ระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด

นางสาวอรประไพ จารุพัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM

Miss Onprapai Jaruphat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด
โดย	นางสาวอรประไพ จารุพัฒน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค)

อรประไพ จารุพัฒน์ : ระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด. (DECISION SUPPORT SYSTEM FOR OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์, 106 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด โดยปัญหาเส้นทางขนส่งในงานวิจัยนี้เป็นการขนส่งแบบต่อเนื่องที่มีทั้งการรับและส่งสินค้าได้ตลอดเส้นทาง รถขนส่งไม่จำเป็นจะต้องย้อนกลับมายังจุดปล่อยรถ และสามารถหยุดที่จุดสุดท้ายของเที่ยวเพื่อเริ่มงานรอบใหม่ได้ งานวิจัยนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ 1. การนำเสนอฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง และ 2. การออกแบบระบบสารสนเทศ สำหรับฮิวริสติกที่นำเสนอแบ่งการทำงานเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการเลือกความต้องการขนส่งสินค้าโดยพิจารณาจากความเร่งด่วนของงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วสุด และขั้นตอนที่สองเป็นการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการ Insertion heuristic ภายใต้ข้อจำกัดความจุรถขนส่งและเวลากำหนดรับส่งสินค้า คุณภาพคำตอบจากฮิวริสติกที่นำเสนอให้ถูกประเมินใน 2 ประเด็นคือ การเปรียบเทียบต้นทุนขนส่งที่ได้จากการจัดเส้นทางแบบปิดกับแบบเปิด และการจัดเส้นทางด้วยฮิวริสติกวิธีการ Insertion กับวิธีการ Nearest neighbor ซึ่งเป็นวิธีทั่วไปที่นิยมใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ผลที่ได้จากการทดสอบในประเด็นแรกพบว่า การจัดเส้นทางแบบเปิดมีความเหมาะสมกับลักษณะปัญหาวิจัยที่เป็นการขนส่งระยะทางไกลซึ่งสามารถลดต้นทุนขนส่งลงโดยเฉลี่ย 28% และการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดด้วยวิธี Insertion heuristic ที่นำเสนอนั้นให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าและต้นทุนการขนส่งต่ำกว่าโดยเฉลี่ย 4% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ให้ค่าต้นทุนที่ต่ำกว่าทุกลักษณะของตัวอย่างการขนส่งที่สร้างขึ้นจากความต้องการขนส่งจริง ส่งผลให้ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพสำหรับการลดต้นทุนการขนส่งของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด ส่วนที่ 2 ของงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจการจัดเส้นทางเดินรถ ประกอบด้วยโครงสร้างฐานข้อมูลและหน้าจอการใช้งานระบบ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทำงานได้อย่างง่ายและรวดเร็ว

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2555

5370383521 : MAJOR INDUSTRRIAL ENGINEERING
KEYWORDS : HEURISTIC / OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM / DECISION SUPPORT SYSTEM

ONPRAPAI JARUPHAT : DECISION SUPPORT SYSTEM FOR OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM. ADVISOR : ASST. PROF. PAVEENA CHAOVALITWONGSE, Ph.D., 106 pp.

This research proposes a decision support system for open vehicle routing problem. What can be found in this research is continuous transportation when there are both pickup and delivery of goods along the whole routes of trucks and each vehicle is not required to return to the depot after servicing to the last customer. They can stop at the end of the trip before starting a subsequent route. This research consists of two parts which are heuristic development and information systems design. Firstly, the proposed heuristic for open vehicle routing is designed to minimize the transportation cost which composes of two steps. The first step is to select transportation requirements based on urgency of delivery while the second step is to construct routes by Insertion heuristic method under loading capacity and time constraints. Two computational experiments are done to evaluate the quality of the heuristic. The first experiment is comparing the transportation cost between open loop routing and closed loop routing. The second experiment is comparing two common methods for route construction, Insertion Method and Nearest Neighbor Method. The result shows that the open vehicle routing is more suitable to the problem which is characterized by transporting in remote areas. This method reduces the cost by 28% on average. Moreover, Insertion heuristic provides better answers compared to the other solutions and it even decreases the transportation cost by 4% on average. The results yield lower cost in all characteristics of all transportation samples, based on actual transportation needs. This leads to the improved heuristic as it reduces the transportation cost of the open vehicle routing. Secondly, this research shows the information systems that support decision making routes; this part consists of database structure and user-friendly interface.

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....
Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีนั้น จากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของบุคคลหลายฝ่าย ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่งต่อ ผศ.ดร. ปวีณา เชาวลิตวงศ์ ที่ได้ให้ความรู้และคำปรึกษา รวมทั้งสละเวลาในการตรวจและให้ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา และขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร. มานพ เรี่ยวเดชะ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร. เหรียญ บุญดีสกุลโชค กรรมการจากภายนอก เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาในการให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นอื่นๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายงานขนส่ง ตลอดจนผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านจากทุกองค์กรที่ได้ให้โอกาสในการศึกษาวิจัยและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดีในการสละเวลาเพื่อที่จะให้ข้อมูลอันพึงเป็นประโยชน์ต่อการทำงานวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณกฤษฎา พัวสกุล และคุณสิรวิชญ์ สว่างนพ ผู้ช่วยวิจัยของศูนย์วิจัย ROM ที่คอยให้คำแนะนำและควบคุมดูแลการทำงานวิจัยฉบับนี้ให้ประสบผลสำเร็จด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจเสมอมาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญภาพ ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 ลักษณะปัญหาวิจัย 5
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 7
1.4 ขอบเขตและข้อสมมติฐานของงานวิจัย 7
1.5 ผลที่ได้รับ 8
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ 8
1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 9
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 11
2.1.1 รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 11
2.1.2 วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ 13
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด 18
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด 19
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 23
3.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย 23
3.2 โครงสร้างข้อมูลในระบบการจัดเส้นทางเดินรถ 27
บทที่ 4 ฮิวริสติกและการทดสอบ 32
4.1 ฮิวริสติก 32
4.1.1 การเลือกความต้องการขนส่ง 35
4.1.2 การจัดเส้นทางขนส่ง 40

หน้า

4.1.2.1 การสร้างเส้นทางเดินรถ 41
4.1.2.2 การกำหนดสถานะแผนขนส่ง 62
4.1.2.3 การกำหนดรายการขนส่งโดย outsource 64
4.2 การทดสอบฮิวริสติก 65
4.2.1 การทดสอบสมมติฐานของการเปลี่ยนรูปแบบเส้นทางขนส่ง 66
4.2.2 การทดสอบคุณภาพของฮิวริสติก 69
บทที่ 5 การออกแบบระบบสารสนเทศ 75
5.1 ฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทาง 75
5.2 หน้าจอการทำงาน 82
5.2.1 การตั้งค่าเบื้องต้น 83
5.2.2 การจัดเส้นทางขนส่ง 88
5.2.3 รายงานการจัดเส้นทางขนส่ง 94
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัย 100
6.1 สรุปผลงานวิจัย 100
6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย 102
6.3 ข้อเสนอแนะ 102
รายการอ้างอิง 103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 106

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 สมมติฐานของระบบ....7
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลความต้องการรับและส่งสินค้า....28
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลยานพาหนะ....28
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางในระบบ....29
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาเดินทางในระบบ....29
ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลสถานะรถตำแหน่งสุดท้ายที่ถูกกำหนดจากแผนครั้งล่าสุด....30
ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างแผนตารางเส้นทางเดินรถและลำดับการขนส่งสินค้า....31
ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย....34
ตารางที่ 4.2 การเลือกข้อมูลที่อยู่ในระยะวางแผนเพื่อจัดเส้นทาง....37
ตารางที่ 4.3 การคำนวณเรียงลำดับงานตามกำหนดส่งมอบช้าสุดที่เร็วสุดของ
ความต้องการขนส่งที่ถูกเลือกมา....38
ตารางที่ 4.4 การคำนวณเวลาหย่อนของงานที่ถูกเลือกมาและมีเวลาช้าสุดเท่ากัน....39
ตารางที่ 4.5 สถานะล่าสุดของรถขนส่งที่ถูกกำหนดเวลาและตำแหน่งสุดท้ายที่รับส่งสินค้า....44
ตารางที่ 4.6 ความต้องการขนส่งที่เรียงลำดับการเลือกข้อมูล....45
ตารางที่ 4.7 เวลาเดินทางระหว่างสถานที่ในระบบ....46
ตารางที่ 4.8 การคำนวณเวลามาถึงในการส่งสินค้าแต่ละลำดับ....46
ตารางที่ 4.9 การตรวจสอบเวลาที่มาถึงเทียบกับเวลากำหนดส่งมอบ....47
ตารางที่ 4.10 ระยะทางระหว่างสถานที่ในระบบ....48
ตารางที่ 4.11 การคำนวณระยะทางและต้นทุนการขนส่ง....48
ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างเส้นทางลำดับการขนส่งที่ได้จัดวางไว้ก่อนหน้า....49
ตารางที่ 4.13 ตัวอย่างการสร้างที่เป็นไปได้ทั้งหมดแบบบางส่วนของรถคันที่ 2....50
ตารางที่ 4.14 การคำนวณน้ำหนักและปริมาตรที่มีอยู่ในแต่ละลำดับการขนส่ง....51
ตารางที่ 4.15 การตรวจสอบเงื่อนไขความจุรถขนส่ง....52
ตารางที่ 4.16 การตรวจสอบเงื่อนไขความจุรถขนส่ง กรณีปฏิเสธทุกเส้นทางของรถทุกคัน....53
ตารางที่ 4.17 ตัวอย่างการคำนวณเวลามาถึงโหนดใดๆ ของแต่ละลำดับการขนส่ง....54
ตารางที่ 4.18 การตรวจสอบเงื่อนไขเวลากำหนดส่งมอบเร็วสุดและช้าสุด อัพเดตเวลามาถึง....56

หน้า

ตารางที่ 4.19 การตรวจสอบเงื่อนไขเวลากำหนดส่งมอบเร็วสุดและช้าสุด
กรณีปฏิเสธทุกเส้นทางของรถทุกคัน.....57
ตารางที่ 4.20 ต้นทุนค่าขนส่งของรถแต่ละคัน.....59
ตารางที่ 4.21 ตัวอย่างต้นทุนขนส่งจากการเลือกเส้นทางต่ำสุดของการแทรกงานครั้งที่ 2.....60
ตารางที่ 4.22 การคำนวณต้นทุนการขนส่งของเส้นทางในการแทรกงานรับส่งสินค้า.....61
ตารางที่ 4.23 การกำหนดสถานะแผนเส้นทางเดินรถขนส่ง.....63
ตารางที่ 4.24 การอัพเดตสถานะของข้อมูลความต้องการขนส่ง.....64
ตารางที่ 4.25 การพิจารณาขนส่งโดย outsource.....65
ตารางที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยระยะทางแบบเปิดด้วยวิธีฮิวริสติกเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางแบบปิด....67
ตารางที่ 4.27 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทะยอยรับเข้าแบบที่ 1.....70
ตารางที่ 4.28 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทะยอยรับเข้าแบบที่ 2.....70
ตารางที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการทำ rolling
เปรียบเทียบระหว่างการจัดเส้นทางโดย Insertion heuristic กับ Nearest neighbor.....72
ตารางที่ 5.1 ฐานข้อมูลการตั้งค่าข้อมูลวางแผน.....75
ตารางที่ 5.2 ฐานข้อมูลรถขนส่ง.....76
ตารางที่ 5.3 ฐานข้อมูลสถานที่.....76
ตารางที่ 5.4 ฐานข้อมูลระยะทางระหว่างสถานที่.....77
ตารางที่ 5.5 ฐานข้อมูลระยะเวลาเดินทางระหว่างสถานที่.....77
ตารางที่ 5.6 ฐานข้อมูลสถานะรถขนส่งสำหรับวางแผน.....78
ตารางที่ 5.7 ฐานข้อมูลการติดตามรถขนส่ง.....78
ตารางที่ 5.8 ข้อมูลจากการติดตามยานพาหนะที่จะต้องทำการเปรียบเทียบ.....79
ตารางที่ 5.9 ฐานข้อมูลความต้องการขนส่ง.....79
ตารางที่ 5.10 ฐานข้อมูลแผนเส้นทางขนส่ง.....80
ตารางที่ 5.11 ฐานข้อมูลแผนขนส่งโดย outsource.....81

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 สัดส่วนต้นทุนลอจิสติกส์ 1
ภาพที่ 1.2 รูปแบบการขนส่งตรง 2
ภาพที่ 1.3 การจัดเส้นทางเดินรถแบบปิดที่ไม่สามารถขนส่งระยะทางไกล 3
ภาพที่ 1.4 การจัดเส้นทางแบบปิดและการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด 4
ภาพที่ 2.1 การส่งสินค้าไปยังจุดต่างๆที่มีจุดปล่อยรถหลายแห่ง 20
ภาพที่ 3.1 รูปแบบการวางแผนเส้นทางขนส่งล่วงหน้า 24
ภาพที่ 3.2 ภาพรวมของแนวคิดกระบวนการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า 25
ภาพที่ 3.3 โครงสร้างของข้อมูลในระบบการจัดเส้นทางเดินรถ 27
ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างระยะเวลาวางแผนและระยะเวลากำหนดแผน 30
ภาพที่ 4.1 ภาพรวมของกระบวนการจัดเส้นทางขนส่ง 33
ภาพที่ 4.2 ขั้นตอนการเลือกความต้องการขนส่งมาจัดเส้นทาง 36
ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างแสดงสถานะงานค้างส่ง 37
ภาพที่ 4.4 ขั้นตอนการสร้างเส้นทางเดินรถ 42
ภาพที่ 4.5 ขั้นตอนการกำหนดสถานะแผนขนส่งและความต้องการขนส่ง 62
ภาพที่ 4.6 ขั้นตอนการเลือกความต้องการขนส่งโดย outsource 64
ภาพที่ 4.7 ปัจจัยทางด้านลักษณะการตั้งของสถานที่ 66
ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะทางระหว่าง
การจัดเส้นทางแบบเปิดกับแบบปิด 68
ภาพที่ 4.9 การคำนวณต้นทุนปรับเส้นทางและต้นทุนเส้นทางสุทธิ 71
ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยต้นทุนขนส่งที่ได้จากการปรับเส้นทางและการจัดเส้นทางเพียงครั้งเดียว 73
ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบระหว่าง Insertion heuristic กับ Nearest neighbor 73
ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฐานข้อมูลในระบบ 82
ภาพที่ 5.2 หน้าจอการทำงานในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลกระบวนการจัดเส้นทางขนส่ง 83
ภาพที่ 5.3 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถ
ในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลสถานที่ 84
ภาพที่ 5.4 หน้าจอระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางตั้งต่าเบื้องต้นของข้อมูลเส้นทางระหว่างจุด 85

หน้า

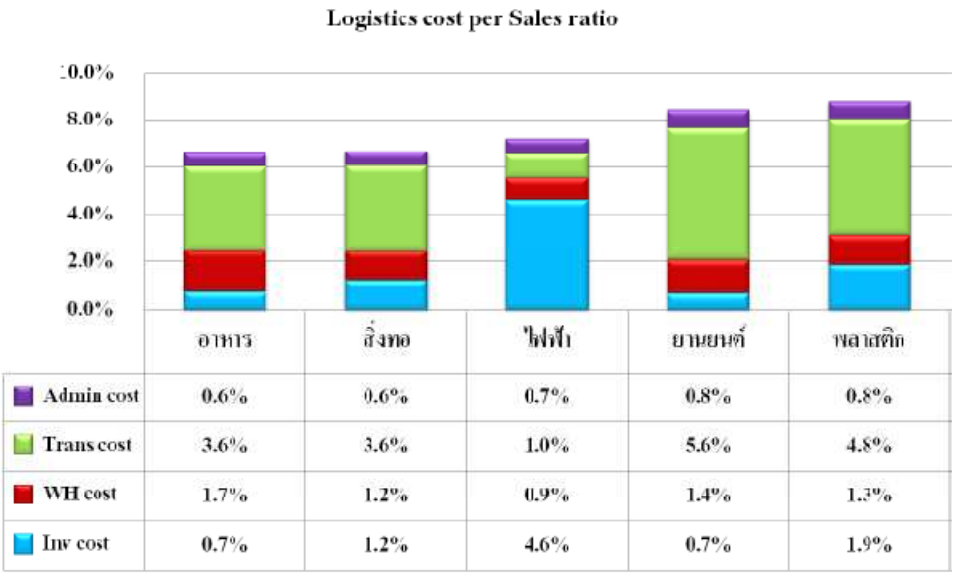
ภาพที่ 5.5 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถ
ในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลระยะเวลาเดินทางระหว่างจุด.....86
ภาพที่ 5.6 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถ
ในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลรถขนส่ง 87
ภาพที่ 5.7 หน้าจอการทำงานระบบสนับสนุนการจัดเส้นทาง
ในการนำเข้าข้อมูลความต้องการขนส่ง.....89
ภาพที่ 5.8 หน้าจอการทำงานระบบสนับสนุนการจัดเส้นทาง
แสดงสถานะรถขนส่งสำหรับวางแผน 91
ภาพที่ 5.9 หน้าจอการทำงานระบบสนับสนุนการจัดเส้นทาง
แสดงผลของแผนการจัดเส้นทางขนส่ง 92
ภาพที่ 5.10 หน้าจอการทำงานระบบสนับสนุนการแสดงผลรายการขนส่งโดย outsource.....93
ภาพที่ 5.11 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถ
ในการแสดงผลรายงานต้นทุนการขนส่ง.....94
ภาพที่ 5.12 หน้าจอการทำงานในการแสดงผลรายงานต้นทุนการขนส่งโดย outsource.....96
ภาพที่ 5.13 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถ
ในการแสดงผลรายงานสัดส่วนต้นทุนการขนส่งรถบริษัทกับ outsource.....96
ภาพที่ 5.14 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถ
ในการแสดงผลรายงานการใช้ประโยชน์รถขนส่งบริษัท 98

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการขนส่งเข้ามามีบทบาทสำคัญมากยิ่งขึ้นในการสนับสนุนธุรกิจให้สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้งในส่วนของการจัดหาวัตถุดิบ การผลิตและการจัดจำหน่าย ในหลายธุรกิจต้นทุนการขนส่งนับเป็นต้นทุนที่สำคัญและกระทบต่อต้นทุนรวมลอจิสติกส์ ดังภาพที่ 1.1 แสดงถึงสัดส่วนของต้นทุนลอจิสติกส์ จะเห็นได้ว่าในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีต้นทุนการขนส่ง (transportation cost) เป็นสัดส่วนที่สูงสุด



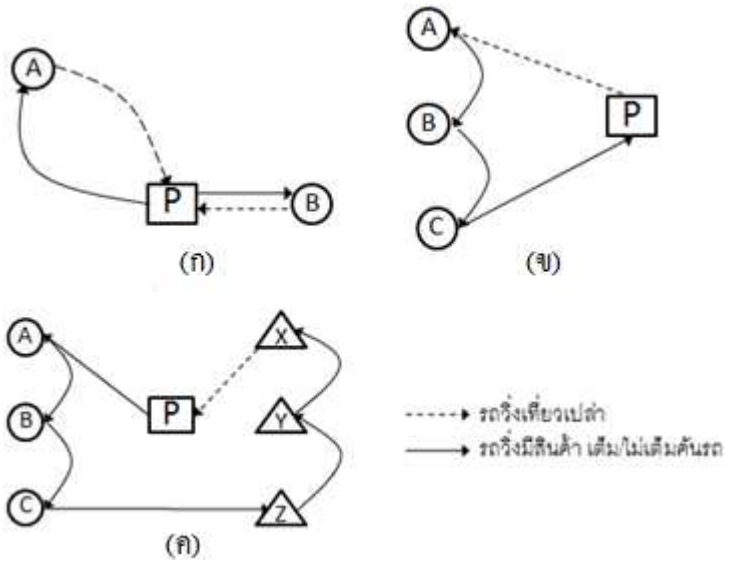
	อาหาร	สิ่งทอ	ไฟฟ้า	ยานยนต์	พลาสติก
Admin cost	0.6%	0.6%	0.7%	0.8%	0.8%
Trans cost	3.6%	3.6%	1.0%	5.6%	4.8%
WH cost	1.7%	1.2%	0.9%	1.4%	1.3%
Inv cost	0.7%	1.2%	4.6%	0.7%	1.9%

ภาพที่ 1.1 สัดส่วนต้นทุนลอจิสติกส์

(ที่มา: สำนักโลจิสติกส์ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กระทรวงอุตสาหกรรม, 30 กันยายน 2553)

โดยถ้ามองเฉพาะในส่วนของทางด้านลอจิสติกส์ต้นทุนการขนส่งจึงเป็นสิ่งที่ควรจะทำการปรับปรุงมากที่สุดเพื่อการแข่งขันทางธุรกิจ จากการศึกษากระบวนการจัดการที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งของโรงงานตัวอย่าง 3 แห่ง พบว่า ปัญหาของการจัดเส้นทางเดินรถและปัญหาของประสิทธิภาพเครื่องมือที่ช่วยในการสนับสนุนการตัดสินใจการจัดเส้นทางเดินรถ เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งมีค่าสูง

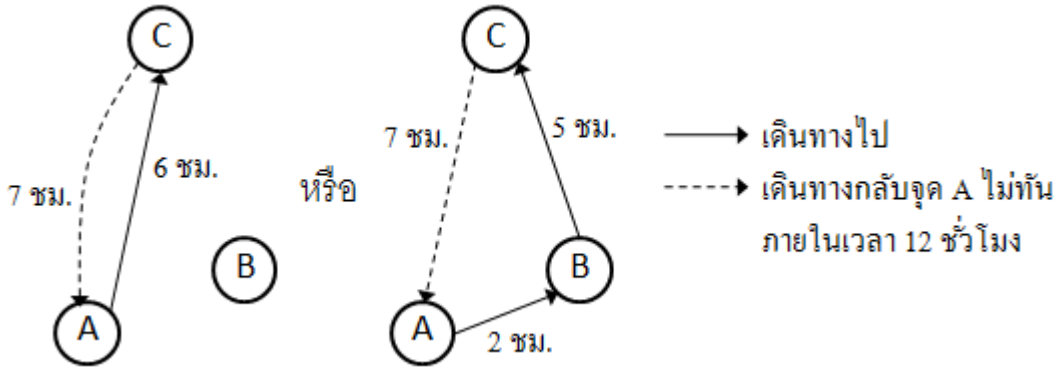
การจัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาของการออกแบบวิธีการขนส่งให้เหมาะสมกับลักษณะและพฤติกรรมของความต้องการขนส่งที่เกิดขึ้น ซึ่งวิธีการขนส่งโดยรถบรรทุกมีด้วยกันหลากหลายวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาตามลำดับของโครงสร้างธุรกิจที่เปลี่ยนไปและตามการเปลี่ยนแปลงของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่เป็นส่วนช่วยสนับสนุนการดำเนินงานขนส่ง จากเดิมวิธีการขนส่งที่ง่ายสุดคือ การขนส่งแบบขนส่งตรง (direct shipment) คือ การขนส่งสินค้าจากโรงงานเต็มคันรถตรงไปให้ลูกค้าแต่ละราย ดังภาพที่ 1.2 (ก) การส่งสินค้าจากโรงงาน P ไปยังลูกค้า A และ B ข้อเสียของวิธีการขนส่งตรงถ้าทำการขนส่งสินค้าไม่เต็มคันรถต้นทุนการขนส่งก็จะสูงจึงเป็นสาเหตุให้มีการพัฒนาวิธีการขนส่งต่อมาเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง ซึ่งวิธีการขนส่งที่ถูกใช้นำมาแก้ไขปัญหานี้คือ การขนส่งตรงแบบ milk runs เป็นการขนส่งแบบรวบรวมและกระจายสินค้า ประกอบด้วยการขนส่งตรง 3 แบบ ได้แก่ 1) รวบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้ารายเดียว ตัวอย่างเช่น ทางโรงงานจะจัดรถบรรทุกในการวิ่งออกไปรับวัตถุดิบจากผู้ผลิตวัตถุดิบ (suppliers) แต่ละรายตามเส้นทางที่จัดไว้และทำการนัดหมายช่วงเวลาในการรับวัตถุดิบ เมื่อรถบรรทุกรับของจาก supplier ครบทุกรายในเส้นทางที่จัดไว้แล้วก็จะเดินทางกลับมายังโรงงานดังภาพที่ 1.2 (ข) 2) การขนส่งตรงจากโรงงานไปให้ลูกค้าหลายราย และ 3) การขนส่งตรงแบบรวมสินค้าจากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้าหลายรายดังภาพที่ 1.1 (ค) (Du, Wang และ Lu, 2007)



ภาพที่ 1.2 รูปแบบการขนส่งตรง (ก) direct shipment (ข) และ (ค) milk runs

ซึ่งจากการศึกษาลักษณะความต้องการขนส่งของโรงงานตัวอย่างพบว่า วิธีการขนส่งแบบรวบรวมสินค้า (milk runs) นี้ยังไม่เพียงพอสำหรับในการแก้ปัญหาของการลดต้นทุนการขนส่ง เนื่องจากไม่สามารถตอบสนองต่อการขนส่งที่มีระยะทางไกลได้และเป็นความต้องการขนส่งที่มี

เพิ่มขึ้นด้วย เพราะข้อจำกัดของการจัดเส้นทางเดินรถที่จะต้องให้รถขนส่งกลับมายังจุดปล่อยรถภายในเวลาที่กำหนดจึงทำให้ความต้องการขนส่งระยะไกลนั้นไม่สามารถทำได้ดังภาพที่ 1.3 การเดินรถแบบปิดที่มีข้อจำกัดเวลาทำงาน 12 ชั่วโมง ซึ่งการจัดเส้นทางแบบปิดจาก A ไป C ไม่สามารถดำเนินการได้เพราะใช้เวลาไปกลับเกิน 12 ชั่วโมง ต้องจ้างผู้ขนส่งภายนอกมาดำเนินการแทนด้วยราคาค่าใช้จ่ายที่สูง

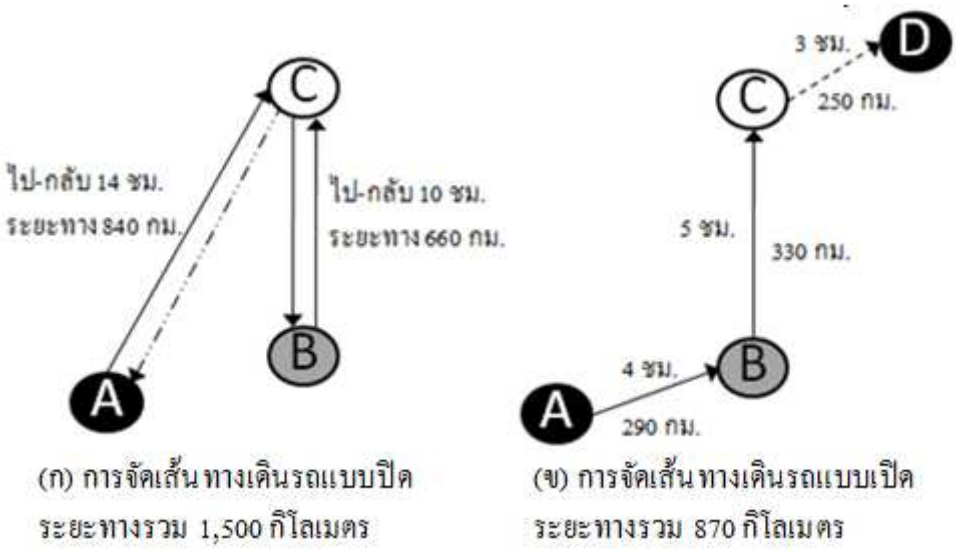


ภาพที่ 1.3 การจัดเส้นทางเดินรถแบบปิดที่ไม่สามารถขนส่งระยะทางไกล

สาเหตุที่ทำให้ความต้องการขนส่งทางไกลมีมากขึ้นเพราะจากโครงสร้างทางธุรกิจของอุตสาหกรรมมีการพัฒนาปรับเปลี่ยนรูปแบบไปจากเดิมที่มีลักษณะการผลิตสินค้าแบบโรงงานเดี่ยวสามารถดำเนินงานทุกกิจกรรมได้ด้วยตนเอง ซึ่งโรงงานหลักส่วนมากจะตั้งอยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑลหรือบริเวณจังหวัดใกล้เคียง แต่ด้วยสภาพเศรษฐกิจที่ขยายตัวและเปลี่ยนแปลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องค่าจ้างแรงงานของกรุงเทพฯที่มีการปรับตัวสูงขึ้นส่งผลต่อธุรกิจจะต้องทำการปรับตัวเพื่อการอยู่รอด ทำให้มีการขยายฐานกำลังการผลิตกระจายออกไปยังพื้นที่ส่วนต่างๆ ของประเทศไทยในรูปแบบของโรงงานเครือข่าย (network plants) มากขึ้นจากข้อมูลสถิติโรงงานอุตสาหกรรมของกรมโรงงานปี 2555 จำนวนโรงงานร้อยละ 75 ประกอบกิจการในภูมิภาค อีกทั้งการผลิตยังมีการจ้างงานผู้รับจ้างผลิตภายนอกในเขตภูมิภาค เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนค่าแรงงาน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นถึงโอกาสที่มีความเป็นไปได้ของการลดต้นทุนการขนส่งของทั้งภาพรวมที่ลักษณะการขนส่งในกลุ่มอุตสาหกรรมมีการเดินทางระหว่างกันในแต่ละแห่งที่ตั้งห่างไกลกันออกไป ซึ่งรูปแบบความต้องการขนส่งมีความเหมาะสมต่อการนำวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดมาประยุกต์จัดการขนส่ง เนื่องจากการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดนั้นรถขนส่งไม่จำเป็นจะต้องกลับมายังจุดเริ่มต้น ซึ่งสามารถลดระยะทางการเดินทางย้อนกลับโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการ

ขนส่งหลายคันจะทำให้ประหยัดระยะทางรวมลงได้มากและลดต้นทุนการขนส่งของการจ้างงานระยะทางไกลโดยผู้รับจ้างขนส่ง เพราะรถขนส่งสามารถทำการขนส่งสินค้าระยะทางไกลได้เองโดยไม่มีข้อจำกัดเรื่องการย้อนกลับจุดเริ่มต้นให้ทันภายในเวลาที่กำหนด อีกทั้งยังสามารถที่จะรวมการขนส่งเข้าด้วยกันหลายงาน ซึ่งทำให้ระยะทางการขนส่งรวมที่ได้จะลดลงเมื่อเทียบกับการแยกขนส่งแต่ละคัน ดังเช่นภาพที่ 1.4 (ก) เดิมงานขนส่งของ 2 เส้นทางจาก A ไป C และจาก B ไป C ต้องใช้รถขนส่ง 2 คัน และงาน AC ไม่สามารถทำได้จากข้อจำกัดของสมมติฐานการจัดเส้นทางเดินรถแบบปิดที่รถขนส่งจะต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นภายในเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อเปลี่ยนวิธีการจัดเส้นทางขนส่งแบบเปิด (ข) งานขนส่งระยะไกล AC สามารถดำเนินการได้และยังสามารถรวมงานขนส่งจาก 2 เส้นทางเข้าไว้ด้วยกันและภายในเวลา 12 ชั่วโมงที่เท่ากันสามารถขนส่งงาน CD ได้เพิ่มขึ้น เมื่อรถขนส่งออกจากจุด A และหยุดลงที่จุด D ทำให้ระยะทางรวมที่ได้ลดลง



ภาพที่ 1.4 การจัดเส้นทางแบบปิดและการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด

นอกจากนี้จากการศึกษาพฤติกรรมความต้องการขนส่งของโรงงานเครื่องนุ่งห่มตัวอย่างพบว่าข้อมูลนำเข้าของงานขนส่งมีการเปลี่ยนแปลงได้หลังจากที่ทำการจัดเส้นทางแล้ว ทำให้ต้องมีการปรับเส้นทางเพื่อให้รองรับกับงานขนส่งทั้งหมด ซึ่งรูปแบบการเดินรถแบบปิดนั้นมีความสามารถในการตอบสนองต่อการปรับเส้นทางได้น้อยทำให้เส้นทางที่ได้ใหม่มีค่าต้นทุนการขนส่งรวมที่สูงและต้องพึ่งพาผู้รับจ้างภายนอกในบางกรณี โดยเมื่อเทียบกับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่มีข้อได้เปรียบคือการไม่กำหนดจุดสิ้นสุดการทำงานที่ตายตัวทำให้เส้นทางขนส่งมีความยืดหยุ่นที่จะสามารถปรับเส้นทางได้ดีกว่าและให้ค่าต้นทุนการขนส่งรวมที่ต่ำอีกด้วย

ในส่วนของระบบสนับสนุนการตัดสินใจการจัดเส้นทางเดินรถที่เป็นสาเหตุให้มีต้นทุนการขนส่งสูง เพราะจากการศึกษาวิธีการดำเนินงานของบริษัทตัวอย่าง 3 แห่งพบว่า การวางแผนเส้นทางเดินรถเป็นการใช้ประสบการณ์ของพนักงานและไม่มีแบบแผนขั้นตอนเกณฑ์การตัดสินใจที่แน่ชัด โดยวิธีการนี้อาจเหมาะสำหรับกรณีที่มีข้อมูลจำนวนรายการขนส่งน้อย ซึ่งจากแนวทางการบริหารการขนส่งแบบปลายเปิดของทั้งภาพรวม การที่จะต้องวางแผนดำเนินการของทั้งเครือข่าย (network plants) จะต้องใช้ข้อมูลจำนวนมากจากหลายส่วนงานประมวลผลร่วมกัน เช่น การจัดลำดับความสำคัญของความต้องการการขนส่ง การจัดลำดับการรับส่งสินค้าให้เหมาะสมกับจำนวนรถขนส่งที่มีอยู่ เป็นต้น วิธีการทำงานแบบเดิมอาจจะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ คือ จะต้องใช้เวลานานในการวางแผนและผลลัพธ์ที่ได้ออกมาอาจจะทำให้มีต้นทุนการขนส่งที่สูง หากต้องการลดต้นทุนการขนส่งจำเป็นจะต้องมีระบบที่ช่วยทำให้ผู้วางแผนสามารถดำเนินการวางแผนเส้นทางการเดินรถขนส่งได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้นโดยมีหลักการคิดที่เป็นขั้นตอนชัดเจนซึ่งต้องอาศัยฐานข้อมูลต่างๆสนับสนุน ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการออกแบบระบบสนับสนุนกระบวนการตัดสินใจสำหรับการวางแผนเส้นทางเดินรถขนส่งแบบเปิดที่เหมาะสม เพื่อช่วยลดเวลาในการดำเนินงาน

1.2 ลักษณะปัญหาวิจัย

ปัญหาของงานวิจัยนี้เป็นปัญหาของกระบวนการตัดสินใจการจัดเส้นทางขนส่งที่มีรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (open vehicle routing problem) มาประยุกต์ใช้กับการวางแผนเส้นทางขนส่งของเครือข่ายธุรกิจอุตสาหกรรมที่ตั้งอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ซึ่งทำให้มีจุดปล่อยรถหลายแห่งและความจำเป็นในการขนส่งระหว่างกัน โดยเส้นทางขนส่งที่สร้างขึ้นอยู่ในรูปแบบการขนส่งอย่างต่อเนื่องที่รถขนส่งสามารถทำงานได้ตลอดเวลาและสามารถเริ่มต้น ณ ที่จุดใดก็ได้ โดยไม่จำเป็นจะต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นเสมอทุกครั้ง ซึ่งกิจกรรมการขนส่งที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นทางเป็นทั้งรับและส่งสินค้า (pickups and deliveries) ที่ไม่มีการกำหนดรูปแบบที่แน่นอนเป็นความต่างจากการขนส่งทั่วไปที่ศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ข้อมูลที่เกิดขึ้นจะเป็นทั้งความต้องการให้รับสินค้าจากแห่งหนึ่งและความต้องการนำส่งสินค้าไปยังอีกแห่งหนึ่ง จึงมีการกำหนดส่งมอบเป็นช่วงเวลาเริ่มต้นรับสินค้า (earliest time) ถึงเวลาช้าสุดที่ส่งสินค้าได้ (latest time) อีกทั้งข้อมูลความต้องการขนส่งเป็นข้อมูลอนาคตที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ (dynamic transportation requirements) จึงต้องทำการปรับแผนเส้นทางเดินรถ (rolling) ทุกครั้งที่มีข้อมูลใหม่เข้ามาในระบบเพื่อให้ทุกความต้องการขนส่งสามารถดำเนินการขนส่งสินค้าได้ทันเวลาพอดี นอกจากนี้สินค้าที่ศึกษาในงานวิจัยมีลักษณะหลากหลาย เช่น สินค้าขนาดใหญ่น้ำหนักเบา สินค้าขนาดใหญ่น้ำหนัก

มาก หรือสินค้าขนาดเล็กน้ำหนักมาก เป็นต้น จึงต้องมีการพิจารณาความต้องขนส่งทั้ง 2 มิติ คือ ปริมาตรและน้ำหนัก เนื่องจากว่างานวิจัยนี้มีการกำหนดจุดปล่อยรถหลายแห่งจึงมีเส้นทางเดินรถเป็นจำนวนมากและวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ต้องการลดต้นทุนการขนส่งรวม เพราะฉะนั้นเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาเส้นทางขนส่งจึงเป็นต้นทุนการขนส่งที่เกิดขึ้นจากเส้นทางทั้งหมดรวมกันที่มีค่าต่ำสุดหลังจากการเปรียบเทียบเส้นทางที่เป็นไปได้ โดยการจัดเส้นทางเดินรถต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุของรถขนส่ง (capacity constraint) และข้อจำกัดของงานขนส่งด้านกรอบเวลาในการรับส่งสินค้า (time window constraint)

ในส่วนการบริหารการขนส่งที่เป็นส่วนสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถของงานวิจัยครั้งนี้จะอยู่บนข้อสมมติฐานที่ว่าระบบถูกสร้างขึ้นบนสมมติฐานของแนวคิดของการบริหารการขนส่งแบบรวมศูนย์ที่มีระบบสนับสนุนข้อมูลที่เป็นศูนย์กลาง โดยมีโรงงานหลักเป็นส่วนกลางในการควบคุมการขนส่งและเป็นผู้ดำเนินการวางแผนเส้นทางเดินรถที่อาศัยฐานข้อมูลจากระบบติดตามยานพาหนะและข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง เช่น 1) เส้นทางมีระยะทางระหว่างสถานที่และจุดจอดพักรถ 2) กองรถบรรทุกมีขนาดความจุและต้นทุนขนส่งของรถแต่ละคัน โดยรถขนส่งในระบบที่ใช้จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ รถภายในของบริษัทมีอยู่จำนวนจำกัด และอีกส่วนจะเป็นรถรับจ้างภายนอกเป็นรายครั้งไม่จำกัดจำนวน เพื่อสอดคล้องกับสมมติฐานที่สามารถรองรับความต้องการการขนส่งได้หมดโดยไม่มีการส่งงานช้ากว่ากำหนดและไม่มีการปฏิเสธงาน 3) ความต้องการขนส่งจากลูกค้าที่ระบุข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสินค้า ต้นทาง-ปลายทาง วันกำหนดส่งมอบ ซึ่งความต้องการการขนส่งที่รับเข้ามาจะมีกำหนดการส่งมอบแบบทั้งที่ระบุเป็นรายวันและกำหนดการส่งมอบแบบเป็นช่วงวัน ตัวอย่างเช่น กำหนดส่งมอบภายในวันที่ 1-3 ตุลาคม 2555

จากลักษณะปัญหางานวิจัยจึงทำให้งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดของการรับและส่งสินค้า โดยการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดในการวิจัยนี้เป็นการหาคำตอบโดยใช้วิธีฮิวริสติกและนำเสนอหลักการวิธีฮิวริสติกในรูปแบบของแผนผังการไหลข้อมูล (Flow Diagram) 2. การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจการจัดเส้นทางเดินรถ มีการออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล (Data base structure) และหน้าจอแสดงผลลัพธ์จากการประมวลผล (User Interface) ซึ่งจะบ่งบอกถึงรายละเอียดต่างๆ ของสินค้า ลำดับการส่งสินค้า เวลาดำเนินงาน และต้นทุนการขนส่ง เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถทำการวางแผนการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อนำเสนอระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem) โดยเป็นการประยุกต์ใช้และนำเสนอฮิวริสติก (Heuristic) ช่วยในการหาคำตอบ เพื่อลดต้นทุนการขนส่งโดยรวม

1.4 ขอบเขตและข้อสมมติฐานของงานวิจัย

- งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่ครอบคลุม
  - ขั้นตอนหลักการคิดคำนวณ (logic) การวางแผนจัดเส้นทางเดินรถรับและส่งสินค้าตามความต้องการของลูกค้า เพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายการเดินทางต่ำ ผลลัพธ์ของกระบวนการจัดเส้นทาง คือ ตารางแผนเส้นทางเดินรถและลำดับการขนส่งสินค้า
  - การออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล (database) ที่จำเป็นของระบบ ซึ่งเกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดในการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ
  - การออกแบบหน้าจอการทำงาน (User interface) สำหรับผู้ใช้งาน ซึ่งจะแสดงรายละเอียดการนำเข้าข้อมูล ผลลัพธ์และรายงานจากการจัดเส้นทาง
- รถขนส่งสามารถเริ่มต้นและสิ้นสุดการเดินทาง ณ จุดใดก็ได้ตามที่กำหนดไว้ เมื่อหมดรอบการทำงานรถไม่จำเป็นจะต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นเดิม
- รถขนส่งสามารถเดินทางได้ตลอดเวลา (24 ชั่วโมง) ไม่มีเวลาสิ้นสุดแน่นอน จะหยุดเมื่อไม่มีการมอบหมายงานให้กับรถขนส่งเพิ่มเติม
- ไม่พิจารณากรณีฉุกเฉินระหว่างการเดินทาง และสมมติให้รถทำงานได้ตามเวลาที่กำหนด
- ระบบสมมติให้มีรถและพนักงานขับรถพร้อมใช้งานตลอดเวลา
- สมมติฐานของระบบแสดงดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สมมติฐานของระบบ

หัวข้อ	รายละเอียด
สถานที่	- ทุกโหนดในระบบสามารถดำเนินการรับส่งสินค้าได้ตลอดเวลา - ทุกโหนดในระบบสามารถเป็นจุดพักรถได้เหมือนกัน
ความต้องการรับส่งสินค้า	- กำหนดการส่งมอบทั้งระบุเป็นรายวันและเป็นช่วง - ปริมาตรและน้ำหนักไม่เกินขนาดความจุของรถบรรทุก
ยานพาหนะ	รถขนส่งประกอบด้วย 2 ส่วนคือ รถโรงงานมีอยู่จำนวนจำกัด และรถรับจ้างภายนอกเป็นรายครั้งมีจำนวนไม่จำกัด

เวลา	พิจารณาเฉพาะเวลาเดินทางเท่านั้น ไม่พิจารณาเวลาขนถ่ายสินค้าถือว่ามีน้อยมาก เนื่องจากสมมติฐานของสินค้ามีความพร้อมขนส่งได้ทันที
ต้นทุน	- ต้นทุนการขนส่งเป็นต้นทุนแปรผัน (variable cost) จะแปรผันตามระยะทาง ไม่พิจารณาถึงต้นทุนคงที่และต้นทุนการรอขนส่ง
เส้นทางการขนส่ง	- ระยะทางระหว่างสถานที่ A ไป B ไม่จำเป็นต้องเท่ากับ B ไป A จากสมมติฐานข้อมูลระยะทางการติดตามยานพาหนะ
สินค้า	- สินค้าที่ทำการขนส่งจะพิจารณาเพียงแค่น้ำหนักและปริมาตร - ไม่มีเงื่อนไขพิเศษในการขนส่ง ทุกสินค้าขนส่งรวมกันได้หมด - สินค้ามีความพร้อมในการขนส่ง เวลาขนถ่ายมีค่าน้อยมากไม่นำมาคิด

1.5 ผลที่ได้รับ

1) กระบวนการช่วยในการตัดสินใจในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้า โดยมีต้นทุนการขนส่งรวมต่ำและเป็นไปตามข้อจำกัดที่พิจารณา (ความจุรถขนส่ง กรอบเวลากำหนดการรับส่งสินค้า) รวมถึงมีความรวดเร็วในการตัดสินใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการจัดลำดับการรับและส่งสินค้าได้
2) แนวทางการออกแบบหน้าจอการทำงานระบบสารสนเทศของการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่จำเป็นสำหรับการดำเนินการในการจัดเก็บ ประมวลผลข้อมูล และแสดงผลลัพธ์ที่ได้ โดยมีการออกแบบองค์ประกอบของเนื้อหาให้เหมาะสมต่อผู้ใช้งานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1) ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นช่วยตัดสินใจวางแผนการใช้ทรัพยากรได้อย่างคุ้มค่าและเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน
2) ลดต้นทุนการขนส่งด้านของค่าใช้จ่ายในการเดินทางและสามารถตอบสนองต่อความต้องการขนส่งได้
3) โปรแกรมที่ออกแบบโครงสร้างฐานข้อมูล (Database) และหน้อจอผู้ใช้งานระบบ (User interface) ที่พัฒนาขึ้น เป็นเครื่องมือที่สามารถลดความยุ่งยากในการดำเนินงาน

1.7 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย		วิธีการดำเนินงานวิจัย	ผลลัพธ์
1. ศึกษาข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งของอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม	1.1 ข้อมูลความเชื่อมโยงของอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มโดยรวม	ศึกษาข้อมูลจากอินเตอร์เน็ต สอบถามผู้รู้	ความสัมพันธ์เชื่อมโยงภายในของอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม ทำเลที่ตั้งฐานการผลิต
	1.2 ศึกษาลักษณะของการขนส่งสินค้า	สัมภาษณ์เจ้าหน้าที่หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งจากโรงงานตัดเย็บเสื้อผ้า	ข้อมูลลักษณะการขนส่งสินค้าภายในของอุตสาหกรรมของแต่ละโรงงาน
2. การออกแบบแนวคิดการดำเนินงานวิจัย	2.1 วิเคราะห์สาเหตุของปัญหา	สรุปข้อมูลที่ได้จากการศึกษา	กำหนดลักษณะของปัญหาวิจัย
	2.2 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการดำเนินวิจัย	ข้อมูลด้านทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ลักษณะของปัญหาและการแก้ไขปัญหา
	2.3 ออกแบบแนวคิดการจัดเส้นทางขนส่ง	ประยุกต์ข้อมูลจากการศึกษาปัญหาวิจัยและแนวทางดำเนินงานจากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พิจารณาในภาพรวม	ภาพรวมของแนวคิดการวางแผนการจัดเส้นทางเดินรถ และลักษณะข้อมูลที่นำมาใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้น
3. การออกแบบรายละเอียดการจัดเส้นทาง	การออกแบบวิธีการจัดเส้นทางรายละเอียดการคำนวณ	ประยุกต์ใช้ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและออกแบบวิธีการคำนวณจากลักษณะข้อมูลนำเข้า	ขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางขนส่ง

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย		วิธีการดำเนินงานวิจัย	ผลลัพธ์
4. การออกแบบระบบสารสนเทศ	4.1 ทบทวนขั้นตอนการคำนวณของวิธีการจัดเส้นทาง	ทบทวนข้อมูลที่เกี่ยวข้องในแต่ละขั้นตอนเพื่อใช้ประมวลผล	รายการข้อมูลต่างๆที่ระบบต้องการเพื่อใช้ประมวลผล
	4.2 ออกแบบหน้าจอการทำงานสำหรับนำเข้าข้อมูลและแสดงการประมวลผล	- จำแนกข้อมูลออกเป็นกลุ่มๆ ตามความเหมาะสม - กำหนดลักษณะของหน้าจอการทำงาน	โครงร่างหน้าจอการทำงาน
5. การวิเคราะห์และสรุปผล	5.1 วิเคราะห์ผลที่ได้จากฮิวริสติกที่ใช้ในการคำนวณ	- ออกแบบปัจจัยที่ใช้ในการทดสอบ - ออกแบบวิธีการทดสอบคุณภาพของฮิวริสติก	แนวทางการประยุกต์ใช้งานการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติก
	5.2 สรุปผลงานวิจัย	สรุปข้อมูลสาระสำคัญของงานวิจัย	บทสรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทนี้เป็นการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยทั่วไปถึงรูปแบบของปัญหาและวิธีการหาคำตอบของงานวิจัยที่ผ่านมา แล้วจึงเป็นการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (open vehicle routing problem: OVRP) ที่งานวิจัยนี้ให้ความสนใจในการศึกษาสำหรับการแก้ปัญหาของการลดต้นทุนการขนส่งซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้

2.1 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ปัญหาการจัดเส้นทางเป็นปัญหาที่ได้รับการศึกษาอย่างมากและเป็นงานวิจัยด้านการดำเนินงาน (Operations Research) โดยตัวปัญหาจะถูกพิจารณาออกเป็น 2 ประเภท ตามการศึกษาของ Larsen , Madsen และ Solomon (2007) ได้แก่ 1) ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีความแน่นอน (Deterministic) ซึ่งทราบข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดก่อนเริ่มทำการจัดเส้นทางและไม่เปลี่ยนแปลง 2) ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีความไม่แน่นอน (Dynamic) ข้อมูลอาจเปลี่ยนแปลงได้และจะทะยอยกันออกมาในระหว่างที่ทำการจัดเส้นทาง โดยปัญหาการจัดเส้นทางที่มีการศึกษาและรู้จักอย่างกว้างขวางที่สุด คือ ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย 1 คน (The Traveling Salesman Problem : TSP) พนักงานขายต้องเดินทางไปยังเมืองต่างๆ แต่ละเมืองไปได้เพียง 1 ครั้ง แล้วต้องกลับมายังเมืองเดิมที่เริ่มต้น โดยเส้นทางต้องมีค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด

ปัญหาที่เป็นกรณีทั่วไปของปัญหา TSP คือ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) โดยจะมีรถที่ใช้ในการเดินทางมากกว่า 1 คัน เริ่มจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถพื้นฐาน (Classical VRP) จะเป็นการจัดเส้นทางเดินรถให้ผ่านไปยังจุดรับให้ครบทุกจุดด้วยค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำที่สุด เพื่อให้ปัญหามีความเป็นจริงในการปฏิบัติงานมากขึ้นจึงมีการเพิ่มเงื่อนไขข้อจำกัดต่างๆที่สอดคล้องกับสถานการณ์จริงของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งทำให้แตกแขนงรูปแบบของปัญหาไว้หลากหลายรูปแบบ

2.1.1 รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

การศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด สามารถจำแนกออกได้หลายรูปแบบตาม

ข้อจำกัดต่างๆ และลักษณะการขนส่ง ทำให้ปัญหามีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นเป็นปัญหาต่างๆ ดังนี้ (Toth และ Vigo, 2001)

1. Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)

   ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีข้อจำกัดเรื่องความจุของรถที่ใช้ในการขนส่ง โดยมีเงื่อนไขในการแก้ปัญหาคือ ปริมาณบรรทุกรวมในเส้นทางการขนส่งจะต้องไม่เกินความสามารถบรรทุกสูงสุดที่รถสามารถทำได้

2. Multiple Depot VRP (MDVRP)

   ลักษณะปัญหา VRP ที่มีจุดกระจายสินค้าหลายจุดโดยแต่ละจุดจะมีรถประจำอยู่ เมื่อรถทำการขนส่งสินค้าเสร็จเรียบร้อยจะกลับมายังจุดกระจายสินค้าเดิม เงื่อนไขในการแก้ปัญหาคือ จะต้องมีการจัดสรรลูกค้าให้แก่จุดกระจายสินค้า แล้วจึงจัดเส้นทางของกลุ่มลูกค้า

3. VRP with Time Windows (VRPTW)

   ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เพิ่มข้อจำกัดเรื่องเวลา โดยลูกค้าจะเป็นผู้กำหนดเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในการรับส่งสินค้า ซึ่งการขนส่งสินค้าจะต้องให้บริการภายในกรอบเวลาส่งมอบเท่านั้น

4. VRP with Pickup and Delivering (VRPPD)

   ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่รถบรรทุกสามารถเดินทางไปส่งสินค้าและรับสินค้าจากลูกค้าโดยปริมาณที่บรรทุกต้องไม่เกินความจุของรถ

5. VRP with Backhauls (VRPB)

   ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีการบรรทุกเที่ยวกลับ ลูกค้าสามารถส่งสินค้ากลับคืนสู่จุดกระจายสินค้าได้ ลักษณะที่สำคัญคือ จะต้องทำการส่งสินค้าไปยังลูกค้ารายต่างๆในเส้นทางการขนส่งให้หมดก่อนแล้วจึงรับสินค้ากลับมายังจุดเริ่มต้น

6. Periodic VRP (PVRP)

   ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีรอบการขนส่งหลายวัน ลักษณะของ PVRP คือ การขนส่งสินค้าจะเปลี่ยนจากการขนส่งในรอบวันเป็นการพิจารณาเส้นทางสำหรับช่วงเวลาใดๆ เช่น การขนส่งไปยังจุดหมายปลายทางที่ไกล

7. Stochastic VRP (SVRP)

   ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีความไม่แน่นอนขององค์ประกอบในการขนส่งเป็นรูปแบบที่คำนึงถึงความไม่แน่นอนขององค์ประกอบต่างๆในการขนส่ง เมื่อระบบมีองค์ประกอบตั้งแต่ 1 อย่างขึ้นไปที่มีความไม่แน่นอน ได้แก่ ความไม่แน่นอนของ

ลูกค้า ความไม่แน่นอนในปริมาณสินค้าที่ต้องการ และความไม่แน่นอนในเวลาที่ใช้ในการขนส่ง

8. Open Vehicle Routing Problem (OVRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางรถแบบเปิดมีรูปแบบของปัญหาคือ เมื่อสิ้นสุดเส้นทางเดินรถหลังจากที่ทำการขนส่งให้กับลูกค้ารายสุดท้ายแล้วรถที่ใช้ในการขนส่งไม่จำเป็นจะต้องกลับมายังจุดปล่อยรถ(จุดเริ่มต้น)

การจำแนกประเภทของปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่จะแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของรูปแบบปัญหา ซึ่งยังไม่ครอบคลุมทุกปัญหาที่เกิดขึ้นจริงหรือที่ได้มีผู้ทำการศึกษาก่อนหน้านี้ นอกจากนี้บางปัญหาอาจมีลักษณะที่ควบรวมรูปแบบของปัญหาที่กล่าวมาและข้อจำกัดต่างๆเข้าไว้ด้วยกันเป็นปัญหาใหม่ที่เกิดขึ้น เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถรับส่งสินค้าได้ตลอดเส้นทาง และคำนึงถึงช่วงเวลา (Rich Pickup and Delivery Problem with Time windows (RPDPTW) เป็นต้น ฉะนั้นจึงยังมีรูปแบบอีกมากมายที่สามารถทำการศึกษาตามความสนใจของนักวิจัย ซึ่งในการวิเคราะห์ปัญหาจะต้องพิจารณาถึงลักษณะของปัญหาที่สอดคล้องกับเงื่อนไขต่างๆ เพื่อให้การแก้ไขปัญหามีความเป็นไปได้และมีความเหมาะสมที่สุด โดยแต่ละรูปแบบของปัญหาอาจมีวิธีการหาคำตอบได้มากกว่า 1 วิธี

2.1.2 วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

การหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถสามารถแบ่งได้เป็น 2 แนวทางคือ วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact Algorithm) เป็นการหาผลเฉลยด้วยวิธีการสร้างตัวแปรทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Mathematical Optima) ซึ่งคำตอบที่ได้มักจะมีคุณภาพที่ดีกว่าวิธีฮิวริสติก แต่การแก้ปัญหาด้วยวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimal) จะใช้ระยะเวลาในการคำนวณที่สูงมากกว่าวิธีฮิวริสติกเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ ส่วนวิธีฮิวริสติก (Heuristic Algorithm) เป็นการหาผลเฉลยโดยใช้หลักความคิดแบบเหตุผลของผู้พัฒนารูปแบบการแก้ปัญหาเป็นหลัก ในแบบจำลองหนึ่งอาจมีรูปแบบการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติกที่แตกต่างกันออกไปได้หลากหลาย การหาผลเฉลยประเภทนี้ใช้เวลาในการคำนวณที่น้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับแนวทางการหาคำตอบแบบ Exact Algorithm แม้ผลเฉลยที่ได้นั้นอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่เป็นการประมาณผลเฉลยที่มีคุณภาพยอมรับได้จะอยู่ในรูปค่าใกล้เคียงค่าดีที่สุด (Approximate Optima)

1. วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Algorithm)

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยม ได้แก่

1) Linear Programming (LP) เป็นการประยุกต์ใช้วิธีการแก้ไขปัญหาที่มีลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรเป็นเชิงเส้นตรงทั้งหมด
2) Dynamic Programming เป็นวิธีการหาค่าที่ดีที่สุด โดยแบ่งกลุ่มของเส้นทางที่พิจารณาออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่จัดเส้นทางไปแล้วและกลุ่มที่ยังไม่ได้จัดเส้นทาง จากนั้นพิจารณาเส้นทางที่ดีที่สุดทุกครั้งโดยเลือกจุดเชื่อมหนึ่งจุดใดๆ จากกลุ่มที่ยังไม่ได้จัดเส้นทางเข้ากับกลุ่มของจุดเชื่อมที่จัดเส้นทางไปแล้ว (กฤศณภัทร สวาสดิ์, 2549)

   ตามงานวิจัยของ Laporte (1992) ในปี 1985 Christofides ได้นำวิธีการนี้มาใช้ในการแก้ปัญหา Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) ที่ความสามารถในการบรรทุกของรถแต่ละคันเท่ากัน ซึ่งสามารถใช้ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดโดยที่ตัวปัญหามีจำนวนจุดรับของลูกค้า 50 แห่ง
3) Branch-and-Bound Algorithm เป็นวิธีที่ใช้หลักการตัดทอนแจงนับ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ การแตกกิ่ง (Branching) คือ การแบ่งส่วนของปัญหาที่มีขนาดใหญ่เริ่มต้นออกเป็น 2 ปัญหาย่อยหรือมากกว่า ส่วนการจำกัดเขต (Bounding) คือ การหาค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ของคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบปัญหาย่อยระหว่างกันหรือระหว่างระดับชั้นของการแตกกิ่งซึ่งจะให้ความสำคัญกับปัญหาที่มีค่าขอบเขตล่างที่น้อยสุดก่อน ขั้นตอนการแตกกิ่งสามารถจะมีการแทนที่ปัญหาเริ่มต้นด้วยเซตของปัญหาใหม่ที่มีลักษณะดังนี้ 1. ปัญหาเดิมจะถูกแตกออกเป็นหลายปัญหาย่อยที่ไม่เกิดร่วมกัน และมีการแจงนับกรณีทั้งหมดที่เป็นไปได้ 2. ปัญหาย่อยเหล่านี้จะเป็นกรณีหนึ่งของปัญหาดั้งเดิมที่หาคำตอบได้แล้วบางส่วน 3. ปัญหาย่อยเหล่านี้จะมีขนาดเล็กกว่าปัญหาดั้งเดิม (ปารเมศ ชุติมา, 2546)

   ตามงานวิจัยของ Laporte (1992) ในปี 1986 Laporte, Mcrcure และ Nobert ได้ใช้วิธีการนี้ในการแก้ปัญหา Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) ที่ความสามารถในการบรรทุกของรถแต่ละคันไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถใช้ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดโดยที่ตัวปัญหามีจำนวนจุดรับของลูกค้า 260 แห่ง
4) Column Generation เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาคำตอบของปัญหากำหนดการเชิงเส้นที่มีขนาดใหญ่ (Large-Scale Linear Programming) ที่มีจำนวนตัวแปรมากและเงื่อนไขบังคับน้อย ซึ่งเป็นวิธีที่ช่วยในการลดการหาผลเฉลยของทุกตัวแปรด้วยการแก้ปัญหาแบบทำซ้ำ วิธีการจะเริ่มที่การสร้างเซตของกลุ่มตัวแปรหลักและหาค่าผลเฉลยของกลุ่มตัวแปร จากนั้นคำนวณค่าใช้จ่ายที่ลดลงของกลุ่มตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในเซตของกลุ่มตัวแปรหลัก ถ้าตัวแปรใดที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมก็จะเพิ่มตัวแปรนั้นเข้า

ไปในเซตคำตอบตัวแปรหลัก และทำการหาค่าผลเฉลยใหม่อีกครั้งจนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่ให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิม

ตามงานวิจัยของ Laporte (1992) ในปี 1991 Desrochers, Desrosiers และ Solomon ได้ใช้วิธีการนี้ในการแก้ปัญหา VRP with Time Windows (VRPTW) ซึ่งสามารถใช้ในการหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดโดยที่ตัวปัญหามีจำนวนจุดรับของลูกค้า 100 แห่ง

2. วิธีฮิวริสติก (Heuristic Algorithm)

วิธีฮิวริสติกที่ใช้ในการหาคำตอบนั้นมีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยม ได้แก่

1) Saving Algorithm เป็นวิธีการที่ไม่จำกัดจำนวนยานพาหนะ โดยทำการรวมเส้นทาง 2 เส้นทางเข้าด้วยกัน ถ้าสามารถทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงได้มากที่สุดแล้วทำการรวมเส้นทางอื่นเข้ากับเส้นทางเดิมนี้จนกระทั่งไม่สามารถรวมเส้นทางได้ ก็จะพิจารณาที่เส้นทางอื่นจนกว่าจะไม่มีการรวมเส้นทางที่เป็นไปได้อีก

ตามงานวิจัยของ Laporte (1992) Clarke และ Wright (1964) ได้นำวิธีการนี้ไปใช้ในการแก้ปัญหาแบบ Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) ที่ไม่จำกัดจำนวนรถ

2) Greedy Search เป็นวิธีการหาคำตอบที่มีวิธีการขยายการค้นหาคำตอบจากคำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบันไปยังคำตอบใหม่ โดยใช้หลักการคำนวณค่าคาดหมายต่ำที่สุดในการประเมินค่าใช้จ่ายการขยายจากสภาวะในปัจจุบันไปยังสภาวะเป้าหมาย วิธีการนี้ถ้าไม่มีเงื่อนไขป้องกันการทำซ้ำก็จะทำให้เกิดกรณีที่ไม่สามารถให้ผลคำตอบได้ นอกจากนี้ผลคำตอบที่ได้ก็จะขึ้นอยู่กับจุดเริ่มต้นในการค้นหาอีกด้วย
3) Sweep Algorithm เป็นวิธีการที่มีการกำหนดจุดรับของลูกค้าอยู่ในพิกัดเชิงมุม เริ่มต้นโดยการให้จุดปล่อยรถเป็นจุดศูนย์กลางแล้วทำการกวาดมุมที่เล็กที่สุดในลักษณะทวนหรือตามเข็มนาฬิกา เมื่อไปพบจุดใดก็จะทำการเพิ่มเข้าไปยังเส้นทางและเมื่อทำการกวาดมุมเพิ่มและเพิ่มจุดเข้าไปยังเส้นทางจนไม่สามารถเพิ่มเข้าไปได้อีกเนื่องจากเงื่อนไขข้อจำกัดเรื่องความจุของรถ ก็จะทำการปิดเส้นทางนั้นแล้วกำหนดเส้นทางใหม่ที่มีขนาดของมุมกวาดเพิ่มขึ้น ทำซ้ำวิธีการเดิมจนกว่าจะจัดทุกจุดรับของลูกค้าลงบนเส้นทางได้หมด ในแต่ละเส้นทางที่ได้แบ่งลูกค้าไว้จะทำการประยุกต์ใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบ Traveling Salesman Problem (TSP) เพื่อจัดลำดับเส้นทางเดินรถของแต่ละกลุ่ม วิธีการนี้ถ้าจุดเริ่มต้นไม่ได้อยู่ที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่ก็จะมีผลให้ไม่

สามารถแบ่งจุดรับของลูกค้าลงไปในแต่ละเส้นทางได้อย่างสมดุล (Renaud และ Boctor, 2002)

ตามงานวิจัยของ Laporte (1992) วิธีการนี้ถูกพบครั้งแรกโดย Wren (1971) และ Wren และ Holliday (1972) ได้ใช้วิธีการ Sweep Algorithm สำหรับการแก้ปัญหา Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะรู้จักวิธีการนี้ผ่านทางงานวิจัยของ Gillett และ Meller (1974)

4) Insertion Heuristic วิธีการแทรกงานลงบนเส้นทางซึ่งอัลกอริทึมนี้ คือ การพยายามแทรกลูกค้าใหม่เข้าไประหว่างการขนส่งของเส้นทางเดิม โดยการแทรกต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดหลักของการจัดเส้นทาง เช่น ความจุรถขนส่ง กรอบเวลากำหนดรับส่งสินค้า เป็นต้น ที่ต้องไม่เกินขีดความสามารถในการขนส่ง ถ้าหากลูกค้าใหม่ไม่สามารถเพิ่มเข้าไปในเส้นทางเดินรถปัจจุบันได้อีก อัลกอริทึมจะสร้างเส้นทางเดินรถใหม่เพิ่มขึ้นมาและกระทำเช่นเดิมจนกระลูกค้าทุกรายถูกจัดลงเส้นทางอย่างครบถ้วน (Dantzig และ Ramser, 1959)

5) TABU Search Algorithm เป็นแนวทางในการหาคำตอบที่จะยอมให้สามารถค้นหาคำตอบไปยังคำตอบที่ไม่ทำให้ได้ค่าที่ดีขึ้นได้เพื่อช่วยในการค้นหาคำตอบหลุดจาก Local Optimum และเป็นการป้องกับการเกิดการวนซ้ำ แนวทางของ TABU Search ก็คือการห้ามปรับปรุงบางค่า ในทุกรอบการทำงานจะเก็บคำตอบที่ไม่ทำให้ได้ค่าที่ดีขึ้นไว้ใน Tabu List คำตอบข้างเคียงของคำตอบปัจจุบันจะต้องไม่ใช่คำตอบที่อยู่ใน Tabu List เรียกเซตของคำตอบข้างเคียงนี้ว่า Allowed Set ในแต่ละรอบของการหาผลเฉลยคำตอบที่ดีที่สุดที่อยู่ใน Allowed Set จะถูกเลือกไปเป็นคำตอบปัจจุบันถัดไป สำหรับในส่วนของ Tabu List จะมีการกำหนดความยาวของ List วิธีการเก็บคำตอบมักจะใช้หลัก FIFO ดังนั้นคำตอบที่ถูกห้ามอยู่ใน Tabu List จะถูกห้ามเอาไว้เป็นจำนวนเท่ากับความยาว หลังจากนั้นจะหลุดออกจาก Tabu List และสามารถใช้เป็นคำตอบปัจจุบันต่อไปได้ ดังนั้นขนาดความยาวของ Tabu List จึงมีความสำคัญต่อการค้นหาคำตอบ (Blum และ Roil, 2003) ถ้ามีการห้ามปรับปรุงค่ามากเกินไปจะทำให้คำตอบที่ได้มีค่าไม่ดี แต่หากจำนวนการห้ามปรับปรุงมีอยู่น้อยเกินไปจะทำให้คำตอบวนอยู่ใน Local Optimum

6) Genetic Algorithm วิธีเชิงพันธุกรรมซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบแบบมีเหตุผลที่ลอกเลียนแบบวิธีการคัดเลือกหรือการสลับสายพันธุ์ตามธรรมชาติ โดยปกติระบบพันธุกรรมจะส่งต่อจากรุ่นพ่อ-แม่ไปยังรุ่นลูกผ่านทางกระบวนการที่เรียกว่า การสลับ

สายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ซึ่งโครโมโซมที่ได้อาจมีลักษณะคงเดิมหรือปรับเปลี่ยนรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปหลายแบบรวมถึงการวิวัฒนาการที่มีการเปลี่ยนแปลงของยีนส์ วิธีเชิงพันธุกรรมสำหรับการพัฒนาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจะเริ่มจากการสร้างเส้นทางเริ่มต้นหลายๆแบบตามขนาดของประชากร โดยเส้นทางแต่ละแบบคือ 1 โครโมโซม จากนั้นทำการคัดเลือกโครโมโซมที่ให้ค่าต้นทุนการขนส่งต่ำ (Fitness value) โครโมโซมที่ผ่านตามกฎความเหมาะสม (Fitness) จะให้ค่าคำตอบโดยรวมเหมาะสมกว่าเส้นทางในรุ่นก่อนหน้า จากนั้นคู่โครโมโซมที่ถูกเลือกจะทำการแลกเปลี่ยนยีนส์กันที่เป็นการสลับสายพันธุ์ (Crossover) เพื่อสร้างเส้นทางใหม่ที่ดีกว่าเดิม นอกจากนี้ยังสามารถเกิดการกลายพันธุ์ (Mutation) เพื่อให้มีความหลากหลายในกลุ่มเส้นทางใหม่จากการสุ่มสลับยีนส์ในโครโมโซมเดียวกันด้วยความน่าจะเป็นที่กำหนด

7) Ant Colony Algorithm วิธีฝูงมดถูกใช้ในการแก้ปัญหาที่มีซับซ้อน เช่น ปัญหาการเดินทางของเซลล์แมน (Travelling Salesman Problem) วิธีการฝูงมดมาจากการหาอาหารของเหล่าฝูงมด การที่ฝูงมดต่างแยกย้ายกันออกไปหาอาหารและสามารถที่จะหาเส้นทางที่สั้นที่สุดสำหรับแหล่งอาหารนั้น สิ่งที่มดปล่อยทิ้งไว้เพื่อเป็นสัญลักษณ์ให้กับมดตัวต่อไปที่เดินผ่านมาคือฟีโรโมน (Pheromone) เมื่อมดตัวต่อไปเลือกที่จะเดินตามทางนั้น มดก็จะเพิ่มฟีโรโมนในจุดนั้นทำให้เกิดความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น และในท้ายที่สุดจะเหลือเพียงเส้นทางที่สั้นที่สุดซึ่งมีความเข้มของฟีโรโมนมากที่สุดนั่นเอง กระบวนการเส้นทางเริ่มจากการกำหนดให้มดแต่ละตัวมีความสามารถในการจดจำข้อมูลที่เกี่ยวกับเส้นทางเพื่อใช้ในการสร้างคำตอบ ประเมินคำตอบที่ได้ และการย้อนกลับไปใช้เส้นทางเดิม ระบบจะเริ่มจากสภาวะเริ่มต้นและเคลื่อนย้ายไปยังสภาวะถัดไปที่สัมพันธ์กับคำตอบของปัญหาที่ค่อยๆเพิ่มสูงขึ้น การเคลื่อนย้ายจะเกิดขึ้นโดยการส่งผ่านฟังก์ชั่นของเส้นทางฟีโรโมนและค่าความสามารถในการจดจำของมดและข้อจำกัดปัญหา การทำงานจะสิ้นสุดเมื่อเงื่อนไขในการหยุดเกิดขึ้น หรือเมื่อได้คำตอบตรงกับที่ต้องการ จากแนวคิดวิธีฝูงมดได้นำมาประยุกต์ใช้เป็นวิธีในการหาคำตอบกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยเริ่มต้นจัดเส้นทางเดินรถก่อนแล้วจึงทำการปรับปรุงค่าฟีโรโมนเพื่อให้ได้คำตอบที่มีค่าฟีโรโมนสูงสุดซึ่งให้ต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด

ต่อมาในระยะหลังมีการพัฒนาฮิวริสติกในการแก้ปัญหาเป็นแบบ Metaheuristics ที่มีความสามารถในการค้นหาคำตอบในขอบเขตที่กว้างกว่า เช่น วิธีการ large neighborhood search และวิธีการ hybrid genetic algorithm เป็นต้น วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ที่กล่าวมาข้างต้นของทั้ง 2 แนวทางใหญ่ เป็นเพียงส่วนหนึ่งของวิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถซึ่งยังไม่ครอบคลุมทุกวิธีการที่ได้มีผู้ทำการศึกษาก่อนหน้านี้ นอกจากนี้วิธีการหาคำตอบบางวิธีอาจจะเหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถบางรูปแบบและบางขนาดของปัญหาเท่านั้นที่จะสามารถให้ค่าของผลเฉลยที่ดีได้

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem)

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem: OVRP) วัตถุประสงค์เพื่อที่จะลดจำนวนการใช้รถขนส่งและลดระยะเดินทางรวมที่ใช้ในการเดินทาง แต่ละเส้นทางเริ่มต้นที่จุดศูนย์กลางและจบลงที่ลูกค้ารายสุดท้ายที่ทำการขนส่งซึ่งจะไม่ย้อนกลับมายังจุดเริ่มต้น และความต้องการขนส่งของลูกค้าแต่ละรายต้องสามารถขนส่งได้ด้วยรถเพียงคันเดียว โดยมีเงื่อนไขการจัดเส้นทางคือ ความต้องการขนส่งรวมของสินค้าที่ถูกรับส่งทุกรายการบนรถจะต้องไม่เกินความจุรถ การออกแบบเซตของเส้นทางเดินรถ Open VRP ที่มีวัตถุประสงค์เรื่องต้นทุนการขนส่งต่ำ โดยทั่วไปจะให้รถเริ่มต้นจากจุดศูนย์กลางที่สามารถอธิบายการคำนวณเส้นทางได้ตามนี้ ให้ n เป็นจำนวนของลูกค้า, $N = \{1,2,\dots,n\}$ คือ เซตของลูกค้า และ $N_0 = \{0,1,\dots,\mathrm{n}\}$ คือ เซตของลูกค้าทั้งหมดรวมจุดเริ่มต้นที่เป็นจุดศูนย์กลางด้วยถูกระบุเป็น 0, ให้ $K = \{1,2,\dots,k\}$ เป็นเซตของรถขนส่ง, d_{i} แทนความต้องการของลูกค้าแต่ละราย $\in N$, L_h คือ ความจุของรถ $h \in K$ และสมมติฐานของความต้องการขนส่ง $max\ d_i \leq \max L_h$ และให้ c_{ij} เป็นค่าขนส่งระหว่างลูกค้า i และ j

โดย $y_{\mathrm{ih}} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าจุด } i \text{ (ลูกค้าหรือจุดเริ่มต้น) ถูกรับส่งโดยรถ } h \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$

$x_{\mathrm{ijh}} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ารถ } h \text{ เดินทางโดยตรงจากจุด } i \text{ ไปยังจุด } j \\ 0 & \text{อื่นๆ} \end{cases}$

Objective $$minZ = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{h=1}^{k} c_{ij}\, x_{ijh} \quad (2.1)$$

Subject to $$\sum_{i=0}^{n} d_i y_{ih} \leq L_h \quad \forall h \quad (2.2)$$

$$\sum_{h=1}^{k} y_{ih} = 1 \quad i = 1,2,\dots n \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=0}^{n} x_{ijh} = y_{ih} \quad j = 1,2,\dots n,\ \forall h \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ijh} = y_{ih} \quad i = 0,1,2,\dots n,\ \forall h \quad (2.5)$$

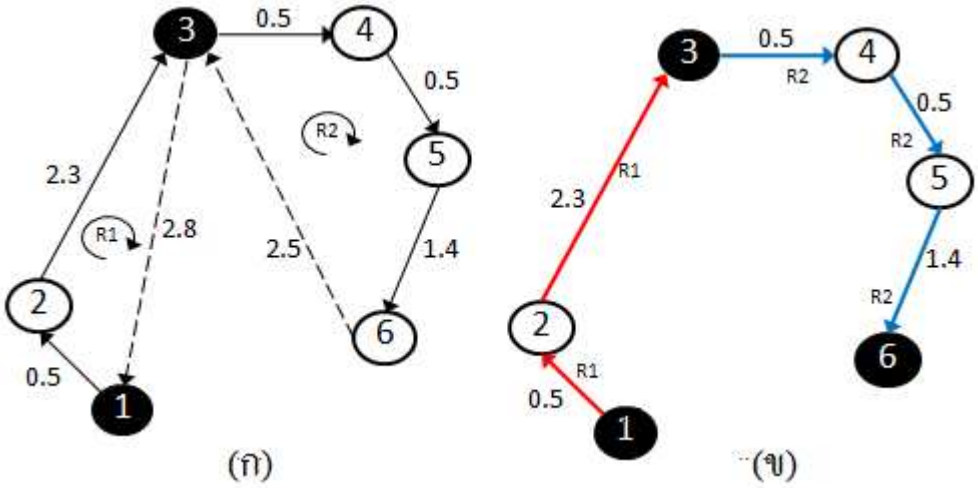
$$x_{ijh} = 0\ or\ 1 \quad i,j = 1,2,\dots n;\ \ \forall h \tag{2.6}$$

$$y_{ih} = 0\ or\ 1 \quad i,j = 1,2,\dots n;\ \ \forall h \tag{2.7}$$

ในสมการที่ (2.1) เป็นวัตถุประสงค์ในการหาระยะทางรวมต่ำสุด สมการที่ (2.2) เงื่อนไขความต้องการขนส่งจะต้องถูกนำมาจัดเส้นทางทั้งหมด สมการที่ (2.4) และ (2.5) เพื่อให้แน่ใจว่าการรับและส่งสินค้า ณ จุดใดๆ ของงานหนึ่งๆ จะต้องถูกกระทำโดยรถคันเดียวกัน จากการศึกษางานวิจัยของ Shiwei, Chang และ Kejun (2011)

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem)

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยพื้นฐานคือ การพิจารณาหาเส้นทางลำดับการส่งสินค้าของรถแต่ละคันจากจุดปล่อยรถแห่งเดียวหรือหลายแห่ง เพื่อให้ลูกค้าทุกรายได้รับสินค้าภายใต้กรอบเวลาที่กำหนด ถ้าแบ่งประเภทของการจัดเส้นทางเดินรถตามลักษณะการเดินทางจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ (Li ,Gloden และ Wasil, 2007) คือ เส้นทางเดินรถแบบปิด (close trips หรือ vehicle routing problem) คือ รถแต่ละคันต้องออกจากและกลับมาสู่จุดปล่อยรถเดิม ในขณะที่เส้นทางเดินรถแบบเปิด (open vehicle routing problem) คือ รถขนส่งไม่ต้องย้อนกลับมายังจุดปล่อยรถหลังจากส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายสุดท้าย การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งรวม ซึ่งผลจากการศึกษาสามารถอ้างอิงได้จากงานวิจัยของ Alvina, Ruey และ Qiang (2008) ที่ทำการศึกษาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่มีเงื่อนไขข้อจำกัดความสามารถระยะทางในการเดินรถ (Distance-constrained capacitated vehicle routing problems) โดยทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธี Integer programming ซึ่งผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการจัดเส้นทางเดินรถแบบปิดกับการจัดเส้นทางรถแบบเปิดผลที่ได้คือ การจัดเส้นทางรถแบบเปิดสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้ 49.1% จากการวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดสามารถลดต้นทุนการขนส่งได้เพราะสามารถลดระยะทางการเดินทางย้อนกลับโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการขนส่งหลายคันจะทำให้ประหยัดระยะทางโดยรวมลงได้มาก เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ที่มีจุดปล่อยรถหลายแห่งที่ตั้งห่างกันไป ตัวอย่างเช่น ภาพที่ 2.1 การส่งสินค้าไปยังจุดต่างๆใช้รถ 2 คันออกจากจุดปล่อยรถ 1 และ 3 ซึ่ง (ก) เส้นทางแบบปิดได้ระยะทางรวม 10.5 ในขณะที่ (ข) เส้นทางแบบเปิดมีระยะทางรวม 5.2 เนื่องจากสามารถหยุดที่จุดสุดท้ายของเส้นทาง (R1 จอดที่ 3 และ R2 จอดที่ 6) โดยไม่ต้องเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้น (3 กลับ 1 และ 6 กลับ 3) ซึ่งมีระยะทางไกล



ภาพที่ 2.1 การส่งสินค้าไปยังจุดต่างๆที่มีจุดปล่อยรถหลายแห่ง
(ก) เส้นทางแบบปิด VRP, (ข) เส้นทางแบบเปิด OVRP

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่พบในงานวิจัยที่ผ่านมามีลักษณะการขนส่งสินค้าที่เป็นแบบแผน คือ ออกจากจุดปล่อยรถอย่างเดียวหรือเป็นการรับสินค้าเพียงอย่างเดียวตลอดเส้นทางในแต่ละรอบ [6] เช่น Bodin และคณะ ซึ่งได้ศึกษาการขนส่งสินค้าทางเครื่องบินของ FedEx ที่เครื่องบินออกจากเมืองหนึ่งไปส่งสินค้ายังเมืองต่างๆ และจอดลงที่เมืองสุดท้ายของเส้นทางส่งสินค้าและเริ่มทำการรับสินค้าอีกครั้งจากเมืองที่ลงจอด สำหรับ Russell และคณะ ได้ศึกษาการส่งสินค้าและการส่งหนังสือพิมพ์ตามบ้าน ในขณะที่ Fu และคณะ ศึกษาการวางแผนเส้นทางรถรับ-ส่งนักเรียน เป็นต้น ซึ่งในสถานการณ์จริงของการขนส่งนั้นบนเส้นทางที่รถขนส่งผ่านจุดหนึ่งๆ จะสามารถมีได้ทั้งการรับและส่งสินค้า ดังนั้นเส้นทางขนส่งที่จะทำให้มีต้นทุนการขนส่งต่ำจึงสามารถเป็นได้ในการรับและส่งสินค้าพร้อมกันในเส้นทางแต่ละรอบ และอีกสถานการณ์หนึ่งที่เป็นอยู่ของคำสั่งการขนส่งสินค้าคือ เป็นการรับทราบข้อมูลล่วงหน้าดังนั้นข้อมูลงานขนส่งที่รับเข้าจะสามารถมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่เรียกว่าปัญหาแบบพลวัต (dynamic) และมีการเพิ่มขึ้นของข้อมูลความต้องการขนส่งที่ทราบระหว่างการจัดเส้นทาง ดังนั้นจากสถานการณ์การขนส่งจริงที่เกิดขึ้นดังกล่าวจึงเป็นสิ่งที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาต่อในงานวิจัยนี้สำหรับรูปแบบปัญหาของการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดใน 2 ประเด็นคือ

1) การรับและส่งสินค้าพร้อมกันในเส้นทางที่โดยไม่มีรูปแบบของการรับส่งที่แน่นอน เป็นการจัดเส้นทางจุดรับส่งให้ได้ระยะทางน้อยสุด ซึ่งต่างจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งสินค้า (VRP with pickup and delivery) ที่จะพบว่าโดยส่วนใหญ่แล้วจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ ได้แก่ ขาไปส่งสินค้าอย่างเดียว-ขากลับรับสินค้า

อย่างเดียว ที่เรียกว่า first-pickup-second-delivery และ การรับสินค้าและส่งปลายทางทันที เรียกว่า simultaneous (Berbeglia, Cordeau และ Laporte, 2010)

2) การปรับเปลี่ยนเส้นทางเมื่อข้อมูลเดิมเปลี่ยนแปลงหรือมีข้อมูลใหม่เข้ามา เรียกว่า ปัญหาแบบพลวัต (dynamic) เพื่อให้สอดคล้องเหมาะสมกับการปฏิบัติงานของการขนส่ง จึงต้องทำการปรับแผนเส้นทางเดินรถ (rolling) ทุกครั้งที่มีข้อมูลใหม่ เช่น เดินรถขนส่งถูกกำหนดเส้นทาง A-B-C-D เมื่อเวลาผ่านไปมีความต้องการขนส่งใหม่ที่ต้องรับสินค้าจากโหนด E เพื่อนำไปส่งที่โหนด D เส้นทางรอบใหม่ที่ได้โดยกการปรับเส้นทางเดิมได้เป็น A-B-E-C-D เพื่อให้ทุกความต้องการขนส่งสามารถดำเนินการขนส่งสินค้าได้ทันเวลาพอดี

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem: Open VRP) ซึ่งเป็นลักษณะปัญหาแบบ NP-hard จึงทำให้ผู้วิจัยหลายคนให้ความสนใจในการพัฒนาประสิทธิภาพวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกและวิธีการฮิวริสติกแบบผสม (Metaheuristic) จากการศึกษาและรวบรวมงานวิจัยของ MirHassani และ Abolghasemi (2011) และงานวิจัยของ Emmanouil และ Chris (2010) ทำให้สามารถสรุปวิธีการหาคำตอบของ Open VRP ที่ได้มีผู้ทำการศึกษามาแล้วก่อนหน้านี้ Bodin และคณะ (1983) ใช้วิธีการ Savings heuristic ของ Clarke และ Wright ในหาคำตอบของปัญหา Open pickup and delivery VRP with time windows Sarklis และ Powell (2007) แก้ปัญหา Open VRP with capacity constraints ด้วย Cluster first Route second โดยใช้วิธีการของ Minimum spanning tree problem Brandao (2004) ใช้วิธีการของ Tabu search ในการหาคำตอบ Tarantilis และคณะ (2004) นำเสนอวิธีการหาคำตอบของปัญหา Open VPR ด้วยวิธีการ an annealing-based method และทำการปรับปรุงคำตอบโดยการทำ backtracking Pisinger และ Ropke (2005) พัฒนาวิธีการ large neighborhood search Letchford และคณะ (2007) นำเสนอการหาคำตอบด้วยวิธี Branch-and-cut-algorithm Fu และคณะ (2005) นำเสนอวิธีการฮิวริสติกแบบผสมผสาน (Metaheuristic) โดยการใช้วิธีของ farthest-first heuristic และปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการของ tabu search Li และคณะ (2009) เสนอวิธีการหาคำตอบแบบ Metaheuristic โดยเป็นการใช้วิธีการของ Ant colony optimization ร่วมกับ Tabu search ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยพบว่าสำหรับ meta-heuristic วิธีการหนึ่งที่ใช้สร้างเส้นทางเบื้องต้น คือ Insertion และจากงานวิจัยของ Gerardo Berbeglia และคณะ (2010) ศึกษารวมรวมเกี่ยวกับปัญหาการรับและส่งสินค้าแบบพลวัต (Dynamic pickup and delivery problems) ซึ่งเป็นรูปแบบของปัญหางานวิจัยที่สนใจศึกษาพบว่า การจัดเส้นทางเดินรถสำหรับข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาหรือแทรกเพิ่มเข้ามาโดยส่วนมากจะแก้ปัญหาด้วยวิธีการ Insertion ในการปรับเปลี่ยนเส้นทางรอบใหม่ (rolling) ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำแนวคิดวิธีการ Insertion heuristic มาประยุกต์ใช้สำหรับการวางแผนเส้นทางเดินรถปลายเปิดของ

งานวิจัยนี้ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งรวม เพราะเนื่องจากว่า วิธีการแทรกงานขนส่งเป็นการหาเส้นทางที่จะสามารถขนส่งสินค้าที่เพิ่มเข้ามาใหม่ได้อย่างรวดเร็วและให้อยู่ในเส้นทางที่กำหนดไว้แล้วหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เพื่อยังคงให้มีระยะทางต่ำตามที่คำนวณไว้ก่อนหน้าโดยไม่มีการปฏิเสธงานขนส่ง

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

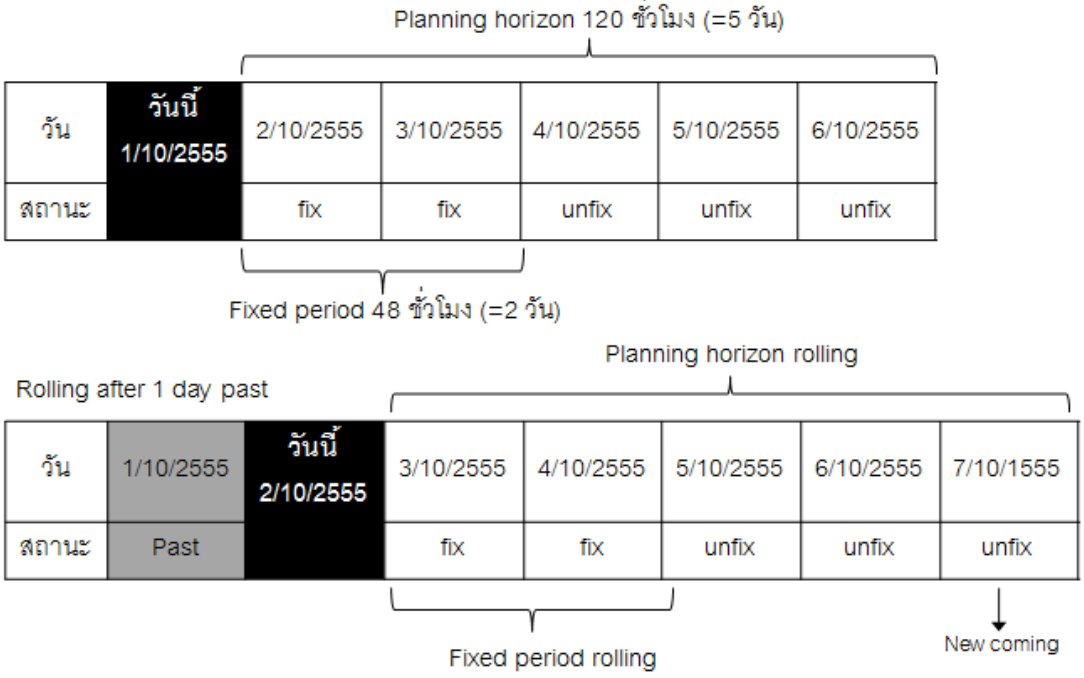
จากการศึกษาและสัมภาษณ์ผู้ที่มีหน้าที่ในการรับผิดชอบวางแผนเส้นทางเดินรถถึงสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้นในการขนส่งเพื่อกำหนดรูปแบบของปัญหาและแนวทางในการแก้ไขปัญหาให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ประกอบกับการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในบทก่อนหน้านี้ จึงทำให้การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ แนวทางการดำเนินงานวิจัย เป็นส่วนของภาพรวมกระบวนการจัดเส้นทางขนส่งที่แสดงถึงแนวคิดและการไหลของข้อมูลนำเข้าและข้อมูลส่งระหว่างกันในแต่ละส่วน ส่วนที่ 2 คือ โครงสร้างระบบข้อมูลการจัดเส้นทาง เป็นลักษณะของข้อมูลประเภทต่างๆที่ถูกออกแบบขึ้นสำหรับการวางแผนเส้นทางเดินรถแบบเปิดของปัญหาวิจัยนี้และนำไปสู่การออกแบบระบบสารสนเทศ

3.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย

จากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนขนส่งทำให้ทราบว่าแผนการขนส่งที่เกิดขึ้นนี้เป็นแผนในระดับปฏิบัติการ ซึ่งเป็นการวางแผนระยะสั้น เนื่องจากธรรมชาติของงานขนส่งที่ศึกษา ข้อมูลความต้องการขนส่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานขนส่งที่มีเวลากำหนดส่งมอบในอนาคตอันไกลที่มีความไม่แน่นอนของคำสั่งขนส่งสูง ถ้าหากทำการวางแผนระยะยาวจะทำให้เกิดเส้นทางการขนส่งที่เกินความจำเป็นและมีความไม่เหมาะสมต่อการขนส่งสินค้าอีกทั้งยังมีต้นทุนการขนส่งที่สูงเสียไปในเส้นทางที่เกินมา ฉะนั้นการวางแผนในระยะสั้นจึงมีความเหมาะสมกว่า โดยจะเป็นเส้นทางที่มีความเหมาะสมต่อความต้องการขนส่งที่เกิดขึ้น ณ ช่วงเวลานั้นและยังมีต้นทุนการขนส่งต่ำอีกด้วย ดังนั้นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยนี้จึงออกแบบแผนเส้นทางขนส่งที่ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ การวางแผนเส้นทางขนส่ง (Planning horizon) และการกำหนดแผนการเดินรถ (Fixed period)

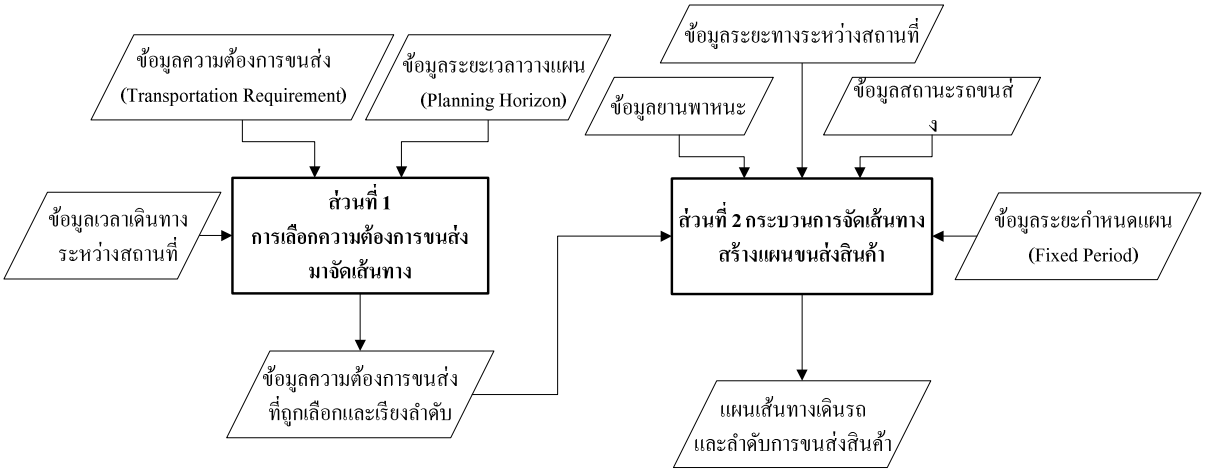
แผนเส้นทางขนส่งเป็นการวางแผนล่วงหน้าตามระยะวางแผนที่ผู้ใช้งานกำหนด (Planning horizon) และมีการกำหนดแผนการเดินรถให้มีความแน่นอนที่เรียกว่า Fixed period เพื่อที่จะยืนยันการขนส่งสินค้ากับลูกค้าและเพื่อให้พนักงานขับรถสามารถสนับสนุนการทำงานตามแผนขนส่งได้ โดยช่วงระยะเวลากำหนดแผนจะสั้นกว่าและอยู่ในช่วงระยะเวลาวางแผน เนื่องจากว่าข้อมูลความต้องการขนส่งที่รับเข้ามาเป็นข้อมูลในอนาคตที่จะเกิดขึ้น ซึ่งมีตั้งแต่ข้อมูลที่มีความแน่นอนสูง คือมีระยะเวลาที่จะถึงกำหนดการขนส่งอันใกล้จนถึงความต้องการขนส่งที่ไม่มีความแน่นอนเป็น

ประเภทของข้อมูลที่มีระยะเวลายาวนานกว่าจะถึงเวลากำหนดส่งมอบ ดังนั้นจึงสามารถมีการเปลี่ยนแปลงความต้องการขนส่งได้ตามเวลา และในการวางแผนเส้นทางครั้งใหม่ (Rolling) จะเป็นรอบตามความต้องการของผู้ใช้งานและนำข้อมูลที่ยังไม่ถูกกำหนดแผน (ไม่อยู่ในช่วง Fixed period) มาทำการจัดเส้นทางใหม่ทั้งหมดต่อจากแผนเดินที่ถูกกำหนดไว้แล้วแสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 รูปแบบการวางแผนเส้นทางขนส่งล่วงหน้า

การจัดตารางการขนส่งสินค้าให้มีต้นทุนการขนส่งต่ำและสามารถส่งสินค้าที่มีอยู่ในระบบได้ทันเวลามีกระบวนการที่ต้องทำการตัดสินใจ คือ เส้นทางขนส่งและลำดับการขนส่งสินค้า ดังนั้นกระบวนการจัดตารางขนส่งสินค้าจึงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การเลือกข้อมูลความต้องการขนส่งมาทำการจัดเส้นทาง และส่วนที่ 2 การจัดเส้นทางขนส่ง ภาพรวมของแนวคิดกระบวนการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งสินค้ามีลักษณะดังภาพที่ 3.2 ประกอบด้วยข้อมูลนำเข้าสำหรับงานในแต่ละส่วนและข้อมูลส่งออกจากแต่ละกระบวนการ



ภาพที่ 3.2 ภาพรวมของแนวคิดกระบวนการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

- ส่วนที่ 1 การเลือกความต้องการขนส่ง

ข้อมูลความต้องการขนส่งที่รับเข้ามาจากหน่วยรับความต้องการรับและส่งสินค้าในงานวิจัยนี้เป็นงานล่วงหน้าและสามารถทะยอยรับเข้ามาได้ตลอด เพื่อที่จะให้ความต้องการขนส่งที่มีอยู่ในระบบสามารถขนส่งได้ทันเวลาพอดีและมีต้นทุนในการขนส่งต่ำ อีกทั้งลดการจ้างผู้ประกอบการรับจ้างขนส่งภายนอก จึงจะต้องทำการเลือกและจัดเรียงความต้องการขนส่งสำหรับที่จะนำมาคำนวณในการวางแผนเส้นทางลำดับถัดไป โดยการเลือกข้อมูลความต้องการขนส่งที่จะถูกนำมาใช้ในการจัดเส้นทางแต่ละครั้งนั้นจะเป็นข้อมูลที่อยู่ในช่วงระยะเวลาวางแผน (Planning horizon) ถูกกำหนดจากผู้ใช้งาน

การจัดลำดับงานพิจารณาจากเงื่อนไขของการขนส่งคือ ไม่มีการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถ ฉะนั้นงานที่คงค้างอยู่บนรถจากการวางแผนก่อนหน้าจะถูกนำมาพิจารณาก่อนเป็นลำดับแรก จากนั้นจึงจะทำการเรียงลำดับงานที่ถูกเลือกมาทั้งหมด โดยทำการพิจารณาตามลำดับงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วสุด จากสมมติฐานที่ว่าข้อมูลความต้องการขนส่งที่มีกำหนดส่งมอบ (latest due date) ใกล้กับวันที่วางแผนจะมีความแน่นอนสูงและมีการเปลี่ยนแปลงต่ำมาก ส่วนงานที่มีกำหนดการส่งมอบช้ากว่ายังมีความไม่แน่นอนของข้อมูลและอาจมีการแทรกเพิ่มเข้ามาของข้อมูลอื่นอีก เนื่องจากสมมติฐานของข้อมูลความต้องการการขนส่งมีกำหนดการส่งมอบในลักษณะของช่วงเวลา การเรียงลำดับงานตามกำหนดส่งมอบเร็วสุดทำให้เกิดมีงานที่มีลำดับการขนส่งเท่ากัน จึงทำการพิจารณาความเร่งด่วนของงานประกอบการตัดสินใจจากเวลาหย่อน (slack time) คือ ค่าผลต่างระหว่างเวลาที่เหลือก่อนที่จะถึงกำหนดส่งมอบกับเวลาที่ต้องใช้ในการปฏิบัติงานนั้นๆ งานที่มีค่า slack time น้อยกว่าจะเป็นงานที่มีความเร่งด่วนมากจะนำมาเรียงลำดับก่อน (ปารเมศ ชุติมา ,2546)

- ส่วนที่ 2 การจัดเส้นทางขนส่ง

กระบวนการจัดเส้นทางขนส่งมีกระบวนการตัดสินใจในเรื่องของการจัดลำดับการขนส่งสินค้าของแต่ละเส้นทางภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของความจุรถบรรทุกและกำหนดการส่งมอบสินค้า และการกำหนดสถานะของแผนเส้นทางดินรถ โดยมีข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการวางแผนได้แก่ ข้อมูลความต้องการขนส่งสินค้าที่เรียงลำดับแล้วจากส่วนที่ 1 ข้อมูลของยานพาหนะ ข้อมูลสถานะรถขนส่ง ข้อมูลระยะทางระหว่างจุด และข้อมูลเวลาเดินทางระหว่างจุด ที่รับเข้ามาจากหน่วยติดตามยานพาหนะ และข้อมูลระยะกำหนดแผน (fixed period) ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้งาน ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางขนส่งในส่วนที่ 2 นี้คือ แผนเส้นทางเดินรถ

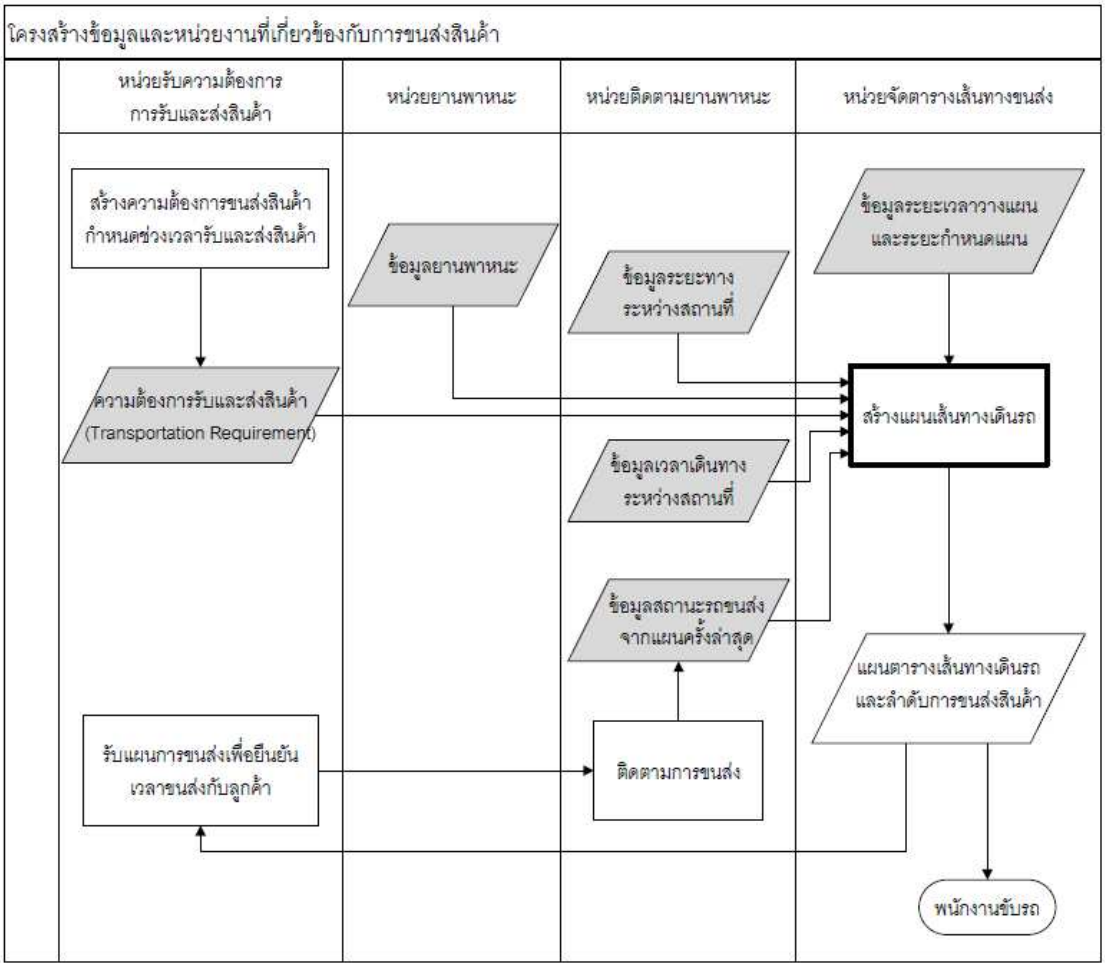
การจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีฮิวริสติกให้ได้มาซึ่งคำตอบที่เป็นไปได้ของโจทย์ข้อมูลการขนส่ง โดยวิธีการที่นำมาประยุกต์ใช้สำหรับการจัดเส้นทางในงานวิจัยนี้จะใช้การจัดแบบแทรกงานและข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลังที่จะต้องเกิดการรับงาน (pickup) แล้วจึงจะเกิดการส่งงาน (drop) ได้ของแต่ละความต้องการขนส่งนั้น โดยไม่ขัดต่อข้อจำกัดของความจุรถในด้านของปริมาตรและน้ำหนัก รวมถึงข้อจำกัดของช่วงเวลากำหนดส่งมอบแต่ละงาน สมมติฐานที่ใช้สำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งโดยวิธีการแทรกงาน เพราะว่าความต้องการขนส่งมีกำหนดส่งมอบเป็นช่วง(earliest – latest) จึงมีระยะเวลากว้างก่อนหน้าที่จะถึงกำหนดส่งมอบล่าช้าสุด(latest due date) ของงานนั้น ซึ่งช่วงเวลาที่เหลือสามารถแทรกงานเพิ่มที่ผ่านไปยังเส้นทางเดิมให้รถขนส่งดำเนินการได้เพื่อที่จะให้รถสามารถขนส่งสินค้าได้มากสุดโดยมีการจ้าง outsource น้อยสุด และเนื่องจากการจัดเส้นทางขนส่งเป็นแบบเปิด (open vehicle routing) รถที่ใช้ในการขนส่งจึงอยู่กระจายออกไปยังตำแหน่งต่างๆ ดังนั้นเพื่อเป็นการหาเส้นทางการขนส่งที่มีต้นทุนรวมต่ำตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ จึงลองทำการแทรกทีละงานลงบนรถทุกคัน แล้วเปรียบเทียบหาผลรวมของแต่ละทางเลือกที่ให้ค่าต่ำสุด

สำหรับความต้องการขนส่งที่ทำการแทรกงานลงบนรถทุกคันแล้วเกินกว่าข้อจำกัดจะถูกพิจารณาให้ดำเนินการโดยผู้รับจ้างขนส่งภายนอกในการจัดเส้นทางครั้งนี้หรือไม่ หรือจะถูกนำไปพิจารณาจัดเส้นทางใหม่ (rolling) อีกครั้งในรอบถัดไป เพราะข้อมูลในระบบสามารถมีการเปลี่ยนแปลงงานขนส่งที่จะสามารถแทรกลงไปได้ เช่น มีการยกเลิกความต้องการขนส่งบางรายการ มีการเลื่อนกำหนดส่งมอบสินค้าออกไป เป็นต้น ซึ่งความต้องการขนส่งที่เปลี่ยนแปลงจะต้องเป็นข้อมูลที่อยู่นอกช่วงกำหนดแผน (Fixed period) โดยการพิจารณางานจ้างขนส่งภายนอก (outsource) จะนำข้อมูลระยะกำหนดแผน (Fix period) เข้ามาช่วยในการตัดสินใจ คือ เป็นการเปรียบเทียบระยะเวลากำหนดแผนกับเวลาที่เหลือของการขนส่ง (slack time) ซึ่งถ้าความต้องการขนส่งมีค่าเวลา

เหลือน้อยกว่าช่วงระยะกำหนดแผนจะต้องทำการจ้าง outsource ขนส่งความต้องการสินค้านั้น เพราะไม่สามารถที่จะนำงานขนส่งนั้นไปทำการจัดเส้นทางรอบใหม่ได้อีกเนื่องจากไม่มีรถขนส่งคันใดที่จะสามารถทำงานได้ แต่ถ้าหากความต้องการขนส่งมีเวลาที่เหลือมากกว่าระยะกำหนดแผน แสดงว่าข้อมูลนั้นยังมีความยืดหยุ่นเพียงพอที่จะรอเพื่อทำการจัดเส้นทางครั้งใหม่ ผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการตัดสินใจในส่วนนี้คือ รายการขนส่งโดย outsource

3.2 โครงสร้างของข้อมูลในระบบการจัดเส้นทางเดินรถ

โครงสร้างข้อมูลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถ แสดงดังรูปที่ 3.3 เป็นการบอกถึงที่มาและรายละเอียดของข้อมูลแต่ละประเภทที่มาจากการศึกษาข้อมูลจริงและออกแบบเพิ่มเติมจากการสอบถามผู้เชี่ยวชาญเพื่อให้เหมาะสมต่อรูปแบบปัญหาที่วิจัยและใช้สำหรับการออกแบบระบบสารสนเทศแก่ผู้ใช้งาน



ภาพที่ 3.3 โครงสร้างของข้อมูลในระบบการจัดเส้นทางเดินรถ

ข้อมูลส่วนต่างๆ ที่ถูกออกแบบในโครงสร้างข้อมูลระบบ มีรายละเอียดที่ใช้สำหรับการจัดเส้นทางขนส่งดังนี้

ข้อมูลความต้องการรับและส่งสินค้า

ข้อมูลความต้องการขนส่งสินค้าได้รับมาจากหน่วยรับความต้องการรับและส่งสินค้า โดยจะบอกถึงรายละเอียดของการรับส่งสินค้าแต่ละรายการดังนี้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลความต้องการรับและส่งสินค้า (Transportation Requirement)

รหัสงานขนส่ง	ปริมาตร ($ม^3$)	น้ำหนัก (กก.)	สถานที่รับ	สถานที่ส่ง	วันที่เริ่มต้น	วันที่สิ้นสุด	สถานะงาน
FOW001	4	850	C	E	12/9/2555	12/9/2555	Unfix
OCF002	1	100	D	E	13/9/2555	16/9/2555	Unfix
OCF003	1	250	B	A	13/9/2555	14/9/2555	Unfix
SFM004	10	5,000	B	D	12/9/2555	14/9/2555	Unfix
SFM005	17	9,000	A	C	14/9/2555	15/9/2555	Unfix

โดยความต้องการขนส่งนี้มีลักษณะของข้อมูลเวลาในการรับส่งเป็นช่วงเวลา ซึ่งกำหนดเป็นเวลาที่เริ่มต้นทำการรับส่งสินค้าได้และเวลาที่สิ้นสุดในการรับส่งสินค้า

ข้อมูลยานพาหนะ

ข้อมูลยานพาหนะนี้ได้มาจากหน่วยยานพาหนะซึ่งจะมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางคือ ปริมาตรเต็มคันรถ น้ำหนักเต็มคันรถ อัตราการใช้น้ำมัน และต้นทุนการขนส่งของรถแต่ละคัน โดยในการจัดเส้นทางจะนำต้นทุนการขนส่งไปคำนวณ

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างข้อมูลยานพาหนะ

รหัสรถขนส่ง	ปริมาตรเต็มความจุ ($ม^3$)	น้ำหนักเต็มความจุ (กก.)	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (กม./ลิตร)	ต้นทุนการขนส่ง (บาท/กม.)
AH01	6	1,500	10	3
AH02	6	1,500	10	3
BH03	21	15,000	6	5

ข้อมูลระยะทางระหว่างสถานที่

ข้อมูลเส้นทางการขนส่งได้รับมาจากหน่วยติดตามยานพาหนะ ซึ่งเป็นข้อมูลระยะทางที่หาได้จากค่าเฉลี่ยของเส้นทางที่ทำการเก็บค่าจริงจากระบบติดตาม โดยมีสมติฐานว่า ระยะทางจาก A ไป B ไม่จำเป็นจะต้องเท่ากับระยะทางจาก B ไป A

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางในระบบ

ระยะทาง (กม.)	A	B	C	D	E
A	0	280	700	560	420
B	280	0	1050	420	140
C	650	980	0	1400	630
D	640	420	1400	0	210
E	420	140	630	180	0

ข้อมูลเวลาเดินทางระหว่างสถานที่

ข้อมูลเวลาเดินทางระหว่างสถานที่ได้รับมาจากหน่วยติดตามยานพาหนะ ซึ่งเป็นข้อมูลระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางที่หาได้จากค่าเฉลี่ยของเส้นทางที่ทำการเก็บค่าจริงจากระบบติดตาม โดยมีสมติฐานว่า ระยะเวลาจาก A ไป B ไม่จำเป็นจะต้องเท่ากับระยะทางจาก B ไป A

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาเดินทางในระบบ

ระยะเวลา (ชม.)	A	B	C	D	E
A	0	4	10	8	6
B	4	0	15	6	2
C	8	12	0	20	9
D	7	4	15	0	3
E	6	2	6	3	0

ข้อมูลสถานะรถขนส่งจากแผนครั้งล่าสุด

ข้อมูลสถานะของรถแต่ละคันในระบบได้รับมาจากหน่วยติดตามยานพาหนะ ซึ่งเป็นข้อมูลหลังจากที่ได้ทำการยืนยันคำสั่งการขนส่งกับลูกค้าแล้ว โดยในกระบวนการจัดตารางจะพิจารณาเฉพาะข้อมูลสถานะในตำแหน่งสุดท้ายของรถแต่ละคันที่จะสามารถเริ่มงานครั้งถัดไปต่อจากตำแหน่งเดิมที่กำหนดไว้ ณ จุดใดและเมื่อเวลาใด

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลสถานะรถตำแหน่งสุดท้ายที่ถูกกำหนดจากแผนครั้งล่าสุด

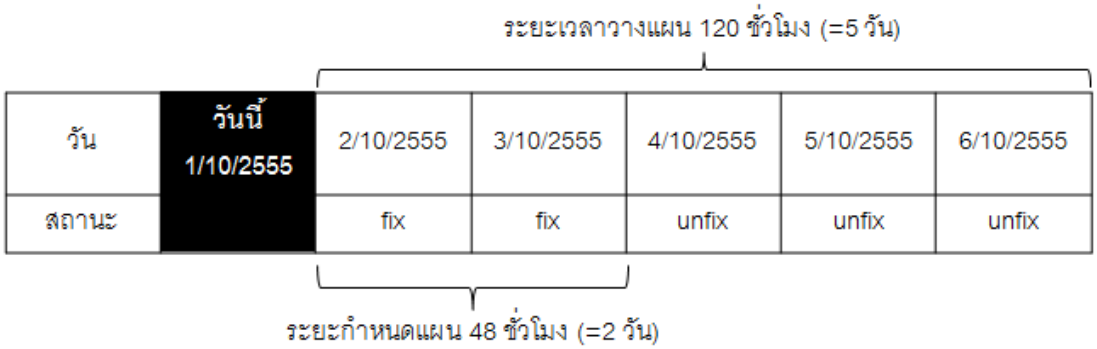
รหัสรถขนส่ง	ปริมาตรเต็มคันรถ ($ม^3$)	น้ำหนักเต็มคันรถ (กก.)	สถานที่สุดท้าย	เวลาที่ตำแหน่งสุดท้าย	ปริมาตรที่เหลือ ($ม^3$)	น้ำหนักที่เหลือ (กก.)
AH01	6	1,500	A	20/9/2555 23:00	2	500
AH02	6	1,500	B	20/9/2555 21:00	6	1,500
BH03	21	15,000	C	21/9/2555 07:00	21	15,000

ข้อมูลระยะเวลาวางแผนและระยะกำหนดแผน

ข้อมูลระยะเวลาวางแผนและระยะกำหนดแผนการขนส่งสินค้าได้รับมาจากผู้ใช้ที่กรอกเป็นข้อมูลนำเข้าเมื่อมีการใช้ระบบเป็นครั้งแรก และถูกนำไปใช้ในการจัดตารางการขนส่งสินค้า

ระยะเวลาวางแผน (Planning Horizon) คือ ช่วงระยะเวลาในการวางแผนการขนส่งสินค้าล่วงหน้า เป็นค่าคงที่ มีหน่วยเป็นชั่วโมง เช่น วันนี้เป็นวันที่ 1/10/2555 และ ระยะเวลาของแผนการขนส่งสินค้า คือ 120 ชั่วโมง แปลว่าระบบจะวางแผนการขนส่งตั้งแต่ 2/10/2555 00:00 ถึง 6/10/2555 23:00 โดยทั่วไปแล้วแผนการขนส่งเป็นแผนในระดับปฏิบัติการจึงเป็นการวางแผนระยะสั้นรายสัปดาห์

ระยะเวลากำหนดแผน (Fixed Period) คือ ช่วงระยะเวลาที่ถูกใช้ในการกำหนดสถานะของงานขนส่ง (fix หรือ unfix) ลงในแผนเส้นทางการขนส่งที่ถูกวางไว้ล่วงหน้า เป็นค่าคงที่ มีหน่วยเป็นชั่วโมง ซึ่งเส้นทางและลำดับการขนส่งที่อยู่ภายในช่วงระยะกำหนดแผนนี้ไม่สามารถทำเปลี่ยนแปลงได้ เช่น วันนี้เป็นวันที่ 1/10/2555 และระยะกำหนดแผน คือ 48 ชั่วโมง แปลว่าระบบจะกำหนดสถานะเส้นทางขนส่งตั้งแต่ 2/10/2555 00:00 ถึง 3/10/2555 23:00 เป็น fix และตั้งแต่ 4/10/2555 00:00 เป็นต้นไปจนถึงระยะเวลาวางแผนสุดท้ายมีสถานะเป็น unfix ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างระยะเวลาวางแผนและระยะเวลากำหนดแผน

สร้างแผนเส้นทางเดินรถ

การจัดตารางการขนส่งสินค้าจะนำข้อมูลความต้องการการรับและส่งสินค้าที่เลือกมาและเรียงลำดับแล้ว ข้อมูลระยะทางระหว่างสถานที่ ข้อมูลระยะเวลาระหว่างสถานที่ ข้อมูลสถานะของรถแต่ละคัน ข้อมูลรถขนส่งในระบบ และข้อมูลระยะเวลาที่ใช้สำหรับการวางแผนมาเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อใช้ในกระบวนการจัดตารางขนส่ง ที่มีการตัดสินใจเรื่องการเลือกเส้นทางและลำดับการขนส่งของรถแต่ละคัน โดยมีวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการขนส่งเพื่อให้เกิดต้นทุนการขนส่งรวมต่ำและสินค้าสามารถส่งได้ทันเวลา

แผนตารางเส้นทางเดินรถและลำดับการขนส่งสินค้า

ระบบจะส่งแผนการขนส่งสินค้าของรถแต่ละคันไปให้ยังหน่วยงานหรือผู้ใช้งานในลำดับถัดไป

- หน่วยรับความต้องการการรับและส่งสินค้า เพื่อดำเนินการยืนยันการขนส่งกับลูกค้า
- หน่วยติดตามยานพาหนะ เพื่อดำเนินการขนส่งและติดตามแผนการขนส่ง
- พนักงานขับรถ เพื่อใช้ในการดำเนินการขนส่งสินค้า

ตารางที่ 3.6 ตัวอย่างแผนตารางเส้นทางเดินรถและลำดับการขนส่งสินค้า

รหัสรถขนส่ง	วัน เวลา	สถานที่	การดำเนินงาน	รหัสงานขนส่ง
AH01	1/10/2555 10:00	A	รับสินค้า	OCF002
	1/10/2555 11:00	C	รับสินค้า	SFM004
	1/10/2555 14:00	B	ส่งสินค้า	OCF002
	1/10/2555 14:00	B	รับสินค้า	FOW001
	1/10/2555 18:00	D	ส่งสินค้า	SFM004
	1/10/2555 18:00	D	รับสินค้า	FOW003
	1/10/2555 22:00	E	ส่งสินค้า	FOW001
	1/10/2555 22:00	E	ส่งสินค้า	FOW003
	1/10/2555 22:00	E	รับสินค้า	OCF005
	2/10/2555 08:00	A	ส่งสินค้า	OCF005

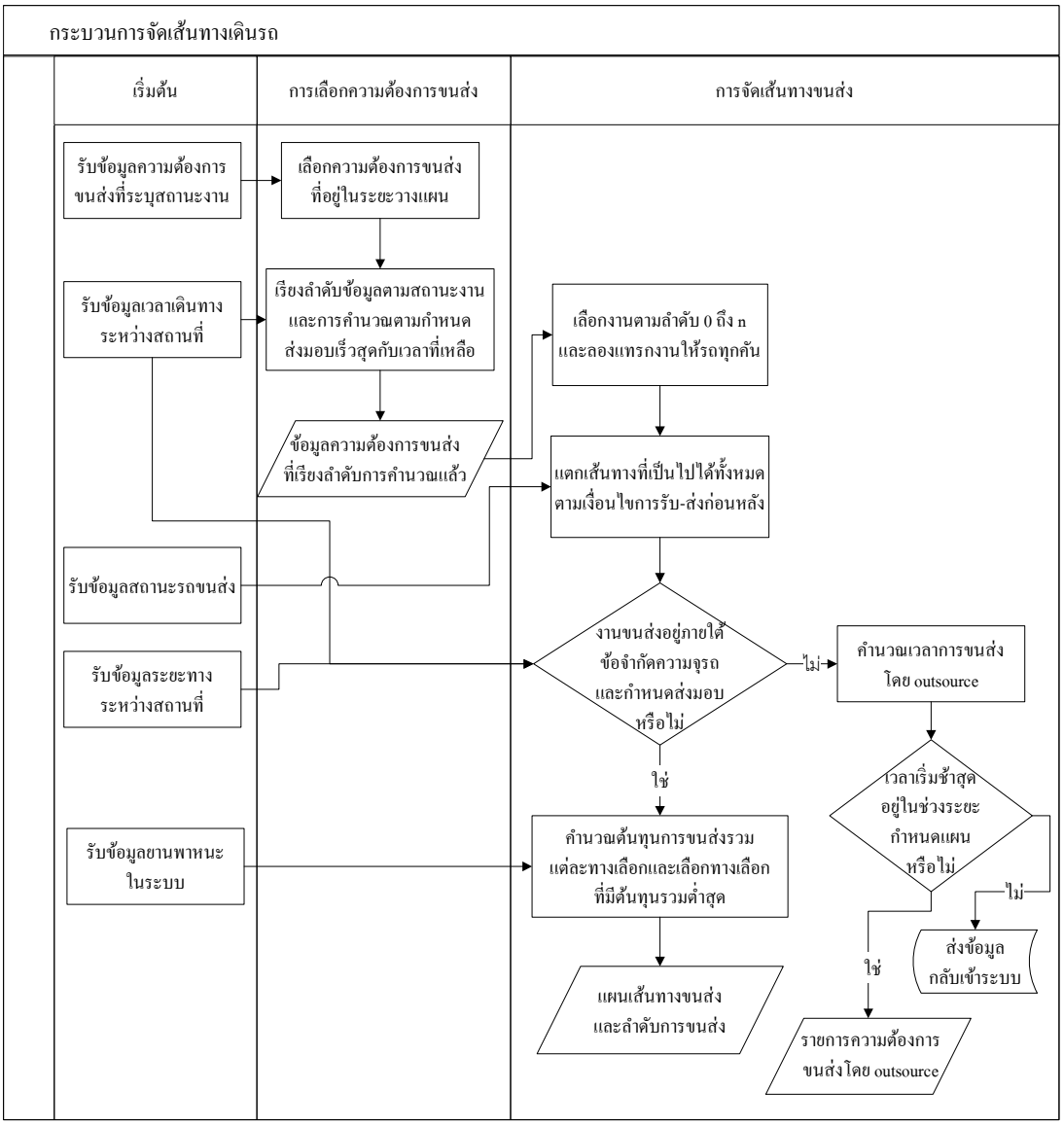
บทที่ 4

ฮิวริสติกและการทดสอบ

ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอเนื้อหาของฮิวริสติกที่ใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถของงานวิจัยนี้ ตามแนวทางของงานวิจัยในบทก่อนหน้าและการทดสอบคุณภาพของคำตอบที่ได้ตามสมมติฐานที่กำหนดขึ้นและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

4.1 ฮิวริสติก

การจัดเส้นทางเดินรถเพื่อลดต้นทุนการขนส่งในงานวิจัยนี้เป็นการนำวิธีการของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (open vehicle routing problem) มาประยุกต์ใช้ที่มีคุณลักษณะเด่นของเส้นทางเดินรถ คือ รถขนส่งไม่จำเป็นจะต้องกลับมายังจุดปล่อยรถ โดยจะหยุดที่จุดส่งสินค้ารายสุดท้ายของเส้นทางและสามารถเริ่มต้นเส้นทางรอบใหม่ต่อจากจุดนั้นได้ทันที ซึ่งแนวคิดในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับเส้นทางแบบเปิดที่รถขนส่งมีทั้งการรับและการส่งสินค้าภายใต้ข้อจำกัดความจุด้านปริมาตรและน้ำหนัก และกรอบเวลากำหนดส่งมอบ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ได้แก่ การเลือกข้อมูลความต้องการขนส่ง และการจัดเส้นทางขนส่ง โดยกระบวนการจัดเส้นทางได้นำเสนอวิธีการหาคำตอบด้วยฮิวริสติก ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดวิธีการคำนวณแต่ละขั้นตอน ดังภาพที่ 4.1 แสดงถึงภาพรวมของกระบวนการตัดสินใจการจัดเส้นทางขนส่ง ตั้งแต่เริ่มต้นรับข้อมูลต่างๆเข้ามาใช้สำหรับการประมวลผลในส่วนของขั้นตอนการเลือกความต้องการขนส่ง ซึ่งผลที่ได้จากกระบวนการนี้จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการถัดไปเป็นข้อมูลนำเข้าของการจัดเส้นทางขนส่งที่ใช้ร่วมกับข้อมูลอื่นมาประมวลผลเพื่อให้ได้แผนเส้นทางขนส่ง และสำหรับข้อมูลที่ไม่สามารถจัดเส้นทางได้จะถูกนำมาพิจารณาในส่วนของการขนส่งโดยผู้รับจ้างขนส่งภายนอก (outsource) ตามลำดับ เพื่อให้ผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้ออกมาคือ แผนเส้นทางและลำดับการขนส่ง



ภาพที่ 4.1 ภาพรวมของกระบวนการจัดเส้นทางขนส่ง

ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 4.1 และรายละเอียดของการคำนวณในแต่ละส่วนจะสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวแปร	ความหมาย
i	ลำดับข้อมูลความต้องการขนส่งที่รับเข้ามาในระบบ i = 1,2,3,…N
N	จำนวนของความต้องการขนส่งทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ
j	ลำดับการขนส่งของเส้นทางเดินรถ j = 1,2,3,…S
S	จำนวนลำดับการขนส่งทั้งหมดที่เกิดขึ้นของเส้นทาง
k	ลำดับรถขนส่งในระบบที่มีอยู่ k = 1,2,3,…m
m	จำนวนของรถขนส่งทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบทั้งหมด
a,b	โหนดใดๆของความต้องการขนส่งหรือลำดับเส้นทางการขนส่ง ; $\forall(a,b) \in G, a \neq b$
G	จำนวนโหนดทั้งหมดในระบบ
E_i	เวลากำหนดรับเร็วสุดของแต่ละความต้องการขนส่งลำดับที่ i ; $\forall i \in N$
E_{ijk}	เวลากำหนดรับเร็วสุดของแต่ละความต้องการขนส่ง i ที่อยู่ในลำดับ j แต่ละเส้นทางของรถคันที่ k ; $\forall i \in N, \forall j \in S, \forall k \in m$
L_{i}	เวลากำหนดส่งช้าสุดของแต่ละความต้องการขนส่งลำดับที่ i ; $\forall i \in N$
L_{ijk}	เวลากำหนดส่งช้าสุดของแต่ละความต้องการขนส่ง i ที่อยู่ในลำดับ j แต่ละเส้นทางของรถคันที่ k ; $\forall i \in N, \forall j \in S, \forall k \in m$
t_{ab}	เวลาเดินทางจากโหนด a ในลำดับที่ j-1 ไปโหนด b ในลำดับที่ j ; $\forall(a,b) \in G, a \neq b$
T_{jk}	เวลามาถึงลำดับโหนดที่ j แต่ละเส้นทางของรถคันที่ k ; $\forall j \in S, \forall k \in m$
d_{jk}	ระยะทางระหว่างลำดับโหนดที่ j แต่ละเส้นทางของรถคันที่ k ; $\forall j \in S, \forall k \in m$
w_{ijk}	น้ำหนักของงานขนส่ง i ที่อยู่ในลำดับการขนส่งที่ j แต่ละเส้นทางบนรถคันที่ k ; $\forall i \in N, \forall j \in S, \forall k \in m$
v_{ijk}	ปริมาตรของงานขนส่ง i ที่อยู่ในลำดับการขนส่งที่ j แต่ละเส้นทางบนรถคันที่ k ; $\forall i \in N, \forall j \in S, \forall k \in m$
WO_{jk}	น้ำหนักรวมงานขนส่งที่มีอยู่ในลำดับการขนส่งที่ j แต่ละเส้นทางของรถคันที่ k ; $\forall j \in S, \forall k \in m$
VO_{jk}	ปริมาตรรวมงานขนส่งที่มีอยู่ในลำดับการขนส่งที่ j แต่ละเส้นทางของรถคันที่ k ; $\forall j \in S, \forall k \in m$
CW_k	น้ำหนักความจุรถขนส่งคันที่ k หน่วย กิโลกรัม ; $\forall k \in m$
CV_k	ปริมาตรความจุรถขนส่งคันที่ k หน่วย ลูกบาศก์เมตร ; $\forall k \in m$
c_{k}	ต้นทุนค่าขนส่งของรถแต่ละคัน หน่วย บาท/กิโลเมตร ; $\forall k \in m$

4.1.1 การเลือกความต้องการขนส่ง

จากข้อมูลความต้องการขนส่งในงานวิจัยนี้มีลักษณะที่กำหนดการรับส่งสินค้าเป็นช่วงเวลาหนึ่งจึงจะต้องทำการเลือกงานขนส่งที่มีความเร่งด่วนมากทำการจัดเส้นทางก่อนเพื่อให้ความต้องการขนส่งทั้งหมดในระบบสามารถขนส่งได้ทันเวลาพอดี โดยการหาความเร่งด่วนของงานพิจารณาประยุกต์จาก 2 กฎการจ่ายงาน คือ “กำหนดส่งมอบเร็วที่สุด (Earliest Due Date หรือ EDD)” และ “เวลาที่เหลือก่อนจะถึงกำหนดส่งมอบน้อยสุด (Min Slack Time หรือ MST)” ตามลำดับ ถ้ากำหนดส่งมอบเร็วสุดเท่ากันจะต้องพิจารณาที่ความเร่งด่วนของงานจาก slack time ซึ่งงานที่มีค่า slack time น้อยกว่าจะเป็นงานที่มีความเร่งด่วนมากจะถูกนำมาพิจารณาจัดเส้นทางขนส่งก่อน ภาพรวมของขั้นตอนการเลือกข้อมูลความต้องการขนส่งแสดงดังภาพที่ 4.2

<u>คำอธิบายในแต่ละส่วนของขั้นตอนการเลือกความต้องการขนส่ง</u>

[1] เลือกข้อมูลที่อยู่ในระยะวางแผน

การเลือกข้อมูลเพื่อที่นำมาจัดเส้นทางแต่ละครั้งจะทำการเปรียบเทียบเวลากำหนดรับส่งเร็วสุด (Earliest date: E_i) ของความต้องการขนส่งจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาสุดท้ายของระยะวางแผน (End plan) การคำนวณดังนี้

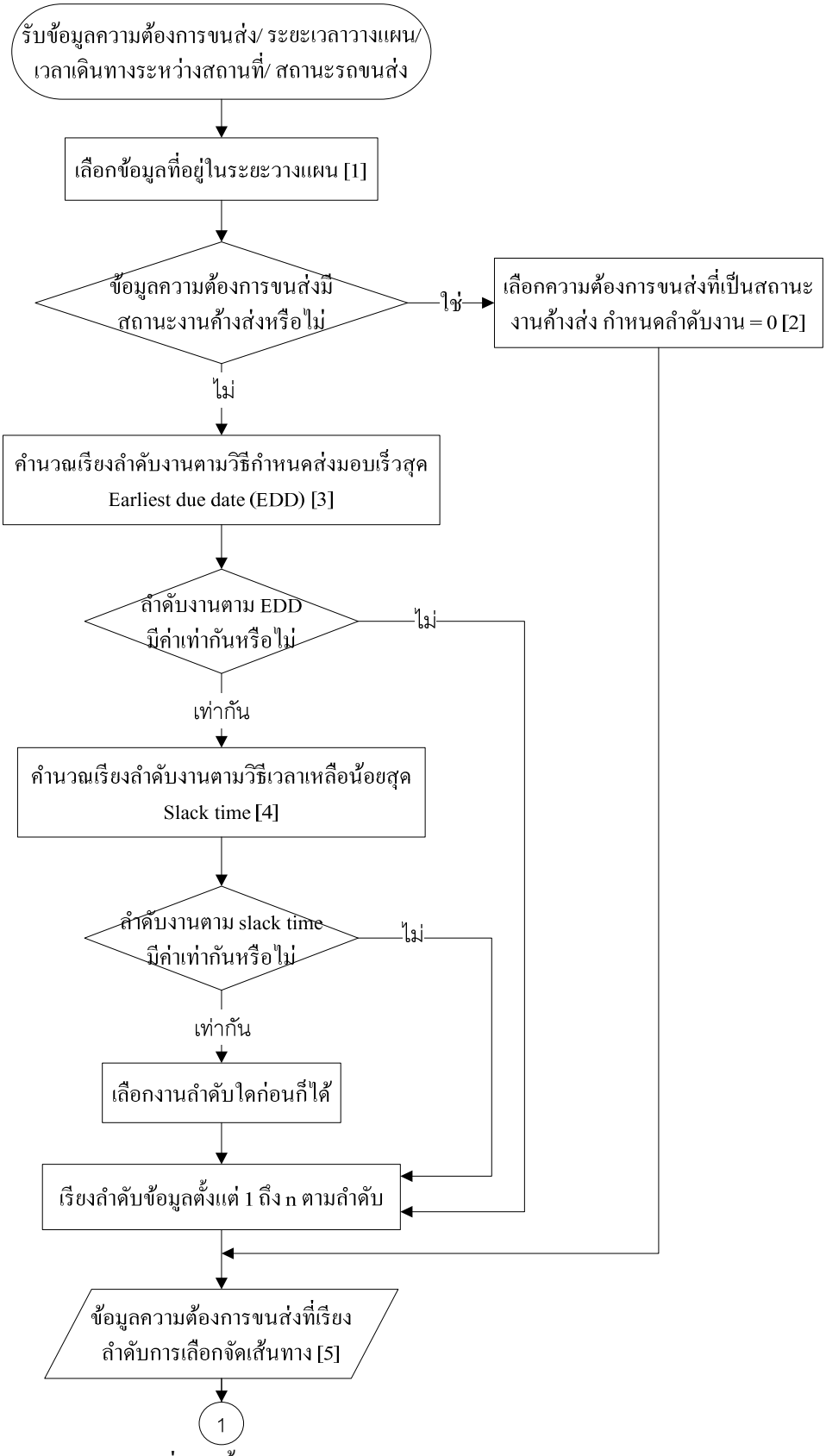
$$End\ plan = Today + \ Planning\ horizon \tag{4.1}$$

$$E_i \leq End\ plan \tag{4.2}$$

โดย $End\ plan$ คือ เวลาสุดท้ายของระยะวางแผนเส้นทางขนส่ง

$Today$ คือ เวลาปัจจุบันที่วางแผน ซึ่งการคิดเวลาวางแผนจะเริ่มนับจากวันถัดไป

$Planning\ horizon$ คือ ระยะวางแผน ที่ผู้ใช้งานระบุ มีหน่วยเป็นชั่วโมง



ภาพที่ 4.2 ขั้นตอนการเลือกความต้องการขนส่งมาจัดเส้นทาง

ตัวอย่าง วันปัจจุบันที่วางแผน(Today) คือ วันที่ 1/10/2555 ระยะวางแผน (Planning horizon) ผู้ใช้งานระบุ 120 ชั่วโมง เท่ากับ 5 วัน ดังนั้นวันที่เริ่มต้นแผนขนส่งคือ วันที่ 2/10/2555 ถึงวันที่สุดท้ายของแผนขนส่ง (End plan) คือ วันที่ 6/10/2555

ตารางที่ 4.2 การเลือกข้อมูลที่อยู่ในระยะวางแผนเพื่อจัดเส้นทาง

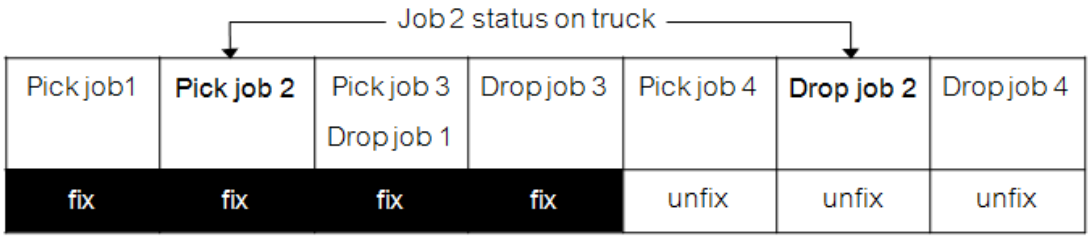
Job no. (i)	From	To	Volume (V_i)	Weight (W_i)	Earliest date (E_i)	Latest date (L_i)	Status job	$E_i \leq End\ plan$ **6/10/2555**
1	A	D	4	300	**1/10/2555 0:00**	2/10/2555 09:00	0	**T**
2	B	C	2	250	**1/10/2555 0:00**	3/10/2555 20:00	1	**T**
3	D	A	1	100	**3/10/2555 8:00**	5/10/2555 0:00	2	**T**
4	A	C	6	700	**7/10/2555 0:00**	8/10/2555 0:00	2	**F**

[2] เลือกความต้องการขนส่งที่เป็นสถานะงานค้างส่ง กำหนดลำดับงาน = 0

ข้อมูลความต้องการขนส่งที่รับเข้าจะประกอบด้วยงาน 3 สถานะ ได้แก่

Status job 0 หมายถึง งานที่ถูกกำหนดแผนขนส่ง (fix) ซึ่งจะไม่สามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากได้ทำการยืนยันคำสั่งส่งสินค้ากับลูกค้าแล้ว

Status job 1 หมายถึง งานค้างส่ง (on truck) ซึ่งเป็นงานที่ได้รับการยืนยันคำสั่งรับสินค้ากับลูกค้าแล้วในช่วงกำหนดแผนขนส่งแต่ยังไม่ได้ทำการยืนยันคำสั่งส่งสินค้า แสดงดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างแสดงสถานะงานค้างส่ง

Status job 2 หมายถึง งานที่ยังไม่ถูกกำหนดแผนขนส่ง (unfix) ซึ่งจะสามารถทำการเปลี่ยนแปลงได้ เพราะข้อมูลมีการเพิ่มขึ้นหรือยกเลิกเมื่อเวลาผ่านไป

ในการคำนวณเรียงลำดับงานเพื่อใช้ในการจัดเส้นทางจะพิจารณาเฉพาะความต้องการขนส่งที่มี Status job 1 และ 2 เท่านั้น โดยในการกำหนดลำดับงานจะแบ่งงานออกเป็น 2 กลุ่ม คือ

- ความต้องการขนส่งที่มี status job 1 กำหนดลำดับงาน 0 เป็นความต้องการขนส่งที่ถูกนำมาจัดเส้นทางให้กับรถที่ fix ไว้เป็นอันดับแรก และเป็นเงื่อนไขในการพิจารณางานลำดับถัดไป
- ความต้องการขนส่งที่มี status job 2 กำหนดลำดับงาน ตั้งแต่ 1 ถึง n โดยที่ n คือ ลำดับความต้องการขนส่งที่ถูกเลือกมาในระยะวางแผน

[3] คำนวณเรียงลำดับงานตามวิธี Earliest Due Date (EDD)

กฎการจัดลำดับ EDD ซึ่งจะเรียงลำดับงานกำหนดส่งมอบช้าสุด (Latest Date : L_i) จากน้อยไปมาก (ปารเมศ ชุติมา, 2546)

$$\mathrm{L}_1 \leq L_2 \leq L_3 \leq \cdots \leq L_n \tag{4.3}$$

ตารางที่ 4.3 การคำนวณเรียงลำดับงานตามกำหนดส่งมอบช้าสุดที่เร็วสุดของความต้องการขนส่งที่ถูกเลือกมา

Job no. (i)	From	To	Volume (V_i)	Weight (W_i)	Earliest date (E_i)	**Latest date (L_i)**	Status job	Rank
1	A	D	3	300	1/10/2555 0:00	**2/10/2555 09:00**	0	-
2	B	C	2	250	1/10/2555 0:00	**3/10/2555 20:00**	1	0
3	D	A	1	100	3/10/2555 8:00	**4/10/2555 0:00**	2	2
4	C	A	5	700	2/10/2555 0:00	**3/10/2555 0:00**	2	1
5	D	C	6	280	3/10/2555 0:00	**5/10/2555 23:00**	2	3

[4] คำนวณเรียงลำดับงานตามวิธี Slack time

กฎการจัดลำดับ MST (min slack time) ซึ่งจะเรียงลำดับงานเวลาหย่อนน้อยไปมาก (ปารเมศ ชุติมา, 2546)

$$S_1 \leq S_2 \leq S_3 \ldots \leq S_n \quad (4.4)$$

การคำนวณเวลาหย่อน (Slack time : S_i) ตามสมการที่ 4.5

$$S_i = L_i - t_{ab} - \max\{E_i, \min(F_k)\} \quad (4.5)$$

โดย S_i คือ เวลาหย่อนของลำดับความต้องการขนส่งที่ i

t_{ab} คือ เวลาเดินทางจากจุดรับ a ไปยังจุดส่งสินค้า b ของงานขนส่งนั้น

F_k คือ เวลาสุดท้ายที่ถูกกำหนดไว้ของรถขนส่งคันที่ k

ตัวอย่าง จุดอ้างอิงเวลาคือ วันที่ 2/10/2555 0:00

ตัวอย่างสถานะล่าสุดของรถขนส่งที่ถูกกำหนดเวลาและตำแหน่งสุดท้ายที่รับส่งสินค้า

Truck no. (k)	Capacity volume	Capacity weight	Fixed Node	Fixed date (F_k)	Left volume	Left weight
1	30	1000	A	**2/10/2555 7:00**	30	1000
2	30	1000	B	**2/10/2555 0:00**	30	1000
3	30	1000	C	**2/10/2555 4:00**	30	1000

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการคำนวณเวลาหย่อนของงานที่ถูกเลือกมาและมีเวลาช้าสุดเท่ากัน

Job no. (i)	From	To	Travel time (t_i)	Earliest date (E_i)	Latest date (L_i)	**Slack time (S_i)**	Rank
1	E	D	10	1/10/2555 0:00	2/10/2555 23:00		1
2	B	C	6	2/10/2555 0:00	**3/10/2555 23:00**	**48-6-max{0,min(0,4,7)} = 42**	3
3	A	C	8	2/10/2555 9:00	**3/10/2555 23:00**	**48-8-max{9,min(0,4,7)} = 31**	2

[5] ตัวอย่างข้อมูลความต้องการขนส่งที่เรียงลำดับการเลือกจัดเส้นทาง

Job no.	From	To	Volume	Weight	Earilest date	Latest date	Status job	Slack time	Rank
1	A	D	6	700	1/10/2555 0:00	1/10/2555 20:00	0	-	-
2	E	A	1	100	1/10/2555 0:00	2/10/2555 17:00	1	-	0
3	B	C	1	150	1/10/2555 0:00	2/10/2555 12:00	1	-	0
4	D	B	2	250	2/10/2555 0:00	3/10/2555 17:00	2	-	1
5	C	A	5	500	2/10/2555 0:00	3/10/2555 23:00	2	-	2
6	A	B	3	300	2/10/2555 12:00	4/10/2555 23:00	2	40	4
7	B	D	6	600	3/10/255 0:00	4/10/2555 23:00	2	17	3
8	E	B	6	750	3/10/2555 0:00	5/10/2555 23:00	2	-	5

4.1.2 การจัดเส้นทางขนส่ง

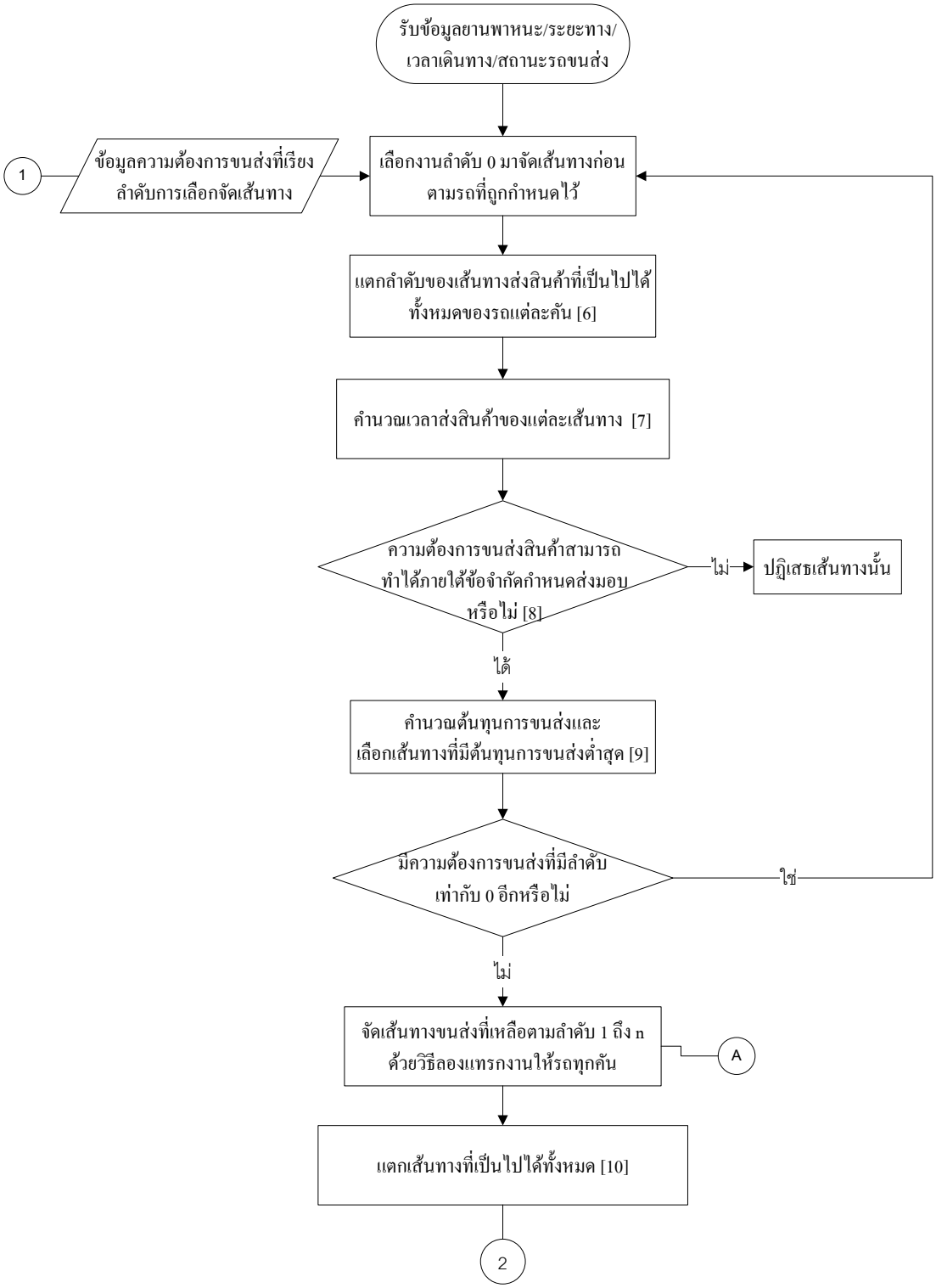
ในขั้นตอนการจัดเส้นทางขนส่งนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนย่อยคือ การสร้างแผนเส้นทางขนส่ง การกำหนดสถานะแผนขนส่ง และการกำหนดรายการขนส่งโดย outsource

1) การสร้างเส้นทางเดินรถ จะเป็นการนำข้อมูลความต้องการขนส่งที่ถูกเลือกมาทำการจัดเส้นทางให้แก่รถขนส่งแต่ละคันภายใต้ข้อจำกัดของความจุและกรอบเวลากำหนดส่งมอบโดยมีเกณฑ์การตัดสินใจเลือกงานลงบนรถที่ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งรวมต่ำสุดในแต่ละครั้ง หลังจากที่ทำการพิจารณาจัดเส้นทางครบทุกความต้องการขนส่งแล้วนั้นผลที่ได้จะมี 2 ส่วนคือ แผนเส้นทางขนส่งโดยรถของบริษัท และข้อมูลความต้องการขนส่งที่เหลือซึ่งไม่สามารถขนส่งได้ด้วยรถบริษัท

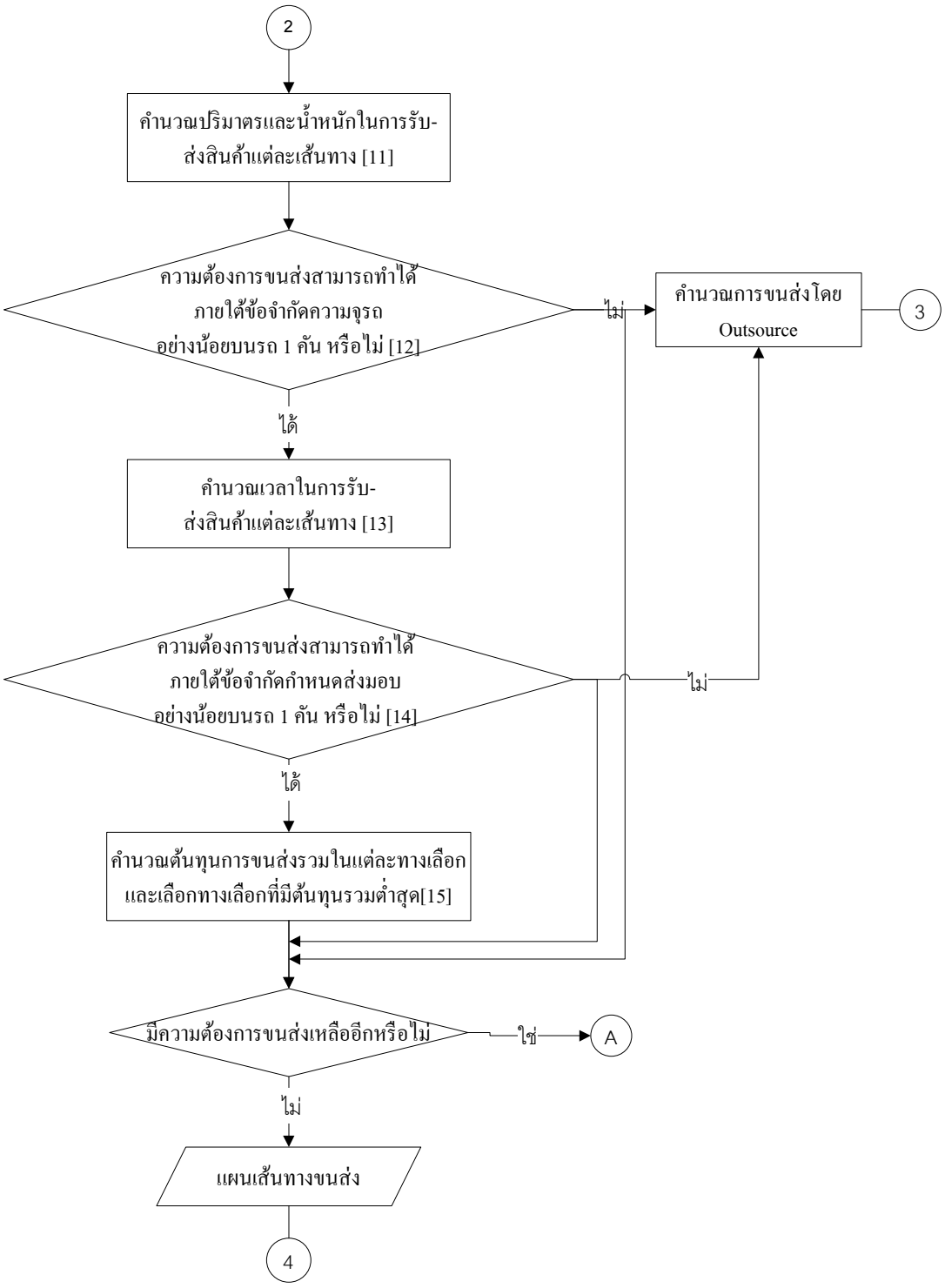
2) การกำหนดสถานะแผนขนส่ง เป็นการนำแผนเส้นทางขนส่งโดยรถบริษัทที่ได้จากขั้นตอนก่อนหน้านี้มาทำการกำหนดสถานะการทำงานที่มีความแน่นอนเพื่อส่งต่อข้อมูลให้กับพนักงานขับรถใช้ดำเนินการวางแผนต่อและให้กับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องยืนยันการส่งสินค้าให้กับลูกค้าและเพื่อกำหนดข้อมูลที่สามารถให้ทำการปรับเส้นทางได้ภายหลังเมื่อมีข้อมูลความต้องการขนส่งใหม่เข้ามาในระบบ โดยการกำหนดสถานะแผนขนส่งพิจารณาจากระยะเวลากำหนดแผน (fixed period) ที่ผู้ใช้งานกำหนด
3) การกำหนดรายการขนส่งโดย outsource เป็นการนำข้อมูลความต้องการขนส่งที่เหลือในแต่ละรอบของการจัดเส้นทางซึ่งไม่สามารถขนส่งได้ด้วยรถบริษัทเนื่องจากเกินความสามารถในการบรรทุกและไม่สามารถส่งได้ทันกำหนดเวลาภายใต้เส้นทางเดินรถที่มีอยู่ มาทำการพิจารณาข้อมูลความต้องการขนส่งที่มีความจำเป็นจะต้องจ้างผู้ประกอบการภายนอก (outsource) มาดำเนินการแทนเพื่อให้ทันตามกำหนดส่งมอบหรือข้อมูลยังสามารถรอที่จะทำการจัดเส้นทางใหม่ในรอบถัดไปได้ โดยพิจารณาจากเวลากำหนดแผน (fixed date) เทียบกับเวลาที่เหลือของการเดินทาง

4.1.2.1 การสร้างเส้นทางเดินรถ

เนื่องจากสมมติฐานของการจัดเส้นทางขนส่งคือ จะไม่มีการถ่ายโอนหรือพักสินค้าระหว่างการขนส่ง จึงต้องเลือกงานขนส่งที่มีลำดับงาน 0 ซึ่งเป็นสถานะงานค้างส่งนำมาคำนวณก่อนเป็นลำดับแรกให้กับรถขนส่งที่ถูกระบุการรับความต้องการขนส่งนั้นอยู่แล้ว เพื่อสร้างเป็นเส้นทางเริ่มต้นและเป็นเงื่อนไขในการจัดเส้นทางขนส่งของงานลำดับถัดไป โดยการจัดเส้นทางเดินรถเป็นวิธีการทางฮิวริวติกของการจัดแบบแทรกงาน (Insertion heuristic) ที่มีภาพรวมของการจัดเส้นทางขนส่งแสดงดังภาพที่ 4.4



ภาพที่ 4.4 ขั้นตอนการสร้างเส้นทางเดินรถ



ภาพที่ 4.4 ขั้นตอนการสร้างเส้นทางเดินรถ (ต่อ)

คำอธิบายในแต่ละส่วนของขั้นตอนการสร้างแผนเส้นทางขนส่ง

[6] แตกลำดับของเส้นทางส่งสินค้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของรถแต่ละคัน

ทำการสลับตำแหน่งงานจุดส่งสินค้าที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมด โดยการสลับลำดับการขนส่งนั้นจะเริ่มคำนวณต่อจากตำแหน่งสุดท้ายของรถที่ถูกกำหนดไว้ในรอบก่อนหน้า (Fixed node)

ตัวอย่าง ข้อมูลที่ต้องใช้ประกอบในการคำนวณคือ ข้อมูลรถขนส่งสถานะล่าสุด ข้อมูลความต้องการขนส่งที่ระบุรถขนส่ง และข้อมูลความต้องการขนส่งที่เรียงลำดับแล้ว

ตัวอย่างความต้องการขนส่งของผลการจัดเส้นทางที่ระบุรถขนส่ง

Job no.	From	To	Volume	Weight	Earliest date	Latest date	Status job	Truck no.
1	A	B	6	700	1/10/2555 0:00	1/10/2555 21:00	0	1
2	C	D	1	100	1/10/2555 0:00	2/10/2555 23:00	1	2
3	E	C	2	200	1/10/2555 0:00	2/10/2555 23:00	1	2
4	B	E	5	600	2/10/2555 0:00	3/10/2555 12:00	2	-

ตารางที่ 4.5 สถานะล่าสุดของรถขนส่งที่ถูกกำหนดเวลาและตำแหน่งสุดท้ายที่รับส่งสินค้า

Truck no. (k)	Capacity volume	Capacity weight	Cost ฿/km	Fixed Node	Fixed date (F_k)	Left volume	Left weight
1	6	1,500	3	A	2/10/2555 7:00	6	1,500
2	6	1,500	4	B	2/10/2555 0:00	4	1,200
3	21	15,000	6	C	2/10/2555 4:00	21	15,000

ตารางที่ 4.6 ความต้องการขนส่งที่เรียงลำดับการเลือกข้อมูล

Job no.	From	To	Volume	Weight	Earliest date	Latest date	Status job	Rank
1	A	B	6	700	1/10/2555 0:00	1/10/2555 21:00	0	-
2	C	D	1	100	1/10/2555 0:00	2/10/2555 23:00	1	0
3	E	C	2	200	1/10/2555 0:00	2/10/2555 9:00	1	0
4	B	D	5	600	2/10/2555 0:00	2/10/2555 23:00	2	1
5	C	A	4	500	3/10/2555 0:00	3/10/2555 17:00	2	2
6	D	B	1	150	3/10/2555 0:00	3/10/2555 23:00	2	3
7	A	E	2	180	3/10/2555 0:00	3/10/2555 23:00	2	4

จากตารางความต้องการขนส่งของผลการจัดเส้นทางที่ระบุรถขนส่งจะเห็นได้ว่างานขนส่งที่ 2 และ 3 มีสถานะเป็นงานค้าง (status job =1) และถูกกำหนดให้ดำเนินการโดยรถขนส่งคันที่ 2 จึงนำมาจัดเส้นทางบนรถคันที่ 2 ก่อน โดยที่จุดเริ่มต้นและเวลาเริ่มต้นจะเป็นจุด B 2/10/2555 0:00 จากตารางสถานะล่าสุดของรถขนส่ง โดยเส้นทางที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมดแสดงดังตาราง

ตัวอย่างการสร้างเส้นทางขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมด

Truck(k)	Route(r)	Sequence(j)	Job no.(i)	Node(ab)	Arrival time (T)
2	1	1	0	B	2/10/2555 0:00
		2	2	D	2/10/2555 5:00
		3	3	C	2/10/2555 6:00
2	2	1	0	B	2/10/2555 0:00
		2	3	C	2/10/2555 10:00
		3	2	D	2/10/2555 11:00

[7] คำนวณเวลาในการส่งสินค้าของแต่ละเส้นทาง

การคำนวณเวลาแต่ละจุดส่งสินค้าในเส้นทางของลำดับการขนส่งจะเริ่มคำนวณจากเวลาที่รถถูกกำหนดไว้ (Fixed date) ของรถแต่ละคันตามสมการที่ 4.6

$$T_{\mathrm{jk}} = T_{j-1,k} + t_{ab} \tag{4.6}$$

ตัวอย่าง การคำนวณเวลาที่มาถึงในการส่งสินค้าดังตารางที่ 4.8 ข้อมูลที่จะต้องนำมาประมวณผลคือเวลาเดินทางระหว่างสถานที่จากตารางที่ 4.7 และลำดับเส้นทางที่ได้จาก [6]

ตารางที่ 4.7 เวลาเดินทางระหว่างสถานที่ในระบบ

Travel time (hr) From\To	A	B	C	D	E
A	0	8	6	9	2
B	7	0	10	5	3
C	8	10	0	1	4
D	7	4	1	0	12
E	3	3	5	10	0

ตารางที่ 4.8 การคำนวณเวลามาถึงในการส่งสินค้าแต่ละลำดับ

Truck (k)	Route (r)	Sequence (j)	Job no. (i)	Node (a->b)	Travel time ($t_{a(j-1)\rightarrow bj}$)		Arrival time (T_{jk})
2	1	1	0	B			2/10/2555 0:00
		2	2	D	B->D = 5 hr		2/10/2555 5:00
		3	3	C	D->C = 1 hr		2/10/2555 6:00
2	2	1	0	B			2/10/2555 0:00
		2	3	C	B->C = 10 hr		2/10/2555 10:00
		3	2	D	C->D = 1 hr		2/10/2555 11:00

[8] ความต้องการขนส่งสินค้าสามารถทำได้ภายใต้ข้อจำกัดกำหนดส่งมอบหรือไม่

เวลาที่มาถึงจุดส่งสินค้าของความต้องการขนส่งใดๆจะต้องมีค่าไม่เกินเวลากำหนดส่งมอบช้าสุดเงื่อนไขที่พิจารณาตามสมการที่ 4.7 และตัวอย่างการคำนวณแสดงดังตารางที่ 4.9

$$T_{\mathrm{jk}} \leq L_{\mathrm{ijk}} \tag{4.7}$$

ตารางที่ 4.9 การตรวจสอบเวลาที่มาถึงเทียบกับเวลากำหนดส่งมอบ

Truck (k)	Route (r)	Sequence (j)	Job no. (i)	Node (a->b)	Latest date (L_i)	Arrival time (T_{jk})	$T_{jk} \leq L_{ijk}$
2	1	1	0	B		2/10/2555 0:00	
		2	2	D	2/10/2555 23:00	2/10/2555 5:00	T
		3	3	C	2/10/2555 9:00	2/10/2555 6:00	T
2	2	1	0	B		2/10/2555 0:00	
		2	3	C	2/10/2555 9:00	2/10/2555 10:00	**F**
		3	2	D	2/10/2555 23:00	2/10/2555 11:00	T

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าเส้นทางที่ 2 งาน 3 ไปส่งที่โหนด C เกินกำหนดส่งมอบ เพราะฉะนั้นจึงปฏิเสธเส้นทางที่ 2 เหลือเพียงเส้นทางที่ 1 ในการไปคำนวณขั้นถัดไป

[9] คำนวณต้นทุนการขนส่งและเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนการขนส่งต่ำสุด

สมมติฐานการคำนวณต้นทุนการขนส่งคือ ต้นทุนการขนส่งจะแปรผันตามระยะทาง ไม่รวมถึงต้นทุนคงที่ของรถแต่ละคัน และค่าเสียโอกาสในการรอ อีกทั้งต้นทุนของรถแต่ละคันจะมีค่าคงที่หน่วย บาท/กิโลเมตร ไม่แปรผันตามการบรรทุก การคำนวณต้นทุนตามสมการที่ 4.8

$$\min cost_k = \min \{ \sum_{j=1}^{S} d_{jk} \} \times c_k \qquad (4.8)$$

<u>*ตัวอย่าง*</u> จากตารางที่ 4.5 สถานะรถขนส่ง ข้อมูลที่จะต้องนำมาประมวลผลคือ ต้นทุนค่าขนส่งของรถแต่ละคัน (บาท/กิโลเมตร) โดยคำนวณต้นทุนการขนส่งกับระยะทางทั้งหมดของแต่ละเส้นทางบนรถแต่ละคันที่สามารถทำได้ภายในกำหนดส่งมอบ จากเส้นทางของตารางที่ 4.9 ผลการคำนวณระยะทางและต้นทุนแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ระยะทางระหว่างสถานที่ในระบบ

Distance (km) From\To	A	B	C	D	E
A	0	480	360	540	100
B	400	0	800	300	180
C	480	700	0	170	250
D	450	240	50	0	1440
E	200	150	320	1000	0

ตารางที่ 4.11 การคำนวณระยะทางและต้นทุนการขนส่ง

Truck (k)	Route (r)	Seq. (j)	Job no. (i)	Node (ab)	Arrival time (T_{jk})	Distance ($d_j = d_{a(j-1)\to bj}$)	Cost (c_k) 4 ฿/km
2	1	1	0	B	2/10/2555 0:00	0	
		2	2	D	2/10/2555 5:00	$d_{B\to D} = 300$	1,200
		3	3	C	2/10/2555 6:00	$d_{D\to C} = 50$	200
						$\sum_{j=1}^{S} d_{jk} = 350$	1,400

หลังจากที่งานค้างส่งได้ถูกจัดเส้นทางครบทุกรายการแล้ว ในลำดับถัดไปการจัดเส้นทางของงานที่เหลือจะเป็นการหาคำตอบด้วยวิธี Insertion heuristic ที่ในแต่ละรอบจะทำการค้นหาว่างานขนส่งที่รอการจัดลงเส้นทางแต่ละจุดสามารถแทรกลงได้ในเส้นทางที่จัดค้างอยู่ได้ในตำแหน่งใดบ้าง โดยตำแหน่งที่ทำการแทรกนั้นสามารถเป็นได้ทุกตำแหน่งหลังจุดเริ่มต้นของรถที่ถูกกำหนดไว้ (Fixed node) ซึ่งจะทำการลองแทรกงานจุดรับและส่งสินค้าของงานขนส่งที่กำลังพิจารณาขณะนั้นลงบนรถทุกคัน เพื่อเปรียบเทียบหาเส้นทางซึ่งพยายามแทรกงานขนส่งใหม่เข้าไปในเส้นทางเดิมที่ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งต่ำสุดในแต่ละครั้ง อย่างไรก็ตามการจัดเส้นทางต้องคำนึงถึงข้อจำกัดหลัก ได้แก่ ความจุรถทั้งในด้านปริมาตรและน้ำหนัก และกำหนดส่งมอบสินค้าให้สามารถเป็นไปได้ด้วย อัลกอริทึมจะกระทำซ้ำเช่นเดิมจนกระทั่งงานขนส่งทั้งหมดส่งไปยังลูกค้าทุกรายการ การคำนวณการจัดเส้นทางด้วยวิธีการ Insertion heuristic ของงานวิจัย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

[10] สร้างเส้นทางรับและส่งสินค้าที่เป็นไปได้ทั้งหมด ตามเงื่อนไขการรับ-ส่งก่อนหลัง

ข้อจำกัดด้านลำดับก่อนหลัง (Precedence Constraint) คือ การดำเนินงานหนึ่งจะเริ่มขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเซตของการดำเนินงานจำนวนหนึ่งก่อนหน้าได้ทำเสร็จสิ้นแล้วเท่านั้น (ปารเมศ ชุติมา, 2546) สำหรับการขนส่งข้อจำกัดก่อนหลังในที่นี้หมายถึง จะต้องดำเนินการรับสินค้าที่จุดรับก่อนถึงจะสามารถดำเนินการส่งสินค้าที่จุดส่งของความต้องการขนส่งนั้นได้ ซึ่งการสร้างเส้นทางจะเลือกงานตั้งแต่ลำดับที่ 1 ถึง n ตามที่ได้เรียงลำดับข้อมูลมาก่อนหน้านี้ โดยการแทรกงานลงบนเส้นทางในตำแหน่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดของลำดับงานแบบบางส่วนที่สร้างขึ้นนี้จะต้องไม่เปลี่ยนแปลงลำดับงานขนส่งที่ได้จัดวางก่อนหน้า ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการของ Nawaz ที่ได้เสนอฮิริสติกที่ใช้งานง่ายและให้คำตอบที่ดีในกรณีส่วนมาก และตำแหน่งแรกที่สามารถทำการแทรกงานได้จะต่อจากจุดที่รถถูกกำหนดไว้ (Fixed node) ตามสถานะรถขนส่ง

ตัวอย่าง จากตารางที่ 4.5 ตำแหน่งเริ่มต้นของรถขนส่งคันที่ 1, 2 และ 3 คือ A, B และ C ตามลำดับ ซึ่งงานที่ถูกเลือกมาจัดเส้นทางครั้งนี้คือ งาน 5 จากตารางที่ 4.6 เส้นทางขนส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดแบบบางส่วนของรถคันที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 ตัวอย่างเส้นทางลำดับการขนส่งที่ได้จัดวางไว้ก่อนหน้า

Inset no.	Truck no.	Route	Sequence			
			1	2	3	
1	1	1	0	+J4	-J4	Job
			A	B	C	Node
	2	1	+J2 , +J3	-J2	-J3	
			B	D	C	
	3	1	0			
			C			

ตารางที่ 4.13 ตัวอย่างการสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดแบบบางส่วนของรถคันที่ 2

Insert no.	Truck no.	Route	Sequence					
			1	2	3	4	5	
2	2	1	0	**+J5**	**-J5**	-J2	-J3	Job no.
			B	C	A	D	C	Node
		2	0	**+J5**	-J2	**-J5**	-J3	
			B	C	D	A	C	
		3	0	**+J5**	-J2	-J3	**-J5**	
			B	C	D	C	A	
		4	0	-J2	**+J5**	**-J5**	-J3	
			B	D	C	A	C	
		5	0	-J2	**+J5**	-J3	**-J5**	
			B	D	C	C	A	
		6	0	-J2	-J3	**+J5**	**-J5**	
			B	D	C	C	A	

จากเส้นทางของรถคันที่ 2 ที่ได้จัดไว้ก่อนหน้าเทียบตารางที่ 4.12 กับเส้นทางที่สร้างขึ้นโดยการแทรกความต้องการขนส่งลงในเส้นทางเดิมตารางที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าลำดับงานขนส่งเดิมที่ถูกกำหนดให้จะต้องส่งงาน 2 ก่อนแล้วจึงส่งงาน 3 ได้ตามลำดับไม่มีการเปลี่ยนแปลง

[11] คำนวณปริมาตรและน้ำหนักในการรับ-ส่งสินค้าแต่ละเส้นทาง

$$w_{ijk} \text{ or } v_{ijk} = \begin{cases} -w_i \; or \; -v_i, & \text{เมื่อลำดับการขนส่งที่ } j \text{ เป็นโหนดส่งสินค้า } i \\ +w_i \; or \; +v_i, & \text{เมื่อลำดับการขนส่งที่ } j \text{ เป็นโหนดรับสินค้า } i \end{cases}$$

$$WO_{\mathrm{jk}} = WO_{(j-1),k} + w_{ijk} \tag{4.9}$$

$$VO_{\mathrm{jk}} = VO_{(j-1),k} + v_{ijk} \tag{4.10}$$

ตัวอย่าง จากข้อมูลความต้องการขนส่งในตารางที่ 4.6 งานที่ถูกเลือกมาจัดเส้นทางครั้งนี้คือ งานขนส่งจาก C ไป A สินค้ามีน้ำหนัก 25 kg ปริมาตร 500 m^3 การคำนวณปริมาตรและน้ำหนักในการขนส่งดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การคำนวณน้ำหนักและปริมาตรที่มีอยู่ในแต่ละลำดับการขนส่ง (j)

Insert no.	Truck (k)	Route (r)	Seq. (j)	Job (i)	Node (a_{ij})	w_{ijk}	WO_{jk}	v_{ijk}	VO_{jk}
2	1	1	1	0	A	0	0	0	0
			2	+J5	C	+500	0+500 = 500	+4	= 0 + 4 = 4
			3	-J5	A	-500	500+(-500) = 0	-4	= 4 +(-4) = 0
			4	+J4	B	+600	0+600 = 600	+5	= 0 + 5 = 5
			5	-J4	D	-600	600+(-600) = 0	-5	= 5 + (-5) =0
2	2	2	1	0	A	0	0	0	0
			2	+J5	C	+500	500	+4	4
			3	+J4	B	+600	1100	+5	9
			4	-J5	A	-500	600	-4	5
			5	-J4	D	-600	0	-5	0

[12] ความต้องการขนส่งสินค้าสามารถทำได้ภายใต้ข้อจำกัดความจุรถหรือไม่ อย่างน้อย 1 คัน

ความต้องการขนส่งจะสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อผ่านเงื่อนไขการพิจาณาทั้งน้ำหนักและปริมาตร ซึ่งถ้างานขนส่งเกิดการถูกปฏิเสธทุกเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากการลองแทรงงานลงบนรถทุกคันแล้ว งานขนส่งนั้นจะถูกนำไปพิจารณาโดย outsource

เงื่อนไขที่พิจารณา $$WO_{jk} \leq CW_k \quad (4.11)$$

$$VO_{jk} \leq CV_k \quad (4.12)$$

<u>*ตัวอย่าง*</u> จากข้อมูลความต้องการขนส่งในตารางที่ 4.6 งานที่ถูกเลือกมาจัดเส้นทางครั้งนี้คือ งาน 5 ขนส่งจาก C ไป A สินค้ามีน้ำหนัก 25 kg ปริมาตร 500 m^3 หลังจากสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้แบบบางส่วนและคำนวณน้ำหนักและปริมาตรรวมของความต้องการขนส่งที่มีในลำดับการขนส่งนั้นๆ (WO_{jk},VO_{jk}) แล้วจึงทำการตรวจสอบเงื่อนไขความจุของรถ ซึ่งถ้าเส้นทางใดมีทุกลำดับของการขนส่งเป็นจริงทั้ง 2 เงื่อนไข เส้นทางนั้นจะถูกนำไปพิจารณาในลำดับถัดไป ดังตัวอย่างตารางที่ 4.15 รถคันที่ 2 มีเส้นทางที่เป็นจริง (T) สำหรับเงื่อนไขความจุรถ คือ เส้นทางที่ 1 ถ้าในกรณีที่เงื่อนไขการพิจารณาปริมาตรและน้ำหนักถูกปฏิเสธ (F) นั้นหมายความว่า ไม่มีเส้นทางใดของรถขนส่งทุกคันที่สามารถดำเนินการขนส่งความต้องการนั้นได้ ความต้องการขนส่งที่ทำการแทรกลงเส้นทางนั้นจะถูกนำไปพิจารณาโดย outsource แทน แสดงตัวอย่างดังตารางที่ 4.16 สมมติให้ระบบ

มีรถขนส่งเพียง 2 คัน และเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการแทรกงานบนรถแต่ละคันมีเพียง 2 เส้นทางบนรถแต่ละคัน

ตารางที่ 4.15 การตรวจสอบเงื่อนไขความจุรถขนส่ง

Insert no.	Truck (k)	Route (r)	Seq. (j)	Job (i)	Node (a_{ij})	WO_{jk}	$\boldsymbol{WO_{jk} \leq CW_k}$ $CW_k = 1500$	VO_{jk}	$\boldsymbol{VO_{jk} \leq CV_k}$ $CV_k = 6$
2	1	1	1	0	A	0	T	0	T
			2	+J5	C	500	T	4	T
			3	-J5	A	0	T	0	T
			4	+J4	B	600	T	5	T
			5	-J4	D	0	T	0	T
2	1	2	1	0	A	0	T	0	T
			2	+J5	C	500	T	4	T
			3	+J4	B	1,100	T	**9**	**F**
			4	-J5	A	600		5	
			5	-J4	D	0		0	

ตารางที่ 4.16 การตรวจสอบเงื่อนไขความจุรถขนส่ง กรณีปฏิเสธทุกเส้นทางของรถทุกคัน

Insert no.	Truck (k)	Route (r)	Seq. (j)	Job (i)	Node (a_{ij})	WO_{jk}	$\boldsymbol{WO_{jk} \leq CW_k}$ $CW_k = 1500$	VO_{jk}	$\boldsymbol{VO_{jk} \leq CV_k}$ $CV_k = 6$
2	1	1	1	0	A	0	T	0	T
			2	+J4	B	600	T	5	T
			3	**+J5**	C	1,100	T	**9**	**F**
			4	**-J5**	A	600		5	
			5	-J4	D	0		0	
2	1	2	1	0	A	0	T	0	T
			2	**+J5**	C	500	T	4	T
			3	+J4	B	1,100	T	**9**	**F**
			4	**-J5**	A	600		5	
			5	-J4	D	0		0	
2	2	1	1	J2,J3	B	300	T	4	T
			2	**+J5**	C	800	T	**8**	**F**
			3	-J2	D	700		7	
			4	-J3	C	500		4	
			5	**-J5**	A	0		0	
2	2	2	1	J2,J3	B	300	T	4	T
			2	-J2	D	200	T	3	T
			3	**+J5**	C	700	T	**7**	**F**
			4	-J3	C	500		4	
			5	**-J5**	A	0		0	

จากตารางที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าเมื่อแทรกงาน 5 (+J5,-J5) ลงในแต่ละเส้นทางทำให้เส้นทางเดิมที่สร้างไว้ถูกปฏิเสธทั้งหมด ดังนั้นงาน 5 จึงไม่สามารถทำได้โดยรถขนส่งของบริษัท

[13] คำนวณเวลาการรับ-ส่งสินค้าแต่ละ เส้นทาง

การคำนวณเวลาแต่ละจุดรับ-ส่งในเส้นทางจะเริ่มคำนวณจากเวลาที่รถถูกกำหนดไว้ (Fixed date) ของรถแต่ละคัน เหมือนขั้นตอนที่ [7] สมการที่ 4.6 คำนวณเวลามาถึง (T_{jk})

$$T_{\mathrm{jk}} = T_{j-1,k} + t_{ab} \quad (4.6)$$

<u>*ตัวอย่าง*</u> จากข้อมูลเวลาเดินทางระหว่างโหนดมีหน่วยเป็นชั่วโมงจากตารางที่ 4.7 และเวลาเริ่มต้นของเส้นทาง (sequence j=1) และโหนดเริ่มต้นของเส้นทางเป็นข้อมูลจากสถานะล่าสุดของรถขนส่งตามกำหนดในตารางที่ 4.5 สามารถคำนวณเวลามาถึงโหนดใดๆ ของแต่ละลำดับการขนส่งได้ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ตัวอย่างการคำนวณเวลามาถึงโหนดใดๆ ของแต่ละลำดับการขนส่ง

Insert no.	Truck (k)	Route (r)	Seq. (j)	Job no. (i)	Node (a/b)	Travel time ($t_{a(j-1)\rightarrow bj}$)	Arrival time (T_{jk})
2	1	1	1	0	A		2/10/2555 7:00
			2	+J5	C	A-C = 6	2/10/2555 13:00
			3	-J5	A	C-A = 8	2/10/2555 21:00
			4	+J4	B	A-B = 8	3/10/2555 5:00
			5	-J4	D	B-D = 5	3/10/2555 10:00
2	1	2	1	0	A		2/10/2555 7:00
			2	+J4	B	8	2/10/2555 15:00
			3	-J4	D	5	2/10/2555 20:00
			4	+J5	C	2	2/10/2555 22:00
			5	-J5	A	8	3/10/2555 6:00

[14] ความต้องการขนส่งสินค้าสามารถทำได้ภายใต้ข้อจำกัดกำหนดส่งมอบหรือไม่ อย่างน้อย 1 คัน

เวลากำหนดสินค้าของงานขนส่งในงานวิจัยนี้มี 2 ประเภทคือ เวลาเร็วสุดที่สามารถดำเนินการขนส่งความต้องการสินค้าได้ (Earliest date ; E_i) โดยในการพิจารณาเงื่อนไขกำหนดส่งมอบเวลาที่มาถึงจุดรับของแต่ละงานนั้นจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับเวลาเร็วสุดที่รับสินค้านั้นได้ และอีกหนึ่งประเภทคือ เวลาช้าสุดที่สามารถทำการส่งสินค้านั้นได้ (Latest date ; L_i) เวลาที่มาถึงจุดส่งสินค้าใดๆจะต้องไม่เกินกำหนดเวลาช้าสุด ซึ่งในการตรวจสอบเส้นทางที่สร้างขึ้นนั้น ความต้องการขนส่งที่แทรกลงบนเส้นทางจะสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อผ่านเงื่อนไขการพิจาณาเวลาทั้ง 2 ประเภท

$$E_{ijk} \leq T_{jk} \leq L_{ijk} \quad (4.13)$$

$$T_{jk} = \begin{cases} T_{jk} \geq E_{ijk}\,, & \text{เมื่อเป็นการรับสินค้าที่โหนดใดๆ} \\ T_{jk} \leq L_{ijk}\,, & \text{เมื่อเป็นการส่งสินค้าที่โหนดใดๆ} \end{cases}$$

สำหรับในการรับสินค้าถ้าหากรถขนส่งมาถึงก่อนเวลารับสินค้าเร็วสุดที่กำหนด $T_{jk} < E_{ijk}$ จะต้องปรับค่าเวลามาถึง ณ ตำแหน่งนั้นใหม่ให้มีค่าเท่ากับเวลาเร็วสุดที่เริ่มรับสินค้าได้ (E_i) เป็น $T_{\mathrm{jk}} = E_{ijk}$ เพราะงานวิจัยมีสมมติฐานว่า รถขนส่งสามารถเกิดการคอยได้ โดยที่ไม่คิดต้นทุนการค่าขนส่งที่เกิดจากการคอย แล้วจึงใช้เวลาที่ปรับค่าใหม่ไปคำนวณเวลามาถึงของโหนดที่เหลือบนเส้นทางและตรวจสอบเวลากำหนดส่งมอบตามลำดับ

ตัวอย่าง จากข้อมูลความต้องการขนส่งในตารางที่ 4.6 งานที่ถูกเลือกมาจัดเส้นทางครั้งนี้คือ งาน 5 จากโหนด C ไป A มีกำหนดรับส่งสินค้าเวลารับเร็วสุด (Earliest date) คือ 3/10/2555 0:00 และเวลาส่งสินค้าช้าสุด (Latest date) คือ 3/10/2555 16:00 โดยเส้นทางที่เป็นไปได้ในขั้นตอนของการตรวจสอบเงื่อนไขกำหนดส่งมอบนี้ได้ผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขความจุรถแล้ว ถ้าในกรณีที่เงื่อนไขเวลากำหนดส่งมอบถูกปฏิเสธ (F) ทุกเส้นทางจากรถขนส่งทุกคัน แสดงว่างานนั้นไม่สามารถขนส่งเองได้ ความต้องการขนส่งนั้นจะถูกนำไปพิจารณาขนส่งโดย outsource การตรวจสอบเงื่อนไขกำหนดส่งมอบของเวลาเร็วสุดและเวลาช้าสุด โดยสมมติให้ระบบมีรถขนส่งเพียง 2 คัน และเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการแทรกงานบนรถแต่ละคันมีเพียง 2 เส้นทางบนรถแต่ละคัน

ตารางที่ 4.18 การตรวจสอบเงื่อนไขเวลากำหนดส่งมอบเร็วสุดและช้าสุด อัพเดตเวลามาถึง

Truck (k)	Route (r)	Seq. (j)	Job (i)	Node (a_{ij})	Detail	Earliest date (E_{ijk})	Arrival time (T_{jk})	$T_{jk} = E_{ijk}$ if $T_{jk} < E_{ijk}$	Latest date (L_{ijk})	$T_{jk} \geq E_{ijk}$ *And* $T_{jk} \leq L_{ijk}$
1	1	1	0	A			2/10/2555 7:00	2/10/2555 7:00		
		2	**+J5**	C	Pick	3/10/2555 0:00	2/10/2555 13:00	**True update 3/10/2555 0:00**		T
		3	**-J5**	A	Drop		2/10/2555 21:00	3/10/2555 8:00	3/10/2555 17:00	T
		4	+J4	B	Pick	2/10/2555 0:00	3/10/2555 5:00	3/10/2555 16:00		T
		5	-J4	D	Drop		3/10/2555 10:00	**3/10/2555 21:00**	**2/10/2555 23:00**	**F**
1	2	1	0	A			2/10/2555 7:00	2/10/2555 7:00		
		2	+J4	B	Pick	2/10/2555 0:00	2/10/2555 15:00	2/10/2555 15:00		T
		3	-J4	D	Drop		2/10/2555 20:00	2/10/2555 20:00	2/10/2555 23:00	T
		4	**+J5**	C	Pick	3/10/2555 0:00	2/10/2555 22:00	**True update 3/10/2555 0:00**		T
		5	**-J5**	A	Drop		3/10/2555 6:00	3/10/2555 8:00	3/10/2555 17:00	T

ตารางที่ 4.19 การตรวจสอบเงื่อนไขเวลากำหนดส่งมอบเร็วสุดและช้าสุด กรณีปฏิเสธทุกเส้นทางของรถทุกคัน

Truck (k)	Route (r)	Seq. (j)	Job (i)	Node (a_{ij})	Detail	Earliest date (E_{ijk})	Latest date (L_{ijk})	Arrival time (T_{jk})	$T_{jk} \geq E_{ijk}$ and $T_{jk} \leq L_{ijk}$
1	1	1	0	A				3/10/55 19:00	
		2	**+J10**	C	Pick	4/10/55 0:00		4/10/55 1:00	T
		3	**-J10**	A	Drop		4/10/55 17:00	4/10/55 9:00	T
		4	+J9	B	Pick	3/10/55 0:00		4/10/55 17:00	T
		5	-J9	D	Drop		**4/10/55 12:00**	**4/10/55 22:00**	**F**
1	2	1	0	A				3/10/55 19:00	
		2	+J9	B	Pick	3/10/55 0:00		4/10/55 3:00	T
		3	-J9	D	Drop		4/10/55 12:00	4/10/55 8:00	T
		4	**+J10**	C	Pick	4/10/55 0:00		4/10/55 10:00	T
		5	**-J10**	A	Drop		**4/10/55 17:00**	**4/10/55 18:00**	**F**
2	1	1	+J8	E	Pick	3/10/55 0:00		3/10/55 15:00	T
		2	**+J10**	C	Pick	4/10/55 0:00		4/10/55 0:00	T
		3	**-J10**	A	Pick		4/10/55 17:00	4/10/55 8:00	T
		4	-J8	B	Drop		**3/10/55 23:00**	**4/10/55 16:00**	**F**

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) การตรวจสอบเงื่อนไขเวลากำหนดส่งมอบเร็วสุดและช้าสุด กรณีปฏิเสธทุกเส้นทางของรถทุกคัน

Truck (k)	Route (r)	Seq. (j)	Job (i)	Node (a_{ij})	Detail	Earliest date (E_{ijk})	Latest date (L_{ijk})	Arrival time (T_{krj})	$T_{jk} \geq E_{ijk}\ and\ T_{jk} \leq L_{ijk}$
2	2	1	+J8	E	Pick	3/10/55 0:00		3/10/55 15:00	T
		2	**+J10**	C	Pick	4/10/55 0:00		4/10/55 0:00	T
		3	-J8	B	Drop		**3/10/55 23:00**	**4/10/55 10:00**	**F**
		4	**-J10**	A	Drop		4/10/55 17:00	4/10/55 17:00	

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าเมื่อแทรกงาน 10 (+J10,-J10) ลงในแต่ละเส้นทางทำให้เส้นทางเดิมที่สร้างไว้ถูกปฏิเสธทั้งหมด ดังนั้นงาน 10 จึงไม่สามารถทำได้โดยรถขนส่งของบริษัท

15] คำนวณต้นทุนการขนส่งรวมและเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนรวมต่ำสุด

วิธีการจัดเส้นทางโดยการลองแทรกความต้องการขนส่งลงบนรถทุกคันทำให้ได้ทางเลือกในการจัดเส้นทางหลายทางเลือก ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งรวมของแต่ละทางเลือก เพื่อที่จะได้ค่าต้นทุนการขนส่งต่ำสุดจากการสร้างเส้นทางด้วยวิธีการของฮิวริสติกในงานวิจัยนี้ โดยการคำนวณต้นทุนการขนจะพิจารณาจากผลรวมค่าขนส่งที่เกิดจากรถทุกคันในครั้งก่อนหน้า ยกเว้นค่าขนส่งของรถคันที่กำลังพิจารณาในปัจจุบัน รวมกับค่าขนส่งที่เกิดขึ้นจากเส้นทางของรถขนส่งคันที่กำลังแทรกงานอยู่ในครั้งนี้ และสมมติฐานการคำนวณต้นทุนการขนส่งคือ ต้นทุนการขนส่งจะแปรผันตามระยะทางไม่รวมถึงต้นทุนคงที่ของรถแต่ละคันและค่าเสียโอกาสในการรอ อีกทั้งต้นทุนของรถแต่ละคันจะมีค่าคงที่ด้วย หน่วยบาท/กิโลเมตร ซึ่งไม่แปรผันตามการบรรทุก การคำนวณต้นทุนตามสมการที่ 4.14

$$\min \sum_{k=1}^{m} \sum_{a=1}^{G} \sum_{b=1}^{G} d_{ab} \times c_k \quad ,\forall k \in m, \forall (a,b) \in G, a \neq b \qquad (4.14)$$

โดย $\sum_{a=1}^{G} \sum_{b=1}^{G} d_{ab}$ คือ ผลรวมระยะทางจากทุกโหนดบนเส้นทาง

<u>*ตัวอย่าง*</u> ข้อมูลที่ต้องใช้ในการคำนวณต้นทุนขนส่งรวมในแต่ละครั้งของการแทรกงาน ประกอบด้วย ระยะทางระหว่างโหนด ต้นทุนค่าขนส่งของรถแต่ละคัน(ตามตารางที่ 4.20) และข้อมูลต้นทุนการขนเดิมของรถแต่ละคันจากเส้นทางที่ถูกเลือกครั้งก่อนหน้าของการแทรกงานครั้งที่ 2 ตามตารางที่ 4.21 แสดงต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการแทรกงานครั้งที่ 2 ซึ่งในขณะนี้กำลังพิจารณางาน 13 ขนส่งจาก D ไป B เป็นการแทรกงานครั้งที่ 3 บนเส้นทางของรถทั้งหมด 3 คัน โดยสมมติฐานของเส้นทางที่ใช้ในการคำนวณจะต้องผ่านข้อจำกัดด้านความจุรถและเวลากำหนดส่งมอบแล้ว ซึ่งเส้นทางที่จะใช้คำนวณและตัวอย่างผลการคำนวณสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.20 ต้นทุนค่าขนส่งของรถแต่ละคัน

Truck no. (k)	Cost ฿/km (c_k)
1	10
2	12
3	10

ตารางที่ 4.21 ตัวอย่างต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการเลือกเส้นทางที่ต่ำสุดของการแทรกงานครั้งที่ 2

Insert (in)	Truck (k)	Seq. (j)	Job (i)	Node (a_{ij})	Distance (d_{ab})	Transportation Cost ($d_{ab} \times c_k$)
2	1	1	0	A	0	0
		2	+J11	B	480	4,800
		3	-J11	E	180	1,800
ผลรวมต้นทุนการขนส่งของรถคันที่ 1 =						6,600
2	2	1	J2,J3	B	0	0
		2	-J2	D	300	3,600
		3	-J3	C	50	600
ผลรวมต้นทุนการขนส่งรถคันที่ 2 =						4,200
2	3	1	+J12	C	0	0
		2	-J12	A	480	4,800
ผลรวมต้นทุนการขนส่งของรถคันที่ 3 =						4,800
ผลรวมต้นทุนการขนส่งของรถทุกคันในการแทรกงานครั้งที่ 2 =						15,600

ตารางที่ 4.22 การคำนวณต้นทุนการขนส่งของเส้นทางในการแทรกงานรับส่งสินค้า

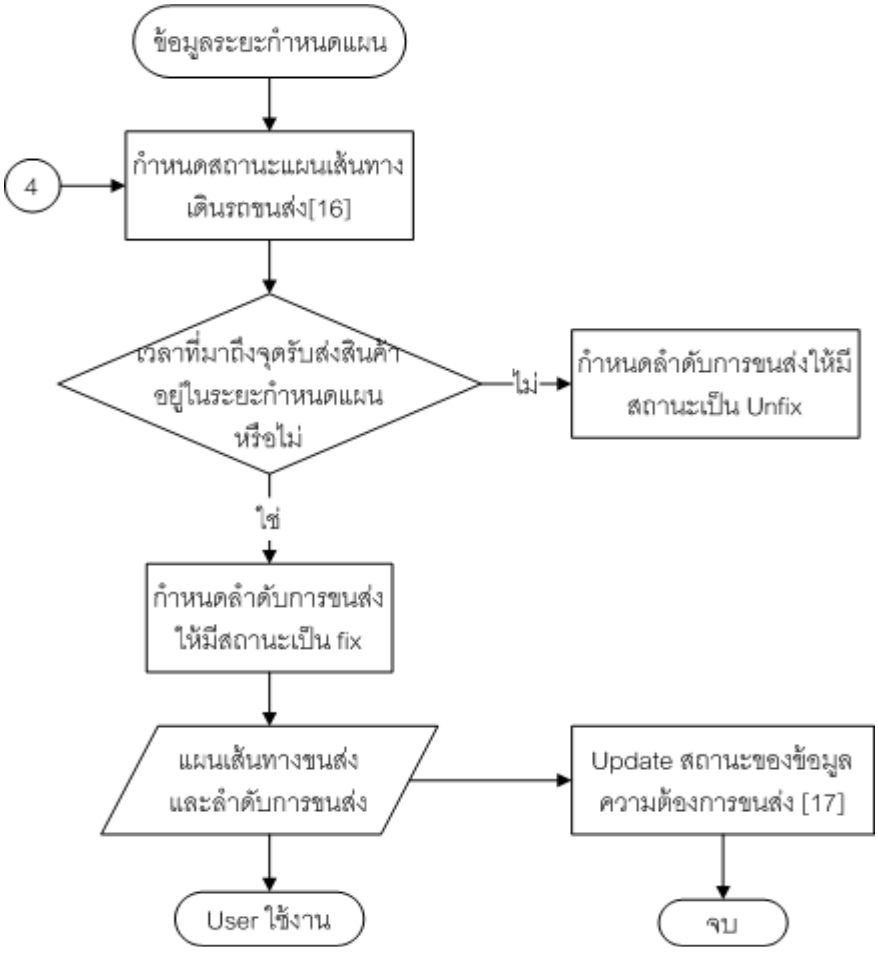
Insert (in)	Truck (k)	Route (r)	Seq. (j)	Job (i)	Node (a_{ij})	Distance (d_{ab})	Cost ($d_{ab} \times c_k$)	$\sum_{k=1}^{m} d_{ab} \times c_k$
3	1	1	1	0	A	0	0	(15,600 – 6,600) + 17,500 = 26,500
			2	+J11	B	480	4,800	
			3	-J11	E	180	1,800	
			4	**+J13**	D	850	8,500	
			5	**-J13**	B	240	2,400	
ผลรวมต้นทุนการขนส่ง							17,500	
3	2	1	1	J2,J3	B	0	0	(15,600 – 4,200) + 12,600 = 24,000
			2	-J2	D	300	3,600	
			3	**+J13**	D	0	0	
			4	-J3	C	50	600	
			5	**-J13**	B	700	8,400	
ผลรวมต้นทุนการขนส่ง							12,600	
3	2	2	1	J2,J3	B	0		(15,600 – 4,200) + 7,800 = **19,200**
			2	-J2	D	300	3,600	
			3	-J3	C	50	600	
			4	**+J13**	D	60	720	
			5	**-J13**	B	240	2,880	
ผลรวมต้นทุนการขนส่ง							7,800	
3	3	1	1	+J12	C	0		(15,600 – 4,800) + 12,600 = 23,400
			2	-J12	A	480	4,800	
			3	**+J13**	D	540	5,400	
			4	**-J13**	B	240	2,400	
ผลรวมต้นทุนการขนส่ง							12,600	

จากตารางที่ 4.22 เมื่อเปรียบเทียบผลของการคำนวณต้นทุนการขนส่งรวมจากการแทรกงาน 13 ให้กับรถทุกคัน พบว่าค่าต้นทุนที่ต่ำสุดคือ 19,200 บาท ดังนั้นจึงเลือกให้งาน 13 ทำการขนส่งโดย

รถคันที่ 2 และมีลำดับเส้นทางแบบที่ 2 คือ B-D-C-D-B ซึ่งแผนเส้นทางขนส่งที่ได้คือเส้นทางของรถคันที่ 1 ยังคงเดิม คือ A-B-E มีต้นทุนการขนส่งเท่ากับ 6,600 บาท และเส้นทางของรถคันที่ 3 ยังคงเดิม คือ C-A มีต้นทุนการขนส่งเท่ากับ 4,800 บาท

4.1.2.2 การกำหนดสถานะแผนขนส่ง

หลังจากที่ได้แผนเส้นทางการเดินรถจากการคำนวณความต้องการขนส่งทุกงานที่ถูกเลือกมาแล้ว จะต้องทำการกำหนดสถานะของลำดับการขนส่งของแผนเส้นทางเดินรถที่ได้ เนื่องจากว่าแผนงานที่สร้างขึ้นนี้เป็นแผนงานล่วงหน้าจึงต้องทำการกำหนดเส้นทางที่แน่นอนเพื่อยืนยันการรับส่งสินค้ากับลูกค้าและเพื่อให้พนักงานขับรถวางแผนตารางการทำงานที่สนับสนุนแผนการขนส่ง ซึ่งภาพรวมของการกำหนดสถานะแผนเส้นทางเดินรถขนส่งแสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ขั้นตอนการกำหนดสถานะเส้นทางและความต้องการขนส่ง

[16] การกำหนดสถานะแผนเส้นทางเดินขนส่ง

สถานะของแผนขนส่งมีอยู่ด้วยกัน 2 สถานะคือ fix การขนส่งไม่สามารถทำการปรับเปลี่ยนได้ และ unfix การขนส่งยังไม่ถูกกำหนดสามารถเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งข้อมูลลำดับงานขนส่งที่อยู่ในสถานะ unfix สามารถถูกปรับเส้นทางได้ของการจัดตารางรอบถัดไป (rolling) ในการกำหนดสถานะจะทำการเปรียบเทียบเวลาที่มาถึงกับเวลาขอบเขตของระยะกำหนดแผน โดยขอบเขตระยะกำหนดแผนคิดจากเวลาปัจจุบันไปจนครบระยะกำหนดแผน (fixed period) ที่ผู้ใช้งานระบุ เช่น วันปัจจุบัน (วันนี้ที่วางแผน) คือ 1/10/2555 ระยะกำหนดแผน 48 ชั่วโมง เริ่มคิดตั้งแต่ 2/10/2555 0:00 ฉะนั้นขอบเขตระยะกำหนดแผนคือ 3/10/2555 23:00 ถ้าลำดับการขนส่งใดๆมีเวลาที่มาถึงน้อยกว่าขอบเขตของระยะกำหนดแผน การขนส่งนั้นจะมีสถานะเป็น fix แต่ถ้าเวลามาถึงมีค่ามากกว่า จะมีสถานะเป็น unfix ดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 การกำหนดสถานะแผนเส้นทางเดินขนส่ง (Fixed time 3/10/2555 23:00)

Truck	Route	Seq.	Job	Node	Arrival time	เวลาที่มาถึง ≤ ขอบเขตกำหนดแผน	Status route
2	1	1	+J1	D	2/10/2555 15:00	T	Fix
		2	+J2	A	2/10/2555 22:00	T	Fix
		3	-J1	C	3/10/2555 4:00	T	Fix
		4	+J3	B	3/10/2555 14:00	T	Fix
		5	-J2	E	3/10/2555 17:00	T	Fix
		6	+J4	D	4/10/2555 3:00	F	Unfix
		7	-J3	E	4/10/2555 15:00	F	Unfix
		8	-J4	C	4/10/2555 20:00	F	Unfix

[17] สถานะของข้อมูลความต้องการขนส่ง

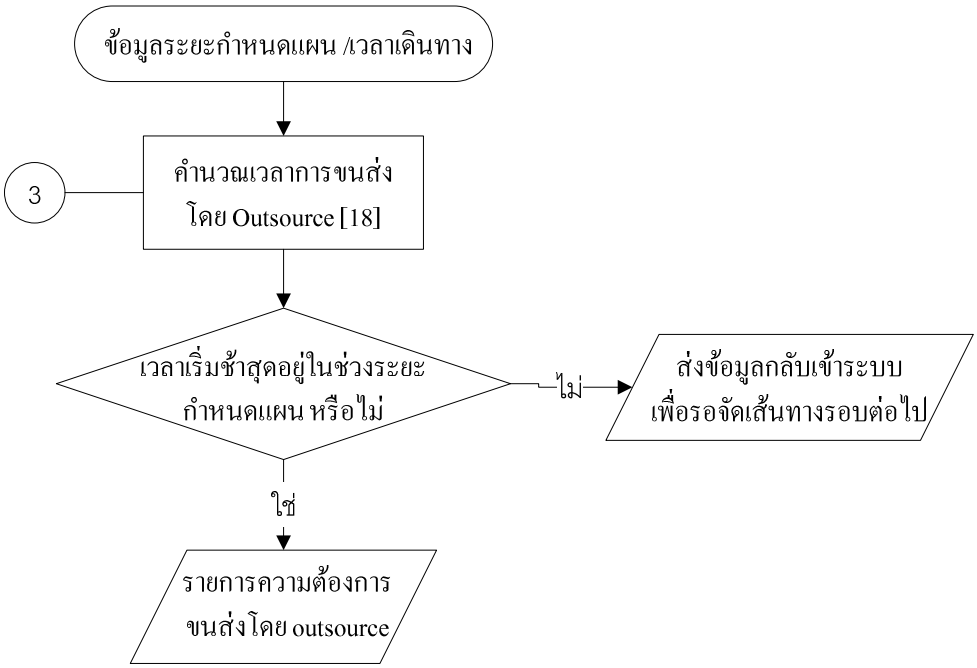
หลังจากที่แผนเส้นทางเดินรถได้ถูกกำหนดสถานะแล้ว จึงทำการอัพเดตข้อมูลสถานะของความต้องการขนส่งให้มีความสอดคล้องกับการกำหนดการขนส่ง ซึ่งสถานะของข้อมูลความต้องการขนส่งมีด้วยกัน 3 สถานะพิจารณาจากตารางแผนเส้นทางเดินรถ คือ fix ถ้าโหนดรับและโหนดส่งของงานนั้นถูกกำหนดให้เป็นสถานะ fix, unfix ถ้าโหนดรับและโหนดส่งของงานนั้นมีสถานะเป็น unfix และ on truck ถ้าโหนดรับของงานถูกกำหนดให้เป็นสถานะ fix และโหนดส่งของงานมีสถานะเป็น unfix ดังตารางที่ 4.24 ซึ่งความสำคัญของสถานะข้อมูลความต้องการขนส่งเพื่อเลือกงานที่จะถูกนำมาจัดเส้นทางปรับแผนการขนส่งใหม่ในครั้งถัดไป

ตารางที่ 4.24 การอัพเดตสถานะของข้อมูลความต้องการขนส่ง (Fixed time 3/10/2555 23:00)

Job	From	Status route	To	Status route	Volume	Weight	Earliest	Latest	Status job
1	D	Fix	C	Fix	15	300	2/10/2555 0:00	3/10/2555 23:00	Fix
2	A	Fix	E	Fix	15	250	1/10/2555 0:00	3/10/2555 23:00	Fix
3	B	Fix	E	Unfix	10	100	2/10/2555 0:00	4/10/2555 23:00	On truck
4	D	Unfix	C	Unfix	20	400	3/10/2555 0:00	5/10/2555 23:00	Unfix

4.1.2.3 การกำหนดรายการขนส่งโดย outsource

ภาพรวมของการพิจารณางานขนส่งที่จำเป็นจะต้องถูกดำเนินการขนส่งโดยผู้รับจ้างภายนอก (outsource) แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ขั้นตอนการเลือกความต้องการขนส่งโดย outsource

[18] คำนวณเวลาการขนส่งโดย outsource

ความต้องการขนส่งที่ถูกปฏิเสธเส้นทางที่สร้างขึ้นจากรถทุกคัน เนื่องจากเกินข้อจำกัดของความจุรถหรือเวลากำหนดส่งมอบ จะถูกนำมาพิจารณาการขนส่งโดย Outsource เพื่อหาว่าความต้องการขนส่งจำเป็นจะต้องจ้างขนส่งภายนอกในครั้งนี้เลยหรือไม่ หรือจะส่งข้อมูลกลับเข้าระบบเพื่อรอทำการจัดเส้นทางใหม่อีกครั้งในรอบถัดไป (rolling) วิธีการคำนวณหาความจำเป็นจะทำการเปรียบเทียบเวลาช้าสุดที่ต้องเริ่มต้นขนส่งเทียบกับขอบเขตของระยะวางแผน ถ้าเวลาเริ่มต้นช้าสุดมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับขอบเขตระยะวางแผน ความต้องการขนส่งนั้นจะถูกดำเนินการโดย outsource

เวลาเริ่มต้นช้าสุด(Latest start) = เวลาช้าสุดของการส่งสินค้า (Latest date) – เวลาเดินทางระหว่างโหนดของงานนั้น

ตารางที่ 4.25 การพิจารณาขนส่งโดย outsource (Fixed time 3/10/2555 23:00)

Job	From	To	Latest date	Distance	Latest start	เวลาเริ่มต้นช้าสุด ≤ ขอบเขตกำหนดแผน	Operation
14	D	A	4/10/2555 23:00	7	4/10/2555 16:00	F	unfix
15	B	E	3/10/2555 23:00	3	3/10/2555 20:00	T	Outsource
16	A	C	4/10/2555 6:00	6	3/10/2555 23:00	T	Outsource

4.2 การทดสอบฮิวริสติก

การทดสอบในแง่คุณภาพคำตอบที่ได้จากผลการคำนวณของโปรแกรมด้วยวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น ซึ่งตัววัดผลที่ใช้เป็นการประเมินเทียบผลของระยะทางรวมที่ได้ เพราะในการทดสอบกำหนดให้รถขนส่งทุกคันมีต้นทุนการขนส่งเท่ากันและต้นทุนการขนส่งแปรผันตามระยะทาง ดังนั้นจึงใช้ระยะทางเป็นตัวชี้วัดแทนต้นทุนการขนส่งของวัตถุประสงค์งานวิจัยได้ โดยการทดสอบมีด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ

1. เพื่อทดสอบว่าแนวคิดของการเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางขนส่งจากเส้นทางแบบปิด (รถขนส่งกลับมายังจุดเริ่มต้นทุกครั้ง) มาเป็นเส้นทางเดินรถแบบเปิด (รถขนส่งไม่จำเป็นต้องกลับมายังจุดเริ่มต้น) จะให้ค่าคำตอบต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่าสำหรับรูปแบบปัญหางานวิจัยนี้

2. เพื่อทดสอบคุณภาพของฮิวริสติกส์ที่ออกแบบขึ้นสำหรับหาคำตอบในการจัดเส้นทางขนส่งแบบเปิดของงานวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนการขนส่ง เมื่อเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางอย่างง่าย

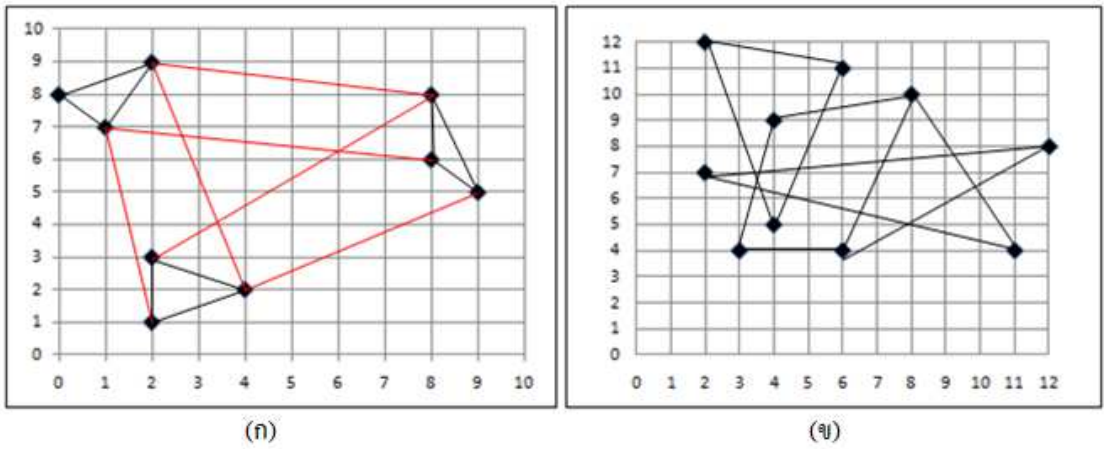
ในการทดลองกำหนดให้การตั้งค่าตั้งต้นของจำนวนรถมีเพียงพอกับจำนวนงานขนส่งสำหรับการจัดเส้นทางแบบเปิด และต้นทุนที่ใช้คำนวณผู้รับจ้างขนส่งภายนอก (outsource) เท่ากับต้นทุนของรถภายใน

4.2.1 การทดสอบแนวคิดของการเปลี่ยนรูปแบบวิธีการจัดเส้นทาง

คำถามของการทดสอบคือ การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดจะให้ค่าต้นทุนการขนส่งรวมต่ำกว่าการจัดเส้นทางแบบปิดสำหรับรูปแบบปัญหาการขนส่งของงานวิจัย ทดสอบด้วยกัน 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ ลักษณะการตั้งของสถานที่ ระดับสัดส่วนของการขนส่งระหว่างกลุ่มพื้นที่ และระยะทางระหว่างสถานที่

- ลักษณะการตั้งของสถานที่ต่างๆ

โดยในการทดสอบระบบรูปแบบของการตั้งโหนดต่างๆที่เกิดขึ้นถูกออกแบบให้มีลักษณะตามการตั้งของเครือข่ายโรงงานอุตสาหกรรมที่ปัจจุบันมีอยู่ 2 รูปแบบดังภาพที่ 4.7 คือ การตั้งโรงงานแบบกลุ่มที่ในเครืออุตสาหกรรมจะมีอยู่หลายกลุ่ม แบ่งออกตามพื้นที่ต่างๆ ซึ่งการตั้งโรงงานแบบกลุ่มนี้จะมีการขนส่งทั้งภายในกลุ่มและการขนส่งระหว่างกลุ่ม เปรียบเทียบกับอีกรูปแบบหนึ่งของการตั้งโรงงานแบบเครือข่ายคือ จะเป็นลักษณะของการกระจายตัวของโหนดทั้งหมดในพื้นที่ ซึ่งการตั้งโรงงานแบบนี้จะไม่มีการขนส่งภายในกลุ่ม



ภาพที่ 4.7 ปัจจัยทางด้านลักษณะการตั้งของสถานที่ขนส่ง
(ก) ลักษณะการตั้งโรงงานแบบกลุ่ม (ข) ลักษณะการตั้งโรงงานแบบกระจายตัว

- ระดับสัดส่วนในการขนส่งระหว่างกลุ่ม

การทดสอบจะออกแบบลักษณะการขนส่งที่เกิดขึ้นในปัจจุบันสำหรับการตั้งโรงงานแบบกลุ่ม คือ ระดับของการขนส่งระหว่างกลุ่มสุ่มแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ การขนส่งระหว่างกลุ่ม 70%, 40% และ 15% ของความต้องการขนส่งทั้งหมด โดยการขนส่งระหว่างกลุ่ม 1 ครั้งนับเป็น 1 ความถี่

- ระยะเวลาเดินทางสูงสุด

การออกแบบการทดสอบระบบจะอยู่บนพื้นฐานของความสามารถขนส่งแบบปิดที่เป็นวิธีการขนส่งในปัจจุบัน คือ รถขนส่งสามารถทำงานได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง นับรวมเวลากลับมายังจุดเริ่มต้น ทำให้ระยะทางสูงสุดระหว่างโหนดใดๆ จะมีค่าไม่เกินเวลาเดินทาง 12 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับรูปแบบปัญหาที่การขนส่งแบบปิดไม่สามารถตอบสนองได้ นั่นคือ การขนส่งที่มีระยะทางสูงสุดระหว่างโหนดใดๆ มีค่าเวลาเดินทางมากกว่า 12 ชั่วโมง ซึ่งจากปัญหาของงานวิจัยที่มีลักษณะการขนส่งเป็นเครือข่ายและสถานที่แต่ละแห่งตั้งอยู่ห่างไกลกันออกไปทำให้ความต้องการขนส่งที่มีการเดินทางมากกว่า 12 ชั่วโมงมีมากขึ้น

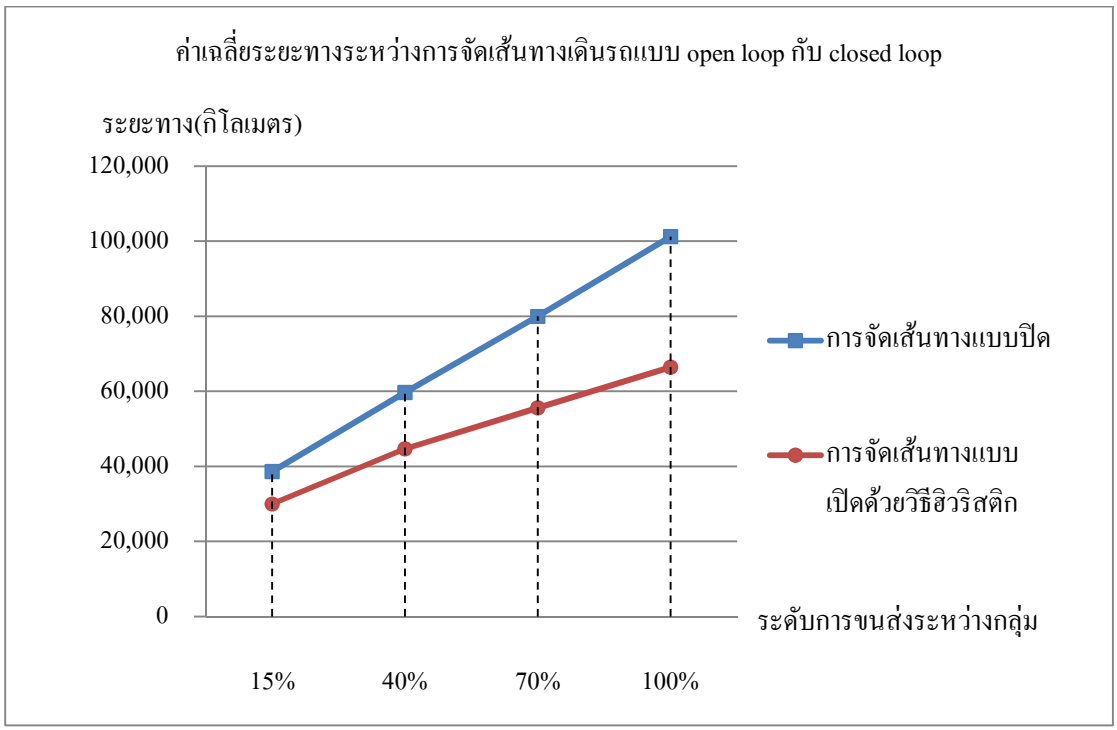
หลังจากหาคำตอบโดยวิธีฮิวริสติกและแบบจำลองการคำนวณการจัดเส้นทางแบบปิด โดยทั้ง 2 แบบนั้นใช้การจัดเส้นทางด้วยวิธีการแทรกงาน (Insertion) เหมือนกัน ผู้วิจัยได้หาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\%\text{ความแตกต่าง} = \frac{\text{คำตอบจากเส้นทางแบบปิด} - \text{คำตอบจากจัดเส้นทางแบบเปิดฮิวริสติก}}{\text{คำตอบจากเส้นทางแบบปิด}} \times 100$$

การทดสอบกลุ่มละ 10 โจทย์ตัวอย่างที่มีความหนาแน่นของจำนวนงานต่อโหนดต่างกันรวมทั้งหมด 80 โจทย์ตัวอย่าง จะได้ผลดังตารางที่ 4.26 แสดงค่าเฉลี่ยระยะทางรวมที่ได้จากการทดสอบ

ตารางที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยระยะทางแบบเปิดด้วยวิธีฮิวริสติกเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางแบบปิด

ประเภทการกระจายตัวของจุด	ระดับการขนส่งระหว่างกลุ่ม	ค่าเฉลี่ยระยะทาง		
		การจัดเส้นทางแบบปิด	การจัดเส้นทางแบบเปิดด้วยวิธีฮิวริสติก	% ความแตกต่าง
มากกว่า 1 กลุ่ม	15%	38,656	29,985	22.4%
	40%	59,709	44,671	25.2%
	70%	79,961	55,582	30.5%
กระจายแบบสุ่ม	100%	101,209	66,413	34.4%
			ค่าเฉลี่ย	28.125%



ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระยะทางระหว่างการจัดเส้นทางแบบเปิดกับแบบปิด

จากตารางที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าการจัดเส้นทางแบบเปิดด้วยวิธีฮิวริสติกให้ค่าคำตอบระยะทางที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางแบบปิด จากการสังเกตุผลการทดลอง พบว่า การจัดเส้นทางแบบเปิดด้วยวิธีฮิวริสติกสามารถตอบสนองได้ดีทั้งการเดินทางระยะสั้น (เวลาเดินทางสูงสุดไม่เกิน 12 ชั่วโมง) และการเดินทางระยะไกล (เวลาเดินทางสุงสุดมากกว่า 12 ชั่วโมง) เนื่องจากว่าการจัดเส้นทางแบบเปิดรถแต่ละคันมีโอกาสที่รับงานขนส่งได้มากขึ้นเพราะไม่ถูกจำกัดด้วยเวลาทำงานในการเดินทางย้อนกลับสู่จุดปล่อยรถที่มีระยะทางไกลอันเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าต้นทุนการขนส่งของการเดินทางแบบปิดมีค่าสูง และในกรณีของระยะเวลาเดินทางระหว่างจุดมากกว่า 12 ชั่วโมง การจัดเส้นทางแบบปิดไม่สามารถทำได้จึงต้องทำให้เสียต้นทุนการขนส่งจ้าง outsource เพิ่มขึ้น สำหรับการทดสอบในด้านลักษณะการตั้งของสถานที่ต่างๆและระดับการขนส่งระหว่างกลุ่มไม่ส่งผลต่อรูปแบบการจัดเส้นทางแบบเปิด ซึ่งวิธีการจัดเส้นทางแบบเปิดยังคงให้ค่าเฉลี่ยระยะทางที่ต่ำกว่าการจัดเส้นทางแบบปิด โดยค่าระยะทางเฉลี่ยที่สามารถลงได้เท่ากับ 28.125% จึงสามารถสรุปได้ว่า แนวคิดการจัดเส้นทางแบบเปิดให้ค่าคุณภาพของคำตอบที่ดีกว่าการจัดเส้นทางแบบปิด

4.2.2 การทดสอบคุณภาพของฮิวริสติก

การทดสอบคุณภาพฮิวริสติกของรูปแบบปัญหางานวิจัยการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดสำหรับการรับและส่งสินค้าด้วยข้อมูลแบบพลวัตที่ข้อมูลความต้องการขนส่งทะยอยรับเข้าและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยเป็นการเปรียบเทียบค่าความแตกต่างของต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการปรับเส้นทาง (rolling) เพื่อตอบคำถามของวัตถุประสงค์การทดสอบด้วยกัน 2 ข้อ คือ1) ฮิวริสติกที่นำเสนอมีประสิทธิภาพในการให้ค่าคำตอบที่ดีของการปรับเส้นทางเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางด้วยข้อมูลสุทธิทั้งหมดเพียงครั้งเดียว และ 2) ฮิวริสติกที่นำเสนอด้วยวิธีการจัดเส้นทางแบบแทรก (Insertion heuristic) มีประสิทธิภาพที่สามารถลดต้นทุนการขนส่งเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางอย่างง่ายที่มีผู้ศึกษามาก่อนหน้านี้ โดยวิธีการจัดเส้นทางอย่างง่ายที่ผู้วิจัยเลือกมาทำการเปรียบเทียบคือ Nearest neighbor heuristic มีหลักการคือ เป็นการจัดเส้นทางโดยพยายามวิ่งไปที่จุดใกล้ที่สุดจากจุดปัจจุบัน ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Hurkens และ Woeginger, 2004) Nearest neighbor เป็นวิธีการหนึ่งของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem : TSP) ที่สามารถใช้ในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถได้อย่างง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งยังเป็นวิธีดั้งเดิมที่ใช้กันอยู่ทั่วไปตามสถานการณ์จริง และในการทดสอบคุณภาพผู้วิจัยได้ทำการออกแบบลักษณะข้อมูลความต้องการขนส่งดังนี้

- สุ่มจำนวนความต้องการขนส่งสินค้า 50 – 200 งาน แต่ละงานสุ่มขนาดน้ำหนักและปริมาตรระหว่าง 20% - 100% ของความจุรถขนส่ง
- สุ่มจุดรับและจุดส่งสินค้าของงานขนส่งจากจุดทั้งหมดที่กำหนดขึ้น ซึ่งงานขนส่งจะมีช่วงกว้างของระยะเวลาการขนส่งอยู่ระหว่าง 2-3 วัน
- สุ่มระดับของจำนวนงานขนส่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากจำนวนงานขนส่งทั้งหมด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความต้องการขนส่งที่มีความเป็นไปได้ ได้แก่ การเพิ่มเข้ามาของข้อมูลใหม่หรือข้อมูลเดิมมีการเปลี่ยนแปลงเวลารับส่งสินค้า หรือมีการยกเลิกข้อมูลเดิม โดยปัจจัยการทดสอบด้านเปอร์เซ็นต์ของจำนวนข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงมีความสำคัญต่อการทดสอบคุณภาพฮิวริสติกในการปรับเส้นทางการขนส่ง เพื่อที่จะสามารถตอบได้ว่าฮิวริสติกที่นำเสนอนี้ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพหรือไม่และการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลเป็นอย่างไร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของจำนวนข้อมูลนั้นเป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในงานวิจัยนี้

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลความต้องการขนส่งที่รับเข้ามาครั้งใหม่ ซึ่งการเข้ามาของข้อมูลใหม่แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

1) ข้อมูลใหม่ที่เข้ามาไม่มีการเปลี่ยนแปลงของความต้องการขนส่งเดิมที่มีอยู่ งานใหม่ที่เข้ามาจะมีเวลากำหนดส่งมอบสินค้าต่อจากเดิม ซึ่งสามารถวางแผนเส้นทางขนส่งต่อจากเส้นทางก่อนหน้านี้ได้ทันที ตัวอย่างลักษณะข้อมูล Rolling ตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทะยอยรับเข้าแบบที่ 1
ข้อมูลใหม่เข้ามาและข้อมูลเดิมไม่เปลี่ยนแปลง

ข้อมูลเดิม	Rolling 1 รับข้อมูลเข้ามาเพิ่ม	ข้อมูลที่ใช้ในการจัด เส้นทาง rolling 1	ข้อมูลสุทธิที่ใช้จัด เส้นทางแบบครั้งเดียว
J1 A – C Due 1-2 J2 B – D Due 1-3 J3 D – C Due 1-3	J4 C – B Due 3-4 J5 A – D Due 3-4	J3 D – C Due 1-3 J4 C – B Due 3-4 J5 A – D Due 3-4	J1 A – C Due 1-2 J2 B – D Due 1-3 J3 D – C Due 1-3 J4 C – B Due 3-4 J5 A – D Due 3-4

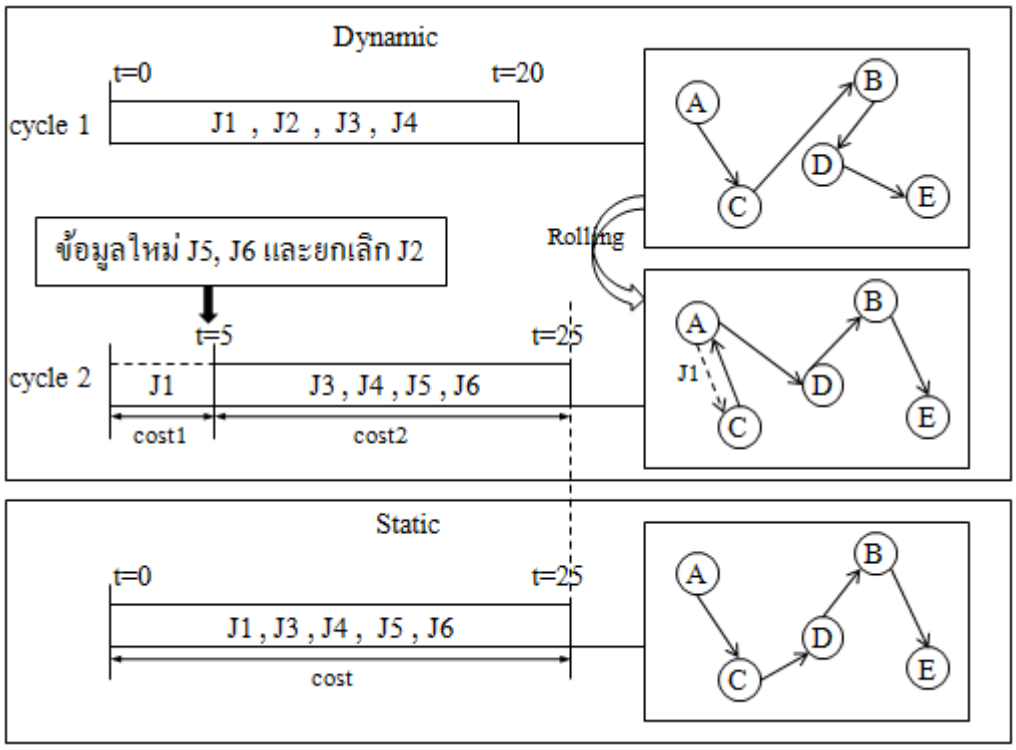
2) ข้อมูลใหม่ที่เข้ามามีการเปลี่ยนแปลงของความต้องการขนส่งเดิม โดยข้อมูลเดิมมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งการวางแผนเส้นทางครั้งใหม่นี้จะทำให้เส้นทางเดิมมีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ ตัวอย่างลักษณะข้อมูล Rolling ตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทะยอยรับเข้าแบบที่ 2
ข้อมูลใหม่เข้ามาและข้อมูลเดิมเปลี่ยนแปลง

ข้อมูลเดิม	Rolling 1รับข้อมูลเข้ามาเพิ่ม และข้อมูลเดิมเปลี่ยน	ข้อมูลที่ใช้ในการจัด เส้นทาง rolling 1	ข้อมูลสุทธิที่ใช้จัด เส้นทางแบบครั้งเดียว
J1 A – C Due 1-2 J2 B – D Due 1-3 J3 C – D Due 1-3 J4 B – A Due 2-4	~~J3 C – D Due 1-2~~ งานเดิมออก J4 B – A Due 2-3 เปลี่ยนเวลา J5 A – D Due 3-4 J6 D – A Due 2-4	J2 B – D Due 1-3 J4 B – A Due 2-3 J5 A – D Due 3-4 J6 D – A Due 2-4	J1 A – C Due 1-2 J2 B – D Due 1-3 J4 B – A Due 2-3 J5 A – D Due 3-4 J6 D – A Due 2-4

ปัญหางานวิจัยเป็นข้อมูลแบบพลวัต (dynamic) ดังนั้นในการทดสอบจึงกำหนดให้การจัดเส้นทางแต่ละรอบจะมองภาพเป็นการทราบข้อมูลทั้งหมดของรอบนั้นก่อนการคำนวณจัดเส้นทาง และเมื่อข้อมูลเปลี่ยนแปลงจะคำนวณปรับเส้นทาง (rolling) ทันทีโดยรวมข้อมูลใหม่และข้อมูลเดิม

เข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งการคำนวณเส้นทางจะนำข้อมูลทั้งหมดที่มีคำนวณจัดเส้นทางเดินรถตามฮิวริสติกที่นำเสนอ ตัวอย่าการคำนวณการปรับเส้นทางและการจัดสุทธิแสดงภาพที่ 4.9 ในส่วนของการจัดเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลเมื่อเวลาผ่านไป (dynamic) สามารถอธิบายได้ดังนี้ งานขนส่งที่เป็นข้อมูลครั้งแรก (cycle1) ของการจัดเส้นทาง คือ J1, J2, J3, J4 เส้นทางที่ได้คือ A-C-B-D-E ใช้เวลาในการเดินทางขนส่ง t=0 ถึง t=20 เมื่อเวลาผ่านไป t=5 ข้อมูลงานขนส่งมีการเปลี่ยนแปลงโดยงานขนส่งเดิม J2 ยกเลิกและมีงานขนส่งใหม่ J5 และ J6 เพิ่มเข้ามา ทำให้เส้นทางขนส่งเดิมหลังจาก t=5 เป็นต้นไปมีการปรับแผนการเดินทาง (rolling) ซึ่งเส้นทางใหม่ที่ได้จากการจัดครั้งที่สอง (cycle2) คือ C-A-D-B-E และสิ้นสุดการขนส่งที่ t=25 ต้นทุนจากการปรับเส้นทางที่เกิดขึ้น คือ ต้นทุนเส้นทางของงาน J1 (cost1) และต้นทุนเส้นทางของงาน J3, J4, J5, J6 (cost2) รวมกัน เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางที่ข้อมูลทั้งหมดไม่มีการเปลี่ยนแปลง (static) เป็นการจัดเส้นทางครั้งเดียวตั้งแต่ t=0 ถึง t=25 ของงานขนส่ง J1, J3, J4, J5, J6 และต้นทุนขนส่งจากการจัดเส้นทางด้วยข้อมูลสุทธิ (cost) คือ ต้นทุนการขนส่งของเส้นทาง A-C-D-B-E



ภาพที่ 4.9 การคำนวณต้นทุนปรับเส้นทางและต้นทุนเส้นทางสุทธิ

ในการทดสอบผู้วิจัยได้ทำการทดสอบตามปัจจัยที่ออกแบบไว้โดยแต่ละระดับของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทดสอบซ้ำด้วยกัน 4 ปัญหา เพื่อหาค่าเฉลี่ยคำตอบจากแต่ละวิธี ซึ่งผลที่ได้ดังตารางที่ 4.29 และภาพที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยต้นทุนขนส่งที่ปรับเส้นทางเป็นรอบและจัดเส้นทาง

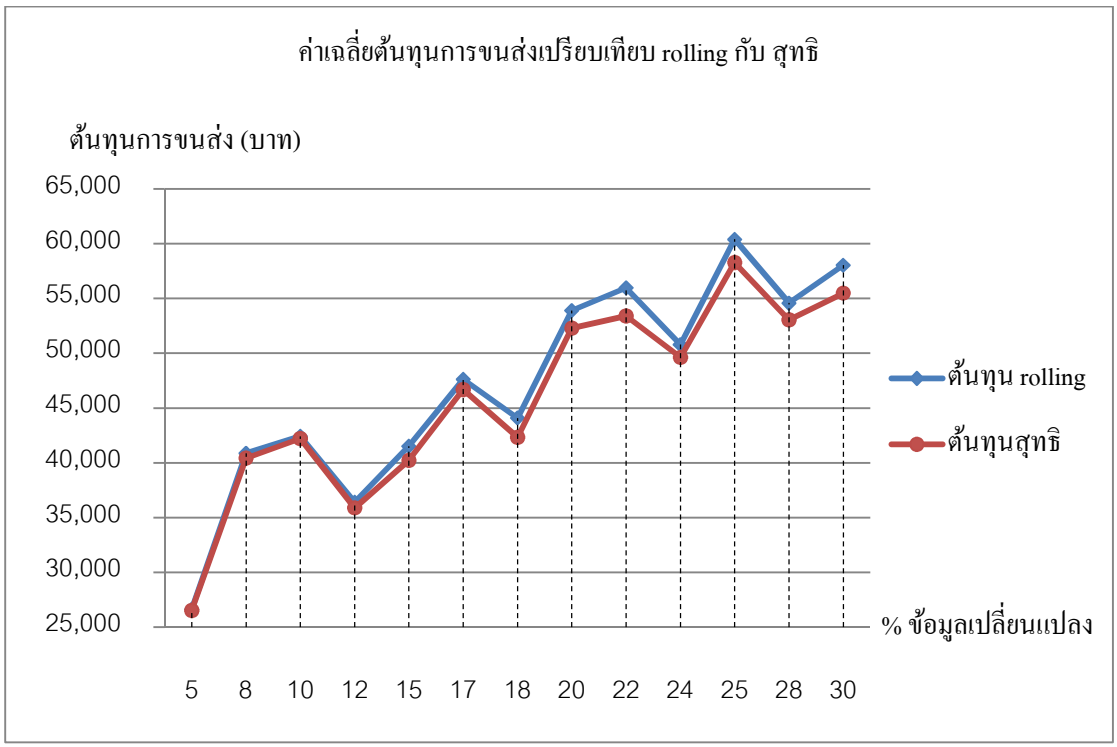
เพียงครั้งเดียว และภาพที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของต้นทุนการขนส่งจากการ rolling เปรียบเทียบระหว่างการจัดเส้นทางโดย Insertion heuristic กับ Nearest neighbor ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการ rolling มีวิธีการคำนวณดังนี้

$$\%\ \text{ความแตกต่างต้นทุน} = \frac{\text{ต้นทุนปรับเส้นทาง} - \text{ต้นทุนเส้นทางสุทธิ}}{\text{ต้นทุนเส้นทางสุทธิ}} \times 100$$

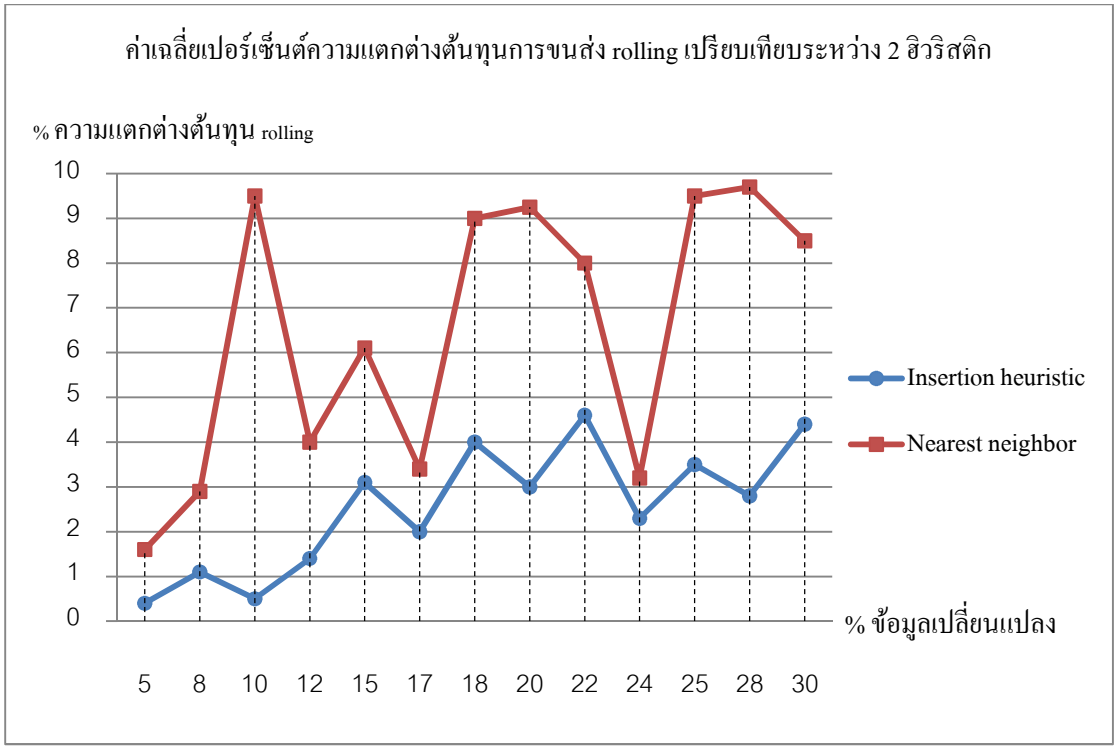
โดยต้นทุนปรับเส้นทาง คือ ต้นทุนที่คำนวณได้จากเส้นทางใหม่หลังการแทรกงาน และต้นทุนเส้นทางสุทธิ คือ ต้นทุนที่คำนวณได้จากเส้นทางของงานขนส่งทั้งหมดหลังการปรับปรุงข้อมูลแล้วและไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก

ตารางที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของต้นทุนการขนส่งที่ได้จากการทำ rolling เปรียบเทียบระหว่างการจัดเส้นทางโดย Insertion heuristic กับ Nearest neighbor

% ข้อมูลเปลี่ยนแปลง	ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างต้นทุนการขนส่ง rolling		%ความแตกต่างต้นทุน (Nearest – Insertion)
	Insertion heuristic	Nearest neighbor	
5%	0.4	1.6	1.2
8%	1.1	2.9	1.8
10%	0.5	9.5	9.0
12%	1.4	4.0	2.6
15%	3.1	6.1	3.0
17%	2.0	3.4	1.4
18%	4.0	9.0	5.0
20%	3.0	9.25	6.25
22%	4.6	8.0	3.4
24%	2.3	3.2	0.9
25%	3.5	9.5	6.0
28%	2.8	9.7	6.9
30%	4.4	8.5	4.1
ค่าเฉลี่ยรวม	2.55	6.51	3.96



ภาพที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยต้นทุนขนส่งที่ได้จากการปรับเส้นทางและการจัดเส้นทางเพียงครั้งเดียว



ภาพที่ 4.11 การเปรียบเทียบระหว่าง Insertion กับ Nearest neighbor

จากผลการทดสอบกับปัญหาตัวอย่างการจัดเส้นทางจำนวน 52 ปัญหาพบว่า จากกราฟภาพที่ 4.10 ต้นทุนการขนส่งจะแปรผันตามระดับของจำนวนงานขนส่งที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปรียบเทียบคำตอบจากฮิวริสติกในการจัดเส้นทางแบบ rolling จะให้ค่าใกล้เคียงกับการจัดเส้นทางของข้อมูลสุทธิเพียงครั้งเดียว โดยมีค่ามากกว่าอยู่ในช่วง 0.4% - 4.6% ค่าเฉลี่ย 2.55% และจากกราฟที่ระดับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนงานขนส่งต่ำนั้น ต้นทุนการปรับเส้นทางกับต้นทุนสุทธิไม่มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด สาเหตุที่ทำให้การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดของการปรับแผนการขนส่ง (rolling) ยังคงให้ค่าคำตอบที่ดี เนื่องจากมีการคำนวณปรับแผนเส้นทางทุกครั้งเมื่อมีงานขนส่งใหม่เข้ามา ทำให้เส้นทางใหม่ที่ได้ไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก จึงสามารถสรุปได้ว่าฮิวริสติกที่นำเสนอในการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดของงานวิจัยมีความน่าเชื่อถือ และจากผลของกราฟภาพที่ 4.11 ต้นทุนการขนส่งของการ rolling จากวิธีของ Insertion heuristic มีค่าต่ำกว่าจากวิธี Nearest neighbor โดยมค่าน้อยกว่าอยู่ในช่วง 0.9% - 9.0% เฉลี่ยประมาณ 3.96% โดยการจัดเส้นทางด้วยวิธี Insertion heuristic ของงานวิจัยนี้สามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ เพราะวิธีการแทรกงานนั้นจะเป็นการเพิ่มงานขนส่งลงในเส้นทางเดิมที่ก่อนหน้านี้ได้ทำการจัดเส้นทางให้มีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำอยู่แล้ว อีกทั้งวิธีการแทรกงานยังทำการคำนวณเปรียบเทียบเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดจำนวนมากกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการของ Nearest neighbor เพื่อเลือกเส้นทางที่มีต้นทุนการขนส่งต่ำสุดนั่นเอง และจากกราฟภาพที่ 4.11 เมื่อพิจารณาปัจจัยการทดสอบด้านระดับจำนวนงานขนส่งที่เปลี่ยนแปลงแต่ละครั้ง ถึงแม้ว่าความแตกต่างต้นทุนจากการปรับเส้นทางจะแปรผันตามระดับของจำนวนการขนส่งที่เปลี่ยนแปลง แต่จากการสังเกตุผลคำตอบของวิธีการ insertion ยังตอบสนองต่อข้อมูลพลวัต (dynamic) ได้ดีกว่า เพราะค่าผลลัพธ์ความแตกต่างของต้นทุนในการปรับเส้นทางของ insertion ให้คำตอบอยู่ในช่วง 0.4% - 4.6% เฉลี่ย 2.55% โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้นแบบคงที่ ซึ่งผลที่ได้มีช่วงกว้างของคำตอบที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับอีกวิธีหนึ่งที่คำตอบอยู่ในช่วง 1.6% - 9.7% เฉลี่ย 6.51% โดยต้นทุนการขนส่งจะเพิ่มมากยิ่งขึ้นเมื่อข้อมูลมีการเปลี่ยนมาก จึงสามารถทำให้สรุปได้ว่าการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดด้วยวิธีการของ Insertion heuristic ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ให้ค่าของคุณภาพคำตอบที่ดี อีกทั้งยังให้ผลคำตอบที่รวดเร็วในการปรับเปลี่ยนเส้นทางใหม่

บทที่ 5

การออกแบบระบบสารสนเทศ

การออกแบบระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถของผู้ใช้งานให้มีความสะดวกและชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยระบบสารสนเทศแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทาง ที่มีความสอดคล้องกับโครงสร้างข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการจัดเส้นทางเดินรถในบทที่ 3 และการออกแบบหน้าจอการทำงานของระบบสารสนเทศ เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลประมวลผลและแสดงผลที่ได้จากการจัดเส้นทางตามฮิวริสติกที่ผู้วิจัยนำเสนอในบทก่อนหน้านี้

5.1 ฐานข้อมูล

ฐานข้อมูลในระบบกระบวนการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งมีด้วยกัน 10 ฐานข้อมูลดังต่อไปนี้ ซึ่งจะบอกถึงองค์ประกอบ ความหมาย และตัวอย่างข้อมูล

ตารางที่ 5.1 ฐานข้อมูลการตั้งค่าข้อมูลวางแผน

Table Name	Setting_plan_data	
Table Description	รายละเอียดตั้งค่าข้อมูลวางแผน	
Field Name	Description	Example Value
Stamp_date	วันปัจจุบัน เป็นจุดอ้างอิงเวลาที่คำนวณขอบเขตวันวางแผนและกำหนดแผน	22/10/2555 0:00
Planning_horizon	ระยะเวลาของการวางแผน(ชั่วโมง)	96
Boundary_planning	ขอบเขตของวันและเวลาสุดท้ายที่วางแผนขนส่ง	26/10/2555 23:00
Fixed_period	ระยะเวลากำหนดแผน (ชั่วโมง)	48
Boundary_fix	ขอบเขตของวันและเวลาสุดท้ายที่กำหนดแผนขนส่ง	24/10/2555 23:00
Fuel_cost	ราคาน้ำมันวันนี้(บาท/ลิตร)	40.25
Unit_cost_outsource	ต้นทุนค่าจ้างขนส่งโดย outsource (บาท/กิโลเมตร)	15
Truck_speed	ความเร็วรถขนส่งเฉลี่ย (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	80

ตารางที่ 5.2 ฐานข้อมูลรถขนส่ง

Table Name	Truck_data	
Table Description	รายละเอียดของรถขนส่ง	
Field Name	Description	Example Value
Truck_id	รหัสรถขนส่ง	AH01
Number_plate	เลขทะเบียนรถขนส่ง	89-1234
Truck_type	ประเภทของรถขนส่ง	AH = 25 m^3 , BH = 30 m^3
Volume_capacity	ปริมาตรบรรทุกมากสุดของรถขนส่ง (ลูกบาศก์เมตร)	30
Weight_capaciry	น้ำหนักบรรทุกมากสุดของรถขนส่ง (กิโลกรัม)	1500
Fuel_rate_usage	อัตราการใช้น้ำมัน(กิโลเมตร/ลิตร)	15
Unit_cost	ต้นทุนการขนส่ง(บาท/กิโลเมตร)	8
Initial_node_id	รหัสสถานที่นำเข้ารถขนส่ง มาในระบบครั้งแรก (ประวัติรถ)	F002
Initial_date_time	วันและเวลาที่นำเข้ารถขนส่ง มาในระบบครั้งแรก (ประวัติรถ)	20/07/2555 06:00
Truck_status	สถานะรถขนส่ง	0 = ใช้งาน , 1 = เลิกใช้งาน

ตารางที่ 5.3 ฐานข้อมูลสถานที่

Table Name	Node_data	
Table Description	รายละเอียดของสถานที่	
Field Name	Description	Example Value
Node_id	รหัสสถานที่	F001
Node_name	ชื่อสถานที่	โรงงาน ไทยทอแสง จำกัด
Node_address	ที่อยู่ของสถานที่	20/151 ถนนสุขสวัสดิ์ ราชบูรณะ กรุงเทพ 11300

ตารางที่ 5.4 ฐานข้อมูลระยะทางระหว่างสถานที่

Table Name	Distance_data	
Table Description	รายละเอียดระยะทางระหว่างสถานที่	
Field Name	Description	Example Value
Node_start_id	รหัสสถานที่เริ่มต้น	F001
Node_end_id	รหัสสถานที่สุดท้าย	S002
Node_start_name	ชื่อสถานที่เริ่มต้น	โรงงาน ไทยทอแสง จำกัด
Node_end_name	ชื่อสถานที่สุดท้าย	โรงงาน ทอฟ้าผ้าไทย จำกัด
Distance	ระยะทางระหว่างสถานที่ (กิโลเมตร)	340

ตารางที่ 5.5 ฐานข้อมูลระยะเวลาเดินทางระหว่างสถานที่

Table Name	Time_data	
Table Description	รายละเอียดระยะเวลาเดินทางระหว่างสถานที่	
Field Name	Description	Example Value
Node_start_id	รหัสสถานที่เริ่มต้น	F001
Node_end_id	รหัสสถานที่สุดท้าย	S002
Node_start_name	ชื่อสถานที่สุดท้าย	โรงงาน ไทยทอแสง จำกัด
Node_end_name	ชื่อสถานที่สุดท้าย	โรงงาน ทอฟ้าผ้าไทย จำกัด
Travel time	เวลาเดินทางระหว่างสถานที่ (ชั่วโมง)	4

ตารางที่ 5.6 ฐานข้อมูลสถานะรถขนส่งสำหรับวางแผน

Table Name	Status_truck_start	
Table Description	สถานะจุดเริ่มต้นเส้นทางแต่ละรอบของรถขนส่ง	
Field Name	Description	Example Value
Truck_id	รหัสรถขนส่ง	BH03
Volume_capacirt	ปริมาตรบรรทุกมากสุด (ลูกบาศก์เมตร)	30
Volume_weight	น้ำหนักบรรทุกมากสุด (กิโลกรัม)	1500
Fixed_node_id	รหัสสถานที่เริ่มต้น เป็นจุดสุดท้ายที่รถขนส่งถูกกำหนดไว้จากรอบก่อนหน้า	D008
Fixed_node_name	ชื่อสถานที่เริ่มต้น เป็นจุดสุดท้ายที่รถขนส่งถูกกำหนดไว้จากรอบก่อนหน้า	ศูนย์กระจายสินค้า ไลอ้อน บางนา
Fixed_time	เวลาเริ่มต้นเส้นทาง เป็นเวลาจุดสุดท้ายที่ถูกกำหนดไว้จากรอบก่อนหน้า	23/10/2555 11:00
Left_volume	ปริมาตรที่ว่างของรถ(ลูกบาศก์เมตร)	15
Left_weight	น้ำหนักที่ว่างของรถ(กิโลกรัม)	800

ตารางที่ 5.7 ฐานข้อมูลการติดตามรถขนส่ง

Table Name	Tracking_log	
Table Description	สถิติการติดตามรถขนส่ง	
Field Name	Description	Example Value
Truck_id	รหัสรถขนส่ง	BH04
Time_stamp	วันและเวลาของการ tracking	20/07/2555 04:00
Speed	ความเร็วของรถขนส่ง(กิโลเมตร/ชั่วโมง)	100
Fuel_rate	อัตราการใช้น้ำมัน(กิโลเมตร/ลิตร)	18
Node_id_stamp	รหัสสถานที่ของการ tracking	33
Node_name_stamp	ชื่อสถานที่ของการ tracking	ปั๊มน้ำมัน บางจาก รังสิต คลอง 4

ข้อมูลที่ได้จากการติดตามยานพาหนะซึ่งเป็นข้อมูลการทำงานจริงนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลแผนเส้นทางและทำการปรับข้อมูลแผนการขนส่งให้สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากการติดตาม เพื่อใช้ในการคำนวณวางแผนเส้นทางครั้งถัดไป

ตารางที่ 5.8 ข้อมูลจากการติดตามยานพาหนะที่จะต้องทำการเปรียบเทียบ

ฐานข้อมูลระบบติดตาม	การปรับฐานข้อมูลที่ใช้วางแผนเส้นทาง
Time stamp	Fixed_time ของฐานข้อมูล Start_truck
Node_id_stamp	Fixed_node_id ของฐานข้อมูล Start_truck
Fuel_rate	Fuel_rate_usage ของฐานข้อมูล Truck_date

ตารางที่ 5.9 ฐานข้อมูลความต้องการขนส่ง

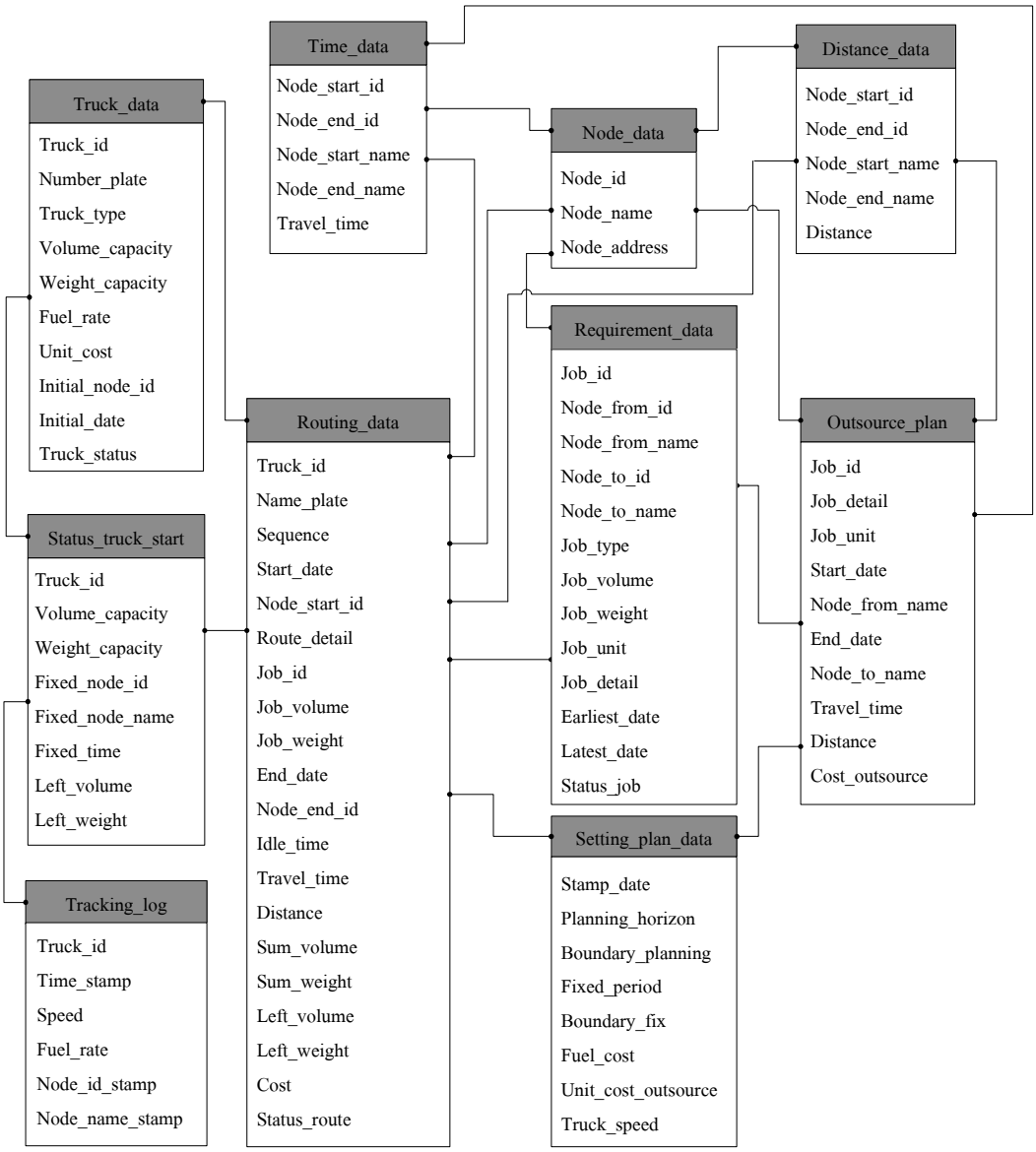
Table Name	Requirement_data	
Table Description	รายละเอียดความต้องการขนส่ง	
Field Name	Description	Example Value
Job_id	รหัสงานขนส่ง	RFR0076
Node_from_id	รหัสสถานที่รับสินค้า	S003
Node_from_name	ชื่อสถานที่รับสินค้า	โรงงาน ทอผ้าไทย จำกัด
Node_to_id	รหัสสถานที่ส่งสินค้า	F010
Node_to_name	ชื่อสถานที่ส่งสินค้า	บริษัท ที-การ์เม้นต์ จำกัด
Job_type	ประเภทสินค้า	F(สินค้าสำเร็จ), R(วัตถุดิบ) W(สินค้าระหว่างผลิต)
Job_volume	ปริมาตรสินค้า(ลูกบาศก์เมตร)	15
Job_weight	น้ำหนักสินค้า(กิโลกรัม)	200
Job_unit	จำนวนสินค้า(หน่วย)	15
Job_detail	รายละเอียดของสินค้า	ม้วนผ้ายืดสีน้ำเงิน
Earliest_date	วันเวลาที่ระบุเริ่มต้นรับส่งสินค้า	20/10/2555 09:00
Latest_date	วันเวลาที่ระบุช้าสุดรับส่งสินค้า	23/10/2555 16:00
Status_job	สถานะงานขนส่งแต่ละรายการ	0 = fix, 1 = on truck, 2 = outsource, -1 = outsource

ตารางที่ 5.10 ฐานข้อมูลแผนเส้นทางขนส่ง

Table Name	Routing_data	
Table Description	รายละเอียดเส้นทางขนส่ง	
Field Name	Description	Example Value
Truck_id	รหัสรถขนส่ง	AH02
Name_plate	เลขทะเบียนรถ	89-1234
Sequence	ลำดับการขนส่ง	1
Start_date	เวลาสถานที่จุดต้นทาง ลำดับการขนส่ง	22/07/2555 21:00
Node_start_id	รหัสสถานที่จุดต้นทาง ลำดับการขนส่ง	F0015
Node_start_name	ชื่อสถานที่จุดต้นทาง ลำดับการขนส่ง	โรงงาน เท็กซ์ไทล์ จำกัด
Route_detail	รายละเอียดงานขนส่ง	1 = pick , 2 = drop , 3 = waiting , 4 = travel
Job_id	รหัสงานขนส่ง	61
Job_volume	ปริมาตรสินค้า (ลูกบาศก์เมตร)	20
Job_weight	น้ำหนักสินค้า (กิโลกรัม)	750
End_date	เวลาสิ้นสุด ลำดับการขนส่ง	23/07/2555 09:00
Node_end_id	รหัสสถานที่จุดปลายทาง ลำดับการขนส่ง	C0028
Node_end_name	ชื่อสถานที่จุดปลายทาง ลำดับการขนส่ง	MEGA mall department
Sum_volume	ปริมาตรสินค้าบนรถ(ลูกบาศก์เมตร)	10
Sum_weight	น้ำหนักสินค้าบนรถ(กิโลกรัม)	600
Left_volume	ปริมาตรที่ว่าง(ลูกบาศก์เมตร)	20
Left_weight	น้ำหนักที่ว่าง(กิโลกรัม)	900
Idle_time	เวลาคอยที่จุดรับ(ชั่วโมง) เมื่อรายละเอียดงานขนส่งเป็น 3 = waiting	2
Travel time	ระยะเวลาเดินทางระหว่างจุดขนส่ง(ชั่วโมง) เมื่อรายละเอียดงานขนส่งเป็น 4 = travel	12
Distance	ระยะทางระหว่างจุดขนส่ง(กิโลเมตร) เมื่อรายละเอียดงานขนส่งเป็น 4 = travel	770
Cost	ต้นทุนการขนส่ง(บาท)	3,850
Status_route	สถานะลำดับการขนส่ง	1 = fix , 2 = unfix

ตารางที่ 5.11 ฐานข้อมูลแผนขนส่งโดย outsource

Table Name	Outsource_plan	
Table Description	รายละเอียดขนส่งโดย outsource	
Field Name	Description	Example Value
Job_id	รหัสงานขนส่ง	61
Job_detail	รายละเอียดของสินค้า	แขนเสื้อโปโลปักสกรีน
Job_unit	จำนวนสินค้า (หน่วย)	20
Start_date	เวลามาถึงสถานที่รับ	22/07/2555 21:00
Node_from_name	ชื่อสถานที่รับสินค้า	โรงงาน เท็กซ์ไทล์ จำกัด
End_date	เวลามาถึงสถานที่ส่ง	23/07/2555 09:00
Node_to_name	ชื่อสถานที่ส่งสินค้า	Shopping mall department
Travel time	เวลาเดินทางระหว่างจุดขนส่ง(ชั่วโมง)	12
Distance	ระยะทางระหว่างจุดขนส่ง(กิโลเมตร)	770
Cost_outsource	ต้นทุนการขนส่ง(บาท)	3,850



ภาพที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างฐานข้อมูลในระบบ

5.2 หน้าจอการทำงาน

การออกแบบหน้าจอการทำงานของโปรแกรมการจัดเส้นทางขนส่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ผู้ใช้งานนำเข้าข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทาง และมีการจัดเก็บข้อมูลที่มีปริมาณมากให้มีความเป็นระบบซึ่งจะทำให้สามารถเรียกใช้งานได้อย่างรวดเร็ว และเพื่อแสดงผลลัพธ์ข้อมูลส่งออกตารางเดินรถจากการจัดเส้นทางที่มีรายละเอียดของการดำเนินงานขนส่ง โดยหน้าจอการทำงานจะเรียงลำดับตามขั้นตอนการจัดเดินรถที่เป็นการไหลของข้อมูล โดยแบ่งส่วนการทำงานของหน้าจอเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การตั้งค่าเบื้องต้น เป็นการตั้งค่าข้อมูลระบบ การจัดเส้นทางการขนส่ง เป็นส่วนของการ

คำนวณและแสดงผลของเส้นทางเดินรถ และรายงานการจัดเส้นทางขนส่ง เป็นการประมวลผลที่ได้จากผลลัพธ์ของการจัดเส้นทาง รายละเอียดการทำงานของหน้าจอทั้ง 3 ส่วน ดังนี้

5.2.1 การตั้งค่าเบื้องต้น

1) การตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลกระบวนการจัดเส้นทางขนส่ง

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลนำเข้ากระบวนการจัดเส้นทางขนส่งมีลักษณะดังภาพที่ 5.2

ภาพที่ 5.2 หน้าจอการทำงานในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลกระบวนการจัดเส้นทางขนส่ง

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

เพื่อนำเข้าข้อมูลเริ่มต้นที่ต้องใช้ในการคำนวณวางแผนเส้นทางขนส่ง ซึ่งมีรายละเอียดที่ผู้ใช้งานจะต้องระบุดังต่อไปนี้

