างกันมาก ทำให้เกิดการจัดสรรงานที่ไม่เท่ากัน

รูปที่ 2.5 เทคนิคการจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทางด้วยการเสมือนปัญหา TSP

2.1.3. ปัญหาแบบ Vehicle Routing Problem (VRP)

ปัญหาแบบ VRP เป็นการหาจำนวนเส้นทางเดินรถและลำดับของการส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดต่างๆ โดยทำให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนส่งของรถทุกคันมีค่าน้อยที่สุดภายใต้ข้อจำกัดของการจัดส่ง เช่น ความจุหรือระยะเวลาในการขับขี่ ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนการแก้ปัญหาได้ดังนี้

2.1.3.1 การจำลองปัญหา

การจำลองแบบปัญหา VRP สามารถทำได้ด้วยการสร้างสมการเชิงคณิตศาสตร์ตามลักษณะของปัญหา เช่น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เงื่อนไขของเวลา และความจุของรถได้ดังนี้

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} c_{ij}\, x_{ij}^{v} \qquad (2\text{-}17)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^{v} = 1 \qquad (j = 2,\ldots n) \qquad (2\text{-}18)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^{v} = 1 \qquad (i = 2,\ldots n) \qquad (2\text{-}19)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ip}^{v} - \sum_{j=1}^{n} x_{pj}^{v} = 0 \qquad \begin{matrix}(v = 1,\ldots NV)\\ (p = 1,\ldots,\ n)\end{matrix} \qquad (2\text{-}20)$$

$$\sum_{i=1}^{n} d_i \left(\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{v} \right) \le K_v \qquad (v = 1,\ldots NV) \qquad (2\text{-}21)$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_i^{v} \sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{v} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} t_{ij}^{v} x_{ij} \le T_v \quad (v = 1,\ldots NV) \qquad (2\text{-}22)$$

$$\sum_{j=2}^{n} x_{1j}^{v} \le 1 \qquad (v = 1,\ldots NV) \qquad (2\text{-}23)$$

$$\sum_{i=2}^{n} x_{i1}^{v} \le 1 \qquad (v = 1,\ldots NV) \qquad (2\text{-}24)$$

$$X \in S \qquad (2\text{-}25)$$

$$x_{ij}^{v} = 0 \text{ or } 1 \qquad \textit{for all } i, j, v \qquad (2\text{-}26)$$

โดยที่

n = จำนวนจุดส่ง

NV = จำนวนรถ

K_v = ความจุของรถคันที่ v

T_v = ข้อกำหนดเวลาในการเดินรถของรถคันที่ v

d_i = ความต้องการสินค้าของจุดส่งที่ i

t_i^v = เวลาที่รถคันที่ v ใช้ในการส่งหรือบรรทุกสินค้าที่จุดส่ง i

t_{ij}^v = เวลาที่ใช้ในการเดินรถของรถคันที่ v จากจุดส่ง i ไปจุดส่ง j

c_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินรถของรถคันที่ v จากจุดส่ง i ไปจุดส่ง j

x_{ij}^v = $\begin{cases}1 & \text{¶éÒarc(i, j) ÍÂÙèº¹àÊé¹Ò§¢Í§Ã¶ v}\\ 0 & \text{¶éÒà»ç¹¡ÃÊÍ×è¹}\end{cases}$

X = เมตริกซ์ของ $x_{ij}^v \equiv \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v$

2.1.3.2. เทคนิคในการหาคำตอบ

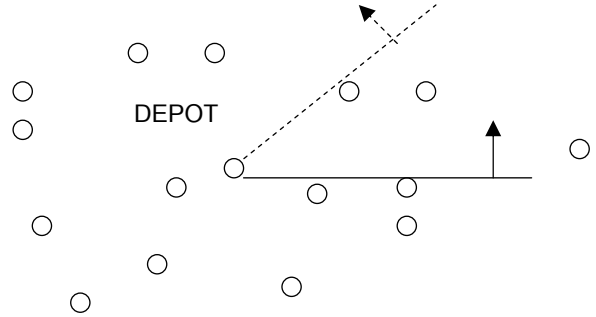
เทคนิคในการหาคำตอบของการจัดเส้นทางเดินรถมีหลายวิธีดังได้กล่าวมาแล้ว แต่วิธีการในการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกภายใต้ข้อจำกัดของความจุและเวลาเป็นวิธีที่นิยมสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งเทคนิคในการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวจะมีวิธีการเช่นเดียวปัญหา TSP แต่ต้องตรวจสอบว่าความจุของรถและเวลาในการเดินรถต้องไม่เกินข้อกำหนดทุกครั้งของการวิเคราะห์ โดยเมื่อการจัดเส้นทางถึงขีดจำกัดก็จะต้องเปลี่ยนรถหรือจัดเส้นทางใหม่เข้ามาเพิ่ม ซึ่งเทคนิคที่นิยมสำหรับการจัดเส้นทางแบบนี้ได้แก่

1. Saving หรือ Insertion procedure โดยการหาค่าประหยัดค่าใช้จ่าย $c_{ik} + c_{kj} - c_{ij}$ แล้วจึงเรียงค่าการประหยัดได้จากมากไปน้อยเพื่อสร้างเส้นทางที่ทำให้เกิดการประหยัดสูงสุด โดยยังไม่เกินเงื่อนไขเกี่ยวกับความจุของรถ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้อาจมีข้อบกพร่องเพราะเส้นทางที่ได้จากการวิเคราะห์อาจมีพื้นที่รับผิดชอบในการขนส่งแตกต่างกันมาก และทำให้ระยะเวลาในการเดินรถไม่เท่ากัน นอกจากนี้ผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางอาจทำให้ใช้ยวดยานมากกว่าวิธีอื่นๆ

2. Sweep Approach เป็นวิธีการหาจำนวนเส้นทางและลำดับการส่งสินค้าโดยการแบ่งเส้นทางเป็นพื้นที่รับผิดชอบด้วยการหมุนเส้นสมมติในทิศทวนเข็มหรือตามเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 2.6 และรวมปริมาณสินค้าที่เส้นดังกล่าวผ่านร้านต่างๆ จนกระทั่งผลรวมของปริมาณสินค้าใกล้ถึงความจุของรถบรรทุกจึงเปลี่ยนรถใหม่เข้ามาเพิ่มจนกระทั่งหมุนเส้นครบรอบ หลังจากนั้นจึงใช้เทคนิคการแก้ปัญหา TSP สำหรับรถแต่ละคัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้อาจมีข้อบกพร่อง คือ ถ้าศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้อยู่ ณ ศูนย์กลางของพื้นที่ให้บริการ จะทำให้รูปร่างของเส้นทางการเดินรถมีขนาดที่ไม่สมดุลย์ และทำให้ระยะเวลาในการเดินทางของรถแต่ละคันมากกว่าวิธีการอื่นๆ นอกจากนี้แล้ววิธีการแบบนี้ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะการวางแนวของถนนทำให้ร้านค้าที่อยู่ในถนนเดียวกัน อาจอยู่คนละเส้นทางก็ได้ซึ่งไม่ถูกต้องกับความเป็นจริง

3. Cluster first-route second เป็นการหาเส้นทางในการเดินรถโดยแบ่งพื้นที่ความรับผิดชอบในการส่งสินค้าก่อน หลังจากนั้นจึงหาลำดับในการส่งสินค้าในลำดับต่อไป

4. Route first-cluster second วิธีการนี้จะเริ่มจากการหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่ผ่านลูกค้าทุกราย ซึ่งเรียกเส้นทางนี้ว่า Giant Tour หลังจากนั้นจึงแบ่งออกเป็นเส้นทางย่อยๆ เนื่องจากรถเพียงคันเดียวไม่สามารถเดินทางได้ครบทุกจุดดังนั้นจึงต้องแบ่งเป็นเส้นทางย่อยโดยคำนึงถึงความจุของรถ และข้อจำกัดระยะเวลาการขนส่ง



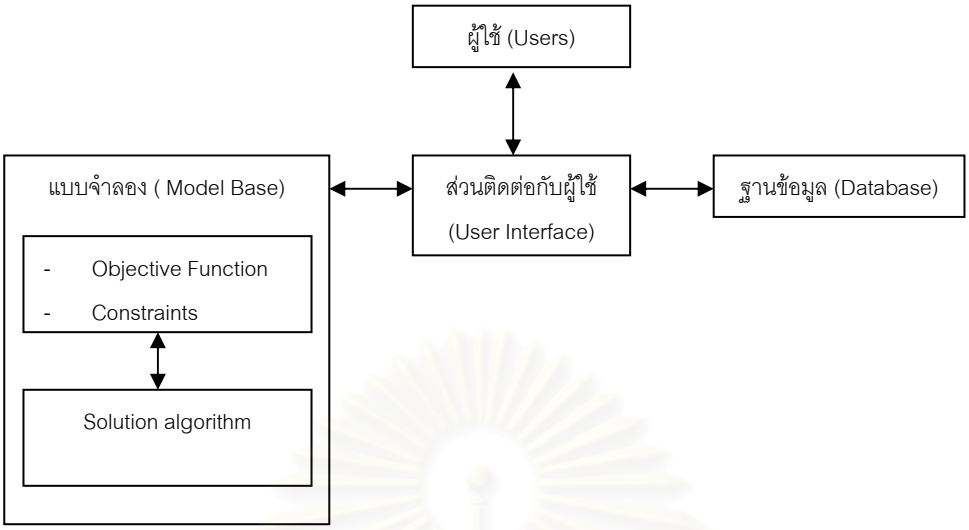
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการแก้ไขปัญหาด้วยวิธี Sweep Approach

5. Improvement หรือ exchange procedure เป็นวิธีในการปรับปรุงเส้นทางที่มีอยู่ด้วยการหาเส้นทางที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากการแลกเปลี่ยนเส้นทางที่มีอยู่แล้ว จนกระทั่งไม่สามารถปรับปรุงเส้นทางได้

2.2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support Systems)

Marakas(1999) ได้ให้นิยามของระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจว่า เป็นระบบที่ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องต่อการตัดสินใจสามารถตัดสินใจปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยระบบไม่ได้ทำหน้าที่ตัดสินใจแทนผู้เกี่ยวข้อง แต่ผู้เกี่ยวข้องจะทำการติดต่อและโต้ตอบผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) เพื่อเปลี่ยนแปลงปัจจัยหรือกำหนดสถานการณ์เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และตัดสินใจได้ดียิ่งขึ้น

รูปที่ 2.2 แสดงระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญได้แก่ ฐานข้อมูล (Database) แบบจำลอง (Model Base) และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) โดยระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดเส้นทางเดินรถ จะมีองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 2.7 ระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ

2.2.1 ข้อมูลป้อนเข้าสู่ระบบและฐานข้อมูล

จากการศึกษาผลงานที่ผ่านมาพบว่าข้อมูลที่จำเป็นต่อกระบวนการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าจะประกอบด้วยข้อมูลภายในบริษัท และข้อมูลภายนอกบริษัท โดยอาจจำแนกได้ 2 ประเภทคือ

1. ข้อมูลหลัก (Master files) ได้แก่

- ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของรถขนส่งสินค้าที่มีอยู่และพนักงานขับ เพื่อให้ทราบถึงความจุของรถ เช่น น้ำหนัก ปริมาตร จำนวนรถ และจำนวนพนักงานที่มีอยู่ เป็นต้น
- ข้อมูลลักษณะสินค้า ซึ่งให้รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของสินค้าที่มีผลต่อการจัดเส้นทาง เช่น ปริมาตร และน้ำหนัก
- ข้อมูลรายชื่อและลักษณะลูกค้า เพื่อให้รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะลูกค้าแต่ละราย
- ข้อมูลทางกายภาพของถนน และ ข้อมูลตำแหน่งพิกัดลูกค้า เพื่อให้รายละเอียดของโครงข่ายการขนส่งระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากับลูกค้า

2. ข้อมูลธุรกรรม ซึ่งแสดงข้อมูลที่ใช้ติดต่อระหว่างลูกค้ากับบริษัท ได้แก่ รายการการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า เป็นต้น

2.2.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นเป้าหมายขององค์กรที่ถูกจำลองขึ้นเพื่อเป็นกรอบในการดำเนินงาน โดยแต่ละองค์กรอาจมีเป้าหมายที่แตกต่างกันตามนโยบายขององค์กร เช่น ต้องการให้เกิดต้นทุนในการดำเนินงานต่ำสุด หรือเสียเวลาในการขนส่งสินค้าต่ำสุด เป็นต้น

โดยทั่วไปธุรกิจมักมุ่งให้เกิดผลกำไรสูงสุด หรือต้นทุนในการดำเนินงานต่ำสุด โดยสามารถแยกประเภทต้นทุนออกเป็น 2 ส่วนคือ ต้นทุนคงที่ (fixed cost) ซึ่งเป็นต้นทุนที่ไม่แปรเปลี่ยนตลอดช่วงการทำงาน เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าประกันภัย ค่าเช่า เป็นต้น ซึ่งจะมีค่าคงที่ แม้ว่าจะมีปริมาณการขนส่งเปลี่ยนไป และต้นทุนผันแปร (variable cost) ซึ่งเป็นต้นทุนที่ผันแปรไปตามอัตราส่วนของกิจกรรมในการขนส่งสินค้า (Sawdy, 1972) ได้แก่

- <u>ต้นทุนในการนำสินค้าขึ้นรถ</u> จะขึ้นกับวิธีการนำสินค้าขึ้นรถ วิธีการบริหาร ลักษณะของศูนย์กระจายสินค้า ลักษณะของยวดยานที่ใช้เป็นต้น
- <u>ต้นทุนในการเดินทาง</u> ซึ่งเป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดต้นทุนมากที่สุด เนื่องจากใช้เวลามากกว่ากิจกรรมอื่น โดยต้นทุนนี้จะแปรผันตามความเร็วที่ใช้ ระยะทาง และสภาพการจราจร
- <u>ต้นทุนในการนำสินค้าลงจากรถ</u> แปรผันตามวิธีการนำสินค้าลงจากรถและลักษณะสินค้า

2.2.3 ข้อกำหนดการให้บริการ

ข้อกำหนดในการให้บริการเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความยากง่ายในการวิเคราะห์การจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง โดยข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งได้แก่

1. ข้อจำกัดของรถบรรทุก ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการบรรทุกสินค้า เช่น ความจุของยวดยาน จำนวนของยวดยานที่มีอยู่ เป็นต้น

2. ข้อจำกัดด้านเวลา ได้แก่ เวลาในการทำงาน และกำหนดเวลาในการเข้าออกในบางพื้นที่ เงื่อนไขนี้เป็นเงื่อนไขที่ส่งผลกระทบต่อการจัดจำนวนรถและประเภทรถส่งสินค้า
3. เงื่อนไขด้านสินค้า ได้แก่ ประเภทและขนาดของสินค้า ซึ่งเงื่อนไขนี้มีผลต่อความจุของสินค้าเนื่องจากสินค้าแต่ละชนิดมีน้ำหนักและปริมาตรที่แตกต่างกัน
4. เงื่อนไขด้านสถานที่ ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการเลือกประเภทของยวดยานที่ใช้ในการขนส่งสินค้าในแต่ละจุดส่ง เช่น ในพื้นที่คับแคบจะไม่สามารถใช้รถขนาดใหญ่ในการส่งสินค้า เป็นต้น

ทั้งนี้หากมีข้อจำกัดมากเกินไป อาจเป็นผลให้ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ แนวทางการวิเคราะห์หาคำตอบอาจทำได้โดยค่อยๆ เพิ่มข้อกำหนดและตรวจสอบเงื่อนไขให้สอดคล้องกับลักษณะปัญหา เช่น Bell และคณะ (1983) ได้ใช้เทคนิคในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบโดยประมาณก่อน หลังจากนั้นจึงค่อยนำข้อกำหนดด้านเวลามาพิจารณา จะเห็นได้ว่าวิธีการดังกล่าวจะเป็นการช่วยลดความซับซ้อนในการวิเคราะห์ได้มาก ด้วยการแบ่งข้อกำหนดออกเป็น 2 ประเภทคือ ข้อกำหนดที่เข้มงวด (Hard Constraints) คือ หลีกเลี่ยงไม่ได้ และข้อกำหนดที่ไม่เข้มงวด (Soft Constraints) คือ ผ่อนปรนได้บ้าง เช่น เงื่อนไขเวลาในการทำงาน เป็นต้น

2.2.4 แนวทางการติดต่อกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

ระบบการจัดเส้นทางเดินรถจำเป็นจะต้องมีกลไกในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้ระบบ โดยการติดต่อที่ดีควรสนับสนุนให้ผู้ใช้สามารถติดต่อกับระบบได้ง่ายและช่วยตัดสินใจปัญหาได้ถูกต้องและรวดเร็ว ตัวอย่างของการติดต่อระหว่างระบบและผู้ใช้ในการจัดเส้นทาง เช่น

- ผู้ใช้ระบบเป็นผู้ที่กำหนดลักษณะและขอบเขตของปัญหา
- คอมพิวเตอร์ช่วยเลือกข้อมูลที่จำเป็นตามลักษณะปัญหาและวิเคราะห์ปัญหา
- ผู้ใช้ระบบเปรียบเทียบแนวทางของคอมพิวเตอร์และประสบการณ์ของพนักงาน แล้วจึงรวบรวมแนวทางทั้งสองเข้าด้วยกัน

- ผู้ใช้ระบบให้คอมพิวเตอร์ช่วยทบทวนและศึกษาปัญหาเพิ่มเติม เพื่อให้เกิดความชัดเจนสำหรับการวิเคราะห์ปัญหา
- ผู้ใช้ระบบอาจปรับปรุงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองด้วยการใช้ประสบการณ์ของตนเองเพื่อให้คำตอบที่เหมาะสม

จะเห็นได้ว่าทั้งผู้ใช้ระบบและคอมพิวเตอร์จะต้องมีการประสานและทำงานร่วมกันตลอดเวลา ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการประสานที่ดีพอเพื่อให้เกิดผลงานที่ดีสุด ทั้งนี้ Krolok Felts และ Marble (1971) กล่าวว่า การให้พนักงานและคอมพิวเตอร์มีการโต้ตอบหรือประสานกันจะช่วยลดระยะเวลาให้การแก้ปัญหา โดยเฉพาะกับปัญหาที่มีความซับซ้อนและหลากหลาย ทำให้พนักงานสามารถให้ความใส่ใจกับปัญหาได้มากขึ้น หรือสามารถกำหนดลักษณะและขอบเขตของปัญหาได้ถูกต้องขึ้น

ปัจจุบันแนวทางในการโต้ตอบและประสานกันระหว่างผู้ใช้ระบบและคอมพิวเตอร์มีได้หลายวิธี เช่น การกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติม การให้พนักงานช่วยในการแก้ไขปัญหาขั้นเริ่มต้น หรือการจัดสรรเส้นทางโดยพนักงานและคอมพิวเตอร์พร้อมๆ กัน แนวทางที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันคือแนวทางที่เสนอโดย Krolok และคณะ ซึ่งแบ่งลำดับขั้นตอนในการทำงานดังนี้

- การใช้แนวทางแบบฮิวริสติกเพื่อวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในเบื้องต้น
- ใช้แนวทางการติดต่อระหว่างผู้ใช้กับคอมพิวเตอร์เพื่อโต้ตอบ โดยให้พนักงานกำหนดแนวทางการแก้ปัญหาเพิ่มเติม และแก้ไขหรือปรับปรุงเส้นทางในภายหลัง เช่น ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางที่ดีไม่ควรมีการขนส่งที่ข้ามทับเส้นทางกัน เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าแนวทางดังกล่าวจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางในการเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก เช่น ลดเวลาในการแก้ปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดข้อด้อยของวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกได้อย่างดี และช่วยให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจในระบบมากขึ้น

2.3 การทบทวนผลงานที่ผ่านมา

จากผลการทบทวนทฤษฎีพบว่า การจัดเส้นทางเดินรถภายใต้ข้อจำกัดของความจุของรถหรือเวลาที่ใช้ในการขนส่ง เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่าย เวลา หรือระยะทางในการขนส่งที่ต่ำสุด เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับหลายธุรกิจ เช่น งานให้บริการซ่อมสินค้า การจัดบริการรถโดยสาร และการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า ดังนั้นผลงานในอดีตจึงมีการพัฒนาแบบจำลองการจัดเส้นทางการเดินรถเป็นจำนวนมากมายเกินกว่าที่จะทบทวนและนำเสนอได้หมด การทบทวนจึงได้จำกัดเฉพาะตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าดังสรุปในตารางที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
สุธี ศรีเพ็ชรดานนท์ (2536)	วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการสร้างแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้าประเภทผงซักฟอกและสินค้าที่ใช้ในห้องน้ำ โดยมีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียวที่จะกระจายสินค้าไปสู่ร้านค้าต่างๆ โดยต้องการใช้ระยะเวลาในการเดินรถน้อยที่สุด	เทคนิคที่ผู้วิจัยใช้ในการวิเคราะห์คือ วิธี Clarke-Wright โดยแบ่งกลุ่มลูกค้าตามพื้นที่ต่าง ๆ แล้วเก็บเวลาในการเดินรถจริงในการเดินรถภายใต้ข้อสมมติฐานที่สำคัญ คือสภาพการจราจรที่เป็นปกติ และประมาณเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าโดยพิจารณาตามขนาดเป็นสำคัญ
Clarke, G., และ Wright, J. (1964)	เป็นการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีหลายขนาด โดยส่งสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว	ใช้วิธีการฮิวริสติก เพื่อการจัดเรียงลำดับของค่าประหยัดได้ (saving) และเชื่อมเส้นทางต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ทราบจำนวนรถบรรทุกที่ต้องใช้และปริมาณสินค้าแต่ละคัน
Christophides, N., และ Eilon, S.(1969)	เสนอวิธีปรับปรุงภายในเส้นทาง ภายหลังจากได้เส้นทางเบื้องต้น	เสนอการปรับปรุงเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้ได้ระยะทางใหม่ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าเดิม โดยวิธีการเริ่มต้นจากการสมมติเส้นทางเริ่มต้นขึ้นมาแล้วค่อยปรับปรุงจนกระทั่งได้เส้นทางที่ดีที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
Holmes,R.A., และ Parker, R.G.(1976)	เป็นการจัดสรรเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัดในอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งแตกต่างจาก Clarke Wright	ใช้วิธีการแบบ Parallel ในการจัดเส้นทาง โดยกำหนดให้โครงข่ายที่ใช้เป็นแบบไม่สมมาตร
Bartholdi และคณะ (1983)	กล่าวถึงการจัดเส้นทางและลำดับการส่งอาหารแก่ผู้สูงอายุในมลรัฐจอร์เจีย ซึ่งมีรถขนส่งประมาณ 4 คัน และต้องส่งอาหารให้แก่ผู้สูงอายุจำนวน 200 ราย ในช่วงเวลา 10.00-14.00 น. ให้ครบทุกราย	ใช้เทคนิค Travelling salesman problem โดยกำหนดพิกัด (x,y) เพื่อหาระยะทางที่ห่างกันของแต่ละจุด และใช้เทคนิคการสร้างกราฟที่เรียกว่า Spacefilling-curve เพื่อศึกษารายละเอียดต่างๆ ของลูกค้า แล้วจึงแบ่งเส้นทางออกเป็นสาย แต่วิธีการดังกล่าวไม่สามารถจะแก้ไขปัญหาได้รวดเร็วเมื่อมีข้อมูลและข้อจำกัดจำนวนมากได้
Bell และคณะ(1983)	กล่าวถึงการขนส่งสินค้าประเภทก๊าซและเคมีภัณฑ์ให้กับลูกค้าต่างๆ ซึ่งต้องมีการคาดคะเนระดับของสินค้าของลูกค้าต่างๆ และกำหนดเวลาในการส่ง	แบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วนคือ - การวิเคราะห์ปริมาณสินค้าที่จะต้องเติมให้กับลูกค้าแต่ละราย - การวิเคราะห์เส้นทางเพื่อให้ต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุด รวมทั้งมีจำนวนการใช้ยวดยานให้น้อยที่สุด Bell และคณะเลือกใช้วิธีการ Set Covering ในการวิเคราะห์ปัญหาเนื่องจากลูกค้าสามารถให้รถมากกว่า 1 คันมาส่งสินค้า และระยะเวลาในการปฏิบัติงานยาวนานกว่า ประมาณ 5 วัน ดังนั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
		ลูกค้าสามารถเลื่อนส่งสินค้าได้ โดยแบ่งลำดับขั้นตอนในการทำงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1.route generator เป็นขั้นตอนของการเลือกเส้นทางที่เป็นไปได้ในแต่ละเส้นทางก่อน โดยมีการระบุลูกค้าต่างๆพร้อมแสดงต้นทุนและค่าใช้จ่าย 2. route optimizer เป็นขั้นตอนการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อให้ต้นทุนต่ำสุด โดยเส้นทางที่เลือกต้องสอดคล้องกับความต้องการและเงื่อนไข การวิเคราะห์ปัญหานี้มีความซับซ้อนมาก เพราะมีจำนวนลูกค้ามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการกำหนดเวลาในการส่งสินค้า
Balardo, S., Duchessi, P..และ Seagle J.P. (1985)	กล่าวถึงแนวทางในการจัดเส้นทางขนส่งโดยรถบรรทุกไปยังร้านสะดวกซื้อของบริษัท Southland Corporation	ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System, DSS) แสดงข้อมูลเส้นทางในการเดินรถด้วยภาพกราฟิก รวมทั้งข้อมูลในเชิงโต้ตอบเพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถวิเคราะห์เส้นทางเพื่อให้ได้ข้อมูลลำดับการส่งไปยังลูกค้าต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
Evans,S.R., และ Norback, J.P.(1985)	กล่าวถึงการจัดเส้นทางการเดินรถของสินค้าอุปโภคของบริษัท Kraft ซึ่งมีเงื่อนไขของเวลาในการจัดส่ง เนื่องจากลักษณะการสั่งสินค้าไม่คงที่ ระยะเวลาในการส่งสินค้าน้อยกว่า 1 วัน และมีข้อจำกัดของน้ำหนักและปริมาตรของรถส่งสินค้า และเวลาในการทำงาน	ใช้แนวทางของ DSS แสดงผลลัพธ์ผ่านทางกราฟฟิกและการโต้ตอบและสร้างฐานข้อมูลของน้ำหนัก ปริมาตร ลูกค้า โดยใช้วิธีการจัดเส้นทางที่เรียกว่า Largest angle method และใช้ระยะทางโดยประมาณจากวิธีเส้นตรง (Euclidean distance) ซึ่งผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางสามารถลดค่าใช้จ่ายประมาณร้อยละ 10.7
Savelbergh, M.W.P.(1985)	เสนอวิธีการกระจายสินค้าแบบใหม่โดยพิจารณาทั้งข้อจำกัดของระยะทางในการขนส่งและข้อจำกัดด้านเวลาในการเดินทาง	แก้ปัญหาการจัดเส้นทางของการเดินรถโดยพิจารณากรอบของเวลาไปพร้อมกัน โดยในเบื้องต้นจะสร้างเส้นทางขึ้นมาก่อน หลังจากนั้นจากนั้นจึงปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธี k-interchange
Hsu, J.A., Kim, T.P., และ Bott, K (1988)	อธิบายถึงแนวทางในการจัดเส้นทางเดินรถส่งสินค้าตามบ้าน (Home Delivery) เพื่อหาลำดับการส่งสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ ในแต่ละเส้นทาง โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด	บทความนี้แบ่งลำดับขั้นตอนของการพิจารณาดังนี้ 1. Address Locator เป็นการกำหนดถึงรายละเอียดที่อยู่ของลูกค้า 2. Distance Estimator เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาระยะทางในการจัดเส้นทาง 3.Interactive Graphics Capabilities เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและกลั่นกรองหรือเพิ่มเงื่อนไขในการกำหนด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
		เส้นทางเดินรถได้ง่ายขึ้นและถูกต้อง ซึ่งในบทความนี้ได้เสนอเทคนิคการจัดเส้นทางหลายวิธี เช่น Cluster first route second , Route first cluster second และ Saving
Nag, B., Golden, B.L., และ Assad, A.A.(1988)	เสนอการจัดเส้นทางโดยมีการใช้รถหลายขนาดและมีเงื่อนไขของเขตการส่งที่ส่งผลต่อการเลือกใช้ประเภทรถ	ใช้วิธีการสร้างเส้นทางจาก First-cut algorithm เพื่อเลือกรถที่เหมาะสมในช่วงแรก หลังจากนั้นจึงใช้เทคนิคการจัดเส้นทางแบบ Sweep และปรับปรุงเส้นทางด้วย 2-opt
Jongkol, C.(1990)	เสนอการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมันโดยในเทคนิค Matching ของค่าใช้จ่ายซึ่งเป็นเวลาและระยะทาง	เสนอการจัดเส้นทางด้วยการการหาค่าประหยัดจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวไปยังสถานีบริการที่กระจายอยู่ในกรุงเทพฯ โดยมีขนาดของรถที่แตกต่างกัน โดยแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ส่วน คือ (1) การประมาณเส้นทางที่สั้นสุด (2) การจัดกลุ่มลูกค้าที่สามารถส่งสินค้าได้
Klibbua , V. (1990)	กล่าวถึงการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางในการจัดส่งของโรงงานผลิตอาหารประเภทนมและไอศกรีมในจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีเงื่อนไขที่สำคัญคืออายุสินค้าสั้น โดยแบ่งพื้นที่ความรับผิดชอบเป็น 4 พื้นที่เพื่อรองรับกับรถส่งนม	งานวิจัยนี้ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบการทำงานของคลัง(warehouse)และขนาดพื้นที่คลัง ส่วนที่สองเป็นการวางแผนการขนส่งสินค้า ซึ่งกำหนดให้เส้นทางเป็นเส้นทางคงที่ตามความรับผิดชอบ ซึ่งเทคนิคที่ผู้วิจัยใช้ในการจัดเส้นทางคือ 2-opt

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
	และไอศกรีม 4 คัน	โดยใช้ระยะทางเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยการสร้างเมตริกซ์ระยะทางไปยังลูกค้าต่างๆ จากการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) ที่เรียกว่า Dijiktra ‘s Algorithm
Martin IV, E. (1998)	เสนอแนวทางของการปรับปรุงประสิทธิภาพของการกระจายสินค้าประเภทเบเกอรี่โดยมีข้อกำหนดคือ ช่วงเวลาในการส่งสินค้า	ใช้วิธีการสร้างเส้นทางในการเดินรถโดยใช้ระยะเวลาเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และใช้เทคนิค Nearest-neighbor heuristics โดยหาระยะเวลาในการเดินทางระหว่างลูกค้าจากข้อมูลระยะทางในการเดินทางและความเร็วเฉลี่ยด้วยการสร้างตารางความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเดินทางและเวลาเดินทางรถ และหาเวลาในการนำสินค้าลงด้วยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนสินค้าและเวลาที่ใช้ในการนำสินค้าลงจากรถ
Barbarosoglu, G., และ Ozgur, D.(1999)	เสนอการออกแบบการจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกแบบใหม่ (Modern Heuristics) ในประเทศตุรกี	เสนอการจัดเส้นทางด้วยวิธี Tabu Search โดยกำหนดให้ออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว โดยเริ่มต้นสร้างเส้นทางที่เรียกว่า Non-Tabu แล้วจึงปรับปรุงเส้นทางระหว่างกัน ซึ่งผลการศึกษาช่วยให้ประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางในแต่ละวันดีขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 (ต่อ) ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
Lee, T.-R., และ Ueng, J.-H. (1999)	เสนอวิธีการจัดเส้นทางของศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียวด้วยการคำนึงระยะทางในการเดินทางที่สั้นที่สุด และการจัดสรรปริมาณสินค้าให้รถขนส่งอย่างยุติธรรม	เสนอการจัดสรรเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัดพร้อมใช้ค่าพารามิเตอร์ปรับแก้ค่าการประหยัดในแบบจำลองเพื่อจัดสรรสินค้า โดยให้ความสำคัญต่อความยุติธรรมในการจัดสรรงานให้พนักงาน
Weigel ,D., และ Cao, B. (1999)	กล่าวถึงบริษัท Sears Logistics services (SLS) ซึ่งเป็นบริษัทขนส่งสินค้าส่งถึงบ้าน เช่น สินค้าเฟอร์นิเจอร์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า โดยต้องการให้ระบบการจัดเส้นทางสามารถ - ส่งสินค้าถึงมือลูกค้าในเวลาที่เหมาะสม - ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า - ช่วยให้พนักงานขับรถพึงพอใจกับงาน	ออกแบบระบบสำหรับปัญหาการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดของเวลาและความจุองรถ (VRPTW) โดยใช้เวลาซึ่งประกอบด้วย เวลาในการเดินทาง เวลาคอย และเวลาที่ล่าช้า เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยใช้ GIS ArcInfo ของ บริษัท ESRI ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของถนนสายต่างๆ และสร้าง อัลกอริทึมแบบ Cluster-first Route-second และหา OD Matrix ซึ่งให้ผู้ใช้งานส่งผ่านข้อมูลทางระบบ WAN ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าลดลงปีละ 42 ล้านดอลล่าร์
Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J.-Y., และ Semet, F.(2000)	เสนอบทความในการจัดเส้นทางด้วยวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกในแบบต่างๆ	เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางแบบคลาสสิก (Classical Heuristics) โดยได้ข้อสรุปวิธีการที่เหมาะสมในการจัดเส้นทางคือการหาค่าการประหยัด พร้อมทั้งแนะนำวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางด้วย Metaheuristic ในอีกรูปแบบ เช่น Tabu Search

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4. บทสรุป

ผลการทบทวนทฤษฎีและผลงานที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่า

1. การศึกษานี้ควรเลือกใช้วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก เนื่องจากวิธีหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นวิธีที่ซับซ้อนและยากต่อการพัฒนา ซึ่งสอดคล้องกับ Zanakis และ Evans (1981) ที่ได้แนะนำให้ใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกแทนวิธีหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เมื่อ

- ข้อมูลที่เป็นปัจจัยนำเข้า (Input) มีความคลาดเคลื่อนหรือมีข้อมูลอย่างจำกัด
- ลักษณะของปัญหาในทางปฏิบัติมีความซับซ้อน เช่น มีเงื่อนไขในทางปฏิบัติจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้วิธีการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ให้ผลลัพธ์ที่ไม่สามารถนำไปใช้งานจริง
- ยังไม่สามารถหาวิธีในการแก้ปัญหาที่เชื่อถือได้ และถูกต้อง
- การคำนวณหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ใช้ระยะเวลานานเกินไป
- มีความเป็นไปได้ในอนาคตที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา
- เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและไม่มีเวลาในการแก้ปัญหามากนัก
- กระบวนการแก้ปัญหาสามารถเขียนเป็นกฎเกณฑ์ได้และง่ายต่อการพัฒนา

แต่อย่างไรก็ตามวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก อาจไม่สามารถแก้ปัญหาในบางสถานการณ์ได้ดี ซึ่ง Geoffrion และ Van Roy (1979) ได้ให้ข้อสังเกตว่า

- ในทางปฏิบัติวิธีฮิวริสติกซึ่งพิจารณากฎเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นอาจไม่สามารถแก้ปัญหาให้ใกล้เคียงกับคำตอบจริงได้เนื่องจากมีข้อด้อย เช่นวิธี Sweep Approach จะไม่สามารถจัดสรรเส้นทางได้ดีหากศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้ตั้งอยู่ใจกลางกลุ่มลูกค้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ทางเลือกในการตัดสินใจอย่างเป็นลำดับขั้นอาจไม่สามารถแก้ปัญหาได้ถูกต้องในคราวเดียว เช่น วิธีการฮิวริสติกหลายแบบที่ต้องเลือกและเปลี่ยนจุดเริ่มต้นหลายครั้ง เพื่อให้ได้คำตอบที่มีค่าน้อยที่สุด เป็นต้น

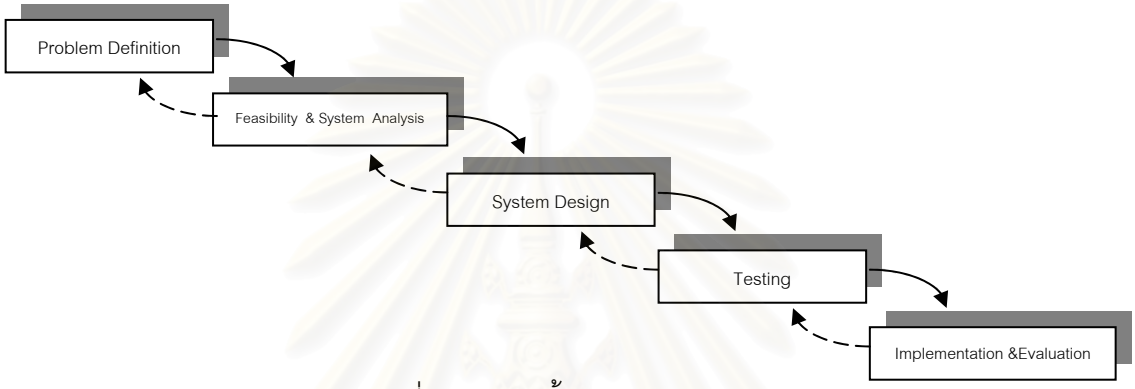
- วิธีการแบบฮิวริสติกเป็นวิธีที่ขาดมุมมองที่กว้างไกล เนื่องจากมุ่งหวังที่จะแก้ปัญหาเฉพาะหน้าเป็นหลัก เช่น การจัดเส้นทางการเดินรถด้วยวิธี Nearest Neighbor เมื่อจัดเส้นทางจนถึงจุดส่งสุดท้ายแล้วก็จะต้องเชื่อมเส้นทางกลับมายังที่ศูนย์ ซึ่งในบางครั้งระยะทางดังกล่าวเป็นระยะทางที่ไกลจนทำให้คำตอบที่ได้ไม่มีคุณภาพ

2. ระบบที่พัฒนาควรมีกลไกในการปรับปรุงการจัดเส้นทางการเดินรถ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ระบบมีส่วนร่วมในการตัดสินใจเลือกเส้นทางในการเดินรถ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

การพัฒนาระบบมีวิธีการดำเนินงาน ดังรูปที่ 3.1 (Marakas,1999) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอนหลัก คือ



รูปที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการพัฒนาระบบ

- การกำหนดปัญหา เงื่อนไข และวัตถุประสงค์ (Problem Definition, Constraints and Objectives) เป็นการประเมินและศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นเพื่อให้ทราบถึงเป้าหมายขององค์กรและรวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็นต่อการศึกษาในขั้นถัดไป

- การวิเคราะห์ความเป็นไปได้และการวิเคราะห์ระบบ (Feasibility and System Analysis) ในขั้นนี้จะเป็นการประเมินถึงความเป็นไปได้ในในการนำระบบมาใช้ในการพัฒนาโดยพิจารณาจากสภาพที่เป็นอยู่และความจำเป็น หลังจากนั้นจึงเป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์ระบบปัจจุบันเทียบกับความต้องการเพื่อให้ระบบที่พัฒนามีความเหมาะสมและใช้งานได้ซึ่งจำเป็นต้องเก็บรวบรวมข้อมูลให้สอดคล้องกับความต้องการ

- การออกแบบระบบ (System Design) เป็นการนำข้อมูลและประสบการณ์ที่รวบรวมได้มาออกแบบแบบจำลองและเลือกวิธีการนำข้อมูลเข้าสู่ระบบ โดยโปรแกรมที่พัฒนาต้องสนับสนุนการติดต่อกับผู้ใช้ระบบด้วย

- การทดสอบระบบ (Testing) เป็นขั้นตอนของการทดสอบความพร้อมของระบบเบื้องต้นก่อนนำไปใช้งาน ซึ่งโดยทั่วไปการทดสอบจะกระทำหลายครั้งเพื่อให้ครอบคลุมทั้งการนำข้อมูลเข้า การประมวลผลและการนำเสนอผลลัพธ์จากการวิเคราะห์

- การนำไปใช้งานและประเมินผล (Implementation and Evaluation) ในขั้นตอนนี้เป็นการนำระบบที่พัฒนาขึ้นไปใช้แทนระบบเดิม โดยในการประเมินผลจะต้องศึกษาถึงผลประโยชน์ที่เกิดขึ้น โดยแนวทางในการวัดผลประโยชน์ดังกล่าวสามารถวัดผลทั้งผลประโยชน์ที่อยู่ในรูปของเงิน และผลประโยชน์ที่ไม่อยู่ในรูปเงิน เช่น ความสะดวกสบายและรวดเร็วในการปฏิบัติ เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้จะไม่ครอบคลุมขั้นตอนนี้เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการดำเนินงานมาก

สำหรับการอธิบายในบทนี้จะครอบคลุมเฉพาะงานในขั้นตอนที่ 1 และ 2 เท่านั้น ส่วนขั้นตอนที่ 3 และ 4 จะอธิบายในบทถัดไป ทั้งนี้งานในขั้นตอน 1 และ 2 สามารถแยกออกเป็น 4 ขั้นตอนย่อย ดังนี้

1.การสำรวจรวบรวมรายละเอียดการปฏิบัติงานในสนาม
2. การกำหนดแนวทางเบื้องต้นในการสำรวจรวบรวมข้อมูล
3. การวางแผนและการดำเนินงานสำรวจข้อมูล
4. การเลือกแบบจำลองที่เหมาะสม

3.1 การสำรวจรวบรวมรายละเอียดการปฏิบัติงานในสนาม

การสำรวจปัญหาและรายละเอียดของการปฏิบัติงานมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาระบบเพราะการสำรวจช่วยให้

- เกิดความเข้าใจในลักษณะปัญหาและกระบวนการทำงานได้ดีขึ้น
- ทราบถึงวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่มีผลต่อการปฏิบัติงาน
- ได้ข้อมูลจากการสำรวจเบื้องต้นไปใช้ในการศึกษาในขั้นถัดไป

3.1.1 ขั้นตอนในการทำงานของบริษัทตัวอย่าง

จากการศึกษาลักษณะงานของบริษัทตัวอย่างพบว่า บริษัทมีการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันโดยใช้ศูนย์กระจายสินค้าทำหน้าที่รวบรวมสินค้าจากแหล่งต่างๆ เข้าไว้ที่ศูนย์ซึ่งตั้งกระจายอยู่ทั่วทั้งประเทศ ดังตารางที่ 3.1 โดยลักษณะสินค้าที่บริษัทขนส่งส่วนใหญ่เป็นสินค้าอุปโภคและบริโภคซึ่งมีความแตกต่างกับการขนส่งสินค้าในลักษณะอื่น เนื่องจาก

- เงื่อนไขในการส่งสินค้าจะถูกกำหนดโดยลูกค้า
- สินค้าส่วนใหญ่มีขนาดมาตรฐาน
- สินค้าที่ส่งในแต่ละวันจะมีจำนวนมาก และเป็นสินค้าที่มีขนาดไม่ใหญ่นักเนื่องจาก สินค้ามีอายุการใช้งานสั้น และจำเป็นต่อชีวิตประจำวัน ดังนั้นจึงส่งผลต่อระยะเวลาในการขึ้นและลงสินค้า
- สินค้าที่อยู่ในแต่ละคันมีหลายเจ้าของ ดังนั้นจึงมีจุดปลายทางหลายแห่ง ซึ่งแตกต่างจากการขนส่งสินค้าการเกษตรซึ่งมักมีเจ้าของเดียว

จากการศึกษาการขนส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่างพบว่า บริษัทขนส่งมีหน้าที่ขนส่งสินค้าของบริษัทผู้ผลิตไปยังร้านค้าในเขตจังหวัดต่างๆ โดยศูนย์กระจายสินค้าในกรุงเทพฯ จะทำหน้าที่กระจายสินค้าไปจังหวัดในภาคกลางและในภาคตะวันออกโดยตรง และส่งสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้าอื่นในภาคต่างๆ เพื่อให้ศูนย์กระจายสินค้านำสินค้าดังกล่าวจัดส่งไปยังร้านค้าต่างๆ ที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 พื้นที่รับผิดชอบของศูนย์กระจายสินค้าต่างๆ ของบริษัทตัวอย่าง

ศูนย์กระจายสินค้า	จังหวัดที่อยู่ในเขตรับผิดชอบ	จำนวนจังหวัดที่ต้องรับผิดชอบ
สุราษฎร์ธานี	พังงา กระบี่ นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี ตรัง พัทลุง	6
ชุมพร	ระนอง ชุมพร	2
ภูเก็ต	ภูเก็ต	1
หาดใหญ่	สงขลา สตูล ปัตตานี ยะลา นราธิวาส	5
พิษณุโลก	พิษณุโลก พิจิตร เพชรบูรณ์ กำแพงเพชร สุโขทัย ตาก อุตรดิตถ์ แพร่ น่าน	9
นครสวรรค์	ลงศูนย์พิษณุโลกกรณีจำนวนสินค้าน้อย แจกจ่ายเองกรณีจำนวนสินค้ามาก	-
เชียงใหม่	ลำปาง เชียงใหม่ ลำพูน เชียงราย แม่ฮ่องสอน เชียงราย พะเยา	7

จากการศึกษาศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทตัวอย่างจะมีกระบวนการของการจัดการขนส่งสินค้า 4 ขั้นตอน ได้แก่

ขั้นตอนที่ 1 การรับสินค้า

ขั้นตอนนี้จะเป็นกระบวนการเริ่มต้นของการขนส่งสินค้า โดยเริ่มตั้งแต่การรับสินค้า ณ ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งประกอบด้วย การตรวจรับสินค้า การตรวจสอบสินค้า การจัดเอกสาร และการจัดเรียงสินค้าให้เป็นระเบียบเพื่อพร้อมที่จะดำเนินการในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 2 การจัดสินค้า

ขั้นตอนการจัดสินค้านี้ เป็นการจัดและแยกสินค้าที่จะทำการส่งโดยรถขนส่งสินค้าแต่ละคัน โดยกระบวนการแรก ก็คือ การจัดรถขนส่งสินค้าที่มีความเหมาะสมเพื่อที่จะทำการขนส่งสินค้าแต่ละส่วน จากนั้นจึงทำการจัดแยกสินค้าเพื่อที่จะทำการขนสินค้าขึ้นรถ พร้อมที่จะทำการส่งสินค้าให้กับลูกค้า

ขั้นตอนที่ 3 การส่งสินค้า

ขั้นตอนนี้เป็นการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังร้านค้าต่างๆ โดยต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ของร้านค้าด้วย เช่น ช่วงเวลาในการรับสินค้าเนื่องจาก ร้านแต่ละร้านอาจจะมีช่วงเวลารับสินค้าแตกต่างกัน หากรถส่งสินค้าไปถึงร้านค้าดังกล่าวหลังช่วงเวลาที่กำหนด ทางร้านก็อาจไม่ยอมรับสินค้าได้ ซึ่งก็จะก่อให้เกิดปัญหาตามมา เช่น ความล่าช้าในการส่งสินค้า หรืออาจทำให้เกิดความเสียหายแก่สินค้าได้

ขั้นตอนที่ 4 การจัดการภายหลังการส่งสินค้า

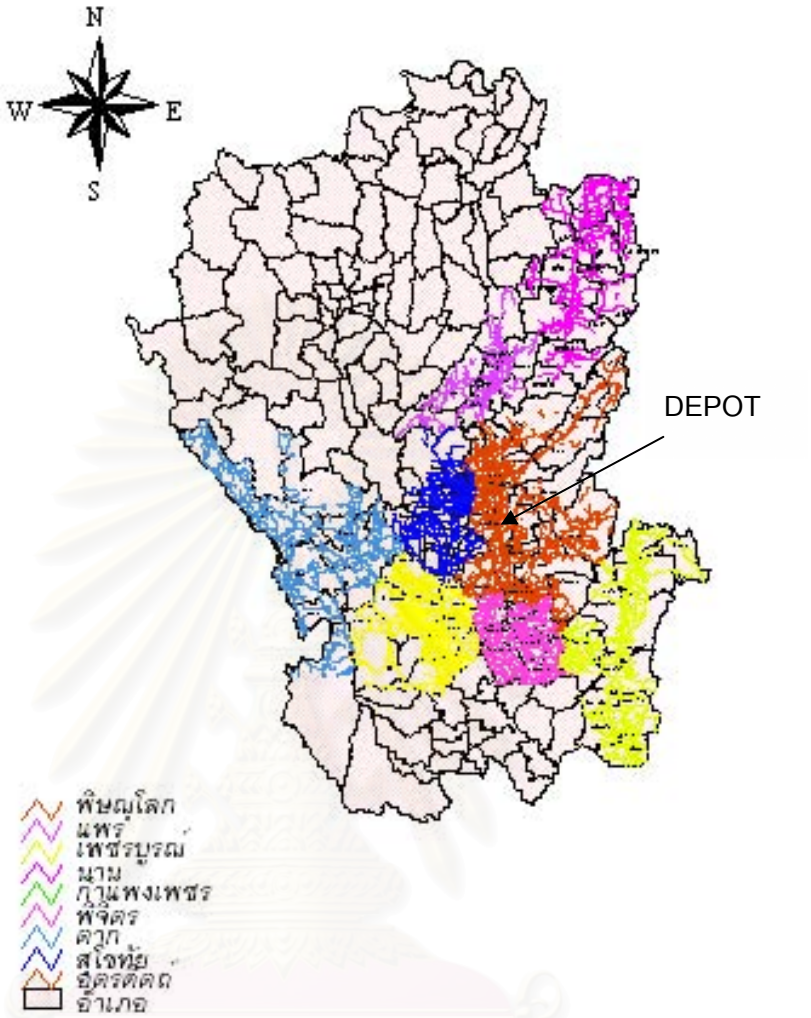
ภายหลังจากการขนส่งสินค้าให้กับร้านค้าต่างๆ ก็จะต้องรายงานและสรุปผลการขนส่ง เพื่อเป็นการตรวจสอบปัญหาและข้อผิดพลาดในการขนส่งสินค้าที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน หลังจากนั้นจึงรวบรวมและนำส่งเอกสารนั้นไปให้กับลูกค้าของบริษัทตัวอย่างต่อไป

สำหรับงานวิจัยนี้จะเลือกศูนย์กระจายสินค้าจังหวัดพิษณุโลกซึ่งมีพื้นที่ขนส่งทั้งภายในจังหวัด (Intra-city) และระหว่างจังหวัด (Inter-city) ซึ่งมีพื้นที่ครอบคลุม คือ พิจิตร เพชรบูรณ์ กำแพงเพชร สุโขทัย ตาก อุตรดิตถ์ แพร่ และน่าน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งจำนวนร้านค้าที่แต่ละเส้นทางรับผิดชอบมีประมาณ 20 ร้าน โดยลักษณะลูกค้าส่วนใหญ่มักจะกระจุกตัวอยู่เป็นกลุ่ม เช่น ในตัวอำเภอเมือง เนื่องจากลักษณะการเจริญเติบโตของเมืองในแต่ละท้องถิ่น โดยการศึกษานี้จะพิจารณาเฉพาะการกระจายสินค้าจากศูนย์ไปยังพื้นที่ให้บริการเท่านั้น แต่จะไม่พิจารณาการขนส่งจากศูนย์ฯ หนึ่งไปยังอีกศูนย์ฯ หนึ่ง เนื่องจากศูนย์ฯ แต่ละแห่งมีการบริหารงานแยกจากกันอย่างเด่นชัดคือ มีรถประจำที่ศูนย์ฯ แน่นอนและผู้มีอำนาจตัดสินใจในการจัดเส้นทางจะเป็นพนักงานในศูนย์นั้น จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับข้อเสนอแนะในการพิจารณาความเหมาะสมที่จะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดเส้นทางดังแสดงในตารางที่ 3.2 พบว่าศูนย์กระจายสินค้าดังกล่าวมีความเหมาะสมในการนำระบบคอมพิวเตอร์ช่วยจัดเส้นทางขนส่งสินค้า

ตารางที่ 3.2 การจำแนกปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

จำนวนรถ	จำนวนร้านค้าต่อเส้นทาง	ความเหมาะสมที่จะใช้	
		ระบบทำงานด้วยมือ	ระบบทำงานด้วยคอมพิวเตอร์
1-5	2-4	√	
	>5	√	
>6	2-4	√	
	>5		√

ที่มา : Sussams (1986)



รูปที่ 3.2 ขอบเขตพื้นที่ให้บริการขนส่งสินค้าที่ทำการศึกษา

3.1.2 การศึกษาข้อมูลและลักษณะงานของบริษัทตัวอย่าง

จากผลการศึกษากิจการด้านการขนส่งสินค้า ได้พบปัญหาและงานที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนของการขนส่งสินค้า ได้แก่

- การลงสินค้า/การตรวจสินค้าและการเรียงสินค้าตามจังหวัดเป็นระยะเวลานาน
- การทำงานเอกสารที่ซ้ำซ้อนและยุ่งยาก
- การมีปริมาณของสินค้าที่ต้องการส่งสินค้าสูงในบางช่วง
- การติดต่อสื่อสารระหว่างกัน (Communication) ที่สับสน

- การบริหารรถ (Fleet Management)
- การจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing)
- การบริหารและจัดการบุคลากร
- การควบคุมและการวัดผลความสำเร็จในการดำเนินงาน

จากลักษณะงานและปัญหาในการขนส่งสินค้าดังแสดงจะเห็นได้ว่า การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าเป็นงานหนึ่งที่ต้องมีการบริหารและการจัดการที่ดี ดังนั้นจึงต้องศึกษารายละเอียดของข้อมูล ดังนี้

1. ลักษณะปัญหาของการขนส่งสินค้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นการขนส่งสินค้าแบบขาเดียว โดยจัดรถสำหรับขนส่งสินค้าเป็น 2 กลุ่ม คือ การขนส่งภายในจังหวัดและข้ามจังหวัด โดยมีข้อจำกัดในการขนส่งสินค้าไม่เข้มงวดมากนัก เนื่องจากกำหนดเวลาในการส่งสินค้าประมาณ 2 วัน แต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติก็จะส่งสินค้าทั้งหมดภายในวันเดียวแม้ว่าในบางเส้นทางอาจมีสินค้าไม่เต็มคันรถก็ตาม เพื่อคงระดับการให้บริการที่สูง

2. การสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของสินค้า พบว่าสินค้ามีขนาดมาตรฐานเนื่องจากบรรจุอยู่ในหีบห่อเรียบร้อย แต่มีสินค้าหลายประเภทจึงทำให้มีน้ำหนักและขนาดสินค้ามีความหลากหลาย โดยปริมาณสินค้าที่ต้องส่งให้แก่ร้านค้ามีปริมาณไม่แน่นอนแต่สามารถประมาณจำนวนสินค้าอย่างหยาบ ๆ ได้จากจากสถิติที่บริษัทมีอยู่

3. ข้อมูลขนาดและประเภทของรถขนส่งสินค้า พบว่า รถที่ใช้เป็นรถประจำศูนย์มีหลายประเภท ซึ่งการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าจะต้องพิจารณาจำแนกรถเป็นกลุ่มๆ เพื่อให้การวิเคราะห์ปัญหามีความชัดเจนยิ่งขึ้น เนื่องจากความสามารถในการบรรทุกสินค้าและต้นทุนของรถแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน

4. จากการศึกษาข้อมูลพนักงาน พบว่า พนักงานที่ทำหน้าที่ขนส่งสินค้าทั้งการขนส่งแบบข้ามจังหวัดและภายในจังหวัดจะมีช่วงเวลาทำงานแน่นอน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วรถที่มีขนาดใหญ่จะถูกจัดในเส้นทางที่มีจำนวนร้านส่งไม่มากนักเพื่อให้พนักงานไม่ต้องทำงานเกินเวลาทำงาน เพราะรถขนาดใหญ่จะใช้ระยะเวลาในการนำสินค้าลงจากรถมากกว่ารถขนาดเล็ก

5. การศึกษาฐานข้อมูลของบริษัทตัวอย่าง พบว่า บริษัทมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเพียงเล็กน้อย เช่น ข้อมูลลูกค้าซึ่งแบ่งลูกค้าตามขนาดและพื้นที่เพื่อใช้ในการแยกเอกสารและจัดสินค้าลงรถเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องสร้างฐานข้อมูลขึ้นใหม่เพื่อรองรับกับโปรแกรมที่จะพัฒนา

ข้อมูลที่สำคัญอีกกลุ่มหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมคือข้อมูลที่สะท้อนถึงข้อจำกัดหรือเงื่อนไขในการจัดเส้นทาง ได้แก่

- ข้อกำหนดเวลาการเดินทาง ได้แก่ กำหนดเวลาห้ามรถขนาดใหญ่เข้าในบางพื้นที่ จากการสอบถามพบว่าการขนส่งสินค้าในเขตพื้นที่ให้บริการไม่ได้รับผลกระทบมากนัก เนื่องจากไม่ได้ส่งสินค้าในช่วงเวลาที่ห้ามรถบรรทุกวิ่ง
- ข้อจำกัดของสภาพพื้นที่ เนื่องจากในสภาพจริง พื้นที่ที่คับแคบ เช่น ตรอกและซอยไม่สามารถใช้รถขนส่งที่มีขนาดใหญ่ได้ ขณะที่รถขนาดเล็กจะไม่เหมาะสมสำหรับการขนส่งสินค้าในร้านขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องกำหนดพื้นที่ให้รถแต่ละประเภทสามารถให้บริการด้วย
- ข้อจำกัดการทำงานช่วงเวลากลางคืนเป็นเงื่อนไขที่สำคัญที่ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น จากการศึกษาพบว่า ศูนย์ฯที่ใช้เป็นกรณีศึกษาไม่มีข้อจำกัดนี้

3.2 การกำหนดแนวทางเบื้องต้นในการสำรวจรวบรวมข้อมูล

จากการศึกษาผลงานในอดีตพบว่า ผลงานหลายชิ้นได้พิจารณาเป้าหมายในการจัดเส้นทางเดินรถที่แตกต่างกัน เช่น ระยะทางที่สั้นสุด เวลาในการเดินทางที่น้อยสุด หรือ ต้นทุนการขนส่งที่ต่ำสุด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะทบทวนแนวทางการจำลองผลของปัจจัยเหล่านี้กับความเหมาะสมในการจัดเส้นทาง ดังนี้

3.2.1 ระยะทาง

การคำนวณหาระยะทางระหว่างจุดส่ง 2 จุด ซึ่งเป็นระยะทางจริงบนถนน (Exact Distance) โดยวัดเป็นระยะทางจากจุดต้นทางไปตามถนนและทางแยกต่างๆ จนถึงจุดปลายทาง สามารถดำเนินการได้ 2 แนวทาง คือ

1. การคำนวณหาระยะทางจริงบนถนน (Exact Distance) โดยตรงและเก็บข้อมูลต่างๆ ลงไปในเมตริกซ์ของระยะทาง เพื่อใช้ในการคำนวณในขั้นถัดไป วิธีการแบบนี้จะให้คำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด แต่ไม่เหมาะสมสำหรับโครงข่ายขนาดใหญ่ เพราะว่า เมตริกซ์ของระยะทางจะมีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะเก็บไว้ในหน่วยความจำ นอกจากนี้แล้วจะต้องใช้ระยะเวลาในการรวบรวมข้อมูลมาก ทั้งนี้การหาระยะทางที่สั้นสุด (Shortest Path) ระหว่าง 2 จุดอาจใช้วิธีการของ Dijkstra's algorithm โดยในการวิเคราะห์หาระยะทางจะต้องพิจารณาถึงสภาพถนน เช่น สภาพการจราจรที่กำหนดให้ถนนเดินรถทางเดียว (One-way) และข้อจำกัดในการห้ามรถเลี้ยวขวา เพื่อให้คำตอบที่ได้ใกล้เคียงกับสภาพจริงมากที่สุด

2. การประมาณการระยะทางจริงบนถนน สามารถดำเนินการได้หลายวิธี ดังนี้

   - การคำนวณหาระยะทางจริงบนถนนด้วยการปรับระยะทางของเส้นตรงที่เชื่อม 2 จุดส่ง (Straight line distance) ด้วยค่า Scaling Factor โดยวิธีการดังกล่าว จะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการเปลี่ยนค่าพิกัดของจุดส่ง 2 จุด เพื่อหาระยะทางที่เป็นเส้นตรงเชื่อมทั้งสองจุด ซึ่งหากจุดส่งทั้งสองห่างกันมากก็จะต้องพิจารณาผลของความโค้งของผิวโลก ด้วยการหาระยะทางของจุดส่งทั้งสองในหน่วยองศาของละติจูดและลองติจูดก่อน แล้วจึงใช้ตารางที่ 3.3 แปลงเป็นระยะทางจริงอีกครั้งหนึ่ง ในขั้นตอนถัดมาจึงใช้ค่า Scaling Factor ปรับแก้ระยะทางที่เป็นเส้นตรงมาเป็นระยะทางจริงโดยประมาณ ซึ่งค่าที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะมีค่าประมาณ 1.21 หรืออาจกล่าวได้ว่าระยะทางจริงจะมีค่ามากกว่าระยะทางที่เป็นเส้นตรงประมาณร้อยละ 21 แต่สำหรับประเทศไทยยังไม่มีข้อมูลในส่วนนี้ จึงอาจต้องทำการทดลองหาระยะทางจริงเทียบเป็นสัดส่วนกับระยะทางที่เป็นเส้นตรงแล้ววิเคราะห์หาค่า Scaling Factor

- การคำนวณหาระยะทางจริงโดยการใช้ระยะทางจริงจากพื้นที่ย่อย วิธีการดังกล่าวจะเริ่มจากการแบ่งโครงข่ายถนนออกเป็นพื้นที่ย่อยและกำหนดศูนย์กลางของพื้นที่ (centroid) โดยการใช้ทางแยกใหญ่ของพื้นที่ย่อยนั้น หลังจากนั้นจึงหาระยะทางจริงระหว่างศูนย์กลาง (centriod) ของพื้นที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล ดังรูปที่ 3.3 และเมื่อต้องการทราบระยะทางจริงระหว่างร้านค้าก็จะใช้สมการที่ (3-1) เพื่อเปลี่ยนค่าระยะทางโดยประมาณมาเป็นระยะทางจริง

$$\frac{Exact(loca\ tion_1, location_2)}{MANHATTAN(location_1, location_2)} = \frac{Exact(zone_1, zone_2)}{MANHATTAN(zone_1, zone_2)} \qquad (3\text{-}1)$$

โดยที่ระยะทางแมนฮัตตัน (Manhattan) จะมีค่าเท่ากับ

$$MANHATTAN[(x_1, y_1), (x_2, y_2)] = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$$

โดยที่

$Exact(loca\ tion_1, location_2)$ แทน ระยะทางจริงจากจุดส่งที่ 1 ไปยังจุดส่งที่ 2

$Exact(zone_1, zone_2)$ แทน ระยะทางจริงจากพื้นที่ย่อย 1 ไปยังพื้นที่ย่อยที่ 2

$MANHATTAN(location_1, location_2)$ แทน ระยะทางแมนฮัตตันจากจุดส่งที่ 1 ไปยังจุดส่งที่ 2

$MANHATTAN(zone_1, zone_2)$ แทน ระยะทางแมนฮัตตันจากพื้นที่ย่อยที่ 1 ไปยังพื้นที่ย่อยที่ 2

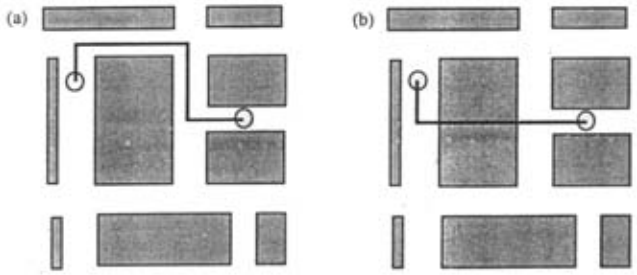
จากสมการที่ (3-1) สะท้อนให้เห็นว่าอัตราส่วนของระยะทางจริงกับระยะทางแบบแมนฮัตตันระหว่างพื้นที่ย่อยจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของระยะทางจริงกับระยะทางแมนฮัตตันระหว่างร้านค้า ดังนั้นหากทราบระยะทางแบบแมนฮัตตันระหว่างร้านค้าก็จะสามารถหาระยะทาง

จริงโดยประมาณได้ แต่อย่างไรก็ตามสมการดังกล่าวอยู่ในรูปของค่าสัมบูรณ์ซึ่งอาจยากที่จะแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ เทคนิคดังกล่าวจึงไม่เป็นที่นิยมมากนัก

ตารางที่ 3.3 ความยาวในหน่วยองศาของเส้นละติจูดและลองติจูด

ค่าละติจูด (องศา)	ละติจูด		ลองติจูด	
	ไมล์	กิโลเมตร	ไมล์	กิโลเมตร
0	68.704	110.569	69.172	111.322
5	68.710	110.578	68.911	110.902
10	68.725	110.603	68.129	109.643
15	68.751	110.644	66.830	107.553
20	68.786	110.701	65.026	104.650
25	68.829	111.770	62.729	100.953
30	68.879	110.850	59.956	96.490
35	68.935	110.941	56.725	91.290
40	68.993	111.034	53.063	85.397
45	69.054	111.132	48.995	78.850
50	69.115	111.230	44.552	71.700
55	69.175	111.327	39.766	63.997
60	69.230	111.415	34.674	55.803
65	69.281	111.497	29.315	47.178
70	69.324	111.567	23.729	38.188
75	69.360	111.625	17.960	28.904
80	69.386	111.666	12.051	19.394
85	69.402	111.692	6.049	9.735
90	69.407	111.700	0.000	0.000

ที่มา : Ballou(1999)



รูปที่ 3.3 ระยะทางจริง และระยะทางจากวิธีแมนฮัตตัน
ที่มา : Shen และคณะ (1995)

- การคำนวณหาระยะทางด้วยวิธีอื่น เช่น การหาพิกัด (x,y) ระหว่างจุดส่ง หลังจากนั้นจึงหาระยะทางจริงจากการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของระยะทางจริงกับระยะทาง d_p ดังแสดงในสมการที่ (3-2)

$$d_p(i,j) = k\left[\left|x_i - x_j\right|^p + \left|y_i - y_j\right|^p\right]^{1/p} \qquad (3\text{-}2)$$

โดยที่ $d_p(i,j)$ แทน ระยะทางจริงโดยประมาณจาก i ไป j

k, p แทน ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการหาความสัมพันธ์ของระยะทางจริง กับ $d_p(i,j)$

จากสมการที่ (3-2) จะเห็นได้ว่า ถ้าค่า p มีค่าเท่ากับ 2 จะทำให้สมการดังกล่าวเป็นความสัมพันธ์ของระยะทางที่เป็นเส้นตรงกับระยะทางจริง โดยค่า k จะมีค่าเท่ากับค่า Scaling Factor

3.2.2 เวลาในการเดินทาง

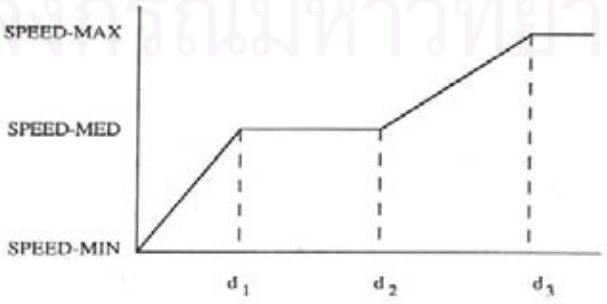
เวลาในการเดินทางสามารถคำนวณได้โดยตรงจากระยะทางและความเร็วในการขนส่ง แต่ในสภาพความเป็นจริง ความเร็วของรถบนถนนจะแปรเปลี่ยนตามเวลาของวัน (Time of Day) และสภาพตำแหน่งที่ตั้ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความเร็วยังแปรผันตามระยะทางด้วย โดยสังเกตได้จากในกรณีที่มีระยะทางขนส่งที่ไกล ผู้ขับรถมักเลือกใช้ถนนสายใหญ่ทำให้สามารถเร่งหรือทำความเร็วได้มากกว่าถนนที่อยู่ในเมือง นั่นก็แสดงว่าความเร็วจะมีค่าแปร

ผันกับระยะทางนั่นเอง จากการศึกษาการหาค่าความเร็วที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองสามารถกระทำได้หลายแนวทาง ดังนี้

- การกำหนดความเร็วให้แตกต่างกันตามพื้นที่ย่อยๆ ที่เรียกว่า Speed Zone (Ballou,1992) โดยวิธีนี้จะพิจารณาถึงอิทธิพลจากปัจจัยภายนอก เช่น บริเวณใจกลางเมืองซึ่งมีสภาพการจราจรที่แออัดจึงทำให้ยวดยานมีความเร็วน้อยกว่าพื้นที่ที่ไกลออกไป ในการกำหนดพื้นที่ย่อยสามารถทำได้ด้วยการแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยม และถ้าจุดส่งอยู่ภายในพื้นที่ย่อยเดียวกันก็จะมีความเร็วที่กำหนดในพื้นที่นั้น แต่อย่างไรก็ตามกรณีที่ต้องมีการข้ามกันระหว่างพื้นที่ย่อยก็จำเป็นต้องกำหนดความเร็วผสม (Combined Speed) ด้วย
- กำหนดฟังก์ชันของความเร็ว (Speed Function) โดยแบ่งค่าพารามิเตอร์ของความเร็วออกมาเป็น 6 ประเภท (Shen และคณะ, 1995) คือ

  - SPEED-MIN แทนความเร็วต่ำสุด
  - SPEED-MAX แทนความเร็วสูงสุด
  - SPEED-MED เป็นความเร็วในช่วงกึ่งกลางระหว่างความเร็วต่ำสุดและความเร็วสูงสุด
  - d_1 ,d_2 , d_3 แทน ระยะทางที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเร็วดังรูปที่ 3.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 ฟังก์ชั่นของความเร็วกับระยะทาง

ที่มา : Shen และคณะ (1995)

จากรูปหากทราบระยะทาง (d) ระหว่างจุดส่งทั้งสองก็จะสามารถทราบทั้งความเร็วเฉลี่ยและเวลาในการเดินทางโดยประมาณ แต่อย่างไรก็ตามก็ต้องมีการปรับแก้ค่าพารามิเตอร์เนื่องจากอิทธิพลภายนอกที่กระทบต่อความเร็วเฉลี่ย เช่น

- สภาพทางกายภาพของถนน (Road Condition) เป็นการปรับแก้ระยะเวลาขนส่งตามสภาพที่รถขนส่งจะต้องผ่าน เช่น กรณีมีฝนตกหนัก เป็นต้น
- ประสิทธิภาพของผู้ขับยวดยาน (Driver's Productivity) ใช้ปรับแก้คนขับที่มีทักษะในการขับที่ดี เพราะช่วยลดเวลาในการขนส่ง
- สภาพความแออัดของการจราจร (Traffic Congestion) แทนการขนส่งในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน จะทำให้ใช้เวลาในการเดินทางมากกว่าปกติ

ดังนั้นเวลาในการเดินทางจะมีค่าเป็น

$$TRAVEL_TIME = \frac{DISTANCE \times ROAD_CONDITION \times CONGESTION}{AVERAGE_SPEED \times DRIVER_PRODUCTIVITY} \qquad (3\text{-}2)$$

3.2.3 ต้นทุนการขนส่ง

ต้นทุนการขนส่งมีความสำคัญต่อธุรกิจและมักเป็นเป้าหมายหลักของการวางแผน ควบคุมและประเมินผลการดำเนินงาน โดยสามารถคิดต้นทุนค่าขนส่งได้หลายแนวทางดังนี้

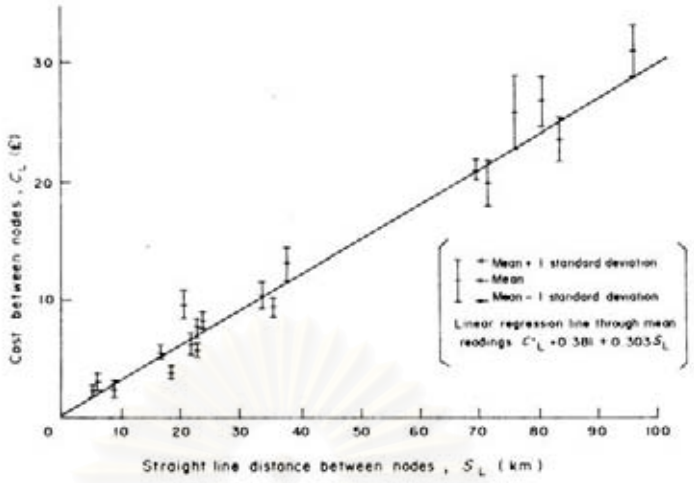
Sawdy (1972) ประมาณต้นทุนการขนส่งโดยพิจารณาจากต้นทุนต่อหน่วยของสินค้าตามกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นในการขนส่งสินค้า ได้แก่ ต้นทุนในการใช้ยวดยาน (Vehicle Operating Cost) ต้นทุนในการนำสินค้าขึ้น-ลง รวมทั้งต้นทุนในการบริหารด้วย

Sussams (1995) เสนอวิธีการที่มีลักษณะคล้ายกับวิธีของ Sawdy โดยแบ่งกิจกรรมที่สำคัญในการขนส่งและคิดต้นทุนตามระยะเวลาในแต่ละกิจกรรม ได้แก่

- การขนส่งสินค้าในช่วงที่เป็น Stem (เป็นระยะทางในการขนส่งที่เริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่งแรกของเส้นทาง และระยะทางในการขนส่งจากจุดส่งสุดท้ายกลับมายังศูนย์ฯ)
- การขนส่งสินค้าในช่วงที่เป็น Inter-drop ซึ่งเป็นช่วงการขนส่งระหว่างร้านค้าหนึ่งไปยังอีกร้านค้าหนึ่ง
- การนำสินค้าลง (Unloading) เป็นกิจกรรมหนึ่งของการขนส่งโดยระยะเวลาในการนำสินค้าลงจากรถมีขึ้นกับลักษณะของการบรรทุกสินค้า เช่น การบรรทุกแบบพาเลท หรือ กล่อง ระยะทางจากจุดจอดรถไปถึงจุดกองเก็บสินค้า ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้และแรงงานที่มีอยู่ เป็นต้น ช่วงเวลาในส่วนนี้อาจมีความสำคัญเนื่องจากเป็นการขนส่งที่ใช้ระยะเวลามากหากมีจำนวนสินค้ามาก
- งานธุรการที่ไม่เกี่ยวข้องกับการขับรถโดยตรง (Administration or other non-driving activity) เช่น การตรวจสอบสินค้า การจัดการงานเอกสาร รวมทั้งเวลาที่ต้องคอย โดยเวลาในส่วนนี้มีความแตกต่างกันตามประเภทลูกค้าและสินค้า
- ความล่าช้า (Delay) ได้แก่ เวลาที่ล่าช้าจากการเดินทาง อันเนื่องจากสภาพถนน สภาพอากาศ เป็นต้น

ความเร็วเฉลี่ยในส่วนที่เป็น Stem และ Inter-drop แตกต่างกันเนื่องจากการขับรถในส่วนที่เป็น Stem มักมีระยะทางที่ไกลกว่า จึงทำให้ความเร็วเฉลี่ยมีค่าสูงกว่า

Cooper (1983) เสนอแนวทางในการประมาณต้นทุนการขนส่งกับระยะทาง โดยใช้สมการถดถอยแบบเส้นตรงดังรูปที่ 3.5 โดยจากรูปจะเห็นได้ว่าสมการถดถอยดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า ต้นทุนในการขนส่งมีค่าผันแปรตามระยะทาง แต่อย่างไรก็ตามการประมาณ ต้นทุนในการขนส่งด้วยวิธีนี้อาจมีความผิดพลาดได้ในกรณีมีสิ่งกีดขวาง เช่น แม่น้ำขวาง จึงทำให้ระยะทางจริงกับระยะทางที่ประมาณด้วยเส้นตรงมีความคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนในการขนส่งกับระยะทางแบบเส้นตรง

ที่มา : Cooper (1983)

Bookbinder และ Reece (1988) พิจารณาต้นทุนการขนส่งที่แปรผันตามระยะทาง และตัวแปรอื่น เช่น ความเร็ว ซึ่งกล่าวได้ว่า การขนส่งสินค้าจากลูกค้า l ไปยังลูกค้า m โดยใช้รถขนส่งสินค้า t จะมีต้นทุนเป็น c_{lmt} ดังนี้

$$c_{lmt} = a_t d_m + c_{lm} cud_t \qquad (3\text{-}3)$$

โดยที่

a_t = ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรของรถขนส่ง t

d_m = $\sum_i B_i D_{im}$ = ผลรวมหน่วยน้ำหนักหรือปริมาตรตามชนิดสินค้า i ของลูกค้า m

B_{im} = น้ำหนัก หรือปริมาตรต่อชิ้นของสินค้า i

D_{im} = ความต้องการสินค้า i ของลูกค้า m

c_{lm} = เมตริกซ์ของระยะทางระหว่างลูกค้า l ไปยังลูกค้า m

cud_t = ต้นทุนต่อหน่วยระยะทางของรถขนส่ง t

Thangiah, Potvin และ Sun (1996) ประมาณต้นทุนการขนส่งสินค้าจากระยะทาง เวลาในการเดินทาง (ซึ่งเป็นผลรวมของเวลาในการเดินทาง เวลาในการคอย และ

เวลาในการให้บริการ) ลักษณะของการบรรทุกสินค้า และความล่าช้าในการเดินทาง ได้ดังสมการที่ (3-4)

$$C(S) = \sum_{k=1}^{K} D_k + \phi W_k + \eta O_k + \kappa T_k \qquad (3\text{-}4)$$

โดยที่

$C(S)$ = ผลรวมต้นทุนในทุกๆเส้นทาง k

D_k = ระยะทางในการเดินทางทั้งหมด หรือเวลาในการเดินทางของเส้นทางที่ k

W_k = เวลาที่ใช้ตลอดเส้นทาง นับรวมทั้งเวลาในการคอยและเวลาในการให้บริการของเส้นทาง k

O_k = น้ำหนักที่บรรทุกเกินของของเส้นทางที่ k

T_k = ความล่าช้าทั้งหมดในการเดินทางของเส้นทางที่ k

ϕ = ค่าน้ำหนักที่แสดงความสำคัญของเวลาที่ใช้เดินทางตลอดเส้นทาง

η = ค่าน้ำหนักที่แสดงความสำคัญของน้ำหนักที่บรรทุกเกิน

κ = ค่าน้ำหนักที่แสดงความสำคัญของความล่าช้า

จะเห็นได้ว่าการประมาณต้นทุนในแบบนี้จะพิจารณาถึงปัจจัยภายนอกที่มีผลกระทบต่อต้นทุนในการเดินทางมากกว่าของ Cooper Bookbinder และ Reece กล่าวคือ พิจารณาถึงผลของความล่าช้า และการบรรทุกน้ำหนักเกิน

3.2.4 การเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เหมาะสม

จากการศึกษาแนวทางเบื้องต้นในการสำรวจและเก็บข้อมูล และการทบทวนผลงานที่ผ่านมาพบว่า ต้นทุนการขนส่งเป็นเป้าหมายที่ผู้ประกอบการใช้เป็นกรอบในการดำเนินธุรกิจ แต่การกำหนดให้ต้นทุนการขนส่งเป็นเป้าหมายในการวิเคราะห์การจัดเส้นทางเดินรถจะมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นผลงานในอดีตจึงนิยมกำหนด ระยะทาง และเวลาในการขนส่งเป็นเป้าหมายในการจัดเส้นทางแทนต้นทุนการขนส่ง การเลือกใช้เป้าหมายที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์นั้นจะต้องพิจารณาจากความสะดวกและความสามารถในการเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ ดังนี้

1. หากต้องการใช้ระยะทางเป็นเป้าหมายจะพบว่า การหาระยะทางจริงบนถนนไม่เหมาะสมเนื่องจากใช้ข้อมูลจำนวนมากและต้องการใช้หน่วยความจำมาก ส่วนวิธีการ

หาระยะทางแบบแมนฮัตตันอยู่ในรูปของค่าสัมบูรณ์ทำให้การพัฒนาระบบยากกว่ารูปแบบอื่นๆ ดังนั้นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้ค่าปรับแก้ระยะทาง (Scaling Factor) เพื่อเปลี่ยนระยะทางเส้นตรงมาเป็นระยะทางจริงโดยประมาณจึงมีความเหมาะสมเพราะ ไม่จำเป็นต้องบันทึกเส้นทางลงในฐานข้อมูลและเหมาะสมกับพื้นที่มีข้อมูลโครงข่ายระยะทางไม่เพียงพอ

2. การเลือกใช้ระยะเวลาในการขนส่งเป็นเป้าหมายจะมีความซับซ้อน เพราะเวลาในการขนส่งแปรเปลี่ยนไปตามอิทธิพลของปัจจัยหลายประการ เช่น ความแออัดของการจราจร และสภาพข้อจำกัดของพื้นที่ในการขนส่ง เป็นต้น ส่งผลให้เกิดความไม่สะดวกในการวิเคราะห์หาระยะเวลาการขนส่ง

3. ต้นทุนการขนส่งจะขึ้นกับกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับการขนส่ง เช่น การนำสินค้าขึ้น-ลงจากรถ การเดินทาง ความล่าช้า เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้ต้นทุนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จะพบว่าการลดต้นทุนเป็นเป้าหมายที่ผู้ประกอบการต้องการมากที่สุดแต่มีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ แต่ถ้าผู้ประกอบการต้องการศึกษาเฉพาะต้นทุนขนส่งในช่วงเวลาในการเดินทาง ก็จะสามารถใช้ระยะทางในการเดินทางเป็นตัวแทนที่ใกล้เคียงกับต้นทุนการเดินทางได้เช่นกัน เนื่องจากต้นทุนจะมีความผันแปรตามระยะทาง

จากผลการเปรียบเทียบถึงความเหมาะสมในการเลือกปัจจัยที่สามารถนำมาใช้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเห็นว่า การใช้ระยะทางโดยประมาณเป็นเป้าหมายจะมีความเหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้

3.3 การวางแผนและดำเนินงานสำรวจข้อมูล

ข้อมูลที่ต้องดำเนินการสำรวจประกอบด้วย

3.3.1 ข้อมูลเขตการส่ง

3.3.1.1 การสำรวจและการแบ่งเขตการส่ง

จากการสำรวจข้อมูลลักษณะและที่ตั้งของลูกค้าของบริษัท - ตัวอย่าง พบว่า ลูกค้ามีจำนวนมาก (มากกว่า 1,000 ราย) โดยลูกค้าส่วนใหญ่จะอยู่เป็นกลุ่มโดยเฉพาะในเขตเมืองต่างๆ ดังนั้นควรที่จะรวมลูกค้าที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงกันเป็นเขตการส่งเดียวแทนการใช้ร้านลูกค้าแต่ละร้านเป็นจุดส่ง เพราะการกำหนดร้านลูกค้าแต่ละร้านแยกเป็นจุดส่งที่แตกต่างกันอาจประสบปัญหา เนื่องจาก

- การวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถจะมีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น เพราะมีจำนวนจุดส่งจำนวนมาก
- ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์อาจไม่แตกต่างกับการวิเคราะห์ที่ใช้เขตการส่งเป็นจุดส่ง เพราะร้านค้าที่อยู่ใกล้กันควรที่จะส่งพร้อมกันอยู่แล้ว
- ลำดับการส่งที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยการใช้ร้านค้าเป็นจุดส่งอาจไม่เหมาะสมในสภาพการใช้งานจริงเนื่องจาก ข้อมูลระยะทางที่ใช้เป็นค่าโดยประมาณเท่านั้น ดังนั้นจึงควรให้พนักงานขับรถสามารถปรับเปลี่ยนลำดับการส่งในร้านค้าที่อยู่ใกล้กันได้ถ้าพนักงานเห็นว่าดีกว่าเดิม

แนวทางการแบ่งเขตการส่งสามารถดำเนินการได้หลายวิธี ซึ่งผลงานในอดีตที่พิจารณาเฉพาะการขนส่งระหว่างจังหวัดใช้เขตการส่งในระดับอำเภอ และส่วนที่พิจารณาการขนส่งภายในจังหวัดแบ่งเขตการส่งตามแนวถนน ดังนั้นการศึกษานี้จะกำหนดขอบเขตของเขตการส่งขึ้นใหม่ ดังนี้

1. แบ่งเขตการส่งโดยใช้ความสามารถในการส่งสินค้าและสภาพกายภาพของเขตการส่งเป็นเกณฑ์ เพราะแม้ว่าร้านค้าจะอยู่ใกล้กันแต่ใช้ประเภทรถขนส่งแตกต่างกันก็จะต้องแบ่งเป็นเขตการส่งต่างกัน

2. แบ่งเขตการส่งโดยพิจารณาจากปริมาณสินค้าที่ร้านค้าสั่ง เพราะเขตการส่งที่มีปริมาณสินค้ามากย่อมมีโอกาสที่จะเกินความจุรถ และทำให้เลือกใช้ประเภทรถในการขนส่งได้น้อยลง

อย่างไรก็ตามการแบ่งพื้นที่ลูกค้าในที่นี้อาจไม่สามารถแบ่งได้ละเอียดมากนักเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่ นอกจากนี้การแบ่งเขตการส่งที่มีขนาดเล็กเกินไปก็อาจจะได้ผลประโยชน์จากการจัดเส้นทางดีขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับความซับซ้อนของปัญหาที่มากขึ้น

3.3.1.2 ผลลัพธ์การแบ่งเขตการส่ง

การศึกษานี้ได้แบ่งเขตการส่งด้วยวิธีที่กำหนดขึ้นในเบื้องต้น โดยเขตการส่งจะมีเลขรหัสกำกับ เพื่อสามารถนำไปใช้ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์และผู้ใช้ระบบ

ในขั้นตอนการจัดเส้นทาง โดยรหัสที่ใช้เป็นรหัสที่สำนักงานสถิติแห่งชาติใช้กำกับเขตการปกครอง ซึ่งประกอบด้วยเลข 6 หลัก ซึ่งใช้แทน จังหวัด อำเภอ และตำบล ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยการศึกษานี้ได้เพิ่มตัวเลขต่อท้ายรหัสการปกครองอีก 1 หลัก เพื่อใช้แบ่งพื้นที่ในระดับที่เล็กกว่าตำบลในกรณีที่เขตการส่งมีขนาดใหญ่เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขสองประการที่กำหนดไว้เบื้องต้น ซึ่งจากผลการแบ่งเขตการส่งสามารถแบ่งเขตการส่งได้ประมาณ 800 เขต

3.3.2 ข้อมูลสินค้า

3.3.1.1 การสำรวจและวิธีการเก็บข้อมูล

จากการศึกษาสินค้าของบริษัทตัวอย่างที่ต้องส่งให้กับลูกค้าต่างๆ พบว่า ผู้ประกอบการจะต้องส่งสินค้าของหลายบริษัทซึ่งมีรายการสินค้าจำนวนมาก โดยในปัจจุบันบริษัทตัวอย่างกำหนดความจุของรถจากจำนวนชิ้นของสินค้าที่บรรทุกซึ่งไม่ถูกต้อง ดังนั้นการศึกษานี้จึงต้องเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ ดังนี้

- <u>ปริมาตรสินค้า</u> วัดจากขนาดของหีบห่อแยกตามรายการสินค้า (SKU) โดยวัดเป็นหน่วยลูกบาศก์เมตร
- <u>น้ำหนัก</u> วัดจากน้ำหนักรวมของสินค้าที่บรรจุอยู่ในหีบห่อที่บรรจุและรวมน้ำหนักของหีบห่อ โดยมีหน่วยเป็นกิโลกรัม

ในกรณีที่การสั่งสินค้าไม่เต็มหีบ ซึ่งเกิดขึ้นบ่อยครั้งกับบริษัทที่มีนโยบายขายของไม่เต็มหีบ ก็ให้ตรวจสอบสินค้าที่สั่งเป็นสัดส่วนเท่าไรของสินค้าที่บรรจุในหีบ และใช้สัดส่วนที่ได้นำไปปรับแก้แทน ทั้งนี้เพราะปริมาตรสินค้าและน้ำหนักผันแปรตามจำนวนสินค้า แต่อย่างไรก็ตามสินค้าบางประเภทไม่สามารถหาน้ำหนักและปริมาตรได้ ถ้าบริษัทบรรจุสินค้าหลายประเภทลงในหีบเดียวและแต่ละครั้งมีสินค้าหลายประเภทมาก ดังนั้นในกรณีนี้จะต้องรวบรวมสินค้าของบริษัทมาหาค่าเฉลี่ยของสินค้าแทน โดยข้อมูลสินค้าที่เก็บรวบรวมจะครอบคลุมเฉพาะที่ต้องใช้ในการทดสอบเท่านั้น

3.3.1.2 ผลการสำรวจข้อมูล

จากการสำรวจข้อมูลพบว่ามีสินค้าจากบริษัทต่าง ๆ จำนวน 19 บริษัท ซึ่งมีจำนวนรายการสินค้าของแต่ละบริษัทที่สำรวจได้ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ประเภทสินค้าจำแนกตามบริษัทเจ้าของสินค้าที่สำรวจได้

บริษัทที่	จำนวน รายการสินค้า	บริษัทที่	จำนวน รายการสินค้า
1	14	11	6
2	273	12	2
3	49	13	*
4	62	14	10
5	12	15	2
6	*	16	*
7	*	17	41
8	25	18	366
9	3	19	24
10	8		

หมายเหตุ * แทน ใช้ค่าเฉลี่ยสินค้าโดยประมาณ

3.3.3 ข้อมูลรถขนส่งสินค้า

3.3.1.1 การสำรวจและวิธีการเก็บข้อมูล

จากการศึกษาพบว่า จำนวนรถที่บริษัทตัวอย่างใช้ขนส่งสินค้าในช่วงการทดสอบระบบมีจำนวน 12 คัน โดยเป็นรถ 3 ประเภทดังตารางที่ 3.5 ซึ่งแสดงปริมาตรและน้ำหนักที่บรรทุก ทั้งนี้ในสภาพความเป็นจริงรถประเภทเดียวกันอาจมีความจุที่แตกต่างกันได้ เนื่องจากบริษัทผู้ผลิตรถมีมาตรฐานที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องกำหนดมาตรฐานโดยเฉลี่ยดังนี้

- <u>ปริมาตร</u> วัดจากความสามารถของรถที่จะบรรทุกสินค้าได้จริง โดยใช้ระยะความกว้างและความยาวของขนาดตัวถังรถ ส่วนความสูงจะเป็นค่าความสูงที่สามารถบรรทุกสินค้าได้ (มีค่าประมาณความสูงของคอกที่กั้น) แต่อย่างไรก็ตามปริมาตรที่คำนวณได้ก็ควรที่จะมีการปรับลดลงเล็กน้อย เนื่องจากการเรียงสินค้าขึ้นรถมักจะมีช่องว่างระหว่างสินค้า จึงทำให้ปริมาตรของรถที่จะรองรับสินค้าจริงมีค่าลดลงทั้งนี้ค่าที่จะปรับลดดังกล่าวจำเป็นจะต้องอาศัยประสบการณ์ของพนักงาน

- น้ำหนัก วัดจากความสามารถของรถที่จะบรรทุกสินค้าได้จริง โดยไม่รวมน้ำหนักรถซึ่งจะเป็นค่าเฉลี่ยของน้ำหนักของสินค้าที่รถบรรทุกในแต่ละประเภท

3.3.1.2 ผลการสำรวจข้อมูล

ผลลัพธ์จากการศึกษาความจุปรากฏดังแสดงในตารางที่ 3.5 ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้หากต้องการปรับปรุง

ตารางที่ 3.5 ความจุของรถสำหรับการวิเคราะห์

ประเภทรถ	น้ำหนัก(กิโลกรัม)	ปริมาตร(ลูกบาศก์เมตร)
1 (เล็ก)	2,440	9.1
2 (กลาง)	5,680	23.92
3 (ใหญ่)	6,340	33.64

3.3.4 ข้อมูลระยะทาง

3.3.1.1 การสำรวจและวิธีการเก็บข้อมูล

การทบทวนผลงานที่ผ่านมาและวิธีการเก็บข้อมูลพบว่าการเก็บข้อมูลด้วยการแปลงระยะทางเส้นตรงเป็นระยะทางจริงโดยประมาณด้วยค่าปรับแก้ระยะทางดังสมการที่ (3-2) เป็นวิธีที่สามารถใช้ได้สำหรับพื้นที่ที่ขาดความสมบูรณ์ของข้อมูลโครงข่าย โดยขั้นตอนของการหาค่าปรับแก้ระยะทางสามารถดำเนินการ ดังนี้

1. กำหนดขอบเขตพื้นที่การศึกษาซึ่งครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ที่รถขนส่งสินค้าให้บริการเท่านั้น

2. หาพิกัดของแต่ละเขตการส่งที่ทำการศึกษาด้วยการกำหนดให้เลือกพิกัดที่อยู่ตำแหน่งที่ใกล้ถนนมากที่สุดหรืออยู่ตำแหน่งใจกลางแหล่งความเจริญของแต่ละเขตเพื่อเป็นตัวแทนของเขตการส่ง ด้วยการใช้แผนที่อิเล็กทรอนิกส์โดยผ่านโปรแกรม ArcViewGIS และตรวจสอบพิกัดที่ไม่ชัดเจนด้วยแผนที่ในมาตราส่วน 1 ต่อ 50,000

3. นำข้อมูลพิกัดมาคำนวณหาระยะทางที่เป็นเส้นตรงไปยังเขตการส่งต่างๆ หลังจากนั้นจึงเปรียบเทียบกับระยะทางจริงซึ่งได้จากข้อมูลจากกรมโยธาธิการและกรมทางหลวง

4. คำนวณหาค่าปรับแก้ระยะทางดังสมการที่ (3-2) ด้วยการหาค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าของ AD และ SD ที่มีค่าต่ำสุดในสมการที่ (3-5) และ (3-6) ตามลำดับ โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ค่า p มีค่าเท่ากับ 2 เพื่อเปลี่ยนปัญหาเป็นการปรับแก้ระยะทางที่เป็นเส้นตรงมาเป็นระยะทางจริงโดยประมาณ ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีลองผิดถูก (Trial & Error) ในการสุ่มค่า k ที่เหมาะสม

$$AD = \sum_{x=1}^{n-1} \sum_{y=x+1}^{n} \left| d(x,y) - A(x,y) \right| \tag{3-5}$$

$$SD = \sum_{x=1}^{n-1} \sum_{y=x+1}^{n} \left\{ \frac{d(x,y) - A(x,y)}{\sqrt{A(x,y)}} \right\}^2 \tag{3-6}$$

โดยที่

AD แทน ผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างระยะทางโดยประมาณกับระยะทางจริง

SD แทน ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนของผลต่างระหว่างระยะทางโดยประมาณกับระยะทางจริง

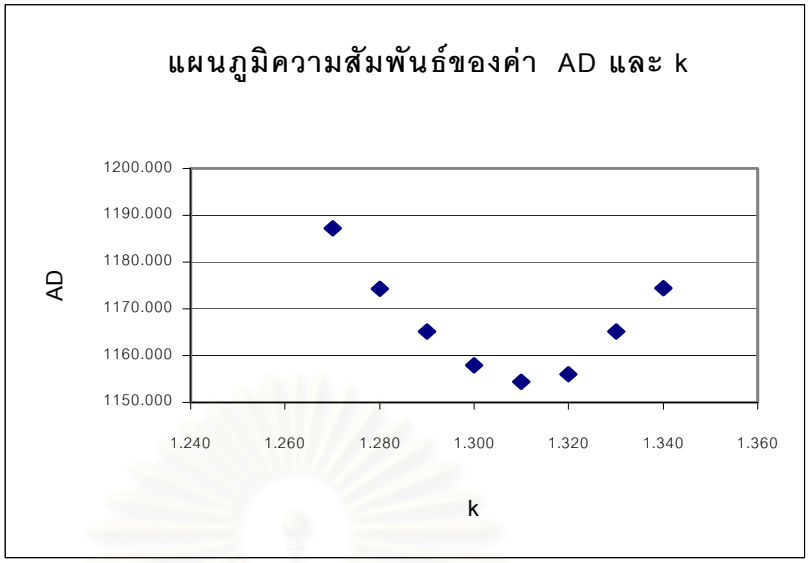
$d(x,y)$ แทน ระยะทางโดยประมาณจากจุดส่ง x ไปยังจุดส่ง y

$A(x,y)$ แทน ระยะทางจริงจากจุดส่ง x ไปยังจุดส่ง y

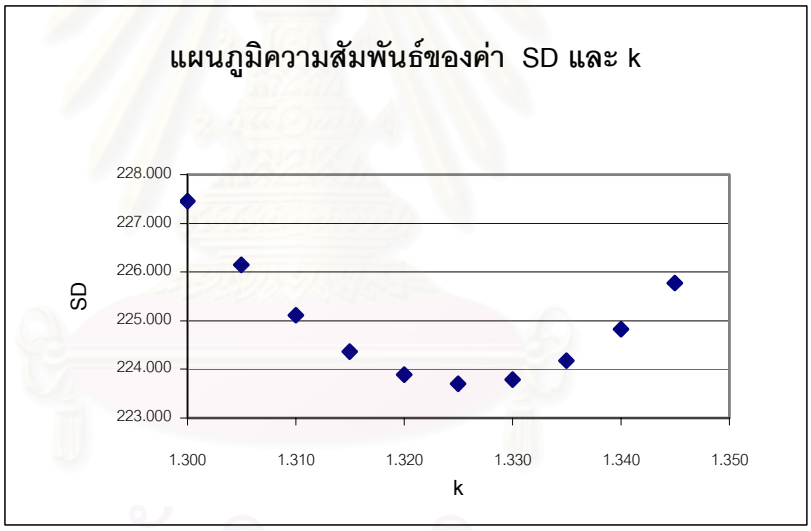
ตัวอย่างโครงข่ายของถนนที่นำมาใช้ในการศึกษาแสดงในภาคผนวก ข และผลลัพธ์จากการศึกษาปรากฏดังรูปที่ 3.6 และ 3.7

3.3.1.2 ผลการเลือกค่าปรับแก้ระยะทาง

จากแผนภูมิจะเห็นได้ว่าค่าปรับแก้ระยะทาง (k) ที่ทำให้ค่าของ AD ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.31 และค่าที่ทำให้ SD ต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 1.325 ดังนั้นเพื่อให้ง่ายในการคำนวณจึงได้กำหนดค่า k เท่ากับ 1.3 และเมื่อนำมาทดสอบกับสภาพจริงด้วยการให้พนักงานขับรถและบันทึกระยะทางเดินทางพร้อมบันทึกจุดจอดในแต่ละเขต และนำมาเปรียบเทียบกับค่าโดยประมาณ ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และรูปที่ 3.8 พบว่า ค่าปรับแก้ระยะทางที่ได้สามารถนำไปใช้ในการประมาณระยะทางโดยประมาณได้ (ในช่วงความคลาดเคลื่อนร้อยละ 10) แต่อย่างไรก็ตามได้พบความผิดพลาดในการประมาณระยะทางในการเดินทางไปจังหวัดแพร่ (ข้อมูลที่ 7) ค่อนข้างสูง เพราะเส้นทางจริงค่อนข้างคดเคี้ยว



รูปที่ 3.6 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่าง AD และ k



รูปที่ 3.7 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่าง SD และ k

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การเลือกเทคนิคการจัดเส้นทางเบื้องต้น

จากการทบทวนทฤษฎีและผลงานในอดีตได้ข้อสรุปว่า วิธีการที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก แต่ต้องมีกลไกที่เปิดโอกาสให้พนักงานมีส่วนร่วมใน

การตัดสินใจจัดเส้นทางตามแนวคิดแบบ DSS ซึ่งวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาแบบจำลองควรจะสามารถ

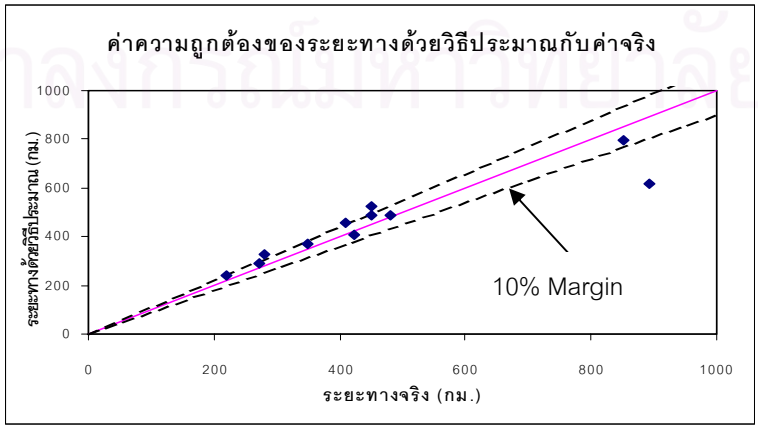
- รองรับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากในอนาคต
- สามารถเข้าใจได้ง่ายและไม่ซับซ้อน
- พนักงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางสามารถใช้งานและแก้ปัญหาได้เอง

ตารางที่ 3.6 ระยะทางโดยวิธีประมาณและค่าจริง

ข้อมูลที่	คำอธิบายลักษณะเส้นทาง	ระยะทางจริง (กม.)	ระยะทางโดยประมาณ (กม.)
1	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.ตากและกลับศูนย์ฯ	450	486
2	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.ตากและกลับศูนย์ฯ	450	526
3	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.อุตรดิตถ์ และ อ.พรหมพิรามของ จ.พิษณุโลกและกลับศูนย์ฯ	272	291
4	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.แพร่และน่านและกลับศูนย์ฯ	851	796
5	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.กำแพงเพชรและกลับศูนย์ฯ	349	370
6	จากศูนย์ฯ ไปยังแม่สอดและอ.เมืองของ จ.ตากและกลับศูนย์ฯ	480	485
7	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.แพร่และน่านและกลับศูนย์ฯ	893	616
8	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.กำแพงเพชรและกลับศูนย์ฯ	281	328
9	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.แพร่และกลับศูนย์ฯ	410	457
10	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.กำแพงเพชรและกลับศูนย์ฯ	220	242
11	จากศูนย์ฯ ไปยัง จ.อุตรดิตถ์ แพร่และกลับศูนย์ฯ	423	409

หมายเหตุ ระยะทางจริง ได้จากข้อมูลในสนาม

ระยะทางโดยประมาณโดยใช้ค่า k=1.3



รูปที่ 3.8 ระยะทางจากวิธีประมาณและระยะทางจริง

แต่เนื่องจากการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวมีหลายแนวทาง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางจากผลงานที่ผ่านมาในอดีต ซึ่ง Larpote Gendreau Potvin และ Semet (2000) ได้เปรียบเทียบการวิเคราะห์แบบฮิวริสติกด้วยวิธีต่างๆ เช่น การหาค่าการประหยัด(Saving Method) เทคนิคการกวาด (Sweep Algorithm) ฯลฯ ด้วยชุดคำถามจำนวน 14 ชุด ซึ่งพบว่าวิธีการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัดเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีและนิยมใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 3.7 โดยงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการหาค่าประหยัดในการกำหนดเส้นทางเบื้องต้นเท่านั้นและจะพัฒนาเทคนิคอื่นเสริม เพื่อเปิดโอกาสให้พนักงานสามารถปรับปรุงเส้นทางให้ดีขึ้น

ตารางที่ 3.7 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแบบจำลองต่างๆ

จำนวนจุดส่ง	ลักษณะปัญหา[1]	Clarke and Wright[2]	Wark and Holt[3]	Sweep[4]	Fisher and Jaikumar[5]
50	C	578.56	524.6	531.90	524
75	C	888.04	835.8	884.20	857
100	C	878.70	830.7	846.34	833
150	C	1128.24	1038.5	1075.38	1014
199	C	1386.84	1321.3	1396.05	1420
50	C,D	616.66	555.4	560.08	560
75	C,D	974.79	911.8	965.51	916
100	C,D	968.73	878.0	883.56	885
150	C,D	1284.63	1176.5	1220.71	1230
199	C,D	1521.94	1418.3	1526.64	1518
120	C	1048.53	1043.4	1265.65	-
100	C	824.42	819.6	919.51	824
120	C,D	1587.93	1548.3	1785.30	-
100	C,D	868.50	866.4	911.81	876

1 C=Capacity restriction,D=Distance restriction

2 Parallel saving+3-opt Larporte and Semet(2000)

3 Wark and Holt(1994)

4 Gillett and Miller(1974)

5 Fisher and Jaikumar(1981)

ที่มา : Larpote Gendreau Potvin และ Semet (2000)

บทที่ 4
แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ

การพัฒนาแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถที่สอดคล้องกับปัญหาที่ผ่านมายังไม่สามารถใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจาก แบบจำลองในอดีตที่พัฒนาขึ้น

- ไม่สอดคล้องกับลักษณะของปัญหาในทางปฏิบัติ เช่น การไม่พิจารณาข้อจำกัดของขนาดรถ หรือ ไม่เปิดโอกาสให้แก้ไขหรือเปลี่ยนลำดับการส่งสินค้า เป็นต้น
- มีความซับซ้อนเกินไปและสร้างความสับสนกับผู้ใช้

การออกแบบแบบจำลองในการจัดเส้นทางเดินรถให้สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญ โดยการศึกษานี้จะนำเทคนิคการหาค่าประหยัดได้ (Saving) มาจัดสร้างเส้นทางเบื้องต้นก่อน แล้วทำการปรับปรุงเส้นทางด้วยเทคนิคอื่นๆ เพื่อให้เส้นทางเดินรถที่ได้มีความเหมาะสมและสามารถใช้งานได้จริง ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จึงแบ่งการพัฒนาแบบจำลองเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

1. การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยเทคนิคการหาค่าการประหยัด
2. การปรับปรุงเส้นทางเดินรถ
3. การปรับลำดับการส่งสินค้าโดยพนักงาน

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวเฉพาะแนวความคิดของแบบจำลองและลำดับขั้นตอนในการทำงานเท่านั้น สำหรับรายละเอียดของการออกแบบระบบจะได้กล่าวอย่างละเอียดต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยเทคนิคการหาค่าประหยัด

แบบจำลองในการจัดเส้นทางเดินรถด้วยการหาค่าประหยัด จะมีหลักการพื้นฐานดังนี้คือ

1. คำนวณหาระยะทางที่สามารถประหยัดได้จากการเลือกเส้นทางในการเดินทางจากจุดตั้งต้น i ใดๆ ไปยังจุดปลาย j ใดๆ

2.เรียงค่าการประหยัดจากมากไปน้อย โดยค่าประหยัดที่มีค่ามากจะมีโอกาสถูกนำเข้ามาอยู่ในเส้นทาง

3.สร้างเส้นทางโดยพิจารณาคู่ลำดับของค่าประหยัดให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางจนกระทั่งจัดเส้นทางได้ครบและสอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆ

ในปัจจุบันเทคนิคการหาค่าการประหยัดมีวิธีการเลือกเส้นทางให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางอยู่ 3 ประเภท (Breedam,1994) คือ

1. Sequential Saving Heuristic (SS) เป็นวิธีหาเส้นทางเดินรถทีละเส้นทางโดยการเพิ่มจุดส่งที่ไม่ได้อยู่ในเส้นทางให้เข้ามาอยู่ที่ปลายของเส้นทางด้วยค่าการประหยัดโดยเรียงลำดับจากค่ามากไปน้อย ทั้งนี้เส้นทางที่ได้ต้องคำนึงถึงข้อกำหนดต่างๆ วิธีการนี้มีข้อดีเนื่องจากเส้นทางที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละเส้นทางจะมีการใช้รถอย่างคุ้มค่า เพราะรถจะมีการเพิ่มขึ้นใหม่ก็ต่อเมื่อสินค้าจะเกือบเต็มคันรถเท่านั้น แต่วิธีการดังกล่าวอาจมีข้อด้อยเนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางอาจไม่ได้คำตอบที่มีค่าน้อยที่สุด แต่วิธีการนี้ถูกนำมาใช้ในหลายผลงาน เช่น Clarke และ Wright (1964) Gaskell(1967) Yellow(1970) และ Paessens(1988) เป็นต้น

2. Parallel Saving Heuristic (PS) เป็นวิธีการสร้างเส้นทางโดยเริ่มจากการนำจุดส่งสองจุดที่ไม่อยู่ในเส้นทางแต่ทำให้มีค่าการประหยัดสูงสุดเข้ามาอยู่ในเส้นทางก่อน หลังจากนั้นจึงพิจารณาหาจุดส่งสองจุดถัดไปที่มีค่าการประหยัดรองลงมาเข้ามาอยู่ในเส้นทาง โดยถ้าจุดส่งทั้งสองไม่เคยถูกจัดอยู่ในเส้นทางมาก่อนก็ให้สร้างเป็นเส้นทางใหม่ แต่ถ้าหากมีจุดส่งใดที่อยู่ในเส้นทางแล้วให้นำเส้นทางดังกล่าวมารวมกันโดยเส้นทางจะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัด วิธีดังกล่าวมีข้อดีคือ เส้นทางที่ได้จะมีความยุติธรรมเพราะมีการกระจายร้านค้าดีและไม่กระจุกตัวกันแน่นจนทำให้เส้นทางบางเส้นทางมีจุดส่งแน่นหรือน้อยเกินไป วิธีการดังกล่าวถูกนำมาใช้ในหลายผลงาน เช่น Knowles(1967) Tillman และ Cochran(1968) Holmes และ Parker(1976) McDonald(1972) และ Buxey(1979)

3. Generalized Saving Heuristic (GS) เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากวิธี PS โดยพิจารณาว่านอกจากจะนำจุดส่งสองจุดที่ไม่อยู่ในเส้นทางรวมเป็นเส้นทางเดียวกันได้แล้ว ยังมอง

ว่า เส้นทางที่ได้จากวิธี PS อาจสามารถนำมารวมกันเพื่อสร้างเป็นเส้นทางใหม่ได้ถ้าระยะทางในการขนส่งลดลงจากเดิม ดังนั้นวิธีการนี้จะต้องตรวจสอบการประหยัดที่เกิดขึ้นทุกครั้งจึงทำให้วิธีการนี้ใช้ระยะเวลาวิเคราะห์มากขึ้น วิธีการนี้ถูกนำมาใช้โดย Altinkemer และ Gavish(1991) และ Desrochers และ Verhoog(1989)

จากการเปรียบเทียบวิธีการในการออกแบบแบบจำลองและความสามารถของแต่ละแบบ พบว่าวิธีที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้คือ วิธี SS เพราะว่าวิธี SS สามารถช่วยให้ผู้ประกอบการระบุจำนวนรถที่สามารถให้บริการได้ง่ายกว่า รวมทั้งวิธีการดังกล่าวยังสามารถพัฒนาแบบจำลองได้ง่าย ขณะที่วิธี PS ไม่สามารถควบคุมจำนวนรถที่จะใช้ในการจัดเส้นทางที่แน่นอนได้ จึงทำให้ผู้ประกอบการไม่สามารถบริหารจำนวนรถได้อย่างเต็มที่ แม้ว่าวิธีการ SS อาจก่อให้เกิดความไม่ยุติธรรมในการจัดเส้นทางให้รถแต่ละคันก็ตาม

4.1.1 การกำหนดการทำงานของแบบจำลอง

การทำงานของแบบจำลองสามารถกำหนดขึ้นได้หลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสำคัญ ระดับของปัญหาและประเภทของข้อมูลที่จะนำเข้า รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์และข้อกำหนดต่างๆ รายละเอียดการทำงานของแบบจำลองจะประกอบด้วย

1.การสร้างเมตริกซ์ระยะทาง
2.การเลือกจุดส่งชุดแรก
3. การลำดับการส่งภายในเส้นทาง
4. การกำหนดข้อจำกัดเขตการส่ง
5.การเลือกใช้รถ
6. การตั้งค่าพารามิเตอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>การสร้างเมตริกซ์ระยะทาง</u>

เมตริกซ์ระยะทางเป็นข้อมูลนำเข้าที่สำคัญสำหรับการจัดเส้นทางเดินรถและมีผลต่อความถูกต้องของคำตอบ โดยจากการทบทวนผลงานที่ผ่านมาพบว่าเมตริกซ์ระยะทางมี 2 รูปแบบ คือ เมตริกซ์แบบครึ่งชุด (Half-Matrix) และเมตริกซ์แบบเต็มชุด (Full Matrix) ซึ่งเมตริกซ์แบบครึ่งชุดเป็นเมตริกซ์ที่กำหนดให้ระยะทางจากจุดตั้งต้น i ใดๆ ไปยังจุดปลาย j ใดๆ มีค่าเท่ากับระยะทางในทิศทางกลับกันคือ จากจุดตั้งต้น j ใดๆ ไปยังจุดปลาย i ใดๆ โดยเมตริกซ์แบบครึ่งชุดนี้จะช่วยลดขั้นตอนการคำนวณเส้นทางและการจัดเส้นทางลง

ครึ่งหนึ่ง แต่การศึกษานี้ได้กำหนดให้เมตริกซ์ที่จะใช้วิเคราะห์เป็นเมตริกซ์แบบเต็มชุด (Full Matrix) เพราะ ต้องการให้แบบจำลองสามารถถูกนำไปใช้ในกรณีทั่วไปได้กว้างกว่า แม้ว่าจะทำให้การสร้างเมตริกซ์และการวิเคราะห์ช้าลง

การเลือกจุดส่งชุดแรก

ในการเลือกจุดส่งชุดแรกให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง สามารถยึดหลักเกณฑ์ใดหลักเกณฑ์หนึ่งดังนี้ (Breedam,1994)

- เลือกจุดส่งเพียงจุดเดียวที่อยู่ไกลจากศูนย์ฯ มากสุด
- เลือกจุดส่งเพียงจุดเดียวที่อยู่ใกล้ศูนย์ฯ มากสุด
- เลือกจุดส่งสองจุดที่มีค่าการประหยัดมากสุด

จากการเปรียบเทียบความเหมาะสมทั้ง 3 แบบจะพบว่า การเลือกคู่จุดส่งที่ให้ค่าการประหยัดสูงสุดจะเป็นวิธีที่ดีสุด เนื่องจากได้ผสมผสานทั้งแนวคิดทั้งสองข้อแรกเข้าด้วยกัน กล่าวคือ ค่าการประหยัดที่มีค่ามากมักอาจเกิดขึ้นจากจุดที่อยู่ไกลจากศูนย์ฯ ก็ได้ หรือระยะทางที่ใกล้ศูนย์ฯ ก็อาจทำให้เกิดการประหยัดที่มีค่ามากได้หากคู่ลำดับทั้งสองอยู่ใกล้กัน

การลำดับการส่งภายในเส้นทาง

การหาลำดับการส่งสินค้าในเส้นทางด้วยเทคนิคค่าการประหยัดเริ่มต้นด้วยการหาจุดส่งสองจุดที่ทำให้เกิดค่าการประหยัดสูงสุด ซึ่งสมมติให้เป็น A และ B หลังจากนั้นจึงหาจุดส่งในลำดับถัดไปให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง ซึ่งสมมติให้เป็น C โดย Ballou (1999) ได้เสนอแนะวิธีในการหาจุดส่ง C ที่เหมาะสมที่สุดที่ควรจะจัดเข้ามาอยู่ในเส้นทางด้วยการพิจารณาเปรียบเทียบหาค่าการประหยัดที่มากที่สุดจากสามกรณี ดังนี้

1. หาค่าการประหยัดจากการหาร้านค้า C_1 เข้ามาอยู่ในเส้นทางที่ปลาย A ที่มีค่ามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.1 นั่นคือ

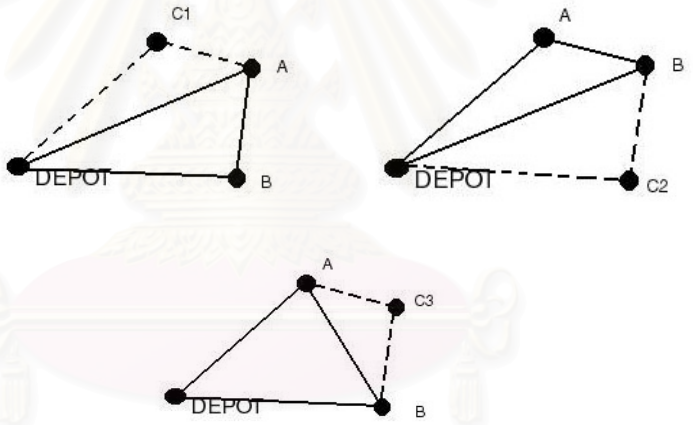
$$\begin{aligned} S &= \left[d_{1C_1} + d_{C_1 1} + d_{1A} + d_{AB} + d_{B1}\right] - \left[d_{1C_1} + d_{C_1 A} + d_{AB} + d_{B1}\right] \\ S &= d_{C_1 1} - d_{C_1 A} + d_{1A} \end{aligned} \quad (4\text{-}1)$$

2.หาค่าการประหยัดได้จากการหาร้านค้า C_2 เข้ามาอยู่ในเส้นทางที่ปลาย B ที่มีค่ามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.1 นั่นคือ

$$S = \left[d_{1C_2} + d_{C_2 1} + d_{1A} + d_{AB} + d_{B1}\right] - \left[d_{1A} + d_{AB} + d_{BC_2} + d_{C_2 1}\right]$$
$$S = d_{1C_2} - d_{BC_2} + d_{B1} \quad (4\text{-}2)$$

3. หาค่าการประหยัดได้จากการหาร้านค้า C_3 เข้ามาอยู่ระหว่างปลาย A กับปลาย B ที่มีค่ามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.1 นั่นคือ

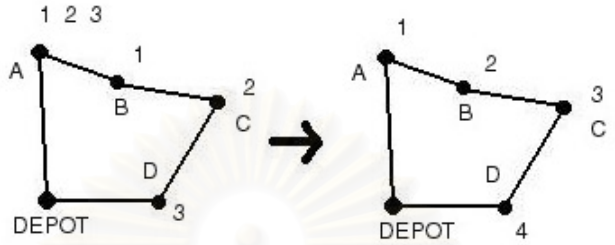
$$S = \left[d_{1C_3} + d_{C_3 1} + d_{1A} + d_{AB} + d_{B1}\right] - \left[d_{1A} + d_{AC_3} + d_{C_3 B} + d_{B1}\right]$$
$$S = d_{1C_3} + d_{C_3 1} + d_{AB} - d_{AC_3} - d_{C_3 B} \quad (4\text{-}3)$$



รูปที่ 4.1 รูปแบบการหาจุดส่งที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าการประหยัด

จากการศึกษาผลงานที่ผ่านมาพบว่า การศึกษาส่วนใหญ่จะพิจารณาจัดเส้นทางด้วยปลายข้างใดข้างหนึ่งเท่านั้น โดยมักจะให้จุดส่งเข้ามาอยู่ที่ปลายที่อยู่ห่างจากศูนย์ฯ น้อยที่สุด และให้ปลายที่อยู่ห่างจากศูนย์มากที่สุดเป็นลำดับการส่งแรก เนื่องจาก รถสามารถทำความเร็วในช่วงระยะทางไกลได้ดีกว่าในช่วงสั้น นอกจากนี้แล้วพบว่าเหตุที่เลือกเพียงปลายเดียว เนื่องจาก สามารถพัฒนาระบบได้ง่ายโดยเฉพาะในการจัดลำดับให้เริ่มต้นจาก 1,2,... ไปจนกระทั่งเส้นทางถึงข้อจำกัดการจัดเส้นทาง แต่สำหรับการศึกษานี้จะพิจารณาให้ทดสอบกับปลายทั้งสองข้าง ซึ่งวิธีนี้จะให้คำตอบที่ดีกว่า แต่จำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองให้ซับซ้อนขึ้นด้วย การให้แบบจำลองจัดลำดับเป็น 1,2,...ออกไปทั้งสองข้าง โดยปลายทั้งสองจะต้องเพิ่มขึ้นเท่าๆกัน

หากปลายข้างใดไม่มีจุดส่งเข้ามาอยู่ในเส้นทางให้นำเลขที่ของจุดส่งเดิมมาใส่ไว้แทน และกระทำไปเรื่อยๆจนกระทั่งเส้นทางถึงข้อจำกัดที่กำหนด หลังจากนั้นจึงสร้างตัวแปรเพื่ออ่านและจัดลำดับให้ถูกต้องอีกครั้งดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนข้อมูลการส่งจาก 2 ปลายเป็นลำดับการส่ง ในแต่ละเส้นทาง

จากรูปจะเห็นได้ว่า ลำดับร้านค้าที่ 1 2 3 ในด้านซ้ายมือคือ A ขณะที่ด้านขวามือจะมีลำดับการส่งคือ B,C,D เนื่องจากพบว่าค่าการประหยัดของในด้านปลายขวามีค่าดีกว่าด้านซ้าย

สำหรับงานวิจัยนี้จะไม่พิจารณาหาค่าการประหยัดในกรณีที่ 3 เนื่องจากจำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองให้ซับซ้อนขึ้นเพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงลำดับการส่งสินค้าได้ใหม่ทุกครั้งที่มีการเพิ่มจุดส่งใหม่เข้าไปทั้งนี้เพราะ ค่าการประหยัดในกรณีที่ 3 จะมีรูปแบบของสมการที่แตกต่างจากสองกรณีแรก ซึ่งจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำและสร้างฐานข้อมูลมากขึ้นจนยากต่อการพัฒนา

<u>การกำหนดข้อจำกัดเขตการส่ง</u>

ในสภาพความเป็นจริงเขตการส่งในแต่ละแห่งมีสภาพแตกต่างกัน เขตการส่งบางแห่งมีพื้นที่คับแคบ ในขณะที่บางแห่งเป็นพื้นที่ที่มีถนนขนาดใหญ่พาดผ่าน ด้วยเหตุนี้ผู้ประกอบการจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเขตการส่งในแต่ละแห่ง เพื่อสามารถเลือกใช้รถอย่างคุ้มค่าที่สุด เช่น

- <u>รถขนาดใหญ่</u> นิยมใช้ขนส่งสินค้าคราวละมากๆ ซึ่งมักเป็นร้านค้าขนาดใหญ่ เช่น ห้างสรรพสินค้า โดยมีจำนวนจุดส่งไม่มากนัก
- <u>รถขนาดเล็ก</u> นิยมใช้ขนส่งสินค้าจำนวนไม่มากหรือใช้ในการกระจายสินค้า ซึ่งจุดส่งที่ส่งจะเป็นร้านค้าขนาดเล็กและมีการเข้าออกพื้นที่ค่อนข้างยาก

แบบจำลองที่ผ่านมาส่วนใหญ่ไม่ได้พิจารณาข้อจำกัดที่เกิดขึ้นกับเขตการส่ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไม่ประสบปัญหาดังกล่าว หรือในบางครั้งผู้ประกอบการก็ไม่ได้ให้ความสำคัญกับเรื่องนี้ แต่ในสภาพปัจจุบันสถานการณ์ที่มีการแปรเปลี่ยนไป เช่น ต้นทุนขนส่งที่สูงขึ้น ปัญหาจราจรรวมทั้งกฎข้อบังคับในการนำรถเข้าพื้นที่มีมากขึ้น ส่งผลให้แบบจำลองแบบเดิมไม่สามารถใช้งานได้ดีนัก แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะให้ระยะทางที่มีค่าต่ำกว่า แต่ก็ไม่สามารถนำผลการจัดเส้นทางไปใช้งานได้จริง การศึกษานี้จึงได้กำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับเขตการส่งลงไปในแบบจำลอง โดยใช้วิธีการที่เสนอโดย Nag Golden และ Assad (1988) ดังรูปที่ 4.3

จุดส่งที่	ปริมาณสินค้า	รถเล็ก	รถกลาง	รถใหญ่
1	30	1	1	1
2	10	1	0	0
3	20	0	1	1
4	40	0	0	1
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
ความจุรถ		30	40	50
จำนวนรถที่มีอยู่		4	3	1

รูปที่ 4.3 การอนุญาตใช้รถสำหรับจุดส่งต่างๆ

ที่มา : Nag Golden และ Assad (1988)

จากรูปจะเห็นได้ว่าจุดส่งต่างๆสามารถอนุญาตให้ใช้รถขนส่งได้หลายประเภทเนื่องจากเงื่อนไขของการขนส่งขึ้นอยู่กับ สถานที่ ปริมาณการส่ง โดยกำหนดให้ “1” แทนการอนุญาตให้รถประเภทนั้นๆ ส่งสินค้าในพื้นที่ได้และ “0” แทนไม่อนุญาตให้รถประเภทนั้นส่งสินค้าในพื้นที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แนวคิดการเลือกใช้รถ

โดยทั่วไปเทคนิคในการจัดเส้นทางเดินรถมักกำหนดให้แบบจำลองสามารถนำรถเข้ามาใช้ในการจัดเส้นทางได้โดยไม่จำกัดจำนวนรถ โดยถ้ารถคันเดิมมีปริมาณบรรทุกถึงขอบเขตหรือข้อจำกัดในการจัดเส้นทางก็จะให้เปลี่ยนรถคันใหม่ทันที วิธีดังกล่าวดังกล่าวมีข้อเสียเนื่องจากในบางครั้งจำนวนรถที่ใช้อาจมีมากกว่าจำนวนรถที่มีอยู่จริง ดังนั้นการศึกษานี้จึงกำหนดให้ใช้จำนวนรถได้ไม่เกินจำนวนที่มีอยู่จริง นอกจากนี้แล้วยังให้ผู้ใช้ระบบ

สามารถเลือกที่จะใช้รถประเภทใดก่อนก็ได้ เพื่อให้แบบจำลองมีความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์ เช่น ในกรณีจัดเส้นทางเดินรถด้วยการใช้รถขนาดใหญ่ เพื่อให้ใช้จำนวนรถน้อยๆและประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง หรือกรณีจัดเส้นทางเดินรถด้วยการใช้รถเล็กก่อนเพื่อให้รถขนาดใหญ่ไม่รับภาระในการส่งสินค้ามากเกินไปหรือเพื่อให้รถเกิดการใช้ประโยชน์มากสุด (Utilization) เป็นต้น

<u>แนวคิดการตั้งค่าพารามิเตอร์</u>

การจัดเส้นทางเดินรถด้วยการใช้เทคนิคการประหยัดมักพบว่า เมื่อจัดเส้นทางเดินรถมาถึงจุดหนึ่งซึ่งจุดส่งที่เหลืออยู่ยังไม่ได้ถูกจัดเข้ามาในเส้นทางมีปริมาณสินค้าที่เมื่อลองนำจัดเข้าสู่เส้นทางแล้วทำให้รถเกินความจุและส่งผลให้การจัดเส้นทางเดินรถดังกล่าวหยุดลง ในขณะที่สินค้าในรถมีปริมาณน้อยกว่าความจุของรถ และหากประสบปัญหาเช่นนี้บ่อยครั้ง อาจทำให้รถแต่ละคันมีที่ว่างเหลือและรถมีการใช้ประโยชน์ต่ำเกินไป ซึ่งในความเป็นจริงปริมาณสินค้าที่ทำให้เกินความจุของรถอาจมีไม่มากนักและยังสามารถที่จะบรรทุกเข้ารถได้อีก โดย Nag Golden และ Assad (1988) ได้แนะนำให้ทดลองเพิ่มความจุของรถให้สูงขึ้นด้วยค่าปรับแก้เพื่อเปลี่ยนเป็นความจุที่เรียกว่า ความจุเทียม (Artificial Capacity) ดังสมการที่ 4-4 หลังจากนั้นจึงค่อยปรับระดับความจุให้ลดต่ำลงถึงความจุของรถที่ควรจะเป็นจริงด้วยการสลับหรือขยายเป็นรถขนาดใหญ่ได้ในภายหลัง (ถ้าต้องการ)

$$ARTIFICIAL_CAPACITY_j = x \cdot TARGET_LOAD_j \qquad (4\text{-}4)$$

โดยที่

$ARTIFICIAL_CAPACITY_j$ = ความจุเทียมของรถคันที่ j

$TARGET_LOAD_j$ = ความจุของรถคันที่ j

X = ค่าปรับแก้น้ำหนักที่ใช้ปรับความจุ

Nag และคณะ ได้เสนอให้ใช้ค่าปรับแก้น้ำหนัก (x) จะมีค่าประมาณ 1.1 หรือกล่าวได้ว่ารถดังกล่าวมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้เพิ่มอีกร้อยละ 10 แต่อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวสามารถปรับเปลี่ยนได้ในสถานการณ์ดังตัวอย่างเช่น

1. ในกรณีที่มีปริมาณสินค้ามากอาจเพิ่มความสามารถในการบรรทุกด้วยการเพิ่มค่าปรับแก้ให้มากขึ้น

2. ในกรณีที่ปริมาณสินค้ามีจำนวนน้อยจนอาจไม่เกิดความยุติธรรมในการจัดเส้นทางโดยเฉพาะรถในลำดับท้ายๆ ซึ่งอาจมีปริมาณสินค้าที่จะส่งน้อยกว่ารถในลำดับแรกๆ ซึ่งเป็นข้อด้อยของแบบจำลองประเภท SS ด้วยการลดค่าปรับแก้ให้ต่ำกว่า 1.0 เพื่อให้สามารถกระจายสินค้าที่จะส่งไปได้ทั่วถึง

4.1.2 ลำดับขั้นตอนการทำงาน

สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงกระบวนการทำงานของแบบจำลองดังนี้

4.1.2.1 ข้อมูล

ข้อมูลที่จำเป็นต่อการจัดเส้นทางเดินรถ ได้แก่

- ตำแหน่งของพื้นที่ส่งสินค้าและศูนย์กระจายสินค้า
- ปริมาณสินค้าที่จะต้องส่งในแต่ละพื้นที่
- ความจุของรถที่เลือกใช้แต่ละคัน

4.1.2.2 กระบวนการทำงาน

กระบวนการจัดเส้นทางโดยคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการหาค่าประหยัดได้ของทุกๆจุดส่งเพื่อสร้างเมตริกซ์การประหยัด
   - คอมพิวเตอร์จะเลือกจุดส่ง i และจุดส่ง j ที่ต้องการส่งสินค้าโดยเริ่มต้นจากจุดส่งแรกที่นำเข้าสู่ขั้นตอนการวิเคราะห์จนครบทุกจุดส่ง เพื่อคำนวณหาค่าการประหยัดของการผนวกจุดส่งเข้าสู่เส้นทางเดียวกันในสมการที่ (4-5)

$$s_{ij} = d_{1i} + d_{1j} - d_{ij} \qquad (4\text{-}5)$$

โดยที่

s_{ij} = ค่าการประหยัดของคู่จุดส่ง i ไปยัง j

d_{1i}, d_{1j} = ระยะทางในการเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่ง i และจุดส่ง j ตามลำดับ

d_{ij} =ระยะทางในการเดินทางจากจุดส่ง i ไปยังจุดส่ง j

- ตรวจสอบและปรับค่าการประหยัดดังนี้

1. ตั้งค่า $s_{ij} = 0$ ถ้าจุดส่ง i เป็นจุดส่งเดียวกับ j
2. ตั้งค่าเป็น $s_{ij} = 0$ ถ้าค่าการประหยัดที่คำนวณได้มีค่าน้อยกว่าศูนย์

2. ขั้นตอนการจัดจุดส่งชุดแรกลงในเส้นทาง

- ตรวจสอบหาจุดส่งที่ยังไม่ได้ถูกจัดอยู่ในเส้นทาง และมีค่าการประหยัดที่มากสุด เพื่อตรวจสอบปริมาณสินค้าของจุดส่งทั้งสองเทียบกับความจุของรถและข้อจำกัดเขตการส่ง หากคู่จุดส่งไม่ทำให้เส้นทางขัดแย้งกับข้อจำกัดของการส่ง ให้นำจุดส่งทั้งสองเข้ามาไว้ในเส้นทาง และทำตามขั้นตอนต่อไป แต่กรณีที่คู่จุดส่งทำให้ปริมาณสินค้ามากกว่า ความจุของรถ ให้ตรวจสอบปริมาณสินค้าของจุดส่งทั้งสองเทียบกับความจุของรถ หากปริมาณ สินค้าของจุดส่งน้อยกว่าความจุให้ผนวกจุดส่งดังกล่าวให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง และกำหนดให้จุดส่งที่ได้เป็นจุดส่งที่ได้รับการจัดลงในเส้นทาง แต่ถ้าไม่มีจุดส่งใดที่สามารถนำเข้ามาอยู่ในเส้นทางได้ให้ ปฏิเสธจุดส่งทั้งสอง
- กำหนดลำดับในการเดินทางของคู่ลำดับโดยพิจารณาจากระยะห่างในการเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่ง ซึ่ง Ballou(1999) ได้แนะนำให้ใช้จุดส่งที่มีระยะห่างจากศูนย์กระจายสินค้ามากสุดเป็นจุดส่งในลำดับแรกสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. การจัดจุดส่งในลำดับถัดไป

- หาค่าการประหยัดที่มีค่ามากสุด โดยจุดส่งที่จะนำมาหาค่าการประหยัดมากสุดจะต้องเป็นคู่จุดส่งที่มีจุดส่งจุดหนึ่งเป็นจุดที่เป็นปลายของเส้นทางที่ได้รับการจัดลงในเส้นทางแล้ว ขณะที่ปลายอีกข้างหนึ่งเป็นจุดส่งใหม่ที่ไม่ได้จัดลงในเส้นทาง โดยจุดส่งที่เหมาะสมได้จากสมการที่ (4-1) และ (4-2)
- ทำการตรวจสอบค่าการประหยัดจากทั้ง 2 กรณี โดยเปรียบเทียบคู่จุดส่งที่มากที่สุดของแต่ละปลาย เพื่อหาจุดส่งใหม่ที่ทำให้มีค่าการประหยัดมากสุด เพื่อเป็นจุดส่งที่จะถูกเลือกให้นำเข้าไปอยู่ในเส้นทาง
- ตรวจสอบว่าจุดส่งที่จะนำเข้ามีข้อขัดแย้งกับข้อจำกัดของความจุของรถ เขตการส่ง และจำนวนจุดส่งสูงสุดที่จะส่งได้หรือไม่ ถ้าจุดส่งที่เลือกไม่ก่อให้เกิดข้อขัดแย้งให้ผนวกจุดส่งเข้าไปในเส้นทาง และดำเนินงานตามขั้นตอนนี้ต่อไปจนกระทั่งถึงขีดจำกัดในการจัดส่ง จึงเปลี่ยนรถคันใหม่เข้ามาแทน

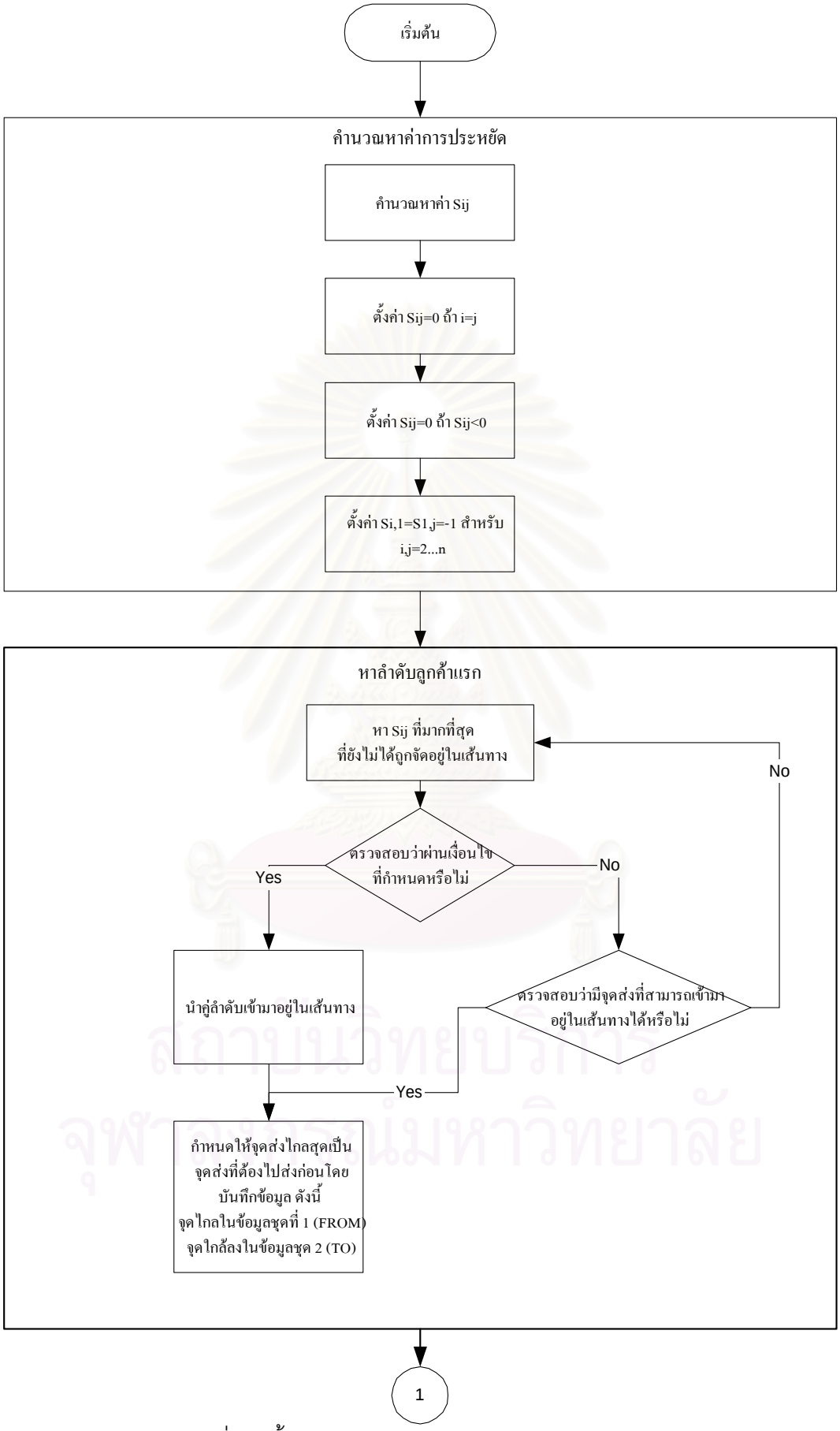
4.1.2.3 ผลลัพธ์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางประกอบด้วย

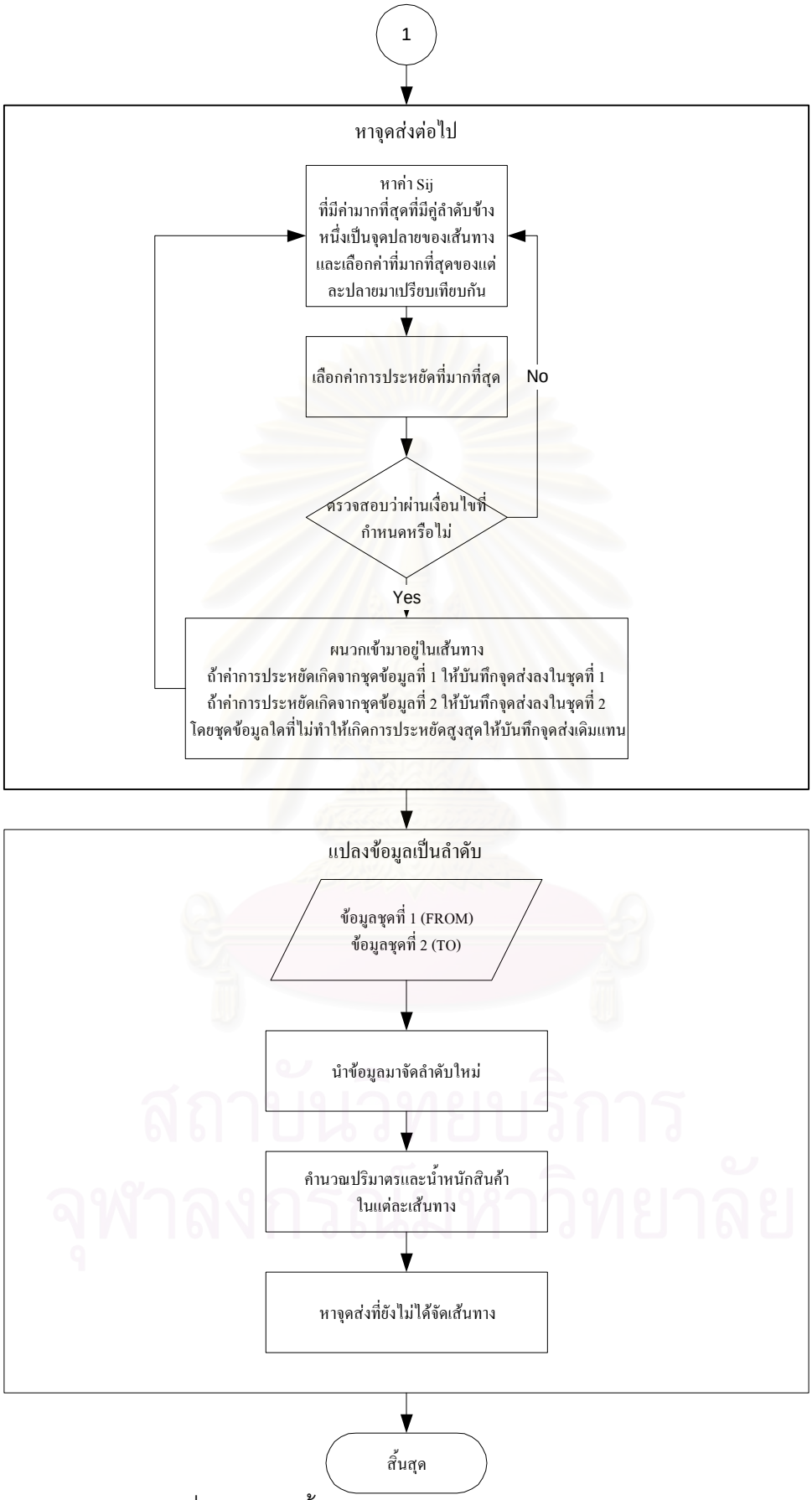
- ลำดับในการส่งสินค้าออกจากปลายของเส้นทางทั้งสองด้านซึ่งมีจำนวน 2 ชุด โดยผลลัพธ์ทั้งสองจะต้องถูกนำมาเชื่อมต่อกันเป็นลำดับการส่งสินค้าในแต่ละคัน
- ปริมาณสินค้าที่มีอยู่ในรถ ความจุและระยะทางในการขนส่งของรถในแต่ละคัน
- จุดส่งที่ไม่สามารถส่งสินค้าได้

ขั้นตอนในการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัด



รูปที่ 4.4 (ต่อ) ขั้นตอนการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัด

4.2 การปรับปรุงเส้นทาง

การปรับปรุงเส้นทางด้วยเทคนิคฮิวริสติกมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเส้นทางที่มีอยู่แล้วมาปรับปรุงด้วยการผ่านกระบวนการค้นหา (Search Mechanism) โดยอาจจำแนกประเภทของการปรับปรุงเส้นทางตามวิธีการเคลื่อนย้ายจุดส่งในเส้นทางได้ดังนี้

1. การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง (Within-routes)

2. การปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง (Between-routes)

4.2.1 การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง

4.2.1.1 พื้นฐานความคิดของวิธีการปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง

การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทางเป็นขั้นตอนหนึ่งของการสร้างเส้นทางเดินรถแบบผสมผสาน (Composite Procedure) ซึ่งการศึกษานี้เลือกใช้วิธีการปรับปรุงเส้นทางด้วยการเปลี่ยนเส้นทางการส่ง 2 เส้นทาง (2-opt) ด้วยการทดลองย้ายลำดับการส่งแล้วตรวจสอบผลลัพธ์จากการปรับปรุง ซึ่งเทคนิคที่ใช้สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีการแลกเปลี่ยนเส้นทางการส่ง 3 เส้นทาง (3-opt) แม้ว่าประสิทธิภาพของ 3-opt จะทำให้ได้เส้นทางด้วยเวลาที่สั้นกว่า แต่เหตุผลที่สำคัญที่เลือกวิธี 2-opt เพราะไม่จำเป็นต้องพัฒนาวิธีในการตรวจสอบระยะทางที่ซับซ้อน รวมทั้งสามารถกำหนดวิธีสลับจุดส่งได้ง่ายกว่า แนวคิดของการพัฒนาการปรับปรุงเส้นทางมีดังนี้

1. กำหนดให้ระบบโครงข่ายของเส้นทางให้เป็นเมตริกซ์ระยะทางแบบสมมาตร เนื่องจากทิศทางในการเดินทางมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมคือจาก s_{i+1} ไป $s_{i'}$ จะเปลี่ยนทิศทางมาเป็น $s_{i'}$ ไป s_{i+1} ดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งหากสมมติให้เมตริกซ์เป็นแบบสมมาตรแล้วจะลดความซับซ้อนของปัญหาได้มาก โดยไม่ต้องคำนวณระยะทางในช่วงนั้น

2. กำหนดให้ผู้ใช้ระบบเลือกเส้นทางที่ต้องการที่จะปรับปรุงและจำนวนรอบในการปรับปรุง โดยการปรับปรุงเส้นทางแต่ละรอบจะให้คอมพิวเตอร์ทดลองสลับลำดับการส่ง และค้นหาลำดับที่ดีสุดที่ทำให้ระยะทางในการขนส่งมีค่าน้อย

4.2.1.2 ขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทาง

รายละเอียดของขั้นตอนสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.6 ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้

1. ผู้ใช้ระบบเป็นผู้เลือกเส้นทางที่ต้องการปรับปรุง และกำหนดจำนวนรอบของการปรับปรุง

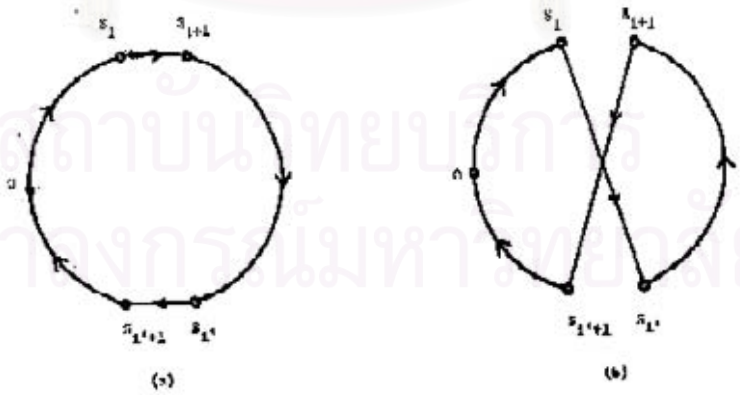
2. คอมพิวเตอร์จะเลือกจุดส่งที่ต้องการสลับ s_i และ $s_{i'}$ โดยเริ่มจากจุดส่งในลำดับแรกไปจนครบทุกจุดส่ง

3. คอมพิวเตอร์ทดลองสลับเส้นทางโดยเปลี่ยนเส้นทางจาก s_i ไปยังจุด s_{i+1} และเส้นทางจาก $s_{i'}$ ไป $s_{i'+1}$ เพื่อสร้างเส้นทางใหม่ คือ เส้นทาง s_i ไป $s_{i'}$ และเส้นทางจาก s_{i+1} ไป $s_{i'+1}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.5

4. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบระยะทางที่ได้จากการปรับปรุงเทียบกับระยะทางก่อนการปรับปรุง ดังสมการที่ 4-6 ถ้าการสลับลำดับการส่งไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขหรือข้อกำหนดในการเดินรถ และทำให้เกิดการประหยัดในการปรับปรุงเส้นทาง ให้บันทึกจุดส่ง s_i และ $s_{i'}$ และค่าการประหยัด หลังจากนั้นจึงกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งครบทุกๆ จุดส่ง

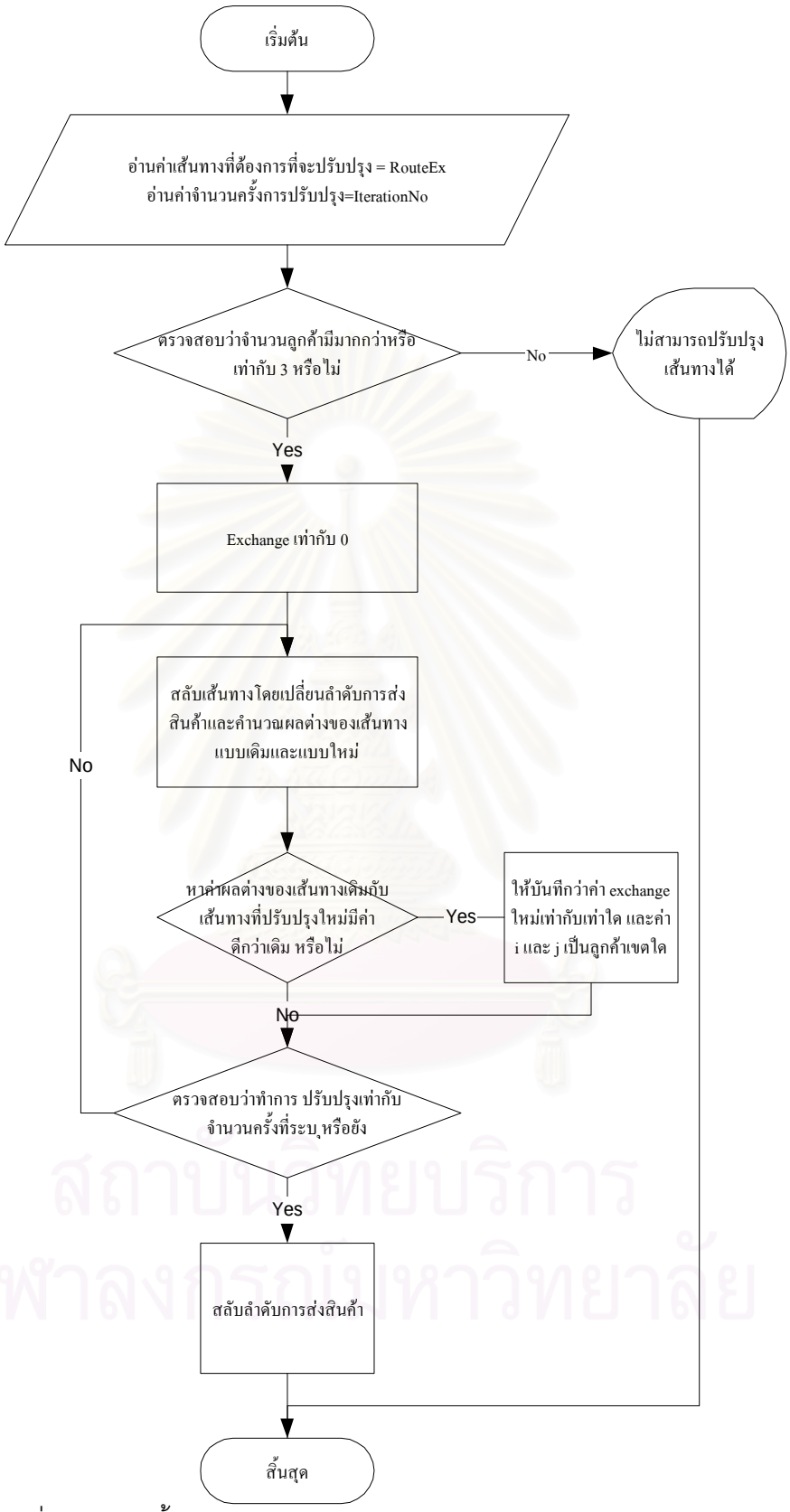
$$d(s_i, s_{i+1}) + d(s_{i'} + s_{i'+1}) > d(s_i, s_{i'}) + d(s_{i+1}, s_{i'+1}) \qquad (4\text{-}6)$$

5. ตรวจสอบหาจุดส่ง s_i และ $s_{i'}$ ที่ทำให้เกิดการประหยัดสูงสุดและสลับเส้นทางไปยังเส้นทางใหม่ หลังจากนั้นจึงเริ่มต้นปรับปรุงเส้นทางซ้ำในรอบใหม่ในขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งไม่สามารถปรับปรุงได้หรือครบตามจำนวนครั้งการปรับปรุงที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 4.5 การปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธี 2-opt

ที่มา : Psaraftis (1983)



รูปที่ 4.6 ลำดับขั้นตอนการทำงานของการปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 การปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง

4.2.2.1 พื้นฐานความคิดในการปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง

การปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธีการค้นหาลำดับและเส้นทางที่เหมาะสมสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

1. Local Optimization Heuristic หรือ Local Improvement (LI) ซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่ายที่นิยมใช้มากสุด ด้วยการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการย้ายจุดส่งไปยังตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละรอบ โดยมีขั้นตอนในการปรับปรุงเส้นทางดังนี้

- คอมพิวเตอร์เลือกเส้นทางที่จะปรับปรุงจำนวน 2 เส้นทางโดยเริ่มต้นจากเส้นทางแรกและเปลี่ยนเส้นทางไปจนครบทุกเส้นทาง
- คอมพิวเตอร์เริ่มทดลองแลกจุดส่งจากเส้นทางทั้งสองโดยเริ่มต้นจากลำดับการส่งแรกจนถึงลำดับการส่งสุดท้ายและคำนวณหาผลลัพธ์จากการแลกจุดส่ง หลังจากนั้นจึงหาจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดระยะทางในการขนส่งมากที่สุด
- คอมพิวเตอร์แลกจุดส่งไปยังจุดส่งใหม่และกลับไปทำขั้นตอนแรกอีกจนครบทุกเส้นทาง

วิธีการนี้มีข้อด้อย เนื่องจากลำดับของเส้นทางใหม่ที่ได้ขึ้นอยู่กับเส้นทางที่เริ่มต้น ดังนั้น ถ้าค่าที่ได้จากการปรับปรุงไม่ดีขึ้นการปรับปรุงก็จะสิ้นสุดทันที

2. Global Optimization Heuristic ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อด้อยของวิธีเดิมด้วยการยอมรับเส้นทางต่างๆ ชั่วคราวก่อน แล้วจึงนำเส้นทางมาปรับปรุงต่อเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีขึ้น แต่มีความซับซ้อนและใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์นานขึ้น ซึ่งวิธีดังกล่าวเรียกว่า Metaheuristics

รูปแบบการปรับปรุงเส้นทางทั้งสองประเภทจะใช้วิธีการเคลื่อนย้ายจุดส่งที่เหมือนกัน (Breedam,1994) ดังนี้

1. String Cross เป็นการปรับปรุงระหว่างเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางโดยการข้ามทับเส้นทาง (cross) ดังรูปที่ 4.7

2. String Exchange เป็นการปรับปรุงระหว่างเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทางที่ถูกเลือก ดังรูปที่ 4.8 ซึ่งอาจแลกจุดส่งครั้งละหลายจุดส่งก็ได้

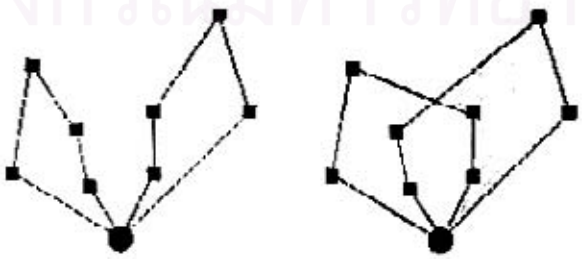
3. String Relocation เป็นการปรับปรุงเส้นทางด้วยการย้ายจุดส่งจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทาง มีผลทำให้เส้นทางบางเส้นทางมีจำนวนจุดส่งน้อยลงและอาจลดจำนวนเส้นทางลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.9 โดยวิธีนี้สามารถย้ายจุดส่งครั้งละหลายจุดส่งก็ได้

4. String Mix เป็นการปรับปรุงที่ผสมผสานวิธีการของ String Exchange และ String Relocation เข้าด้วยกัน เพื่อให้การปรับปรุงเส้นทางมีประสิทธิภาพมากที่สุด ด้วยการลดจุดส่งในเส้นทางพร้อมกับการแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทาง

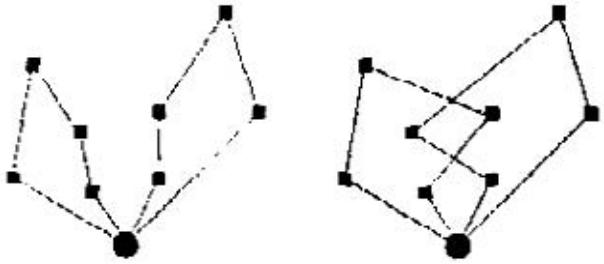
สำหรับงานวิจัยนี้เลือกวิธีการปรับปรุงเส้นทางในแบบง่ายๆ ด้วยการใช้ลำดับขั้นตอนในการหาคำตอบคล้ายกับวิธีการปรับปรุงเส้นทางแบบ LI แต่ปรับกลไกการคำนวณใหม่ เพื่อลดระดับความซับซ้อนของขั้นตอนการทำงานด้วยการระบุเส้นทางของทั้งสองเส้นทางที่ต้องการปรับปรุงแทนการให้คอมพิวเตอร์เลือกเส้นทางเอง ทั้งนี้เพราะ ต้องการให้พนักงานผู้ใช้ระบบสามารถควบคุมผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางได้เอง แต่รูปแบบที่พัฒนาขึ้นก็ยังไม่สามารถแก้ข้อบกพร่องของวิธี LI ได้ ซึ่งในที่นี้เลือกรูปแบบการปรับปรุง 2 แบบ คือ

1. String Exchange เป็นวิธีที่สามารถแก้ไขจุดอ่อนของเส้นทางที่เกิดจากวิธีการจัดเส้นทางเบื้องต้นที่แก้ปัญหาเฉพาะหน้า แต่ไม่ได้คำนึงผลในระยะยาว ดังอธิบายแล้วในบทที่ 2

2. String Relocation เป็นวิธีการที่ช่วยลดจำนวนจุดส่งและจำนวนเส้นทางได้ เนื่องจากแบบจำลองการจัดเส้นทางประเภท SS มักใช้จำนวนรถมากกว่าความเป็นจริง โดยการศึกษานี้จะกำหนดให้มีการย้ายจุดส่งได้ทีละจุดส่งเท่านั้น



รูปที่ 4.7 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Cross
ที่มา : Breedam (1994)



รูปที่ 4.8 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Exchange

ที่มา : Breedam (1994)

รูปที่ 4.9 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Relocation

ที่มา : Breedam (1994)

4.2.2.2 ขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทาง

การปรับปรุงเส้นทางในแต่ละวิธีสามารถดำเนินการได้ดังนี้

String Exchange

รูปที่ 4.10 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ผู้ใช้ระบบเลือกเส้นทางทั้งสองเส้นทางที่ต้องการทดลองปรับปรุงโดยแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างกัน โดยเส้นทางที่เป็นเส้นทางเริ่มต้นที่จะใช้สลับจุดส่งแทนด้วย Origin และเส้นทางที่สองที่จะใช้สลับจุดส่ง แทนด้วย Destination

2. คอมพิวเตอร์เริ่มต้นด้วยการย้ายจุดส่งจากเส้นทาง Origin ไปยังเส้นทาง Destination ขณะที่จุดส่งในเส้นทาง Destination ก็จะถูกย้ายมาอยู่ในเส้นทาง Origin เช่นกัน หลังจากนั้นจึงตรวจสอบข้อจำกัดเกี่ยวกับความจุของรถ เขตการส่ง หากไม่มีการขัดแย้งกับข้อจำกัด ก็ให้ตรวจสอบการประหยัดที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนจุดส่งด้วยสมการ (4-7) และบันทึกลำดับการส่งและจุดส่ง ถ้าเส้นทางที่ได้จากการแลกเปลี่ยนเส้นทางมีระยะทางสั้นลง

3. ทดลองเปลี่ยนจุดส่งของ Origin และ Destination เป็นค่าใหม่และกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 จนครบทุกจุดส่ง

4. ตรวจสอบหาการแลกจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดมากที่สุดและสลับจุดส่งไปยังลำดับที่มีค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุด

$$
\begin{aligned}
S = & (d(Truck(origin,i\text{-}1),Truck(origin,i)) + \\
& d(Truck(origin,i),Truck(origin,i+1)) + \\
& d(Truck(destination,j\text{-}1),Truck(destination,j)) + \\
& d(Truck(destination,j),Truck(destination,j+1))) - \\
& (d(Truck(origin,i\text{-}1),Truck(destination,j)) + \\
& d(Truck(destination,j),Truck(origin,i+1)) + \\
& d(Truck(destination,j\text{-}1),Truck(origin,i)) + \\
& d(Truck(origin,i),Truck(destination,j+1)))
\end{aligned}
\qquad (4\text{-}7)
$$

โดยที่

S = ค่าการประหยัดได้จากการแลกเปลี่ยนจุดส่ง

$Truck(origin,i)$ = จุดส่งของเส้นทางที่เป็น $origin$ ในลำดับที่ i

$Truck(destination,j)$ = จุดส่งของเส้นทางที่เป็น $destination$ ในลำดับที่ j

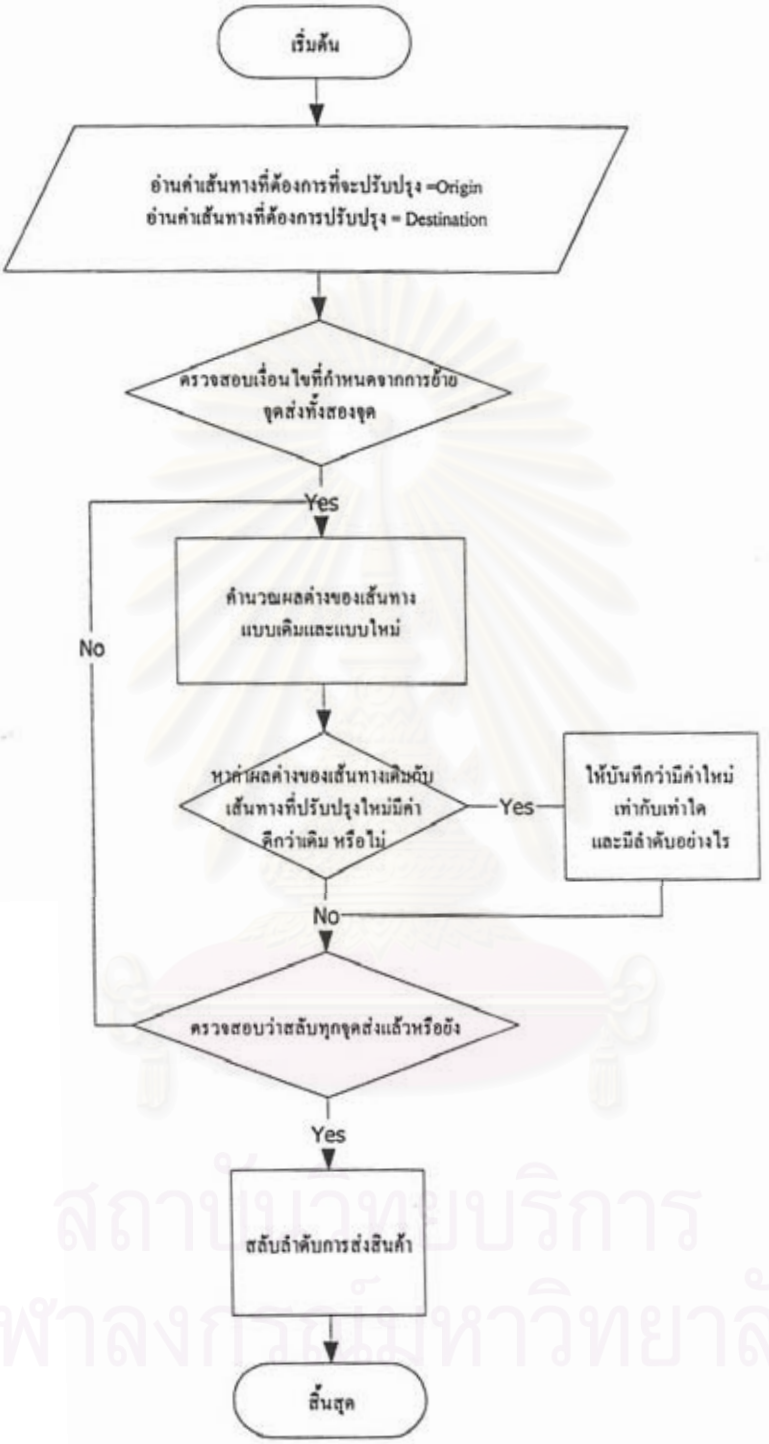
$d(i,j)$ = ระยะทางในการเดินทางจาก i ไปยัง j

String Relocation

ขั้นตอนการดำเนินงานแสดงในรูปที่ 4.12 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

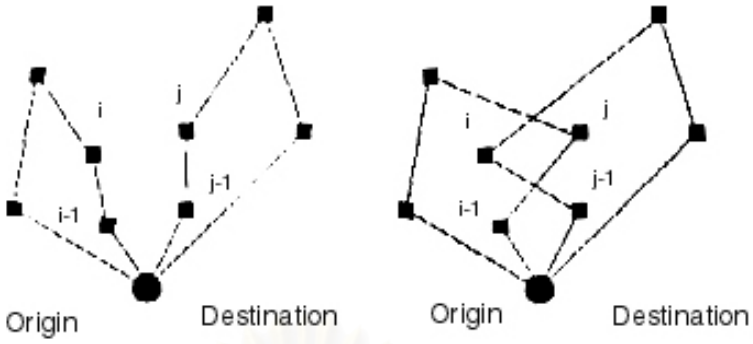
1. ผู้ใช้ระบบเลือกเส้นทางทั้งสองเส้นทางที่ต้องการย้ายจุดส่ง โดยเส้นทางที่จะให้จุดส่งไปยังเส้นทางอื่น เรียกว่า Origin และเส้นทางที่จะรับจุดส่งของเส้นทางอื่นให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง เรียกว่า Destination

2. คอมพิวเตอร์เริ่มต้นย้ายจุดส่งจาก Origin ไปให้เส้นทาง Destination โดยเริ่มย้ายจากจุดส่งแรกของ Origin ไปยังลำดับการส่งต่างๆ ของ Destination หลังจากนั้นจึงตรวจสอบข้อจำกัดการขนส่ง และการประหยัดเนื่องจากการย้ายจุดส่งด้วยสมการที่ (4-8) และบันทึกลำดับการส่งและจุดส่ง



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการทำงานของ String Exchange

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 การแลกเปลี่ยนจุดส่งของ String Exchange

3. ทดลองเปลี่ยนจุดส่งที่ต้องการย้ายจากเส้นทาง Origin เป็นจุดส่งใหม่และดำเนินตามขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งครบทุกจุดส่ง

4. ตรวจสอบหาการย้ายจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดมากสุด แล้วจึงย้ายจุดส่งไปเพิ่มในเส้นทาง Destination

$$
\begin{aligned}
S = {} & (d(Truck(destination,i-1),Truck(destination,i)) + \\
& d(Truck(origin,j-1),Truck(origin,j)) + \\
& d(Truck(origin,j),Truck(origin,j+1))) - \\
& (d(Truck(destination,i-1),Truck(origin,j)) + \\
& d(Truck(origin,j),Truck(destination,i)) + \\
& d(Truck(origin,j-1),Truck(origin,j+1)))
\end{aligned}
\qquad (4\text{-}8)
$$

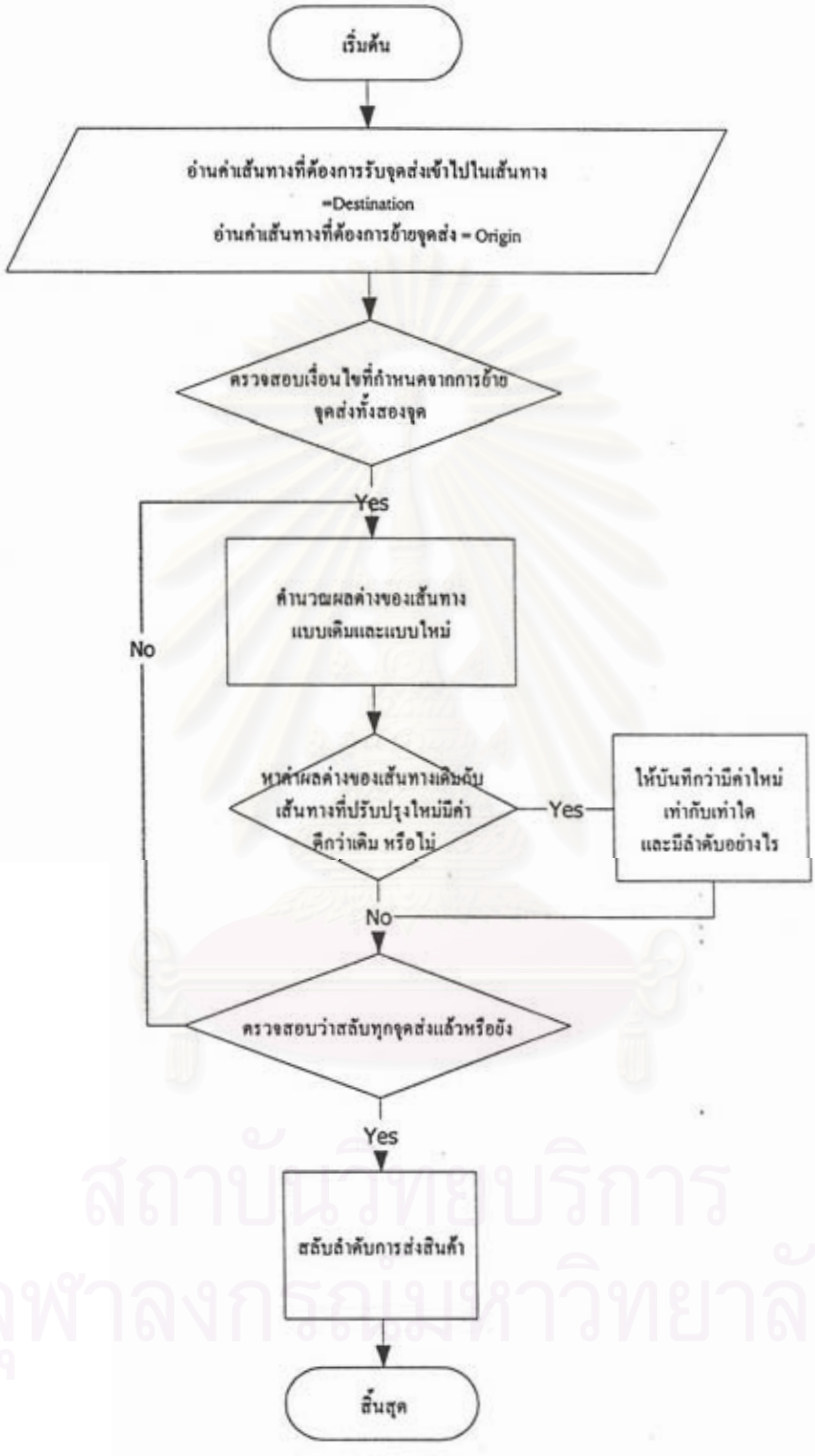
โดยที่

S = ค่าการประหยัดได้จากการย้ายจุดส่งไปยังอีกเส้นทาง

$Truck(origin,j)$ = จุดส่งของเส้นทางที่เป็น $origin$ ในลำดับที่ j

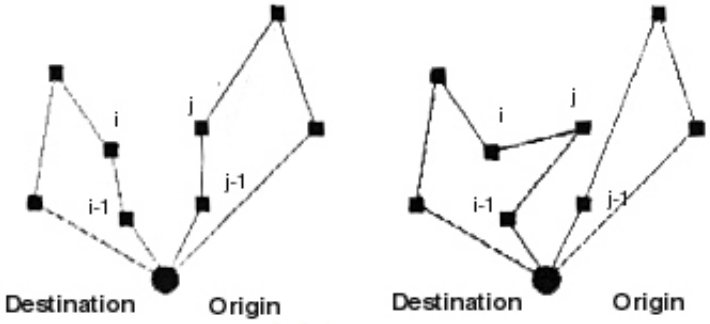
$Truck(destination,i)$ = จุดส่งของเส้นทางที่เป็น $destination$ ในลำดับที่ i

$d(i,j)$ = ระยะทางในการเดินทางจาก i ไปยัง j



รูปที่ 4.12 ขั้นตอนการทำงานของ String Relocation

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 การย้ายจุดส่งของ String Relocation

4.3 การปรับลำดับการส่งโดยพนักงาน

นอกจากจะมีกลไกในการจัดเส้นทางเดินทางและปรับปรุงเส้นทางแล้ว ยังจำเป็นต้องจัดให้มีกลไกเสริมเพื่อลดข้อบกพร่องของแบบจำลอง รวมทั้งเปิดโอกาสให้ผู้ทำหน้าที่ดูแลการจัดเส้นทางสามารถปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเส้นทางได้ด้วยตนเอง โดยไม่ต้องพึ่งการตัดสินใจของคอมพิวเตอร์ทั้งหมด กลไกเสริมดังกล่าวจะช่วยให้เส้นทางที่ได้จากการวิเคราะห์มีความ สอดคล้องกับสภาพการณ์จริง ทั้งนี้กลไกเสริมดังกล่าวประกอบด้วย

- กลไกการเพิ่มจุดส่ง
- กลไกการลดจุดส่ง

4.3.1 พื้นฐานความคิดและขั้นตอนการเพิ่มจุดส่ง

กลไกการเพิ่มจุดส่งเป็นกลไกที่ได้บรรจุในโปรแกรมจัดเส้นทางเดินรถที่พัฒนาในต่างประเทศ เช่น ALTO Arclogistics TransPro/RoutePro เป็นต้น โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในแต่ละบริษัทมีแนวคิดที่คล้ายกัน คือ ต้องการให้จุดส่งที่ไม่ได้ถูกจัดอยู่ในเส้นทางให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางโดยจุดส่งที่เพิ่มเข้ามาต้องไม่ทำให้เกิดการขัดแย้งกับข้อจำกัดการขนส่ง ซึ่ง ALTO ได้แนะนำวิธีการนำจุดส่งเข้ามาในเส้นทางด้วยวิธีการทำซ้ำ (Itreration) ดังรูปที่ 4.14 ดังนี้

1. คอมพิวเตอร์เริ่มต้นเลือกเส้นทางที่จะปรับปรุง
2. คอมพิวเตอร์หาจุดส่งที่ไม่ได้อยู่ในเส้นทางและมีปริมาณสินค้าที่ต้องส่งไม่เกินความจุที่เหลือของเส้นทางนั้นๆ และเรียกว่า จุดส่ง C

3. คอมพิวเตอร์หาลำดับการส่งที่ดีที่สุด ในการนำจุดส่ง C วางอยู่ระหว่างจุดส่ง A, B ที่อยู่ในเส้นทางและทำให้ระยะทางที่เพิ่มขึ้นมาน้อยที่สุดดังสมการที่ (4-9)

$$min[d_{AC} + d_{CB} \quad d_{AB}] \tag{4-9}$$

4. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 และ3 ด้วยจุดส่ง C อื่นๆจนครบ

5. คอมพิวเตอร์เปรียบเทียบการเพิ่มของระยะทางที่น้อยที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสมการที่ (4-9) เพื่อหาจุดส่งที่สมควรที่จะเพิ่มในเส้นทางนั้นๆ

วิธีการจาก ALTO เป็นวิธีการที่ให้คอมพิวเตอร์เลือกจุดส่งเข้ามาอยู่ในเส้นทาง แต่เนื่องจากในสภาพความเป็นจริง พนักงานผู้ใช้ระบบต้องการควบคุมจุดส่งไปยังเส้นทางที่ต้องการด้วยตนเอง แม้ว่าเส้นทางที่เลือกอาจไม่ทำให้ระยะทางในการขนส่งน้อยที่สุด ดังนั้นกลไกดังกล่าวจึงต้องยืดหยุ่นเพียงพอ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ปรับกลไกการเพิ่มจุดส่งเป็นไปตามขั้นตอนซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.15 ดังนี้

1. พนักงานผู้ใช้ระบบเป็นผู้เลือกเส้นทางที่ต้องการนำจุดส่งเข้ามาอยู่ในเส้นทาง

2. พนักงานเลือกจุดส่งที่ต้องการเพิ่มลงไปในเส้นทาง

3. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบการขัดแย้งกับข้อจำกัดด้านความจุของรถ ข้อจำกัดเขตการส่ง และจำนวนจุดส่งมากที่สุดที่สามารถส่งได้

4. พนักงานเลือกตำแหน่งที่ต้องการนำเข้ามาอยู่ในเส้นทาง

5. คอมพิวเตอร์จัดลำดับการส่งใหม่ พร้อมทั้งคำนวณหาระยะทางและปริมาณสินค้า

รูปที่ 4.14 การเพิ่มจุดส่งลงในเส้นทางของ ALTO

ที่มา : Potvin Lapalme และ Rousseau (1989)

รูปที่ 4.15 ขั้นตอนการเพิ่มจุดส่งเข้าไปในเส้นทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.2 พื้นฐานความคิดและขั้นตอนการลดจุดส่ง

กลไกการลดจุดส่งเป็นกลไกที่ขจัดจุดส่งที่ไม่ต้องการให้อยู่ในเส้นทางออกไป เนื่องจากผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยคอมพิวเตอร์อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากมีสิ่งกีดขวางเส้นทางเช่น ภูเขา ทำให้ระยะทางที่คำนวณได้ผิดไปจากความเป็นจริง ดังนั้นจึงควรย้ายจุดส่งนั้นไปอยู่ในเส้นทางอื่น ขั้นตอนการทำงานสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.16 ดังนี้

1. ผู้ใช้ระบบเลือกเส้นทางที่ต้องการลดจุดส่ง
2. ผู้ใช้ระบบเลือกจุดส่งในเส้นทางที่ต้องการขจัดออกไป
3. คอมพิวเตอร์จัดลำดับการส่งใหม่ด้วยการเลื่อนลำดับจุดส่งที่อยู่ถัดจากจุดส่งที่ย้ายขึ้นมาทั้งหมด และคำนวณหาระยะทางในการเดินทาง และปริมาณสินค้าใหม่

รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการลดจุดส่งในเส้นทาง

การนำเสนอทั้งหมดที่ผ่านมาเป็นการอธิบายแนวคิดเบื้องต้นของระบบเท่านั้น แต่การนำเสนอในบทถัดไปจะอธิบายถึงรายละเอียดของการออกแบบโครงสร้างและการกำหนดลักษณะการทำงานของโปรแกรม เพื่อให้ระบบที่ออกแบบสามารถนำไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
โครงสร้างและกระบวนการของโปรแกรม

ในงานขั้นต่อไปเป็นการออกแบบโปรแกรมสำหรับการจัดเส้นทางให้สอดคล้องกับแนวคิดในการวิเคราะห์เส้นทางที่ได้นำเสนอในบทที่ 4 โดยการศึกษานี้ได้แบ่งการออกแบบโปรแกรมเป็นส่วน ๆ ดังนี้

- โครงสร้างฐานข้อมูล
- กระบวนการเตรียมและนำเข้าข้อมูล
- กระบวนการวิเคราะห์และบันทึกผล
- กระบวนการนำเสนอและสรุปผล

5.1 โครงสร้างฐานข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาการเก็บข้อมูลลงฐานข้อมูลเบื้องต้นเฉพาะส่วนที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์เท่านั้น เนื่องจาก บริษัทตัวอย่างยังไม่มีระบบฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทาง จึงต้องเก็บข้อมูลด้วยตนเอง โดยออกแบบโครงสร้างและบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาจากไมโครซอฟท์แอคเซส เวอร์ชั่น 97(Microsoft Access 97) ดังนี้

- ฐานข้อมูลหลัก (Master Files) ประกอบด้วย ตารางข้อมูลลูกค้า สินค้า ยวดยานที่มีอยู่ ฯลฯ
- รายการธุรกรรม (Transaction Files) ประกอบด้วยตารางใบรายการสินค้า ตารางรายละเอียดใบรายการสินค้า
- ตารางอื่น ๆ เช่น ตารางสถานะบิล ประสิทธิภาพรถ เช่น ระยะทาง ปริมาณของสินค้าต่อความจุ เป็นต้น

5.1.1 ฐานข้อมูลหลัก

เป็นฐานข้อมูลที่สำคัญต่อระบบสารสนเทศซึ่งจากการศึกษาและการสัมภาษณ์จากพนักงานที่เกี่ยวข้องพบว่า ข้อมูลที่จำเป็นการจัดเส้นทางเดินรถ คือ

ข้อมูลลูกค้า เป็นข้อมูลที่แสดงรายละเอียดและตำแหน่งที่อยู่ของลูกค้า ซึ่งรายละเอียดนี้ จะปรากฏในใบรายการสินค้า การออกแบบนี้ได้แบ่งข้อมูลเป็นฟิลด์ต่างๆดังนี้

1. รหัสลูกค้า เป็นเลขที่ใช้แทนการอธิบายชื่อลูกค้า และใช้เป็นเลขที่สำหรับอ้างอิงในตารางข้อมูลอื่นๆ เช่น ตารางใบรายการสินค้า เป็นต้น

2. ชื่อลูกค้า เป็นข้อมูลที่ใช้อธิบายลักษณะของลูกค้า เช่น ชื่อ-นามสกุล ชื่อทางการค้า และคำนำหน้าชื่อ โดยการศึกษานี้ได้กำหนดมาตรฐานในการพิมพ์ชื่อลูกค้าดังนี้

- คำนำหน้าชื่อทางธุรกิจให้ใช้คำย่อของลักษณะกิจการ
- ใช้ชื่อ-นามสกุล หรือ ชื่อทางการค้าของลูกค้า และตามด้วยคำนำหน้าชื่อ

3. คำอธิบายลักษณะลูกค้า เป็นข้อมูลที่ใช้อธิบายรายละเอียดต่างๆของลูกค้าต่าง ๆ เช่น ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ เป็นต้น

4. รหัสเขตการส่ง เป็นข้อมูลที่ใช้แบ่งลูกค้าตามเขตการส่ง โดยยึดเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในบทที่ 3 เพื่อลดความซับซ้อนของปัญหา

ข้อมูลสินค้า เป็นข้อมูลที่แสดงรายละเอียดและลักษณะของสินค้า ดังนี้

1. รหัสสินค้า เป็นเลขที่ใช้แสดงลักษณะและชื่อสินค้าซึ่งปรากฏในใบรายการสินค้า โดยใช้เลขเดียวกับเลขที่บริษัทเจ้าของสินค้ากำหนด เพื่อให้ง่ายต่อการบันทึกข้อมูลใบรายการ

2. ชื่อสินค้า เป็นข้อมูลที่ใช้อธิบายสินค้าโดยใช้คำอธิบายเหมือนกับที่ปรากฏในใบรายการ

3. ชื่อเจ้าของสินค้า เป็นข้อมูลที่ใช้แยกแยะการขนส่งตามเจ้าของสินค้า เนื่องจากต้องส่งสินค้าให้กับหลายบริษัท ทำให้จำเป็นต้องแบ่งเพื่อให้สามารถค้นหาสินค้าได้ง่ายและสามารถตรวจสอบสินค้าที่ส่งได้

4. น้ำหนักและปริมาตรของสินค้า โดยให้น้ำหนักมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ปริมาตรสินค้ามีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

5. ราคา ใช้คำนวณรายได้สำหรับการขนส่งในแต่ละใบรายการ

ข้อมูลเขตการส่ง เป็นข้อมูลแสดงตำแหน่งของเขตการส่ง โดยข้อมูลที่จำเป็นได้แก่

1. รหัสเขตการส่ง ใช้เป็นเลขที่ใช้อธิบายแทนชื่อพื้นที่

2. ชื่อพื้นที่ ใช้แทนคำอธิบายชื่อพื้นที่และรายละเอียดของพื้นที่

3. พิกัดแกน x และแกน y

4. เงื่อนไขความเหมาะสมที่จะนำเข้ารถประเภท 1(เล็ก) 2(กลาง) และ 3(ใหญ่)เข้าทำการส่งสินค้าในพื้นที่ โดยรถที่อนุญาตให้สามารถส่งในเขตการส่งได้จะกำหนดให้เป็น “TRUE” และถ้าไม่อนุญาตให้ส่งจะแทนด้วย “FALSE”

ข้อมูลรถ เป็นข้อมูลที่แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับรถที่สามารถมีไว้ให้บริการ ซึ่งประกอบด้วยตาราง 3 ตารางคือ

1. ตารางข้อมูลรถ แสดงรหัสพนักงาน เลขทะเบียนรถที่ขับ และค่าปรับแก้ความจุของทั้งน้ำหนักและปริมาตร

2. ตารางประเภทรถ : แสดงข้อมูลที่ใช้อธิบายประเภทรถและความจุของรถต่างๆ

3. ตารางพนักงานขับรถ : แสดงข้อมูลรหัสพนักงาน ชื่อ-นามสกุลของพนักงาน

5.1.2 รายการธุรกรรม

แสดงข้อมูลธุรกรรมทางธุรกิจ เช่น ปริมาณความต้องการสินค้าของแต่ละราย โดยทั่วไปข้อมูลนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

ข้อมูลหลัก : บันทึกอยู่ในตาราง Invoice โดยแสดงข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่

1. เลขที่ใบสั่งสินค้า : แสดงเลขที่บิลซึ่งปรากฏอยู่ในใบรายการสินค้า
2. รหัสลูกค้า : แสดงเลขที่ของลูกค้าซึ่งใช้แทนชื่อของลูกค้า
3. น้ำหนักและปริมาตรสินค้า:แสดงความจุของสินค้าที่ปรากฏอยู่ในบิล

ข้อมูลรายละเอียด : บันทึกอยู่ในตาราง Transaction แสดงข้อมูลรายละเอียดของสินค้าที่ปรากฏอยู่ใบรายการ โดยข้อมูลที่สำคัญได้แก่ เลขที่ใบสั่งสินค้า รหัสสินค้า และปริมาณการสั่งสินค้า

5.1.3 ตารางอื่นๆ

จากการศึกษาในสภาพจริงของบริษัทขนส่งจากหลายแห่งพบว่าควรมีตารางเสริมอื่นๆ เพื่อสามารถใช้ประโยชน์จากสารสนเทศมากขึ้น ซึ่งตารางเสริมนี้สามารถถูก

นำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทาง และเป็นตารางที่แสดงผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางพร้อมกันไป ซึ่งตารางข้อมูลที่สำคัญมีดังนี้

ข้อมูลประสิทธิภาพรถ ประกอบด้วย รหัสพนักงาน และเลขทะเบียนรถ วันที่และเวลาที่รับรายการส่งสินค้า ระยะทางที่ใช้ในการส่งสินค้าโดยประมาณที่ได้การวิเคราะห์ น้ำหนักและปริมาตรสินค้าที่บรรทุก โดยตารางข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ดังนี้

- ข้อมูลนำเข้า ซึ่งเป็นข้อมูลประสิทธิภาพของรถในวันที่ผ่านมา และถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการเลือกรถที่จะใช้ในการขนส่ง เนื่องจากต้องการให้พนักงานได้รับความยุติธรรมในการขนส่งสินค้า โดยพิจารณาทั้งระยะทาง น้ำหนักและปริมาตรสินค้าพร้อมกัน
- ผลลัพธ์ ข้อมูลนี้จะเป็นผลลัพธ์ภายหลังจากการวิเคราะห์จัดเส้นทางและบันทึกประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางของรถแต่ละคันลงฐานข้อมูล และผลลัพธ์ดังกล่าวจะถูกเรียกใช้ในคราวถัดไป

ข้อมูลสถานะบิล ประกอบด้วย เลขที่บิล วันและเวลาที่เปลี่ยนสู่สถานะบิลที่ระบุ สถานะบิล รหัสพนักงานและเลขทะเบียนรถ รวมทั้งลำดับในการส่งสินค้า (ถ้ามี) โดยตารางข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ดังนี้

- ข้อมูลนำเข้า ถูกนำไปใช้ในหลายขั้นตอน เช่น ขั้นตอนการเลือกใบรายการ การคัดแยกใบรายการ และขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงสถานะบิลไปยังสถานะบิลที่ต้องการ
- ผลลัพธ์ ผลลัพธ์ที่ได้เกิดขึ้นในหลายขั้นตอน เช่น การวิเคราะห์เส้นทาง การเปลี่ยนแปลงสถานะใบรายการ เป็นต้น

ข้อมูลสถานะบิลล่าสุด โดยปกติแล้วสถานะบิลล่าสุดสามารถหาได้หาได้จากข้อมูลสถานะบิลอยู่แล้ว โดยตารางข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการติดตามสถานะของใบรายการสินค้าปัจจุบัน แต่เนื่องจากการศึกษานี้ต้องการตรวจสอบสถานะบิลล่าสุดตลอดเวลาดังนั้นจึงควรที่จะสร้างข้อมูลสถานะบิลล่าสุดขึ้นมาแทนการใช้คำสั่งเพื่อเรียกข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

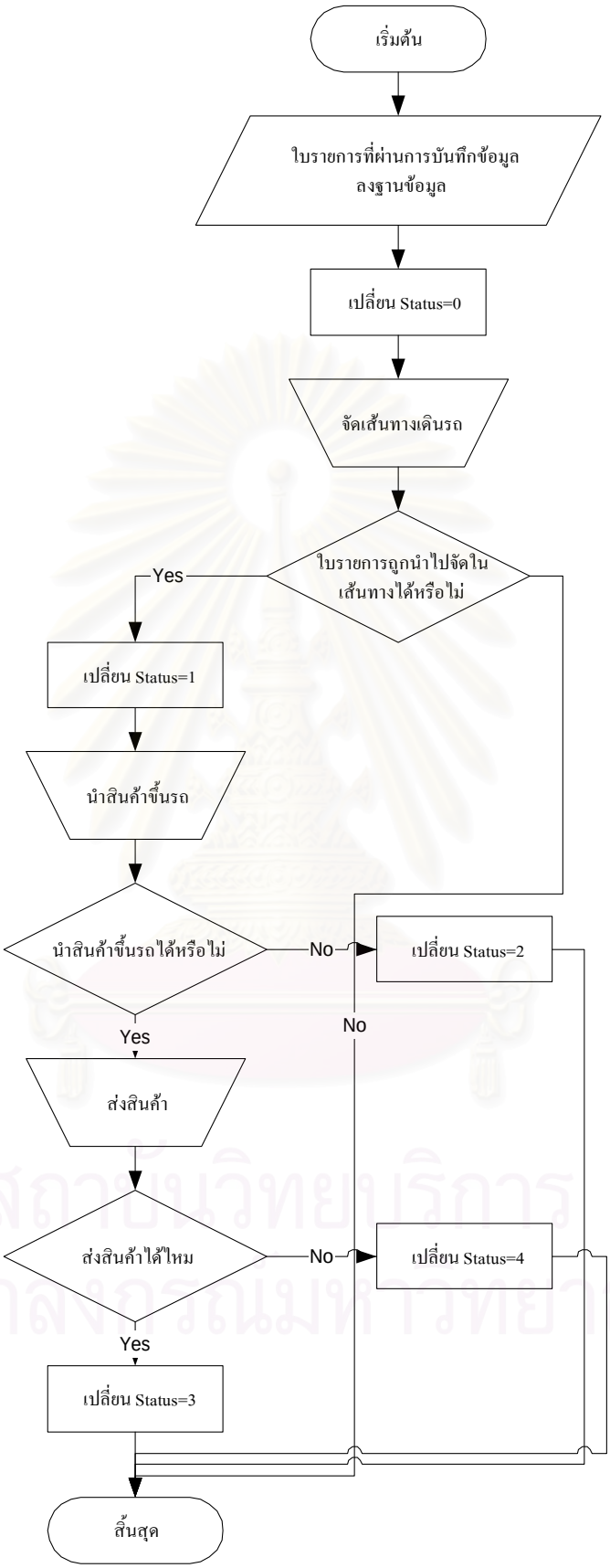
ล่าสุดจากข้อมูลสถานะบิล เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ปรากฏประกอบด้วย เลขที่บิล วันและเวลาของสถานะบิลล่าสุด สถานะบิลที่ปรากฏ

จากโครงสร้างของตารางเสริมซึ่งปรากฏสถานะบิลในทุกๆรายการ ดังนั้นจึงต้องกำหนดสถานะบิลขึ้น โดยจากการศึกษาจากบริษัทขนส่งในหลายแห่งพบว่าอาจกำหนดสถานะบิลเข้าไปในระบบสารสนเทศทั้งระบบมากถึง 10 สถานะ เพื่อใช้ในการติดตามการขนส่ง การบัญชี การจัดทำระบบบัญชีเจ้าหนี้ เป็นต้น แต่ในการศึกษานี้จะกำหนดสถานะบิลเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการจัดส่งสินค้าเท่านั้น ดังนี้

- สถานะบิลที่ 0 แทนใบรายการสินค้าที่ผ่านการบันทึกลงฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว
- สถานะบิลที่ 1 แทนใบรายการสินค้าที่สามารถจัดเส้นทางได้เรียบร้อยแล้ว
- สถานะบิลที่ 2 แทนใบรายการสินค้าไม่สามารถนำไปส่งได้เนื่องจากมีปัญหาในการบรรทุกสินค้า
- สถานะบิลที่ 3 แทนสามารถส่งสินค้าตามใบรายการสินค้าได้
- สถานะบิลที่ 4 แทนไม่สามารถส่งสินค้าได้เนื่องจากมีปัญหาในการส่ง

สำหรับบิลที่ไม่สามารถจัดส่งสินค้าได้ภายใน 1 วันจะต้องเปลี่ยนสถานะบิลจาก 0 เป็น 2 เพื่อให้ความสำคัญกับรายการมากขึ้น รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงสถานะบิลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 การเปลี่ยนสถานะของใบรายการสินค้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 กระบวนการเตรียมและนำเข้าข้อมูล

ข้อมูลที่จำเป็นต่อการจัดเส้นทางเดินรถประกอบด้วย

- ข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้า
- ข้อมูลพิกัดจุดส่งสินค้า
- ข้อมูลรถที่สามารถให้บริการ
- ข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับปรับแก้

รายละเอียดและขั้นตอนในการนำเข้าข้อมูลแต่ละส่วนมีดังนี้

5.2.1 การนำเข้าข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้า

ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลมีลำดับดังนี้

<u>ขั้นตอนการบันทึกใบรายการสินค้า</u>

ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างข้อมูลพื้นฐานโดยพนักงานผู้ใช้จะป้อนรายละเอียดของใบรายการสินค้าที่ได้มาจากผู้ผลิตสินค้าเพื่อบันทึกลงฐานข้อมูลของบริษัทตัวอย่าง โดยจะบันทึกข้อมูลลงใน ตารางข้อมูลหลัก (Invoice) และตารางข้อมูลรายละเอียด (Transaction) โดยขั้นตอนนี้จะอนุญาตให้พนักงานสามารถพิมพ์ข้อมูลลงฐานข้อมูลเข้าได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เพื่อไม่ให้พนักงานแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้ภายหลังจากการป้อนข้อมูล และเป็นการป้องกันข้อมูลสูญหาย โดยเมื่อพนักงานป้อนข้อมูลและบันทึกลงฐานข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ในตารางสถานะบิล และสถานะบิลล่าสุด จะปรากฏเลขที่ใบรายการสินค้าพร้อมทั้งแสดงสถานะเป็นศูนย์ รูปที่ 5.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมโดยสรุปดังนี้

1. พนักงานผู้ใช้ระบบป้อนข้อมูลหมายเลขใบรายการสินค้า
2. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบว่าหมายเลขใบรายการสินค้าที่ป้อนเข้าไปเคยเกิดขึ้นแล้วหรือไม่ ถ้าเคยเกิดขึ้นแล้วให้แจ้งให้พนักงานทราบ
3. พนักงานพิมพ์รหัสลูกค้าหรือเลือกรายชื่อลูกค้าจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ หากไม่พบลูกค้าที่ต้องการให้เพิ่มข้อมูลลูกค้าเข้าไปในฐานข้อมูล
4. พนักงานพิมพ์รหัสสินค้าหรือเลือกรายชื่อจากที่มีอยู่ในฐานข้อมูล หากไม่พบสินค้าที่ต้องการให้เพิ่มข้อมูลสินค้าเข้าไปในฐานข้อมูล
5. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบรหัสสินค้าที่ต้องการมีอยู่ในฐานข้อมูลหรือไม่

6. พนักงานพิมพ์ปริมาณสินค้าที่ต้องจัดส่งและบันทึกข้อมูลลงข้อมูลรายละเอียด
7. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบปริมาณสินค้าที่พิมพ์ ซึ่งจะมีค่าเป็นลบไม่ได้ และถ้าพบข้อผิดพลาดก็จะต้องแจ้งให้พนักงานทราบ
8. พนักงานปฏิบัติตามข้อ 4 ต่อจนครบทุกรายการสินค้าจึงบันทึกใบรายการสินค้า

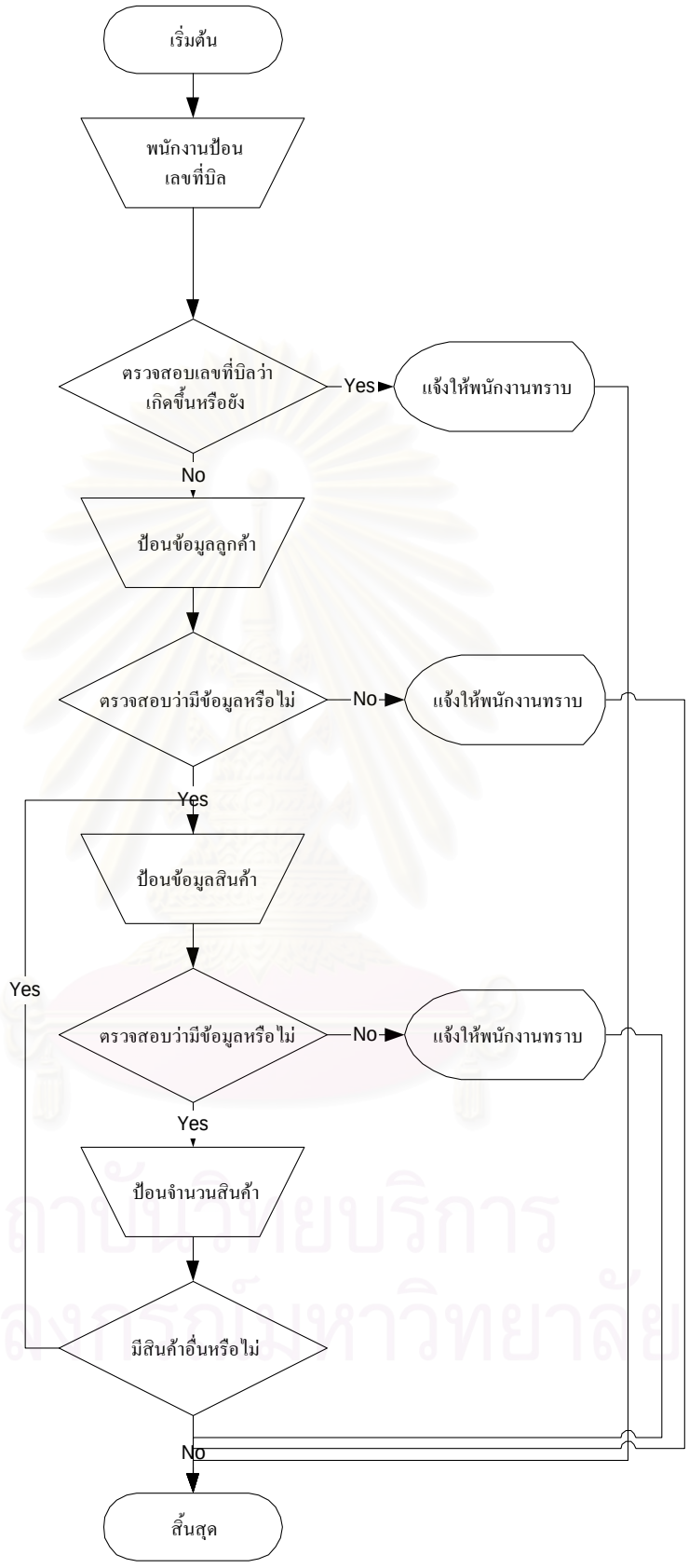
รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการบันทึกใบรายการสินค้า

ขั้นตอนการคัดแยกและเลือกใบรายการสินค้า

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ผู้ประกอบการจะต้องเตรียมคัดหรือจัดลำดับความสำคัญของใบรายการสินค้าโดยคำนึงถึงความจำเป็นในการส่งสินค้า เช่น ใบรายการสินค้าที่ต้องส่งเป็นลูกค้ารายใหญ่ ใบรายการสินค้าที่ไม่สามารถส่งได้ในครั้งก่อน เป็นต้น ความจำเป็นในการคัดแยกบิลมักเกิดขึ้นในช่วงปลายเดือน เนื่องจากมีปริมาณสินค้าที่ต้องส่งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นจึงได้สร้างขั้นตอนนี้ขึ้นมาเพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริง ดังนี้

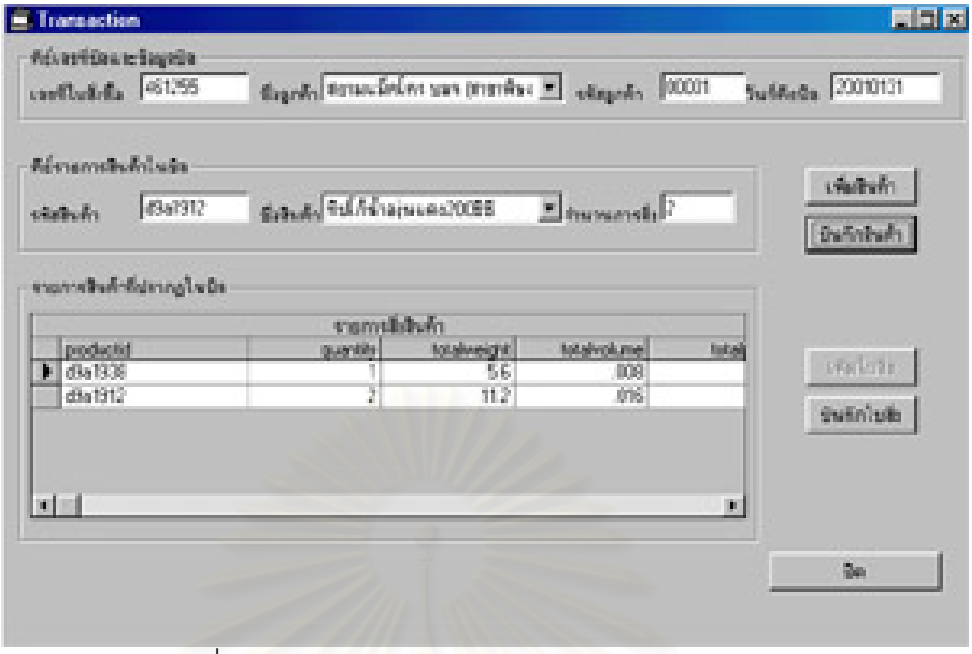
- ให้ความสำคัญกับสถานะบิลที่มีปัญหา คือสถานะบิล “2” และ “4” มากกว่า สถานะ “0” เนื่องจากใบรายการสินค้าประเภทนี้มีโอกาสเสี่ยงที่จะถูกปรับหากส่งสินค้าล่าช้า
- จัดใบรายการสินค้าที่มีชื่อลูกค้าเดียวกันให้ปรากฏอยู่ในลำดับที่ใกล้เคียงกัน เพื่อให้พนักงานสามารถส่งสินค้าไปในคราวเดียวกัน
- ผู้ใช้ระบบสามารถเลือกและคัดแยกบิลได้เอง โดยอาจจะให้พนักงานเลือกบิลทั้งหมดก่อนแล้วทดสอบดูว่าสามารถจัดได้หมดหรือไม่ และลูกค้าที่จัดได้เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญ (Priority) ทั้งหมดหรือไม่ หากไม่เหมาะสมก็ให้พนักงานกลับมาคัดแยกบิลใหม่ได้อีกครั้ง

รูปที่ 5.4 แสดงรายละเอียดและขั้นตอนสำหรับการคัดแยกใบรายการสินค้า และรูปที่ 5.5 เป็นตัวอย่างการพัฒนาการคัดแยกใบรายการสินค้า ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

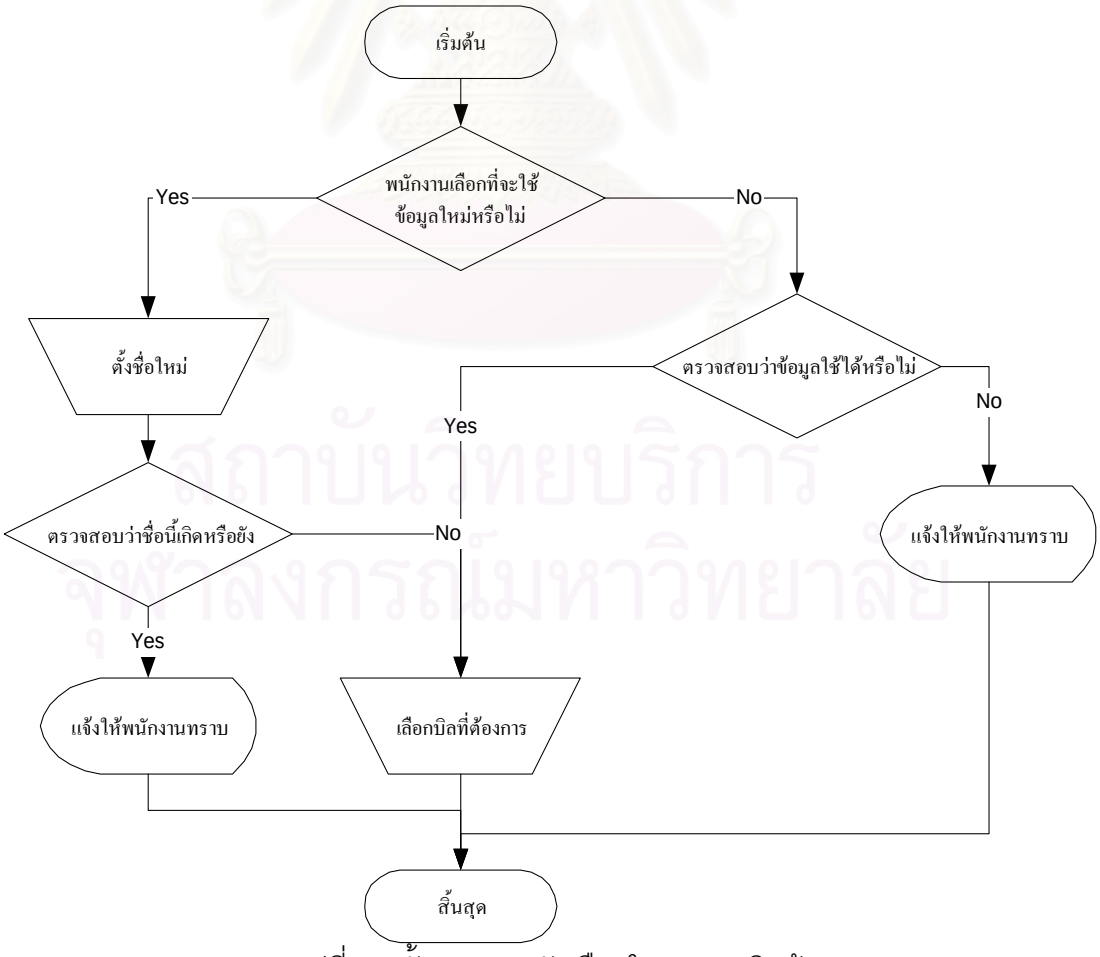


รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการบันทึกใบรายการสินค้า

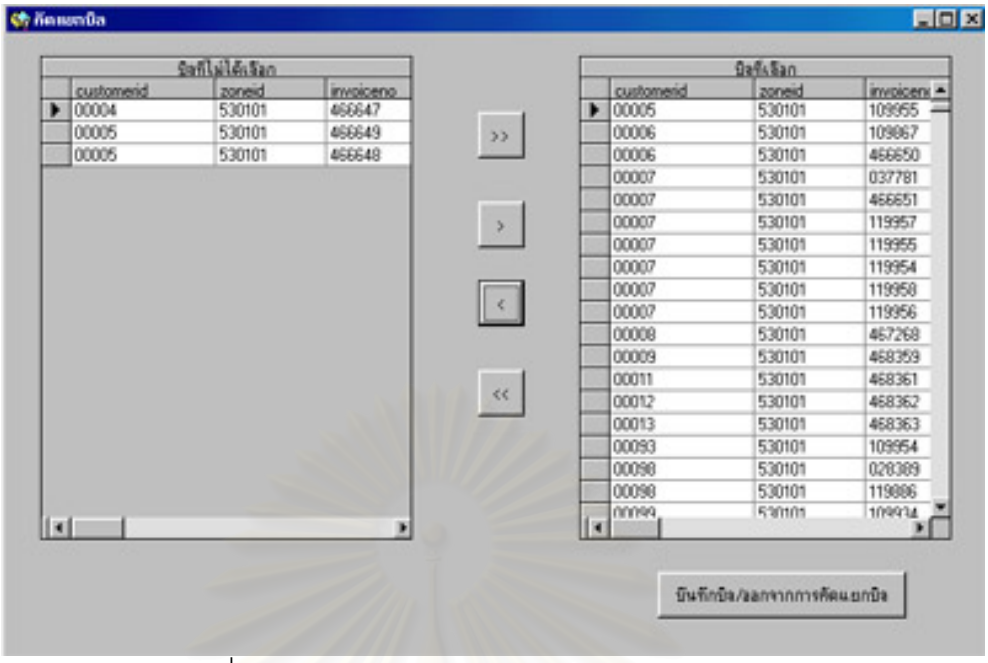
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการพัฒนาการบันทึกใบรายการสินค้า



รูปที่ 5.4 ขั้นตอนการคัดเลือกใบรายการสินค้า



รูปที่ 5.5 ตัวอย่างการพัฒนาการเลือกใบรายการสินค้า

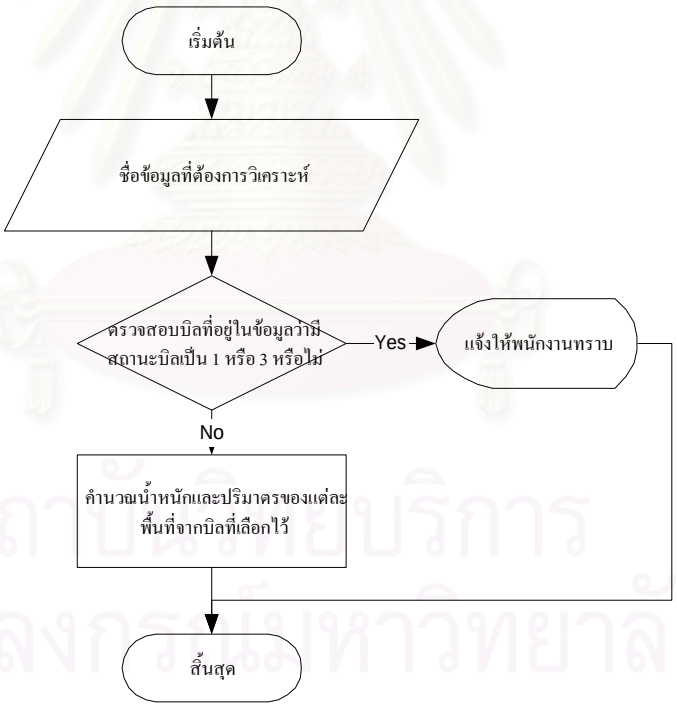
1. พนักงานเลือกชุดข้อมูลที่ต้องการคัดแยกใบรายการสินค้า ซึ่งอาจเป็นข้อมูลใหม่หรือจากข้อมูลเดิมที่ต้องการแก้ไข
2. ถ้าพนักงานเลือกชุดข้อมูลเดิมต้องตรวจสอบว่าข้อมูลดังกล่าวใช้ได้หรือไม่ เนื่องจากชุดข้อมูลเดิมอาจปรากฏใบรายการสินค้าที่ได้จัดส่งสินค้าเสร็จเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นข้อมูลชุดเดิมจึงไม่สามารถนำไปใช้ในการจัดเส้นทางได้
3. พนักงานเลือกใบรายการสินค้าที่ต้องการสำหรับการจัดเส้นทาง
4. บันทึกรายการลงฐานข้อมูล

5.2.2 การนำเข้าข้อมูลพิกัดจุดส่งสินค้า

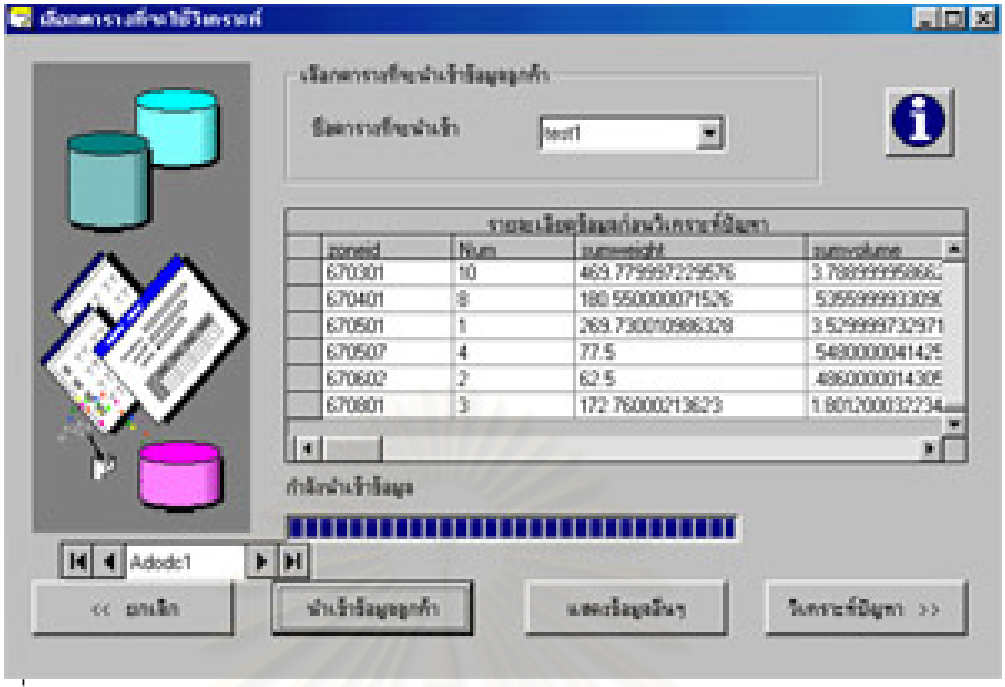
ข้อมูลพิกัด เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะทางระหว่างจุดส่ง โดยข้อมูลที่จะนำเข้าจะได้มาจากข้อมูลจากตารางข้อมูลใบรายการสินค้าของลูกค้าในแต่ละราย (Invoice) ตารางข้อมูลเขตการส่ง (Zone) และตารางข้อมูลลูกค้า (Customer) ซึ่งมีลำดับในการวิเคราะห์ดังนี้

ขั้นตอนการรวบรวมปริมาณสินค้าที่ต้องส่งในแต่ละเขตการส่ง

เนื่องจากขั้นตอนในการป้อนข้อมูลและการคัดแยกใบรายการสินค้าเป็นเพียงการหาน้ำหนักและปริมาตรในแต่ละใบรายการสินค้าเท่านั้น แต่เนื่องจากจุดส่งที่กำหนดเป็นเขตการส่งซึ่งมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจึงต้องมีขั้นตอนการรวมใบรายการสินค้าต่างๆในเขตการส่งเดียวกัน โดยให้พนักงานผู้ใช้เลือกชื่อข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์และรวมเป็นจุดส่งเพียงจุดส่งเดียวแทน ซึ่งการส่งสินค้านี้จะไม่ได้คำนึงว่า ใบรายการสินค้าต่างๆที่เลือกเป็นลูกค้าประเภทใดอีกต่อไป โดยจะรวมร้านค้าทั้งหมดเป็นพื้นที่ ดังนั้นหากผลรวมของสินค้าในพื้นที่มีมากจนเกินความจุของรถก็จะปฏิเสธการจัดเส้นทางลงบนพื้นที่นั้นทั้งหมดโดยไม่คำนึงถึงการได้สิทธิ์ (Priority) เนื่องจากการคัดแยกใบรายการสินค้าในขั้นแรกจะเป็นการบังคับให้ทุกใบรายการสินค้ามีสถานะที่เท่าเทียมกันทั้งหมด รายละเอียดและขั้นตอนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.6 และตัวอย่างการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการรวมใบรายการสินค้าในแต่ละจุดส่งดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการรวบรวมปริมาณสินค้าในเขตการส่ง



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการรวบรวมใบรายการสินค้าในแต่ละเขตการส่ง

ขั้นตอนการคำนวณระยะทาง

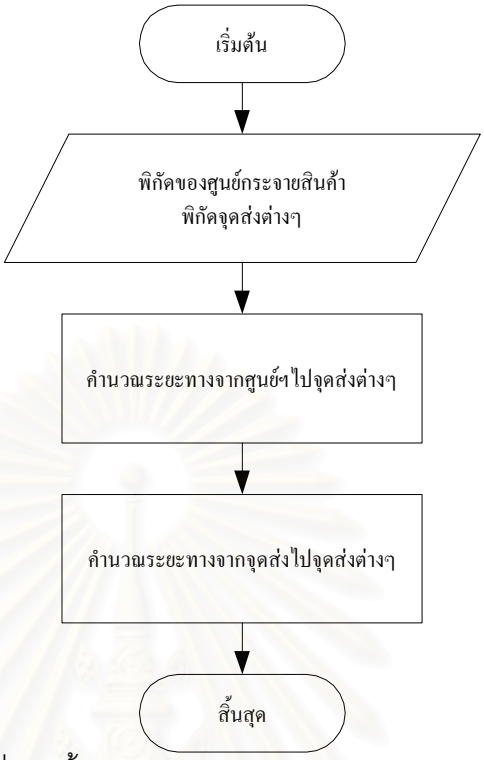
การเตรียมข้อมูลเพื่อคำนวณระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่งต่างๆ เพื่อคำนวณหาระยะทางจริงโดยประมาณระหว่างจุดส่ง ด้วยการใช้พิกัดซึ่งอยู่ในตารางข้อมูลเขตการส่งเพื่อคำนวณหาระยะทางเส้นตรง และใช้ค่าปรับแก้ระยะทาง (Scaling Factor) เพื่อปรับระยะทางเส้นตรงเป็นระยะทางจริงโดยประมาณ รายละเอียดและขั้นตอนที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังแผนผังดังรูปที่ 5.8

5.2.3 การนำเข้าข้อมูลรถที่สามารถให้บริการ

ข้อมูลรถที่จะต้องนำเข้าสู่การวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

- ข้อมูลจำนวนรถที่จะใช้สำหรับขนส่ง
- ข้อมูลประเภทรถและความจุของรถที่ให้บริการ

จากข้อมูลที่ต้องนำเข้าสู่การวิเคราะห์สามารถสรุปแนวทางการพัฒนาระบบได้ดังนี้

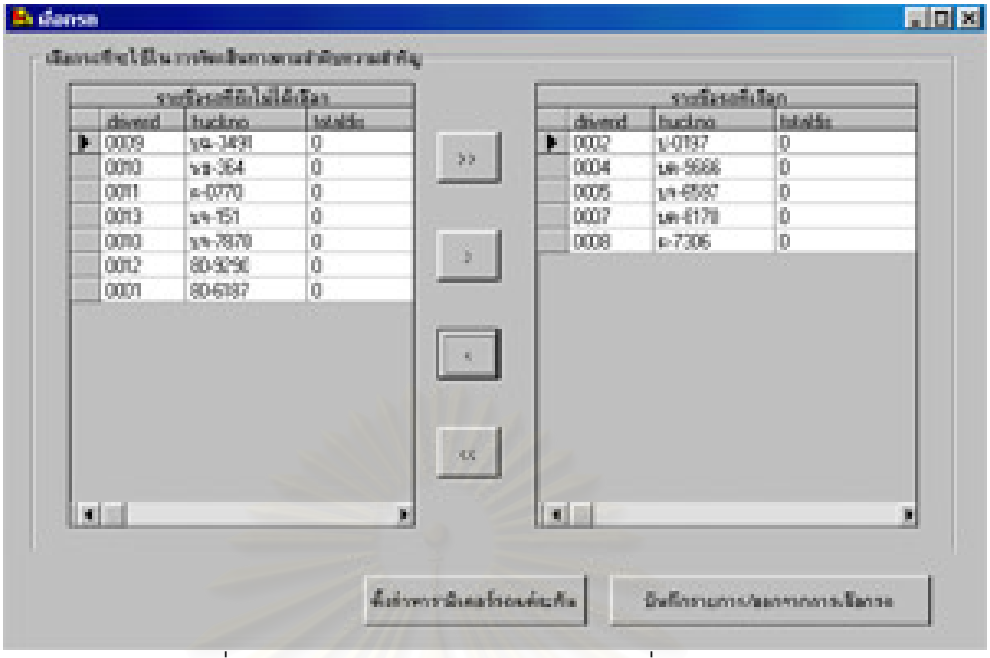


รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการคำนวณหาระยะทาง

- แสดงจำนวนรถที่สามารถให้บริการได้ทั้งหมด เพื่อให้โปรแกรมเลือกใช้จำนวนรถที่มีอยู่อย่างจำกัด
- สร้างส่วนติดต่อของผู้ใช้โดยให้พนักงานสามารถเลือกใช้รถที่ต้องการและเลือกลำดับในการใช้รถก่อน เช่น เลือกใช้รถใหญ่เพื่อประหยัดต้นทุน หรือใช้รถขนาดเล็กเพื่อกระจายงานมากๆ และลดภาระของรถใหญ่ เป็นต้น

รูปที่ 5.9 แสดงตัวอย่างการพัฒนาการเลือกใช้รถ และรูปที่ 5.10 แสดงรายละเอียดและขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลรถ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



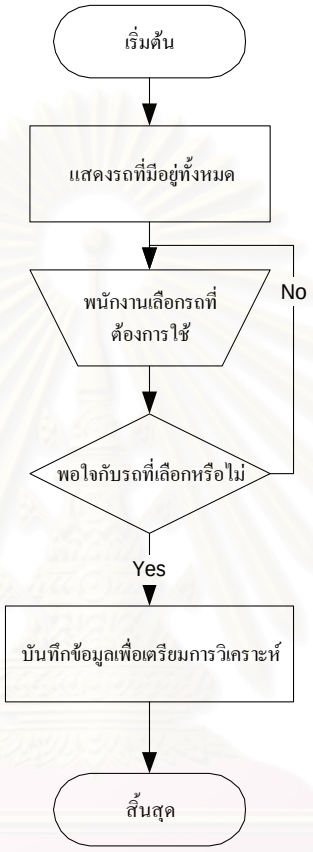
รูปที่ 5.9 ตัวอย่างการพัฒนาการเลือกรถที่จะจัดเส้นทาง

5.2.4 การนำเข้าค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

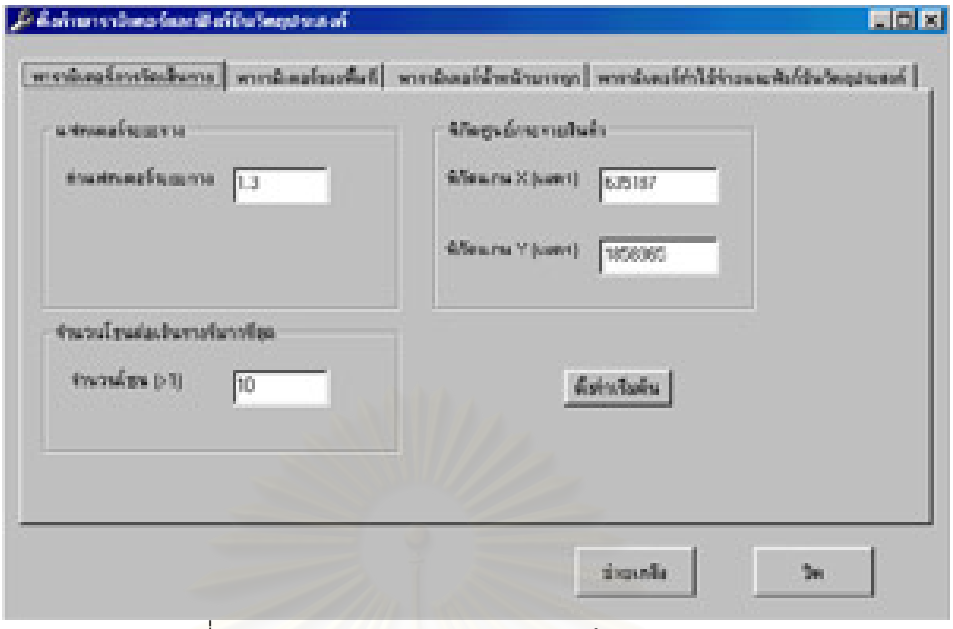
- ข้อมูลพิกัดในแนวแกน x และในแนวแกน y ของศูนย์กระจายสินค้าเพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะทางในการขนส่งจากศูนย์ฯ ไปยังจุดส่งต่างๆ
- ข้อมูลจำนวนจุดส่งที่อนุญาตให้ส่งสินค้าที่มากสุด ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการส่งสินค้า
- ข้อมูลค่าปรับแก้ระยะทาง เพื่อใช้ปรับค่าระยะทางเส้นตรงที่คำนวณได้จากการขั้นต้นมาเป็นระยะทางในการเดินทางจริงโดยประมาณ
- ข้อมูลการให้สิทธิ์ (Priority) ในการอนุญาตให้รถประเภท 1 2 และ 3 ส่งสินค้าในแต่ละเขตการส่ง
- ข้อมูลค่าปรับเพิ่มน้ำหนักและปริมาตร ซึ่งถูกบันทึกลงฐานข้อมูลในตารางข้อมูลรถ และกำหนดให้ค่าปรับเพิ่มมีค่าขึ้นกับ พนักงานขับรถและเลขทะเบียนรถ ด้วยเหตุผลเนื่องจาก ความสามารถในการบรรทุกสินค้าขึ้นอยู่กับขนาดของรถ เพราะแม้รถประเภทเดียวกันอาจมีความสามารถบรรทุกสินค้าได้ต่างกัน นอกจากนี้

ความสามารถในการบรรทุกสินค้ายังขึ้นกับความสามารถในการเรียง สินค้าของพนักงานอีกด้วย



รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการเลือกรถที่ใช้จัดเส้นทาง

การพัฒนาในที่นี้กำหนดให้พนักงานผู้ใช้เป็นผู้เลือกค่าพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางได้โดยตรง ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อให้ระบบสามารถยืดหยุ่นต่อการจัดเส้นทางมากขึ้น รายละเอียดและลักษณะของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ตัวอย่างการพัฒนาการนำเข้าค่าพารามิเตอร์

5.3 กระบวนการวิเคราะห์และบันทึกผล

รายละเอียดของการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ

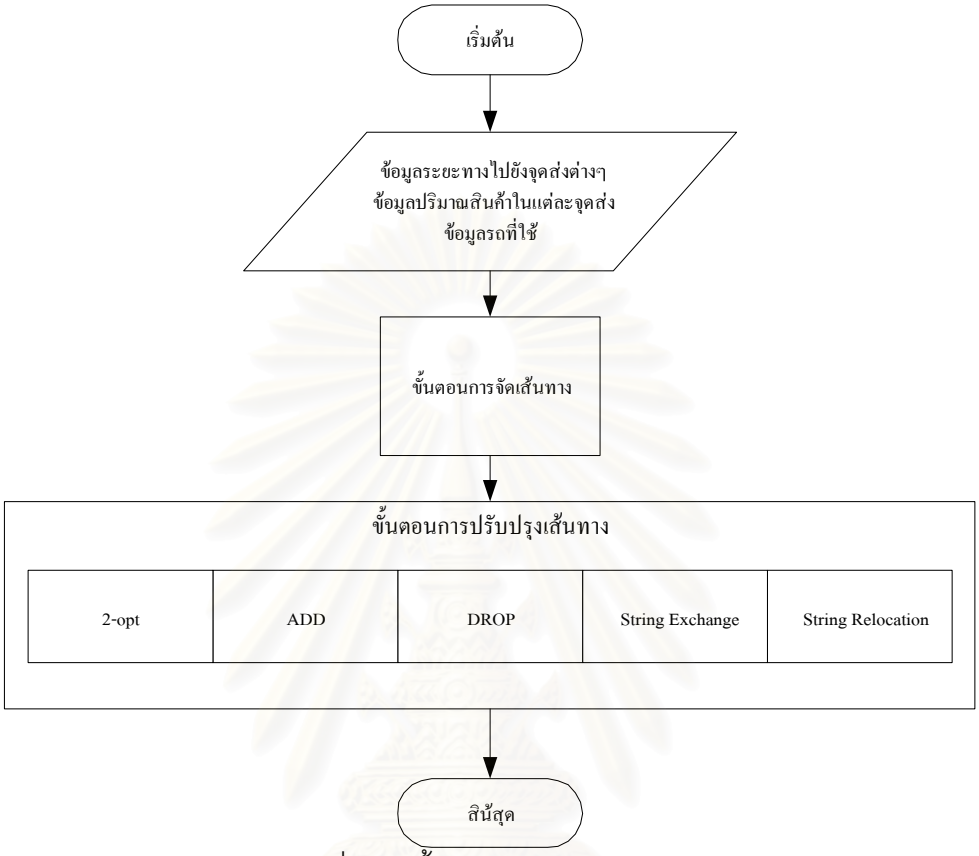
- การวิเคราะห์และบันทึกลงฐานข้อมูล
- การเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงฐานข้อมูล

5.3.1 การวิเคราะห์และบันทึกลงฐานข้อมูล

การพัฒนาระบบสำหรับการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถนี้ได้ออกแบบให้พนักงานสามารถมีส่วนร่วมในการปรับปรุงเส้นทางโดยผ่านการใช้ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เช่น ข้อมูลผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางและแผนภาพเส้นทางการเดินรถบนจอภาพ แต่ไม่อนุญาตให้พนักงานเข้ามาจัดเส้นทางเองทั้งหมด เพราะขั้นตอนการสร้างเส้นทางเบื้องต้นใช้เวลาจัดเส้นทางมากและมีโอกาสผิดพลาดได้ง่าย รูปที่ 5.12 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์เส้นทางที่อนุญาตให้พนักงานสามารถกระทำได้ คือ

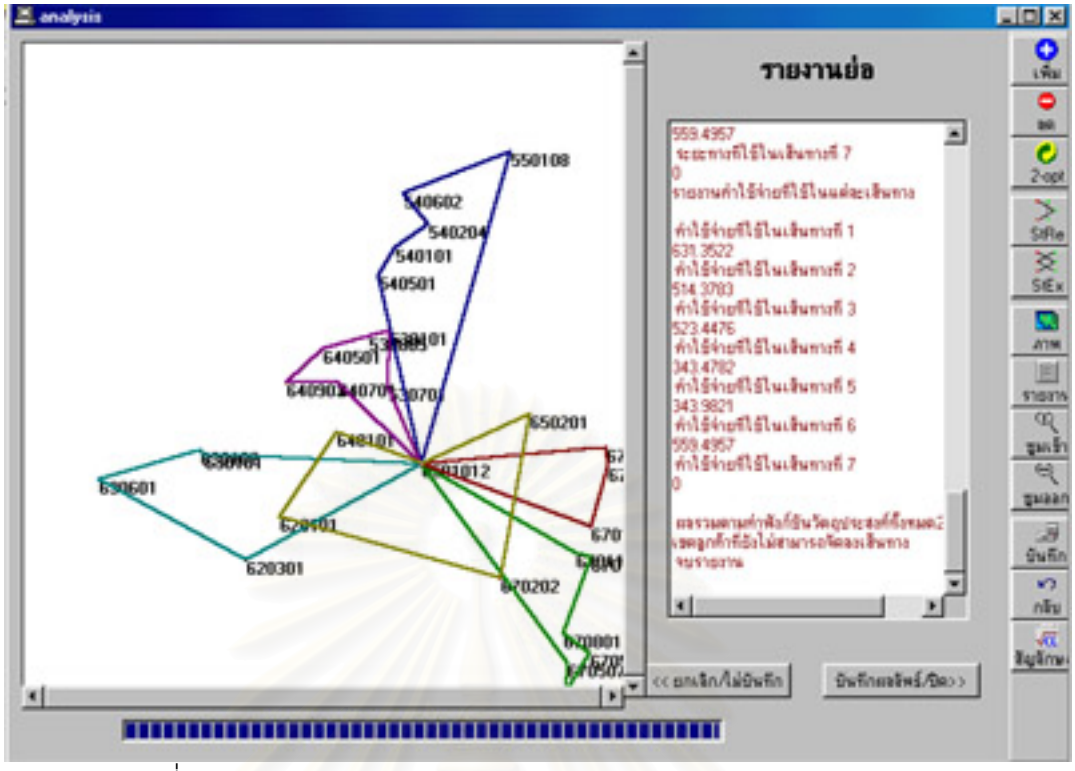
1. การเพิ่มจุดส่งลงในเส้นทาง
2. การลดจุดส่งออกจากเส้นทาง
3. การแลกเปลี่ยนลำดับการส่งภายในเส้นทาง
4. การแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทาง

5. การย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง



รูปที่ 5.12 ขั้นตอนการวิเคราะห์เส้นทาง

สำหรับการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และผู้ใช้ระบบจะกำหนดให้ติดต่อด้วยการป้อนข้อมูล เช่นการป้อนข้อมูลจุดส่งด้วยการใช้รหัสพื้นที่ และการป้อนข้อมูลพนักงานหรือรถที่ใช้ด้วยรหัสพนักงาน เป็นต้น ตัวอย่างของโปรแกรมปรากฏดังรูปที่ 5.13 และภายหลังจากที่พนักงานจัดเส้นทางพอใจกับเส้นทางที่เป็นผลลัพธ์แล้ว พนักงานจะบันทึกผลลัพธ์ซึ่งได้แก่ ข้อมูลระยะทาง ปริมาณสินค้า ลงในตารางข้อมูลประสิทธิภาพรถ ซึ่งได้แก่ เลขที่ผู้ส่งสินค้า ลำดับการส่งสินค้าลงในฐานข้อมูลในตารางข้อมูลสถานะบิล พร้อมทั้งเปลี่ยนสถานะของใบรายการสินค้าในตารางสถานะบิลล่าสุดจากสถานะจาก “0” “2” หรือ “4” เป็นสถานะ “1” ด้วย



รูปที่ 5.13 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์และปรับปรุงเส้นทาง

5.3.2 การเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงฐานข้อมูล

ในบางครั้งหลังจากการจัดเส้นทางเดินทางด้วยคอมพิวเตอร์แล้ว อาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงสถานะการขนส่งสินค้า เนื่องจาก

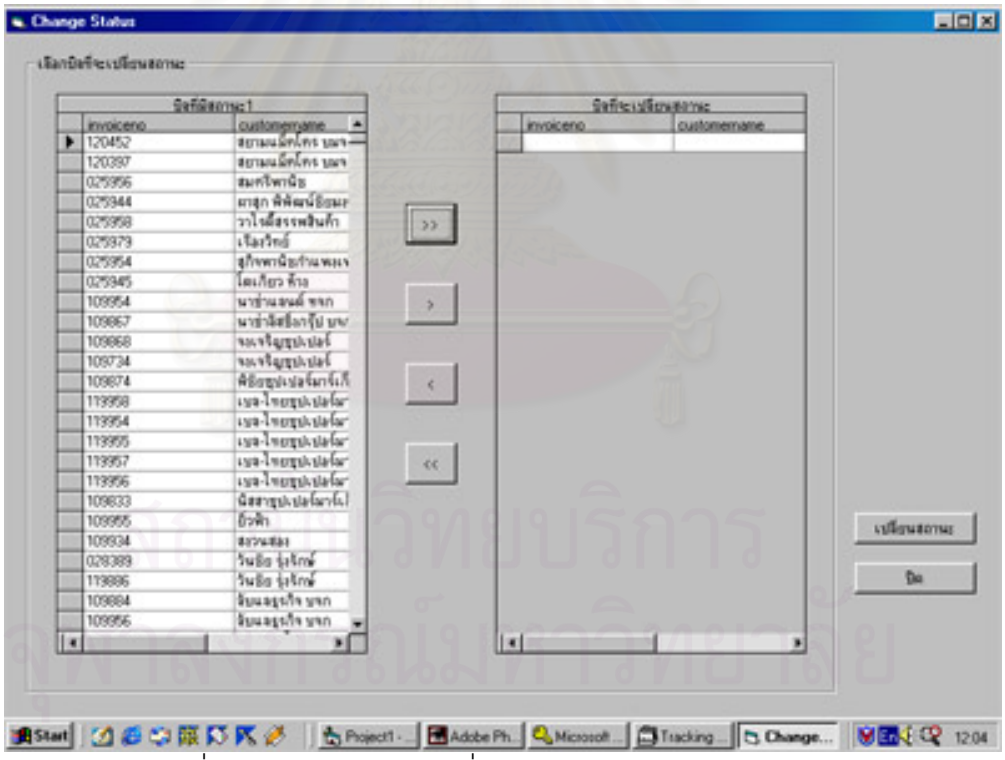
1. กรณีสินค้าไม่สามารถบรรทุกไปได้ เนื่องจากในสภาพจริง ขนาดรถอาจไม่ได้มาตรฐาน ลักษณะในการเรียงสินค้าที่ไม่แน่นอนของพนักงาน สินค้าหรือบรรจุภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน เป็นต้น ดังนั้นการเปลี่ยนสถานะบิลจึงต้องเปลี่ยนสถานะจาก สถานะ “1” เป็นสถานะ“2”

2. กรณีสามารถส่งสินค้าเสร็จเรียบร้อยและผู้รับสินค้าได้รับรองสินค้า ในกรณีนี้จะต้องเปลี่ยนสถานะจาก สถานะ “1” เป็นสถานะ“3”

3. กรณีไปส่งสินค้าแต่ไม่สามารถส่งสินค้าได้ อาจเกิดขึ้นเนื่องจาก ผู้รับสินค้าปฏิเสธการรับสินค้า ร้านปิด หรือปัญหาที่เป็นสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถส่งสินค้าได้ ในกรณีนี้จะต้องเปลี่ยนสถานะบิลจาก สถานะ “1” เป็นสถานะ“4”

แนวทางในการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเปลี่ยนแปลงสถานะบิลนี้สามารถกระทำได้ในทุกๆครั้งที่ต้องการโดยข้อมูลที่จะนำเข้า คือข้อมูลสถานะใบรายการสินค้าล่าสุดซึ่งมีสถานะเป็น “1” แล้วจึงเปิดโอกาสให้พนักงานสามารถเลือกใบรายการที่จะเปลี่ยนสถานะได้เองดังรูปที่ 5.14 แต่อย่างไรก็ตามในสภาพความเป็นจริงอาจมีการเปลี่ยนแปลงสถานะในกรณีอื่นๆที่นอกเหนือจากที่ระบุไว้ข้างต้น ทั้งนี้เพราะอยู่นอกเหนือจากความสามารถของโปรแกรมการจัดเส้นทาง ตัวอย่างปัญหา เช่น

- กรณีที่สามารถบรรทุกสินค้าได้เพิ่มเนื่องจากสินค้าที่จัดลงไม่เต็มคัน ในกรณีนี้จะต้องนำใบรายการสินค้าที่ต้องการส่งสินค้าไปมาเปลี่ยนสถานะจากเดิมมาเป็นสถานะ 1 พร้อมทั้งระบุผู้ขับ และลำดับการส่งด้วยตนเอง
- กรณีความผิดพลาดของพนักงานที่ป้อนข้อมูลผิดพลาด



รูปที่ 5.14 การแก้ไขและเปลี่ยนแปลงสถานะใบรายการสินค้า

แนวทางการแก้ไขปัญหานี้สามารถกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะที่ละใบรายการ โดยระบุเลขที่ใบรายการที่ต้องการแก้ไข และแก้ไขรายการต่อไป อนึ่งการพัฒนา

ระบบนี้ไม่อนุญาตให้มีการแก้ไขข้อมูลประสิทธิภาพของรถแม้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะบิล ทั้งนี้เพราะต้องการให้เก็บความผิดพลาดไว้ในฐานข้อมูลและเป็นการบันทึกสถิติ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันการแก้ไขข้อมูลซึ่งอาจเป็นเหตุให้ข้อมูลผิดพลาด

5.4 กระบวนการนำเสนอและสรุปผล

การนำเสนอข้อมูลและรายละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำเสนอได้หลายระดับตามความจำเป็นของผู้ที่ต้องการใช้ข้อมูล ซึ่งจากการศึกษาโปรแกรมที่ผ่านมาได้แบ่งการนำเสนอรายงานได้ 2 ระดับคือ (1) ระดับผู้บริหาร และ (2) ระดับผู้ปฏิบัติการ สำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งการนำเสนอโดยพิจารณาจากความจำเป็นและเปรียบเทียบกับรายงานที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อนำมาปรับปรุงให้ดีขึ้นดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบรายงานจากโปรแกรมอื่นและรายงานจากบริษัท

โปรแกรมจัดเส้นทางอื่นๆ	รายงานและเอกสารของบริษัทตัวอย่าง
- Dispatcher Summary	แสดงเฉพาะจำนวนบิล
- Executive Summary	ไม่มี
- Route Manifest	ไม่มี
-Route Manifest with overview map	ไม่มี
- Route Manifest with Map & Direction	ไม่มี
- Load Report	ใช้รายงานเดียวกับ Dispatcher Summary

หมายเหตุ

Dispatcher Summary : รายงานรายละเอียดเพื่อแจ้งให้แก่พนักงานขับรถทราบจำนวนบิล น้ำหนักและปริมาตรสินค้า

Executiver Summary : รายงานสรุปให้ผู้บริหาร โดยเน้นแสดงประสิทธิภาพของรถแต่ละคัน

Route Manifest : รายงานแจ้งให้พนักงานขับรถทราบเส้นทาง

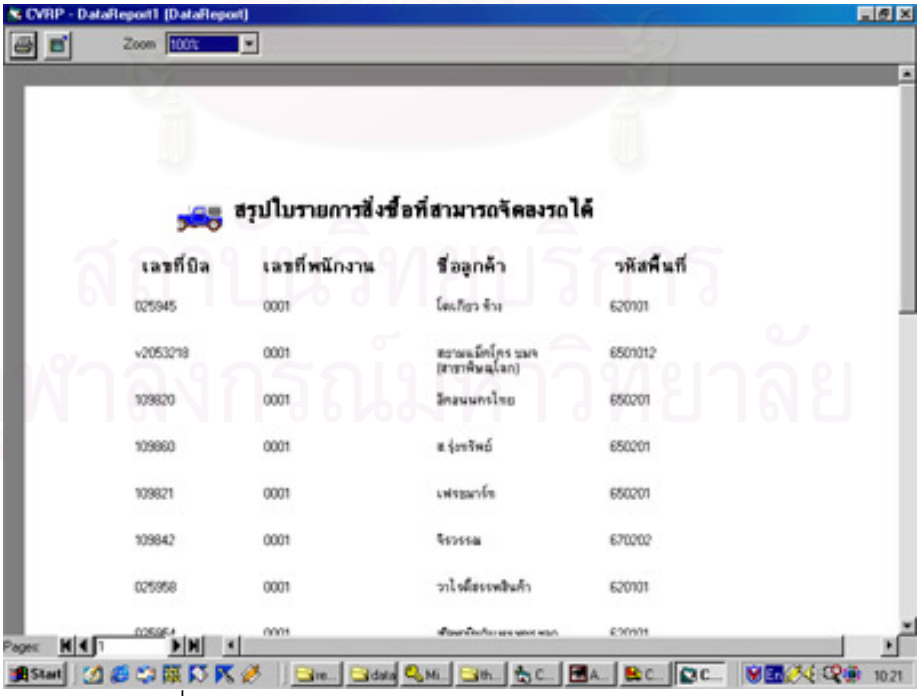
Load Report : รายงานแสดงสินค้าที่จะต้องนำขึ้นรถ

จากข้อมูลในตารางสามารถแบ่งรายงานเป็น 3 ส่วนโดยคำนึงถึงความจำเป็นเพื่อให้พนักงานสามารถได้รับทราบข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจรวมทั้งสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์รายได้ รายจ่ายต่อไป ดังนี้

ส่วนที่ 1 ชุดรายงานที่ใช้แสดงรายละเอียดของใบรายการสินค้าต่างๆ โดยรายงานที่เกี่ยวข้องได้แก่

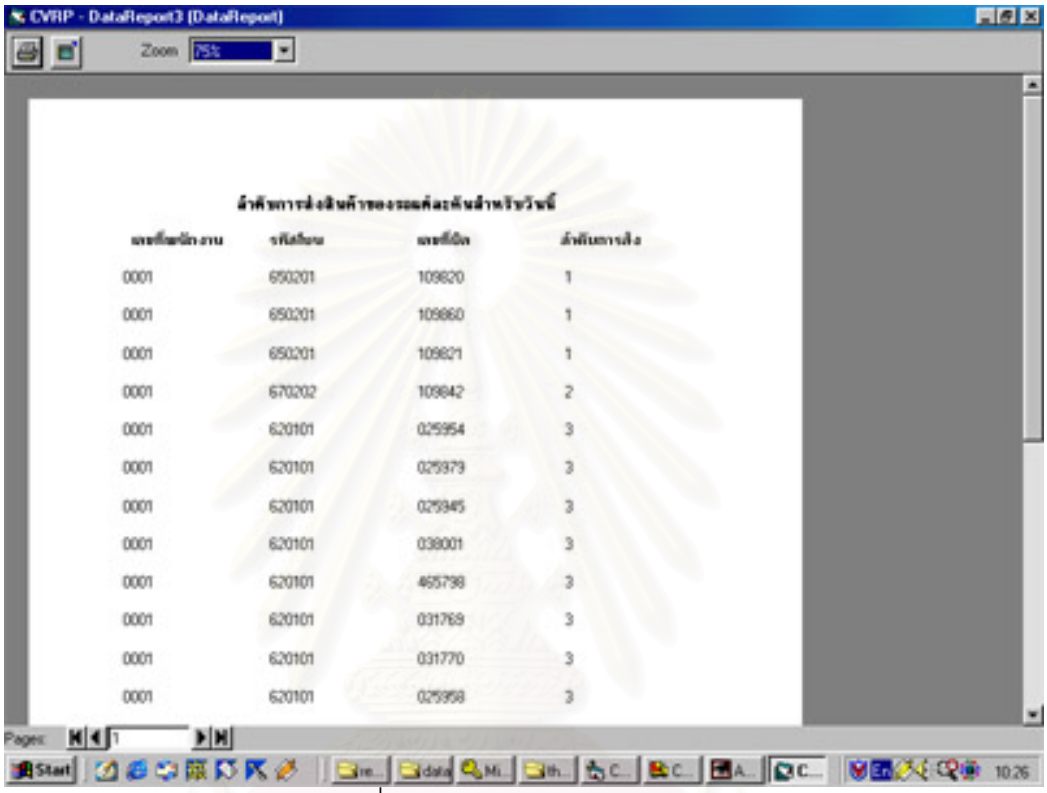
- รายงานใบรายการสินค้าที่สามารถจัดเส้นทางเดินรถได้ ซึ่งใช้แสดงรายละเอียดของ เลขที่ใบรายการสินค้า ชื่อผู้ส่งสินค้า และชื่อลูกค้าที่มีสถานะบิลเป็น “1”
- รายงานใบรายการสินค้าที่ไม่สามารถจัดเส้นทางเดินรถได้ ซึ่งใช้แสดงรายละเอียดของข้อมูล ซึ่งได้แก่ เลขที่ใบรายการสินค้า ชื่อลูกค้าที่มีสถานะบิลเป็น “0” “2” หรือ “4”
- รายงานใบรายการสินค้าที่สามารถส่งสินค้าได้เสร็จเรียบร้อยแล้วทั้งหมด ซึ่งแสดงรายละเอียดของข้อมูล เช่น เลขที่ใบรายการสินค้า วันที่เปลี่ยนสถานะเป็นสถานะเสร็จสิ้น (สถานะ “3”)

ตัวอย่างรายงานแสดงดังรูปที่ 5.15



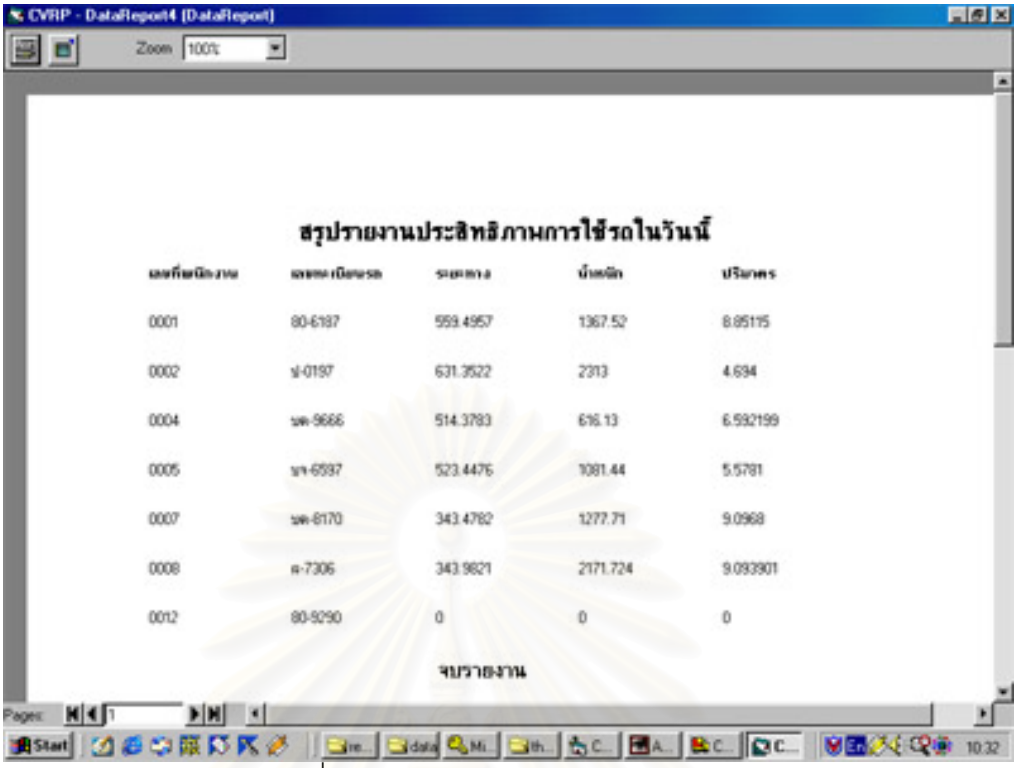
รูปที่ 5.15 รายงานแสดงรายละเอียดของใบรายการสินค้า

ส่วนที่ 2 รายงานการจัดเส้นทาง แสดงรายละเอียดผลลัพธ์สำหรับการส่งสินค้า โดยแบ่งตามพนักงานขับรถ และลำดับการส่งสินค้า และแสดงเลขที่ใบรายการสินค้าพร้อมกับชื่อลูกค้า ตัวอย่างรายงาน ตัวอย่างรายงานจัดเส้นทางแสดงได้ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 รายงานการจัดเส้นทาง

ส่วนที่ 3 รายงานประสิทธิภาพต่างๆ ซึ่งมีลักษณะคล้าย Dispatcher Summary และ Executive Summary รวมกันโดยรายละเอียดของรายงานสามารถแสดงได้ทั้งแบบวันต่อวัน และตามระยะเวลาที่ระบุ ซึ่งข้อมูลที่แสดงได้แก่ รหัสพนักงานขับรถ ระยะทาง น้ำหนักและปริมาตรสินค้าที่ต้องขนส่ง ตัวอย่างรายงานแสดงดังรูปที่ 5.17

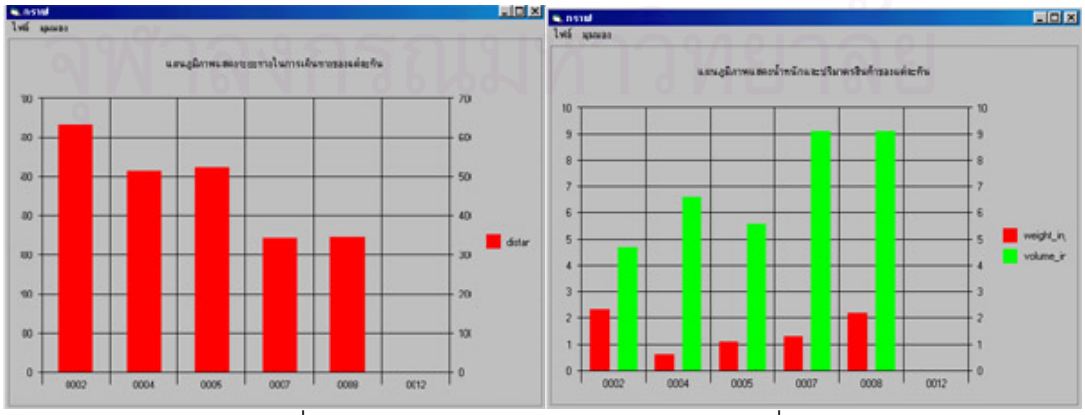


รูปที่ 5.17 รายงานประสิทธิภาพการใช้รถ

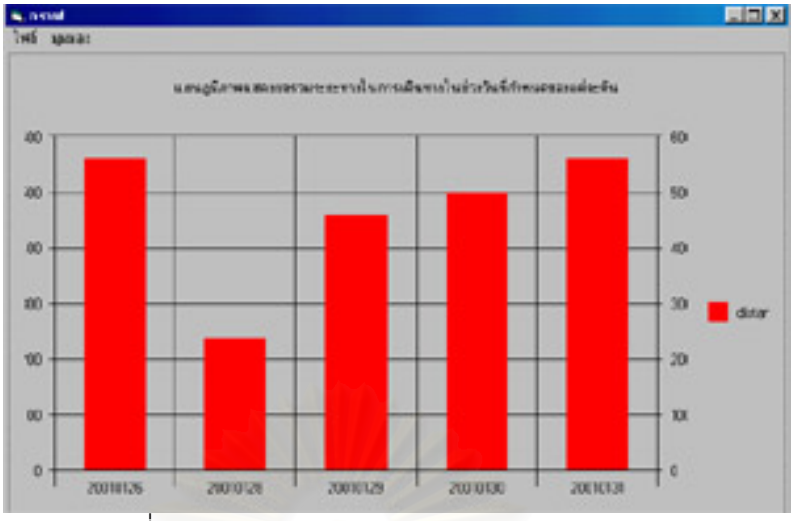
นอกจากนี้การแสดงผลลัพธ์ด้วยรายงานแล้วยังกำหนดให้สามารถแสดงผลลัพธ์ของประสิทธิภาพรถโดยใช้แผนภูมิภาพโดยแบ่งการนำเสนอเป็น 2 ส่วนคือ

1. การแสดงผลในวันที่ระบุ ซึ่งได้แก่ ข้อมูลประสิทธิภาพของรถในการขนส่งสินค้าของรถแต่ละคัน ตัวอย่างการนำเสนอข้อมูลปรากฏดังรูปที่ 5.18

2.การแสดงผลลัพธ์ตามช่วงเวลาที่ระบุ ซึ่งได้แก่ ข้อมูลประสิทธิภาพของรถในแต่ละวัน และระยะทางในการเดินทางในแต่ละวันของรหัสพนักงานขับรถที่ระบุ ตัวอย่างการนำเสนอปรากฏดังแสดงในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.18 แผนภูมิประสิทธิภาพของรถในวันที่ระบุ



รูปที่ 5.19 แผนภูมิประสิทธิภาพของรถตามช่วงเวลา

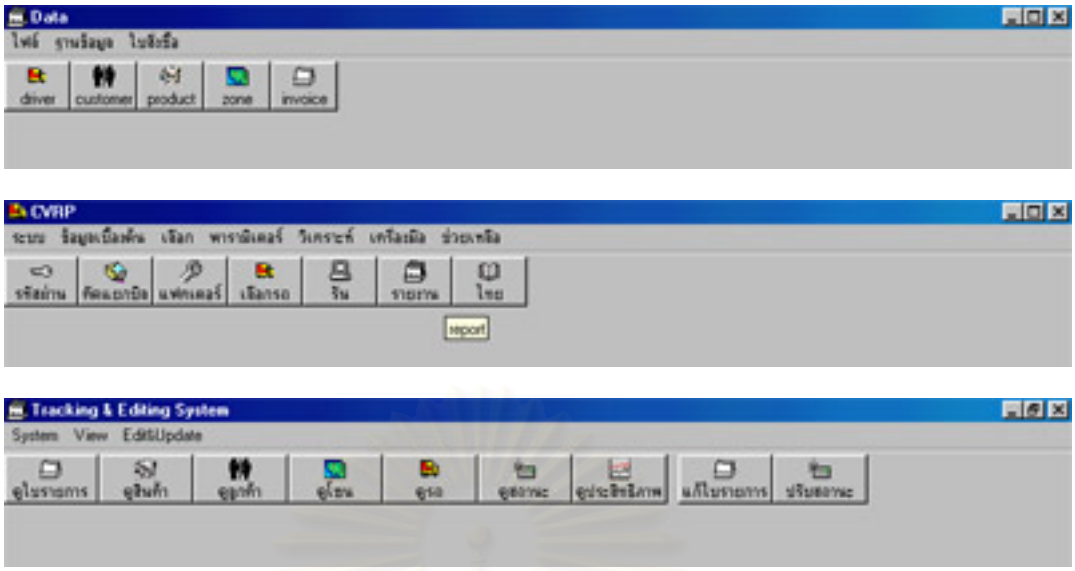
5.5 ข้อสรุปของโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถ

รายละเอียดของการพัฒนาโปรแกรมเพื่อการจัดเส้นทางที่ได้นำเสนอสามารถแบ่งโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถออกเป็น 3 ส่วน โดยคำนึงถึงหน้าที่ของพนักงานผู้ใช้ระบบและความสามารถของโปรแกรมในแต่ละส่วนซึ่งแตกต่างกัน ดังรูปที่ 5.19 ดังนี้

1. DATA ทำหน้าที่เตรียมข้อมูลนำเข้าสู่ฐานข้อมูลหลักและรายการธุรกรรม โดยกำหนดให้มีการเพิ่มข้อมูลและแก้ไขข้อมูลเท่านั้น ทั้งนี้เพราะการอนุญาตให้ลบข้อมูลออกจากฐานข้อมูลอาจมีโอกาสทำให้ข้อมูลเสียหายได้

2. CVRP ทำหน้าที่วิเคราะห์เส้นทางและการนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางเดินรถ

3. TS ทำหน้าที่ปรับเปลี่ยนสถานะและแก้ไขใบรายการสินค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้ในการติดตามสถานะใบรายการในอดีตและปัจจุบัน



รูปที่ 5.20 ส่วนต่างๆ ของโปรแกรมจัดเส้นทาง

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นโปรแกรมที่มุ่งวางแผนในการจัดเส้นทางและช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ โดยเปิดโอกาสให้พนักงานจัดเส้นทางเข้ามามีส่วนร่วมปรับปรุงเส้นทาง โดย DATA ใช้ฐานข้อมูล Microsoft Access และกำหนดให้ใบรายการทุกใบมีสถานะกำกับทุกครั้ง เพื่อป้องกันการนำใบรายการที่ถูกจัดลงในเส้นทางแล้วนำมาใช้จัดเส้นทางอีก รวมทั้งยังสามารถใช้ในการติดตามสถานะใบรายการและบันทึกประสิทธิภาพในการส่งสินค้าในแต่ละใบรายการ นอกจากนี้แล้วผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางของ CVRP สามารถให้ข้อมูลผ่านทางเครื่องพิมพ์ และส่งข้อมูลออก (Export) ที่โปรแกรม Microsoft Excel อย่างไรก็ตามโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีขอบเขตในการวิเคราะห์เส้นทางดังนี้

- วิเคราะห์การจัดเส้นทางจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว
- กำหนดจำนวนจุดส่งมากที่สุดได้ แต่ต้องไม่น้อยกว่า 1 จุดส่ง
- กำหนดประเภทรถที่ใช้ในการจัดเส้นทางได้มากที่สุด 3 ระดับ โดยมีข้อกำหนดการอนุญาตให้รถเข้าในแต่ละพื้นที่
- สามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางได้ เช่น ค่าปรับเพิ่มความจุ ค่าใช้จ่ายของการเดินทาง ค่าปรับระยะทาง เป็นต้น
- กำหนดให้พนักงานสามารถเลือกใช้รถตามความต้องการได้เอง
- วิเคราะห์การจัดเส้นทางโดยพิจารณาข้อจำกัดของ น้ำหนัก ปริมาตร จำนวนจุดส่ง และเงื่อนไขเขตการส่ง

- สามารถเลือกเส้นทางด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของระยะทางหรือค่าใช้จ่าย
- สามารถปรับเปลี่ยนลำดับการส่งและปรับปรุงเส้นทางโดยผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้ด้วยการให้รายละเอียดทางจอภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
การทดสอบระบบและการวิเคราะห์ผล

6.1 กรอบและกฎเกณฑ์ในการทดสอบ

ก่อนที่จะนำระบบที่พัฒนาไปประยุกต์ใช้ในงานจริง จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องจัดให้มีการทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้น โดยวิธีการทดสอบนั้นมีอยู่ 2 วิธี (Pressman, 1997) คือ (1 การทดสอบภายในระบบ (White-box Testing) ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบลักษณะที่อยู่ภายในของสิ่งที่กำลังทดสอบ (สิ่งที่กำลังทดสอบ ได้แก่ โมดูลที่กำลังพิจารณา กลุ่มของโมดูลที่กำลังพิจารณา และระบบสารสนเทศ) หรืออาจกล่าวได้ว่า การทดสอบดังกล่าวเป็นการทดสอบที่มุ่งเน้นโครงสร้างของโปรแกรมนั่นเอง และ (2 การทดสอบภายนอกระบบ (Black-box Testing) ซึ่งเป็นการทดสอบที่ไม่มุ่งเน้นลักษณะที่อยู่ภายในระบบ แต่ต้องการตรวจสอบถึงความถูกต้องของข้อมูลเข้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยไม่พิจารณาถึงโครงสร้างการเขียนโปรแกรมที่แฝงอยู่ภายในนั่นเอง

การศึกษานี้จะมุ่งเน้นที่จะทดสอบผลการจัดเส้นทางเท่านั้น โดยได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง ดังนี้

6.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องในระดับนี้เป็นการทดสอบเฉพาะในแต่ละส่วนย่อยของระบบแยกออกจากกัน โดยการนำโมดูลแต่ละโมดูลมาทำการทดสอบหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานของโมดูลดังกล่าว โดยจะทำการทดสอบทันทีที่ทำการเขียนโปรแกรมของโมดูลหนึ่งเสร็จสิ้น เนื่องจากขณะที่ทดสอบโมดูลหนึ่งนั้นโมดูลอื่นที่มีความสัมพันธ์กับโมดูลดังกล่าวอาจยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา การทดสอบสำหรับการศึกษานี้ได้จัดให้มีการทดสอบในระดับเบื้องต้นเท่านั้น คือ การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง และความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง ดังนี้

6.2.1 การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเฉพาะความถูกต้องของข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ โดยไม่ครอบคลุมการทดสอบฐานข้อมูล เพราะเป็นเรื่องที่ซับซ้อน และความผิดพลาดที่เกิดขึ้นมักไม่ได้เกิดขึ้นจากโครงสร้างของข้อมูล ถ้ากำหนดคุณสมบัติในแต่ละฟิลด์อย่างถูกต้อง การศึกษาในที่นี้มุ่งที่จะศึกษาเฉพาะความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานโดยเฉพาะการป้อนข้อมูลและการเรียกข้อมูลขึ้นมาใช้ใหม่เท่านั้น ดังนี้

1. ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการป้อนข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ในทุกโอกาส เช่น

- ข้อมูลเขตการส่ง ความผิดพลาดนี้อาจเกิดขึ้นเพราะ การป้อนข้อมูลผิด หรือการป้อนข้อมูลไม่ครบ โดยจะส่งผลกระทบต่อการสร้างเมตริกซ์ระยะทาง
- ข้อมูลลูกค้าและสินค้า ความผิดพลาดนี้อาจเกิดขึ้นเช่นเดียวกับความผิดพลาดของข้อมูลพื้นที่ โดยอาจทำให้ผลการวิเคราะห์การจัดเส้นทางมีความคลาดเคลื่อนออกไป
- ข้อมูลรายละเอียดใบรายการสินค้า ความผิดพลาดนี้อาจเกิดขึ้นได้มากครั้งกว่าข้อมูลๆ เนื่องจากพนักงานจะต้องพิมพ์ใบรายการเพื่อป้อนข้อมูลนี้มากสุด โดยความผิดพลาดอาจทำให้ผลการวิเคราะห์การจัดเส้นทางคลาดเคลื่อน

การควบคุมความถูกต้องในระดับนี้สามารถป้องกันได้เบื้องต้นด้วยการทดสอบเส้นทางและการไหลของข้อมูล โดยในเบื้องต้นสามารถออกแบบโปรแกรมเพื่อสกัดกั้นข้อมูลที่ผิดพลาดจากการป้อนข้อมูลผ่านไปได้ ด้วยการตรวจสอบข้อมูลก่อนบันทึกลงในฐานข้อมูลทุกครั้งและแจ้งเตือนถ้ามีข้อมูลซ้ำ

2. ความผิดพลาดจากการเรียกข้อมูลขึ้นมาใช้ สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าข้อมูลที่เรียกขึ้นมาเป็นข้อมูลที่ผ่านการใช้งานแล้ว จึงส่งผลให้ระบบที่พัฒนาเกิดความผิดพลาดและไม่สามารถวิเคราะห์เส้นทางได้ แนวทางในการป้องกันความผิดพลาดของการศึกษานี้ทำได้โดยการกำหนดสถานะของใบรายการสินค้าของทุกใบ เพื่อป้องกันการเรียกข้อมูลใบรายการซ้ำโดยเฉพาะในขั้นตอนการคัดแยกใบรายการและการเลือกใบรายการที่จะจัดเส้นทาง อย่างไรก็ตาม

การกำหนดสถานะนี้ก็ไม่สามารถกั้นความผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายใต้สถานการณ์ที่ไม่ปกติ เช่น การเปลี่ยนสถานะของใบรายการโดยไม่ผ่านการใช้โปรแกรมปรับเปลี่ยนสถานะ เป็นต้น

6.2.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง

เนื่องจากการศึกษานี้แบ่งโปรแกรมออกเป็น 3 ส่วนคือ DATA CVRP และ TS ซึ่งแต่ละส่วนจะประกอบด้วยโปรแกรมย่อยหลายส่วนประกอบกัน แต่การตรวจสอบความถูกต้องในแต่ละขั้นตอนของแบบจำลองได้กำหนดขึ้นให้มีเฉพาะในส่วนของ CVRP เท่านั้น เนื่องจาก โปรแกรมส่วนที่เหลือสามารถควบคุมความถูกต้องด้วยการควบคุมจากฐานข้อมูลได้ในระดับหนึ่ง รายละเอียดของขั้นตอนที่ต้องตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลองที่สำคัญได้แก่ การสร้างเส้นทางเบื้องต้น การปรับปรุงเส้นทางภายในและระหว่างเส้นทางและการปรับเส้นทางโดยตรง แต่ในส่วนของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทำผิดหรือข้ามขั้นตอน เช่น การไม่ได้เลือกใบรายการสินค้าก่อนการจัดเส้นทาง ฯลฯ สามารถแก้ไขได้ไม่ยากและไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการจัดเส้นทางอย่างรุนแรง ซึ่งวิธีที่เป็นที่นิยมใช้คือ การบังคับและการเตือนให้พนักงานผู้ใช้ระบบต้องปฏิบัติตามขั้นตอนในการจัดเส้นทางซึ่งระบบกำหนดไว้ เป็นต้น

<u>การสร้างเส้นทาง</u> การทดสอบนี้สามารถทำได้ด้วยการศึกษาเส้นทางการทำงานรวมทั้งตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน ซึ่งในที่นี้ได้ทดสอบด้วยการนำปัญหาที่ทราบผลลัพธ์ที่ถูกต้องแล้ว นำมาใช้ในการทดสอบและเปรียบเทียบคำตอบ และภายหลังจากการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้วยังจำเป็นต้องทดสอบในระดับที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อหาข้อบกพร่องของโปรแกรมที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งการทดสอบในระดับนี้มีรายละเอียดมาก นอกจากนี้การทดสอบดังกล่าวอาจทำไปได้พร้อมกับการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเทียบกับผลงานของการศึกษาที่ผ่านมาได้ด้วย

<u>การปรับปรุงภายในเส้นทาง</u> การตรวจสอบนี้มีลักษณะคล้ายกับการตรวจสอบการสร้างเส้นทาง แต่การทดสอบนี้ไม่ยุ่งยาก เนื่องจาก การทดสอบนี้สามารถคาดการณ์คำตอบได้ล่วงหน้า เพราะเส้นทางที่สามารถปรับปรุงได้ต้องทำให้ลำดับการส่งสินค้าใหม่ที่เกิดขึ้นให้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพไม่ด้อยกว่าลำดับการส่งแบบเดิม โดยลำดับเส้นทางที่ได้ต้องมีจำนวนจุดส่งเท่าเดิม นอกจากนี้ความจุสินค้าภายในเส้นทางต้องไม่เปลี่ยนแปลง การทดสอบนี้ได้กำหนดให้ทดสอบไปพร้อมกับการสร้างเส้นทาง

<u>การปรับปรุงระหว่างเส้นทาง</u> ซึ่งประกอบด้วย 2 รูปแบบ คือ String Exchange และ String Relocation โดยมีรายละเอียดดังนี้

- String Exchange การตรวจสอบนี้เป็นการตรวจสอบเส้นทางที่ต้องการแลกเปลี่ยนเส้นทาง โดยขั้นตอนการทดสอบที่สำคัญได้แก่ การตรวจสอบความถูกต้องในการคำนวณค่าประหยัดที่ได้จากการแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทาง ความถูกต้องของลำดับที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนจุดส่ง และปริมาณสินค้าของรถทั้งสอง
- String Relocation การตรวจสอบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับแบบแรก แต่ต้องเพิ่มการตรวจสอบจำนวนจุดส่งของเส้นทางที่เป็นเส้นทางที่จะรับจุดส่ง เพื่อไม่ให้มีจำนวนจุดส่งในเส้นทางเกินกว่าที่เป็นไปได้ การตรวจสอบสามารถทำได้โดยตรง โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการปรับปรุงต้องมีคุณภาพไม่ด้อยกว่าเส้นทางก่อนการปรับปรุง

การปรับเส้นทางโดยตรง ซึ่งประกอบด้วย 2 กลไก คือ การเพิ่มจุดส่งและการลดจุดส่ง โดยมีรายละเอียดในการตรวจสอบดังนี้

- การลดจุดส่ง การตรวจสอบนี้สามารถตรวจได้ทั้งความถูกต้องของลำดับเส้นทาง ความถูกต้องของปริมาณสินค้า และผลลัพธ์จากการปรับปรุง นอกจากนี้แล้วจุดส่งที่ลดจะต้องปรากฏเป็นจุดส่งที่ไม่สามารถส่งได้ (Status="False") โดยการทดสอบนี้ได้ทดสอบรวมถึงเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในกรณีสุดขั้ว คือ การทดลองให้ไม่มีลูกค้าอยู่ในเส้นทางเลย เพื่อตรวจสอบว่า (1 ไม่มีลำดับการส่งสินค้าในเส้นทางนั้น (2 ผลรวมปริมาณสินค้าในเส้นทางต้องเป็นศูนย์ และ (3 ระยะทางในการเดินทางของเส้นทางนั้นจะต้องเป็นศูนย์
- การเพิ่มจุดส่ง การตรวจสอบนี้สามารถตรวจสอบได้เช่นเดียวกับการลดจุดส่ง นอกจากนี้จะต้องตรวจสอบจุดส่งที่เพิ่มเข้าไปจะต้องมีสถานะที่ส่งได้ (Status="True") ด้วย สำหรับการทดสอบนี้จะได้ครอบคลุมกรณีสุดขั้ว ด้วยการทดลองให้เส้นทางมีจำนวนจุดส่งในเส้นทางถึงจุดส่งสูงสุดที่ยอมรับได้ เพื่อตรวจสอบว่าจะเพิ่มจุดส่งได้อีกหรือไม่

6.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง

ภายหลังจากที่แต่ละขั้นตอนได้ถูกทดสอบจนแน่ใจว่าไม่มีความผิดพลาดปรากฏให้เห็นแล้ว ในขั้นต่อมาจะเป็นการนำแต่ละขั้นตอนที่มีความสัมพันธ์กันมาเชื่อมต่อกันและทำการทดสอบอีกทีหนึ่ง เพื่อหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการรวมกันดังกล่าว โดยการทดสอบที่จะใช้ในการศึกษานี้จะทดสอบใน 2 รูปแบบ คือ การทดสอบผลลัพธ์จากแบบจำลองเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาอื่น และการทดสอบจากข้อมูลจริงที่มีอยู่ ซึ่งเป็นการทดสอบผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

การกำหนดตัวชี้วัดที่เหมาะสมเพื่อวัดคุณภาพของการจัดเส้นทางเดินรถเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากการวัดประสิทธิภาพ (Productivity) ของการจัดเส้นทางซึ่งสามารถวัดได้หลายวิธี และแต่ละวิธีก็จะให้ความหมายที่แตกต่างกัน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าตัวชี้วัดสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

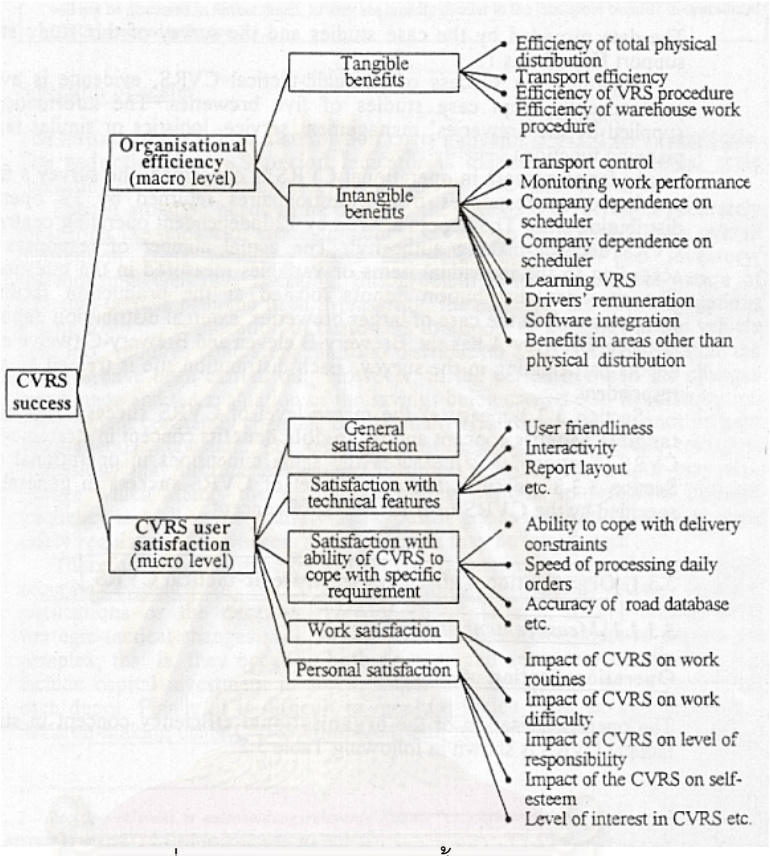
- การวัดในระดับมหภาค (Macro Level) การวัดในระดับนี้เป็นการวัดความสำเร็จที่เกิดขึ้นในระดับองค์กร นั่นคือผลสำเร็จที่ได้สามารถช่วยให้องค์กรได้รับผลประโยชน์ เช่น ประสิทธิภาพในการบริหารการขนส่งทั้งระบบดีขึ้นเนื่องจาก สามารถลดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการจัดเส้นทาง ค่าใช้จ่ายในการขนส่งขององค์กรลดลง เป็นต้น

- การวัดในระดับจุลภาค (Micro Level) การวัดในระดับนี้เป็นการวัดความสำเร็จที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทาง นั่นคือผลสำเร็จที่ได้จะสามารถช่วยให้ผู้ใช้ได้รับผลประโยชน์ เช่น สามารถทำงานได้รวดเร็ว สามารถทำให้ผู้ใช้งานสามารถใส่ใจวิเคราะห์ปัญหาได้มากขึ้น

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดเส้นทางด้วยเทคนิคต่างๆ สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยเทคนิคที่เลือกใช้เทียบกับผลลัพธ์จากการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เพื่อหาค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงนำค่าความแตกต่างที่ได้เปรียบเทียบกัน โดยเทคนิคที่ให้ค่าความแตกต่างเมื่อเทียบกับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมมีค่าน้อยสุด จะเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางที่ดีกว่า

สำหรับการศึกษานี้ไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละเทคนิคเทียบกับผลลัพธ์จากวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจาก ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางที่ให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดไม่สามารถคำนวณหาได้ง่าย เพราะปัญหามีความซับซ้อน

ดังนั้นการศึกษานี้จึงต้องเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดเส้นทางของแบบจำลองด้วยการเทียบกับวิธีอื่นๆ แทน โดยในการศึกษานี้จะเลือกวัดประสิทธิภาพในบางวิธีเท่านั้น เพราะผู้ประกอบการยังไม่เคยมีประสบการณ์ในการใช้เทคนิคที่พัฒนาขึ้น ดังนี้



รูปที่ 6.1 การวัดผลและตัวชี้วัดในระดับต่างๆ

ที่มา : Eibl(1996)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>ระยะทาง</u>

การใช้ระยะทางในการขนส่งเป็นตัววัดประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากระยะทางสามารถใช้แทนต้นทุนการขนส่ง โดยผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางที่มีระยะทางในการขนส่งมากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีอื่น แสดงว่า เส้นทางที่มีระยะทางมากกว่ามีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอื่น แนวทางในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระยะทางโดยทั่วไปสามารถดำเนินการได้ดังนี้

1 หาผลต่างของระยะทางในการขนส่งด้วยเทคนิคต่างๆ เทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

2. หาสัดส่วนของระยะทาง ($diff$) โดยการถ่วงน้ำหนักของผลต่างที่ได้จากขั้นแรกด้วยผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังสมการที่ (6-1) เพื่อนำไปใช้เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางสำหรับปัญหาอื่น

$$diff = \frac{d - d_{opt}}{d_{opt}} \qquad (6\text{-}1)$$

โดยที่

d เท่ากับ ระยะทางในการขนส่งด้วยเทคนิคต่างๆ

d_{opt} เท่ากับ ระยะทางในการขนส่งด้วยวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)

3. เปรียบเทียบผลลัพธ์จากสมการที่ (6-1) ของแต่ละเทคนิค โดยเทคนิคที่ให้ค่าน้อยกว่าแสดงว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากสุด

แต่การศึกษานี้ไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงต้องกำหนดวิธีการหาคำตอบใหม่ ด้วยการเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการของแบบจำลองเทียบกับวิธีที่ต้องการเปรียบเทียบ หลังจากนั้นจึงวัดประสิทธิภาพของระยะทางโดยการถ่วงค่าความแตกต่างด้วยการหารด้วยค่าระยะทางที่ต้องการเปรียบเทียบแทน

<u>ค่าเฉลี่ยการใช้ประโยชน์ (Utilization)</u>

การเลือกค่าการใช้ประโยชน์เป็นตัวชี้วัดนั้นแสดงให้เห็นว่า การจัดเส้นทางขนส่งของรถในแต่ละวิธีมีการใช้ประโยชน์ของความจุของรถได้เต็มที่มากน้อยเพียงไร โดยถ้าวิธีการใดที่สามารถให้ค่าการใช้ประโยชน์สูงแสดงว่า วิธีดังกล่าวทำให้รถที่จัดเส้นทางปริมาณสินค้าใกล้เคียงกับความจุ นั่นคือ สามารถใช้ความจุของรถได้คุ้มค่า ซึ่งในบางครั้งอาจพบว่าวิธีที่ให้ผลรวมของระยะทางในการขนส่งมีค่าน้อยแต่อาจมีค่าการใช้ประโยชน์ต่ำก็ได้เนื่องจากใช้จำนวนรถมากกว่า

ผลคูณของระยะทางกับจำนวนรถที่ใช้

ค่าดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางเดินรถมีประสิทธิภาพในระดับใด เนื่องจากหากระยะทางที่ใช้ในการเดินทางหรือจำนวนรถที่ใช้มีค่ามากจะทำให้ค่าดังกล่าวสูงขึ้นอย่างมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การจัดเส้นทางดังกล่าวไม่มีประสิทธิภาพ

อนึ่งสำหรับเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาในการจัดเส้นทางนี้จะไม่ได้นำมาเป็นส่วนหนึ่งของตัวชี้วัดเนื่องจาก การวัดเวลาดังกล่าวไม่สามารถกระทำได้ง่าย เพราะเวลาที่ใช้ในการจัดเส้นทางของพนักงานรวมตั้งแต่การเตรียมข้อมูล การวิเคราะห์และการเขียนรายงาน ดังนั้นหากใช้เวลาเป็นตัวชี้วัดจะทำให้การทดสอบเกิดความลำเอียงได้

6.3.1 การทดสอบผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับการศึกษาอื่นที่ผ่านมา

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา โดยการทดสอบนี้จะแบ่งขั้นตอนของการทดสอบเป็น 3 ส่วน คือ

- การทดสอบด้วยการใช้เทคนิคการหาค่าประหยัด โดยให้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดเส้นทาง
- การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง ภายหลังจากการใช้เทคนิคการประหยัดโดยให้พนักงานผู้ใช้เป็นผู้กำหนดเส้นทางที่ต้องการสลับลำดับการส่งสินค้า
- การปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง ภายหลังจากการปรับปรุงลำดับการส่งโดยให้พนักงานผู้ใช้เป็นผู้ตัดสินใจที่จะปรับปรุงเส้นทาง

อนึ่งวิธีการปรับปรุงเส้นทางในสองวิธีหลังอาจให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันได้ เนื่องจากวิธีการที่ใช้เป็นวิธีการทดลองสุ่มซึ่งขึ้นอยู่กับประสบการณ์ของพนักงาน และข้อจำกัดในการขนส่ง

6.3.1.1 ข้อมูลและสมมติฐานในการทดสอบ

การทดสอบในครั้งนี้ใช้ชุดข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา เพื่อใช้ในการทดสอบซึ่งรวบรวมโดย A Traveling Salesman Problem Library (TSPLIB) ซึ่งให้บริการดาวน์โหลดข้อมูลเพื่อใช้ทดสอบแบบจำลองการจัดเส้นทางผ่านทางอินเตอร์เน็ต[1] โดยข้อมูลที่สำคัญได้แก่

1. NODE แทนชื่อของจุดส่งต่างๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดย NODE ที่ 1 แทนศูนย์กระจายสินค้า
2. X,Y แทนพิกัดทางแกน x และทางแกน y ตามลำดับ
3. d แทน ปริมาณสินค้าที่ต้องส่งในแต่ละจุดส่ง

สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกข้อมูลจำนวน 11 ชุด ซึ่งมาจากผลการศึกษาด้วยการใช้เทคนิคในการจัดเส้นทางหลายวิธี เช่น Branch & Cut ฯลฯ โดยมีข้อกำหนดสำหรับการจัดเส้นทางดังนี้

- กำหนดให้ใช้รถได้เพียงขนาดเดียว และรถสามารถส่งสินค้าได้เพียงเที่ยวเดียว
- ระยะทางที่ใช้ในการจัดเส้นทางเป็นระยะทางเส้นตรง
- ไม่จำกัดจำนวนจุดส่งมากสุดที่จะใช้ในการจัดเส้นทาง

6.3.1.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบ

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงได้ในภาคผนวก ค และ ตารางที่ 6.1 แสดงผลลัพธ์ที่สรุปได้จากการศึกษา ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางโดยด้วยการใช้เทคนิคการหาค่าประหยัดเท่านั้น พบว่า วิธีนี้สามารถให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางได้ดี หากจำนวนลูกค้ามีไม่มากนัก แต่ผลลัพธ์จะด้อยลงถ้ามีจำนวนจุดส่งมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการหาค่าประหยัดจะให้เส้นทางมีการใช้จำนวนรถมากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาด้วยเทคนิคอื่นๆ

2. เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการปรับปรุงเส้นทางด้วย 2-opt พบว่า วิธีนี้ไม่สามารถปรับปรุงลำดับการส่งในเส้นทางได้มากนัก (ดีขึ้นประมาณร้อยละ 1 เท่านั้น)

[1] http://elib.zib.de/pub/packages/mp-testdata/tsp/tsplib

เนื่องจากการปรับปรุงด้วยวิธีนี้ถูกจำกัดด้วยลักษณะของเส้นทางเบื้องต้น ซึ่งมีจำนวนจุดส่งในเส้นทางไม่มาก ดังนั้นจึงมีโอกาสในการปรับปรุงเส้นทางน้อย

ตารางที่ 6.1 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมา

วิธีการจัดเส้นทาง	ชื่อปัญหา		eil22	eil23	eil30	eil33	eil51	eila101	eila76	eilb101	eilb76	eilc76	eild76
	จำนวนจุดส่ง		22	23	30	33	51	101	76	101	76	76	76
	ปริมาณสินค้า		22,500	10,189	12,750	29,370	777	1,458	1,364	1,458	1,364	1,364	1,364
	ความจุรถ		6,000	4,500	4,500	8,000	160	200	140	112	100	180	220
การศึกษาอื่น	ผลลัพธ์ 1	จำนวนรถที่ใช้	4	5	3	4	5	8	10	14	15	8	7
		ระยะทางที่ใช้	585	875	575	910	521	825	847	1,114	1,058	745	692
		Utilization	0.938	0.453	0.944	0.918	0.971	0.911	0.974	0.93	0.909	0.947	0.886
แบบจำลองที่พัฒนา	ผลลัพธ์ 2	จำนวนรถที่ใช้	5	5	4	4	6	8	11	15	15	9	7
		ระยะทางที่ใช้	459	709	562	917	625	998	931	1,229	1,135	886	803
		Utilization	0.750	0.453	0.708	0.918	0.809	0.911	0.886	0.868	0.909	0.842	0.886
		Diff1(%)	-22	-19	-2	1	20	21	10	10	7	19	16
		Diff2(%)	-2	-19	30	1	44	21	21	18	7	34	16
	ผลลัพธ์3	จำนวนรถที่ใช้	5	5	4	4	6	8	11	15	15	9	7
		ระยะทางที่ใช้	455	709	562	911	619	995	921	1,227	1,134	876	796
		Utilization	0.750	0.453	0.708	0.918	0.809	0.911	0.886	0.868	0.909	0.842	0.886
		Diff1(%)	-22	-19	-2	0	19	21	9	10	7	18	15
		Diff2(%)	-3	-19	30	0	43	21	20	18	7	32	15
	ผลลัพธ์ 4	จำนวนรถที่ใช้	4	3	3	4	5	8	11	14	15	8	7
		ระยะทางที่ใช้	396	625	564	856	582	970	909	1,188	1,084	768	756
		Utilization	0.938	0.755	0.944	0.918	0.971	0.911	0.886	0.930	0.909	0.947	0.886
		Diff1(%)	-32	-29	-2	-6	12	18	7	7	2	3	9
		Diff2(%)	-32	-57	-2	-6	12	18	18	7	2	3	9

หมายเหตุ

ผลลัพธ์ 1 = ผลลัพธ์จากผลงานที่ผ่านมา

ผลลัพธ์ 2 = ผลลัพธ์จากวิธีการหาค่าประหยัด

ผลลัพธ์ 3 = ผลลัพธ์จากวิธีการหาค่าประหยัดและ 2opt

ผลลัพธ์ 4 = ผลลัพธ์จากวิธีการหาค่าประหยัด 2opt และ Global Improvement

Diff1(%)= ค่าร้อยละของความแตกต่างระหว่างระยะทางเทียบกับผลงานที่ผ่านมา

Diff2(%)= ค่าร้อยละของความแตกต่างระหว่างผลคูณระยะทางกับจำนวนรถเทียบกับผลงานที่ผ่านมา

3. ประสิทธิภาพในการปรับปรุงด้วยการย้ายหรือแลกจุดส่งระหว่างเส้นทาง สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางได้ดีขึ้นมาก แต่อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวอาจต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์มาก เนื่องจากเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงเป็นวิธีการทดลองสุ่ม

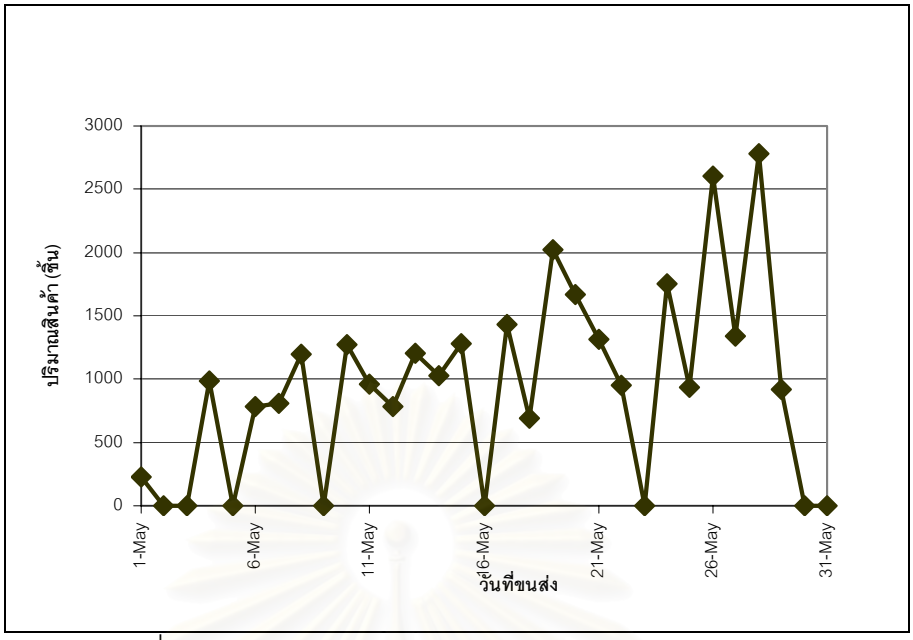
จากการทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองเทียบกับการศึกษาอื่นๆ ที่ผ่านมาได้ข้อสรุปว่า แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางใกล้เคียงกับการศึกษาที่ผ่านมา แต่วิธีการจัดเส้นทางของแบบจำลองให้ผลด้อยกว่าเมื่อมีจำนวนจุดส่งมากขึ้น

6.3.2 การทดสอบแบบจำลองกับสภาพจริง

การทดสอบแบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองในสภาพจริงเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถในปัจจุบัน โดยวัดผลสัมฤทธิ์ด้วยค่าของระยะทาง การใช้ประโยชน์ รวมทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่งซึ่งพิจารณาเฉพาะค่าน้ำมัน โดยแบ่งการทดสอบแบบจำลองออกเป็น 3 ส่วนเช่นเดียวกับการทดสอบกับการศึกษาที่ผ่านมา นอกจากนี้แล้วการศึกษานี้จะศึกษาเทคนิคในการจัดเส้นทางของพนักงาน และเปรียบเทียบกับเทคนิคในการจัดเส้นทางด้วยคอมพิวเตอร์อีกด้วย รายละเอียดการทดสอบมีดังนี้

6.3.2.1 ข้อมูลและสมมติฐานในการทดสอบ

การทดสอบนี้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมเอกสารของบริษัท ซึ่งได้แก่ รายการสินค้าที่ต้องส่งสำหรับลูกค้าแต่ละราย รายงานผลการจัดสินค้าของหัวหน้าศูนย์ และให้พนักงานขนส่งจัดทำใบรายงานลำดับการส่งสินค้าและบันทึกระยะทางในการเดินทางในแต่ละเที่ยว โดยผู้วิจัยสุ่มวันที่จะใช้ทดสอบในแต่เดือน เนื่องจากพฤติกรรมความต้องการสินค้ามีค่าผันแปรในแต่ละวัน ดังรูปที่ 6.2 ซึ่งกำหนดช่วงของการทดสอบเป็นระยะเวลา 3 เดือน โดยแต่ละเดือนจะเก็บข้อมูลประมาณ 1-2 วัน ซึ่งเน้นช่วงปลายเดือน 2 ครั้ง ต้นเดือน 1 ครั้ง และกลางเดือนอีก 1 ครั้ง เพื่อให้ข้อมูลที่ได้คละกันไป



รูปที่ 6.2 พฤติกรรมความต้องการสินค้าในระยะเวลา 1 เดือน

การทดสอบนี้ได้เพิ่มตัววัดประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการขนส่งเฉพาะค่าน้ำมันรถ ซึ่งมีค่าแปรผันกับระยะทางและประเภทรถ ดังตารางที่ 6.2 โดยเป็นข้อมูลที่ได้จากผู้ประกอบการขนส่ง การทดสอบนี้ได้กำหนดสมมติฐานและเพิ่มข้อกำหนดบางประการดังนี้

1. รถที่จะใช้ในการทดสอบจะเป็นรถที่พร้อมสำหรับการให้บริการเท่านั้น โดยในที่นี้กำหนดให้ใช้รถได้ไม่เกินจำนวนรถที่พนักงานจัดในแต่ละวัน เพื่อไม่ให้เกิดความลำเอียงในการวิเคราะห์

2. กำหนดค่าปรับแก้ระยะทาง (Scaling Factor) ที่จะใช้ปรับระยะทางเส้นตรงที่ได้จากการคำนวณมาเป็นระยะทางจริงโดยประมาณมีค่าเท่ากับ 1.3 โดยค่าดังกล่าวได้จากการสำรวจข้อมูลในบทที่ 3 และค่าปรับน้ำหนักและปริมาตรมีค่าเท่ากับ 1.0 แต่ค่าดังกล่าวสามารถปรับปรุงได้โดยให้ผู้ใช้ระบบเปลี่ยนแปลงโดยตรง

3. กำหนดให้แต่ละเส้นทางมีจำนวนจุดส่งที่สามารถส่งได้ไม่เกิน 10 จุด เพราะคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์อาจขัดกับความจริงเพราะมีจุดส่งมากเกินไป

4. ระยะทางในการขนส่งของวิธีการในปัจจุบันและวิธีของแบบจำลองได้จากการคำนวณโดยตรงโดยพิจารณาเฉพาะระยะทางในการขนส่งระหว่างเขตการส่ง เท่านั้น

ตารางที่ 6.2 ค่าใช้จ่ายน้ำมันในการขนส่งสินค้า

ประเภทรถ	1(เล็ก)	2(กลาง)	3(ใหญ่)
ค่าใช้จ่าย (บาทต่อกิโลเมตร)	1.5	2.89	3.25

หมายเหตุ : ค่าใช้จ่ายคิดจากราคาน้ำมันดีเซลประมาณ 13 บาทต่อลิตร

6.3.2.2 ขั้นตอนและผลลัพธ์จากการทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบแบบจำลองมีดังนี้

1. พนักงานผู้ใช้ระบบทดลองใช้รถเล็กในการจัดเส้นทางเดินรถ เพื่อตรวจสอบว่าลำดับในการจัดรถใดที่สมควรที่จะใช้รถขนาดใหญ่ เพื่อให้ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางมีค่าดีสุดและสามารถใช้รถได้คุ้มค่ามากสุด

2. พนักงานผู้ใช้ปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทางของทุกเส้นทางด้วยวิธี 2-opt

3. พนักงานผู้ใช้ทดลองสุ่ม (Trial & Error) ย้ายหรือแลกจุดส่งระหว่างเส้นทาง โดยพิจารณาว่าเส้นทางใดที่ควรปรับปรุงดังนี้

- เลือกเส้นทางสองเส้นทางที่อยู่ใกล้กันและมีความจุของรถพอที่จะย้ายหรือแลกจุดส่งได้
- เลือกเส้นทางที่มีปริมาณสินค้าน้อยกับเส้นทางที่อยู่ใกล้กับเส้นทางนั้นเพื่อย้ายจุดส่งไปเส้นทางใหม่

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนากับสภาพจริงสามารถแสดงได้ในภาคผนวก ง โดยข้อสรุปของผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยการใช้ระยะทางเป็นตัวชี้วัดปรากฏดังตารางที่ 6.3 และรูปที่ 6.3 ซึ่งสามารถสรุปผลลัพธ์ได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัดโดยเปรียบเทียบกับวิธีการจัดลำดับการส่งด้วยพนักงาน พบว่า การจัดเส้นทางด้วยการหาค่าประหยัดให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบเดิม แต่อย่างไรก็ตามในบางสถานการณ์ โดยเฉพาะในกรณีที่สินค้าในบางเขตการส่งมีปริมาณมากจนทำให้เกินความจุของรถเล็ก (ประเภท 1) เช่น ในกรณีปัญหาที่ “2309” ซึ่งแบบจำลองให้ผลลัพธ์ด้อยกว่าการจัดเส้นทางด้วยพนักงาน

ตารางที่ 6.3 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับการจัดด้วยพนักงานโดยใช้ระยะทาง

ชื่อปัญหา			2708	2808	0909	1009	2309	1611	1711	1711NEW	1811
จำนวนจุดส่ง			39	15	37	28	43	32	21	21	27
ผลลัพธ์ 1	จำนวนรถที่ใช้	Type1	6	2	7	6	7	5	5	5	6
		Type2	1	1	1	1	2	1	0	0	0
		Type3	1	1	1	0	1	1	0	0	0
	ระยะทางที่ใช้		3,857	1,595	3,289	2,838	4,010	3,450	1,191	1,191	2,257
ผลลัพธ์ 2	จำนวนรถที่ใช้	Type1	*	2	*	6	*	5	4	5	6
		Type2	*	1	*	1	*	1	0	0	0
		Type3	*	1	*	0	*	0	0	0	0
	ระยะทางที่ใช้		*	1,703	*	2,576	*	2,916	986	1,185	2,352
	Difference(%)		*	7	*	-9	*	-15	-17	-1	4
ผลลัพธ์3	จำนวนรถที่ใช้	Type1	*	2	*	6	*	5	4	5	6
		Type2	*	1	*	1	*	1	0	0	0
		Type3	*	1	*	0	*	0	0	0	0
	ระยะทางที่ใช้		*	1,703	*	2,521	*	2,915	984	1,185	2,288
	Difference(%)		*	7	*	-11	*	-16	-17	-1	1
ผลลัพธ์ 4	จำนวนรถที่ใช้	Type1	5	1	6	6	7	6	4	5	6
		Type2	1	1	1	1	2	0	0	0	0
		Type3	1	1	1	0	1	0	0	0	0
	ระยะทางที่ใช้		3,788	1,309	3,364	2,390	4,649	2,632	984	1,174	2,014
	Difference(%)		-2	-18	2	-16	16	-24	-17	-1	-11

หมายเหตุ

ผลลัพธ์ 1 = ผลลัพธ์จากพนักงาน

ผลลัพธ์ 2 = ผลลัพธ์จากวิธีการหาค่าประหยัด

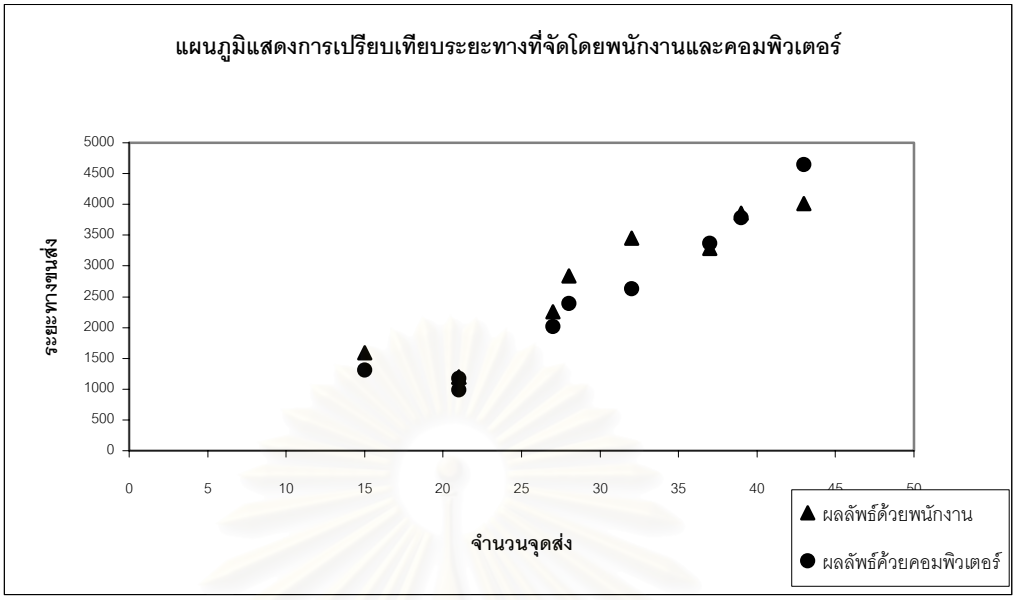
ผลลัพธ์ 3 = ผลลัพธ์จากวิธีการหาค่าประหยัดและ 2opt

ผลลัพธ์ 3 = ผลลัพธ์จากวิธีการหาค่าประหยัด 2opt และ Global Improvement

Difference(%)= ค่าร้อยละของความแตกต่างระหว่างระยะทางเทียบกับพนักงาน

* = ไม่สามารถจัดได้ครบทุกจุดส่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 แผนภูมิการเปรียบเทียบระยะทางแบบเดิมกับคอมพิวเตอร์

2. การจัดเส้นทางด้วยการหาค่าประหยัดมีแนวโน้มที่ใช้รถจำนวนมากกว่าการจัดเส้นทางด้วยพนักงาน เช่น ปัญหา “2708” “0909” และ “2309” ซึ่งไม่สามารถจัดเส้นทางได้ครบทุกจุดส่ง

3. เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทางด้วย 2-opt พบว่า วิธีนี้ไม่สามารถปรับปรุงลำดับการส่งให้ดีขึ้น

4. แบบจำลองการปรับปรุงด้วยการแยกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทางสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางได้มาก ยกเว้นในกรณีของปัญหา “2309“ ซึ่งไม่สามารถปรับปรุงให้เส้นทางดีขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากมีข้อจำกัดของเขตการส่งซึ่งในบางเขตมีปริมาณสินค้าสูงมากจนกระทบต่อการจัดเส้นทาง

เมื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีอื่น เช่น ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง(เฉพาะน้ำมัน) ค่าการใช้ประโยชน์ของน้ำหนักและปริมาตร ดังตารางที่ 6.4 จะเห็นได้ว่า

ตารางที่ 6.4 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับการจัดด้วยพนักงานด้วยตัวชี้วัดอื่น

ชื่อปัญหา		2708	2808	0909	1009	2309	1611	1711	1711NEW	1811
จำนวนจุดส่ง		39	15	37	28	43	32	21	21	27
W		20,812	11,519	22,967	16,303	25,625	8,827	5,992	5,992	8,397
V		58.21	61.29	73	44	138.3	43	23.26	23.26	48.73
Manual	ระยะทาง	3,857	1,595	3,289	2,838	4,010	3,450	1,191	1,191	2,257
	ค่าใช้จ่าย	7,488	3,782	6,255	4,706	8,429	6,959	1,638	1,778	3,387
	CapW	26,660	16,900	29,100	20,320	34,780	24,220	12,200	12,200	14,640
	CapV	112.16	75.76	121.26	78.52	145.18	103.06	45.5	45.5	54.6
	Utilization W	0.78	0.68	0.79	0.80	0.74	0.36	0.49	0.49	0.57
	Utilization V	0.52	0.81	0.60	0.56	0.95	0.42	0.51	0.51	0.89
Computer	ระยะทาง	3,788	1,309	3,364	2,390	4,649	2,632	984	1,174	2,014
	ค่าใช้จ่าย	7,778	3,442	6,668	4,299	9,159	3,948	1,476	1,761	3,021
	CapW	24,220	14,460	26,660	20,320	34,780	14,640	9,760	12,200	14,640
	CapV	103.06	66.66	112.16	78.52	145.18	54.6	36.4	45.5	54.6
	Utilization W	0.86	0.80	0.86	0.80	0.74	0.60	0.61	0.49	0.57
	Utilization V	0.56	0.92	0.65	0.56	0.95	0.79	0.64	0.51	0.89
Diff1		-2	-18	2	-16	16	-24	-17	-1	-11
Diff3		4	-9	7	-9	9	-43	-10	-1	-11
Diff4		0.08	0.12	0.07	0.00	0.00	0.24	0.12	0.00	0.00
Diff5		0.05	0.11	0.05	0.00	0.00	0.37	0.13	0.00	0.00

Diff1(%)= ค่าร้อยละของความแตกต่างระหว่างระยะทางเทียบกับพนักงาน

Diff3(%)= ค่าร้อยละของความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายเทียบกับพนักงาน

Diff4= ค่าความแตกต่างระหว่างค่าการใช้ประโยชน์น้ำหนักเทียบกับพนักงาน

Diff5= ค่าความแตกต่างระหว่างค่าการใช้ประโยชน์ปริมาตรเทียบกับพนักงาน

1. ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางด้วยพนักงานให้ค่าการใช้ประโยชน์ของน้ำหนักและปริมาตรต่ำกว่าซึ่งแสดงว่า วิธีการจัดเส้นทางที่พัฒนาขึ้นดีกว่าการจัดเส้นทางด้วยพนักงานซึ่งสอดคล้องกับการเปรียบเทียบด้วยการใช้ระยะทางเป็นตัวชี้วัด

2. เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการขนส่งพบว่าเมื่อกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นระยะทางในการขนส่งที่ต่ำสุด พบว่าค่าใช้จ่ายมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามระยะทาง แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่ใช้รถหลายประเภทจะทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง

กับต้นทุนซับซ้อนขึ้น ทั้งนี้เพราะต้นทุนของรถแต่ละประเภทแตกต่างกัน ดังจะเห็นได้จากปัญหา 2708 ซึ่งวิธีการจัดเส้นทางด้วยพนักงานใช้ระยะทางมากกว่าวิธีการจัดด้วยแบบจำลอง แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายในการขนส่งจะพบว่ามีค่าต่ำกว่า ดังนั้นในกรณีที่ต้องการใช้รถหลายประเภทและคำนึงค่าใช้จ่ายในการเดินทางควรที่จะกำหนดให้โปรแกรมที่พัฒนาเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นค่าใช้จ่ายต่ำสุดแทนระยะทางในการขนส่ง

อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ในรายละเอียดของข้อมูลและลำดับในการจัดเส้นทางเดินรถด้วยพนักงานและด้วยการใช้คอมพิวเตอร์พบว่า

1. รูปแบบการจัดเส้นทางด้วยพนักงานและด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีลักษณะคล้ายกัน กล่าวคือ พนักงานพยายามเลือกร้านค้าที่อยู่ไกลและมีปริมาณสินค้ามากพอ ในขณะที่วิธีการของแบบจำลองจะเลือกคู่จุดส่งที่มีค่าการประหยัดมากที่สุด ซึ่งก็คือคู่จุดส่งที่อยู่ไกลจากศูนย์ฯและตั้งอยู่ใกล้กัน

2. รูปแบบการจัดส่งสินค้าของพนักงานในบางครั้งพบว่าพนักงานอาจแบ่งเขตในการส่งสินค้าให้ใช้รถขนส่งสินค้าจำนวนหลายคันส่งในเขตเดียวกัน ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่ามีข้อดีและข้อเสียดังนี้

- <u>ข้อดี</u> พนักงานที่มีประสบการณ์สามารถแบ่งสินค้าให้รถมากกว่า 1 คัน โดยจัดให้รถ 1 คัน ส่งเขตนั้นทั้งหมดและหากมีปริมาณสินค้าเหลืออยู่จึงให้ส่วนที่เหลือแก่รถอีกคันจัดส่งแทน ซึ่งช่วยลดระยะทางในการขนส่งของรถขนาดใหญ่ที่ต้องส่งในระยะทางไกลๆ ดังที่เกิดขึ้นในปัญหา “2309”
- <u>ข้อเสีย</u> พนักงานที่ไม่มีประสบการณ์อาจแบ่งสินค้าไม่ดีพอ โดยบางครั้งอาจพบว่าใช้รถมากกว่า 1 คัน ส่งร้านเดียวกัน หรือในบางครั้งพนักงานจัดเส้นทางเลือกรถเสริมเพื่อมาบรรทุกสินค้าที่เหลืออย่างไม่เหมาะสมด้วยการเลือกรถที่อยู่ไกลจากจุดส่งมากเพื่อส่งสินค้าแทน ทำให้ไม่คุ้มกับค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่มากขึ้น

3. วิธีการจัดเส้นทางเดินรถด้วยพนักงานมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น เนื่องจากเงื่อนไขของแบบจำลองที่รวมร้านค้าที่อยู่ในเขตการส่งเดียวกันเป็นเพียงจุดส่งเพียงจุดเดียว ดังนั้นรถจึงแวะส่งสินค้าในเขตนั้นเพียงครั้งเดียว แต่ใน

สภาพความเป็นจริงพบว่า อาจมีการแวะส่งร้านค้าในเขตเดียวกันมากกว่า 1 ครั้ง เพราะ ร้านค้าที่จะต้องส่งอีกร้านอยู่ฝั่งตรงข้ามถนน ดังนั้นหากขากลับจะต้องผ่านร้านนั้นก็อาจจะส่งร้านนั้นในภายหลัง ทั้งนี้ความผิดพลาดของแบบจำลองดังกล่าวเกิดขึ้นจากการแบ่งเขตที่ไม่ละเอียดและข้อจำกัดของการนำเข้าข้อมูลเนื่องจากระยะทางที่ใช้เป็นระยะทางโดยประมาณเท่านั้น

4. วิธีการจัดเส้นทางของพนักงานถูกชี้นำโดยนโยบายในการดำเนินงาน 2 ประการ คือ

- นโยบายในการระบายสินค้าให้หมดในแต่ละวัน ทำให้พบว่าเส้นทางบางเส้นทางมีสินค้าจำนวนมากขณะที่บางเส้นทางมีสินค้าน้อย ซึ่งนโยบายนี้จะพบบ่อยในช่วงปลายเดือนซึ่งเป็นช่วงที่มีสินค้าที่ต้องการส่งจำนวนมาก
- นโยบายในการระบายสินค้าโดยการเกลี่ยให้สินค้ากระจายในรถทุกคัน ซึ่งหากใช้นโยบายแบบแรกจะสามารถประหยัดระยะทางในการขนส่งมากกว่านโยบายนี้ประมาณร้อยละ 17 (ดังปัญหาที่ “1711” กับ “1711NEW”) โดยนโยบายนี้มักปรากฏในช่วงที่สินค้ามีปริมาณน้อยซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับเปลี่ยนให้ยืดหยุ่นได้ด้วยการปรับจำนวนจุดส่งมากที่สุดที่อนุญาตให้ส่งสินค้าหรือปรับแก้ความจุ

5. ลำดับในการขนส่งสินค้าในแต่ละเส้นทางของทั้งการจัดเส้นทางด้วยพนักงานและด้วยการใช้คอมพิวเตอร์มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน โดยสังเกตได้จากผลลัพธ์การจัดเส้นทางดังรูปที่ 6.4 ซึ่งมีลำดับการส่งสินค้าเหมือนกันในบางเส้นทาง โดยลำดับการส่ง สินค้าที่แตกต่างกันเกิดขึ้นจากการแบ่งเขตที่บริษัทกำหนดเพื่อใช้ในการแยกใบรายการสินค้าเป็นพื้นที่ย่อย เช่น อำเภอต่างๆ จึงทำให้การกระจายสินค้าลงในรถแต่ละคันด้วยพนักงานด้อยกว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้น

รถคันที่	ลำดับการส่งสินค้า					
	1	2	3	4	5	6
คอมพิวเตอร์	640601 640106 640201 630101 630102 630301 630601 620301	620101	660401 660101	660801 660501 670801 670702 670101 670301 670401 650201	530103 530101 530102 640501 640701	640101 640107
พนักงาน	640101 640107 640106 640201 640601 640701 640501	630601 630102 630101 630301	620301 620101	660101 660401 660801 660501	670801 670702 670101 670401 670301 650201	530101 530103 530102

รูปที่ 6.4 ลำดับการส่งสินค้าด้วยการใช้คอมพิวเตอร์และด้วยพนักงานของปัญหา “1811”

จากผลการทดสอบกับผลงานการศึกษาที่ผ่านมา และการทดสอบด้วยการใช้ข้อมูลจริงได้ข้อสรุปว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการจัดเส้นทางเดินรถในระดับที่ยอมรับได้ ทั้งนี้จำเป็นต้องใช้วิธีการปรับปรุงเส้นทางด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทางด้วย สำหรับการนำระบบที่พัฒนามาใช้ในสภาพจริงพบว่า แบบจำลองที่พัฒนาให้ผลการจัดเส้นทางดีกว่าการจัดเส้นทางด้วยพนักงาน โดยเฉพาะในกรณีที่สินค้ามีการกระจายและไม่กระจุกตัวในบางจุดส่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้า ได้ตั้งวัตถุประสงค์ในการดำเนินงานไว้ 3 ประการ คือ

- เพื่อศึกษาระบบงานในการขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการขนส่งสินค้าด้วยรถบรรทุก
- เพื่อศึกษาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถและการปล่อยรถของผู้ประกอบการ
- เพื่อพัฒนาแบบจำลองและโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าให้เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริง โดยให้เกิดการประหยัดต้นทุนการขนส่งและเพิ่มความรวดเร็วในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า

โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะการจัดเส้นทางขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวไปยังลูกค้าที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการเท่านั้น โดยแบ่งการดำเนินงานวิจัยดังนี้

1. การทบทวนทฤษฎีการจัดเส้นทาง
2. การสำรวจและรวบรวมข้อมูล
3. การออกแบบแบบจำลอง
4. การทดสอบและการวิเคราะห์ผล

7.1 การทบทวนทฤษฎีการจัดเส้นทาง

การทบทวนทฤษฎีและผลงานที่ผ่านมาสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem) ซึ่งเป็นปัญหาของการจัดการเพื่อหาจำนวนเส้นทางและลำดับของการเดินรถจำนวนหลายคันไปยังลูกค้าต่างๆในแต่ละเส้นทางโดยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายทางธุรกิจ สามารถทำสร้างสมการเชิงคณิตศาสตร์ตามลักษณะของปัญหา ได้ดังนี้

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} c_{ij}\, x_{ij}^{v} \qquad (7\text{-}1)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^{v} = 1 \qquad (j = 2,\ldots n) \qquad (7\text{-}2)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^{v} = 1 \qquad (i = 2,\ldots n) \qquad (7\text{-}3)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ip}^{v} - \sum_{j=1}^{n} x_{pj}^{v} = 0 \qquad \begin{matrix}(v = 1,\ldots NV)\\ (p = 1,\ldots,\ n)\end{matrix} \qquad (7\text{-}4)$$

$$\sum_{i=1}^{n} d_i \left(\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{v}\right) \le K_v \qquad (v = 1,\ldots NV) \qquad (7\text{-}5)$$

$$\sum_{i=1}^{n} t_i^{v} \sum_{j=1}^{n} x_{ij}^{v} + \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} t_{ij}^{v} x_{ij} \le T_v \quad (v = 1,\ldots NV) \qquad (7\text{-}6)$$

$$\sum_{j=2}^{n} x_{1j}^{v} \le 1 \qquad (v = 1,\ldots NV) \qquad (7\text{-}7)$$

$$\sum_{i=2}^{n} x_{i1}^{v} \le 1 \qquad (v = 1,\ldots NV) \qquad (7\text{-}8)$$

$$X \in S \qquad (7\text{-}9)$$

$$x_{ij}^{v} = 0 \text{ or } 1 \qquad \text{for all } i, j, v \qquad (7\text{-}10)$$

โดยที่

n = จำนวนจุดส่ง

NV = จำนวนรถ

K_v = ความจุของรถคันที่ v

T_v = ข้อกำหนดเวลาในการเดินรถของรถคันที่ v

d_i = ความต้องการสินค้าของจุดส่งที่ i

t_i^v = เวลาที่รถคันที่ v ใช้ในการส่งหรือบรรทุกสินค้าที่จุดส่ง i

t_{ij}^v = เวลาที่ใช้ในการเดินรถของรถคันที่ v จากจุดส่ง i ไปจุดส่ง j

c_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินรถของรถคันที่ v จากจุดส่ง i ไปจุดส่ง j

$x_{ij}^v = \begin{cases} 1 & \text{ถ้า arc(i, j) อยู่บนเส้นทางของรถ v} \\ 0 & \text{ถ้าเป็นกรณีอื่น} \end{cases}$

X = เมตริกซ์ของ $x_{ij}^v \equiv \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v$

เทคนิคในการหาคำตอบของการจัดเส้นทางเดินรถมีหลายวิธี ซึ่งวิธีการในการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกภายใต้เงื่อนไขของความจุและเวลาเป็นวิธีที่นิยมสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เช่น การหาค่าการประหยัด (Saving) เทคนิคการกวาด (Sweep Approach) การสร้างเส้นทางแบบ 2 ขั้น.(Two-phase method) เช่น Cluster first-route second และ Route first-cluster second เป็นต้น

การทบทวนผลงานที่ผ่านมาพบว่า (1 แบบจำลองที่พัฒนาควรเลือกใช้วิธีการแบบฮิวริสติก เนื่องจาก วิธีหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นวิธีที่ซับซ้อนและยากต่อการพัฒนา และ (2 ระบบที่พัฒนาควรมีกลไกในการปรับปรุงการจัดเส้นทางเดินรถ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ระบบมีส่วนร่วมในการตัดสินใจเลือกเส้นทาง

7.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

การสำรวจปัญหาและรายละเอียดของการปฏิบัติงานของบริษัทตัวอย่างพบว่า บริษัทมีการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันโดยใช้ศูนย์กระจายสินค้าทำหน้าที่รวบรวมสินค้าจากแหล่งต่าง ๆ เข้าไว้ที่ศูนย์ฯ โดยลักษณะสินค้าที่บริษัทขนส่งส่วนใหญ่เป็นสินค้าอุปโภคและบริโภคซึ่งมีข้อจำกัดในการส่งสินค้ามาก ซึ่งขั้นตอนที่สำคัญในการขนส่งประกอบด้วย

1. ขั้นตอนการรับสินค้า
2. ขั้นตอนการจัดสินค้า
3. ขั้นตอนการส่งสินค้า
4. ขั้นตอนการจัดการภายหลังการส่งสินค้า

จากการศึกษาแนวทางเบื้องต้นในการกำหนดปัจจัยเพื่อใช้เป็นเป้าหมายในการจัดเส้นทางพบว่า ต้นทุนการขนส่งเป็นเป้าหมายที่ผู้ประกอบการใช้เป็นกรอบในการดำเนินธุรกิจแต่มีความซับซ้อนมาก แต่สามารถใช้ระยะทาง และเวลาในการขนส่งเป็นเป้าหมายในการจัดเส้นทางแทนต้นทุนการขนส่งได้ การเลือกใช้เป้าหมายที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์สามารถเปรียบเทียบได้ ดังนี้

1. หากต้องการใช้ระยะทางเป็นเป้าหมายจะพบว่า การหาระยะทางจริงบนถนนไม่เหมาะสมเนื่องจากใช้ข้อมูลจำนวนมากและต้องการใช้หน่วยความจำมาก ส่วนวิธีการ

หาระยะทางแบบแมนฮัตตันอยู่ในรูปของค่าสัมบูรณ์ทำให้การพัฒนาระบบยากกว่ารูปแบบอื่นๆ ดังนั้นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด คือ การใช้ค่าปรับแก้ระยะทาง (Scaling Factor) เพื่อเปลี่ยนระยะทางเส้นตรงมาเป็นระยะทางจริงโดยประมาณ

2. การเลือกใช้ระยะเวลาในการขนส่งเป็นเป้าหมายจะมีความซับซ้อน เพราะเวลาในการขนส่งแปรเปลี่ยนไปตามอิทธิพลของปัจจัยหลายประการ เช่น ความแออัดของการจราจร และสภาพข้อจำกัดของพื้นที่ในการขนส่ง เป็นต้น ส่งผลให้เกิดความไม่สะดวกในการวิเคราะห์หาระยะเวลาการขนส่ง

3. ต้นทุนการขนส่งจะขึ้นกับกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับการขนส่ง เช่น การนำ สินค้าขึ้น-ลงจากรถ การเดินทาง ความล่าช้า เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้ต้นทุนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จะพบว่าการลดต้นทุนเป็นเป้าหมายที่ผู้ประกอบการต้องการมากที่สุดแต่มีความซับซ้อน แต่ถ้าผู้ประกอบการต้องการศึกษาเฉพาะต้นทุนขนส่งในช่วงเวลาในการเดินทาง ก็จะสามารถใช้ระยะทางในการเดินทางเป็นตัวแทนได้

การสำรวจข้อมูลเขตการส่งพบว่า จุดส่งที่จะใช้ควรเป็นจุดส่งที่เกิดจากการรวมกันของร้านค้าที่อยู่ใกล้เคียงกัน โดยการรวมกลุ่มสามารถช่วยลดความซับซ้อนของปัญหาได้ แนวทางในการเก็บข้อมูลนี้ได้กำหนดขอบเขตดังนี้ (1 แบ่งเขตการส่งโดยใช้ความสามารถในการส่งและสภาพกายภาพของเขตส่งเป็นเกณฑ์ (2 พิจารณาแบ่งด้วยปริมาณสินค้าเป็นเกณฑ์

การสำรวจข้อมูลสินค้าได้แบ่งข้อมูลเป็นข้อมูลปริมาตรสินค้าซึ่งวัดจากขนาดของหีบห่อแยกตามรายการสินค้า (SKU) โดยวัดเป็นหน่วยลูกบาศก์เมตร และข้อมูลน้ำหนักโดยวัดจากน้ำหนักรวมของสินค้าที่บรรจุอยู่ในหีบห่อที่บรรจุและรวมน้ำหนักของหีบห่อด้วย โดยมีหน่วยเป็นกิโลกรัม

การสำรวจรถที่จะใช้ในการส่งสินค้าพบว่า ต้องกำหนดมาตรฐานเฉลี่ยของทั้งปริมาตรและน้ำหนักเนื่องจากขนาดของรถแต่ละคันมีข้อแตกต่างกัน เนื่องจากรถของผู้ผลิตมีมาตรฐานไม่เหมือนกัน และความจุขึ้นอยู่กับความสามารถในการจัดเรียงสินค้า

การสำรวจวิธีการเก็บข้อมูลระยะทางเพื่อหาค่าปรับแก้ระยะทางจากระยะทางเส้นตรงเป็นระยะทางจริงโดยประมาณ ด้วยการหาค่าปรับแก้ที่ทำให้ค่า AD และ SD ต่ำสุดด้วยวิธีลองผิดลองถูก พบว่าค่าที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 1.3

$$AD = \sum_{x=1}^{n-1} \sum_{y=x+1}^{n} \left| d(x,y) - A(x,y) \right| \qquad (7\text{-}11)$$

$$SD = \sum_{x=1}^{n-1} \sum_{y=x+1}^{n} \left\{ \frac{d(x,y) - A(x,y)}{\sqrt{A(x,y)}} \right\}^2 \qquad (7\text{-}12)$$

โดยที่

AD แทน ผลรวมของค่าสัมบูรณ์ของผลต่างระหว่างระยะทางโดยประมาณกับระยะทางจริง

SD แทน ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนของผลต่างระหว่างระยะทางโดยประมาณกับระยะทางจริง

$d(x,y)$ แทน ระยะทางโดยประมาณจากจุดส่ง x ไปยังจุดส่ง y

$A(x,y)$ แทน ระยะทางจริงจากจุดส่ง x ไปยังจุดส่ง y

การเปรียบเทียบแนวทางการวิเคราะห์ที่เหมาะสมที่สุดของการหาค่าการประหยัด (Saving Method) เทคนิคการกวาด (Sweep Algorithm) ฯลฯ พบว่าวิธีการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัดเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีและนิยมใช้ในการปรับปรุงมากที่สุด แต่ต้องพัฒนาเทคนิคอื่นเสริมที่เปิดโอกาสให้พนักงานสามารถปรับปรุงเส้นทางให้ดีขึ้น

7.3 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ

การวิจัยได้แบ่งการพัฒนาแบบจำลองออกเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้ (1 การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้นด้วยเทคนิคการหาค่าการประหยัด (2 การปรับปรุงเส้นทางเดินรถ และ (3 การปรับลำดับการส่งสินค้าโดยพนักงาน

การออกแบบแบบจำลองการหาค่าการประหยัด มีแนวทางการพัฒนาดังนี้

- การสร้างเมตริกซ์ระยะทาง ด้วยเมตริกซ์แบบเต็มชุด (Full Matrix) เนื่องจากต้องการให้แบบจำลองสามารถถูกนำไปปรับปรุงและพัฒนาได้มากยิ่งขึ้น
- การเลือกจุดส่งชุดแรก พบว่าแนวความคิดที่ใช้คือการเลือกคู่ลำดับที่มีค่าการประหยัดสูงที่สุด

- การลำดับการส่งภายในเส้นทาง โดยออกแบบให้สร้างลำดับการส่งสินค้าออกจากปลายทั้งสองข้างเนื่องจากทำให้คุณภาพของคำตอบที่ดีกว่า
- การกำหนดข้อจำกัดเขตการส่ง เนื่องจากสภาพความเป็นจริงเขตการส่งมีสภาพแตกต่างกัน เช่น พื้นที่คับแคบ ฯลฯ จึงทำให้ต้องเลือกใช้รถให้คุ้มค่า
- แนวคิดการเลือกใช้รถ ด้วยการกำหนดให้ใช้จำนวนรถได้เท่าที่มีอยู่จริง และกำหนดให้สามารถเลือกที่จะใช้รถประเภทใดก่อนก็ได้ เพื่อให้แบบจำลองมีความยืดหยุ่นที่มากพอ
- แนวคิดการตั้งค่าพารามิเตอร์ เช่น การปรับความจุของรถ เพื่อให้ระบบที่พัฒนาสามารถให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนได้

การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทางที่ใช้นี้เป็นการปรับปรุงเส้นทางด้วยการสลับเส้นทาง 2 เส้นทาง (2-opt) เนื่องจากสามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธีการสลับเส้นทาง 3 เส้นทาง (3-opt) แม้ว่าประสิทธิภาพของ 3-opt จะดีกว่า แนวคิดของการออกแบบกลไกการปรับปรุงเส้นทางมีดังนี้

- กำหนดโครงข่ายของเส้นทางให้เป็นเมตริกซ์ระยะทางแบบสมมาตร เพื่อลดความซับซ้อนของแบบจำลอง
- กำหนดให้ผู้ใช้ระบบเลือกเส้นทางที่ต้องการปรับปรุงด้วยตนเอง

การปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทางที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ

- String Exchange เนื่องจากสามารถแก้ไขจุดอ่อนของเส้นทางที่เกิดจากการจัดเส้นทางเบื้องต้นได้
- String Relocation เนื่องจากเป็นวิธีการที่ช่วยลดจำนวนจุดส่งและลดจำนวนเส้นทางได้

กลไกการจัดลำดับการส่งโดยพนักงานมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยแก้ข้อบกพร่องของแบบจำลอง รวมทั้งเปิดโอกาสให้ผู้ที่ทำหน้าที่ดูแลการจัดเส้นทางสามารถที่จะปรับปรุงหรือ

เปลี่ยนแปลงเส้นทางได้เอง โดยไม่ได้พึ่งการตัดสินใจของคอมพิวเตอร์ทั้งหมด โดยกลไกที่เลือกใช้มีอยู่ 2 ประเภท คือ

- กลไกการเพิ่มจุดส่ง ด้วยการเปิดโอกาสให้เลือกจุดส่งและลำดับการส่งที่ต้องการด้วยตนเอง
- กลไกการลดจุดส่ง เพื่อใช้ขจัดจุดส่งที่ไม่ต้องการออกไปจากเส้นทาง

7.4 โครงสร้างและกระบวนการของโปรแกรม

งานวิจัยได้แบ่งการออกแบบโปรแกรมสำหรับการจัดเส้นทางได้ดังนี้

- โครงสร้างฐานข้อมูล
- กระบวนการเตรียมและนำเข้าข้อมูล
- กระบวนการวิเคราะห์และบันทึกผล
- กระบวนการนำเสนอและสรุปผล

การพัฒนาโครงสร้างฐานข้อมูลเฉพาะส่วนที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์เท่านั้น ทำให้ไม่ครอบคลุมการพัฒนาระบบสารสนเทศทั้งหมดโดยข้อมูลที่พัฒนาได้แก่ ฐานข้อมูลหลัก (Master Files) รายการธุรกรรม (Transaction Files) ตารางอื่น ๆ

การเตรียมและนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นต่อการจัดเส้นทางประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญได้แก่

- ข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้า
- ข้อมูลพิกัดจุดส่งสินค้า
- ข้อมูลรถที่สามารถให้บริการ
- ข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับปรับแก้

การวิเคราะห์เส้นทางส่งสินค้าของระบบที่พัฒนาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ขั้นตอนการสร้างเส้นทางเบื้องต้น และขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทาง ซึ่งเปิดโอกาสให้พนักงานจัดเส้นทางมีส่วนร่วมในการปรับปรุงเส้นทางด้วยการใช้ส่วนติดต่อกับผู้ใช้โดยผ่านทางข้อมูลและภาพ ในขั้นตอนภายหลังจากได้เส้นทางเบื้องต้น เพื่อให้เส้นทางที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้จริง

การนำเสนอข้อมูลและรายละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถแบ่งได้ 3 ส่วน โดยคำนึงถึงความจำเป็นเพื่อให้พนักงานสามารถได้รับทราบข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ ซึ่งได้แก่ (1 รายงานที่ใช้แสดงรายละเอียดของใบรายการสินค้าต่างๆ (2 รายงานการจัดเส้นทาง และ (3 รายงานประสิทธิภาพการทำงานของยวดยาน

7.5 การทดสอบระบบและการวิเคราะห์ผล

การศึกษานี้จะทดสอบเฉพาะผลการจัดเส้นทางโดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง ดังนี้

การทดสอบความถูกต้องในระดับนี้จัดเป็นการทดสอบเฉพาะในแต่ละส่วนย่อยของระบบแยกออกจากกัน โดยการศึกษานี้จะทดสอบในระดับเบื้องต้นเท่านั้น คือ การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง และความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง

ภายหลังจากที่แต่ละขั้นตอนได้ถูกทดสอบแล้ว ในขั้นต่อมาจะเป็นการนำแต่ละขั้นตอนที่มีความสัมพันธ์กันมาเชื่อมต่อกันและทำการทดสอบอีกทีหนึ่งเพื่อหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการรวมกันดังกล่าว โดยจะทำทดสอบกับ 2 รูปแบบคือ การทดสอบผลลัพธ์การจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับผลลัพธ์จากผลงานการศึกษาที่ผ่านมา และการทดสอบจากข้อมูลจริงที่มีอยู่ ซึ่งเป็นการทดสอบผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางใกล้เคียงกับผลการศึกษาที่ผ่านมา แต่วิธีการจัดเส้นทางของแบบจำลองจะด้อยลงถ้ามีจำนวนจุดส่งมากขึ้น

ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางโดยใช้พนักงานพบว่า ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองที่พัฒนาสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการจัดเส้นทางด้วยพนักงาน แต่ในบางสถานการณ์ โดยเฉพาะในกรณีที่สินค้าในบางเขตส่งมีปริมาณสูงมากจนทำให้เกินความจุของรถจะให้ผลลัพธ์ด้อยกว่าแบบเดิม

อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ในรายละเอียดของข้อมูลและลำดับในการจัดเส้นทางเดินรถของทั้งพนักงานและคอมพิวเตอร์พบว่า วิธีการจัดเส้นทางเดินรถของพนักงานมีความยืดหยุ่นมากกว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น เนื่องจากเงื่อนไขของแบบจำลองที่รวมร้านค้าในเขตการส่งเดียวกันเป็นจุดส่งเพียงจุดเดียวทำให้ลำดับการส่งผิดเพี้ยนไป แต่ลักษณะการจัดเส้นทางของทั้งการจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นและการจัดเส้นทางด้วยพนักงานให้ลำดับในการจัดเส้นทางเดินรถที่ใกล้เคียงมาก

จากผลการทดสอบจากทั้งผลงานการศึกษาที่ผ่านมา และจากข้อมูลจริงได้ข้อสรุปว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการจัดเส้นทางเดินรถในระดับที่ยอมรับได้ ทั้งนี้จำเป็นต้องใช้วิธีการปรับปรุงเส้นทางด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งด้วย

7.6 **ข้อเสนอแนะ**

การวิจัยการจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์ในอนาคต ควรที่จะพิจารณาให้ดำเนินการตามแนวทางต่อไปนี้

- พัฒนาแบบจำลองให้ดียิ่งขึ้น เช่น การพัฒนาขั้นตอนและวิธีการปรับปรุงภายในเส้นทางและระหว่างเส้นทาง เนื่องจากวิธีการที่ใช้สำหรับการวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงด้วยการลองผิดถูก (Trial&Error) ซึ่งทำให้ใช้ระยะเวลาในการจัดเส้นทางนานมาก
- พัฒนาแบบจำลองให้สามารถครอบคลุมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ เนื่องจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นพิจารณาเฉพาะระยะทางในการขนส่งและค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของค่าน้ำมันเท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงผู้ประกอบการต้องการต้นทุนการขนส่งเป็นเป้าหมายในการขนส่งมากกว่า
- พัฒนาแบบจำลองส่วนช่วยสนับสนุนการตัดสินใจให้มากขึ้นโดยผ่านกระบวนการนำเสนอทั้งในภาพกราฟฟิกและง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเข้าใจกับปัญหาและสามารถตัดสินใจได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และ จำลอง ครูอุตสาหะ. 2542. Visual basic 6 ฉบับฐานข้อมูล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ไทยเจริญการพิมพ์.

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และ จำลอง ครูอุตสาหะ. 2542. Visual basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ : ไทยเจริญการพิมพ์.

บำเพ็ญ สิงหาพันธ์ และ รัชวิชญ์ ปิยะปราโมทย์. กันยายน 2542. ระบบการขนส่งทางบก : เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร International logistics : Strategy and management : 1-17

สุธี ศรีเพ็ชรดานนท์. 2536. แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาต่างประเทศ

Assad, A. A. , Wasil, E.A., and Lilien, G.L. 1992. Excellence in management science practice : A reading book. (n.p.): Prentice Hall.

Assad, A.A. 1987. Modelling and implementation issues in vehicle routing In B. L. Golden .,and A. A. Assad.(eds.). Vehicle routing : Method and studies,pp.7-45. Elesevier Science Publishers B.V.

Ballou, R.H. 1999. Logware : Selected computer programs for logistical planning (version 4.0) (text file). Watherhead School of Management Case Western Reserve University.

Barbarosoglu, G. , and Ozgur, D. 1999. A tabu search algorithm for the vehicle routing problem. Computers and Operation Research 26: 255-270.

Barker,H.H. ,Sharon, E.M. ,and Sen, D.K. 1981. From freight flow and cost patterns to greater profitability and better service for a motor carrier. Interfaces 11(6):4-20.

Bartholdi, J.J. , Plazman, L.K. , Collins, R.L. , and Warden, W.H. 1983. A minimal technology routing system for meals on wheels. Interfaces13(3):1-8.

Belardo, S. , Duchessi, P. , and Seagle, J. P. 1985. Microcomputer graphics in support of vehicle fleet routing. Interfaces 15(6): 84-92.

Bell, W.I. , Dalberto, L.M. , Fisher, M.L. , Greenfield, A.J. , Jaikumar, R. , Kedia, P. , Mack, R.G. , and Prutzman, P.J. 1983. Improving the distribution of industrial gases with an on-line computerized routing and scheduling optimizer. Interfaces 20(1):26-42.

Bellmore, M. ,and Hong, S. 1974. Transformation of multi-salesman problem to the standard travelling salesman problem. Journal of the ACM 21:500-504.

Berens, W. , and Korling, F. –J. 1985. Estimating road distances by mathematical functions. European Journal of Operational Research 21 : 54-56.

Bodin, L. , Golden, B. , Assad A. , and Ball, M. 1983. The state of art in the routing and scheduling of vehicles and crews. Computers and Oper. Res. 10: 63-212.

Bookbinder, J. H., and Reece, K. E. 1988. Vehicle routing considerations in distribution system design. European journal of operational research 37:204-213.

Breedam, A. V. 1994. An analysis of the behavior of heuristics for the vehicle routing problem for a selection of problems with vehicle-related, customer-related,and time-related constraint. Faculty of Applied Economics University of Antwerp.

Buxey, G. 1979. The vehicle scheduling problem and monte carlo simulation. Journal of the Operational Research Society 30 : 563-573.

Calantone, R. J. , and Morris, M. H. 1977. The Utilization of computer-based decision support systems in transportation. International Journal of physical distribution and material management 15(7): 5-18.

Chetbundhit, J. 1990. Routing and scheduling problems: A case study of gasoline distribution in Greater Bangkok. Master's thesis, Department of Engineering, Asian Institute of Technology.

Christofides, N. , and Mingozzie, A. 1989. Vehicle routing : Practical and algorithmic aspects. In C. F. H. van Rijn (ed.). Logistics: Where ends have to meet : proceedings of the Shell conference on logistics, The Netherlands,2-3 November 1988, pp. 30-48. Pergamon Press.

Christofides, N. , Eilon, S. 1969. An algorithm for the vehicle dispatching problem. Computers and Operation Research 20(3) :309.

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

Cooper, J. C. 1983. The use of straight line distances in solutions to the vehicle scheduling problem. Journal of operational research society 34(5): 419-424.

Crainic, T.G. ,and Laporte, G. 1997. Planning models for freight transportation European Journal of Operationnal Research :409-438.

Daily, M.M. , Dare, C. , and Omurtag, Y. 1983. Decision support system for trucking break-bulk operations. Transportation Research Record 1038 : 64-72.

Desrochers, M. , Jones, C. V. , Lenstra, J.K. , Savelbergh, M. W. P. , and Stougie, L. 1999. Towards a model and algorithm management system for vehicle routing and scheduling problems. Decision Support Systems 25 : 109-133.

Eibl, P. G. 1996. Computerised vehicle routing and scheduling in road transport. 1st ed. (n.p.) : Avebury.

Evans,S.R. ,and Norback, J.P. 1985. The impact of a decision-support system for vehicle routeing in a foodservice supply situation. Journal of Operational Research Society 36(6) : 467-472.

Fisher, M. L. , and Jaikumar, R. 1984. The local delivery problem: Algorithm and applications. In M. Florian (ed.). Transportation Planning Models, pp.419-437. Elesevier Science Publishers B.V.

Gaskell, T. 1967. Bases for vehicle fleet scheduling. Operational Research Quarterly 18 : 281-295.

Gavish, B. , and Graves, S. 1978. The travelling salesman problem and related problems. Working paper , Graduate School of Management, University of Rochester.

Gendreau, M., Larporte, G. , and Musaraganyi, C. , and Taillard, E. D. 1999. A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. Computers and Operation Research 26 : 1153-1173.

Geoffrion, A.M. ,and Van Roy, T.J. 1979. Caution:Common sense planning methods can be hazardous to your corporate health. Sloan Management Review 20(4)

Golden, B. 1971. Evaluating a sequential vehicle routing algorithm. AIIE Transactions 9:204-208.

Golden, B. L. 1984. Introduction to and recent advances in vehicle routing methods. In M. Florian (ed.). Transportation Planning Models, pp.383-418. Elesevier Science Publishers B.V.

Hall, R.W. ,and Partyka, J.KG. 1997. On the road to efficiency. OR/MS Today 24(3)

Holmes, R. A. , and Parker, R. G. 1976. A vehicle scheduling procedure based upon savings and a solution perturbation scheme. Operational Research Quarterly 27(1) : 83-92.

Hsu, J. A. , Kim, T. P. ,and Bott, K. 1988. Computerized vehicle routing for home delivery operations. Transportation Research Record 1179 : 28-32.

Klibbua, V. 1990. Warehouse design and vehicle routing for distribution in Northern Thailand. Master's Thesis, Department of Engineering, Asian Institute of Technology.

Knowles, K. 1967. The use of a heuristic tree-search algorithm for the vehicle and scheduling, In Operational Research Conference, Exeter, England.

Krolak, P. , Felts,W. , and Nelson, J. 1972. A man-machine approach toward solving the generalized truck-dispatching problem . Transportation Science 6(2): 149-170.

Krolok, P. , Felts, W. , and Marble, G. 1971. A man-machine approach toward solving the traveling salesman problem. Communication of the ACM 14(May): 327-334.

Larporte, G. , Gendreau, M. , Potvin, J. –Y. , and Semet, F. 2000. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. Intl. Trans. In Op. Res. 7 : 285-300.

Larson, R. C. , and Odoni, A.R. 1981. Urban operations research. Prentice Hall

Lee, T. –R. , and Ueng, J. –H. 1999. A study of vehicle routing problems with load-balancing. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management 29(10) : 646-658.

Love, R. F., and Morris, J. G. 1979. Mathematical models of road travel distances. Management Science 25(2) : 130-139.

Marakas, G. M. 1999. Decision support systems in the 21st century. 1st ed.: Prentice Hall

Martin, E. 1998. Centralized bakery reduces distribution costs using simulation. Interfaces 28(4): 38-46.

McDonald, J. J. 1972. Vehicle scheduling-a case study. Operational Research Quarterly 23(4) : 433-444.

Murdick, R.G. , Render, B. ,and Russell, R.S. 1990. Service operations management. (n.p.) Allyn and Bacon

Nag, P. , Golden, B. L. and assad, A. A. 1988. Vehicle routing with site dependencies. In B. L. Golden; and A. A. Assad (eds.). Vehicle routing: Method and studies, pp 149-160. Elsevier Science Publishers B.V.

Nelson, M. D. , Hygard, K. E. , Griffin, J. H. , and Shreve, W. E. 1985. Implementation techniques for the vehicle routing problem. Comput. & Ops. Res. 12(3): 273-283.

Paessens, H. 1988. The savings algorithm for the vehicle routing problem. European Journal of Operational Research 34 : 336-344.

Pressman, R. S. 1997. Software engineering : A practitioner 's approach. 4th ed. NewYork: McGraw-Hill.

Potvin, J. –Y. , Lapalme, G., and Rousseau, J. –M. 1989. ALTO: A computer system for the design of vehicle routing algorithms. Computers and Operation Research 16(5) : 451-470.

Powell, W.B. ,and Sheffi, Y. 1986. The load planning problem of motor carriers :Problem description and a proposed solution approach. Transportation Research 17A (6):471-480.

Psaraftis, H.N. 1983. k-interchange procedures for local search in a precedence-constrained routing problem. European Journal of Operational Research 13(4) : 391-402.

Reinelt, G. 1994. The traveling salesman : Computational solutions for TSP applications. Germany : Springer-Verlag

Rosenkrantz, R. ,Stearns,R. ,and Lewis, P. 1977. An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem. SIAM Journal of computing 6:563-581.

Roy, J. , and Delorme, L. 1989. NETPLAN : A network optimization model for tactical planning in the less-than-truckload motor-carrier industry. Infor. 27(1):22-35.

Savelbergh, M. W. P. 1985. Local search in routing problems with time windows. Annal of Operations Research 4 : 285-305.

Sawdy, L.W.C. 1972. The economics of distribution: Managers' guide to trade-off and cost control in physical distribution. London: Gower Press.

Shen, Y. , Potvin, J. , Rousseau, J. , and Roy, S. 1995. A computer assistant for vehicle dispatching with learning capabilities. Annals of Operations Research 61 : 189-211.

Siler, B. and Spotts, J. 1998. Using visual basic 6. Special edition. Que.

Sussams, J. 1986. Vehicle scheduling and load planning techniques of physical distribution management In R. L. Lewis (ed.). Information technology in physical distribution management, pp. 119-129. Technical Press.

Sussams, J. 1995. Logistics Modelling. London: Pitman Publishing

Thailand. 1996. Office of the Commission for the Management of Land Traffic. Thailand's freight transport system. Bangkok: Office of the Commission for the Management of Land Traffic.

Thangiah, S. R. , Potvin, J. , and Sun, T. 1996. Heuristic approaches to vehicle routing with backhauls and time windows. Computers Ops Res. 23(11): 1043-1057.

Tillman, F. , and Cochran, H. 1968. A heuristic approach for solving the delivery problem. Journal of Industrial Engineering 19 : 354-358

Turban, E. 1995. Decision support and expert systems : Management support system. 4th ed. (n.p.) : Prentice Hall

Visser, H. , and Scheltes, W. H. 1989. An Exporatory study on vehicle scheduling and route planning by hand and by computer. Transportation Research Forum : 47-52.

Waters, C. D. J. 1984. Vehicle scheduling revisited. Journal of Operational Research Society ,35(2):145-148.

Webb, M. 1972. Relative performance of some sequential methods of planning multiple delivery journeys. Operational Research Quarterly 23(2) : 361-372.

Weigel, D. , and Cao, B. 1999. Applying GIS and OR techniques to solve Sears technician-dispatching and home-delivery problems. Interfaces 29(1): 112-130.

Yellow, P. 1970. A computational modification to the savings method of vehicle scheduling. Operational Research Quarterly 21(2) : 281-283.

Zanakis, S.H. , and Evan, J.R. 1981. Heuristic optimization:Why,when,and how to use it. Interfaces (October)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รหัสเขตการปกครองของจังหวัดต่าง ๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-1 รหัสเขตการปกครองของจังหวัดกำแพงเพชร

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 62 จังหวัดกำแพงเพชร			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
01	เมืองกำแพงเพชร	01	ในเมือง
		02	ไตรตรึงษ์
		03	อ่างทอง
		04	นาบ่อคำ
		05	นครชุม
		06	ทรงธรรม
		07	ลานดอกไม้
		10	หนองปลิง
		11	คณฑี
		12	นิคมสร้างตนเองทุ่งโพธิ์ทะเล
		13	เทพนคร
		14	วังทอง
		15	ท่าขุนราม
		17	คลองแม่ลาย
		18	ช้ามรงค์
		19	สระแก้ว
02	ไทรงาม	01	ไทรงาม
		02	หนองคล้า
		03	หนองทอง
		04	หนองไม้กอง
		05	มหาชัย
		06	พานทอง
		07	หนองแม่แตง
..03	คลองลาน	01	คลองน้ำไหล
		02	โป่งน้ำร้อน
		03	คลองลานพัฒนา

รหัส : 62 จังหวัดกำแพงเพชร			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		04	สักงาม
04	ขาณุวรลักษบุรี	03	ยางสูง
		04	ปางพุทรา
		05	แสนตอ
		06	สลกบาตร
		07	บ่อถ้ำ
		08	ดอนแตง
		09	วังชะพลู
		10	โค้งไผ่
		11	ปางมะค่า
		12	วังหามแห
		13	เกาะตาล
05	คลองขลุง	01	คลองขลุง
		02	ท่ามะเขือ
		04	ท่าพุทรา
		05	แม่ลาด
		06	วังยาง
		07	วังแขม
		08	หัวถนน
		09	วังไทร
		13	วังบัว
		16	คลองลมบูรณ์
06	พรานกระต่าย	01	พรานกระต่าย
		02	หนองหัววัว
		03	ท่าไม้
		04	วังควง
		05	วังตะแบก

ตารางที่ ก-1(ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดกำแพงเพชร

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 62 จังหวัดกำแพงเพชร			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		06	เขาคีริ
		07	คุยบ้านโอง
		08	คลองพิไกร
		09	ถ้ำกระต่ายทอง
		10	ห้วยยั้ง
07	ลานกระบือ	01	ลานกระบือ
		02	ช่องลม
		03	หนองหลวง
		04	โนนพลวง
		05	ประชาสุขสันต์
		06	บึงทับแรต
		07	จันทิมา
08	ทรายทองวัฒนา	01	ทุ่งทราย
		02	ทุ่งทอง
		03	ถาวรวัฒนา
09	ปางศิลาทอง	01	โพธิ์ทอง
		02	หินดาต
		03	ปางตาไว
10	บึงสามัคคี	01	บึงสามัคคี
		02	วังชะโอน
		03	ระหาน
		04	เทพนิมิต
11	กิ่ง อ.โกสัมพีนคร	01	โกสัมพี
		02	เพชรชมภู
		03	ลานดอกไม้ตก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-2 รหัสเขตการปกครองของจังหวัดตาก

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 63 จังหวัดตาก			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
01	เมืองตาก	01	ระแหง
		02	หนองหลวง
		03	เชียงเงิน
		04	หัวเดียด
		05	หนองบัวเหนือ
		06	ไม้งาม
		07	โป่งแดง
		08	น้ำรึม
		09	วังหิน
		11	แม่ท้อ
		12	ป่ามะม่วง
		13	หนองบัวใต้
		14	วังประจบ
		15	ตลุกกลางทุ่ง
02	บ้านตาก	01	ตากออก
		02	สมอโคน
		03	แม่สลิด
		04	ตากตก
		05	เกาะตะเภา
		06	ทุ่งกระเชาะ
		07	ท้องฟ้า
03	สามเงา	01	สามเงา
		02	วังหมัน
		03	ยกกระบัตร
		04	ย่านรี
		05	บ้านนา
		06	วังจันทร์
04	แม่ระมาด	01	แม่ระมาด
		02	แม่จะเรา
		03	ระแหงใจ้อ

รหัส : 63 จังหวัดตาก			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		04	แม่ตื่น
		05	สามหมื่น
		06	พระธาตุ
05	ท่าสองยาง	01	ท่าสองยาง
		02	แม่ต้าน
		03	แม่สอง
		04	แม่หละ
		05	แม่วะหลวง
		06	แม่อุสุ
06	แม่สอด	01	แม่สอด
		02	แม่กุ
		03	พระวอ
		04	แม่ตาว
		05	แม่กาษา
		06	ท้ายลายลวด
		07	แม่ปะ
		08	มหาวัน
		09	ด่านแม่ละเมา
		10	พระธาตุผาแดง
07	พบพระ	01	พบพระ
		02	ช่องแคบ
		03	คีรีราษฎร์
		04	วาเล่ย์
		05	รวมไทยพัฒนา
08	อุ้มผาง	01	อุ้มผาง
		02	หนองหลวง
		03	โมโกร
		04	แม่จัน
		05	แม่ละมุ้ง

ตารางที่ ก-2(ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดตาก

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 63 จังหวัดตาก			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		06	แม่กลอง
09	กิ่ง อ.วังเจ้า	01	เชียงทอง
		02	นาโบสถ์
		03	ประดาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 รหัสเขตการปกครองของจังหวัดน่าน

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 55 จังหวัดน่าน			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
01	เมืองน่าน	01	ในเวียง
		02	บ่อ
		03	ผาสิงห์
		04	ไชยสถาน
		05	ถืมตอง
		06	เรือง
		07	นาซาว
		08	ดู่ใต้
		09	กองควาย
		16	สวก
		17	สะเนียน
02	แมจริม	01	หนองแดง
		02	หมอเมือง
		04	น้ำพาง
		05	น้ำปาย
		06	แม่จริม
03	บ้านหลวง	01	บ้านฟ้า
		02	ปาคาหลวง
		03	สวด
		04	บ้านพี้
04	นาน้อย	01	นาน้อย
		02	เชียงของ
		03	ศรีษะเกษ
		04	สถาน
		05	สันทะ
		06	บัวใหญ่
		07	น้ำตก
05	ปัว	01	ปัว
		02	แงง
		03	สถาน
		04	ศิลาแลง
		05	ศิลาเพชร
		06	อวน
		09	ไชยวัฒนา
		10	เจดีย์ชัย

รหัส : 55 จังหวัดน่าน			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		11	ภูคา
		12	สกาด
		13	ป่ากลาง
		14	วรนคร
06	ท่าวังผา	01	ริม
		02	ป่าคาหลวง
		03	ผาตอ
		04	ยม
		05	ตาลชุม
		06	ศรีภูมิ
		07	จอมพระ
		08	แสนทอง
		09	ท่าวังผา
		10	ผาทอง
07	เวียงสา	01	กลางเวียง
		02	ชึ่ง
		03	ไหล่น่าน
		04	ตาลชุม
		05	นาเหลือง
		06	ส้าน
		07	น้ำมวบ
		08	น้ำปั้ว
		09	ยาบหัวนา
		10	ปงสนุก
		11	อ่ายนาไลย
		12	ล้านนาหนองใหม่
		13	แม่ขะนิง
		14	แม่สาคร
		15	จอมจันทร์
		16	แม่สา
		17	ทุ่งศรีทอง
08	ทุ่งช้าง	01	ปอน
		02	งอบ
		03	และ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-3 (ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดน่าน

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 55 จังหวัดน่าน			
รหัส	**อำเภอ**	**รหัส**	**ตำบล**
		04	ทุ่งช้าง
09	เวียงกลาง	01	เวียงกลาง
		02	เปือ
		03	เวียงลาน
		04	พระธาตุ
		08	พญาแก้ว
		09	พระพุทธบาท
10	นาหมื่น	01	นาทะมุง
		02	บ่อแก้ว
		03	เมืองลี
		04	ป่งหลวง
11	สันติสุข	01	ดู่พงษ์
		02	ป่าแลงหลวง
		03	พงษ์
12	บ่อเกลือ	01	บ่อเกลือเหนือ
		02	บ่อเกลือใต้
		04	ภูฟ้า
		05	ดงพญา
13	กิ่ง อ.สองแคว	01	นาไร่หลวง
		02	ระแดน
		03	ยอด
14	กิ่ง อ.ภูเพียง	01	ม่วงตื๊ด
		02	นาปัง
		03	น้ำแก่น
		04	น้ำเกี๋ยน
		05	เมืองจัง
		06	ทำน้าว
		07	ฝายแก้ว
15	เฉลิมพระเกียรติ	01	หัวยโก๋น
		02	จุนน่าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 รหัสเขตการปกครองของจังหวัดพิจิตร

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 66 จังหวัดพิจิตร			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
01	เมืองพิจิตร	01	ในเมือง
		02	ไผ่ขวาง
		03	ย่านยาว
		04	ท่าฬ่อ
		05	ปากทาง
		06	คลองคะเชนทร์
		07	โรงร้าง
		08	เมืองเก่า
		09	ท่าหลวง
		10	บ้านบุ่ง
		11	ฆะมัง
		12	ดงป่าคำ
		13	หัวดง
		15	ป่ามะคาบ
		19	สายคำโห้
		20	ดงกลาง
02	วังทรายพูน	01	วังทรายพูน
		02	หนองปลาไหล
		03	หนองพระ
		04	หนองปล้อง
03	โพธิ์ประทับช้าง	01	โพธิ์ประทับช้าง
		02	ไผ่ท่าโพ
		03	วังจิก
		04	ไผ่รอบ
		05	ดงเสือเหลือง
		06	เนินสว่าง
		07	ทุ่งใหญ่
04	ตะพานหิน	01	ตะพานหิน

รหัส : 66 จังหวัดพิจิตร			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		02	งิ้วราย
		03	หัวยเกตุ
		04	ไทรโรงโขน
		05	หนองพยอม
		06	ทุ่งโพธิ์
		07	ดงตะขบ
		08	คลองคูณ
		09	วังสำโรง
		10	วังหว้า
		11	วังหลุม
		12	ทับหมัน
		13	ไผ่หลวง
05	บางมูลนาก	01	บางมูลนาก
		02	บางไผ่
		03	หอไกร
		04	เนินมะกอก
		05	วังสำโรง
		06	ภูมี
		07	วังกรด
		08	ห้วยแรง
		09	วังตะกู
		14	ลำประดา
06	โพทะเล	01	โพทะเล
		02	ท้ายน้ำ
		03	ทะนง
		04	ท่าบัว
		05	ทุ่งน้อย
		06	ท่าขมิ้น
		07	ท่าเสา
		08	บางคลาน

ตารางที่ ก-4 (ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดพิจิตร

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 66 จังหวัดพิจิตร			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		11	ท่านั่ง
		12	บ้านน้อย
		13	วัดขวาง
07	สามง่าม	01	สามง่าม
		02	กำแพงดิน
		03	รังนก
		06	เนินปอ
		07	หนองโสน
08	ทับคล้อ	01	ทับคล้อ
		02	เขาทราย
		03	เขาเจ็ดลูก
		04	ท้ายทุ่ง
09	กิ่ง อ.สากเหล็ก	01	สากเหล็ก
		02	ท่าเยี่ยม
		03	คลองทราย
		04	หนองหญ้าไทร
		05	วังทับไทร
10	กิ่ง อ.บึงนาราง	01	ห้วยแก้ว
		02	โพธิ์ไทรงาม
		03	แหลมรัง
		04	บางลาย
		05	บึงนาราง
11	กิ่ง อ.ดงเจริญ	01	วังงิ้วใต้
		02	วังงิ้ว
		03	ห้วยร่วม
		04	ห้วยพุก
		05	สำนักขุนเณร
12	วชิรบารมี	01	บ้านนา

รหัส : 66 จังหวัดพิจิตร			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		02	บึงบัว
		03	วังโมกข์
		04	หนองหลุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-4 (ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดพิจิตร

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 66 จังหวัดพิจิตร			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		11	ท่านั่ง
		12	บ้านน้อย
		13	วัดขวาง
07	สามง่าม	01	สามง่าม
		02	กำแพงดิน
		03	รังนก
		06	เนินปอ
		07	หนองโสน
08	ทับคล้อ	01	ทับคล้อ
		02	เขาทราย
		03	เขาเจ็ดลูก
		04	ท้ายทุ่ง
09	กิ่ง อ.สากเหล็ก	01	สากเหล็ก
		02	ท่าเยี่ยม
		03	คลองทราย
		04	หนองหญ้าไทร
		05	วังทับไทร
10	กิ่ง อ.บึงนาราง	01	ห้วยแก้ว
		02	โพธิ์ไทรงาม
		03	แหลมรัง
		04	บางลาย
		05	บึงนาราง
11	กิ่ง อ.ดงเจริญ	01	วังงิ้วใต้
		02	วังงิ้ว
		03	ห้วยร่วม
		04	ห้วยพุก
		05	สำนักขุนเณร
12	วชิรบารมี	01	บ้านนา

รหัส : 66 จังหวัดพิจิตร			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		02	บึงบัว
		03	วังโมกข์
		04	หนองหลุม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ n-5 รหัสเขตการปกครองของจังหวัดพิษณุโลก

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 65 จังหวัดพิษณุโลก			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
01	เมืองพิษณุโลก	01	ในเมือง
		02	วังน้ำคู้
		03	วัดจันทร์
		04	วัดพริก
		05	ท่าทอง
		06	ท่าโพธิ์
		07	สมอแข
		08	ดอนทอง
		09	บ้านป่า
		10	ปากโทก
		11	หัวรอ
		12	จอมทอง
		13	บ้านกร่าง
		14	บ้านคลอง
		15	พลายชุมพล
		16	มะขามสูง
		17	อรัญญิก
		18	บึงพระ
		19	ไผ่ขอดอน
		20	จิ้วงาม
02	นครไทย	01	นครไทย
		02	หนองกะท้าว
		03	บ้านแยง
		04	เนินเพิ่ม
		05	นาบัว
		06	นครชุม
		07	น้ำกุ่ม
		08	ยางโกลน
		09	บ่อโพธิ์

รหัส : 65 จังหวัดพิษณุโลก			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		10	บ้านพร้าว
		11	ห้วยเฮี้ย
03	ชาติตระการ	01	ป่าแดง
		02	ชาติตระการ
		03	สวนเมี่ยง
		04	บ้านดง
		05	บ่อภาค
		06	ท่าสะแก
04	บางระกำ	01	บางระกำ
		02	ปลักแรด
		03	พันเสา
		04	วังอิทก
		05	บึงกอก
		06	หนองกุลา
		07	ชุมแสง สงคราม
		08	นิคมพัฒนา
		09	บ่อทอง
		10	ท่านางงาม
		11	คุยม่วง
05	บางกระทุ่ม	01	บางกระทุ่ม
		02	บ้านไร่
		03	โคกสลุด
		04	สนามคลี
		05	ท่าตาล
		06	ไผ่ล้อม
		07	นครป่าหมาก
		08	เนินกุ่ม
		09	วัดตายม
06	พรหมพิราม	01	พรหมพิราม

ตารางที่ ก-5 (ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดพิษณุโลก

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 65 จังหวัดพิษณุโลก			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		02	ท่าช้าง
		03	วงฆ้อง
		04	มะตูม
		05	หอกลอง
		06	ศรีภิรมย์
		07	ตลุกเทียม
		08	วังวน
		09	หนองแขม
		10	มะต้อง
		11	ทับยายเชียง
		12	ดงประคำ
07	วัดโบสถ์	01	วัดโบสถ์
		02	ท่างาม
		03	ท้อแท้
		04	บ้านยาง
		05	หินลาด
		06	คันโช้ง
08	วังทอง	01	วังทอง
		02	พันชาลี
		03	แม่ระกา
		04	บ้านกลาง
		05	วังพิกุล
		06	แก่งโสภา
		07	ท่าหมื่นราม
		08	วังนกแอ่น
		09	หนองพระ
		10	วัยนาม
		11	ดินทอง
09	เนินมะปราง	01	วมพุ
		02	บ้านมุง
		03	ไทรย้อย

รหัส : 65 จังหวัดพิษณุโลก			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		04	วังโพรง
		06	เนินมะปราง
		07	วังยาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-6 รหัสเขตการปกครองของจังหวัดเพชรบูรณ์

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 67 จังหวัดเพชรบูรณ์			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
01	เมืองเพชรบูรณ์	01	ในเมือง
		02	ตะเบาะ
		03	บ้านโตก
		04	สะเดียง
		05	ป่าเลา
		06	นางั่ว
		07	ท่าพล
		08	ดงมูลเหล็ก
		09	บ้านโคก
		10	รอนโพธ
		11	นาป่า
		12	นายม
		13	วังชมภู
		14	น้ำร้อน
		15	ห้วยสะแก
		16	ห้วยใหญ่
		17	ระวิง
02	วนแดน	01	วนแดน
		02	ดงขุย
		03	ท่าข้าม
		04	พุทธบาท
		05	ลาดแค
		06	บ้านกล้วย
		08	ซับพุทรา
		09	ตะกุดไร
		10	สาลาลาย
03	หล่มสัก	01	หล่มสัก
		02	วัดป่า
		03	ตาลเดี่ยว
		04	ฝายนาแซง

รหัส : 67 จังหวัดเพชรบูรณ์			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		05	หนองสว่าง
		06	น้ำเฮี้ย
		07	สักหลง
		08	ท่าอิบุญ
		09	บ้านโสก
		10	บ้านติ้ว
		11	ห้วยไร่
		12	น้ำก้อ
		13	ปากช่อง
		14	น้ำรุน
		15	หนองไขว่
		16	ลานบ่า
		17	บุ่งคล้า
		18	บุ่งน้ำเต้า
		19	บ้านกลาง
		20	ช้างตะลูด
		21	บ้านไร่
		22	ปากดุก
		23	บ้านหวาย
04	หล่มเก่า	01	หล่มเก่า
		02	นาซ่า
		03	หินฮาว
		04	บ้านเนิน
		05	ศิลา
		06	นาแซง
		07	วังบาล
		08	นาเกาะ
		09	ตาดกลอย
05	วิเชียรบุรี	01	ท่าโรง
		02	สระประดู่

ตารางที่ ก-6 (ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดเพชรบูรณ์

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 67 จังหวัดเพชรบูรณ์			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		03	สามแยก
		04	โคกปรง
		05	น้ำร้อน
		06	บ่อรัง
		07	พุเตย
		08	พุขาม
		09	ภูน้ำหยด
		10	ซับสมบูรณ์
		11	บึงกระจับ
		12	วังใหญ่
		13	ยางสาว
		14	ซับน้อย
06	ศรีเทพ	01	ศรีเทพ
		02	สระกรวด
		03	คลองกระจัง
		04	นาสนุ่น
		05	โคกสะอาด
		06	หนองย่างทอย
		07	ประดู่งาม
07	หนองไผ่	01	กองทูล
		02	นาเฉลียง
		03	บ้านโภชน์
		04	ท่าแดง
		05	เพชรละคร
		06	บ่อไทย
		07	หัวยโป่ง
		08	วังท่าดี
		09	บัววัฒนา
		10	หนองไผ่
		11	วังโบสถ์

รหัส : 67 จังหวัดเพชรบูรณ์			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		12	ยางงาม
		13	ท่าด้วง
08	บึงสามพัน	01	ซับสมอทอด
		02	ซับไม้แดง
		03	หนองแจง
		04	กันจุ
		05	วังพิกุล
		06	พญาวัง
		07	ศรีมงคล
		08	สระแก้ว
		09	บึงสามพัน
09	น้ำหนาว	01	น้ำหนาว
		02	หลักด่าน
		03	วังกวาง
		04	โคกมน
10	วังโป่ง	01	วังโป่ง
		02	ท้ายดง
		03	ซับเปิบ
		04	วังหิน
		05	วังศาล
11	เขาค้อ	01	ทุ่งสมอ
		02	แคมป์สน
		03	เขาค้อ
		04	ริมสีม่วง
		05	สะเดาะพง
		06	หนองแม่นา
		07	เขากะโรง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-7 รหัสเขตการปกครองของจังหวัดแพร่

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 54 จังหวัดแพร่			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
01	เมืองแพร่	01	ในเวียง
		02	นาจักร
		03	น้ำชำ
		04	ป่าแดง
		05	ทุ่งโฮ้ง
		06	เหมืองหม้อ
		07	วังธง
		08	แม่หล่าย
		09	ห้วยม้า
		10	ป่าแมต
		11	บ้านถิ่น
		12	สวนเขื่อน
		13	วังหงษ์
		14	แม่คำมี
		15	ทุ่งกวาว
		16	ท่าข้าม
		17	แม่ยม
		18	ช่อแฮ
		19	ร่องฟอง
		20	กาญจนา
02	ร้องกวาง	01	ร้องกวาง
		04	ร้องเข็ม
		05	น้ำเลา
		06	บ้านเวียง
		07	ทุ่งศรี
		08	แม่ยางตาล
		09	แม่ยางฮ่อ
		10	ไผ่โทน
		13	ห้วยโรง
		14	แม่ทราย

รหัส : 54 จังหวัดแพร่			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		15	แม่ยางร้อง
03	ลอง	01	ห้วยอ้อ
		02	บ้านปิน
		03	ต้าผามอก
		04	เวียงต้า
		05	ปากกาง
		06	หัวทุ่ง
		07	ทุ่งแล้ง
		08	บ่อเหล็กลอง
		09	แม่ปาน
04	สูงเม่น	01	สูงเม่น
		02	น้ำชำ
		03	หัวฝาย
		04	ดอนมูล
		05	บ้านเหล่า
		06	บ้านกวาง
		07	บ้านปง
		08	บ้านกาศ
		09	ร่องกาศ
		10	ลมสาย
		11	เวียงทอง
		12	พระหลวง
05	เด่นชัย	01	เด่นชัย
		02	แม่จั๊วะ
		03	ไทรย้อย
		04	ห้วยไร่
		05	ปงป่าหวาย
06	สอง	01	บ้านหนุน
		02	บ้านกลาง
		03	ห้วยหม้าย

ตารางที่ ก-7(ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดแพร่

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 54 จังหวัดแพร่			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		04	เตาปูน
		05	หัวเมือง
		06	สะเอียบ
		07	แดนชุมพล
		08	ทุ่งน้าว
07	วังชิ้น	01	วังชิ้น
		02	สรอย
		03	แม่ป้าก
		04	นาพูน
		05	แม่พุง
		06	ป่าสัก
		07	แม่เกิ๋ง
08	หนองม่วงไข่	01	แม่คำมี
		02	หนองม่วงไข่
		03	น้ำรัด
		04	วังหลวง
		05	ตำหนักธรรม
		06	ทุ่งแล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-8 รหัสเขตการปกครองของจังหวัดสุโขทัย

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 64 จังหวัดสุโขทัย			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
01	เมืองสุโขทัย	01	ธานี
		02	บ้านสวน
		03	เมืองเก่า
		04	ปากแคว
		05	ยางข้าย
		06	บ้านกล้วย
		07	บ้านหลุม
		08	ตาลเตี้ย
		09	ปากพระ
		10	วังทองแดง
02	บ้านด่านลานหอย	01	ลานหอย
		02	บ้านด่าน
		03	วังตะคร้อ
		04	วังน้ำขาว
		05	ตลิ่งชัน
		06	หนองหญ้าปล้อง
		07	วังลึก
03	คีรีมาศ	01	โตนด
		02	ทุ่งหลวง
		03	บ้านป้อม
		04	สามพวง
		05	คีรีมาศ
		06	หนองจิก
		07	นาเชิงคีรี
		08	หนองกระดิ่ง
		09	บ้านน้ำพุ
		10	ทุ่งยางเมือง
04	กงไกรลาศ	01	กง

รหัส : 64 จังหวัดสุโขทัย			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		02	บ้านกร่าง
		03	ไกรนอก
		04	ไกรกลาง
		05	ไกรใน
		06	ดงเดือย
		07	ป่าแฝก
		08	กกแรต
		09	ท่าฉนวน
		10	หนองตูม
		11	บ้านใหม่สุขเกษม
05	ศรีสัชนาลัย	01	หาดเสี้ยว
		02	ป่างิ้ว
		03	แม่สำ
		04	แม่สิน
		05	บ้านตึก
		06	หนองอ้อ
		07	ท่าชัย
		08	ศรีสัชนาลัย
		09	ดงคู่
		10	บ้านแก่ง
		11	สารจิตร
06	ศรีสำโรง	01	คลองตาล
		02	วังลึก
		03	สามเรือน
		04	บ้านนา
		05	วังทอง
		06	นาขุนไกร
		07	เกาะตาเลี้ยง
		08	วัดเกาะ

ตารางที่ ก-8 (ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดสุโขทัย

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 64 จังหวัดสุโขทัย			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		09	บ้านไร่
		10	ทับผึ้ง
		11	บ้านซ่าน
		12	วังใหญ่
		13	ราวต้นจันทร์
07	สวรรคโลก	01	เมืองสวรรคโลก
		02	ในเมือง
		03	คลองกระจง
		04	วังพิณพาทย์
		05	วังไม้ขอน
		06	ย่านยาว
		07	นาทุ่ง
		08	คลองยาง
		09	เมืองบางยม
		10	ท่าทอง
		11	ปากน้ำ
		12	บ้ากุ่มเกาะ
		13	เมืองบางขลัง
		14	หนองกลับ
08	ศรีนคร	01	ศรีนคร
		02	นครเดิฐ
		03	น้ำขุม
		04	คลองมะพลับ
		05	หนองบัว
09	ทุ่งเสลี่ยม	01	บ้านใหม่ไชยมงคล
		02	ไทยชนะศึก
		03	ทุ่งเสลี่ยม
		04	กลางดง

รหัส : 64 จังหวัดสุโขทัย			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		05	เขาแก้วศรีสมบูรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก-9 รหัสเขตการปกครองของจังหวัดอุตรดิตถ์

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 53 จังหวัดอุตรดิตถ์			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
01	เมืองอุตรดิตถ์	01	ท่าอิฐ
		02	ท่าเสา
		03	บ้านเกาะ
		04	ป่าเซ่า
		05	คุ้งตะเภา
		06	วังกะพี้
		07	หาดกรวด
		08	น้ำริด
		09	งิ้วงาม
		10	บ้านด่านนาขาม
		11	บ้านด่าน
		12	ผาจุก
		13	วังดิน
		14	แสนตอ
		15	หาดงิ้ว
		16	ขุนฝาง
		17	ถ้ำฉลอง
02	ตรอน	01	วังแดง
		02	บ้านแก่ง
		03	หาดสองแคว
		04	น้ำอ่าง
		05	ช่อยสูง
03	ท่าปลา	01	ท่าปลา
		02	หาดล้า
		03	ผาเลือด
		04	จริม
		05	น้ำหมัน
		06	ท่าแฝก
		07	นางพญา

รหัส : 53 จังหวัดอุตรดิตถ์			
รหัส	อำเภอ	รหัส	ตำบล
		08	ร่วมจิต
04	น้ำปาด	01	แสนตอ
		02	บ้านฝาย
		03	เด่นเหล็ก
		04	น้ำไคร้
		05	น้ำไผ่
		06	ห้วยมุ่น
05	ฟากท่า	01	ฟากท่า
		02	สองคอน
		03	บ้านเสี้ยว
		40	สองห้อง
06	บ้านโคก	01	ม่วงเจ็ดต้น
		02	บ้านโคก
		03	นาขุม
		04	บ่อเบี้ย
07	พิชัย	01	ในเมือง
		02	บ้านดารา
		03	ไร่อ้อย
		04	ท่าสัก
		05	คอรุม
		06	บ้านหม้อ
		07	ท่ามะเฟือง
		08	บ้านโคน
		09	พญาแมน
		10	นาอิน
		11	นายาง
08	ลับแล	01	ศรีพนมมาศ
		02	แม่พูล
		03	นานกกก
		04	ฝายหลวง

ตารางที่ ก-9 (ต่อ) รหัสเขตการปกครองของจังหวัดอุตรดิตถ์

ที่มา : สำนักงานสถิติแห่งชาติ (2543)

รหัส : 53 จังหวัดอุตรดิตถ์			
รหัส	**อำเภอ**	**รหัส**	**ตำบล**
		05	วัยจุมพล
		06	ไผ่ล้อม
		07	ทุ่งยั้ง
		08	ด่านแม่คำมัน
09	ทองแสนขัน	01	ผักขวง
		02	บ่อทอง
		03	ป่าคาย
		04	น้ำพี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างโครงข่ายและการคำนวณหาค่า k ที่เหมาะสม สำหรับ AD และ SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๔๑ ตัวอย่างโครงข่ายและการคำนวณหาค่า k ที่เหมาะสมของ AD และ SD

actual distance	straight distance	AD										SD									
		1.250	1.260	1.270	1.280	1.290	1.300	1.310	1.320	1.330	1.340	1.300	1.305	1.310	1.315	1.320	1.325	1.330	1.335	1.340	1.345
25.00	23.510	4.388	4.623	4.858	5.093	5.328	5.563	5.798	6.033	6.268	6.503	1.238	1.291	1.345	1.400	1.456	1.513	1.572	1.631	1.692	1.753
43.00	39.440	6.300	6.694	7.089	7.483	7.878	8.272	8.666	9.061	9.455	9.850	1.591	1.668	1.747	1.827	1.909	1.993	2.079	2.167	2.256	2.347
50.00	36.280	4.650	4.287	3.924	3.562	3.199	2.836	2.473	2.110	1.748	1.385	0.161	0.141	0.122	0.105	0.089	0.074	0.061	0.049	0.038	0.029
43.00	36.050	2.063	2.423	2.784	3.144	3.505	3.865	4.226	4.586	4.947	5.307	0.347	0.381	0.415	0.451	0.489	0.528	0.569	0.611	0.655	0.700
55.00	40.450	4.438	4.033	3.629	3.224	2.820	2.415	2.010	1.606	1.202	0.797	0.106	0.089	0.073	0.059	0.047	0.036	0.026	0.018	0.012	0.006
79.00	58.430	5.963	5.378	4.794	4.210	3.625	3.041	2.457	1.872	1.288	0.704	0.117	0.096	0.076	0.059	0.044	0.032	0.021	0.013	0.006	0.002
53.00	36.080	7.900	7.539	7.178	6.818	6.457	6.096	5.735	5.374	5.014	4.653	0.701	0.660	0.621	0.582	0.545	0.509	0.474	0.441	0.408	0.377
70.00	37.110	23.613	23.241	22.870	22.499	22.128	21.757	21.386	21.015	20.644	20.273	6.762	6.648	6.534	6.421	6.309	6.198	6.088	5.979	5.871	5.764
90.00	62.070	12.413	11.792	11.171	10.550	9.930	9.309	8.688	8.068	7.447	6.826	0.953	0.900	0.839	0.780	0.723	0.669	0.616	0.566	0.518	0.472
25.00	24.260	5.325	5.558	5.810	6.053	6.295	6.538	6.781	7.023	7.266	7.508	1.710	1.774	1.839	1.905	1.973	2.042	2.112	2.183	2.255	2.328
32.00	22.750	3.563	3.335	3.108	2.880	2.653	2.425	2.198	1.970	1.743	1.515	0.184	0.167	0.151	0.136	0.121	0.108	0.095	0.083	0.072	0.061
38.00	26.030	5.500	5.240	4.980	4.720	4.460	4.200	3.940	3.680	3.420	3.160	0.464	0.436	0.409	0.382	0.356	0.332	0.308	0.285	0.263	0.242
41.00	38.730	7.412	7.800	8.187	8.574	8.962	9.349	9.736	10.124	10.511	10.898	2.132	2.221	2.312	2.405	2.500	2.595	2.695	2.795	2.897	3.001
45.00	35.160	1.050	0.698	0.347	0.005	0.355	0.709	1.060	1.411	1.763	2.114	0.011	0.017	0.025	0.034	0.044	0.056	0.069	0.084	0.099	0.117
60.00	31.460	20.075	20.360	20.046	19.731	19.417	19.102	18.787	18.473	18.159	17.844	6.081	5.982	5.883	5.785	5.687	5.591	5.495	5.401	5.307	5.213
60.00	47.680	0.400	0.077	0.554	1.030	1.507	1.984	2.461	2.938	3.414	3.891	0.066	0.082	0.101	0.121	0.144	0.168	0.194	0.222	0.252	0.284
76.00	57.630	3.962	3.386	2.810	2.234	1.657	1.081	0.505	0.072	0.648	1.224	0.015	0.008	0.003	0.001	0.000	0.002	0.006	0.012	0.020	0.030
60.00	67.920	4.900	5.579	6.258	6.938	7.617	8.296	8.975	9.654	10.334	11.013	0.860	0.932	1.007	1.085	1.165	1.249	1.335	1.424	1.516	1.611
86.00	68.320	0.600	0.083	0.766	1.450	2.133	2.816	3.499	4.182	4.865	5.548	0.092	0.116	0.142	0.172	0.203	0.238	0.275	0.315	0.358	0.403
75.00	64.720	5.900	6.547	7.194	7.842	8.489	9.136	9.783	10.430	11.078	11.725	1.113	1.193	1.276	1.362	1.451	1.542	1.636	1.733	1.833	1.936
97.00	68.660	11.175	10.488	9.802	9.115	8.429	7.742	7.055	6.369	5.682	4.995	0.618	0.564	0.513	0.464	0.418	0.374	0.333	0.294	0.257	0.223
136.00	66.180	53.275	52.613	51.951	51.290	50.628	49.966	49.304	48.642	47.981	47.319	18.357	18.115	17.874	17.635	17.398	17.162	16.927	16.695	16.464	16.234
17.00	16.160	3.125	3.285	3.447	3.608	3.769	3.930	4.091	4.252	4.413	4.574	0.909	0.946	0.984	1.024	1.064	1.104	1.146	1.189	1.231	1.274
35.00	26.950	1.313	1.043	0.773	0.504	0.234	0.035	0.304	0.574	0.843	1.113	0.000	0.001	0.003	0.006	0.009	0.014	0.020	0.027	0.035	0.044
40.00	26.240	7.200	6.938	6.675	6.413	6.150	5.888	5.626	5.363	5.101	4.838	0.667	0.629	0.791	0.755	0.719	0.684	0.650	0.617	0.585	0.554
30.00	20.850	3.938	3.729	3.521	3.312	3.104	2.895	2.687	2.478	2.270	2.061	0.279	0.260	0.241	0.222	0.205	0.188	0.172	0.156	0.142	0.128
17.00	15.610	2.513	2.669	2.825	2.981	3.137	3.293	3.449	3.605	3.761	3.917	0.638	0.668	0.700	0.732	0.765	0.798	0.832	0.867	0.903	0.939
75.00	51.400	10.750	10.236	9.722	9.208	8.694	8.180	7.666	7.152	6.638	6.124	0.692	0.837	0.784	0.732	0.682	0.634	0.588	0.543	0.500	0.459
47.00	31.000	7.500	7.184	6.868	6.552	6.236	5.920	5.604	5.288	4.972	4.656	0.746	0.705	0.668	0.631	0.595	0.560	0.526	0.493	0.461	0.430
57.00	51.950	7.938	8.457	8.977	9.496	10.016	10.535	11.055	11.574	12.094	12.613	1.947	2.044	2.144	2.246	2.350	2.457	2.566	2.677	2.791	2.907
141.00	165.760	58.800	58.142	57.485	56.827	56.170	55.512	54.854	54.197	53.539	52.882	21.655	21.597	21.340	21.085	20.832	20.580	20.329	20.080	19.833	19.587

ตารางที่ ฉ-1 (ต่อ) ตัวอย่างโครงร่างและการคำนวณหาค่า k ที่เหมาะสมของ AD และ SD

actual distance	straight distance	AD										SD									
		1.250	1.260	1.270	1.280	1.290	1.300	1.310	1.320	1.330	1.340	1.300	1.305	1.310	1.315	1.320	1.325	1.330	1.335	1.340	1.345
52.00	39.850	2.188	1.789	1.391	0.992	0.593	0.195	0.204	0.602	1.001	1.399	0.001	0.000	0.001	0.003	0.007	0.012	0.019	0.028	0.038	0.049
58.00	52.420	7.525	8.049	8.573	9.098	9.622	10.146	10.670	11.194	11.719	12.243	1.775	1.868	1.963	2.061	2.161	2.263	2.368	2.475	2.584	2.696
84.00	70.740	4.425	5.132	5.840	6.547	7.255	7.962	8.669	9.377	10.084	10.792	0.755	0.823	0.895	0.969	1.047	1.127	1.211	1.297	1.386	1.479
107.00	75.740	12.325	11.568	10.810	10.053	9.295	8.538	7.781	7.023	6.266	5.508	0.681	0.622	0.566	0.512	0.461	0.413	0.367	0.324	0.284	0.246
122.00	109.050	14.313	15.403	16.494	17.584	18.675	19.765	20.856	21.946	23.037	24.127	3.202	3.381	3.565	3.754	3.948	4.146	4.350	4.558	4.771	4.990
24.00	17.460	2.175	2.000	1.826	1.651	1.477	1.302	1.127	0.953	0.778	0.604	0.071	0.061	0.053	0.045	0.038	0.031	0.025	0.020	0.015	0.011
45.00	39.650	4.563	4.959	5.356	5.752	6.149	6.545	6.942	7.338	7.735	8.131	0.952	1.010	1.071	1.133	1.197	1.262	1.329	1.398	1.469	1.542
8.00	7.420	1.275	1.349	1.423	1.498	1.572	1.646	1.720	1.794	1.869	1.943	0.339	0.354	0.370	0.386	0.402	0.419	0.436	0.454	0.472	0.490
72.00	63.690	7.613	8.249	8.886	9.523	10.160	10.797	11.434	12.071	12.708	13.345	1.619	1.716	1.816	1.918	2.024	2.132	2.243	2.357	2.473	2.593
40.00	36.320	5.400	5.763	6.126	6.490	6.853	7.216	7.579	7.942	8.306	8.669	1.302	1.399	1.496	1.596	1.697	1.800	1.905	2.011	2.120	2.230
105.00	113.140	23.575	22.444	21.312	20.181	19.049	17.918	16.787	15.655	14.524	13.392	1.946	1.825	1.709	1.595	1.485	1.380	1.278	1.181	1.087	0.997
113.00	92.710	2.687	3.815	4.742	5.669	6.596	7.523	8.450	9.377	10.304	11.231	0.501	0.564	0.632	0.703	0.776	0.857	0.940	1.026	1.116	1.210
42.00	31.130	3.088	2.776	2.465	2.154	1.842	1.531	1.220	0.908	0.597	0.285	0.050	0.045	0.035	0.027	0.020	0.013	0.009	0.005	0.002	0.000
20.00	15.270	0.913	0.760	0.607	0.454	0.302	0.149	0.004	0.156	0.309	0.462	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.005	0.007	0.011	0.014
48.60	45.050	7.713	8.163	8.613	9.064	9.515	9.965	10.416	10.866	11.317	11.767	2.043	2.137	2.232	2.330	2.429	2.531	2.635	2.741	2.849	2.959
46.00	36.610	0.237	0.129	0.495	0.861	1.227	1.593	1.959	2.325	2.691	3.057	0.055	0.039	0.083	0.100	0.118	0.137	0.157	0.180	0.203	0.228
20.00	16.610	0.762	0.929	1.095	1.261	1.427	1.593	1.759	1.925	2.091	2.257	0.127	0.140	0.155	0.170	0.185	0.202	0.219	0.235	0.255	0.274
65.00	56.170	5.213	5.774	6.336	6.898	7.459	8.021	8.583	9.144	9.706	10.268	0.960	1.060	1.133	1.209	1.286	1.367	1.449	1.534	1.622	1.712
18.00	17.010	3.263	3.433	3.603	3.773	3.943	4.113	4.283	4.453	4.623	4.793	0.940	0.979	1.019	1.060	1.102	1.144	1.187	1.232	1.276	1.322
48.50	33.800	6.250	5.912	5.574	5.235	4.896	4.558	4.222	3.884	3.546	3.208	0.429	0.398	0.368	0.339	0.311	0.285	0.259	0.235	0.212	0.190
68.00	59.340	6.175	6.768	7.362	7.955	8.548	9.142	9.735	10.329	10.922	11.516	1.229	1.310	1.394	1.480	1.569	1.660	1.754	1.851	1.950	2.052
359.00	285.770	0.538	2.350	5.198	8.066	10.933	13.801	16.669	19.536	22.404	25.272	0.531	0.647	0.774	0.913	1.063	1.225	1.399	1.583	1.779	1.987
241.00	194.740	2.425	4.372	6.320	8.267	10.215	12.162	14.109	16.057	18.004	19.952	0.614	0.716	0.826	0.944	1.070	1.203	1.345	1.494	1.652	1.817
177.00	140.370	1.537	0.134	1.270	2.674	4.077	5.481	6.885	8.288	9.692	11.096	0.170	0.216	0.268	0.325	0.388	0.457	0.531	0.610	0.695	0.786
70.00	65.940	12.425	13.084	13.744	14.403	15.063	15.722	16.381	17.041	17.700	18.360	3.531	3.681	3.834	3.989	4.148	4.310	4.476	4.644	4.815	4.990
90.00	88.450	20.563	21.447	22.332	23.216	24.101	24.985	25.870	26.754	27.639	28.523	6.936	7.184	7.436	7.692	7.953	8.218	8.488	8.761	9.040	9.322
103.00	86.660	5.325	6.192	7.058	7.925	8.791	9.658	10.525	11.391	12.258	13.124	0.906	0.980	1.075	1.166	1.260	1.357	1.459	1.564	1.672	1.785
273.00	174.650	54.688	52.941	51.195	49.448	47.702	45.955	44.209	42.462	40.716	38.969	7.736	7.445	7.159	6.879	6.604	6.335	6.072	5.815	5.563	5.316
362.00	274.140	19.325	16.584	13.842	11.101	8.359	5.618	2.877	0.135	2.606	5.348	0.057	0.050	0.023	0.006	0.000	0.004	0.019	0.044	0.079	0.125
244.00	176.950	22.813	21.043	19.274	17.504	15.735	13.965	12.196	10.426	8.656	6.887	0.799	0.701	0.610	0.524	0.445	0.373	0.307	0.248	0.194	0.148
179.00	132.810	12.988	11.659	10.331	9.003	7.675	6.347	5.019	3.691	2.363	1.035	0.225	0.180	0.141	0.106	0.076	0.051	0.031	0.016	0.006	0.001

ตารางที่ 34 (ต่อ) ตัวอย่างโครงข่ายและการคำนวณหาค่า k ที่เหมาะสมของ AD และ SD

actual distance	straight distance	AD										SD									
		1.250	1.260	1.270	1.280	1.290	1.300	1.310	1.320	1.330	1.340	1.300	1.305	1.310	1.315	1.320	1.325	1.330	1.335	1.340	1.345
79.00	75.530	15.413	16.168	16.923	17.678	18.434	19.189	19.944	20.700	21.455	22.210	4.651	4.845	5.035	5.228	5.424	5.623	5.827	6.034	6.244	6.458
157.00	138.170	15.713	17.094	18.476	19.858	21.239	22.621	24.003	25.384	26.766	28.148	3.259	3.461	3.670	3.884	4.104	4.331	4.563	4.802	5.046	5.297
136.00	120.400	12.500	13.704	14.908	16.112	17.316	18.520	19.724	20.928	22.132	23.336	2.485	2.650	2.819	2.994	3.174	3.359	3.549	3.745	3.946	4.152
308.00	221.650	30.938	28.721	26.505	24.288	22.072	19.855	17.639	15.422	13.206	10.989	1.280	1.141	1.010	0.887	0.772	0.665	0.565	0.475	0.392	0.317
118.00	97.540	3.925	4.900	5.876	6.851	7.827	8.802	9.777	10.753	11.728	12.704	0.657	0.731	0.810	0.893	0.980	1.071	1.166	1.265	1.368	1.475
191.00	146.480	7.930	6.435	4.970	3.505	2.041	0.576	0.889	2.354	3.818	5.283	0.032	0.000	0.004	0.014	0.029	0.050	0.076	0.108	0.146	0.189
282.00	220.880	5.903	3.691	1.482	0.726	2.935	5.144	7.353	9.562	11.770	13.979	0.094	0.138	0.192	0.254	0.324	0.403	0.491	0.588	0.693	0.807
359.00	263.030	30.213	27.582	24.952	22.322	19.691	17.061	14.431	11.800	9.170	6.540	0.611	0.691	0.580	0.479	0.388	0.306	0.234	0.172	0.119	0.076
295.00	224.720	14.100	11.853	9.606	7.358	5.111	2.864	0.617	1.630	3.878	6.125	0.028	0.010	0.001	0.001	0.003	0.026	0.051	0.085	0.127	0.178
465.00	265.160	133.550	130.898	128.247	125.595	122.944	120.292	117.640	114.989	112.337	109.686	31.119	30.436	29.762	29.095	28.435	27.783	27.139	26.502	25.873	25.251
74.00	57.000	2.750	2.180	1.610	1.040	0.470	0.100	0.670	1.240	1.810	2.380	0.000	0.002	0.006	0.012	0.021	0.031	0.044	0.059	0.077	0.096
165.00	130.280	2.150	0.847	0.456	1.758	3.061	4.364	5.667	6.970	8.272	9.575	0.115	0.152	0.195	0.242	0.294	0.352	0.415	0.483	0.556	0.634
239.00	189.690	1.687	0.009	1.935	3.803	5.700	7.597	9.494	11.391	13.288	15.185	0.241	0.306	0.377	0.455	0.543	0.637	0.739	0.848	0.965	1.089
178.00	147.830	6.788	8.266	9.744	11.222	12.701	14.179	15.657	17.136	18.614	20.092	1.129	1.250	1.377	1.510	1.650	1.795	1.947	2.104	2.268	2.438
348.00	219.740	73.325	71.128	68.930	66.733	64.535	62.338	60.141	57.943	55.746	53.548	11.167	10.777	10.393	10.017	9.648	9.285	8.930	8.581	8.240	7.905
160.00	74.060	66.675	65.928	65.182	64.435	63.689	62.942	62.195	61.449	60.702	59.956	24.761	24.468	24.177	23.887	23.600	23.314	23.030	22.747	22.467	22.188
189.00	133.700	21.875	20.538	19.201	17.864	16.527	15.190	13.853	12.516	11.179	9.842	1.221	1.116	1.015	0.920	0.829	0.743	0.661	0.585	0.513	0.445
118.00	91.540	3.575	2.660	1.744	0.829	0.087	1.002	1.917	2.833	3.748	4.664	0.009	0.018	0.031	0.048	0.068	0.092	0.119	0.150	0.184	0.222
288.00	174.790	69.513	67.765	66.017	64.269	62.521	60.773	59.025	57.277	55.529	53.781	12.824	12.458	12.097	11.742	11.391	11.046	10.707	10.372	10.043	9.719
125.00	83.570	20.538	19.702	18.866	18.030	17.195	16.359	15.523	14.688	13.852	13.016	2.141	2.033	1.928	1.825	1.726	1.629	1.535	1.444	1.355	1.270
59.00	50.810	4.513	5.021	5.529	6.037	6.545	7.053	7.561	8.069	8.577	9.085	0.843	0.905	0.969	1.035	1.104	1.174	1.247	1.322	1.399	1.478
229.00	156.000	34.000	32.440	30.880	29.320	27.760	26.200	24.640	23.080	21.520	19.960	2.998	2.822	2.651	2.486	2.326	2.172	2.022	1.878	1.740	1.606
73.00	42.160	20.275	19.853	19.431	19.010	18.588	18.166	17.744	17.322	16.901	16.479	4.521	4.416	4.313	4.211	4.110	4.011	3.913	3.816	3.720	3.625
129.00	80.220	21.225	20.363	19.501	18.638	17.776	16.914	16.052	15.190	14.327	13.465	2.218	2.106	1.997	1.892	1.789	1.688	1.591	1.497	1.405	1.317
170.00	105.190	38.513	37.461	36.409	35.357	34.305	33.253	32.201	31.149	30.097	29.045	6.504	6.300	6.099	5.902	5.707	5.516	5.329	5.144	4.963	4.784
SUM		1230.788	1203.627	1187.243	1174.282	1165.194	1157.953	1154.353	1155.997	1165.097	1174.467	227.456	226.143	225.111	224.350	223.891	223.703	223.797	224.172	224.829	225.767

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองการจัดเส้นทางกับการศึกษาที่ผ่านมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค -1 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของปัญหา eil22

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	11	8	2	3	6	10	1
ผลรวมสินค้า	5,800							
ความจุของรถ	6,000							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	14	12	5	4	7	9	1
ผลรวมสินค้า	5,200							
ความจุของรถ	6,000							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	18	21	22	20	1		
ผลรวมสินค้า	6,000							
ความจุของรถ	6,000							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่4	1	15	17	19	16	13	1	
ผลรวมสินค้า	5,600							
ความจุของรถ	6,000							

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	120
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	107
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	92
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4	77
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	397

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-2 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของปัญหา eil23

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	19	20	22	8	9	5	6	10	12	13	1
ผลรวมสินค้า	3,820											
ความจุของรถ	4,500											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	15	21	23	18	16	17	4	3	2	7	1
ผลรวมสินค้า	1,944											
ความจุของรถ	4,500											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	11	14	1								
ผลรวมสินค้า	4,325											
ความจุของรถ	4,500											

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	276
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	281
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	68
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	625

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-3 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของปัญหา eil30

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	30	28	26	25	2	4	22	1							
ผลรวมสินค้า	4,325															
ความจุของรถ	4,500															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	20	16	17	14	8	18	10	15	9	13	12	11	24	19	1
ผลรวมสินค้า	4,025															
ความจุของรถ	4,500															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	29	27	7	5	6	3	23	21	1						
ผลรวมสินค้า	4,500															
ความจุของรถ	4,500															

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	201
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	169
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	175
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	565

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-4 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของปัญหา eil33

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	2	19	20	22	21	23	24	25	28	17	29	30	1
ผลรวมสินค้า	7,800													
ความจุของรถ	8,000													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	27	26	18	16	15	1							
ผลรวมสินค้า	7,900													
ความจุของรถ	8,000													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	3	13	33	11	10	9	8	7	6	5	1		
ผลรวมสินค้า	7,220													
ความจุของรถ	8,000													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่4	1	31	32	14	12	4	1							
ผลรวมสินค้า	5,800													
ความจุของรถ	8,000													

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	321
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	197
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	174
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4	165
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	857

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-5 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของปัญหา eil51

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	47	50	31	35	22	30	36	37	21	12	1	
ผลรวมสินค้า	152												
ความจุของรถ	160												
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	15	26	14	42	41	20	5	48	1			
ผลรวมสินค้า	149												
ความจุของรถ	160												
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	2	9	27	32	29	4	23	3	17	51	10	1
ผลรวมสินค้า	160												
ความจุของรถ	160												
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่4	1	13	38	18	43	45	16	46	34	40	11	6	1
ผลรวมสินค้า	153												
ความจุของรถ	160												
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่5	1	19	7	24	25	44	8	49	28	33	1		
ผลรวมสินค้า	156												
ความจุของรถ	160												

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	124
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	102
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	124
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4	120
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5	112
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	582

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-6 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของปัญหา eila101

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	30	79	35	36	72	66	67	21	33	91	64	65	50	37	1
ผลรวมสินค้า	183															
ความจุของรถ	200															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	15	44	16	42	23	76	57	24	68	40	26	56	25	13	1
ผลรวมสินค้า	187															
ความจุของรถ	200															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	62	17	45	39	87	18	46	47	48	20	12	63	1		
ผลรวมสินค้า	199															
ความจุของรถ	200															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่4	1	11	71	31	52	10	82	34	80	4	78	69	81	1		
ผลรวมสินค้า	197															
ความจุของรถ	200															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่5	1	60	94	86	92	101	99	38	43	58	3	75	73	74	41	1
ผลรวมสินค้า	197															
ความจุของรถ	200															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่6	1	19	61	6	85	84	9	83	49	8	89	32	2	51	77	1
ผลรวมสินค้า	197															
ความจุของรถ	200															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่7	1	7	97	100	93	96	98	88	59	22	5	55	27	29	1	
ผลรวมสินค้า	182															
ความจุของรถ	200															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่8	1	54	14	95	90	53	70	28	1							
ผลรวมสินค้า	110															
ความจุของรถ	200															

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-6(ต่อ) ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของปัญหา eila101

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	192
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	159
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	149
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4	103
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5	95
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6	113
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7	101
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 8	57
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	971

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค -7 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eil a76

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	48	37	70	72	61	71	21	38	6	30	1
ผลรวมสินค้า	136											
ความจุของรถ	140											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	62	23	65	43	44	42	57	24	1		
ผลรวมสินค้า	131											
ความจุของรถ	140											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	50	25	19	51	26	56	32	11	1		
ผลรวมสินค้า	139											
ความจุของรถ	140											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่4	1	36	15	60	67	66	39	1				
ผลรวมสินค้า	135											
ความจุของรถ	140											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่5	1	12	54	20	55	14	58	16	46	1		
ผลรวมสินค้า	132											
ความจุของรถ	140											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่6	1	75	22	29	63	74	2	64	17	1		
ผลรวมสินค้า	139											
ความจุของรถ	140											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่7	1	4	45	33	10	40	73	59	13	1		
ผลรวมสินค้า	139											
ความจุของรถ	140											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่8	1	8	9	53	28	49	31	1				
ผลรวมสินค้า	117											
ความจุของรถ	140											

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-7(ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eila76

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่9	1	18	52	34	3	7	1	
ผลรวมสินค้า	104							
ความจุของรถ	140							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่10	1	68	47	35	5	69	76	1
ผลรวมสินค้า	136							
ความจุของรถ	140							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่11	1	41	27	1				
ผลรวมสินค้า	38							
ความจุของรถ	140							

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	103
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	126
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	133
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4	93
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5	105
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6	88
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7	71
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 8	69
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 9	53
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 10	35
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 11	32

ผลรวมระยะทางทั้งหมด 909

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-8 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eilb101

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	21	67	66	72	36	35	79	29	1		
ผลรวมสินค้า	110											
ความจุของรถ	112											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	63	65	50	37	48	47	9	19	1		
ผลรวมสินค้า	112											
ความจุของรถ	112											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	57	24	68	40	26	56	1				
ผลรวมสินค้า	99											
ความจุของรถ	112											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่4	1	15	45	39	87	17	1					
ผลรวมสินค้า	108											
ความจุของรถ	112											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่5	1	8	12	20	49	83	53	1				
ผลรวมสินค้า	99											
ความจุของรถ	112											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่6	1	92	101	43	44	16	42	23	76	75	73	1
ผลรวมสินค้า	112											
ความจุของรถ	112											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่7	1	52	10	82	34	80	30	25	1			
ผลรวมสินค้า	98											
ความจุของรถ	112											
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่8	1	38	99	86	62	85	18	46	84	61	1	
ผลรวมสินค้า	111											
ความจุของรถ	112											

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-8(ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eilb101

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่9	1	89	11	64	91	33	31	71	32	1	
ผลรวมสินค้า	106										
ความจุของรถ	112										
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่10	1	78	4	69	81	55	5	1			
ผลรวมสินค้า	106										
ความจุของรถ	112										
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่11	1	60	94	93	98	88	58	3	1		
ผลรวมสินค้า	104										
ความจุของรถ	112										
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่12	1	70	2	51	77	13	27	22	74	41	1
ผลรวมสินค้า	107										
ความจุของรถ	112										
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่13	1	95	96	97	100	6	1				
ผลรวมสินค้า	93										
ความจุของรถ	112										
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่14	1	28	90	7	14	59	54	1			
ผลรวมสินค้า	89										
ความจุของรถ	112										

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	118
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	121
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	102
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4	97
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5	81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-8(ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eilb101

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6	103
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7	94
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 8	82
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 9	87
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 10	73
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 11	64
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 12	76
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 13	49
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 14	43
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	1,189

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-9 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eilb76

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	37	70	72	61	71	21	38	30	1
ผลรวมสินค้า	96									
ความจุของรถ	100									
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	62	23	65	43	42	44	1		
ผลรวมสินค้า	99									
ความจุของรถ	100									
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	45	51	19	56	26	32	73	1	
ผลรวมสินค้า	99									
ความจุของรถ	100									
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่4	1	50	25	57	24	64	2	74	1	
ผลรวมสินค้า	99									
ความจุของรถ	100									
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่5	1	60	67	12	1					
ผลรวมสินค้า	98									
ความจุของรถ	100									
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่6	1	58	16	6	48	22	1			
ผลรวมสินค้า	90									
ความจุของรถ	100									
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่7	1	7	63	29	75	3	1			
ผลรวมสินค้า	96									
ความจุของรถ	100									
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่8	1	66	39	11	1					
ผลรวมสินค้า	87									
ความจุของรถ	100									

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค -9(ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eilb76

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่9	1	14	55	20	15	54	1	
ผลรวมสินค้า	96							
ความจุของรถ	100							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่10	1	33	10	40	59	1		
ผลรวมสินค้า	94							
ความจุของรถ	100							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่11	1	52	4	17	34	69	1	
ผลรวมสินค้า	100							
ความจุของรถ	100							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่12	1	8	36	9	53	28	46	1
ผลรวมสินค้า	98							
ความจุของรถ	100							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่13	1	31	49	1				
ผลรวมสินค้า	50							
ความจุของรถ	100							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่14	1	27	13	41	18	1		
ผลรวมสินค้า	87							
ความจุของรถ	100							
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่15	1	68	47	35	1			
ผลรวมสินค้า	76							
ความจุของรถ	100							

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-9(ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eilb76

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	103
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	110
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	115
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4	102
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5	90
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6	81
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7	58
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 8	70
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 9	78
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 10	63
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 11	59
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 12	56
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 13	42
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 14	34
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 15	24
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	1085

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค -10 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eilc76

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	75	22	48	37	70	72	61	71	21	38	6	30	1
ผลรวมสินค้า	179													
ความจุของรถ	180													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	23	65	43	44	42	57	24	50	25	19	26	1	
ผลรวมสินค้า	175													
ความจุของรถ	180													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	15	60	12	67	66	39	27	1					
ผลรวมสินค้า	180													
ความจุของรถ	180													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่4	1	45	33	51	56	32	11	59	1					
ผลรวมสินค้า	153													
ความจุของรถ	180													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่5	1	8	54	36	20	55	14	58	16	49	62	29	1	
ผลรวมสินค้า	179													
ความจุของรถ	180													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่6	1	7	34	74	63	2	64	17	4	10	40	73	13	1
ผลรวมสินค้า	179													
ความจุของรถ	180													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่7	1	3	31	46	28	53	9	47	35	1				
ผลรวมสินค้า	172													
ความจุของรถ	180													
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่8	1	68	5	76	69	52	41	18	1					
ผลรวมสินค้า	155													
ความจุของรถ	180													

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-10 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eilc76

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	111
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	153
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	100
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4	109
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5	134
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6	105
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7	64
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 8	59
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	836

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค-11 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eild76

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่1	1	49	48	37	70	72	61	71	21	38	6	30	1			
ผลรวมสินค้า	156															
ความจุของรถ	220															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่2	1	34	2	44	43	65	42	57	24	50	25	19	51	45	4	1
ผลรวมสินค้า	216															
ความจุของรถ	220															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่3	1	8	54	36	15	60	12	67	66	39	1					
ผลรวมสินค้า	209															
ความจุของรถ	220															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่4	1	20	55	14	58	16	22	62	29	23	63	74	64	17	1	
ผลรวมสินค้า	186															
ความจุของรถ	220															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่5	1	13	59	11	32	56	26	33	10	40	73	41	1			
ผลรวมสินค้า	204															
ความจุของรถ	220															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่6	1	76	5	46	28	53	9	47	35	68	1					
ผลรวมสินค้า	215															
ความจุของรถ	220															
ลำดับร้านค้าของเส้นทางที่7	1	27	18	52	7	69	3	75	31	1						
ผลรวมสินค้า	147															
ความจุของรถ	220															

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค -11 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา eil76

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1	103
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2	144
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3	112
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4	152
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5	127
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6	51
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7	68
ผลรวมระยะทางทั้งหมด	756

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบแบบจำลองการจัดเส้นทางกับข้อมูลจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง- 1 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "2708"

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

เส้นทางที่1ของรถผู้รับเลขที่C005
1เลขที่โรน1
10เลขที่โรน550505
11เลขที่โรน550609
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก806.4
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร.8628001
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่2ของรถผู้รับเลขที่C007
1เลขที่โรน1
6เลขที่โรน540204
9เลขที่โรน550101
12เลขที่โรน550701
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2306.36
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร4.9564
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่3ของรถผู้รับเลขที่C008
1เลขที่โรน1
23เลขที่โรน660101
29เลขที่โรน670202
36เลขที่โรน670801
32เลขที่โรน670507
33เลขที่โรน670602
37เลขที่โรน670808
35เลขที่โรน670710
34เลขที่โรน670702
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2357.795
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร8.628484
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่4ของรถผู้รับเลขที่C009
1เลขที่โรน1
2เลขที่โรน530101
7เลขที่โรน540401
3เลขที่โรน530805
22เลขที่โรน650603
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2405.013
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร7.738266
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่5ของรถผู้รับเลขที่C010
1เลขที่โรน1
28เลขที่โรน670101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1899.345
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร2.09845
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่6ของรถผู้รับเลขที่C011
1เลขที่โรน1
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก0
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร0
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่7ของรถผู้รับเลขที่C012
1เลขที่โรน1
18เลขที่โรน620701
14เลขที่โรน620201
16เลขที่โรน620406
15เลขที่โรน620301
13เลขที่โรน620101
21เลขที่โรน630601
20เลขที่โรน630102
19เลขที่โรน630101

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง- 1 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "2708"

17เลขที่โรน620609
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก5851.458
ความจุรองรถตามน้ำหนัก6340
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร25.01361
ความจุรองรถตามปริมาตร33.64

เส้นทางที่8ของรถผู้รับเลขที่0001
1เลขที่โรน1
8เลขที่โรน540409
4เลขที่โรน540101
5เลขที่โรน540102
31เลขที่โรน670401
30เลขที่โรน670301
27เลขที่โรน660802
26เลขที่โรน660801
24เลขที่โรน660401
25เลขที่โรน660403
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก5185.67
ความจุรองรถตามน้ำหนัก5680
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร8.914078
ความจุรองรถตามปริมาตร23.92

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1
699.5563
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2
601.5163
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3
511.5481
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4
366.8725
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5
271.3638
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6
0
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7
653.1956
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 8
684.3409

ผลรวมระยะทางทั้งหมด3788.394
เซตลูกค้าที่ยังไม่สามารถจัดลงเส้นทาง
จบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง - 2 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "2808"

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

เส้นทางที่1ของรถผู้รับเลขที่C013
1เลขที่โรน1
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก0
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร0
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่2ของรถผู้รับเลขที่C010
1เลขที่โรน1
14เลขที่โรน660101
2เลขที่โรน630101
3เลขที่โรน630102
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2296.02
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร6.1703
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่3ของรถผู้รับเลขที่C012
1เลขที่โรน1
6เลขที่โรน630606
5เลขที่โรน630601
4เลขที่โรน630301
13เลขที่โรน640903
9เลขที่โรน640501
10เลขที่โรน640507
12เลขที่โรน640701
11เลขที่โรน640601
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก5731.04
ความจุของรถตามน้ำหนัก6340
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร32.04776
ความจุของรถตามปริมาตร33.64

เส้นทางที่4ของรถผู้รับเลขที่C001
1เลขที่โรน1
15เลขที่โรน660401
8เลขที่โรน640106
7เลขที่โรน640101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก3491.97
ความจุของรถตามน้ำหนัก5680
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร23.07545
ความจุของรถตามปริมาตร23.92

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1
0
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2
399.5375
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3
597.1458
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4
312.1926
ผลรวมระยะทางทั้งหมด1308.876
เวตลูกค้าที่ยังไม่สามารถจัดลงเส้นทาง
จบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-3 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "0909"

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

เส้นทางที่1ของรถผู้รับเลขที่0012
1เลขที่โรน1
16เลขที่โรน630606
15เลขที่โรน630601
23เลขที่โรน650103
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก6313.39
ความจุของรถตามน้ำหนัก6340
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร14.69687
ความจุของรถตามปริมาตร33.64

เส้นทางที่2ของรถผู้รับเลขที่0009
1เลขที่โรน1
25เลขที่โรน660101
28เลขที่โรน660801
41เลขที่โรน670809
39เลขที่โรน670801
35เลขที่โรน670507
36เลขที่โรน670602
40เลขที่โรน670808
38เลขที่โรน670710
37เลขที่โรน670702
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2428.424
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร8.964684
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่3ของรถผู้รับเลขที่0011
1เลขที่โรน1
7เลขที่โรน540403
5เลขที่โรน540101
6เลขที่โรน540401
2เลขที่โรน530101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2156.05
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร3.0267
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่4ของรถผู้รับเลขที่0002
1เลขที่โรน1
27เลขที่โรน660403
26เลขที่โรน660401
22เลขที่โรน6501012
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1088.92
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร4.148
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่5ของรถผู้รับเลขที่0004
1เลขที่โรน1
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก0
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร0
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่6ของรถผู้รับเลขที่0005
1เลขที่โรน1
17เลขที่โรน640101
34เลขที่โรน670401
32เลขที่โรน670301

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง - 3 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "0909"

33เลขที่โรน670314
30เลขที่โรน670107
31เลขที่โรน670113
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2379.6
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร6.0489
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่7ของรถผู้รับเลขที่0007
1เลขที่โรน1
11เลขที่โรน620406
10เลขที่โรน620301
9เลขที่โรน620105
8เลขที่โรน620101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2097.08
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร6.65865
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่8ของรถผู้รับเลขที่0013
1เลขที่โรน1
21เลขที่โรน6501011
3เลขที่โรน530103
4เลขที่โรน530805
18เลขที่โรน640501
20เลขที่โรน640903
19เลขที่โรน640601
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2158.06
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร7.4516
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่9ของรถผู้รับเลขที่0001
1เลขที่โรน1
13เลขที่โรน630102
12เลขที่โรน630101
14เลขที่โรน630113
29เลขที่โรน670101
24เลขที่โรน650801
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก4340.748
ความจุของรถตามน้ำหนัก5680
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร22.06119
ความจุของรถตามปริมาตร23.92

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1
486.1284
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2
516.5151
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3
387.9572
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4
177.7201
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5
0
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6
502.0501
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7
362.8158
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 8
325.8583

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-3 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "0909"

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 9

605.1334

ผลรวมระยะทางทั้งหมด3364.179

เขตลูกค้าที่ยังไม่สามารถจัดลงเส้นทาง

จบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง - 4 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1C09"

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

เส้นทางที่1รองรถผู้รับเลขที่C011
1เลขที่โรน1
19เลขที่โรน660802
18เลขที่โรน660801
25เลขที่โรน670602
28เลขที่โรน670809
27เลขที่โรน670710
26เลขที่โรน670702
22เลขที่โรน670113
21เลขที่โรน670101
23เลขที่โรน670301
24เลขที่โรน670401
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1436.28
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร6.189
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่2รองรถผู้รับเลขที่C001
1เลขที่โรน1
10เลขที่โรน640601
9เลขที่โรน640101
8เลขที่โรน630601
5เลขที่โรน620609
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก5045.97
ความจุรองรถตามน้ำหนัก5680
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร15.43255
ความจุรองรถตามปริมาตร23.92

เส้นทางที่3รองรถผู้รับเลขที่C010
1เลขที่โรน1
6เลขที่โรน630101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2641.4
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร8.0734
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่4รองรถผู้รับเลขที่C002
1เลขที่โรน1
4เลขที่โรน620406
3เลขที่โรน620301
2เลขที่โรน620101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก957.24
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร2.546
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่5รองรถผู้รับเลขที่C013
1เลขที่โรน1
7เลขที่โรน630102
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2881.83
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร7.12148
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่6รองรถผู้รับเลขที่C007
1เลขที่โรน1
14เลขที่โรน650801
20เลขที่โรน660901
15เลขที่โรน660101

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง - 4 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1009"

16เลขที่โรน660401

17เลขที่โรน660601

12เลขที่โรน650106

11เลขที่โรน6501012

1เลขที่โรน1

ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1429.3

ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440

ผลรวมสินค้าตามปริมาตร2.7202

ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่7ของรถผู้รับเลขที่CC05

1เลขที่โรน1

13เลขที่โรน650107

1เลขที่โรน1

ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1911

ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440

ผลรวมสินค้าตามปริมาตร2.154

ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1

597.7532

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2

512.9465

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3

314.7711

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4

361.9832

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5

321.4593

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6

257.7228

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7

23.37979

ผลรวมระยะทางทั้งหมด2390.016

เซตลูกค้าที่ยังไม่สามารถจัดลงเส้นทาง

จบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง - 5 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "2309"

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

เส้นทางที่1รองรถผู้รับเลขที่C015
1เลขที่โรน1
8เลขที่โรน540602
11เลขที่โรน550901
10เลขที่โรน550609
9เลขที่โรน550101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2399.2
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร4.93167
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่2รองรถผู้รับเลขที่C013
1เลขที่โรน1
29เลขที่โรน6501012
7เลขที่โรน540601
5เลขที่โรน540101
24เลขที่โรน640501
20เลขที่โรน630301
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2402.82
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร6.540601
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่3รองรถผู้รับเลขที่C011
1เลขที่โรน1
27เลขที่โรน640903
17เลขที่โรน630101
18เลขที่โรน630102
21เลขที่โรน630606
19เลขที่โรน630113
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1804.263
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร9.089601
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่4รองรถผู้รับเลขที่C005
1เลขที่โรน1
40เลขที่โรน670801
39เลขที่โรน670702
36เลขที่โรน670104
35เลขที่โรน670101
37เลขที่โรน670301
38เลขที่โรน670314
32เลขที่โรน650801
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2405.08
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร6.118C01
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่5รองรถผู้รับเลขที่C001
1เลขที่โรน1
28เลขที่โรน6501011
30เลขที่โรน650117
3เลขที่โรน530109
6เลขที่โรน540401
2เลขที่โรน530101
4เลขที่โรน530805
13เลขที่โรน620201
16เลขที่โรน620406
1เลขที่โรน1

ตารางที่ ง - 5 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "2309"

ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก5642.76
ความจุรองรถตามน้ำหนัก5680
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร21.66849
ความจุรองรถตามปริมาตร23.92

เส้นทางที่6ของรถผู้รับเลขที่CC09
1เลขที่โรน1
33เลขที่โรน660401
34เลขที่โรน660501
15เลขที่โรน620404
14เลขที่โรน620301
12เลขที่โรน620101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1464.02
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร8.785699
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่7ของรถผู้รับเลขที่CC07
1เลขที่โรน1
31เลขที่โรน650603
26เลขที่โรน640701
25เลขที่โรน640601
22เลขที่โรน640101
23เลขที่โรน640407
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2438.011
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร8.897436
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1
755.3784
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2
662.5404
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3
544.8518
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4
473.5505
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5
623.3377
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6
419.6549
ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7
212.5395

ผลรวมระยะทางทั้งหมด3691.853
เซตลูกค้าที่ยังไม่สามารถจัดลงเส้นทาง
จบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง - 6 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1611"

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

เส้นทางที่1ของรถผู้รับเลขที่0008
1เลขที่โรน1
7เลขที่โรน540501
5เลขที่โรน540101
6เลขที่โรน540204
8เลขที่โรน540602
9เลขที่โรน550108
20เลขที่โรน650201
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2348.9
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร4.762
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่2ของรถผู้รับเลขที่0009
1เลขที่โรน1
23เลขที่โรน670113
22เลขที่โรน670112
30เลขที่โรน670801
27เลขที่โรน670501
29เลขที่โรน670602
28เลขที่โรน670507
24เลขที่โรน670202
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก622.53
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร6.646199
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่3ของรถผู้รับเลขที่0010
1เลขที่โรน1
11เลขที่โรน620301
14เลขที่โรน630601
13เลขที่โรน630102
12เลขที่โรน630101
15เลขที่โรน640101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1104.94
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร5.7221
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่4ของรถผู้รับเลขที่0011
1เลขที่โรน1
21เลขที่โรน670101
25เลขที่โรน670301
26เลขที่โรน670401
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1277.71
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร9.0968
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่5ของรถผู้รับเลขที่0013
1เลขที่โรน1
3เลขที่โรน530701
2เลขที่โรน530101
4เลขที่โรน530805
16เลขที่โรน640501
18เลขที่โรน640903
17เลขที่โรน640701
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2171.724
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง - 6 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1611"

ผลรวมสินค้าตามปริมาตร9.093901

ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่6ของรถผู้รับเลขที่C001

1เลขที่โซน1

10เลขที่โซน620101

19เลขที่โซน6501012

1เลขที่โซน1

ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1301.72

ความจุรองรถตามน้ำหนัก5680

ผลรวมสินค้าตามปริมาตร8.58515

ความจุรองรถตามปริมาตร23.92

เส้นทางที่7ของรถผู้รับเลขที่C012

1เลขที่โซน1

1เลขที่โซน1

ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก0

ความจุรองรถตามน้ำหนัก6340

ผลรวมสินค้าตามปริมาตร0

ความจุรองรถตามปริมาตร33.64

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1

671.1107

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2

514.4279

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3

531.3806

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4

343.4782

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5

343.9821

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6

227.4138

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 7

0

ผลรวมระยะทางทั้งหมด2631.793

เซตลูกค้าที่ยังไม่สามารถจัดลงเส้นทาง

จบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-7 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1711"

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

เส้นทางที่1รองรถผู้รับเลขที่C013
1เลขที่โรน1
15เลขที่โรน660401
19เลขที่โรน660802
18เลขที่โรน660801
16เลขที่โรน660501
17เลขที่โรน660507
22เลขที่โรน670801
23เลขที่โรน670809
20เลขที่โรน670101
21เลขที่โรน670301
9เลขที่โรน650201
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1419.833
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร5.2814
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่2รองรถผู้รับเลขที่C011
1เลขที่โรน1
12เลขที่โรน650603
2เลขที่โรน530101
4เลขที่โรน640601
3เลขที่โรน640101
10เลขที่โรน650401
11เลขที่โรน650501
14เลขที่โรน660101
13เลขที่โรน650801
7เลขที่โรน650107
8เลขที่โรน650117
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1106.806
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร5.794C01
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่3รองรถผู้รับเลขที่C009
1เลขที่โรน1
6เลขที่โรน6501012
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2188.59
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร9.0621
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่4รองรถผู้รับเลขที่C005
1เลขที่โรน1
5เลขที่โรน6501011
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1276.783
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร3.129541
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่5รองรถผู้รับเลขที่C008
1เลขที่โรน1
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก0
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร0
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-7 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1711"

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1

573.3828

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2

406.5614

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3

1.615663

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4

2.009035

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5

0

ผลรวมระยะทางทั้งหมด983.5688

เซตลูกค้าที่ยังไม่สามารถจัดลงเส้นทาง

จบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง •8 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1711new"

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

เส้นทางที่1ของรถผู้รับเลขที่C013
1เลขที่โรน1
16เลขที่โรน660501
17เลขที่โรน660507
22เลขที่โรน670801
23เลขที่โรน670809
20เลขที่โรน670101
21เลขที่โรน670301
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก987.153
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร3.85
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่2ของรถผู้รับเลขที่C011
1เลขที่โรน1
11เลขที่โรน650501
14เลขที่โรน660101
15เลขที่โรน660401
18เลขที่โรน660801
19เลขที่โรน660802
9เลขที่โรน650201
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก495.16
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร1.7209
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่3ของรถผู้รับเลขที่C009
1เลขที่โรน1
12เลขที่โรน650603
2เลขที่โรน630101
4เลขที่โรน640601
3เลขที่โรน640101
10เลขที่โรน650401
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก940.5359
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร4.2482
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่4ของรถผู้รับเลขที่C005
1เลขที่โรน1
5เลขที่โรน6501011
7เลขที่โรน650107
13เลขที่โรน650801
8เลขที่โรน650117
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1380.573
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร4.385841
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่5ของรถผู้รับเลขที่C008
1เลขที่โรน1
6เลขที่โรน6501012
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก2188.59
ความจุรองรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร9.0621
ความจุรองรถตามปริมาตร9.1

รายงานระยะทางที่ไร้ในแต่ละเส้นทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-8 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1711new"

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1

494.7373

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2

340.5126

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3

293.2791

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4

43.439

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5

1.615663

ผลรวมระยะทางทั้งหมด1173.584

เซตลูกค้าที่ยังไม่สามารถจัดลงเส้นทาง

จบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.- 9 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1811"

รายงานการจัดเส้นทางเดินรถ

เส้นทางที่1ของรถผู้รับเลขที่C007
1เลขที่โรน1
16เลขที่โรน640601
12เลขที่โรน640106
14เลขที่โรน640201
7เลขที่โรน630101
8เลขที่โรน630102
9เลขที่โรน630301
10เลขที่โรน630601
6เลขที่โรน620301
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก967.4885
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร8.783048
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่2ของรถผู้รับเลขที่C008
1เลขที่โรน1
22เลขที่โรน660801
21เลขที่โรน660501
27เลขที่โรน670801
26เลขที่โรน670702
23เลขที่โรน670101
24เลขที่โรน670301
25เลขที่โรน670401
18เลขที่โรน650201
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1682.494
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร8.976933
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่3ของรถผู้รับเลขที่C009
1เลขที่โรน1
4เลขที่โรน530103
2เลขที่โรน530101
3เลขที่โรน530102
15เลขที่โรน640501
17เลขที่โรน640701
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1402.555
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร9.0398
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่4ของรถผู้รับเลขที่C011
1เลขที่โรน1
11เลขที่โรน640101
13เลขที่โรน640107
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1793.96
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร5.1595
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

เส้นทางที่5ของรถผู้รับเลขที่C013
1เลขที่โรน1
5เลขที่โรน620101
1เลขที่โรน1
ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก773.62
ความจุของรถตามน้ำหนัก2440
ผลรวมสินค้าตามปริมาตร11.4466
ความจุของรถตามปริมาตร9.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง-9 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางของปัญหา "1811"

เส้นทางที่6รองรถผู้รับเลขที่0010

1เลขที่โรน1

20เลขที่โรน660401

19เลขที่โรน660101

1เลขที่โรน1

ผลรวมสินค้าตามน้ำหนัก1777.134

ความจุของรถตามน้ำหนัก2440

ผลรวมสินค้าตามปริมาตร5.32941

ความจุของรถตามปริมาตร9.1

รายงานระยะทางที่ใช้ในแต่ละเส้นทาง

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 1

629.3616

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 2

550.3029

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 3

299.0788

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 4

134.2697

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 5

226.1956

ระยะทางที่ใช้ในเส้นทางที่ 6

174.7823

ผลรวมระยะทางทั้งหมด2013.991

เวลาลูกค้าที่ยังไม่สามารถจัดลงเส้นทาง

จบรายงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธเนศ ทักษิณวราจาร เกิดเมื่อวันที่ 5 กรกฎาคม พ.ศ.2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2540 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย