การจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้าโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

ร้อยเอก สุทธิพงษ์ มีใย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A GIS-BASED VEHICLE ROUTING FOR GOODS DISTRIBUTION

Captain Sutthipong Meeyai

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Logistics Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้าโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
โดย	ร้อยเอก สุทธิพงษ์ มีไย
สาขาวิชา	การจัดการด้านโลจิสติกส์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ม.ร.ว.กัลยา ติงศภัทิย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ร้อยเอก สุทธิพงษ์ มีใย : การจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้าโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. (A GIS-BASED VEHICLE ROUTING FOR GOODS DISTRIBUTION) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รองศาสตราจารย์ ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ, 116 หน้า.

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้าโดยรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวไปยังจุดส่งต่างๆ โดยวิธีฮิวริสติกภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุ ได้แก่น้ำหนักรถ ปริมาตรที่สามารถบรรทุกได้ และข้อจำกัดของจุดส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ประหยัดต้นทุนการขนส่ง

การพัฒนาระบบประกอบด้วยงาน 3 ส่วนหลักได้แก่ 1) การรวบรวมข้อมูลการกระจายสินค้าจากบริษัทตัวอย่างที่เป็นกรณีศึกษา 2) พัฒนาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถด้วยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และ 3) พัฒนาระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจที่ให้ผู้ใช้ระบบมีส่วนร่วมในการจัดเส้นทาง

การทดสอบระบบประกอบด้วย 1) การทดสอบโดยใช้ข้อมูลจากการศึกษาอื่นที่ผ่านมา และ 2) การทดสอบกับข้อมูลจริงที่ได้จากศูนย์กระจายสินค้าบริษัทตัวอย่างที่เป็นกรณีศึกษา ผลการทดสอบพบว่า ระบบที่พัฒนาขึ้นให้ผลการทดสอบดีกว่าการศึกษาอื่นที่ผ่านมาในหลายๆ กรณี โดยเฉพาะกรณีที่มีจำนวนจุดส่งไม่เกิน 30 จุดส่ง หากจำนวนจุดส่งเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จะด้อยกว่าการศึกษาอื่นประมาณร้อยละ 5-10 ในขณะที่การทดสอบกับข้อมูลปฏิบัติงานจริง แบบจำลองที่พัฒนาให้ผลการจัดเส้นทางในทุกๆ ปัญหาดีกว่าการจัดเส้นทางด้วยพนักงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สาขาวิชา การจัดการด้านโลจิสติกส์ ลายมือชื่อนิสิต.....
ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4689173320 : MAJOR LOGISTICS MANAGEMENT
KEYWORD : LOGISTICS / GOODS DISTRIBUTION / HEURISTIC / VEHICLE ROUTING
CAPTAIN SUTTHIPONG MEEYAI : A GIS BASED VEHICLE ROUTING FOR GOODS DISTRIBUTION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. SOMPONG SIRISOPHOLSILP, THESIS CO-ADVISOR : ASST. PROF. SRISAART TUNGPRASART, 116 pp.

This study develops a computerized program for routing vehicles from a distribution centre to multiple delivery districts. The study applies heuristic techniques to determine the optimal routing under the constraints reflecting vehicle capacities considering both weight and volume limit and site restrictions with the objective to minimize total transportation cost.

The development of this system is comprised of 3 major tasks. The first task involves the collection of data about the goods distribution from a selected test site. The next task develops the algorithm for determining vehicle with certain application of the GIS. The final task concerns the development of interface facilitating user interaction with the system.

The system is validated against 1) hypothetical problem sets used by earlier studies and 2) the historical operational data experienced from the test site. The analysis shows that the developed system performs well for the case of delivery points less than 30, but the solutions generated by the system are about 5-10% inferior than those proposed by previous studies if there are more than 30 delivery points. In testing against the actual operational data, the results significantly show better performance than the existing manual system for all cases.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of study Logistics Management Student's signature.....
Academic year 2006 Advisor's signature.....
Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ศรีสอาด ตั้งประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง และขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.พงศา พรชัยวิเศษกุล ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ได้ทุ่มเททั้งแรงกาย แรงใจสนับสนุนด้านการศึกษาเล่าเรียนของข้าพเจ้าตั้งแต่เล็กจนโต ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาจนสามารถศึกษาและทำวิทยานิพนธ์สำเร็จลงได้

ผู้เขียนขอขอบคุณ เพื่อนๆ สหสาขาการจัดการโลจิสติกส์รุ่น 2 ทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือกันในทุกๆ เรื่องไม่ว่าจะเป็นกิจกรรมต่างๆ การเรียน หน้าที่การงาน รวมทั้งเรื่องอื่นๆ ระหว่างที่ศึกษาอยู่หรือแม้จะจบไปแล้วก็ตาม ขอขอบคุณ คุณเมธาที่ได้ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่แสนยากลำบาญจนสำเร็จได้ ขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทั้งทางตรงและทางอ้อมที่ไม่สามารถกล่าวถึงได้หมดในที่นี้ ขอขอบคุณ คุณยุพวรรณที่ได้มีโอกาสได้รู้จักและได้แง่คิดดีๆ ในชีวิต ขอขอบคุณ คุณจรรยา คุณอรุณรักษ์ อาจารย์สมประสงค์ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้เขียนเสมอมา

คุณความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอมอบเป็นสิ่งตอบแทนต่อท่านผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฎ
สารบัญภาพ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 4
1.4 ขั้นตอนการวิจัย..... 4
1.5 ประโยชน์ของการวิจัย..... 5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา
2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ..... 6
2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem, TSP) 7
2.1.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesmen Problem, MTSP)..... 10
2.1.3 ปัญหาแบบ Vehicle Routing Problem (VRP)..... 11
2.2 เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ..... 12
2.2.1 เทคนิคในการหาคำตอบด้วยการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)..... 12
2.2.2 เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristics) 13
2.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ..... 15
2.3.1 ข้อมูลป้อนเข้าสู่ระบบและฐานข้อมูล..... 15
2.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)..... 16
2.3.3 ข้อกำหนดการให้บริการ..... 17

หน้า

2.3.4 แนวทางการติดต่อกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)..... 18
2.4 การทบทวนผลงานที่ผ่านมา..... 19
2.5 บทสรุป..... 28
บทที่ 3 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล
3.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงาน..... 29
3.2 ลักษณะปัญหาและข้อจำกัดในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้า..... 31
3.3 ข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์..... 32
3.3.1 ระยะทาง..... 32
3.3.2 เวลาการเดินทาง..... 36
3.3.3 ต้นทุนการขนส่ง..... 37
3.4 การเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เหมาะสม..... 40
3.5 การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์..... 41
บทที่ 4 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ
4.1 การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น..... 45
4.1.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบ..... 47
4.1.2 ขั้นตอนการทำงาน..... 52
4.2 การปรับปรุงเส้นทาง..... 56
4.2.1 การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง..... 56
4.2.2 การปรับปรุงการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง..... 58
4.3 การปรับลำดับการส่งโดยพนักงาน..... 66
4.3.1 การเพิ่มจุดส่ง..... 67
4.3.2 การลดจุดส่ง..... 68
บทที่ 5 โครงสร้างและกระบวนการของโปรแกรม
5.1 โครงสร้างฐานข้อมูล..... 69
5.1.1 ฐานข้อมูลหลัก..... 69
5.1.2 รายการธุรกรรม..... 71
5.1.3 ตารางอื่นๆ..... 71
5.2 การเตรียมและนำเข้าข้อมูล..... 75

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

5.2.1 การนำเข้าข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้า..... 75
5.2.2 การนำเข้าข้อมูลพิกัดจุดส่งสินค้า..... 79
5.2.3 การนำเข้าข้อมูลรถที่สามารถให้บริการ..... 80
5.2.4 การนำเข้าค่าพารามิเตอร์..... 81
5.3 การวิเคราะห์และบันทึกผล..... 83
5.3.1 การวิเคราะห์และบันทึกลงฐานข้อมูล..... 83
5.3.2 การเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงฐานข้อมูล..... 85
5.4 การนำเสนอและสรุปผล..... 86
5.5 ข้อสรุปของโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถ..... 90
บทที่ 6 การทดสอบระบบและการวิเคราะห์ผล
6.1 แนวทางการทดสอบ..... 91
6.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง..... 91
6.2.1 การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูล..... 91
6.2.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง..... 92
6.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง..... 94
6.3.1 การทดสอบผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับการศึกษา 96
อื่นที่ผ่านมา.....
6.3.1.1 ข้อมูลและสมมติฐานในการทดสอบ 97
6.3.1.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบ 97
6.3.2 การทดสอบแบบจำลองกับสภาพจริง..... 99
6.3.2.1 ข้อมูลและสมมติฐานในการทดสอบ 99
6.3.2.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบ 99
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
7.1 การทบทวนทฤษฎีการจัดเส้นทาง..... 103
7.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล..... 105
7.3 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ..... 105

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

7.4 โครงสร้างและกระบวนการของโปรแกรม..... 107
7.5 การทดสอบระบบและการวิเคราะห์ผล..... 107
7.6 ข้อเสนอแนะ..... 108
รายการอ้างอิง..... 109
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 116

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 ปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศไทย 1
1.2 อัตราการใช้ยวดยานโดยเฉลี่ยของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา 2
2.1 ประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ 6
2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา 20
3.1 การจำแนกปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 30
3.2 ความยาวในหน่วยองศาของเส้นละติจูดและลองติจูด 34
5.1 การเปรียบเทียบรายงานจากโปรแกรมอื่นและรายงานจากบริษัท 86
6.1 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมา 98
6.2 ค่าใช้จ่ายน้ำมันในการขนส่งสินค้า 99
6.3 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับการจัดด้วยพนักงาน 100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถ 1 เส้นทาง (TSP) 9
2.2 ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทาง (MTSP) 10
2.3 การแก้ไขปัญหาด้วยวิธี Sweep Approach 14
2.4 ระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ 15
3.1 ระยะทางจริง และระยะทางจากวิธีแมนฮัตตัน 35
3.2 ฟังก์ชันของความเร็วกับระยะทาง 36
3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนในการขนส่งกับระยะทางแบบเส้นตรง 38
3.4 การจำลองโครงข่ายถนนด้วยกราฟ 42
3.5 การแทนกราฟด้วย Adjacency Matrix 42
3.6 การแทนกราฟด้วย Adjacency List 43
3.7 แสดงตัวอย่างแผนที่ประเทศไทยแบ่งตามขอบเขตจังหวัด โดยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView 3.2 44
3.8 แสดงตัวอย่างโครงข่ายถนนจากแบบจำลองด้านจราจรและขนส่ง โดยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView 3.2 44
4.1 รูปแบบการหาจุดส่งที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าการประหยัด 49
4.2 การอนุญาตใช้รถสำหรับจุดส่งต่างๆ 50
4.3 ขั้นตอนการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัด 54
4.4 ขั้นตอนการทำงานของการปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง 57
4.5 การปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธี 2-opt 58
4.6 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อโครงสร้างหน่วยความจำ 59
4.7 ขั้นตอนการจัดเส้นทางโดยใช้ Tabu Search 61
4.8 การตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลอง 62
4.9 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Cross 63
4.10 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Exchange 63
4.11 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Relocation 64
4.12 การแลกเปลี่ยนจุดส่งของ String Exchange 66
4.13 การย้ายจุดส่งของ String Relocation 66
4.14 การเพิ่มจุดส่งลงในเส้นทางของ ALTO 68

หน้า

5.1 การเปลี่ยนสถานะของใบรายการสินค้า 74
5.2 ขั้นตอนการบันทึกใบรายการสินค้า..... 77
5.3 ตัวอย่างการพัฒนาการบันทึกใบรายการสินค้า..... 78
5.4 ขั้นตอนการคัดเลือกใบรายการสินค้า..... 78
5.5 ตัวอย่างการพัฒนาการเลือกใบรายการสินค้า 79
5.6 ขั้นตอนการคำนวณหาระยะทาง 80
5.7 ตัวอย่างการพัฒนาการเลือกรถที่จะจัดเส้นทาง 81
5.8 ขั้นตอนการเลือกรถที่ใช้จัดเส้นทาง..... 82
5.9 ตัวอย่างการพัฒนาการนำเข้าค่าพารามิเตอร์ 83
5.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์เส้นทาง 84
5.11 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์และปรับปรุงเส้นทาง 85
5.12 รายงานแสดงรายละเอียดของใบรายการสินค้า 88
5.13 รายงานการจัดเส้นทาง 89
5.14 รายงานประสิทธิภาพการใช้รถ..... 89
6.1 การวัดผลและตัวชี้วัดในระดับต่างๆ..... 95

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโลจิสติกส์มีบทบาทอย่างมากต่อภาคธุรกิจ ภายใต้สภาวะการแข่งขันที่รุนแรง แต่ละบริษัทต้องพยายามส่งมอบสินค้าและบริการถึงมือผู้บริโภคได้อย่างรวดเร็ว ภายใต้ต้นทุนที่เหมาะสม โดยระดับการให้บริการยังคงอยู่ในระดับที่ลูกค้าพึงพอใจ และหากบริษัทใดสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้าได้มากกว่า ภายใต้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด ย่อมมีความได้เปรียบในการแข่งขัน

จากสถิติปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศไทยในตารางที่ 1.1 จะเห็นว่า การขนส่งสินค้าทางถนนมีปริมาณสูงมาก ในปี พ.ศ.2548 มีปริมาณสูงเป็นสัดส่วนถึงร้อยละ 86.32 รองลงมา เป็นการขนส่งทางน้ำภายในประเทศ ทางชายฝั่งทะเล ทางรถไฟ และทางอากาศ ร้อยละ 5.94 5.68 2.04 และ 0.01 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการขนส่งสินค้าในประเทศส่วนใหญ่ใช้การขนส่งทางถนนเป็นหลัก ทั้งนี้เพราะการขนส่งทางถนนเป็นรูปแบบการขนส่งที่สามารถเข้าถึงผู้ต้องการรับบริการได้รวดเร็ว และสะดวกกว่าการขนส่งรูปแบบอื่นๆ อาทิ การขนส่งทางรถไฟซึ่งมีพื้นที่ให้บริการจำกัด มีระยะเวลาการขนส่งที่ไม่แน่นอน มักประสบปัญหาการขนส่งล่าช้าอยู่สม่ำเสมอ ส่วนการขนส่งทางน้ำมักจำกัดอยู่ในพื้นที่แม่น้ำสายสำคัญๆ ไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้อย่างกว้างขวางเท่ากับทางถนน ตลอดจนโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ ไม่ได้รับการสนับสนุนอย่างจริงจัง ทำให้การขนส่งทางถนนมีบทบาทสำคัญในการขนส่งสินค้าในประเทศ

ตารางที่ 1.1 ปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศไทย

การขนส่งสินค้า	**ปี พ.ศ. (พันตัน)**				
	2544	**2545**	**2546**	**2547**	**2548**
ทางถนน	400,241	434,918	440,018	435,147	430,275
ทางรถไฟ	8,776	8,893	12,240	14,223	10,191
ทางน้ำภายในประเทศ	17,833	25,043	28,824	29,140	29,630
ชายฝั่งทะเล	19,657	24,795	27,222	27,762	28,322
ทางอากาศ	66	56	54	53	54
รวม	**446,573**	**493,705**	**508,358**	**506,325**	**498,472**

ที่มา : กระทรวงคมนาคม

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าในประเทศไทย ยังไม่มีการนำวิชาการมาพัฒนาการบริหารและจัดการอย่างจริงจัง ซึ่งแตกต่างกับภาคอุตสาหกรรมและการบริการอื่นๆ ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรต่ำและทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มมากขึ้น จากผลการศึกษาของสำนักงานคณะกรรมการจัดระบบการจราจรทางบก เรื่องประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรของผู้ประกอบการขนส่งเมื่อเทียบกับสหรัฐอเมริกา ดังตารางที่ 1.2 พบว่าความสามารถในการใช้อรรถประโยชน์ของยวดยานของผู้ประกอบการในประเทศไทยต่ำกว่ามาก นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่า ผู้ประกอบการไทยใช้รถขนส่งสินค้าเพียงขาเดียวถึงร้อยละ 66 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าผู้ประกอบการใช้รถอย่างไม่คุ้มค่า จึงทำให้ต้นทุนในการขนส่งสูงขึ้น และทำให้ผู้ประกอบการจำเป็นจะต้องแบกน้ำหนักเกินเพื่อแข่งขันในด้านราคากับผู้ประกอบการรายอื่นๆ ซึ่งเป็นวิธีที่ผิดกฎหมาย นอกจากนี้แล้วการเข้ามาของบริษัทขนส่งจากต่างประเทศที่มีเทคโนโลยีในการบริหารที่ดีกว่า ย่อมทำให้ผู้ประกอบการของไทยที่ล้าหลังในการบริหารและการใช้เทคโนโลยีได้รับผลกระทบมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องยกระดับการทำงานของผู้ประกอบการขนส่งให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นด้วยการใช้เทคโนโลยีและข้อมูลข่าวสารที่รวดเร็วและทันสมัย

ตารางที่ 1.2 อัตราการใช้ยวดยานโดยเฉลี่ยของประเทศไทยและสหรัฐอเมริกา

ระยะทางในการเดินทางโดยประมาณในแต่ละครั้ง (กิโลเมตร)	**ประเทศไทย**		**สหรัฐอเมริกา**
	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)

ทั้งนี้ปัญหาด้านการบริหารและจัดการขนส่งแบ่งออกเป็น 3 ระดับ (Crainic และ Laporte,1997) ได้แก่

- ปัญหาในระดับกลยุทธ์ (Strategic) มักเป็นการตัดสินใจที่มีผลต่อองค์กรในระยะยาว ตัวอย่างปัญหาการขนส่งของผู้ประกอบการในระดับนี้ ได้แก่ ปัญหาของการเลือกที่ตั้งของสถานีบริการ

- ปัญหาในระดับยุทธวิธี (Tactical) เป็นการบริหารและวางแผนจัดสรรทรัพยากรต่างๆ ขององค์กรเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรสูงสุด เช่น ยวดยาน เป็นต้น ตัวอย่างปัญหาของผู้ประกอบการในระดับนี้ได้แก่ การออกแบบโครงข่ายการให้บริการสำหรับการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคัน

- ปัญหาในระดับปฏิบัติการ (Operational) เป็นปัญหาในระดับของการควบคุมงานในแต่ละวัน โดยการแก้ปัญหาในระดับนี้จะต้องดำเนินการได้ง่าย และรวดเร็ว เนื่องจากมีระยะเวลาในการตัดสินใจค่อนข้างจำกัด ตัวอย่างปัญหาที่เกิดขึ้น ได้แก่ การจัดเส้นทางการเดินรถ เป็นปัญหาของการออกแบบเส้นทางการขนส่งและเลือกขนาดรถที่เหมาะสมเพื่อส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า ให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดการจัดส่งสินค้า เช่น ระยะเวลา ความจุของรถ เป็นต้น

เมื่อพิจารณาระดับของปัญหาต่างๆ จะเห็นได้ว่าการจัดเส้นทางการเดินรถเป็นปัญหาในระดับปฏิบัติการที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นงานพื้นฐานที่เกิดขึ้นเกือบทุกวันและมีผลโดยตรงต่อคุณภาพการให้บริการและต้นทุนขนส่ง โดยอาจวัดได้จากค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และการเพิ่มระดับการให้บริการ (Service Level) เช่น การช่วยลดค่าใช้จ่ายน้ำมัน และค่าใช้จ่ายในการลงทุน เป็นต้น

มีการประยุกต์ใช้เทคนิคการจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อการขนส่งสินค้าในภาคอุตสาหกรรมและบริการหลายประเภท โดยเฉพาะในต่างประเทศ (Partyka และ Hall, 2000) อาทิ

- การจัดส่งเครื่องดื่มไปยังภัตตาคาร ร้านค้าต่างๆ
- การจัดตารางและเส้นทางการรับ-จ่ายเงินให้กับเครื่องเบิก-ถอนเงินอัตโนมัติ
- การจัดส่งน้ำมันเชื้อเพลิงตามสถานีบริการน้ำมัน
- การขนส่งเศษอาหารที่เหลือจากภัตตาคาร
- การจัดส่งและการให้บริการซ่อมแซมเครื่องมือเครื่องใช้ภายในครัวเรือน
- การจัดส่งสินค้าที่ลูกค้าสั่งตามร้านจำหน่ายสินค้าทางอินเตอร์เน็ต
- การจัดเส้นทางรถรับบริจาคสินค้าตามบ้านเรือน
- การขนส่งผู้ต้องหาหรือนักโทษระหว่างเรือนจำและศาล
- การขนส่งซากสัตว์ตายหรือสัตว์ที่เป็นโรคตามถนนหนทางต่างๆ
- การเคลื่อนย้ายหิมะที่ปกคลุมเส้นทาง
- การขนส่งตัวอย่างทางการแพทย์จากสถานีอนามัยไปยังห้องปฏิบัติการ

- การขนส่งขยะตามบ้านเรือนไปสถานีที่กำจัดขยะ
- การกระจายสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าตามสถานที่ต่างๆ
- การจัดเส้นทางเดินรถสำหรับบริการไปรษณีย์

ปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถในประเทศไทยมาบ้าง (ธเนศ, 2543) แต่ยังไม่ได้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการจัดเส้นทาง ตลอดจนเทคนิคที่ใช้ยังเป็นวิธีที่พัฒนามานานแล้ว ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่ให้ระยะทาง ระยะเวลาหรือค่าใช้จ่ายในการเดินรถรวมต่ำกว่าวิธีการเดิม ในการศึกษานี้ได้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ และวิธีการจัดเส้นทางที่ทันสมัยมีประสิทธิภาพมาประยุกต์ใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นกรอบและแนวทางในการดำเนินการไว้ดังนี้

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้าให้ประหยัดต้นทุนการขนส่ง
2. เพื่อประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ช่วยในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามวิธีการขนส่งสินค้าจากบริษัทตัวอย่าง ซึ่งเป็นบริษัทขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค โดยศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทจะทำหน้าที่รวบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายราย แล้วจึงจัดเรียงและบรรทุกสินค้าขึ้นรถเพื่อกระจายสินค้าไปยังผู้บริโภคต่อไป ซึ่งการขนส่งสินค้าของบริษัทดังกล่าวมีลักษณะใกล้เคียงกับการขนส่งแบบไม่เต็มคัน โดยการวิจัยนี้จะครอบคลุมเฉพาะการจัดเส้นทางขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการ

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนของการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนหลักๆ พอสรุปได้ดังนี้

- ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมา โดยรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าภายใต้ข้อกำหนดที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งการพิจารณาถึงผลงานที่ผ่านมาทั้งในประเทศและต่างประเทศ
- ศึกษาขั้นตอนและวิธีการทำงานของบริษัทขนส่งสินค้าจากบริษัทตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นก่อนนำไปพัฒนาแบบจำลอง
- ศึกษาปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนส่งสินค้า โดยพิจารณาจากข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในเบื้องต้น และศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาแบบจำลอง
- ออกแบบแบบจำลองจัดเส้นทางเดินรถที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาและเงื่อนไขที่เกิดขึ้น
- เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่วิเคราะห์ตามรูปแบบที่พัฒนาขึ้น
- ทดสอบการทำงาน ปรับปรุงแบบจำลองและโปรแกรม โดยทดสอบทั้งความถูกต้องในแต่ละขั้นตอนของการทำงานและผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม
- วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้และเปรียบเทียบผลจากการใช้ระบบที่พัฒนาขึ้น
- สรุปผลจากงานวิจัยและเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

ผลการวิจัยนี้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางในการเดินรถ มีเครื่องมือที่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าได้ เช่น ลดระยะเวลาในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า ประหยัดต้นทุนในการขนส่งสินค้า รวมทั้งควบคุมประสิทธิภาพในการทำงานให้ดีขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่ผ่านมา

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

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

- ข้อจำกัดเรื่องเส้นทาง (Route Capacities) ซึ่งสะท้อนถึงขนาดของรถหรือเงื่อนไขของเวลาในการขับขี่รถบรรทุกที่กฎหมายอนุญาต
- กรอบของเวลา (Time Window) เป็นการกำหนดช่วงเวลาที่จะลงสินค้าของลูกค้าแต่ละราย โดยข้อกำหนดนี้อาจเป็นได้ทั้งข้อกำหนดที่เข้มงวด คือหลีกเลี่ยงไม่ได้ (Hard time window) และข้อกำหนดที่ไม่เข้มงวด (Soft time window) คือผ่อนปรนได้บ้างแต่อาจจะมีบทปรับหรือลงโทษ

แนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจะมีความซับซ้อน และเปลี่ยนไปตามรายละเอียดขององค์ประกอบของปัญหาดังตารางที่ 2.1

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
- 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)

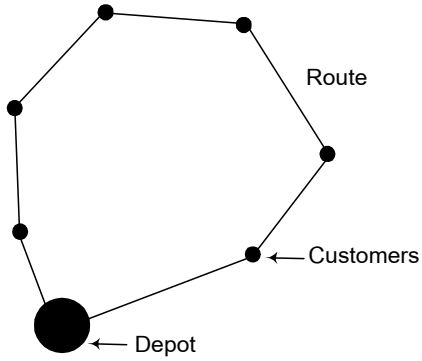
งานวิจัยนี้จะเน้นการวางแผนเส้นทางของรถบรรทุกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว ซึ่งมีวิธีการจำลองปัญหานี้อยู่ 3 รูปแบบเรียงลำดับจากปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อยไปมาก คือ

- การจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem, TSP)
- การจัดเส้นทางการเดินรถแบบหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesmen Problem, MTSP)
- ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Vehicle Routing Problem (VRP)

รายละเอียดของแต่ละปัญหามีดังนี้

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem, TSP)

เป็นปัญหาในระดับพื้นฐานที่สุด เนื่องจากเป็นการจัดลำดับการส่งสินค้าที่ใช้เส้นทางเดียวให้กับลูกค้าต่างๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว และไม่มีข้อจำกัดของเวลาและความจุของรถ โดยผลลัพธ์ของเส้นทางที่จัดได้จะเริ่มและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้าและผ่านลูกค้าแต่ละรายเพียงครั้งเดียว ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถ 1 เส้นทาง (TSP)

สมมติให้โครงข่ายการขนส่ง (Network) $G = [N, A, C]$ โดยที่ N แทนเซตของจุดส่ง (Nodes) ต่าง ๆ A แทนเซตของเส้นทางต่างๆ (Arcs) และ $C = \lfloor c_{ij} \rfloor$ แทน เมตริกซ์ของ c_{ij} ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j โดยให้เส้นทางเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งแทนด้วยจุดส่งที่ 1 (Node 1) สามารถจำลองปัญหา (Model Formulation) ได้ดังนี้

กำหนดให้ x_{ij} = 1 ถ้า Arc(i, j) อยู่ในเส้นทาง และ x_{ij} = 0 ถ้า Arc(i, j) ไม่อยู่ในเส้นทาง โดยให้ X = เมตริกซ์ของ x_{ij} ดังนั้นจะเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ได้เป็น

หาค่าต่ำสุดของ

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

ภายใต้เงื่อนไข

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

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

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

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

โดย S เป็นเซตที่ใช้ในการขจัดการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) ซึ่งไม่ใช่ผลลัพธ์ของเส้นทางเดินรถที่ต้องการ เนื่องจากเส้นทางย่อยที่ได้เป็นเส้นทางที่ไม่ได้เริ่มต้นและสิ้นสุดที่

จุดเริ่มต้น แต่อาจสอดคล้องกับเงื่อนไข (2-2) (2-3) และ (2-5) ซึ่งการขจัดการเกิดเส้นทางย่อย ดังกล่าวเรียกว่า Subtour-breaking Constraint โดย S ที่เป็นไปได้ ประกอบด้วย

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

โดยที่ y_i = t ถ้าลูกค้า i อยู่ในลำดับที่ t ในเส้นทาง และ y_i = 0 ถ้าเป็นกรณีอื่น

นอกจากนี้แล้วยังมีวิธีในการจำลองปัญหาแบบอื่น ๆ อีก เช่น Gavish และ Graves (1978) ได้สมมติค่าตัวแปรที่เรียกว่า Flow Variables (y_{ij}) ซึ่งเป็นตัวแปรแทนปริมาณสินค้าที่จะต้องถูกส่งจากจุด i ไป j และสมมติว่ามีลูกค้าจำนวน $(n-1)$ ราย โดยการ ขนส่งจะเริ่มต้นจากจุดส่งที่ 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

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

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

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

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

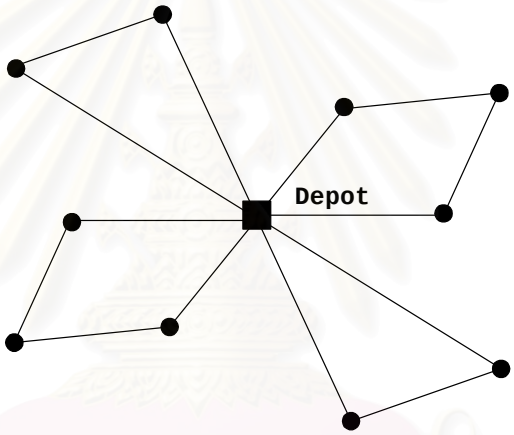
$$x_{ij} = 0 \quad or \quad 1 \qquad , y_{ij} \geq 0 \quad (i, j = 1,...n) \qquad (2\text{-}11)$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่ $U \geq n-1$ 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

2.1.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถหลายเส้นทาง (Multiple Traveling Salesmen Problem, MTSP)

เป็นปัญหาในการจัดลำดับการส่งสินค้า โดยใช้เส้นทางหลายเส้นทางให้กับลูกค้าต่างๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวโดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาและความจุของรถ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทาง (MTSP)

สมมติให้ M เป็นจำนวนรถหรือเส้นทางซึ่งจะส่งสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ 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

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

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

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

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

โดย S เป็นเซตที่ใช้ในการขจัดการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) เช่นเดียวกับที่ใช้ในปัญหาประเภท TSP

2.1.3 ปัญหาแบบ Vehicle Routing Problem (VRP)

ปัญหาแบบ VRP เป็นการหาจำนวนเส้นทางเดินรถและลำดับของการส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดต่างๆ โดยทำให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนส่งของรถทุกคันมีค่าน้อยที่สุดภายใต้ข้อจำกัดของการจัดส่ง เช่น ความจุหรือระยะเวลาในการขับขี่ เป็นต้น

การจำลองแบบปัญหา VRP สามารถทำได้ด้วยการสร้างสมการเชิงคณิตศาสตร์ตามลักษณะของปัญหา เช่น ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เงื่อนไขของเวลา และความจุของรถได้ดังนี้

หาค่าต่ำสุดของ

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{v=1}^{NV} c_{ij} x_{ij}^{v} \tag{2-17}$$

ภายใต้เงื่อนไข

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

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

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

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

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

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

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

$$X \in S \tag{2-25}$$

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

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

โดยที่ $x_{ij}^v = 1$ ถ้า Arc(i, j) อยู่ในเส้นทาง และ $x_{ij}^v = 0$ ถ้า Arc(i, j) ไม่อยู่ในเส้นทาง และ X = เมตริกซ์ของ $x_{ij}^v = \sum_{v=1}^{NV} x_{ij}^v$

2.2 **เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ**

เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว สามารถจำแนกได้ 2 แนวทาง ดังนี้

- เทคนิคในการหาคำตอบด้วยการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)
- เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristics)

2.2.1 เทคนิคในการหาคำตอบด้วยการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)

การแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด เป็นวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบที่ดีสุด ทั้งนี้ปัญหาของการจัดเส้นทางเป็นปัญหา Integer Programming เนื่องจากคำตอบที่เป็นไปได้จะประกอบด้วยค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะนี้มีหลายวิธี เช่น เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound) เป็นต้น แต่วิธีในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดมักประสบปัญหา เนื่องจากต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นานมาก จึงไม่สามารถแก้ปัญหาซึ่งมีความสลับซับซ้อนในเวลาที่จำกัดได้

2.2.2 เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristics)

วิธีการฮิวริสติก เป็นวิธีการที่อาศัยการกำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมา เพื่อหาคำตอบที่ดีและเหมาะสมในระดับหนึ่งถึงแม้ไม่ใช่คำตอบที่ดีสุด แต่สามารถให้คำตอบได้ภายในเวลาที่เหมาะสมไม่นานเกินไป โดยสามารถแบ่งวิธีการวิเคราะห์เพื่อหาคำตอบได้ 2 กลุ่ม (Laporte และคณะ, 2000) คือ

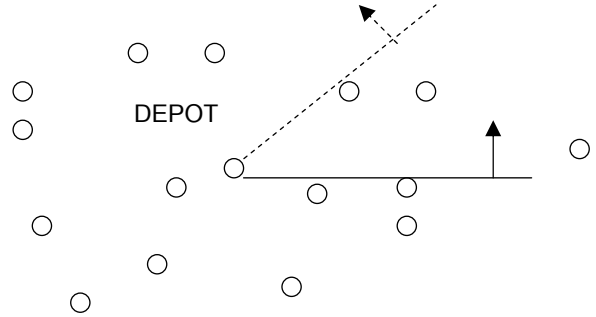
- กลุ่ม Classical heuristics
- กลุ่ม Metaheuristics

ก. เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถกลุ่ม Classical heuristics

เทคนิคที่นิยมใช้สำหรับการจัดเส้นทางแบบนี้ ได้แก่

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

2. Sweep Approach เป็นวิธีการหาจำนวนเส้นทางและลำดับการส่งสินค้าโดยการแบ่งเส้นทางเป็นพื้นที่รับผิดชอบด้วยการหมุนเส้นสมมติในทิศทวนเข็มหรือตามเข็มนาฬิกาดังรูปที่ 2.3 และรวมปริมาณสินค้าที่เส้นดังกล่าวผ่านร้านต่างๆ จนกระทั่งผลรวมของปริมาณสินค้าใกล้ถึงความจุของรถบรรทุก จึงเปลี่ยนรถใหม่เข้ามาเพิ่มจนกระทั่งหมุนเส้นครบรอบ หลังจากนั้นจึงใช้เทคนิคการแก้ปัญหา TSP สำหรับรถแต่ละคัน แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้อาจมีข้อบกพร่อง คือ ถ้าศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้อยู่ ณ ศูนย์กลางของพื้นที่ให้บริการ จะทำให้รูปร่างของเส้นทางการเดินรถมีขนาดที่ไม่สมดุล และทำให้ระยะเวลาในการเดินทางของรถแต่ละคันมากกว่าวิธีการอื่นๆ นอกจากนี้แล้ววิธีการแบบนี้ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะการวางแนวของถนน ทำให้ร้านค้าที่อยู่ในถนนเดียวกัน อาจอยู่คนละเส้นทางก็ได้ซึ่งไม่ถูกต้องกับความเป็นจริง



รูปที่ 2.3 การแก้ไขปัญหาด้วยวิธี Sweep Approach

3. Cluster First - Route Second เป็นการหาเส้นทางในการเดินรถโดยแบ่งพื้นที่ความรับผิดชอบในการส่งสินค้าก่อน หลังจากนั้นจึงหาลำดับในการส่งสินค้าในลำดับต่อไป

4. Route First - Cluster Second วิธีการนี้จะเริ่มจากการหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่ผ่านลูกค้าทุกราย ซึ่งเรียกเส้นทางนี้ว่า Giant Tour หลังจากนั้นจึงแบ่งออกเป็นเส้นทางย่อยๆ เนื่องจากรถเพียงคันเดียวไม่สามารถเดินทางได้ครบทุกจุด ดังนั้นจึงต้องแบ่งเป็นเส้นทางย่อยโดยคำนึงถึงความจุของรถ และข้อจำกัดระยะเวลาการขนส่ง

5. Improvement หรือ Exchange Procedure เป็นวิธีในการปรับปรุงเส้นทางที่มีอยู่ด้วยการหาเส้นทางที่ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งจากการแลกเปลี่ยนเส้นทางที่มีอยู่แล้ว จนกระทั่งไม่สามารถปรับปรุงเส้นทางได้

ข. เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถกลุ่ม Metaheuristics

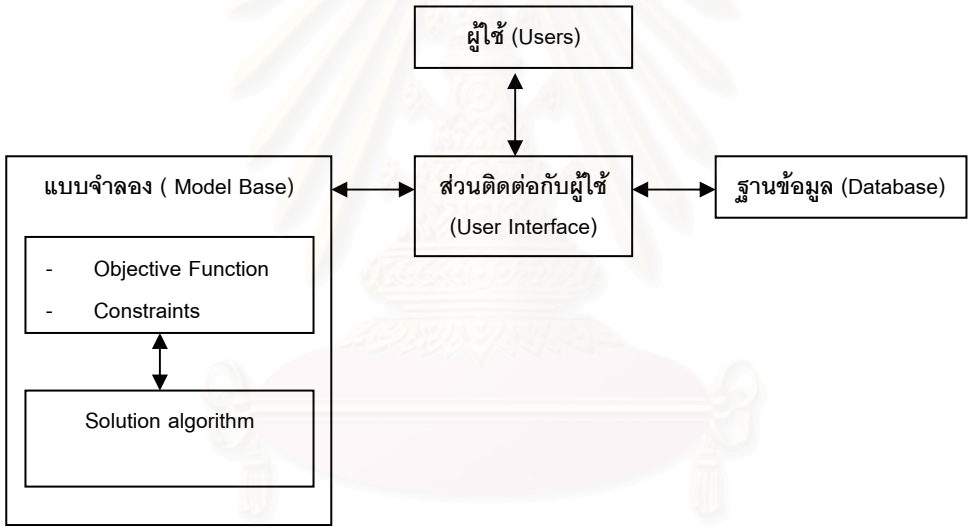
เทคนิคที่นิยมใช้สำหรับการจัดเส้นทางแบบนี้ ได้แก่ Tabu Search (Glover และคณะ, 1997) และการประยุกต์ใช้วิธีการเลียนแบบขบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติของยีนส์ที่เรียกว่า Genetic Algorithms (Gen และ Cheng, 1997) ซึ่งทั้ง 2 วิธีเป็นกรอบวิธีสำหรับการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยออกแบบสำหรับเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับร่วมวิธีการอื่นๆ เพื่อแก้ปัญหาผลการวิเคราะห์ที่มักจะได้ Local Optimality ซึ่งเทคนิคดังกล่าวได้มีการประยุกต์ใช้หลายวงการ รวมทั้งปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

นอกจากนี้ยังมีวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีอื่นๆ ที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ อาทิ การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) วิธีการ Simulated Annealing Algorithm วิธีการ Ant Colony System เป็นต้น

2.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

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

รูปที่ 2.4 แสดงระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ฐานข้อมูล (Database) แบบจำลอง (Model Base) และส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) โดยระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดเส้นทางเดินรถ จะมีองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้



รูปที่ 2.4 ระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ

2.3.1 ข้อมูลป้อนเข้าสู่ระบบและฐานข้อมูล

จากการศึกษาผลงานที่ผ่านมาพบว่าข้อมูลที่จำเป็นต่อกระบวนการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าจะประกอบด้วยข้อมูลภายในบริษัท และข้อมูลภายนอกบริษัท โดยอาจจำแนก ได้ 2 ประเภทคือ

1. ข้อมูลหลัก (Master Files) ได้แก่

- ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของรถขนส่งสินค้าที่มีอยู่และพนักงานขับ เพื่อให้ทราบถึงความจุของรถ เช่น น้ำหนัก ปริมาตร จำนวนรถ และจำนวนพนักงานที่มีอยู่ เป็นต้น
- ข้อมูลลักษณะสินค้า ซึ่งให้รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะของสินค้า ที่มีผลต่อการจัดเส้นทาง เช่น ปริมาตร และน้ำหนัก
- ข้อมูลรายชื่อและลักษณะลูกค้า เพื่อให้รายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะลูกค้าแต่ละราย
- ข้อมูลทางกายภาพของถนน และข้อมูลตำแหน่งพิกัดลูกค้า เพื่อให้รายละเอียดของโครงข่ายการขนส่งระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากับ ลูกค้า

2. ข้อมูลธุรกรรม ซึ่งแสดงข้อมูลที่ใช้ติดต่อระหว่างลูกค้ากับบริษัท ได้แก่ รายการการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า เป็นต้น

2.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นเป้าหมายขององค์กรที่ถูกจำลองขึ้นเพื่อเป็นกรอบในการดำเนินงาน โดยแต่ละองค์กรอาจมีเป้าหมายที่แตกต่างกันตามนโยบายขององค์กร เช่น ต้องการให้เกิดต้นทุนในการดำเนินงานต่ำสุด หรือเสียเวลาในการขนส่งสินค้าต่ำสุด เป็นต้น

โดยทั่วไปธุรกิจมักมุ่งให้เกิดผลกำไรสูงสุด หรือต้นทุนในการดำเนินงานต่ำสุด โดยสามารถแยกประเภทต้นทุนออกเป็น 2 ส่วนคือ ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ซึ่งเป็นต้นทุนที่ไม่แปรเปลี่ยนตลอดช่วงการขนส่งสินค้า เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าประกันภัย ค่าเช่า เป็นต้น ซึ่งจะมีค่าคงที่ แม้ว่าจะมีปริมาณการขนส่งเปลี่ยนไป และต้นทุนผันแปร (Variable Cost) ซึ่งเป็นต้นทุนที่ผันแปรไปตามอัตราส่วนของกิจกรรมในการขนส่งสินค้า (Sawdy, 1972) ได้แก่

- <u>ต้นทุนในการนำสินค้าขึ้นรถ</u> จะขึ้นกับวิธีการนำสินค้าขึ้นรถ วิธีการบริหาร ลักษณะของศูนย์กระจายสินค้า ลักษณะของยวดยานที่ใช้ เป็นต้น

- ต้นทุนในขณะขนส่ง เป็นกิจกรรมที่ทำให้เกิดต้นทุนมากที่สุด เนื่องจากใช้เวลาและทรัพยากรมากกว่ากิจกรรมอื่น โดยต้นทุนนี้จะแปรผันตามความเร็วที่ใช้ ระยะทาง และสภาพการจราจร
- ต้นทุนในการนำสินค้าลงจากรถ แปรผันตามวิธีการนำสินค้าลงจากรถและลักษณะสินค้า

2.3.3 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

2.3.4 แนวทางการติดต่อกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

ระบบการจัดเส้นทางเดินรถจำเป็นจะต้องมีกลไกในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้ระบบ โดยการติดต่อที่ดีควรสนับสนุนให้ผู้ใช้สามารถติดต่อกับระบบได้ง่ายและช่วยตัดสินใจปัญหาได้ถูกต้องและรวดเร็ว ตัวอย่างของการติดต่อระหว่างระบบและผู้ใช้ในการจัดเส้นทาง เช่น

- ผู้ใช้ระบบเป็นผู้ที่กำหนดลักษณะและขอบเขตของปัญหา
- คอมพิวเตอร์ช่วยเลือกข้อมูลที่จำเป็นตามลักษณะปัญหาและวิเคราะห์ปัญหา
- ผู้ใช้ระบบเปรียบเทียบแนวทางของคอมพิวเตอร์และประสบการณ์ของพนักงาน แล้วจึงรวบรวมแนวทางทั้งสองเข้าด้วยกัน
- ผู้ใช้ระบบให้คอมพิวเตอร์ช่วยทบทวนและศึกษาปัญหาเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความชัดเจนสำหรับการวิเคราะห์ปัญหา
- ผู้ใช้ระบบอาจปรับปรุงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองด้วยการใช้ประสบการณ์ของตนเองเพื่อให้คำตอบที่เหมาะสม

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

ปัจจุบันแนวทางในการโต้ตอบและประสานกันระหว่างผู้ใช้ระบบและคอมพิวเตอร์มีได้หลายวิธี เช่น การกำหนดเงื่อนไขเพิ่มเติม การให้พนักงานช่วยในการแก้ไขปัญหาขั้นเริ่มต้น หรือการจัดสรรเส้นทางโดยพนักงานและคอมพิวเตอร์พร้อมๆ กัน แนวทางที่เป็นที่ยอมรับในปัจจุบันคือแนวทางที่เสนอโดย Krolok และคณะ ซึ่งแบ่งลำดับขั้นตอนในการทำงาน ดังนี้

- การใช้แนวทางแบบฮิวริสติกเพื่อวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในเบื้องต้น
- ใช้แนวทางการติดต่อระหว่างผู้ใช้กับคอมพิวเตอร์เพื่อโต้ตอบ โดยให้พนักงานกำหนดแนวทางการแก้ปัญหาเพิ่มเติม และแก้ไขหรือปรับปรุงเส้นทางในภายหลัง เช่น ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางที่ดีไม่ควรมีการขนส่งที่ข้ามทับเส้นทางกัน เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าแนวทางดังกล่าวจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางในการเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก เช่น ลดเวลาในการแก้ปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดข้อด้อยของวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกได้อย่างดี และช่วยให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจในระบบมากขึ้น

2.4 การทบทวนผลงานที่ผ่านมา

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
ธเนศ ทักษิณวราจาร (2543)	วิทยานิพนธ์นี้สร้างแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้า โดยมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว มีรถหลายขนาด สินค้าไปสู่ลูกค้าโดยใช้ระยะทางในการเดินรถน้อยที่สุด	เทคนิคที่ผู้วิจัยใช้ในการวิเคราะห์คือ วิธี Clarke-Wright Saving Method มาจัดเส้นทางเบื้องต้นก่อน แล้วทำการปรับปรุงเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิคการสลับเส้นทาง และสามารถปรับลำดับการส่งสินค้าได้โดยพนักงาน
ยุทธชาติ บรรพปกรณ์ (2546)	วิทยานิพนธ์นี้สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์จัดเส้นทางเดินรถที่มีระยะทางสั้นที่สุด โดยมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว มีรถเพียงคันเดียว หรือเรียกว่าปัญหา Traveling salesman problem	การศึกษานี้ใช้เทคนิค 1)1-Tree Lagrangean Relaxation 2) Artificial Neural Networks และ 3) Genetic Algorithms เปรียบเทียบกันเพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุด
สุธี ศรีเพ็ชรดานนท์ (2536)	วิทยานิพนธ์นี้ศึกษาการสร้างแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้าประเภทผงซักฟอกและสินค้าที่ใช้ในห้องน้ำ โดยมีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียวที่จะกระจายสินค้าไปสู่ร้านค้าต่างๆ โดยต้องการใช้ระยะเวลาในการเดินรถน้อยที่สุด	เทคนิคที่ผู้วิจัยใช้ในการวิเคราะห์คือ วิธี Clarke-Wright โดยแบ่งกลุ่มลูกค้าตามพื้นที่ต่าง ๆ แล้วเก็บเวลาในการเดินรถจริงในการเดินรถภายใต้ข้อสมมติฐานที่สำคัญ คือสภาพการจราจรที่เป็นปกติ และประมาณเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้าโดยพิจารณาตามขนาดเป็นสำคัญ

ตารางที่ 2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
Clarke, G., และ Wright, J. (1964)	เป็นการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีหลายขนาด โดยส่งสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว	ใช้วิธีการฮิวริสติก เพื่อการจัดเรียงลำดับของค่าประหยัดได้ (Saving) และเชื่อมเส้นทางต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ทราบจำนวนรถบรรทุกที่ต้องใช้และปริมาณสินค้าแต่ละคัน
Christophides, N., และ Eilon, S.(1969)	เสนอวิธีปรับปรุงภายในเส้นทาง ภายหลังจากได้เส้นทางเบื้องต้น	เสนอการปรับปรุงเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้ได้ระยะทางใหม่ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าเดิม โดยวิธีการเริ่มต้นจากการสมมติเส้นทางเริ่มต้นขึ้นมาแล้วค่อยปรับปรุงจนกระทั่งได้เส้นทางที่ดีที่สุด
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 Traveling Salesman Problem โดยกำหนดพิกัด (x,y) เพื่อหาระยะทางที่ห่างกันของแต่ละจุด และใช้เทคนิคการสร้างกราฟที่เรียกว่า Spacefilling-Curve เพื่อศึกษารายละเอียดต่างๆ ของลูกค้า แล้วจึงแบ่งเส้นทางออกเป็นสาย แต่วิธีการดังกล่าวไม่สามารถจะแก้ไขปัญหาได้รวดเร็วเมื่อมีข้อมูลและข้อจำกัดจำนวนมากได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
Bell และคณะ(1983)	กล่าวถึงการขนส่งสินค้าประเภทก๊าซและเคมีภัณฑ์ให้กับลูกค้าต่างๆ ซึ่งต้องมีการคาดคะเนระดับของสินค้าของลูกค้าต่างๆ และกำหนดเวลาในการส่ง	แบ่งปัญหาออกเป็น 2 ส่วนคือ - การวิเคราะห์ปริมาณสินค้าที่จะต้องเติมให้กับลูกค้าแต่ละราย - การวิเคราะห์เส้นทางเพื่อให้ต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุด รวมทั้งมีจำนวนการใช้ยวดยานให้น้อยที่สุด Bell และคณะเลือกใช้วิธีการ Set Covering ในการวิเคราะห์ปัญหาเนื่องจากลูกค้าสามารถให้รถมากกว่า 1 คันมาส่งสินค้า และระยะเวลาในการปฏิบัติงานยาวนานกว่า ประมาณ 5 วัน ดังนั้นลูกค้าสามารถเลื่อนส่งสินค้าได้ โดยแบ่งลำดับขั้นตอนในการทำงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1. Route Generator เป็นขั้นตอนของการเลือกเส้นทางที่เป็นไปได้ในแต่ละเส้นทางก่อน โดยมีการระบุลูกค้าต่างๆพร้อมแสดงต้นทุนและค่าใช้จ่าย 2. Route Optimizer เป็นขั้นตอนการเลือกเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อให้ต้นทุนต่ำสุด โดยเส้นทางที่เลือกต้องสอดคล้องกับความต้องการและเงื่อนไข

ตารางที่ 2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
		การวิเคราะห์ปัญหานี้มีความซับซ้อนมาก เพราะมีจำนวนลูกค้ามาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งมีการกำหนดเวลาในการส่งสินค้า
Balardo, S., Duchessi, P..และ Seagle J.P. (1985)	กล่าวถึงแนวทางในการจัดเส้นทางขนส่งโดยรถบรรทุกไปยังร้านสะดวกซื้อของบริษัท Southland Corporation	ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System, DSS) แสดงข้อมูลเส้นทางในการเดินรถด้วยภาพกราฟิก รวมทั้งข้อมูลในเชิงโต้ตอบเพื่อให้ผู้เกี่ยวข้องสามารถวิเคราะห์เส้นทางเพื่อให้ได้ข้อมูลลำดับการส่งไปยังลูกค้าต่างๆ
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

ตารางที่ 2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
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 เป็นส่วนที่ให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและกลั่นกรองหรือเพิ่มเงื่อนไขในการกำหนดเส้นทางเดินรถได้ง่ายขึ้นและถูกต้อง 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	เสนอการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าประหยัดจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวไปยังสถานีบริการที่กระจายอยู่ในกรุงเทพฯ โดยมีขนาดของรถ

ตารางที่ 2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
		ที่แตกต่างกัน โดยแบ่งขั้นตอนเป็น 3 ส่วน คือ (1) การประมาณเส้นทางที่สั้นสุด (2) การจัดกลุ่มลูกค้าที่สามารถส่งสินค้าได้
Klibbua , V. (1990)	กล่าวถึงการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางในการจัดส่งของโรงงานผลิตอาหารประเภทนมและไอศกรีมในจังหวัดเชียงใหม่ โดยมีเงื่อนไขที่สำคัญคืออายุสินค้าสั้น โดยแบ่งพื้นที่ความรับผิดชอบเป็น 4 พื้นที่เพื่อรองรับกับรถส่งนมและไอศกรีม 4 คัน	งานวิจัยนี้ได้แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการออกแบบการทำงานของคลัง (Warehouse) และขนาดพื้นที่คลัง ส่วนที่สองเป็นการวางแผนการขนส่งสินค้า ซึ่งกำหนดให้เส้นทางเป็นเส้นทางคงที่ตามความรับผิดชอบ ซึ่งเทคนิคที่ผู้วิจัยใช้ในการจัดเส้นทางคือ 2-opt โดยใช้ระยะทางเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ด้วยการสร้างเมตริกซ์ระยะทางไปยังลูกค้าต่างๆ จากการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path Algorithm) ที่เรียกว่า Dijiktra ‘s Algorithm
Martin IV, E. (1998)	เสนอแนวทางของการปรับปรุงประสิทธิภาพของการกระจายสินค้าประเภทเบเกอรี่โดยมีข้อกำหนดคือ ช่วงเวลาในการส่งสินค้า	ใช้วิธีการสร้างเส้นทางในการเดินรถโดยใช้ระยะเวลาเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และใช้เทคนิค Nearest-Neighbor Heuristics โดยหาระยะเวลาในการเดินทางระหว่างลูกค้าจากข้อมูลระยะทางในการเดินทางและความเร็วเฉลี่ยด้วยการสร้างตารางความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเดินทางและเวลาเดินทางรถ และหาเวลาใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
		การนำสินค้าลงด้วยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนสินค้าและเวลาที่ใช้ในการนำสินค้าลงจากรถ
Barbarosoglu, G., และ Ozgur, D. (1999)	เสนอการออกแบบการจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกแบบใหม่ (Modern Heuristics) ในประเทศตุรกี	เสนอการจัดเส้นทางด้วยวิธี Tabu Search โดยกำหนดให้ออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว โดยเริ่มต้นสร้างเส้นทางที่เรียกว่า Non-Tabu แล้วจึงปรับปรุงเส้นทางระหว่างกัน ซึ่งผลการศึกษาช่วยให้ประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางในแต่ละวันดีขึ้น
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 โดยต้องการให้ระบบการจัดเส้นทางสามารถส่งสินค้าถึงมือลูกค้าในเวลาที่เหมาะสม	ออกแบบระบบสำหรับปัญหาการเดินรถภายใต้ข้อจำกัดของเวลาและความจุของรถ โดยใช้เวลาซึ่งประกอบด้วย เวลาในการเดินทาง เวลาคอย และเวลาที่ล่าช้า เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยใช้ GIS ArcInfo ของ บริษัท ESRI ซึ่งสามารถแสดงรายละเอียดของถนน

ตารางที่ 2.2 ผลงานการจัดเส้นทางขนส่งที่ผ่านมา

ผู้ดำเนินการวิจัย/ที่มา	ลักษณะของปัญหา	วิธีการและข้อสรุป
	- ลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า - ช่วยให้พนักงานขับรถพึงพอใจกับงาน	สายต่างๆ 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 เช่น Tabu Search

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 บทสรุป

ผลการทบทวนทฤษฎีและผลงานที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่า

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

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

2. ระบบที่พัฒนาควรมีกลไกในการปรับปรุงการจัดเส้นทางการเดินรถ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ระบบมีส่วนร่วมในการตัดสินใจเลือกเส้นทางในการเดินรถ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

3.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงาน

การสำรวจปัญหาและรายละเอียดของการปฏิบัติงานมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาระบบเพราะการสำรวจช่วยให้

- เกิดความเข้าใจในลักษณะปัญหาและกระบวนการทำงานได้ดีขึ้น
- ทราบถึงวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่มีผลต่อการปฏิบัติงาน
- ได้ข้อมูลจากการสำรวจเบื้องต้นไปใช้ในการศึกษาในขั้นถัดไป

จากการศึกษาลักษณะงานของบริษัทตัวอย่างพบว่า บริษัทมีการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคัน โดยใช้ศูนย์กระจายสินค้าทำหน้าที่รวบรวมสินค้าจากแหล่งต่างๆ โดยลักษณะสินค้าที่บริษัทขนส่งส่วนใหญ่เป็นเครื่องใช้สำนักงาน ซึ่งมีความแตกต่างกับการขนส่งสินค้าในลักษณะอื่น เนื่องจาก

- เงื่อนไขในการส่งสินค้าจะถูกกำหนดโดยลูกค้าปลายทางแต่ละแห่ง
- สินค้าส่วนใหญ่มีขนาดมาตรฐาน สามารถบรรจุในกล่อง หรือ
- สินค้าที่ส่งในแต่ละวันจะมีจำนวนมาก และเป็นสินค้าที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก
- สินค้าที่อยู่ในรถแต่ละคันมีทั้งจุดปลายทางแห่งเดียวและหลายแห่ง

จากการศึกษาศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทตัวอย่างจะมีกระบวนการของการจัดการขนส่งสินค้าหลักๆ 4 ขั้นตอน ได้แก่

<u>ขั้นตอนที่ 1 การรับสินค้า</u>

ขั้นตอนนี้จะเป็นกระบวนการเริ่มต้นของการขนส่งสินค้า โดยเริ่มตั้งแต่การรับสินค้า ณ ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งประกอบด้วย การตรวจรับสินค้า การตรวจสอบสินค้า การจัดเอกสาร และการจัดเรียงสินค้าให้เป็นระเบียบเพื่อพร้อมที่จะดำเนินการในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 2 การจัดสินค้า

ขั้นตอนการจัดสินค้านี้ เป็นการจัดและแยกสินค้าที่จะทำการส่งโดยรถขนส่งสินค้าแต่ละคัน โดยกระบวนการแรก คือ การจัดรถขนส่งสินค้าที่มีความเหมาะสมเพื่อที่จะทำการขนส่งสินค้าแต่ละส่วน จากนั้นจึงทำการจัดแยกสินค้าเพื่อที่จะทำการขนสินค้าขึ้นรถ พร้อมที่จะทำการส่งสินค้าให้กับลูกค้า

ขั้นตอนที่ 3 การส่งสินค้า

ขั้นตอนนี้เป็นการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า โดยต้องคำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ของร้านค้าด้วย เช่น ช่วงเวลาในการรับสินค้าเนื่องจาก ร้านแต่ละร้านอาจจะมีช่วงเวลารับสินค้าแตกต่างกัน หากรถส่งสินค้าไปถึงร้านค้าดังกล่าวหลังช่วงเวลาที่กำหนด ทางร้านอาจไม่ยอมรับสินค้าได้ ซึ่งก็จะก่อให้เกิดปัญหาตามมา เช่น ความล่าช้าในการส่งสินค้า หรืออาจทำให้เกิดความเสียหายแก่สินค้าได้

ขั้นตอนที่ 4 การจัดการภายหลังการส่งสินค้า

ภายหลังจากการขนส่งสินค้าให้กับร้านค้าต่างๆ แล้ว จะต้องรายงานการปฏิบัติงานและสรุปผลการดำเนินการ เพื่อตรวจสอบปัญหาและข้อผิดพลาดในการขนส่งสินค้าที่เกิดขึ้น

สำหรับศูนย์กระจายสินค้าตัวอย่างในงานวิจัยนี้มีการจัดส่งสินค้าทุกวัน ไปยังลูกค้าทั้งในกรุงเทพมหานครและต่างจังหวัด มีร้านค้าในความรับผิดชอบประมาณ 100 ร้าน จำนวนรถขนส่งประมาณ 140 คัน จากข้อมูลดังกล่าวเมื่อเปรียบเทียบกับข้อเสนอแนะในการพิจารณาความเหมาะสมที่จะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดเส้นทางดังแสดงในตารางที่ 3.1 พบว่า ศูนย์กระจายสินค้าดังกล่าวมีความเหมาะสมในการนำระบบคอมพิวเตอร์ช่วยจัดเส้นทางขนส่งสินค้า

ตารางที่ 3.1 การจำแนกปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

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

ที่มา : Sussams (1986)

3.2 ลักษณะปัญหาและข้อจำกัดในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้า

จากผลการศึกษากิจการด้านการขนส่งสินค้า ได้พบปัญหาที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนของการขนส่งสินค้าหลายลักษณะ ได้แก่

- การลงสินค้า/การตรวจสินค้าและการเรียงสินค้าใช้ระยะเวลานาน
- การทำงานเอกสารซ้ำซ้อนและยุ่งยาก
- การมีปริมาณของสินค้าที่ต้องการส่งสินค้าสูงในบางช่วง
- การติดต่อสื่อสารระหว่างกัน (Communication) สับสน
- การบริหารรถ (Fleet Management)
- การจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing)
- การบริหารและจัดการบุคลากร
- การควบคุมและการวัดผลความสำเร็จในการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้เน้นที่ปัญหาในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้า ซึ่งเป็นงานหนึ่งที่ต้องมีการบริหารและการจัดการที่ดี รวมทั้งต้องใช้เทคนิคในการดำเนินการที่มีประสิทธิภาพ ลักษณะข้อมูลและปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้า พอสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะปัญหาของการขนส่งสินค้าที่มีอยู่ในปัจจุบัน เป็นการขนส่งสินค้าแบบขาเดียว โดยจัดรถสำหรับขนส่งสินค้าเป็น 2 กลุ่ม คือ การขนส่งภายในจังหวัดและข้ามจังหวัด โดยมีข้อจำกัดในการขนส่งสินค้าไม่เข้มงวดมากนัก

2. การสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลักษณะของสินค้า พบว่าสินค้ามีขนาดมาตรฐาน เนื่องจากบรรจุอยู่ในหีบห่อเรียบร้อย แต่มีสินค้าหลายประเภทจึงทำให้มีน้ำหนักและขนาดสินค้าที่หลากหลาย โดยปริมาณสินค้าที่ต้องส่งให้แก่ร้านค้ามีปริมาณไม่แน่นอน แต่สามารถประมาณจำนวนสินค้าอย่างคราวๆ ได้จากจากสถิติที่บริษัทมีอยู่

3. ข้อมูลขนาดและประเภทของรถขนส่งสินค้า แสดงว่า รถที่ใช้เป็นรถประจำศูนย์มีหลายประเภท ซึ่งการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าจะต้องพิจารณาจำแนกรถเป็นกลุ่มๆ เพื่อให้การวิเคราะห์ปัญหามีความชัดเจนยิ่งขึ้น เนื่องจากความสามารถในการบรรทุกสินค้าและต้นทุนของรถแต่ละประเภทมีความแตกต่างกัน

4. จากการศึกษาข้อมูลพนักงาน พบว่า พนักงานที่ทำหน้าที่ขนส่งสินค้าทั้งการขนส่งแบบข้ามจังหวัดและภายในจังหวัดจะมีช่วงเวลาทำงานแน่นอน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วรถที่มีขนาดใหญ่จะถูกจัดในเส้นทางที่มีจำนวนร้านส่งไม่มากนัก เพื่อให้พนักงานไม่ต้องทำงานเกินเวลาทำงาน เพราะรถขนาดใหญ่จะใช้ระยะเวลาในการนำสินค้าลงจากรถมากกว่ารถขนาดเล็ก

5. การศึกษาฐานข้อมูลของบริษัทตัวอย่าง พบว่า บริษัทมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเพียงเล็กน้อย เช่น ข้อมูลลูกค้าซึ่งแบ่งลูกค้าตามขนาดและพื้นที่ เพื่อใช้ในการแยกเอกสารและจัดสินค้าลงรถเบื้องต้นเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องสร้างฐานข้อมูลขึ้นใหม่เพื่อรองรับกับโปรแกรมที่จะพัฒนา

ข้อมูลอีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมคือ ข้อมูลข้อจำกัดหรือเงื่อนไขในการจัดเส้นทาง ประกอบด้วย

- ข้อกำหนดเวลาการเดินทาง ได้แก่ กำหนดเวลาห้ามรถบรรทุกขนาดใหญ่เข้าในบางพื้นที่
- ข้อจำกัดของสภาพพื้นที่ เนื่องจากในสภาพจริง พื้นที่ที่คับแคบ เช่น ตรอกและซอยไม่สามารถใช้รถขนส่งที่มีขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นจึงต้องกำหนดพื้นที่ให้รถแต่ละประเภทสามารถให้บริการด้วย

3.3 ข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า มีเป้าหมายในการจัดเส้นทางเดินรถที่แตกต่างกัน เช่น ระยะทางสั้นที่สุด เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด หรือต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด เป็นต้น ข้อมูลพื้นฐานในการวิเคราะห์ตามเป้าหมายเหล่านี้ ได้แก่ ระยะทาง เวลา และต้นทุนการขนส่ง มีผลต่อการจัดเส้นทางการเดินรถ ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

3.3.1 ระยะทาง

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

1. การคำนวณหาระยะทางจริงบนถนน (Exact Distance) โดยตรง และเก็บข้อมูลต่างๆ ลงไปในฐานข้อมูลระยะทาง เพื่อใช้คำนวณในขั้นตอนต่อไป วิธีการนี้จะให้คำตอบที่ถูกต้องมากที่สุด แต่มีข้อจำกัดไม่เหมาะสมสำหรับพื้นที่จัดส่งที่ไม่ได้จำลองระบบโครงข่ายถนนไว้ และการวิเคราะห์หาระยะทางจะต้องพิจารณาถึงสภาพการจราจร เช่น ถนนที่จัดจราจรเดินรถทางเดียว (One-Way) และการห้ามรถเลี้ยวขวา เป็นต้น นอกจากนี้จะต้องใช้ระยะเวลาในการรวบรวมข้อมูลและต้องปรับปรุงฐานข้อมูลโครงข่ายให้สอดคล้องกับสภาพปัจจุบันอยู่เสมอ ทั้งนี้การหาระยะทางที่สั้นสุด (Shortest Path) ระหว่าง 2 จุดอาจใช้วิธีการ Dijkstra's Algorithm

2. การประมาณการระยะทางจริงบนถนน สามารถดำเนินการได้หลายวิธี ดังนี้

   - การคำนวณหาระยะทางจริงบนถนนด้วยการปรับระยะทางของเส้นตรงที่เชื่อม 2 จุดส่ง ด้วยค่า Scaling Factor ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกจะเป็นการเปลี่ยนค่าพิกัดของจุดส่ง 2 จุด เพื่อหาระยะทางที่เป็นเส้นตรงเชื่อมทั้งสองจุด ซึ่งหากจุดส่งทั้งสองห่างกันมากก็จะต้องพิจารณาผลของความโค้งของผิวโลก ด้วยการหาระยะทางของจุดส่งทั้งสองในหน่วยองศาของละติจูดและลองติจูดก่อน แล้วจึงใช้ตารางที่ 3.2 แปลงเป็นระยะทางจริงอีกครั้งหนึ่ง ในขั้นตอนที่สอง ใช้ค่า Scaling Factor ปรับแก้ระยะทางที่เป็นเส้นตรงมาเป็นระยะทางจริงโดยประมาณ ซึ่งค่าที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาจะมีค่าประมาณ 1.21
   - การคำนวณหาระยะทางจริงโดยการใช้ระยะทางจริงจากพื้นที่ย่อย วิธีการดังกล่าวจะเริ่มจากการแบ่งโครงข่ายถนนออกเป็นพื้นที่ย่อยและกำหนดศูนย์กลางของพื้นที่ (Centroid) โดยการใช้ทางแยกใหญ่ของพื้นที่ย่อยนั้น หลังจากนั้นจึงหาระยะทางจริง ระหว่างศูนย์กลางของพื้นที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล ดังรูปที่ 3.1 และเมื่อต้องการทราบระยะทางจริงระหว่างร้านค้า สามารถใช้สมการที่ (3-1) เพื่อเปลี่ยนค่าระยะทางโดยประมาณให้เป็นระยะทางจริง

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

โดยที่ระยะทางแมนฮัตตัน (Manhattan) จะมีค่าเท่ากับ

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

โดยที่

$Exact(location_1, location_2)$	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

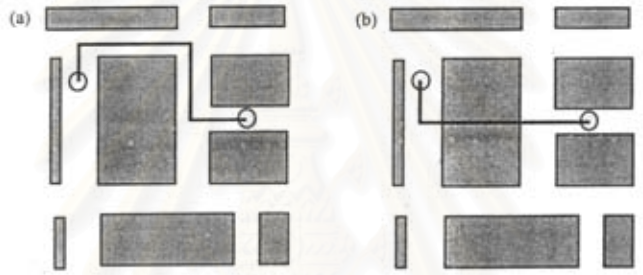
จากสมการที่ (3-1) จะเห็นว่าอัตราส่วนของระยะทางจริงกับระยะทางแบบแมนฮัตตันระหว่างพื้นที่ย่อยจะมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของระยะทางจริงกับระยะทางแมนฮัตตันระหว่างร้านค้า ดังนั้นหากทราบระยะทางแบบแมนฮัตตันระหว่างร้านค้าก็จะสามารถหาระยะทางจริงโดยประมาณได้

ตารางที่ 3.2 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 3.1 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 $d_p(i,j)$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

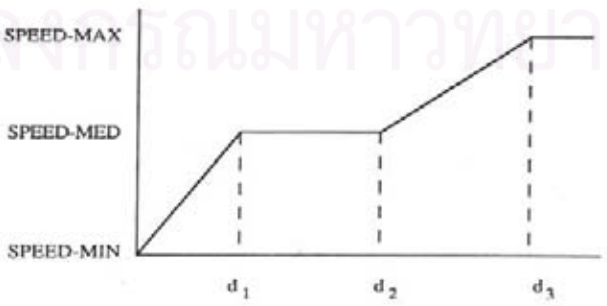
จากสมการที่ (3-2) จะเห็นได้ว่า ถ้าค่า p มีค่าเท่ากับ 2 จะทำให้สมการดังกล่าวเป็นความสัมพันธ์ของระยะทางที่เป็นเส้นตรงกับระยะทางจริง โดยค่า k จะมีค่าเท่ากับค่า Scaling Factor

3.3.2 เวลาการเดินทาง

เวลาในการเดินทางสามารถคำนวณได้โดยตรงจากระยะทางและความเร็วในการขนส่ง แต่ในสภาพความเป็นจริง ความเร็วของรถบนถนนจะแปรเปลี่ยนตามช่วงเวลาของวัน และสภาพตำแหน่งที่ตั้ง รวมทั้งเส้นทางที่ใช้ การหาค่าความเร็วที่จะนำมาใช้ในแบบจำลองสามารถกระทำได้หลายวิธี ดังนี้

- การกำหนดความเร็วให้แตกต่างกันตามพื้นที่ย่อย ที่เรียกว่า Speed Zone (Ballou,1992) โดยวิธีนี้จะพิจารณาถึงอิทธิพลจากปัจจัยลักษณะทางกายภาพของจุดส่งต่างๆ เช่น บริเวณใจกลางเมืองซึ่งมีสภาพการจราจรที่แออัด ทำให้ยวดยานมีความเร็วน้อยกว่าพื้นที่นอกเมือง เป็นต้น
- กำหนดฟังก์ชันความเร็ว (Speed Function) โดยแบ่งค่าพารามิเตอร์ของความเร็วออกเป็นประเภทต่างๆ (Shen และคณะ, 1995) ได้แก่

    - SPEED-MIN แทนความเร็วต่ำสุด
    - SPEED-MAX แทนความเร็วสูงสุด
    - SPEED-MED เป็นความเร็วในช่วงกึ่งกลางระหว่างความเร็วต่ำสุดและความเร็วสูงสุด
    - d_1 , d_2 , d_3 แทน ระยะทางช่วงที่มีเปลี่ยนแปลงความเร็วดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ฟังก์ชันของความเร็วกับระยะทาง

ที่มา : Shen และคณะ (1995)

จากรูปหากทราบระยะทาง (d) ระหว่างจุดส่งทั้งสองสามารถหาความเร็วเฉลี่ยและเวลาในการเดินทางโดยประมาณ แต่อย่างไรก็ตามต้องมีการปรับแก้เนื่องจากอิทธิพลภายนอกที่ผลต่อความเร็ว เช่น

- สภาพทางกายภาพของถนน (Road Condition) เป็นการปรับแก้ระยะเวลาขนส่งตามสภาพที่รถขนส่งจะต้องผ่าน เป็นต้น
- ประสิทธิภาพของผู้ขับยวดยาน (Driver's Productivity) ใช้ปรับแก้คนขับที่มีทักษะในการขับที่แตกต่างกัน ซึ่งมีผลต่อเวลาในการขนส่ง
- สภาพความแออัดของการจราจร (Traffic Congestion) แทนการขนส่งในช่วงชั่วโมงเร่งด่วน จะทำให้ใช้เวลาในการเดินทางมากกว่าปกติ

ดังนั้นเวลาในการเดินทางจะมีค่าเป็น

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

3.3.3 ต้นทุนการขนส่ง

ต้นทุนการขนส่งมีความสำคัญต่อธุรกิจและมักเป็นเป้าหมายหลักของการวางแผนควบคุมและประเมินผลการดำเนินงาน โดยสามารถคิดต้นทุนค่าขนส่งได้หลายแนวทางดังนี้

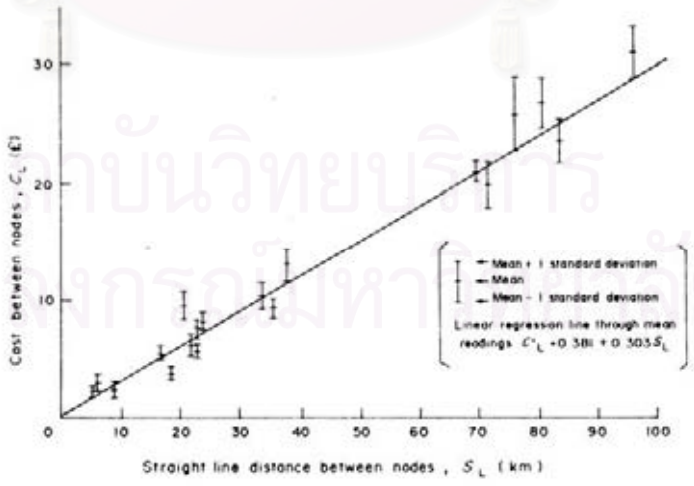
Sawdy (1972) ประมาณต้นทุนการขนส่งโดยพิจารณาจากต้นทุนต่อหน่วยของสินค้าตามกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการขนส่งสินค้า ได้แก่ ต้นทุนในการใช้ยวดยาน (Vehicle Operating Cost) ต้นทุนในการนำสินค้าขึ้น-ลง รวมทั้งต้นทุนในการบริหาร

Sussams (1995) เสนอวิธีการที่มีลักษณะคล้ายกับวิธีของ Sawdy โดยแบ่งกิจกรรมที่สำคัญในการขนส่งและคิดต้นทุนตามระยะเวลาในแต่ละกิจกรรม ได้แก่

- การขนส่งสินค้าในช่วง Stem (เป็นระยะทางในการขนส่งเริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่งแรกของเส้นทาง และระยะทางในการขนส่งจากจุดส่งสุดท้ายกลับมายังศูนย์กระจายสินค้า)

- การขนส่งสินค้าในช่วง Inter-drop ซึ่งเป็นช่วงการขนส่งระหว่างจุดส่งหนึ่งไปยังอีกจุดส่งหนึ่ง
- การนำสินค้าลง (Unloading) เป็นกิจกรรมหนึ่งของการขนส่ง โดยระยะเวลาในการนำสินค้าลงจากรถขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง อาทิ ลักษณะการบรรทุกสินค้า ระยะทางจากจุดจอดรถไปถึงจุดกองเก็บสินค้า ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้ และแรงงานที่มีอยู่ เป็นต้น ช่วงเวลาในส่วนนี้อาจมีความสำคัญเนื่องจากหากมีจำนวนสินค้ามากจะใช้ระยะเวลานำสินค้าลงนาน
- งานธุรการที่ไม่เกี่ยวข้องกับการขับรถโดยตรง เช่น การตรวจสอบสินค้า การจัดการงานเอกสาร รวมทั้งเวลาที่ต้องรอ โดยเวลาในส่วนนี้มีความแตกต่างกันตามประเภทลูกค้าและสินค้า
- ความล่าช้า (Delay) ได้แก่ เวลาที่ล่าช้าจากการเดินทาง อันเนื่องจากสภาพการจราจร เป็นต้น

Cooper (1983) เสนอแนวทางในการประมาณต้นทุนการขนส่งกับระยะทาง โดยใช้สมการถดถอยแบบเส้นตรงดังรูปที่ 3.3 โดยจากรูปจะเห็นว่าต้นทุนในการขนส่งมีค่าผันแปรตามระยะทาง แต่อย่างไรก็ตามการประมาณต้นทุนในการขนส่งด้วยวิธีนี้อาจมีความผิดพลาดได้ในกรณีมีสิ่งกีดขวาง เช่น แม่น้ำขวาง จึงทำให้ระยะทางจริงกับระยะทางที่ประมาณด้วยเส้นตรงมีความคลาดเคลื่อนได้



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนในการขนส่งกับระยะทางแบบเส้นตรง

ที่มา : Cooper (1983)

Bookbinder และ Reece (1988) พิจารณาต้นทุนการขนส่งที่แปรผันตามระยะทาง และตัวแปรอื่น เช่น ความเร็ว ซึ่งกล่าวได้ว่า การขนส่งสินค้าจากลูกค้า l ไปยัง ลูกค้า 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_i = 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 และเวลาในการให้บริการ) 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

$C(S)$ = ผลรวมต้นทุนในทุกๆ เส้นทาง 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

3.4 การเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เหมาะสม

จากการทบทวนผลงานที่ผ่านมา พบว่า ต้นทุนการขนส่งเป็นเป้าหมายที่ผู้ประกอบการใช้เป็นกรอบในการดำเนินธุรกิจ แต่การกำหนดให้ต้นทุนการขนส่งเป็นเป้าหมายในการวิเคราะห์การจัดเส้นทางเดินรถจะมีความซับซ้อนมาก ดังนั้นผลงานในอดีตจึงนิยมกำหนด ระยะทาง และเวลาในการขนส่งเป็นเป้าหมายในการจัดเส้นทางแทนต้นทุนการขนส่ง การเลือกใช้เป้าหมายที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์นั้นจะต้องพิจารณาจากหลายปัจจัย อาทิ ความสามารถในการสำรวจรวบรวมข้อมูล ความสะดวกรวดเร็วในการทำงาน ระดับความถูกต้องของผลการวิเคราะห์ที่ได้ ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

1. หากต้องการใช้ระยะทางเป็นเป้าหมายจะพบว่า การหาระยะทางจริงบนถนนอาจทำได้หากมีฐานข้อมูลโครงข่ายถนนที่ถูกต้องและปรับปรุงให้ทันสมัยอยู่เสมอ แนวทางที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่ง คือ การใช้ค่าปรับแก้ระยะทาง (Scaling Factor) เพื่อเปลี่ยนระยะทางเส้นตรงมาเป็นระยะทางจริงโดยประมาณ ซึ่งเหมาะสำหรับพื้นที่จัดส่งที่ไม่ได้จำลองระบบโครงข่ายถนนไว้ หรือไม่มีข้อมูลการจัดการจราจรที่เป็นปัจจุบัน เช่น ไม่มีถนนที่เพิ่งก่อสร้างแล้วเสร็จในแบบจำลองระบบโครงข่าย ไม่ได้ปรับปรุงลักษณะการจัดจราจรเดินรถทางเดียว (One-way) หรือการห้ามรถเลี้ยวขวา เป็นต้น

2. การเลือกใช้ระยะเวลาในการขนส่งเป็นเป้าหมายจะมีความซับซ้อน เพราะเวลาในการขนส่งแปรเปลี่ยนไปตามอิทธิพลของปัจจัยหลายประการ เช่น ความแออัดของการจราจร และสภาพข้อจำกัดของพื้นที่ในการขนส่ง เป็นต้น ส่งผลให้เกิดความไม่สะดวกในการวิเคราะห์หาระยะเวลาการขนส่ง

3. ต้นทุนการขนส่งจะขึ้นกับกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องกับการขนส่ง เช่น การนำสินค้าขึ้น-ลงจากรถ การเดินทาง ความล่าช้า เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้ต้นทุนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ พบว่าการลดต้นทุนเป็นเป้าหมายที่ผู้ประกอบการต้องการมากที่สุดแต่มีความซับซ้อนทางคณิตศาสตร์ แต่ถ้าผู้ประกอบการต้องการศึกษาเฉพาะต้นทุนขนส่งในช่วงเวลา

ในขณะขนส่ง สามารถใช้ระยะทางในการเดินทางเป็นตัวแทนที่ใกล้เคียงกับต้นทุนระหว่างขนส่งได้เช่นกัน เนื่องจากต้นทุนจะมีความผันแปรตามระยะทาง

จากการเปรียบเทียบถึงความเหมาะสมในการเลือกปัจจัยที่สามารถนำมาใช้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเห็นว่า การใช้ระยะทางโดยประมาณเป็นเป้าหมายเป็นวิธีการที่สะดวก แต่อย่างไรก็ตาม ในการวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้ต้นทุนในการขนส่งเนื่องจากมียวดยานอยู่หลายประเภท และยวดยานแต่ละประเภทมีค่าใช้จ่ายการดำเนินงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงพิจารณาออกแบบระบบให้คำนึงถึงค่าใช้จ่ายดังกล่าว ในรูปค่าใช้จ่ายในการเดินทางซึ่งสัมพันธ์กับเวลา ระยะทาง และค่าคงที่ในลักษณะที่พอจะใช้แทนต้นไม่ผันแปรได้ในรูปสมการเส้นตรง ดังต่อไปนี้

$$\text{Cost}_i = a_i + b_i \text{Time}_i + c_i \text{Distance}_i$$

โดยที่ Cost = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางทั้งหมด หน่วยของเวลา (นาที) หรือหน่วยของเงิน (บาท)

Time = ระยะเวลาในการเดินทาง (นาที)

Distance = ระยะทาง (กิโลเมตร)

a = ค่าคงที่

b, c = สัมประสิทธิ์เพื่อแปลงมูลค่าต่างๆ ให้อยู่ในรูปหน่วยของเวลาหรือหน่วยของเงิน

i = ยวดยานแต่ละประเภท

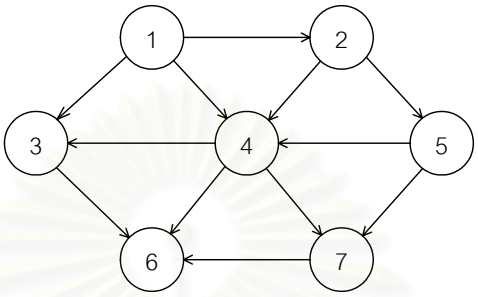
3.5 การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การวิเคราะห์จะประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ในการจำลองโครงข่ายถนน (Road Network) โดยใช้ทฤษฎีกราฟ (Graph Theory) ซึ่งประกอบด้วยจุดยอด (Vertex) แทนตำแหน่งทางแยกหรือจุดที่ถนนมีการเปลี่ยนแปลงสภาพทางกายภาพ และส่วนต่อระหว่างจุดยอด (Arc) แทนช่วงถนน นอกจากนี้ฐานข้อมูลโครงข่ายถนน ยังประกอบด้วย ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของโครงข่าย เช่น ระยะทาง จำนวนช่องจราจร เป็นต้น

โครงสร้างข้อมูลที่ใช้ในการจำลองโครงข่ายถนน มักแทนกราฟด้วยโครงสร้างข้อมูล 2 ลักษณะ (Weiss, 1992) คือ

1. Adjacency Matrix

นิยมใช้กับกราฟที่มีการเชื่อมต่อระหว่างจุดต่างๆ หลายๆ จุด หรือที่เรียกว่า กราฟแน่น (Dense Graph) รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการจำลองโครงข่ายถนนด้วยกราฟ ส่วนรูปที่ 3.5 แสดงการแทนกราฟด้วย Adjacency Matrix



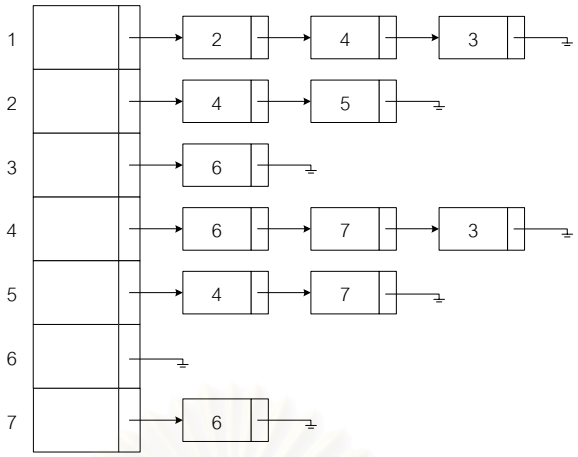
รูปที่ 3.4 การจำลองโครงข่ายถนนด้วยกราฟ

Origin Vertex	Destination Vertex						
	1	2	3	4	5	6	7
1		1	1	1			
2				1	1		
3						1	
4			1			1	1
5				1			1
6							
7						1	

รูปที่ 3.5 การแทนกราฟด้วย Adjacency Matrix

2. Adjacency List

สำหรับกราฟที่มีการเชื่อมต่อระหว่างจุดต่างๆ น้อยจุด หรือกราฟไม่แน่น (Sparse Graph) ถ้าแทนด้วย Adjacency Matrix จะมีช่อง (Cell) ที่ว่างหรือมีค่าเป็นศูนย์เป็นจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้หน่วยความจำของเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการแทนกราฟดังกล่าวด้วยโครงสร้างที่ประหยัดหน่วยความจำมากกว่า เรียกโครงสร้างดังกล่าวว่า Adjacency List ดังรูปที่ 3.6

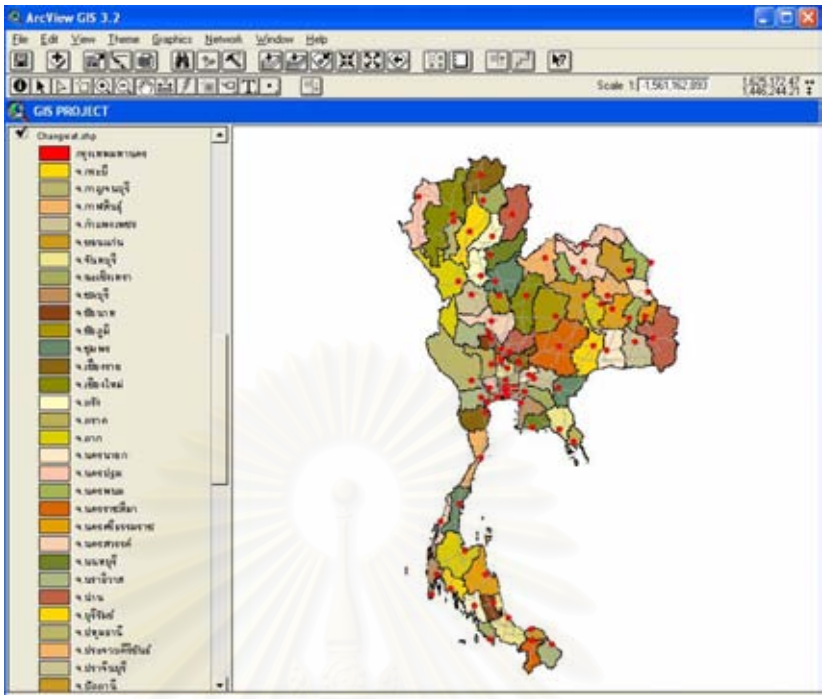


รูปที่ 3.6 การแทนกราฟด้วย Adjacency List

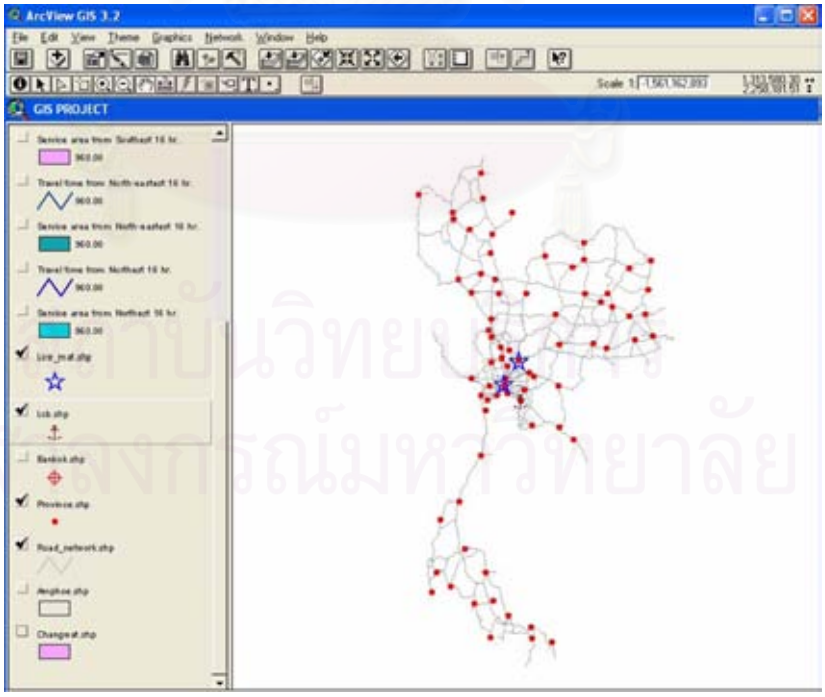
การศึกษานี้จะแทนกราฟด้วยโครงสร้างข้อมูลแบบ Adjacency List เนื่องจากโครงข่ายถนนมักมีลักษณะที่เชื่อมต่อกันเป็นบางจุดหรือกราฟไม่แน่น (Sparse Graph)

ในการจำลองโครงข่ายถนนลงบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะทำการปรับปรุงแผนที่โครงข่ายถนนโดยใช้โครงข่ายถนนจากแบบจำลองด้านจราจรและขนส่ง จากโครงการพัฒนารูปแบบจำลองและระบบฐานข้อมูล ของสำนักงานคณะกรรมการจัดระบบการจราจรทางบก โดยจะทำการตรวจสอบและเพิ่มจุดยอด (Vertex) ที่เป็นจุดรับ-ส่งสินค้าหรือตำแหน่งร้านค้า และเส้นทางเชื่อมต่อ (Arc) ระหว่างจุดยอดที่เพิ่มเติมเข้าไปกับโครงข่ายถนนที่มีอยู่ โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView รูปที่ 3.7 และ 3.8 แสดงตัวอย่างแผนที่ประเทศไทยแบ่งตามขอบเขตจังหวัด และโครงข่ายถนนจากแบบจำลองด้านจราจรและขนส่ง โดยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView 3.2 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 แสดงตัวอย่างแผนที่ประเทศไทยแบ่งตามขอบเขตจังหวัด
โดยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView 3.2



รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่างโครงข่ายถนนจากแบบจำลองด้านจราจรและขนส่ง
โดยโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView 3.2

บทที่ 4

แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ

การพัฒนาแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถที่ผ่านมายังไม่สามารถใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจาก แบบจำลองในอดีตที่พัฒนาขึ้นไม่สอดคล้องกับลักษณะของปัญหาในทางปฏิบัติ เช่น การไม่พิจารณาข้อจำกัดของความจุและน้ำหนักรถ หรือไม่เปิดโอกาสให้แก้ไขหรือเปลี่ยนลำดับการส่งสินค้า เป็นต้น

การสร้างแบบจำลองในการจัดเส้นทางเดินรถให้สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญ การศึกษานี้จะใช้เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในกลุ่ม Metaheuristics โดยใช้เทคนิค Tabu Search (TS) ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหา Optimization ที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง มีการใช้ Tabu Search ในงานวิจัยด้านต่างๆ อย่างแพร่หลาย อาทิ การวางแผนทรัพยากร การสื่อสาร การวิเคราะห์ทางการเงิน การจัด Schedule การจัดเส้นทางเดินรถ ฯลฯ (Glover, 1997)

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในการศึกษานี้ มีขั้นตอนหลักๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น
2. การปรับปรุงเส้นทางเดินรถโดยใช้ Tabu Search
3. การปรับลำดับการส่งสินค้าโดยพนักงาน

สำหรับเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิดของแบบจำลองและขั้นตอนในการทำงาน สำหรับรายละเอียดของการออกแบบระบบจะได้กล่าวในบทต่อไป

4.1 การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น

การสร้างแบบจำลองในการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น ใช้วิธีการหาค่าประหยัด (Savings Matrix Method) โดยมีหลักการพื้นฐาน ดังนี้

1. คำนวณหาระยะทางที่สามารถประหยัดได้จากการเลือกเส้นทางในการเดินทางจากจุดตั้งต้น i ใดๆ ไปยังจุดปลาย j ใดๆ

2. เรียงค่าการประหยัดจากมากไปน้อย โดยค่าประหยัดที่มีค่ามากจะมีโอกาสถูกนำเข้ามาอยู่ในเส้นทาง

3. สร้างเส้นทางโดยพิจารณาคู่ลำดับของค่าประหยัดให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางจนกระทั่งจัดเส้นทางได้ครบและสอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆ

ในปัจจุบันเทคนิคการหาค่าการประหยัดมีวิธีการเลือกเส้นทางให้เข้ามาอยู่ใน เส้นทางอยู่ 3 ประเภท (Breedam,1994) คือ

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

2. Parallel Saving Heuristic (PS) เป็นวิธีการสร้างเส้นทางโดยเริ่มจากการนำจุดส่งสองจุดที่ไม่อยู่ในเส้นทางแต่ทำให้มีค่าการประหยัดสูงสุดเข้ามาอยู่ในเส้นทางก่อน หลังจากนั้นจึงพิจารณาหาจุดส่งสองจุดถัดไปที่มีค่าการประหยัดรองลงมาเข้ามาอยู่ในเส้นทาง โดยถ้าจุดส่งทั้งสองไม่เคยถูกจัดอยู่ในเส้นทางมาก่อนให้สร้างเป็นเส้นทางใหม่ แต่ถ้าหากมีจุดส่งใดที่อยู่ในเส้นทางแล้วให้นำเส้นทางดังกล่าวมารวมกันโดยเส้นทางจะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัด วิธีดังกล่าวมีข้อดีคือ เส้นทางที่ได้จะมีความยุติธรรมเพราะมีการกระจายจุดส่งได้ดีและไม่กระจุกตัวกันแน่นจนทำให้เส้นทางบางเส้นทางมีจุดส่งแน่นหรือน้อยเกินไป 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 ยังมองว่าเส้นทางที่ได้จากวิธี PS อาจสามารถนำมารวมกันเพื่อสร้างเป็นเส้นทางใหม่ได้ถ้าระยะทางในการขนส่งลดลงจากเดิม ดังนั้นวิธีการนี้จะต้องตรวจสอบการประหยัดที่เกิดขึ้นทุกครั้งจึงทำให้วิธีการนี้ใช้ระยะเวลาวิเคราะห์มากขึ้น วิธีการนี้ถูกนำมาใช้โดย Altinkemer และ Gavish(1991) และ Desrochers และ Verhoog(1989)

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

4.1.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบ

การทำงานของแบบจำลองสามารถทำได้หลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสำคัญ ระดับของปัญหา ประเภทของข้อมูล วิธีการวิเคราะห์ และข้อกำหนดต่างๆ ข้อพิจารณาในการออกแบบรายละเอียดการทำงานของแบบจำลอง ประกอบด้วย

1. การสร้างเมตริกซ์ระยะทาง
2. การเลือกจุดส่งชุดแรก
3. การลำดับการส่งภายในเส้นทาง
4. การกำหนดข้อจำกัดของจุดส่ง
5. การเลือกใช้รถ
6. การกำหนดค่าพารามิเตอร์

<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 โดยเมตริกซ์แบบครึ่งชุดนี้จะช่วยลดขั้นตอนการคำนวณเส้นทางและการจัดเส้นทางลงครึ่งหนึ่ง แต่การศึกษานี้ได้กำหนดให้เมตริกซ์ที่จะใช้วิเคราะห์เป็นเมตริกซ์แบบเต็มชุด (Full Matrix) เพราะต้องการให้แบบจำลองสามารถนำไปใช้ในกรณีที่เส้นทางไปและกลับของแต่ละจุดส่งอาจจะไม่เหมือนกัน แม้ว่าจะทำให้การสร้างเมตริกซ์และการวิเคราะห์ช้าลงไปบ้าง ซึ่งการหาเมตริกซ์ระยะทางสามารถได้โดยการหาระยะทางที่สั้นสุด (Shortest Path) ระหว่าง 2 จุดโดยใช้ Dijkstra's Algorithm หรือ

จากการคำนวณหาระยะทางจริงบนถนนด้วยการปรับระยะทางของเส้นตรงที่เชื่อม 2 จุดส่ง ด้วยค่า Scaling Factor แล้วแต่ผู้ใช้กำหนด

<u>การเลือกจุดส่งชุดแรก</u>

ในการเลือกจุดส่งชุดแรกให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง สามารถยึดหลักเกณฑ์ใดหลักเกณฑ์หนึ่งดังนี้ (Breedam,1994)

- เลือกจุดส่งเพียงจุดเดียวที่อยู่ไกลจากศูนย์กระจายสินค้ามากสุด
- เลือกจุดส่งเพียงจุดเดียวที่อยู่ใกล้ศูนย์กระจายสินค้ามากสุด
- เลือกจุดส่งสองจุดที่มีค่าการประหยัดมากสุด

จากการเปรียบเทียบความเหมาะสมทั้ง 3 แบบจะพบว่า การเลือกคู่จุดส่งที่ให้ค่าการประหยัดสูงสุดเป็นวิธีที่ดีสุด เนื่องจากได้ผสมผสานทั้งแนวคิดทั้งสองข้อแรกเข้าด้วยกัน กล่าวคือ ค่าการประหยัดที่มีค่ามากมักอาจเกิดขึ้นจากจุดที่อยู่ไกลจากศูนย์กระจายสินค้า หรือระยะทางที่ใกล้ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งทำให้เกิดการประหยัดที่มีค่ามากได้หากคู่ลำดับทั้งสองอยู่ใกล้กัน

<u>การลำดับการส่งภายในเส้นทาง</u>

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

1. หาค่าการประหยัดจากการหาจุดส่ง C_1 เข้ามาอยู่ในเส้นทางที่ปลาย A ที่มีค่ามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.2 นั่นคือ

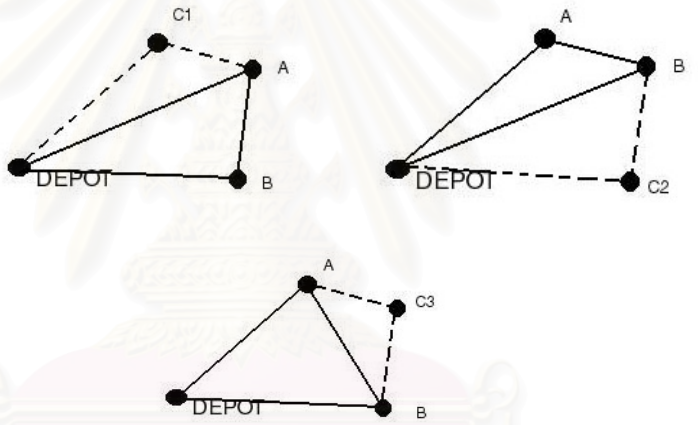
$$\begin{aligned} S &= \left[d_{1C_1} + d_{C_1 1} + d_{1A} + d_{AB} + d_{B1}\right] - \left[d_{1C_1} + d_{C_1 A} + d_{AB} + d_{B1}\right] \\ S &= d_{C_1 1} - d_{C_1 A} + d_{1A} \end{aligned} \quad (4\text{-}1)$$

2. หาค่าการประหยัดได้จากการหาจุดส่ง C_2 เข้ามาอยู่ในเส้นทางที่ปลาย B ที่มีค่ามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.1 นั่นคือ

$$S = \left[d_{1C_2} + d_{C_21} + d_{1A} + d_{AB} + d_{B1}\right] - \left[d_{1A} + d_{AB} + d_{BC_2} + d_{C_21}\right]$$
$$S = d_{1C_2} - d_{BC_2} + d_{B1} \quad (4\text{-}2)$$

3. หาค่าการประหยัดได้จากการหาจุดส่ง C_3 เข้ามาอยู่ระหว่างปลาย A กับปลาย B ที่มีค่ามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.2 นั่นคือ

$$S = \left[d_{1C_3} + d_{C_31} + d_{1A} + d_{AB} + d_{B1}\right] - \left[d_{1A} + d_{AC_3} + d_{C_3B} + d_{B1}\right]$$
$$S = d_{1C_3} + d_{C_31} + d_{AB} - d_{AC_3} - d_{C_3B} \quad (4\text{-}3)$$



รูปที่ 4.1 รูปแบบการหาจุดส่งที่เหมาะสมสำหรับการหาค่าการประหยัด

สำหรับการศึกษานี้จะพิจารณาจัดเส้นทางด้วยปลายข้างใดข้างหนึ่ง โดยมักจะให้จุดส่งเข้ามาอยู่ที่ปลายที่อยู่ห่างจากศูนย์ฯน้อยที่สุด และให้ปลายที่อยู่ห่างจากศูนย์มากที่สุดเป็นลำดับการส่งแรก เนื่องจาก รถสามารถทำความเร็วในช่วงระยะทางไกลได้ดีกว่าในช่วงสั้น นอกจากนี้แล้วพบว่าเหตุที่เลือกเพียงปลายเดียวเนื่องจาก สามารถพัฒนาระบบได้ง่ายโดยเฉพาะในการจัดลำดับให้เริ่มต้นจาก 1, 2, … ไปจนกระทั่งเส้นทางถึงข้อจำกัดการจัดเส้นทาง

การกำหนดข้อจำกัดของจุดส่ง

ในสภาพความเป็นจริงจุดส่งแต่ละแห่งมีสภาพแตกต่างกัน จุดส่งบางแห่งมีพื้นที่คับแคบ ในขณะที่บางแห่งเป็นพื้นที่กว้างขวาง บางจุดส่งมีข้อกำหนดห้ามรถใหญ่เข้าพื้นที่ ดังนั้น ผู้ประกอบการจึงต้องพิจารณาถึงสภาพจุดส่งในแต่ละแห่ง เพื่อสามารถเลือกใช้รถอย่างคุ้มค่าที่สุด เช่น

- รถขนาดใหญ่ นิยมใช้ขนส่งสินค้าคราวละมากๆ ซึ่งมักเป็นร้านค้าขนาดใหญ่ เช่น ห้างสรรพสินค้า โดยมีจำนวนจุดส่งไม่มากนัก
- รถขนาดเล็ก นิยมใช้ขนส่งสินค้าจำนวนไม่มากหรือใช้ในการกระจายสินค้า ซึ่งจุดส่งที่ส่งจะเป็นร้านค้าขนาดเล็กและมีการเข้าออกพื้นที่ค่อนข้างยาก

แบบจำลองที่ผ่านมาส่วนใหญ่ไม่ได้พิจารณาข้อจำกัดเรื่องจุดส่ง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะไม่ประสบปัญหาดังกล่าว หรือผู้ประกอบการไม่ได้ให้ความสำคัญกับเรื่องนี้ แต่ในสภาพปัจจุบันสถานการณ์ได้เปลี่ยนไป เช่น มีกฎข้อบังคับในการนำรถเข้าพื้นที่ที่เข้มงวด ส่งผลให้แบบจำลองไม่สามารถใช้งานได้ดีนัก แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะให้ระยะทางที่มีค่าต่ำกว่า แต่ไม่สามารถนำผลการจัดเส้นทางไปใช้งานได้จริง การศึกษานี้จึงได้กำหนดเงื่อนไขเกี่ยวกับจุดส่งลงไปในแบบจำลอง โดยใช้วิธีการที่เสนอโดย Nag Golden และ Assad (1988) ดังรูปที่ 4.2

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 4.2 การอนุญาตใช้รถสำหรับจุดส่งต่างๆ

ที่มา : Nag Golden และ Assad (1988)

จากรูปจะเห็นได้ว่าจุดส่งต่างๆ อนุญาตให้ใช้รถขนส่งได้หลายประเภทเนื่องจากเงื่อนไขของการขนส่งขึ้นอยู่กับ สถานที่ ปริมาณการส่ง โดยกำหนดให้ “1” แทนการอนุญาตให้รถประเภทนั้นๆ ส่งสินค้าในพื้นที่ได้และ “0” แทนไม่อนุญาตให้รถประเภทนั้นส่งสินค้าในพื้นที่

การเลือกใช้รถ

โดยทั่วไปเทคนิคในการจัดเส้นทางเดินรถมักกำหนดให้แบบจำลองสามารถนำรถเข้ามาใช้ในการจัดเส้นทางได้โดยไม่จำกัดจำนวนรถ โดยถ้ารถคันเดิมมีปริมาณบรรทุกถึงขอบเขตหรือข้อจำกัดในการจัดเส้นทางจะให้เปลี่ยนรถคันใหม่ทันที วิธีดังกล่าวดังกล่าวมีข้อเสียเนื่องจากในบางครั้งจำนวนรถที่ใช้อาจมีมากกว่าจำนวนรถที่มีอยู่จริง ดังนั้นการศึกษานี้จึงกำหนดให้ใช้จำนวนรถได้ไม่เกินจำนวนที่มีอยู่จริง นอกจากนี้ยังให้ผู้ใช้ระบบสามารถเลือกใช้รถประเภทใดก่อนได้ เพื่อให้แบบจำลองมีความยืดหยุ่นในการวิเคราะห์ เช่น ในกรณีจัดเส้นทางเดินรถด้วยการใช้รถขนาดใหญ่ เพื่อให้ใช้จำนวนรถน้อยๆ และประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง หรือกรณีจัดเส้นทางเดินรถด้วยการใช้รถเล็กก่อน เพื่อให้รถขนาดใหญ่ไม่รับภาระในการส่งสินค้ามากเกินไป หรือเพื่อให้รถเกิดการใช้ประโยชน์มากสุด (Utilization) เป็นต้น

การกำหนดค่าพารามิเตอร์

การจัดเส้นทางเดินรถด้วยการใช้เทคนิคการประหยัดมักพบว่า เมื่อจัดเส้นทางเดินรถมาถึงจุดหนึ่ง ซึ่งจุดส่งที่เหลืออยู่ยังไม่ได้ถูกจัดเข้ามาในเส้นทาง มีปริมาณสินค้าที่เมื่อลองนำจัดเข้าสู่เส้นทางแล้ว ทำให้รถเกินความจุและส่งผลให้การจัดเส้นทางเดินรถดังกล่าวหยุดลง ในขณะที่สินค้าในรถมีปริมาณน้อยกว่าความจุของรถ และหากประสบปัญหาเช่นนี้บ่อยครั้ง อาจทำให้รถแต่ละคันมีที่ว่างเหลือและรถมีการใช้ประโยชน์ต่ำเกินไป ซึ่งในความเป็นจริงปริมาณสินค้าที่ทำให้เกินความจุของรถอาจมีไม่มากนักและยังสามารถที่จะบรรทุกเข้ารถได้อีก โดย Nag Golden และ Assad (1988) ได้แนะนำให้ทดลองเพิ่มความจุของรถให้สูงขึ้นด้วยค่าปรับแก้เพื่อเปลี่ยนเป็นความจุที่เรียกว่า ความจุเทียม (Artificial Capacity) ดังสมการที่ 4-4 หลังจากนั้นจึงค่อยปรับระดับความจุให้ลดต่ำลงถึงความจุของรถที่ควรจะเป็นจริงด้วยการสลับหรือขยายเป็นรถขนาดใหญ่ได้ในภายหลัง

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

โดยที่

$ARTIFICIAL_CAPACITY_j$ = ความจุเทียมของรถคันที่ j

$TARGET_LOAD_j$ = ความจุของรถคันที่ j

x = ค่าปรับแก้น้ำหนักที่ใช้ปรับความจุ

Nag และคณะ ได้เสนอให้ใช้ค่าปรับแก้น้ำหนัก (x) จะมีค่าประมาณ 1.1 หรือกล่าวได้ว่ารถดังกล่าวมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้เพิ่มอีกร้อยละ 10 แต่อย่างไรก็ตามค่าดังกล่าวสามารถปรับเปลี่ยนได้ในสถานการณ์ ดังตัวอย่างเช่น

1. ในกรณีที่มีปริมาณสินค้ามากอาจเพิ่มความสามารถในการบรรทุกด้วยการเพิ่มค่าปรับแก้ให้มากขึ้น

2. ในกรณีที่ปริมาณสินค้ามีจำนวนน้อยจนอาจไม่เกิดความยุติธรรมในการจัดเส้นทางโดยเฉพาะรถในลำดับท้ายๆ ซึ่งอาจมีปริมาณสินค้าที่จะส่งน้อยกว่ารถในลำดับแรกๆ ซึ่งเป็นข้อด้อยของแบบจำลองประเภท SS ด้วยการลดค่าปรับแก้ให้ต่ำกว่า 1.0 เพื่อให้สามารถกระจายสินค้าที่จะส่งไปได้ทั่วถึง

4.1.2 ขั้นตอนการทำงาน

สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะกล่าวถึงกระบวนการจัดเส้นทางโดยคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการหาค่าประหยัดของทุกๆ จุดส่ง

- 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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ตรวจสอบและปรับค่าการประหยัดดังนี้

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

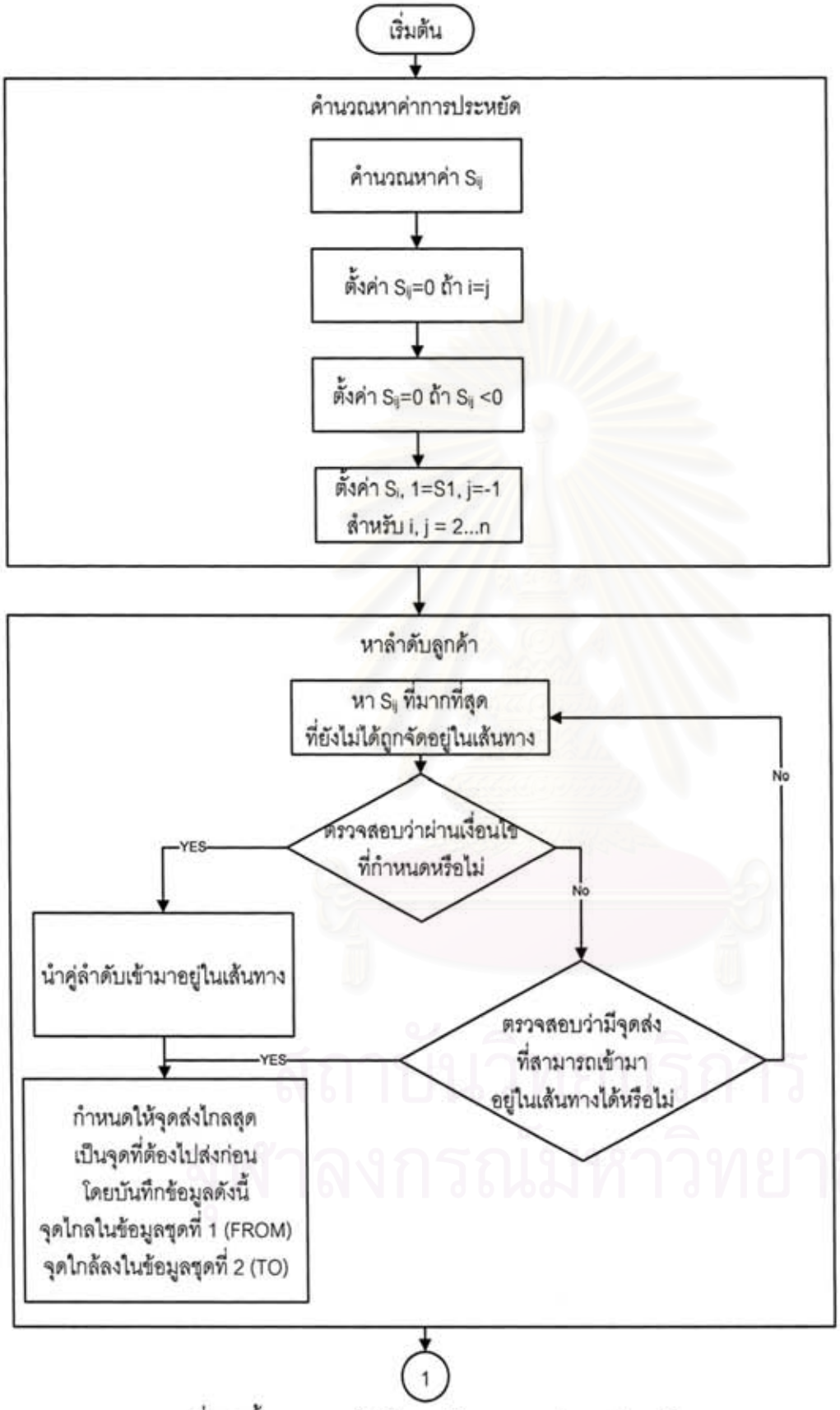
2. ขั้นตอนการจัดจุดส่งชุดแรกลงในเส้นทาง

   - ตรวจสอบหาจุดส่งที่ยังไม่ได้ถูกจัดอยู่ในเส้นทางและมีค่าการประหยัดที่มากสุด เพื่อตรวจสอบปริมาณสินค้าของจุดส่งทั้งสองเทียบกับความจุของรถ และข้อจำกัดของจุดส่ง หากคู่จุดส่งไม่ทำให้เส้นทางขัดแย้งกับข้อจำกัดของการส่ง ให้นำจุดส่งทั้งสองเข้ามาไว้ในเส้นทาง และทำตามขั้นตอนต่อไป ตรวจสอบปริมาณสินค้าของจุดส่งทั้งสองเทียบกับความจุของรถ หากปริมาณสินค้าของจุดส่งน้อยกว่าความจุให้ผนวกจุดส่งดังกล่าวให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง และกำหนดให้จุดส่งที่ได้เป็นจุดส่งที่ได้รับการจัดลงในเส้นทาง แต่ถ้าไม่มีจุดส่งใดที่สามารถนำเข้ามาอยู่ในเส้นทางได้ให้ปฏิเสธจุดส่งทั้งสอง
   - กำหนดลำดับในการเดินทางของคู่ลำดับโดยพิจารณาจากระยะห่างในการเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่ง ซึ่ง Ballou(1999) ได้ แนะนำให้ใช้จุดส่งที่มีระยะห่างจากศูนย์กระจายสินค้ามากสุดเป็นจุดส่งในลำดับแรกสุด

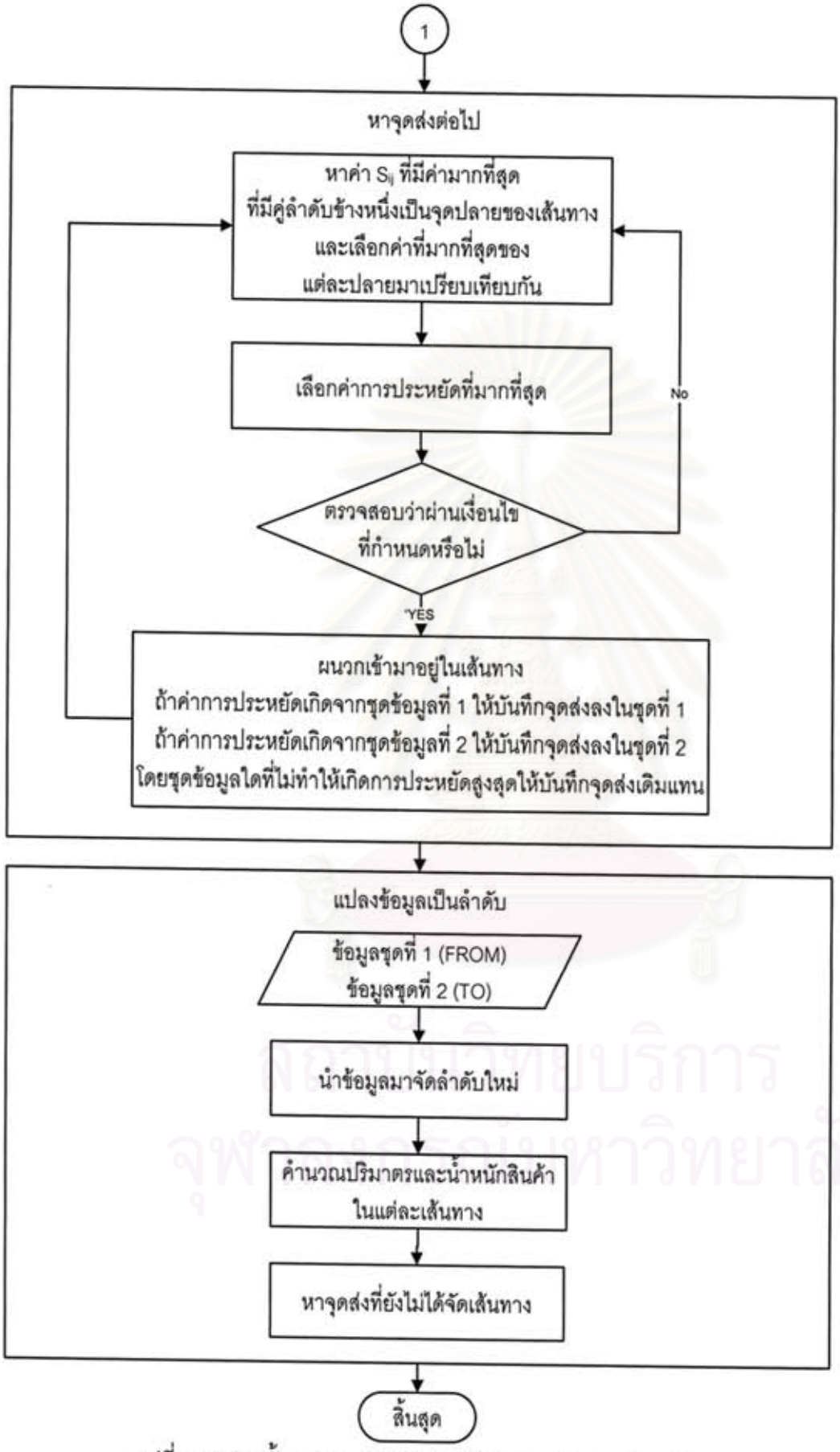
3. การจัดจุดส่งในลำดับถัดไป

   - หาค่าการประหยัดที่มีค่ามากสุด โดยจุดส่งที่จะนำมาหาค่าการประหยัดมากสุดจะต้องเป็นคู่จุดส่งที่มีจุดส่งจุดหนึ่งเป็นจุดที่เป็นปลายของเส้นทางที่ได้รับการจัดลงในเส้นทางแล้ว ขณะที่ปลายอีกข้างหนึ่งเป็นจุดส่งใหม่ที่ไม่ได้จัดลงในเส้นทาง โดยจุดส่งที่เหมาะสมได้จากสมการที่ (4-1) และ (4-2)
   - ทำการตรวจสอบค่าการประหยัดจากทั้ง 2 กรณีโดยเปรียบเทียบคู่จุดส่งที่มากที่สุดของแต่ละปลายเพื่อหาจุดส่งใหม่ที่ทำให้มีค่าการประหยัดมากสุดเพื่อเป็นจุดส่งที่จะถูกเลือกให้นำเข้าไปอยู่ในเส้นทาง
   - ตรวจสอบว่าจุดส่งที่จะนำเข้ามีข้อขัดแย้งกับข้อจำกัดของความจุของรถ น้ำหนักรถและพื้นที่จุดส่งมีข้อจำกัดในการส่งหรือไม่ ถ้าจุดส่งที่เลือกไม่ขัดแย้งให้ผนวกจุดส่งเข้าไปในเส้นทางและดำเนินงานตามขั้นตอนนี้ต่อไปจนกระทั่งถึงขีดจำกัดในการจัดส่งจึงเปลี่ยนรถคันใหม่เข้ามาแทน

ขั้นตอนในการวิเคราะห์เส้นทางเบื้องต้นสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัด



รูปที่ 4.3 (ต่อ) ขั้นตอนการจัดเส้นทางด้วยการหาค่าการประหยัด

4.2 การปรับปรุงเส้นทาง

การปรับปรุงเส้นทางด้วยเทคนิคฮิวริสติกมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเส้นทางที่มีอยู่ แล้วมาปรับปรุงด้วยการผ่านกระบวนการค้นหา (Search Mechanism) โดยพอจำแนกประเภทของการปรับปรุงเส้นทางตามวิธีการเคลื่อนย้ายจุดส่งในเส้นทางได้ ดังนี้

- การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง (Within Routes)
- การปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง (Between Routes)

4.2.1 การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง

การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทางเป็นขั้นตอนหนึ่งของการสร้างเส้นทางเดินรถแบบผสมผสาน (Composite Procedure) การศึกษานี้เลือกใช้วิธีการปรับปรุงเส้นทางด้วยการเปลี่ยนเส้นทางการส่ง 2 เส้นทาง (2-opt) ด้วยการทดลองย้ายลำดับการส่งแล้วตรวจสอบผลลัพธ์จากการปรับปรุง ขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทาง ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังรูปที่ 4.4 รายละเอียดการทำงานอธิบายได้ดังนี้

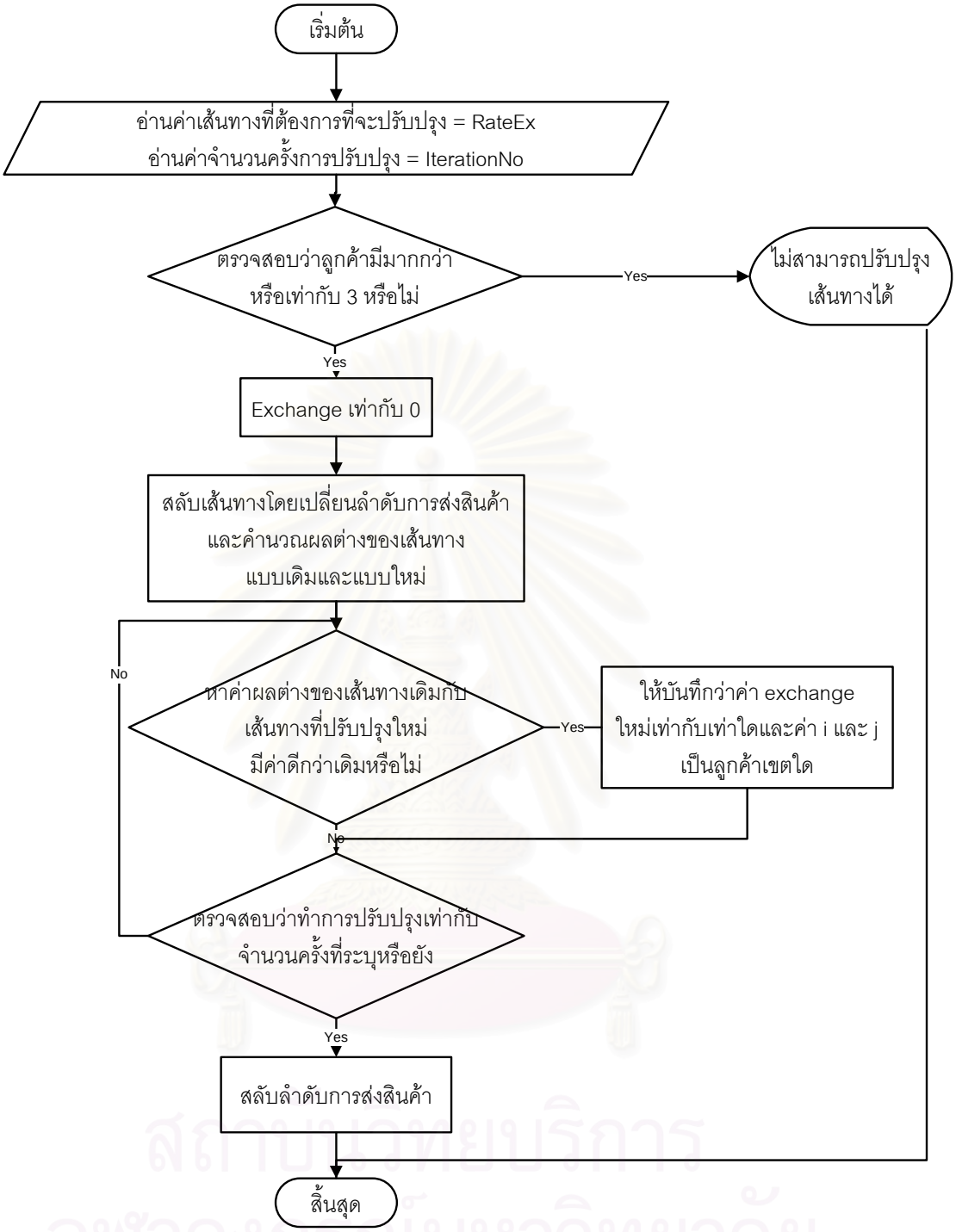
1. คอมพิวเตอร์เลือกจุดส่งที่ต้องการสลับ s_i และ $s_{i'}$ โดยเริ่มจากจุดส่งในลำดับแรกไปจนครบทุกจุดส่ง

2. 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

3. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบระยะทางที่ได้จากการปรับปรุงเทียบกับระยะทางก่อนการปรับปรุง ดังสมการที่ 4-6 ถ้าการสลับลำดับการส่งไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขหรือข้อกำหนดในการเดินรถ และทำให้เกิดการประหยัดในการปรับปรุงเส้นทาง ให้บันทึกจุดส่ง s_i และ $s_{i'}$ และค่าการประหยัด หลังจากนั้นจึงกลับไปทำขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งครบทุกๆ จุดส่ง

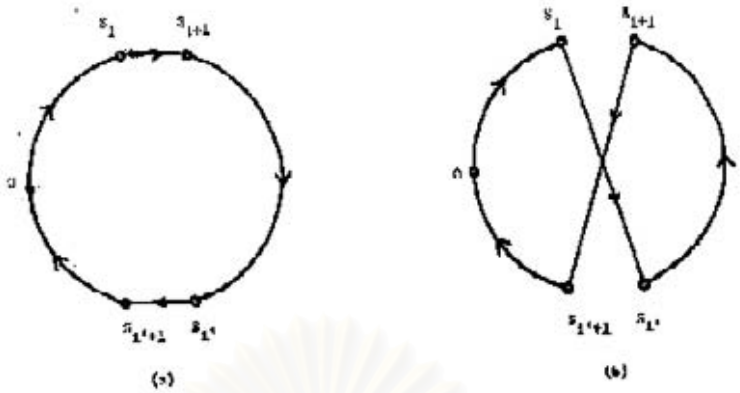
$$d(s_i, s_{i+1}) + d(s_{i'} + s_{i'+1}) > d(s_i, s_{i'}) + d(s_{i+1}, s_{i'+1}) \qquad (4\text{-}6)$$

4. ตรวจสอบหาจุดส่ง s_i และ $s_{i'}$ ที่ทำให้เกิดการประหยัดสูงสุดและสลับเส้นทางไปยังเส้นทางใหม่ หลังจากนั้นจึงเริ่มต้นปรับปรุงเส้นทางซ้ำในรอบใหม่ในขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งไม่สามารถปรับปรุงได้



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการทำงานของการปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 การปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธี 2-opt

ที่มา : Psaraftis (1983)

4.2.2 การปรับปรุงการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง

การปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธีการค้นหาลำดับและเส้นทางที่เหมาะสมสามารถแบ่งได้ 2 ประเภทคือ

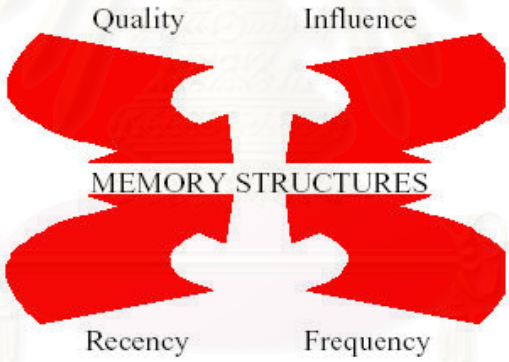
1. Local Optimization Heuristic หรือ Local Improvement (LI) ซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่ายที่นิยมใช้ ด้วยการหาค่าดีที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการย้ายจุดส่งไปยังตำแหน่งต่างๆ ในแต่ละรอบ โดยมีขั้นตอนในการปรับปรุงเส้นทางดังนี้

- คอมพิวเตอร์เลือกเส้นทางที่จะปรับปรุงจำนวน 2 เส้นทางโดยเริ่มต้นจากเส้นทางแรกและเปลี่ยนเส้นทางไปจนครบทุกเส้นทาง
- คอมพิวเตอร์เริ่มทดลองแลกจุดส่งจากเส้นทาง ทั้งสองโดยเริ่มต้นจากลำดับการส่งแรกจนถึงลำดับการส่งสุดท้ายและคำนวณหาผลลัพธ์จากการแลกจุดส่ง หลังจากนั้นจึงหาจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดระยะทางในการขนส่งมากที่สุด
- คอมพิวเตอร์แลกจุดส่งไปยังจุดส่งใหม่และกลับไปทำขั้นตอนแรกอีกจนครบทุกเส้นทาง

วิธีการนี้มีข้อด้อย เนื่องจากลำดับของเส้นทางใหม่ที่ได้ขึ้นอยู่กับเส้นทางที่เริ่มต้น ดังนั้นถ้าค่าที่ได้จากการปรับปรุงไม่ดีขึ้นการปรับปรุงจะสิ้นสุดทันที

2. Global Optimization Heuristic ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อด้อยของวิธีเดิม ด้วยการยอมรับเส้นทางต่างๆ ชั่วคราวก่อน แล้วจึงนำเส้นทางมาปรับปรุงต่อเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีขึ้น แต่มีความซับซ้อนและใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์นานขึ้น การศึกษานี้จะประยุกต์วิธีการนี้ในการปรับปรุงการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง โดยใช้เทคนิค Tabu Search (TS) ซึ่งเป็นวิธีการแก้ปัญหา Optimization ที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง (Glover, 1997)

Tabu Search แตกต่างจากวิธีการหาคำตอบอื่น ตรงการใช้ประโยชน์ของการจัดการหน่วยความจำ (Memory) ที่มีประสิทธิภาพ สามารถดัดแปลงใช้งานได้หลายรูปแบบ หัวใจสำคัญของ Tabu Search คือ การส่งผ่านสถานะบางอย่างของคำตอบในปัจจุบันให้กับหน่วยความจำรวม โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำไปปรับปรุงคำตอบในการคำนวณครั้งต่อไป โดยสถานะที่ใช้เรียกว่าสถานะ “Tabu” ในขบวนการของ Tabu Search วัตถุที่ได้รับสถานะ Tabu จะมีสถานะต้องห้าม (Forbidden Elements) และจะถูกนำเข้าสู่หน่วยความจำประมวลผล โดยสถานะนี้จะหายไปขึ้นอยู่กับเวลาหรือรอบเวลาการคำนวน โครงสร้างหน่วยความจำของ Tabu Search ขึ้นอยู่กับปัจจัย 4 ประการ คือ Recency Frequency Quality และ Influence ดังแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อโครงสร้างหน่วยความจำ

ปัจจัย Recency และ Frequency เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันกล่าวคือ ปัจจัย Recency เป็นการใช้ผลลัพธ์ในอดีตมาปรับปรุงให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น ส่งผลต่อปัจจัย Frequency ที่เป็นปัจจัยทางด้านเวลาหรือรอบเวลาในการคำนวณ ปัจจัย Quality เป็นปัจจัยเนื่องจากคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จาก Tabu Search โดยหน่วยความจำส่วนนี้จะถูกใช้ในการแยกแยะว่าวัตถุ (Element) ใดนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ดีและวัตถุใดนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ไม่ดี โดยจะกำหนดค่าหน่วง (Penalties) หรือการให้สถานะ “Tabu” กับวัตถุนั้น เพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นในรอบการคำนวณถัดไป ปัจจัย Influence เป็นปัจจัยในการกำหนดผลลัพธ์ที่ได้ไม่เพียงแต่ให้มีคุณภาพเท่านั้น ยังรวมถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติของผลลัพธ์นั้นอีกด้วย การจัดการปัจจัยทั้ง 4 ประการนี้ให้มี

ประสิทธิภาพ มีผลต่อปริมาณการใช้หน่วยความจำในการประมวลผลเพื่อหาผลลัพธ์จากขบวนการ Tabu Search

กรอบการทำงานของขบวนการปรับปรุงเส้นทางทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.7 และ 4.8 สรุปขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

1. การสร้างเส้นทางเดินรถด้วยการหาค่าประหยัด ดังรายละเอียดที่กล่าวในหัวข้อ 4.1

2. การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง ตามที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.2 โดยการกำหนดเทคนิคการสลับจุดส่ง

3. กำหนดค่าเริ่มต้นสถานะ Tabu โดยการกำหนดให้สถานะของเมตริกซ์ของแต่ละคู่จุดส่งมีค่าเท่ากับ -1

4. ตรวจสอบจำนวนรอบการทำงาน หากยังไม่ครบรอบที่กำหนดให้โปรแกรมทำงานต่อไป หากครบจำนวนรอบที่กำหนดแล้วให้หยุดทำการคำนวน และนำผลที่ได้สรุปและส่งไปทำรายงานการจัดเส้นทาง หรือให้ผู้ใช้ทำการปรับปรุงลำดับการส่งสินค้าเอง

5. สร้าง List สำหรับการสลับจุดส่ง

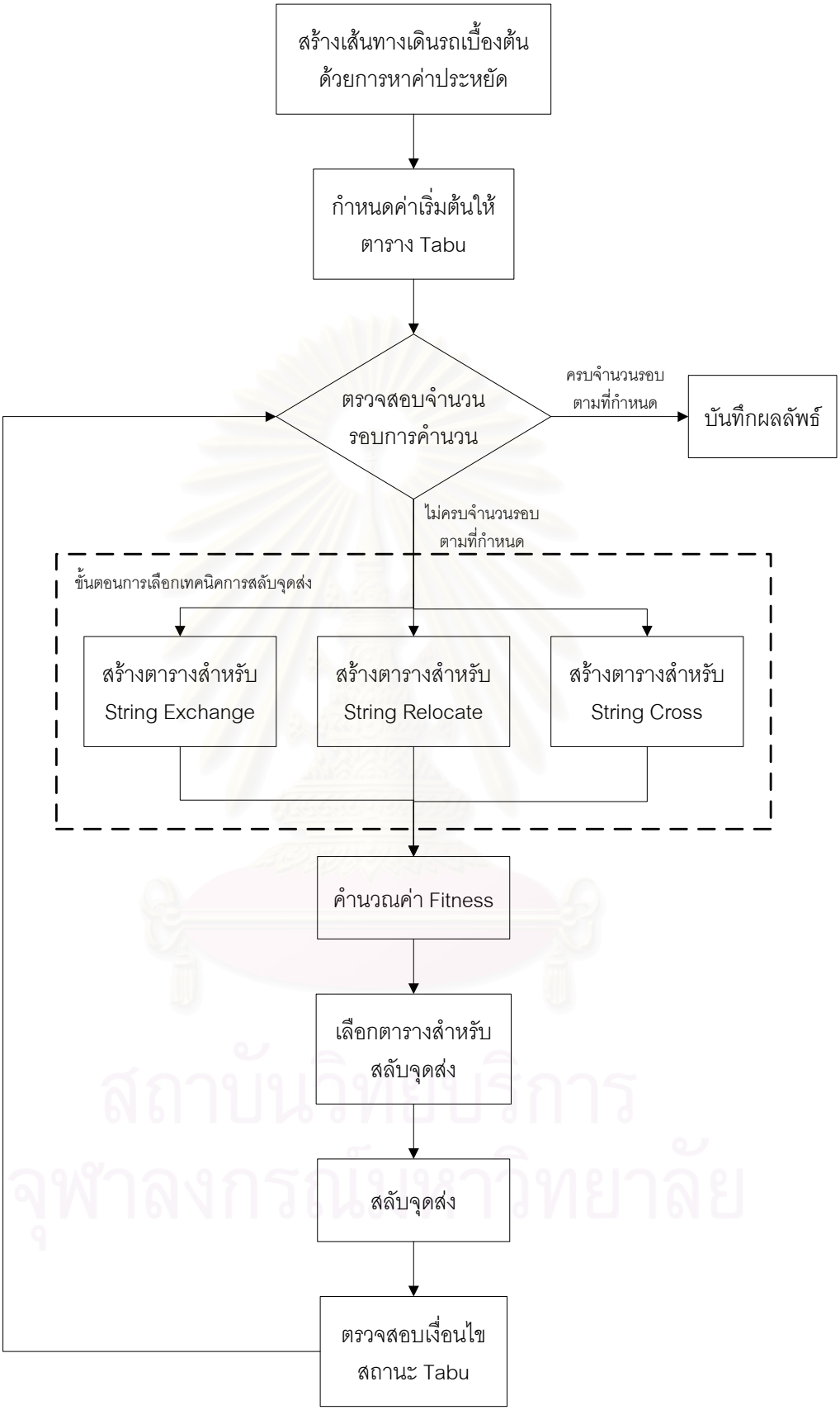
6. คำนวนค่าตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลอง

7. เลือกลักษณะการสลับจุดส่ง

8. ทำการปรับปรุงเส้นทางการส่ง

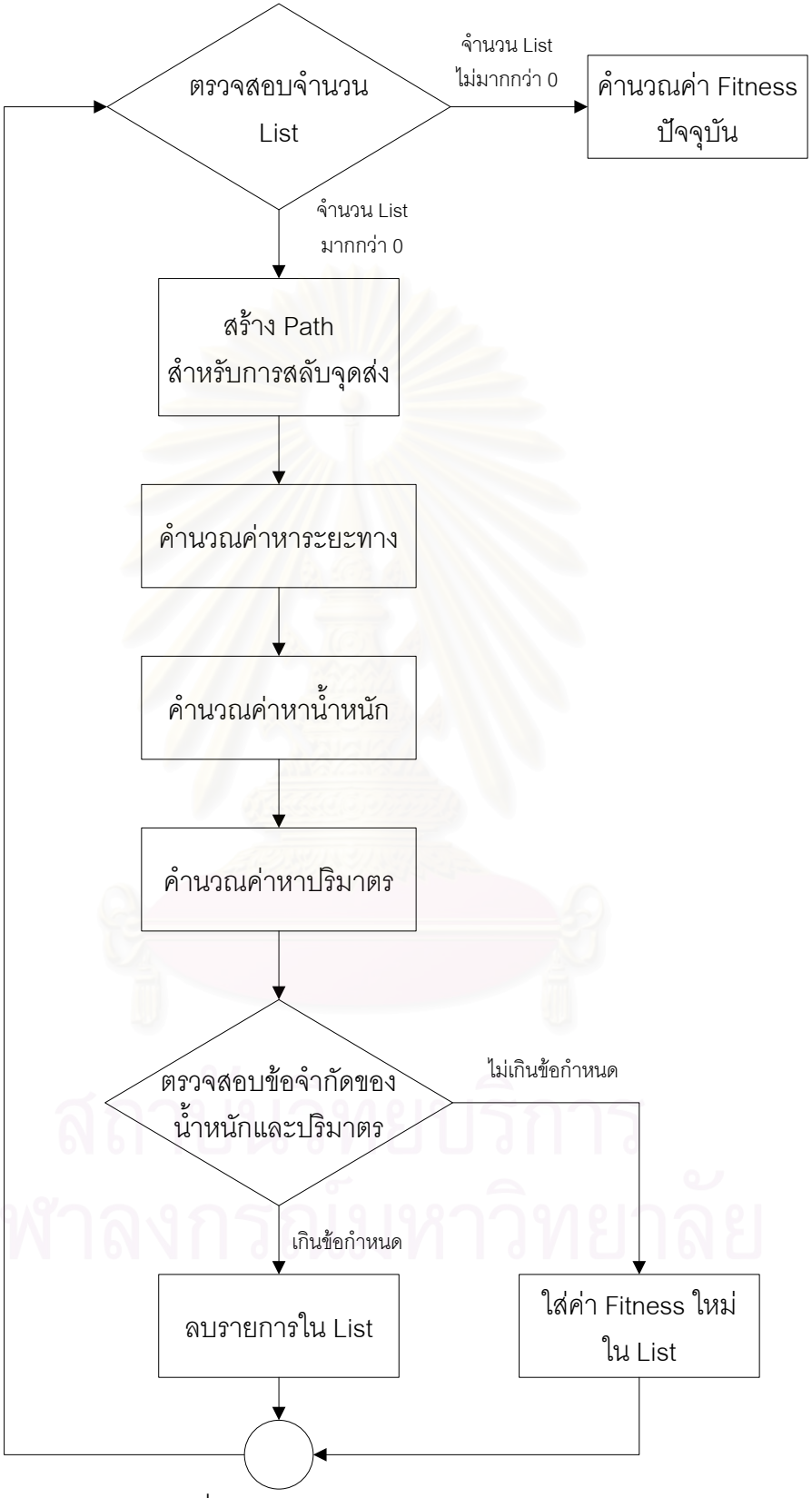
9. ทำการตรวจสอบเงื่อนไขสถานะ Tabu แล้วจึงทำการคำนวนต่อไปยังขั้นตอนที่ 4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการจัดเส้นทางโดยใช้ Tabu Search

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 การตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปแบบการปรับปรุงเส้นทางใน Tabu Search จะใช้วิธีการเคลื่อนย้ายจุดส่งหลายรูปแบบ (Breedam,1994) ดังนี้

1. String Cross เป็นการปรับปรุงระหว่างเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางโดยการข้ามทับเส้นทาง (cross) ดังรูปที่ 4.9

2. String Exchange เป็นการปรับปรุงระหว่างเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทางที่ถูกเลือก ดังรูปที่ 4.10 ซึ่งอาจแลกจุดส่งครั้งละหลายจุดส่งก็ได้

3. String Relocation เป็นการปรับปรุงเส้นทางด้วยการย้ายจุดส่งจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทาง มีผลทำให้เส้นทางบางเส้นทางมีจำนวนจุดส่งน้อยลงและอาจลดจำนวนเส้นทางลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยวิธีนี้สามารถย้ายจุดส่งครั้งละหลายจุดส่งก็ได้

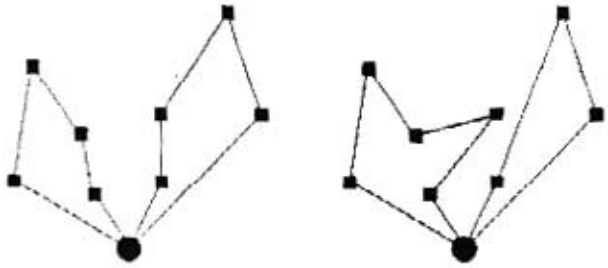
4. String Mix เป็นการปรับปรุงที่ผสมผสานวิธีการของ String Exchange และ String Relocation เข้าด้วยกัน เพื่อให้การปรับปรุงเส้นทางมีประสิทธิภาพมากที่สุด ด้วยการลดจุดส่งในเส้นทางพร้อมกับการแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทาง

รูปที่ 4.9 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Cross

ที่มา : Breedam (1994)

รูปที่ 4.10 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Exchange

ที่มา : Breedam (1994)



รูปที่ 4.11 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Relocation

ที่มา : Breedam (1994)

การปรับปรุงเส้นทางในแต่ละวิธีสามารถดำเนินการได้ดังนี้

String Exchange

1. คอมพิวเตอร์เริ่มต้นด้วยการย้ายจุดส่งจากเส้นทาง Origin ไปยังเส้นทาง Destination ขณะที่จุดส่งในเส้นทาง Destination จะถูกย้ายมาอยู่ในเส้นทาง Origin เช่นกัน หลังจากนั้นจึงตรวจสอบข้อจำกัดเกี่ยวกับความจุของรถ พื้นที่การส่ง หากไม่มีการขัดแย้งกับข้อจำกัด จะทำการตรวจสอบการประหยัดที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนจุดส่งด้วยสมการ (4-7) และบันทึกลำดับการส่งและจุดส่ง ถ้าเส้นทางที่ได้จากการแลกเปลี่ยนเส้นทางมีระยะทางสั้นลง ดังรูปที่ 4.12

2. ทดลองเปลี่ยนจุดส่งของ Origin และ Destination เป็นค่าใหม่และกลับไปทำขั้นตอนที่ 1 จนครบทุกจุดส่ง

3. ตรวจสอบหาการแลกจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดมากที่สุด และสลับจุดส่งไปยังลำดับที่มีค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุด

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

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

1. คอมพิวเตอร์เริ่มต้นย้ายจุดส่งจาก Origin ไปให้เส้นทาง Destination โดยเริ่มย้ายจากจุดส่งแรกของ Origin ไปยังลำดับการส่งต่างๆ ของ Destination หลังจากนั้นจึงตรวจสอบข้อจำกัดการขนส่ง และการประหยัดเนื่องจากการย้ายจุดส่งด้วยสมการที่ (4-8) และบันทึกลำดับการส่งและจุดส่ง ดังรูปที่ 4.13

2. ทดลองเปลี่ยนจุดส่งที่ต้องการย้ายจากเส้นทาง Origin เป็นจุดส่งใหม่และดำเนินตามขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งครบทุกจุดส่ง

3. ตรวจสอบหาการย้ายจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดมากสุด แล้วจึงย้ายจุดส่งไปเพิ่มในเส้นทาง Destination

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

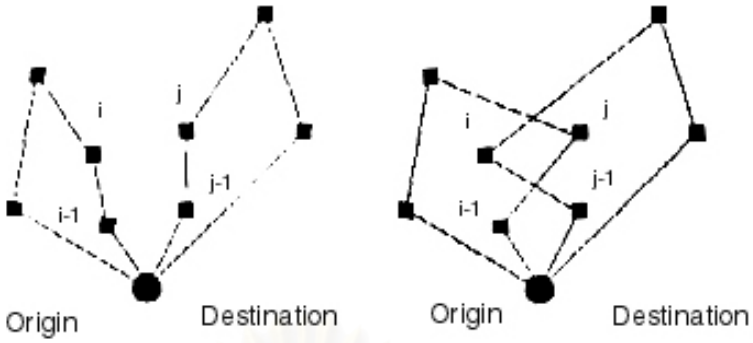
โดยที่

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 การแลกเปลี่ยนจุดส่งของ String Exchange

รูปที่ 4.13 การย้ายจุดส่งของ String Relocation

4.3 การปรับลำดับการส่งโดยพนักงาน

นอกจากจะมีกลไกในการจัดเส้นทางเดินทางและปรับปรุงเส้นทางแล้ว ยังจำเป็นต้องจัดให้มีกลไกเสริมเพื่อลดข้อบกพร่องของแบบจำลอง รวมทั้งเปิดโอกาสให้ผู้ทำหน้าที่ดูแลการจัดเส้นทางสามารถปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเส้นทางได้ด้วยตนเอง โดยไม่ต้องพึ่งการตัดสินใจของคอมพิวเตอร์ทั้งหมด กลไกเสริมดังกล่าวจะช่วยให้เส้นทางที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับสภาพการณ์จริง ทั้งนี้กลไกเสริมดังกล่าวประกอบด้วย

- กลไกการเพิ่มจุดส่ง
- กลไกการลดจุดส่ง

4.3.1 การเพิ่มจุดส่ง

กลไกการเพิ่มจุดส่งเป็นกลไกที่ได้บรรจุในโปรแกรมจัดเส้นทางเดินรถที่พัฒนาในต่างประเทศ เช่น ALTO ArcIogistics TransPro/RoutePro เป็นต้น โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในแต่ละบริษัทมีแนวคิดที่คล้ายกัน คือ ต้องการให้จุดส่งที่ไม่ได้ถูกจัดอยู่ในเส้นทางให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง โดยจุดส่งที่เพิ่มเข้ามาต้องไม่ทำให้เกิดการขัดแย้งกับข้อจำกัดการขนส่ง 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 และ 3 ด้วยจุดส่ง C อื่นๆ จนครบ

5. คอมพิวเตอร์เปรียบเทียบการเพิ่มของระยะทางที่น้อยที่สุดที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยสมการที่ (4-9) เพื่อหาจุดส่งที่สมควรที่จะเพิ่มในเส้นทางนั้นๆ

วิธีการจาก ALTO เป็นวิธีการที่ให้คอมพิวเตอร์เลือกจุดส่งเข้ามาอยู่ในเส้นทาง แต่เนื่องจากในสภาพความเป็นจริง พนักงานผู้ใช้ระบบต้องการควบคุมจุดส่งไปยังเส้นทางที่ต้องการด้วยตนเอง แม้ว่าเส้นทางที่เลือกอาจไม่ทำให้ระยะทางในการขนส่งน้อยที่สุด ดังนั้นกลไกดังกล่าวจึงต้องยืดหยุ่นเพียงพอ ดังนั้นการศึกษานี้จึงได้ปรับกลไกการเพิ่มจุดส่งเป็นไปตามขั้นตอน ดังนี้

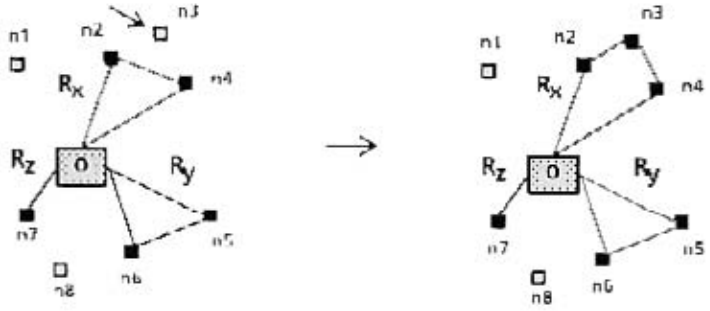
1. พนักงานผู้ใช้ระบบเป็นผู้เลือกเส้นทางที่ต้องการนำจุดส่งเข้ามาอยู่ในเส้นทาง

2. พนักงานเลือกจุดส่งที่ต้องการเพิ่มลงไปในเส้นทาง

3. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบการขัดแย้งกับข้อจำกัดด้านความจุของรถ ข้อจำกัดของจุดส่งและจำนวนจุดส่งมากที่สุดที่สามารถส่งได้

4. พนักงานเลือกตำแหน่งที่ต้องการนำเข้ามาอยู่ในเส้นทาง

5. คอมพิวเตอร์จัดลำดับการส่งใหม่ พร้อมทั้งคำนวณหาระยะทางและปริมาณสินค้า



รูปที่ 4.14 การเพิ่มจุดส่งลงในเส้นทางของ ALTO

ที่มา : Potvin Lapalme และ Rousseau (1989)

4.3.2 การลดจุดส่ง

กลไกการลดจุดส่งเป็นกลไกที่ขจัดจุดส่งที่ไม่ต้องการให้อยู่ในเส้นทางออกไป เนื่องจากผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยคอมพิวเตอร์อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากมีสิ่งกีดขวางเส้นทางเช่น ภูเขา ทำให้ระยะทางที่คำนวณได้ผิดไปจากความเป็นจริง ดังนั้นจึงควรย้ายจุดส่งนั้นไปอยู่ในเส้นทางอื่น ขั้นตอนการทำงานสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ผู้ใช้ระบบเลือกเส้นทางที่ต้องการลดจุดส่ง
2. ผู้ใช้ระบบเลือกจุดส่งในเส้นทางที่ต้องการขจัดออกไป
3. คอมพิวเตอร์จัดลำดับการส่งใหม่ด้วยการเลื่อนลำดับจุดส่งที่อยู่ถัดจากจุดส่งที่ย้ายขึ้นมาทั้งหมด และคำนวณหาระยะทางในการเดินทาง และปริมาณสินค้าใหม่

การนำเสนอทั้งหมดที่ผ่านมาในบทนี้เป็นการอธิบายแนวคิดของระบบ ส่วนรายละเอียดของการออกแบบโครงสร้างและลักษณะการทำงานของโปรแกรม จะกล่าวถึงในบทต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

โครงสร้างและกระบวนการของโปรแกรม

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบโปรแกรมสำหรับการจัดเส้นทางให้สอดคล้องกับแนวคิดในการวิเคราะห์เส้นทางที่ได้นำเสนอในบทที่ 4 โดยแบ่งการออกแบบโปรแกรมเป็นส่วน ๆ ดังนี้

- โครงสร้างฐานข้อมูล
- กระบวนการเตรียมและนำเข้าข้อมูล
- กระบวนการวิเคราะห์และบันทึกผล
- กระบวนการนำเสนอและสรุปผล

5.1 โครงสร้างฐานข้อมูล

การศึกษานี้ได้พัฒนาฐานข้อมูลเบื้องต้นในส่วนที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์การจัดเส้นทาง โดยออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูลด้วยโปรแกรมที่พัฒนาจากไมโครซอฟท์แอคเซส (Microsoft Access) ดังนี้

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

5.1.1 ฐานข้อมูลหลัก

เป็นฐานข้อมูลที่สำคัญต่อระบบสารสนเทศ จากการศึกษารวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องพบว่าข้อมูลที่จำเป็นการจัดเส้นทางเดินรถ ประกอบด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข้อมูลลูกค้า เป็นข้อมูลที่แสดงรายละเอียดและตำแหน่งที่อยู่ของลูกค้า การออกแบบได้แบ่งข้อมูลเป็นฟิลด์ต่างๆ ดังนี้

1. รหัสลูกค้า เป็นเลขที่ใช้แทนการอธิบายชื่อลูกค้า และใช้เป็นเลขที่สำหรับอ้างอิงในตารางข้อมูลอื่นๆ เช่น ตารางใบรายการสินค้า เป็นต้น

2. ชื่อลูกค้า เป็นข้อมูลที่ใช้อธิบายลักษณะของลูกค้า เช่น ชื่อ-นามสกุล ชื่อทางการค้า และคำนำหน้าชื่อ โดยการศึกษานี้ได้กำหนดลักษณะการพิมพ์ชื่อลูกค้าดังนี้

- คำนำหน้าชื่อทางธุรกิจให้ใช้คำย่อของลักษณะกิจการ
- ใช้ชื่อ-นามสกุล หรือชื่อทางการค้าของลูกค้า และตามด้วยคำนำหน้าชื่อ

3. คำอธิบายลักษณะลูกค้า เป็นข้อมูลที่ใช้อธิบายรายละเอียดต่างๆ ของลูกค้า เช่น ที่อยู่ หมายเลขโทรศัพท์ เป็นต้น

4. รหัสจุดส่ง เป็นข้อมูลที่ใช้แบ่งลูกค้าตามจุดส่ง

ข้อมูลสินค้า เป็นข้อมูลที่แสดงรายละเอียดและลักษณะของสินค้า ดังนี้

1. รหัสสินค้า เป็นเลขที่ใช้แสดงลักษณะและชื่อสินค้าซึ่งปรากฏในใบรายการสินค้า โดยใช้เลขเดียวกับเลขที่บริษัทเจ้าของสินค้ากำหนด เพื่อให้ง่ายต่อการบันทึกข้อมูลใบรายการ

2. ชื่อสินค้า เป็นข้อมูลที่ใช้อธิบายสินค้าโดยใช้คำอธิบายเหมือนกับที่ปรากฏในใบรายการ

3. ชื่อเจ้าของสินค้า เป็นข้อมูลที่ใช้แยกแยะการขนส่งตามเจ้าของสินค้า เนื่องจากต้องส่งสินค้าให้กับหลายบริษัท ทำให้จำเป็นต้องแบ่งเพื่อให้สามารถค้นหาสินค้าได้ง่าย และสามารถตรวจสอบสินค้าที่ส่งได้

4. น้ำหนักและปริมาตรของสินค้า โดยให้น้ำหนักมีหน่วยเป็นกิโลกรัม ปริมาตรสินค้ามีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร

5. ราคา ใช้คำนวณรายได้สำหรับการขนส่งในแต่ละใบรายการ

ข้อมูลจุดส่ง เป็นข้อมูลแสดงตำแหน่งของของจุดส่ง โดยข้อมูลที่จำเป็นได้แก่

1. รหัสจุดส่ง ใช้เป็นเลขที่ใช้อธิบายแทนชื่อพื้นที่

2. ชื่อพื้นที่ ใช้แทนคำอธิบายชื่อพื้นที่และรายละเอียดของพื้นที่

3. พิกัดแกน x และแกน y

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

ข้อมูลรถ เป็นข้อมูลที่แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับรถที่มีไว้ให้บริการ ซึ่งประกอบด้วยตาราง 3 ตารางคือ

1. ตารางข้อมูลรถ แสดงรหัสพนักงาน เลขทะเบียนรถที่ขับ และค่าปรับแก้ความจุของทั้งน้ำหนักและปริมาตร

2. ตารางประเภทรถ แสดงข้อมูลที่ใช้อธิบายประเภทรถ และความจุของรถ

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

จากการศึกษาพบว่า ควรมีตารางเพิ่มเติม เพื่อสามารถใช้ประโยชน์จากสารสนเทศมากขึ้น ซึ่งตารางเสริมนี้สามารถถูกนำมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า 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 โดยปกติแล้วสถานะบิลล่าสุดสามารถหาได้จากข้อมูลสถานะบิลอยู่แล้ว โดยตารางข้อมูลนี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการติดตามสถานะของใบรายการสินค้าปัจจุบัน แต่เนื่องจากการศึกษานี้ต้องการตรวจสอบสถานะบิลล่าสุดตลอดเวลา ดังนั้นจึงควรสร้างข้อมูลสถานะบิลล่าสุดขึ้นมาแทนการใช้คำสั่งเพื่อเรียกข้อมูลล่าสุดจากข้อมูลสถานะบิล เพื่อเป็นการลดระยะเวลาในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่ปรากฏประกอบด้วย เลขที่บิล วันและเวลาของสถานะบิลล่าสุด สถานะบิลที่ปรากฏ

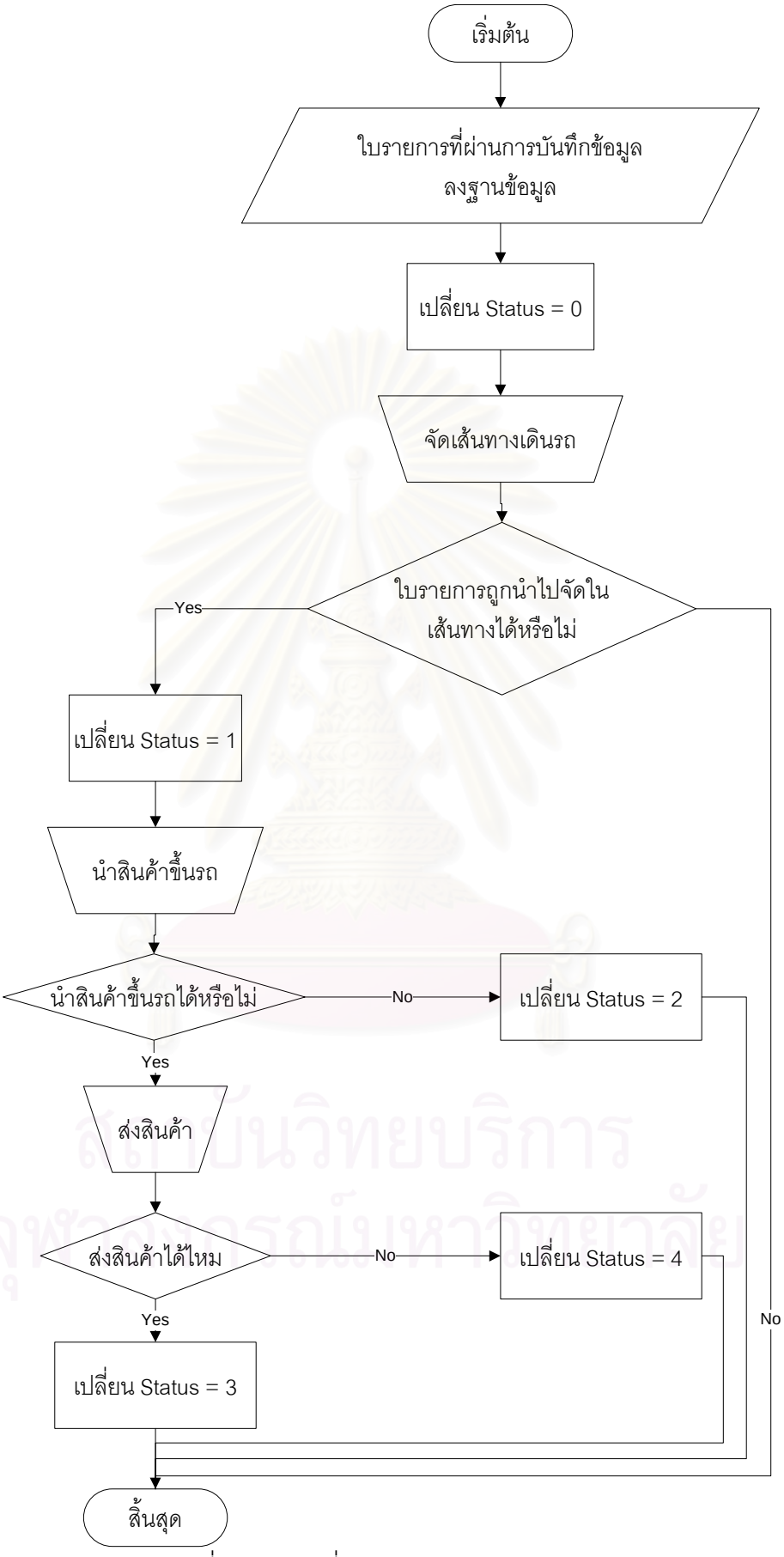
จากโครงสร้างของตารางเสริมซึ่งปรากฏสถานะบิลในทุกๆ รายการ ดังนั้นจึงต้องกำหนดสถานะบิลขึ้น จากการศึกษาจากบริษัทขนส่งในหลายแห่งพบว่าอาจกำหนดสถานะบิลเข้าไปในระบบสารสนเทศทั้งระบบมากถึง 10 สถานะ เพื่อใช้ในการติดตามการขนส่ง การบัญชี การจัดทำระบบบัญชีเจ้าหนี้ เป็นต้น แต่ในการศึกษานี้จะกำหนดสถานะบิลเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการจัดส่งสินค้าเท่านั้น ดังนี้

- สถานะบิลที่ 0 แทนใบรายการสินค้าที่ผ่านการบันทึกลงฐานข้อมูลเรียบร้อยแล้ว
- สถานะบิลที่ 1 แทนใบรายการสินค้าที่สามารถจัดเส้นทางได้เรียบร้อยแล้ว

- สถานะบิลที่ 2 แทนใบรายการสินค้าไม่สามารถนำไปส่งได้ เนื่องจากมีปัญหาในการบรรทุกสินค้า
- 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 การเตรียมและนำเข้าข้อมูล

ข้อมูลที่จำเป็นต่อการจัดเส้นทางเดินรถประกอบด้วย

- ข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้า
- ข้อมูลพิกัดจุดส่งสินค้า
- ข้อมูลรถที่สามารถให้บริการ
- ข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับปรับแก้

รายละเอียดและขั้นตอนในการนำเข้าข้อมูลแต่ละส่วนมีดังนี้

5.2.1 การนำเข้าข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้า

ขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลมีลำดับดังนี้

ขั้นตอนการบันทึกใบรายการสินค้า

ขั้นตอนนี้เป็นการสร้างข้อมูลพื้นฐานโดยพนักงานผู้ใช้จะป้อนรายละเอียดของใบรายการสินค้าที่ได้มาจากผู้ผลิตสินค้าเพื่อบันทึกลงฐานข้อมูลของบริษัทตัวอย่าง โดยจะบันทึกข้อมูลลงในตารางข้อมูลหลัก (Invoice) และตารางข้อมูลรายละเอียด (Transaction) โดยขั้นตอนนี้จะอนุญาตให้พนักงานสามารถพิมพ์ข้อมูลลงฐานข้อมูลเข้าได้เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เพื่อไม่ให้พนักงานแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลได้ภายหลังจากการป้อนข้อมูล และเป็นการป้องกันข้อมูลสูญหาย เมื่อพนักงานป้อนข้อมูลและบันทึกลงฐานข้อมูลเสร็จเรียบร้อยแล้ว ในตารางสถานะบิล และสถานะบิลล่าสุด จะปรากฏเลขที่ใบรายการสินค้าพร้อมทั้งแสดงสถานะเป็นศูนย์ รูปที่ 5.2 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมโดยสรุปดังนี้

1. พนักงานผู้ใช้ระบบป้อนข้อมูลหมายเลขใบรายการสินค้า
2. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบว่าหมายเลขใบรายการสินค้าที่ป้อนเข้าไปเคยเกิดขึ้นแล้วหรือไม่ ถ้าเคยเกิดขึ้นแล้วจะแจ้งให้พนักงานทราบ
3. พนักงานพิมพ์รหัสลูกค้าหรือเลือกรายชื่อลูกค้าจากฐานข้อมูลที่มีอยู่ หากไม่พบลูกค้าที่ต้องการให้เพิ่มข้อมูลลูกค้าเข้าไปในฐานข้อมูล
4. พนักงานพิมพ์รหัสสินค้าหรือเลือกรายชื่อจากที่มีอยู่ในฐานข้อมูล หากไม่พบสินค้าที่ต้องการให้เพิ่มข้อมูลสินค้าเข้าไปในฐานข้อมูล
5. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบรหัสสินค้าที่ต้องการมีอยู่ในฐานข้อมูลหรือไม่
6. พนักงานพิมพ์ปริมาณสินค้าที่ต้องจัดส่งและบันทึกข้อมูลลงข้อมูลรายละเอียด

7. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบปริมาณสินค้าที่พิมพ์ ซึ่งจะมีค่าเป็นลบไม่ได้ และถ้าพบข้อผิดพลาดจะแจ้งให้พนักงานทราบ
8. พนักงานปฏิบัติตามข้อ 4 ต่อจนครบทุกรายการสินค้าจึงบันทึกใบรายการสินค้า

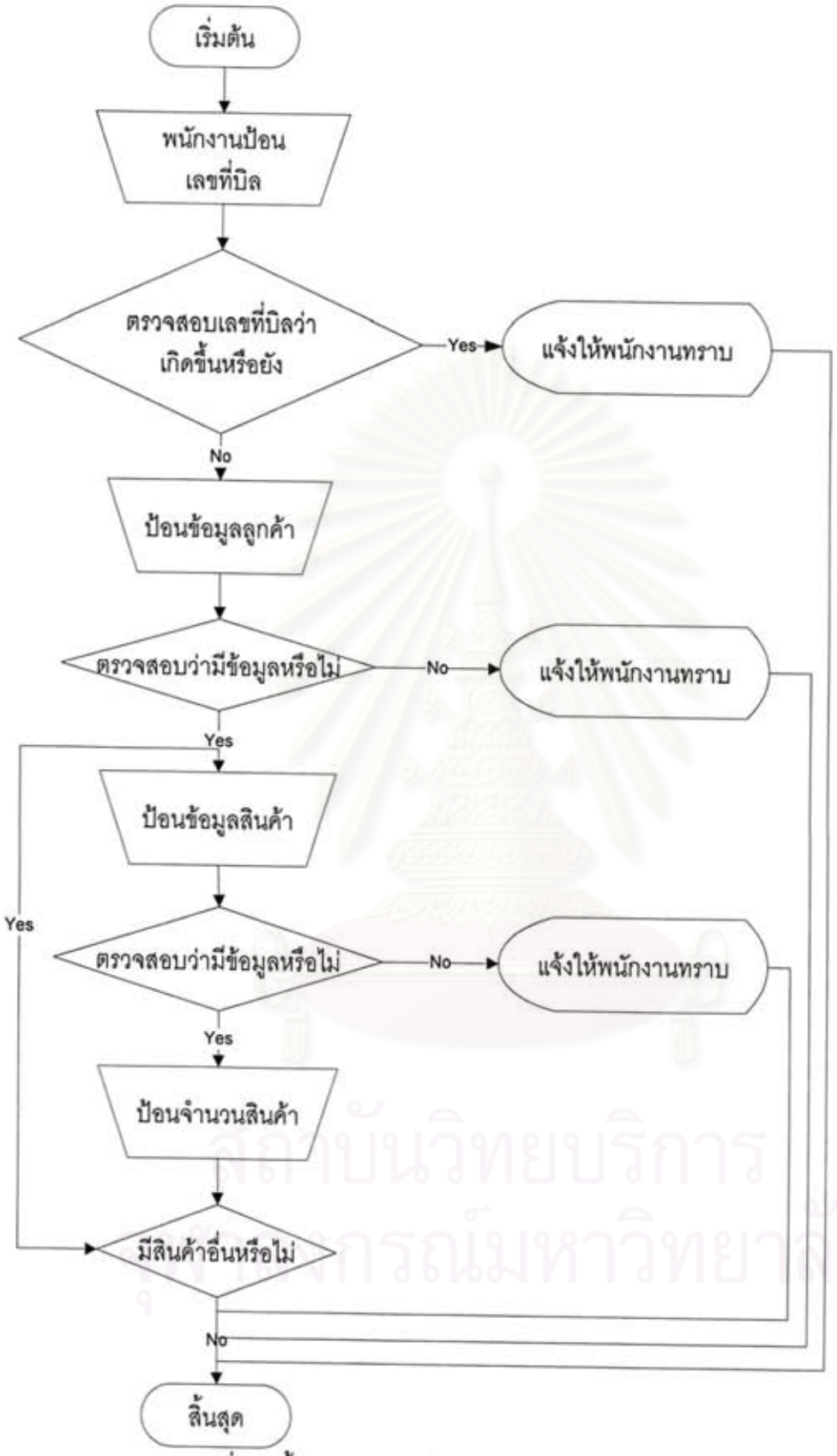
รูปที่ 5.3 แสดงตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการบันทึกใบรายการสินค้า

ขั้นตอนการคัดแยกและเลือกใบรายการสินค้า

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่ผู้ประกอบการจะต้องเตรียมคัดหรือจัดลำดับความสำคัญของใบรายการสินค้าโดยคำนึงถึงความจำเป็นในการส่งสินค้า เช่น ใบรายการสินค้าที่ต้องส่งเป็นลูกค้ารายใหญ่ ใบรายการสินค้าที่ไม่สามารถส่งได้ในครั้งก่อน เป็นต้น ความจำเป็นในการคัดแยกบิลมักเกิดขึ้นในช่วงปลายเดือน เนื่องจากมีปริมาณสินค้าที่ต้องส่งเป็นจำนวนมาก ดังนั้นระบบที่พัฒนาขึ้นจึงได้สร้างขั้นตอนนี้ขึ้นมา เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพการทำงานจริง ดังนี้

- ให้ความสำคัญกับสถานะบิลที่มีปัญหา คือสถานะบิล “2” และ “4” มากกว่าสถานะ “0” เนื่องจากใบรายการสินค้าประเภทนี้มีโอกาสเสี่ยงที่จะถูกปรับหากส่งสินค้าล่าช้า
- จัดใบรายการสินค้าที่มีชื่อลูกค้าเดียวกันให้ปรากฏอยู่ในลำดับที่ใกล้เคียงกัน เพื่อให้พนักงานสามารถส่งสินค้าไปในคราวเดียวกัน
- ผู้ใช้ระบบสามารถเลือกและคัดแยกบิลได้เอง โดยอาจจะให้พนักงานเลือกบิลทั้งหมดก่อนแล้วทดสอบดูว่าสามารถจัดได้หมดหรือไม่ และลูกค้าที่จัดได้เป็นกลุ่มที่มีความสำคัญ (Priority) ทั้งหมดหรือไม่ หากไม่เหมาะสมให้พนักงานกลับมาคัดแยกบิลใหม่ได้อีกครั้ง

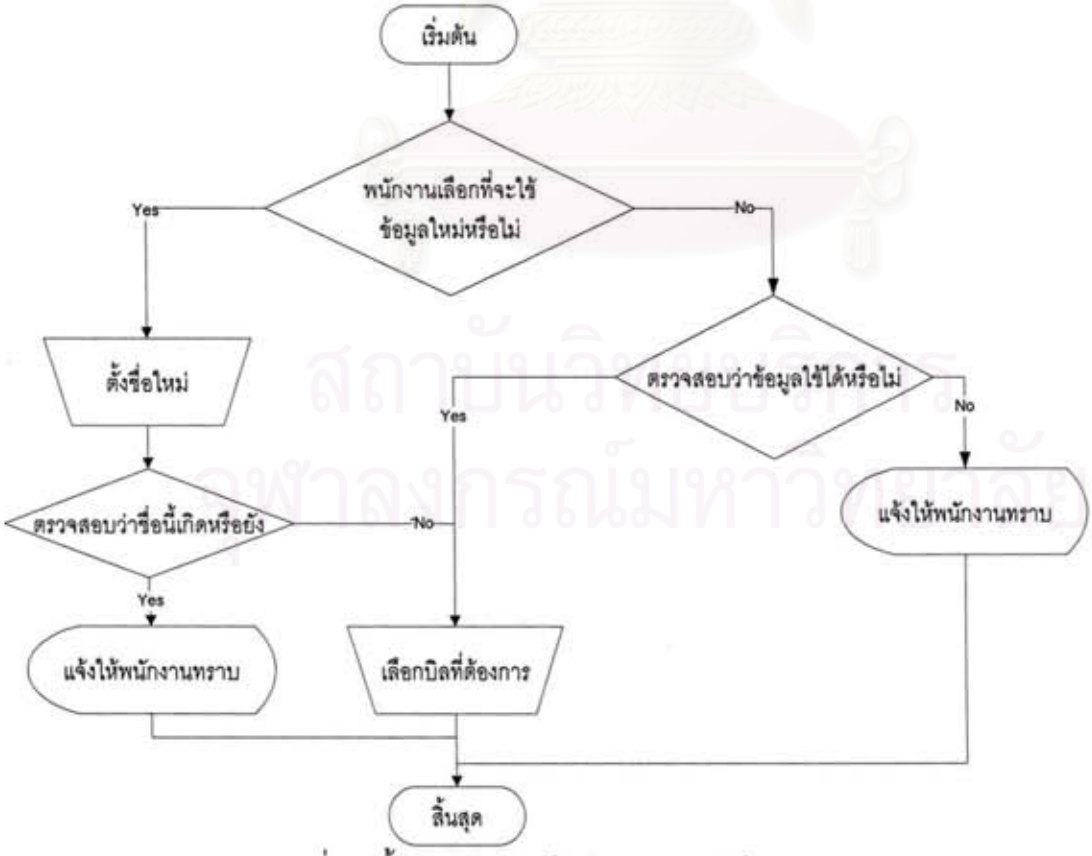
รูปที่ 5.4 แสดงรายละเอียดและขั้นตอนสำหรับการคัดแยกใบรายการสินค้า และรูปที่ 5.5 เป็นตัวอย่างการพัฒนาการคัดแยกใบรายการสินค้า ซึ่งอธิบายได้ดังนี้



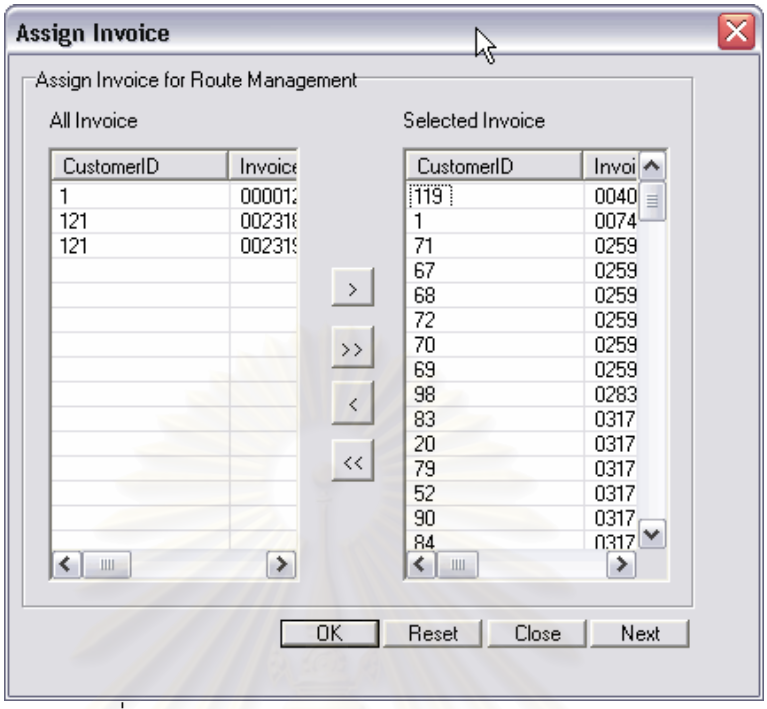
รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการบันทึกใบรายการสินค้า

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) ตารางข้อมูลของจุดส่ง (Point) และตารางข้อมูลลูกค้า (Customer) ซึ่งมีลำดับในการวิเคราะห์ดังนี้

ขั้นตอนการคำนวณระยะทาง

การเตรียมข้อมูลเพื่อคำนวณระยะทางจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่งต่างๆ เพื่อคำนวณหาระยะทางจริงระหว่างจุดส่ง ด้วยการใช้พิกัดซึ่งอยู่ในตารางข้อมูลของจุดส่งเพื่อคำนวณหาระยะทางเส้นตรง และใช้ค่าปรับแก้ระยะทาง (Scaling Factor) เพื่อปรับระยะทางเส้นตรงเป็นระยะทางจริงโดยประมาณ หรือคำนวณหาระยะทางจากโครงข่ายด้วยการหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างแต่ละจุดส่ง รายละเอียดและขั้นตอนที่สำคัญสามารถสรุปได้ดังแผนผังดังรูปที่ 5.7

รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการคำนวณหาระยะทาง

5.2.3 การนำเข้าข้อมูลรถที่สามารถให้บริการ

ข้อมูลรถที่จะต้องนำเข้าสู่การวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

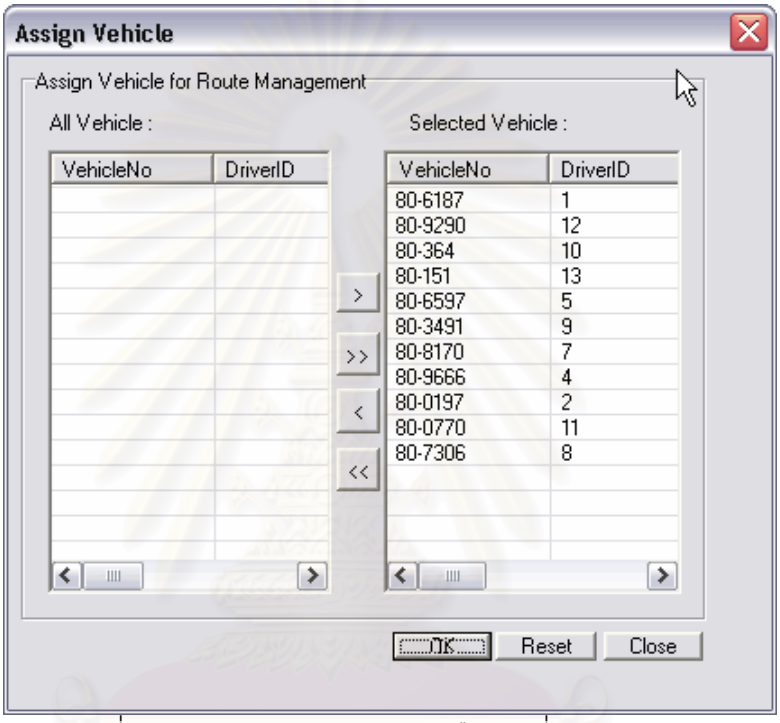
- ข้อมูลจำนวนรถที่จะใช้สำหรับขนส่ง
- ข้อมูลประเภทรถและความจุของรถที่ให้บริการ

จากข้อมูลที่ต้องนำเข้าสู่การวิเคราะห์สามารถสรุปแนวทางการพัฒนาระบบได้ดังนี้

- แสดงจำนวนรถที่สามารถให้บริการได้ทั้งหมด เพื่อให้โปรแกรมเลือกใช้รถที่ต้องการ

- สร้างส่วนติดต่อของผู้ใช้โดยให้พนักงานสามารถเลือกใช้รถที่ต้องการและเลือกลำดับในการใช้รถก่อน เช่น เลือกใช้รถใหญ่เพื่อประหยัดต้นทุน หรือใช้รถขนาดเล็กเพื่อกระจายงานมากๆ และลดภาระของรถใหญ่ เป็นต้น

รูปที่ 5.7 แสดงตัวอย่างการพัฒนาการเลือกใช้รถ และรูปที่ 5.8 แสดงรายละเอียดและขั้นตอนการนำเข้าข้อมูลรถ



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการพัฒนาการเลือกรถที่จะจัดเส้นทาง

5.2.4 การนำเข้าค่าพารามิเตอร์

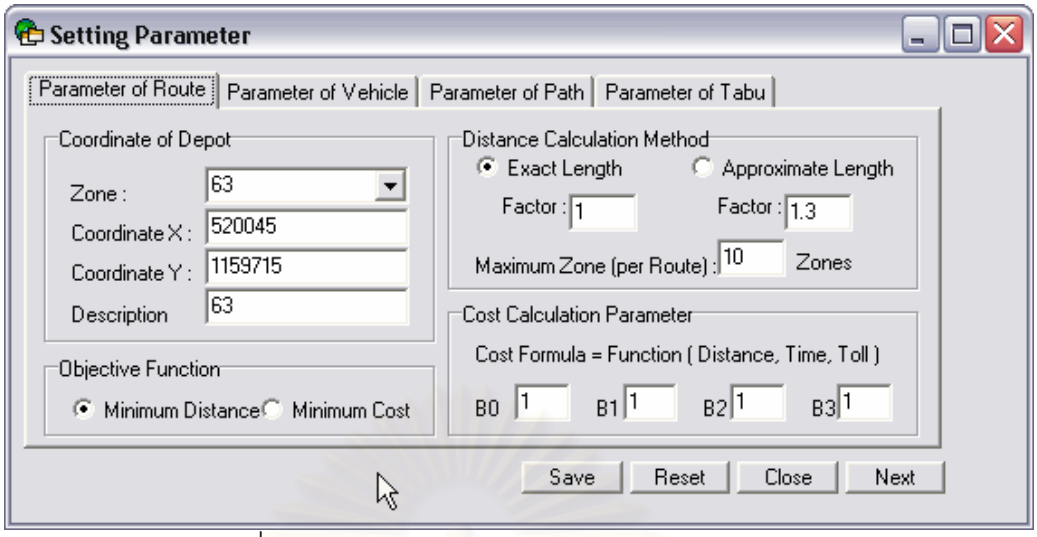
พารามิเตอร์ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถประกอบด้วยรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลพิกัดในแนวแกน x และในแนวแกน y ของศูนย์กระจายสินค้า เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะทางในการขนส่งจากศูนย์ฯ ไปยังจุดส่งต่างๆ
- ข้อมูลจำนวนจุดส่งที่อนุญาตให้ส่งสินค้าที่มากสุด ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการส่งสินค้า
- ข้อมูลค่าปรับแก้ระยะทาง เพื่อใช้ปรับค่าระยะทางเส้นตรงที่คำนวณได้จากการขั้นแรกเป็นระยะทางในการเดินทางจริงโดยประมาณ

- ข้อมูลการให้สิทธิ์ (Priority) ในการอนุญาตให้รถประเภท 1 2 และ 3 ส่งสินค้าในแต่ละจุดส่ง
- ข้อมูลค่าปรับเพิ่มน้ำหนักและปริมาตร ซึ่งถูกบันทึกลงฐานข้อมูลในตารางข้อมูลรถ และกำหนดให้ค่าปรับเพิ่มมีค่าขึ้นกับพนักงานขับรถและเลขทะเบียนรถ เนื่องจาก ความสามารถในการบรรทุกสินค้าขึ้นอยู่กับขนาดของรถ เพราะแม้แต่รถประเภทเดียวกันอาจมีความสามารถบรรทุกสินค้าได้ต่างกัน นอกจากนี้ ความสามารถในการบรรทุกสินค้ายังขึ้นกับความสามารถในการเรียงสินค้าของพนักงานอีกด้วย

รูปที่ 5.8 ขั้นตอนการเลือกรถที่ใช้จัดเส้นทาง

โปรแกรมกำหนดให้ผู้ใช้เป็นผู้เลือกค่าพารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางได้โดยตรง ซึ่งค่าดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เพื่อให้ระบบยืดหยุ่นต่อการจัดเส้นทางมากขึ้น รายละเอียดและลักษณะของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 ตัวอย่างการพัฒนาการนำเข้าค่าพารามิเตอร์

5.3 การวิเคราะห์และบันทึกผล

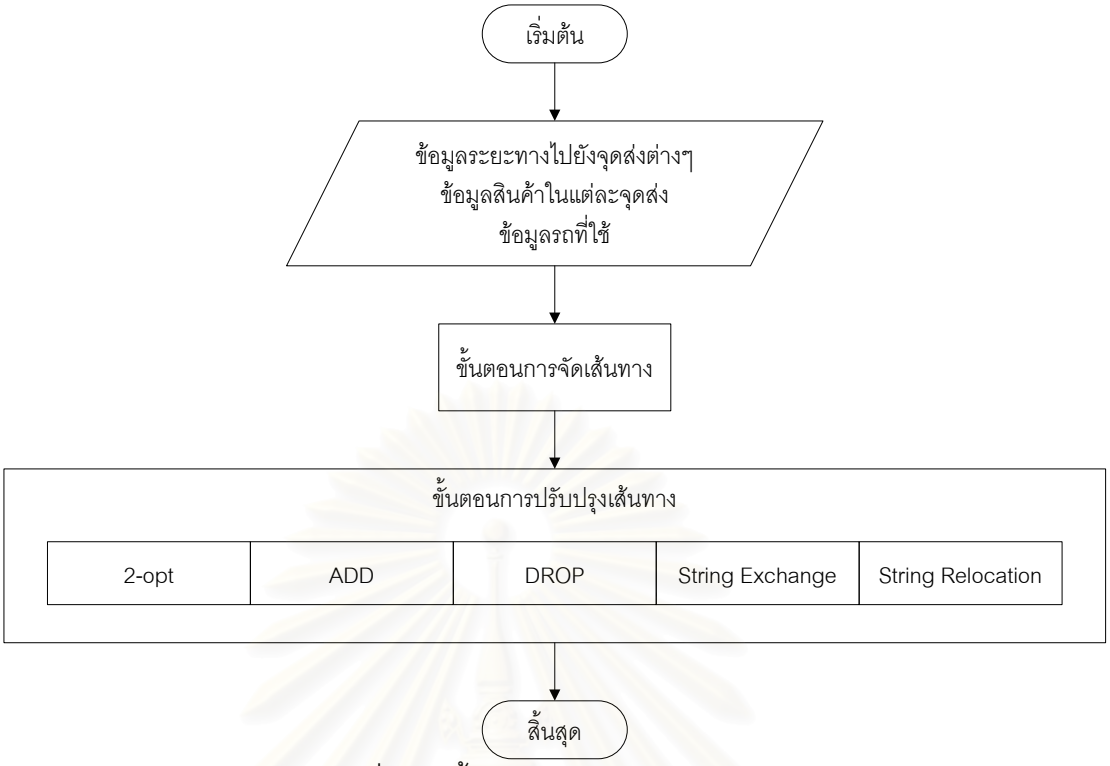
รายละเอียดของการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถสามารถแบ่งได้ 2 ส่วน คือ

- การวิเคราะห์และบันทึกลงฐานข้อมูล
- การเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงฐานข้อมูล

5.3.1 การวิเคราะห์และบันทึกลงฐานข้อมูล

การพัฒนาระบบสำหรับการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถนี้ ได้ออกแบบให้พนักงานสามารถมีส่วนร่วมในการปรับปรุงเส้นทางโดยผ่านการใช้ส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เช่น ข้อมูลผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางและแผนภาพเส้นทางการเดินรถบนจอภาพ แต่ไม่อนุญาตให้พนักงานเข้ามาจัดเส้นทางเองทั้งหมด เพราะขั้นตอนการสร้างเส้นทางเบื้องต้นใช้เวลาจัดเส้นทางมากและมีโอกาสผิดพลาดได้ง่าย รูปที่ 5.10 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์เส้นทางที่อนุญาตให้พนักงานสามารถกระทำได้ คือ

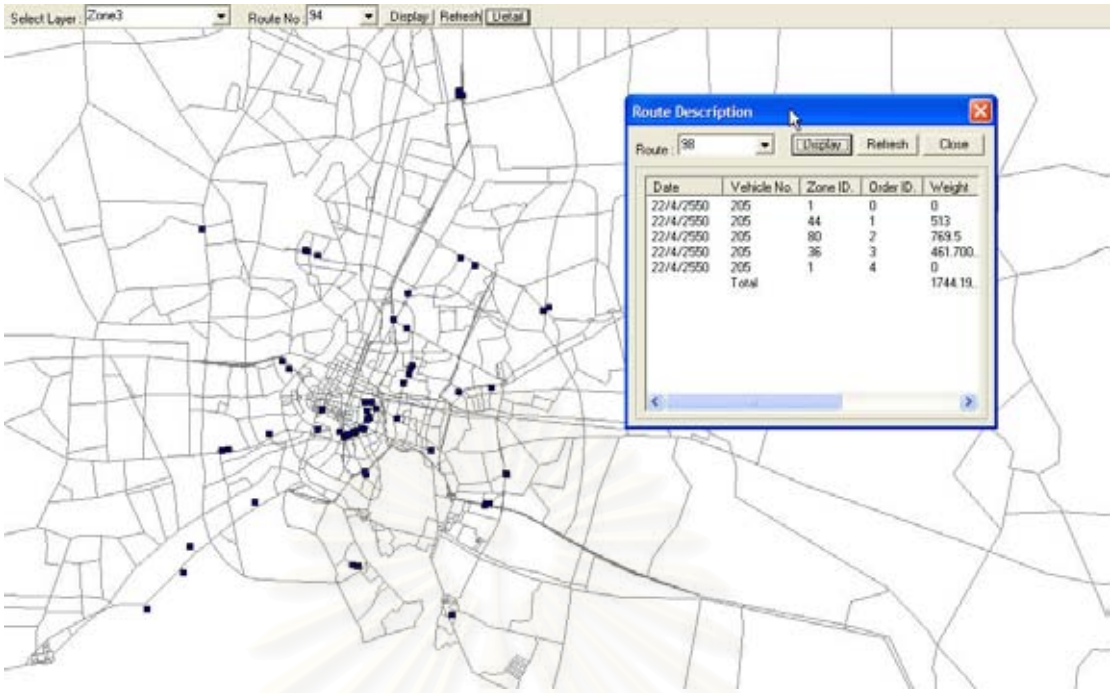
1. การเพิ่มจุดส่งลงในเส้นทาง
2. การลดจุดส่งออกจากเส้นทาง
3. การแลกเปลี่ยนลำดับการส่งภายในเส้นทาง
4. การแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทาง
5. การย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง



รูปที่ 5.10 ขั้นตอนการวิเคราะห์เส้นทาง

สำหรับการติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และผู้ใช้ระบบจะกำหนดให้ติดต่อด้วยการป้อนข้อมูล เช่น การป้อนข้อมูลจุดส่ง และการป้อนข้อมูลพนักงานหรือรถที่ใช้ด้วยรหัสพนักงาน เป็นต้น ตัวอย่างของโปรแกรมปรากฏดังรูปที่ 5.11 และภายหลังจากที่พนักงานจัดเส้นทางพอใจกับเส้นทางที่เป็นผลลัพธ์แล้ว พนักงานจะบันทึกผลลัพธ์ ได้แก่ ข้อมูลระยะทาง ปริมาณสินค้า ลงในตารางข้อมูลประสิทธิภาพรถ ซึ่งได้แก่ เลขที่ผู้ส่งสินค้า ลำดับการส่งสินค้าลงในฐานข้อมูลในตารางข้อมูลสถานะบิล พร้อมทั้งเปลี่ยนสถานะของใบรายการสินค้าในตารางสถานะบิลล่าสุดจากสถานะจาก “0” “2” หรือ “4” เป็นสถานะ “1” ด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.11 การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการวิเคราะห์และปรับปรุงเส้นทาง

5.3.2 การเปลี่ยนแปลงและปรับปรุงฐานข้อมูล

หลังจากการจัดเส้นทางเดินทางด้วยคอมพิวเตอร์แล้ว อาจมีการเปลี่ยนแปลงสถานะการขนส่งสินค้า เนื่องจาก

1. สินค้าไม่สามารถบรรทุกไปได้ 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”

แนวทางในการออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเปลี่ยนแปลงสถานะบิลนี้สามารถกระทำได้ในทุกๆ ครั้งที่ต้องการโดยข้อมูลที่จะนำเข้า คือ ข้อมูลสถานะใบรายการ สินค้าล่าสุดซึ่ง

มีสถานะเป็น “1” แล้วจึงเปิดโอกาสให้พนักงานสามารถเลือกใบรายการที่จะเปลี่ยนสถานะได้เอง แต่อย่างไรก็ตามในสภาพความเป็นจริงอาจมีการเปลี่ยนแปลงสถานะในกรณีอื่นๆ ที่นอกเหนือจากที่ระบุไว้ข้างต้น ทั้งนี้เพราะอยู่นอกเหนือจากความสามารถของโปรแกรมการจัดเส้นทาง ตัวอย่างเช่น

- กรณีที่สามารถบรรทุกสินค้าได้เพิ่มเนื่องจากสินค้าที่จัดลงไม่เต็มคัน ในกรณีนี้จะต้องนำใบรายการสินค้าที่ต้องการส่งสินค้าไปมาเปลี่ยนสถานะจากเดิมมาเป็นสถานะ 1 พร้อมทั้งระบุผู้ขับ และลำดับการส่งด้วยตนเอง
- กรณีความผิดพลาดของพนักงานที่ป้อนข้อมูลผิดพลาด

การแก้ไขปัญหานี้สามารถทำได้โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะที่ละใบรายการ โดยระบุเลขที่ใบรายการที่ต้องการแก้ไข และแก้ไขรายการต่อไป อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบนี้ไม่อนุญาตให้มีการแก้ไขข้อมูลประสิทธิภาพของรถแม้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะบิล ทั้งนี้เพราะต้องการให้เก็บความผิดพลาดไว้ในฐานข้อมูลและเป็นการบันทึกสถิติ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันการแก้ไขข้อมูลซึ่งอาจเป็นเหตุให้ข้อมูลผิดพลาด

5.4 การนำเสนอและสรุปผล

การนำเสนอข้อมูลและรายละเอียดของผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถนำเสนอได้หลายระดับตามความจำเป็นของผู้ที่ต้องการใช้ข้อมูล ซึ่งจากการศึกษาโปรแกรมที่ผ่านมาได้แบ่งการนำเสนอรายงานได้ 2 ระดับคือ ระดับผู้บริหาร และระดับปฏิบัติการ สำหรับงานวิจัยนี้ได้แบ่งการนำเสนอโดยพิจารณาจากความจำเป็นและเปรียบเทียบกับรายงานที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อนำมาปรับปรุงให้ดีขึ้นดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบรายงานจากโปรแกรมอื่นและรายงานจากบริษัท

โปรแกรมจัดเส้นทางอื่น ๆ	**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

Executive Summary : รายงานสรุปให้ผู้บริหาร โดยเน้นแสดงประสิทธิภาพของรถแต่ละคัน

Route Manifest : รายงานแจ้งให้พนักงานขับรถทราบเส้นทาง

Load Report : รายงานแสดงสินค้าที่จะต้องนำขึ้นรถ

จากข้อมูลในตารางสามารถแบ่งรายงานเป็น 3 ส่วนโดยคำนึงถึงความจำเป็นเพื่อให้พนักงานมีข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจ รวมทั้งสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการวิเคราะห์รายละเอียดเพิ่มเติม เช่น รายรับ รายจ่าย ดังนี้

ส่วนที่ 1 ชุดรายงานที่ใช้แสดงรายละเอียดของใบรายการสินค้าต่างๆ รายงานที่เกี่ยวข้องได้แก่

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

ตัวอย่างรายงานแสดงดังรูปที่ 5.12

รายงานสรุปใบรายการสินค้า 07/05/2007

สรุปใบรายการสั่งซื้อที่สามารถจัดลงรถได้

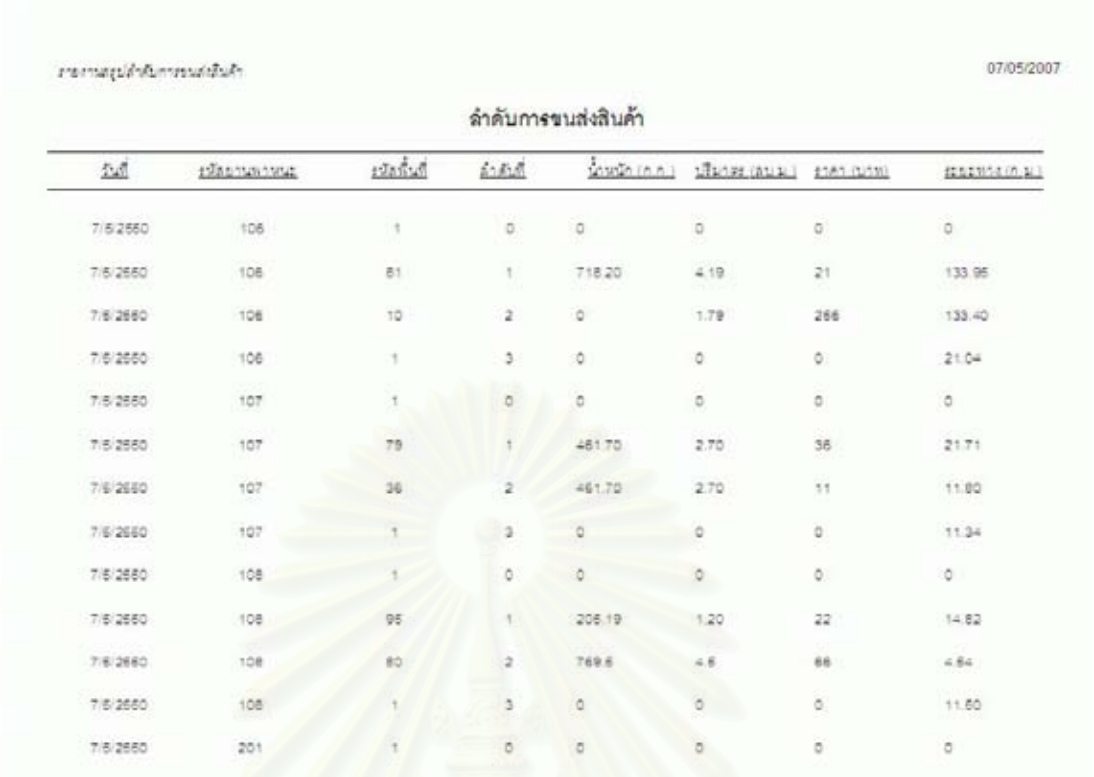
รหัสลิ้นชัก	รหัสลูกค้า	รหัสใบรายการสินค้า	ราคา (เงินบาท)	น้ำหนัก (ก.ก.)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	วันที่สั่งซื้อ
74	121	002318	1000	65	1.29	12:51:45A
74	121	002319	1000	130	1.06	12:51:45A
71	67	025945	1000	23.62	0.25	5:27:16AM
71	68	025954	1000	413.27	0.81	5:27:16AM
71	70	025958	1000	292.14	0.92	5:27:16AM
71	69	025979	1000	319.72	2.88	5:27:16AM
64	83	031738	1000	10	0.20	5:27:16AM
71	84	031769	1000	12.5	0.25	5:27:16AM
71	84	031770	1000	12.5	0.25	5:27:16AM
71	80	031774	1000	7.5	0.15	5:27:16AM

รูปที่ 5.12 รายงานแสดงรายละเอียดของใบรายการสินค้า

ส่วนที่ 2 รายงานการจัดเส้นทาง แสดงรายละเอียดผลลัพธ์สำหรับการส่งสินค้า โดยแบ่งตามพนักงานขับรถ และลำดับการส่งสินค้า และแสดงเลขที่ใบรายการสินค้าพร้อมกับชื่อลูกค้า ตัวอย่างรายงานจัดเส้นทางแสดงได้ดังรูปที่ 5.13

ส่วนที่ 3 รายงานประสิทธิภาพต่างๆ ซึ่งมีลักษณะคล้าย Dispatcher Summary และ Executive Summary รวมกันโดยรายละเอียดของรายงานสามารถแสดงได้ทั้งแบบวันต่อวันและตามระยะเวลาที่ระบุ ข้อมูลที่แสดงได้แก่ รหัสพนักงานขับรถ ระยะทาง น้ำหนักและปริมาตรสินค้าที่ต้องขนส่ง ตัวอย่างรายงานแสดงดังรูปที่ 5.14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

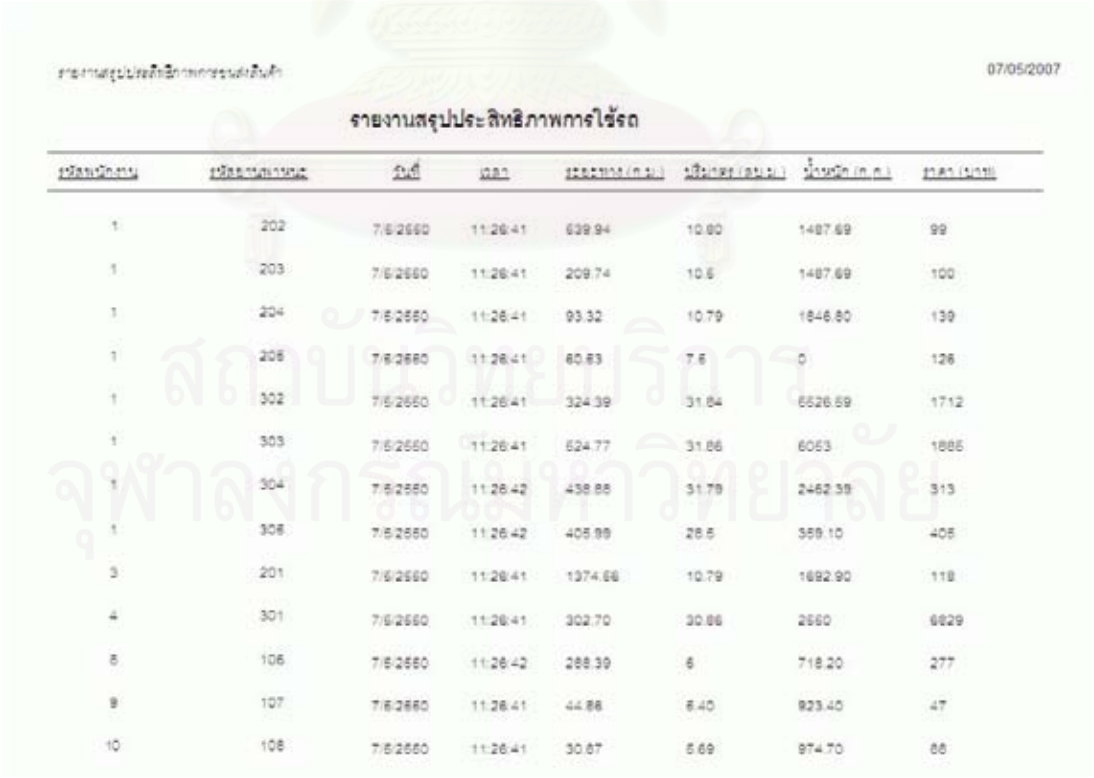


07/05/2007

ลำดับการขนส่งสินค้า

วันที่	สถานีต้นทาง	สถานีปลาย	ลำดับที่	น้ำหนัก (ก.ก.)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	ราคา (บาท)	ระยะทาง (ก.ม.)
7/5/2550	106	1	0	0	0	0	0
7/5/2550	106	61	1	718.20	4.19	21	133.95
7/5/2550	106	10	2	0	1.79	266	133.40
7/5/2550	106	1	3	0	0	0	21.04
7/5/2550	107	1	0	0	0	0	0
7/5/2550	107	79	1	461.70	2.70	36	21.71
7/5/2550	107	36	2	461.70	2.70	11	11.60
7/5/2550	107	1	3	0	0	0	11.34
7/5/2550	108	1	0	0	0	0	0
7/5/2550	108	95	1	205.19	1.20	22	14.62
7/5/2550	108	80	2	769.6	4.6	88	4.64
7/5/2550	108	1	3	0	0	0	11.60
7/5/2550	201	1	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.13 รายงานการจัดเส้นทาง



07/05/2007

รายงานสรุปประสิทธิภาพการใช้รถ

หมายเลขรถ	สถานีต้นทาง	วันที่	เวลา	ระยะทาง (ก.ม.)	ปริมาตร (ลบ.ม.)	น้ำหนัก (ก.ก.)	ราคา (บาท)
1	202	7/5/2550	11:26:41	639.94	10.60	1487.69	99
1	203	7/5/2550	11:26:41	209.74	10.6	1487.69	100
1	204	7/5/2550	11:26:41	93.32	10.79	1846.80	139
1	205	7/5/2550	11:26:41	60.63	7.6	0	126
1	302	7/5/2550	11:26:41	324.39	31.64	6526.69	1712
1	303	7/5/2550	11:26:41	624.77	31.66	6063	1665
1	304	7/5/2550	11:26:42	438.66	31.79	2462.39	313
1	306	7/5/2550	11:26:42	405.99	28.6	359.10	405
3	201	7/5/2550	11:26:41	1374.66	10.79	1692.90	119
4	301	7/5/2550	11:26:41	302.70	30.66	2660	6629
6	106	7/5/2550	11:26:42	268.39	6	718.20	277
9	107	7/5/2550	11:26:41	44.86	6.40	923.40	47
10	108	7/5/2550	11:26:41	30.67	5.69	974.70	66

รูปที่ 5.14 รายงานประสิทธิภาพการใช้รถ

5.5 ข้อสรุปของโปรแกรมการจัดเส้นทางเดินรถ

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้เป็นโปรแกรมที่มุ่งวางแผนในการจัดเส้นทางและช่วยสนับสนุนการตัดสินใจ โดยเปิดโอกาสให้พนักงานจัดเส้นทางเข้ามามีส่วนร่วมปรับปรุงเส้นทาง โดยใช้ฐานข้อมูล Microsoft Access และกำหนดให้ใบรายการทุกใบมีสถานะกำกับทุกครั้ง เพื่อป้องกันการนำใบรายการที่ถูกจัดลงในเส้นทางแล้วนำมาใช้จัดเส้นทางอีก รวมทั้งยังสามารถใช้ในการติดตามสถานะใบรายการและบันทึกประสิทธิภาพในการส่งสินค้าในแต่ละใบรายการ อย่างไรก็ตาม โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีขอบเขตในการวิเคราะห์เส้นทางดังนี้

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การทดสอบระบบและการวิเคราะห์ผล

6.1 แนวทางการทดสอบ

ก่อนที่จะนำระบบที่พัฒนาไปประยุกต์ใช้ในงาน จะต้องทำการทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้น โดยวิธีการทดสอบนั้นมีอยู่ 2 วิธี (Pressman, 1997) คือ

- การทดสอบภายในระบบ (White-box Testing) เป็นการทดสอบเพื่อตรวจสอบขบวนการต่างๆ ที่อยู่ภายในโปรแกรม อาทิ โมดูลที่กำลังพิจารณา กลุ่มของโมดูลที่กำลังพิจารณา และระบบสารสนเทศ เป็นการทดสอบที่มุ่งเน้นโครงสร้างของโปรแกรมเป็นหลัก

- การทดสอบภายนอกระบบ (Black-box Testing) เป็นการทดสอบที่ต้องการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลเข้าและผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยไม่พิจารณาการทำงานภายในโปรแกรม หรือไม่มุ่งเน้นสิ่งที่อยู่ภายในระบบที่ทำการทดสอบ

การศึกษานี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง ดังนี้

6.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบแต่ละส่วนย่อยของระบบ โดยการนำโมดูลแต่ละโมดูลมาทำการทดสอบหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทำงานของโมดูลดังกล่าว การทดสอบในขั้นตอนนี้ ประกอบด้วย การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง และความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง ดังนี้

6.2.1 การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูล

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบความถูกต้องของข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ ดังนี้

1. ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการป้อนข้อมูล เช่น

- ข้อมูลพื้นที่ ความผิดพลาดนี้อาจเกิดขึ้นเพราะการป้อนข้อมูลผิด หรือการป้อนข้อมูลไม่ครบ
- ข้อมูลลูกค้าและสินค้า ความผิดพลาดนี้อาจเกิดขึ้นเช่นเดียวกับความผิดพลาดของข้อมูลพื้นที่ โดยอาจทำให้ผลการวิเคราะห์การจัดเส้นทางมีความคลาดเคลื่อน
- ข้อมูลรายละเอียดใบรายการสินค้า ความผิดพลาดนี้อาจเกิดขึ้นได้บ่อยครั้ง เนื่องจากพนักงานต้องพิมพ์ใบรายการนี้ทุกครั้ง โดยความผิดพลาดอาจทำให้ผลการวิเคราะห์การจัดเส้นทางคลาดเคลื่อน

ความถูกต้องในระดับนี้สามารถป้องกันได้โดยการออกแบบโปรแกรมเพื่อตรวจสอบข้อมูลที่ผิดพลาดจากการป้อนข้อมูล อาทิ การตรวจสอบข้อมูลก่อนบันทึกลงในฐานข้อมูลทุกครั้งและแจ้งเตือนถ้ามีข้อมูลซ้ำ

2. ความผิดพลาดจากการเรียกข้อมูลขึ้นมาใช้อาจเกิดขึ้นได้ถ้าข้อมูลที่เรียกขึ้นมาเป็นข้อมูลที่ผ่านการใช้งานแล้ว จึงส่งผลให้ระบบที่พัฒนาเกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์เส้นทางได้ แนวทางในการป้องกันความผิดพลาดของการศึกษานี้ ทำได้โดยการกำหนดสถานะของใบรายการสินค้าของทุกใบ เพื่อป้องกันการเรียกข้อมูลใบรายการซ้ำโดยเฉพาะในขั้นตอนการคัดแยกใบรายการและการเลือกใบรายการที่จะจัดเส้นทาง อย่างไรก็ตามการกำหนดสถานะไม่สามารถป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นภายใต้สถานการณ์ที่ไม่ปกติ เช่น การเปลี่ยนสถานะของใบรายการโดยไม่ผ่านการใช้โปรแกรมปรับเปลี่ยนสถานะ เป็นต้น

6.2.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง

ขั้นตอนหลักที่ต้องตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง ได้แก่ การสร้างเส้นทางเบื้องต้น การปรับปรุงเส้นทางภายในและระหว่างเส้นทางและการปรับเส้นทางโดยตรง แต่ในส่วนของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทำผิดหรือข้ามขั้นตอน เช่น การไม่ได้เลือกใบรายการสินค้าก่อนการจัดเส้นทาง ฯลฯ สามารถแก้ไขได้โดยวิธีที่เป็นที่นิยมใช้คือ การบังคับและการเตือนให้พนักงานผู้ใช้ระบบต้องปฏิบัติตามขั้นตอนในการจัดเส้นทางซึ่งระบบกำหนดไว้ เป็นต้น

การสร้างเส้นทาง การทดสอบนี้สามารถทำได้ด้วยการศึกษาเส้นทางการทำงานรวมทั้งตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน ซึ่งในที่นี้ได้ทดสอบด้วยการนำปัญหาที่ทราบผลลัพธ์ที่ถูกต้องแล้ว นำมาใช้ในการทดสอบและเปรียบเทียบคำตอบ และภายหลังจากการทดสอบเสร็จเรียบร้อยแล้วยังจำเป็นต้องทดสอบในระดับที่ซับซ้อนขึ้นเพื่อหาข้อบกพร่องของโปรแกรมที่อาจเกิดขึ้นได้ ซึ่งการทดสอบในระดับนี้มีรายละเอียดมาก นอกจากนี้

การทดสอบดังกล่าวอาจทำไปได้พร้อมกับการตรวจสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองเทียบกับผลงานของการศึกษาที่ผ่านมาได้ด้วย

การปรับปรุงภายในเส้นทาง การตรวจสอบนี้มีลักษณะคล้ายกับการตรวจสอบการสร้างเส้นทาง แต่การทดสอบนี้ไม่ยุ่งยาก เนื่องจากการทดสอบนี้สามารถคาดการณ์คำตอบได้ล่วงหน้า เพราะเส้นทางที่สามารถปรับปรุงได้ต้องทำให้ลำดับการส่งสินค้าใหม่ที่เกิดขึ้นให้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพไม่ด้อยกว่าลำดับการส่งแบบเดิม โดยลำดับเส้นทางที่ได้ต้องมีจำนวนจุดส่งเท่าเดิม นอกจากนี้ความจุสินค้าภายในเส้นทางต้องไม่เปลี่ยนแปลง การทดสอบนี้ได้กำหนดให้ทดสอบไปพร้อมกับการสร้างเส้นทาง

การปรับปรุงระหว่างเส้นทาง 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 ไม่มีลำดับการส่งสินค้าในเส้นทางนั้น และผลรวมปริมาณสินค้าในเส้นทางต้องเป็นศูนย์ รวมทั้งระยะทางในการเดินทางของเส้นทางนั้นจะต้องเป็นศูนย์
- การเพิ่มจุดส่ง การตรวจสอบนี้สามารถตรวจสอบได้เช่นเดียวกับการลดจุดส่ง นอกจากนี้จะต้องตรวจสอบจุดส่งที่เพิ่มเข้าไปจะต้องมีสถานะที่ส่งได้ (Status =

"True") ด้วย สำหรับการทดสอบนี้จะได้ครอบคลุมกรณีสุดขั้ว ด้วยการทดลองให้เส้นทางมีจำนวนจุดส่งในเส้นทางถึงจุดส่งสูงสุดที่ยอมรับได้ เพื่อตรวจสอบว่าจะเพิ่มจุดส่งได้อีกหรือไม่

6.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง

ภายหลังจากที่แต่ละขั้นตอนได้ถูกทดสอบจนแน่ใจว่าไม่มีความผิดพลาดปรากฏให้เห็นแล้ว ในขั้นต่อมาจะเป็นการนำแต่ละขั้นตอนที่มีความสัมพันธ์กันมาเชื่อมต่อกันและทำการทดสอบอีกทีหนึ่ง เพื่อหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการรวมกันดังกล่าว โดยการทดสอบที่จะใช้ในการศึกษานี้จะทดสอบใน 2 รูปแบบ คือ การทดสอบผลลัพธ์จากแบบจำลองเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาอื่น และการทดสอบจากข้อมูลจริงที่มีอยู่ ซึ่งเป็นการทดสอบผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

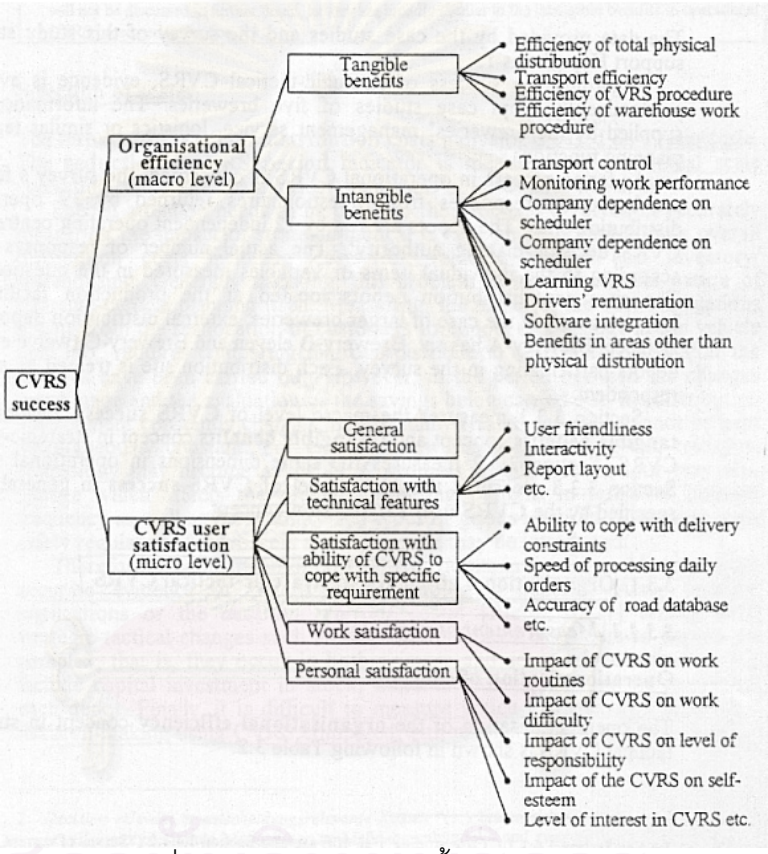
การกำหนดตัวชี้วัดที่เหมาะสมเพื่อวัดคุณภาพของการจัดเส้นทางเดินรถเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากการวัดประสิทธิภาพ (Productivity) ของการจัดเส้นทางซึ่งสามารถวัดได้หลายวิธี และแต่ละวิธีก็จะให้ความหมายที่แตกต่างกัน ดังแสดงได้ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าตัวชี้วัดสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ

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

- การวัดในระดับจุลภาค (Micro Level) การวัดในระดับนี้เป็นการวัดความสำเร็จที่เกิดขึ้นกับผู้ใช้หรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทาง นั่นคือ ผลสำเร็จที่ได้จะสามารถช่วยให้ผู้ใช้ได้รับผลประโยชน์ เช่น สามารถทำงานได้รวดเร็ว สามารถทำให้ผู้ใช้งานสามารถใส่ใจวิเคราะห์ปัญหาได้มากขึ้น

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดเส้นทางด้วยเทคนิคต่างๆ สามารถทำได้โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยเทคนิคที่เลือกใช้เทียบกับผลลัพธ์จากการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เพื่อหาค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้น หลังจากนั้นจึงนำค่าความแตกต่างที่ได้เปรียบเทียบกัน โดยเทคนิคที่ให้ค่าความแตกต่างเมื่อเทียบกับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมมีค่าน้อยสุด จะเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางที่ดีกว่า

สำหรับการศึกษานี้ไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างที่เกิดขึ้นในแต่ละเทคนิคเทียบกับผลลัพธ์จากวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจาก ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางที่ให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดไม่สามารถคำนวณหาได้ง่าย เพราะปัญหามีความซับซ้อน ดังนั้น การศึกษานี้จึงต้องเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดเส้นทางของแบบจำลองด้วยการเทียบกับวิธีอื่นๆ แทน โดยในการศึกษานี้จะเลือกวัดประสิทธิภาพในบางวิธีเท่านั้น เพราะผู้ประกอบการยังไม่เคยมีประสบการณ์ในการใช้เทคนิคที่พัฒนาขึ้น ดังนี้



รูปที่ 6.1 การวัดผลและตัวชี้วัดในระดับต่างๆ

ที่มา : Eibl(1996)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะทาง

การใช้ระยะทางในการขนส่งเป็นตัววัดประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากระยะทางสามารถใช้แทนต้นทุนการขนส่ง โดยผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางที่มีระยะทางในการขนส่งมากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีอื่น แสดงว่า เส้นทางที่มีระยะทางมากกว่ามี

ประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอื่น แนวทางในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระยะทางโดยทั่วไป สามารถดำเนินการได้ดังนี้

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

6.3.1 การทดสอบผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับการศึกษาอื่นที่ผ่านมา

การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา โดยการทดสอบนี้จะแบ่งขั้นตอนของการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือ

- การทดสอบด้วยการใช้เทคนิคการหาค่าประหยัด โดยให้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดเส้นทาง

- การทดสอบด้วยการใช้เทคนิค Tabu Seardh โดยให้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดเส้นทาง

6.3.1.1 ข้อมูลและสมมติฐานในการทดสอบ

การทดสอบในครั้งนี้ใช้ชุดข้อมูลที่ได้จากการศึกษาที่ผ่านมา เพื่อใช้ในการทดสอบ ซึ่งรวบรวมโดย A Traveling Salesman Problem Library (TSPLIB) ซึ่งให้บริการดาวน์โหลดข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ต[1] โดยข้อมูลจะประกอบด้วย

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

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.1 แสดงผลลัพธ์ที่สรุปได้จากการศึกษา ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางโดยด้วยการใช้เทคนิคการหาค่าประหยัดเท่านั้น พบว่า วิธีนี้สามารถให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางได้ดี หากจำนวนลูกค้ามีไม่มากนัก แต่ผลลัพธ์จะด้อยลงถ้ามีจำนวนจุดส่งมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการหาค่าประหยัดจะให้เส้นทางมีการใช้จำนวนรถมากกว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาด้วยเทคนิคอื่นๆ

2. เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการปรับปรุงเส้นทางพบว่า วิธีนี้สามารถปรับปรุงลำดับการส่งได้ดีในปัญหาที่พบว่า ผลจากเทคนิคการหาค่าประหยัดยังสามารถปรับปรุงได้อีก โดยเฉพาะกรณี

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

ที่ผลจากเทคนิคการหาค่าประหยัดใช้จำนวนรถหลายคัน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือผลลัพธ์ยังไม่เข้าใกล้จุดที่ดีที่สุด

3. หากพิจารณาผลลัพธ์โดยรวมจากการปรับปรุงเส้นทางพบว่า วิธีนี้สามารถให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางได้ดี หากจำนวนลูกค้ามีไม่มากนักประมาณไม่เกิน 30 จุดส่ง หากจำนวนจุดส่งเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จะด้อยลง โดยผลต่างเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีระยะทางมากกว่าประมาณร้อยละ 5-10

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	5	5	3	4	5	8	10	14	15	8	7
		ระยะทางที่ใช้	459	709	575	910	521	825	847	1114	1058	745	692
ผลการศึกษา	ผลลัพธ์ 2	จำนวนรถที่ใช้	4	4	4	4	6	11	11	14	15	9	9
		ระยะทางที่ใช้	389	674	610	845	645	1114	927	1171	1115	911	881
		ผลต่าง (%)	-15%	-5%	6%	-7%	24%	35%	9%	5%	5%	22%	27%
	ผลลัพธ์ 3	จำนวนรถที่ใช้	4	4	4	4	5	9	11	14	15	8	8
		ระยะทางที่ใช้	385	666	610	845	570	894	926	1,171	1,115	822	755
		ผลต่าง (%)	-16%	-6%	6%	-7%	9%	8%	9%	5%	5%	10%	9%

ผลลัพธ์ 1 = ผลลัพธ์จากการศึกษาที่ผ่านมา

ผลลัพธ์ 2 = ผลลัพธ์จากวิธีการหาค่าประหยัด

ผลลัพธ์ 3 = ผลลัพธ์จากวิธีการหาค่าประหยัดและการปรับปรุงเส้นทาง

ผลต่าง (%)= ค่าร้อยละของความแตกต่างระหว่างระยะทางเทียบกับผลงานที่ผ่านมา

6.3.2 การทดสอบแบบจำลองกับสภาพจริง

การทดสอบแบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองในสภาพจริงเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถในปัจจุบัน โดยวัดผลสัมฤทธิ์ด้วยค่าของระยะทาง ค่าใช้จ่ายในการขนส่งซึ่งพิจารณาเฉพาะค่าน้ำมัน และระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่า รายละเอียดการทดสอบมีดังนี้

6.3.2.1 ข้อมูลและสมมติฐานในการทดสอบ

การทดสอบนี้ใช้ข้อมูลที่ได้จากการรวบรวมเอกสารของบริษัท ซึ่งได้แก่ รายการสินค้าที่ต้องส่งสำหรับลูกค้าแต่ละราย รายงานผลการจัดสินค้าของพนักงาน โดยผู้วิจัยใช้ข้อมูลทดสอบที่มีการรวบรวมไว้ทั้งหมดในเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2549 ในการทดสอบ

การทดสอบนี้ได้เพิ่มตัววัดประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการขนส่งเฉพาะค่าน้ำมันรถ ซึ่งมีค่าแปรผันกับระยะทางและประเภทรถ ดังตารางที่ 6.2 โดยเป็นข้อมูลที่ได้จากผู้ประกอบการขนส่ง การทดสอบนี้ได้กำหนดสมมติฐานและเพิ่มข้อกำหนดบางประการดังนี้

1. รถที่จะใช้ในการทดสอบจะเป็นรถที่พร้อมสำหรับการให้บริการเท่านั้น โดยในที่นี้กำหนดให้ใช้รถได้ไม่เกินจำนวนรถที่พนักงานจัดในแต่ละวัน เพื่อไม่ให้เกิดความลำเอียงในการวิเคราะห์

2. กำหนดให้แต่ละเส้นทางมีจำนวนจุดส่งที่สามารถส่งได้ไม่เกิน 10 จุด เพราะคำตอบที่ได้จากการวิเคราะห์อาจขัดกับความจริงเพราะมีจุดส่งมากเกินไป

3. ระยะทางในการขนส่งของวิธีการในปัจจุบันและวิธีของแบบจำลองได้จากการคำนวณโดยตามเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างจุดส่ง

ตารางที่ 6.2 ค่าใช้จ่ายน้ำมันในการขนส่งสินค้า

ประเภทรถ	เล็ก	กลาง	ใหญ่
ค่าใช้จ่าย (บาทต่อกิโลเมตร)	3.0	4.05	6.5

หมายเหตุ : ค่าใช้จ่ายคิดจากราคาน้ำมันดีเซลประมาณ 26 บาทต่อลิตร

6.3.2.2 ผลลัพธ์จากการทดสอบ

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนากับสภาพจริงสามารถแสดงได้ในตารางที่ 6.3 สามารถสรุปผลลัพธ์ได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยเปรียบเทียบกับวิธีการจัดลำดับการส่งด้วยพนักงาน พบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ดีกว่าการจัดด้วยพนักงานในทุกๆ ปัญหาตัวอย่างที่ทำการทดสอบ โดยมีผลต่างของค่าใช้จ่ายที่ประหยัดได้เล็กน้อยจนถึงประมาณร้อยละ 15 โดยการจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีแนวโน้มใช้รถบรรทุกขนาดกลางและใหญ่มากกว่าการจัดด้วยพนักงาน ทั้งนี้เพราะการใช้รถบรรทุกขนาดกลางและใหญ่ทำให้ต้นทุนรวมมีค่าต่ำกว่าการใช้รถขนาดเล็ก

ตารางที่ 6.3 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับการจัดด้วยพนักงาน

ชื่อปัญหา			1	4	5	6	7	9	11	13
จำนวนจุดส่ง			69	25	68	34	69	50	16	59
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยพนักงาน	จำนวนรถที่ใช้	เล็ก	26	17	28	18	21	23	12	25
		กลาง	4	2	4	3	2	3	1	5
		ใหญ่	4	2	4	1	4	3	0	3
	ระยะทางที่ใช้		9,673	1,225	7,873	3,067	7,790	8,994	1,157	8,214
	ค่าใช้จ่าย		51,889	4,189	43,686	11,802	42,954	40,594	3,753	40,052
	ระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่า		4,397	564	3,560	1,290	3,476	4,144	534	3,678
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยคอมพิวเตอร์	จำนวนรถที่ใช้	เล็ก	3	11	11	2	6	13	3	4
		กลาง	5	2	7	3	3	3	0	3
		ใหญ่	11	4	8	5	8	9	3	10
	ระยะทางที่ใช้		9,500	838	8,273	2,252	8,136	8,525	664	7,707
	ค่าใช้จ่าย		50,658	3,507	42,559	10,681	42,805	39,079	3,426	36,128
	ระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่า		2,241	385	3,634	316	1,315	2,425	230	1,460
	ผลต่างระยะทาง (%)		-1.8%	-31.6%	5.1%	-26.6%	4.4%	-5.2%	-42.6%	-6.2%
	ผลต่างค่าใช้จ่าย (%)		-2.4%	-16.3%	-2.6%	-9.5%	-0.3%	-3.7%	-8.7%	-9.8%
	ผลต่างระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่า (%)		-49.0%	-31.7%	2.1%	-75.5%	-62.2%	-41.5%	-56.9%	-60.3%

ตารางที่ 6.3 (ต่อ) ผลลัพธ์การจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับการจัดด้วยพนักงาน

ชื่อปัญหา			16	17	18	21	22	23	24	26
จำนวนจุดส่ง			75	10	19	67	50	47	11	49
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยพนักงาน	จำนวนรถที่ใช้	เล็ก	25	5	15	26	21	22	9	25
		กลาง	7	0	1	3	4	6	0	4
		ใหญ่	6	0	1	6	3	1	0	5
	ระยะทางที่ใช้		12,779	223	1,138	9,690	4,206	5,421	542	7,529
	ค่าใช้จ่าย		64,320	668	4,116	51,215	17,945	21,052	1,626	37,551
	ระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่า		5,779	109	472	4,414	1,790	2,475	227	2,782
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยคอมพิวเตอร์	จำนวนรถที่ใช้	เล็ก	9	3	12	4	10	4	2	11
		กลาง	3	1	0	5	6	9	2	2
		ใหญ่	17	0	3	11	9	6	1	12
	ระยะทางที่ใช้		12,137	192	1,065	9,537	3,529	3,371	343	5,749
	ค่าใช้จ่าย		62,556	628	3,757	50,769	16,819	17,491	1,384	32,693
	ระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่า		3,073	83	327	2,260	1,347	1,498	164	994
	ผลต่างระยะทาง (%)		-5.0%	-13.7%	-6.4%	-1.6%	-16.1%	-37.8%	-36.8%	-23.6%
	ผลต่างค่าใช้จ่าย (%)		-2.7%	-6.0%	-8.7%	-0.9%	-6.3%	-16.9%	-14.9%	-12.9%
	ผลต่างระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่า (%)		-46.8%	-24.3%	-30.6%	-48.8%	-24.7%	-39.5%	-27.6%	-64.3%

2. เมื่อพิจารณาในแง่ของระยะทางพบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นส่วนใหญ่ให้ผลลัพธ์ดีกว่าการจัดด้วยพนักงาน แม้ว่าบางสถานการณ์จะใช้ระยะทางรวมไกลกว่าแต่ค่าใช้จ่ายโดยรวมก็ยังต่ำกว่าการจัดด้วยพนักงาน

3. เมื่อพิจารณาระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่า พบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ดีกว่าการจัดด้วยพนักงาน ระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่าลดลงร้อยละ 25-75 มีเพียงกรณีเดียวที่การจัดด้วยพนักงานมีระยะทางวิ่งรถเที่ยวเปล่าสั้นกว่าการจัดด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเล็กน้อย

จากผลการทดสอบกับผลงานการศึกษาที่ผ่านมา และการทดสอบด้วยการใช้ข้อมูลจริงได้ข้อสรุปว่า แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีความสามารถในการจัดเส้นทางเดินรถในระดับที่ยอมรับได้ การนำระบบที่พัฒนามาใช้ในสภาพจริงพบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ดีกว่าการจัดด้วยพนักงานในทุกๆ ปัญหาตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้า มีวัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน 3 ประการ คือ

- เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้าให้ประหยัดต้นทุนการขนส่ง
- เพื่อประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ช่วยในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้า

โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาเฉพาะการจัดเส้นทางขนส่งจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวไปยังลูกค้าที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการเท่านั้น โดยแบ่งการดำเนินงานวิจัยดังนี้

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

7.1 การทบทวนทฤษฎีการจัดเส้นทาง

การทบทวนทฤษฎีและผลงานที่ผ่านมาสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem) ซึ่งเป็นปัญหาของการจัดการเพื่อหาจำนวนเส้นทางและลำดับของการเดินรถจำนวนหลายคันไปยังลูกค้าต่างๆ ในแต่ละเส้นทางโดยสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายทางธุรกิจ 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 วิธีการในการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกภายใต้เงื่อนไขของความจุและเวลาเป็นวิธีที่นิยมสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เช่น การหาค่าการประหยัด (Saving) เทคนิคการกวาด (Sweep Approach) การสร้างเส้นทางแบบ 2 ขั้น (Two-Phase Method) เช่น Cluster First - Route Second และ Route First - Cluster Second เป็นต้น

การทบทวนผลงานที่ผ่านมาพบว่า แบบจำลองที่พัฒนาควรเลือกใช้วิธีการแบบฮิวริสติก เนื่องจาก วิธีหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นวิธีที่ซับซ้อนและยากต่อการพัฒนา และระบบที่พัฒนาควรมีกลไกในการปรับปรุงการจัดเส้นทางเดินรถ เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ระบบมีส่วนร่วมในการตัดสินใจเลือกเส้นทาง

7.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

การสำรวจปัญหาและรายละเอียดของการปฏิบัติงานของบริษัทตัวอย่างพบว่า บริษัทมีการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันโดยใช้ศูนย์กระจายสินค้าทำหน้าที่รวบรวมสินค้าจากแหล่งต่าง ๆ เข้าไว้ที่ศูนย์ฯ และกระจายไปยังลูกค้าตามสถานที่ต่างๆ ขั้นตอนที่สำคัญในการขนส่งประกอบด้วย

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

จากการศึกษาแนวทางเบื้องต้นในการกำหนดปัจจัยเพื่อใช้เป็นเป้าหมายในการจัดเส้นทางพบว่า ต้นทุนการขนส่งเป็นเป้าหมายที่ผู้ประกอบการใช้เป็นกรอบในการดำเนินธุรกิจ

7.3 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ

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

การออกแบบแบบจำลองการหาค่าการประหยัด มีแนวทางการพัฒนาดังนี้

- การสร้างเมตริกซ์ระยะทาง ด้วยเมตริกซ์แบบเต็มชุด (Full Matrix)
- การเลือกจุดส่งชุดแรก พบว่าแนวความคิดที่ใช้คือการเลือกคู่ลำดับที่มีค่าการประหยัดสูงที่สุด
- จัดลำดับการส่งภายในเส้นทาง
- การกำหนดข้อจำกัดจุดส่ง เนื่องจากสภาพความเป็นจริงแต่ละจุดส่งมีสภาพแตกต่างกัน เช่น พื้นที่คับแคบ รถบรรทุกใหญ่ไม่สามารถเข้าถึงได้
- เลือกใช้รถด้วยการกำหนดให้ใช้จำนวนรถได้เท่าที่มีอยู่จริง และกำหนดให้สามารถเลือกที่จะใช้รถประเภทใดก่อนก็ได้ เพื่อให้แบบจำลองมีความยืดหยุ่น
- ตั้งค่าพารามิเตอร์ เช่น การปรับความจุของรถ เพื่อให้ระบบที่พัฒนาสามารถให้ผู้ใช้สามารถปรับเปลี่ยนได้

การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทางที่ใช้นี้เป็นการปรับปรุงเส้นทางด้วยการสลับเส้นทาง 2 เส้นทาง (2-opt) ส่วนการปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทางที่ใช้ในการศึกษานี้ คือ

- String Exchange เนื่องจากสามารถแก้ไขจุดอ่อนของเส้นทางที่เกิดจากการจัดเส้นทางเบื้องต้นได้
- String Relocation เนื่องจากเป็นวิธีการที่ช่วยลดจำนวนจุดส่งและลดจำนวนเส้นทางได้
- String Cross เนื่องจากเป็นวิธีการที่ช่วยลดระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการส่งได้

กลไกการจัดลำดับการส่งโดยพนักงานมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยแก้ข้อบกพร่องของแบบจำลอง รวมทั้งเปิดโอกาสให้ผู้ที่ทำหน้าที่ดูแลการจัดเส้นทางสามารถที่จะปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเส้นทางได้เอง โดยไม่ได้พึ่งการตัดสินใจของคอมพิวเตอร์ทั้งหมด โดยกลไกที่เลือกใช้มีอยู่ 2 ประเภท คือ

- กลไกการเพิ่มจุดส่ง ด้วยการเปิดโอกาสให้เลือกจุดส่งและลำดับการส่งที่ต้องการด้วยตนเอง
- กลไกการลดจุดส่ง เพื่อใช้ขจัดจุดส่งที่ไม่ต้องการออกไปจากเส้นทาง

7.4 โครงสร้างและกระบวนการของโปรแกรม

งานวิจัยได้แบ่งการออกแบบโปรแกรมสำหรับการจัดเส้นทางได้ดังนี้

- โครงสร้างฐานข้อมูล
- กระบวนการเตรียมและนำเข้าข้อมูล
- กระบวนการวิเคราะห์และบันทึกผล
- กระบวนการนำเสนอและสรุปผล

การพัฒนาโครงสร้างฐานข้อมูลเฉพาะส่วนที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ โดยข้อมูลที่พัฒนาได้แก่ ฐานข้อมูลหลัก (Master Files) รายการธุรกรรม (Transaction Files) ตารางอื่น ๆ

การเตรียมและนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นต่อการจัดเส้นทางประกอบด้วยข้อมูลที่สำคัญได้แก่

- ข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้า
- ข้อมูลพิกัดจุดส่งสินค้า
- ข้อมูลรถที่สามารถให้บริการ
- ข้อมูลพารามิเตอร์สำหรับปรับแก้

การวิเคราะห์เส้นทางส่งสินค้าของระบบที่พัฒนาแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ขั้นตอนการสร้างเส้นทางเบื้องต้น ขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทางโดยใช้เทคนิค Tabu Serach และขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทางโดยเปิดโอกาสให้พนักงานจัดเส้นทางมีส่วนร่วมในการปรับปรุงเส้นทางด้วยการใช้ส่วนติดต่อกับผู้ใช้โดยผ่านทางข้อมูลและภาพ

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

7.5 การทดสอบระบบและการวิเคราะห์ผล

การศึกษานี้ทดสอบผลการจัดเส้นทางโดยแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง ดังนี้

การทดสอบความถูกต้องประกอบด้วย การทดสอบในแต่ละส่วนย่อยของระบบแยกออกจากกันคือ การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง และความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง ภายหลังจากที่แต่ละขั้นตอนได้ถูกทดสอบแล้วในขั้นต่อมาจะเป็นการนำแต่ละขั้นตอนที่มีความสัมพันธ์กันมาเชื่อมต่อกันและทำการทดสอบอีกทีหนึ่งเพื่อหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น

การทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง ทำทดสอบกับ 2 รูปแบบคือ การทดสอบผลลัพธ์การจัดเส้นทางของแบบจำลองเทียบกับผลลัพธ์จากผลงานการศึกษาที่ผ่านมาและการทดสอบจากข้อมูลจริง ซึ่งเป็นการทดสอบผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางด้วยแบบจำลองเทียบกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

ผลลัพธ์โดยรวมจากการปรับปรุงเส้นทางพบว่า วิธีนี้สามารถให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางได้ดี หากจำนวนลูกค้ามีไม่มากนักประมาณไม่เกิน 30 จุดส่ง หากจำนวนจุดส่งเพิ่มขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จะด้อยลง โดยผลต่างเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีระยะทางมากกว่าประมาณร้อยละ 5-10 การนำระบบที่พัฒนามาใช้ในสภาพจริงพบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ดีกว่าการจัดด้วยพนักงานในทุกๆ ปัญหาตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

7.6 **ข้อเสนอแนะ**

การวิจัยการจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์ในอนาคต ควรที่จะพิจารณาให้ดำเนินการตามแนวทาง ดังนี้

- พัฒนาแบบจำลองและปรับปรุงกลไกในการวิเคราะห์ให้ดียิ่งขึ้น อาทิ การพัฒนาขั้นตอนและวิธีการปรับปรุงจุดส่งภายในเส้นทางและระหว่างเส้นทาง ให้ได้ผลดีขึ้นภายใต้เวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ไม่มากนัก
- พัฒนาแบบจำลองให้สามารถครอบคลุมกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์อื่นๆ เนื่องจากแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นพิจารณาเฉพาะระยะทางในการขนส่งและค่าใช้จ่ายเฉพาะในส่วนของค่าน้ำมันเท่านั้น ซึ่งในความเป็นจริงผู้ประกอบการต้องการต้นทุนการขนส่งรวมเป็นเป้าหมายในการขนส่งมากกว่า
- พัฒนาแบบจำลองให้สามารถวิเคราะห์เงื่อนไขต่างๆ ที่ซับซ้อนได้มากยิ่งขึ้น อาทิ ข้อจำกัดด้านกรอบเวลา (Time window)

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธเนศ ทักษิณวราจาร. 2543. การจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการกระจายสินค้า. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุทธชาติ บรรพปกรณ์. 2546. โปรแกรมคอมพิวเตอร์จัดเส้นทางเดินรถที่มีระยะทางสั้นที่สุดโดยใช้แบบจำลอง TSP. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุธี ศรีเพ็ชรดานนท์. 2536. แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้า. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

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.

Gen, M. and Cheng, R. 1997. Genetic algorithms and engineering design. John Wiley&Son, United Stated of America.

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.

Glover, F., Laguna, M. 1997. Tabu search. Kluwer Academic Publishers,Boston.

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.

Krolok, 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.

Partyka, J.G. and Hall, R.W.2000. On the road to service. OR/MS Today.

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.

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.

Weiss, M. A. 1992. Data Structures and Algorithm Analysis in C. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ร้อยเอกสุทธิพงษ์ มีใย เกิดเมื่อวันที่ 22 กรกฎาคม พ.ศ. 2509 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จากโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เมื่อปี พ.ศ. 2532 รับราชการในสังกัดกรมการทหารช่าง จังหวัดราชบุรี สำเร็จการศึกษาสาขาวิศวกรรมขนส่ง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เมื่อปี พ.ศ. 2536 ทำงานที่ปรึกษาด้านการขนส่งและจราจร ก่อนมาศึกษาต่อด้านการจัดการโลจิสติกส์ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย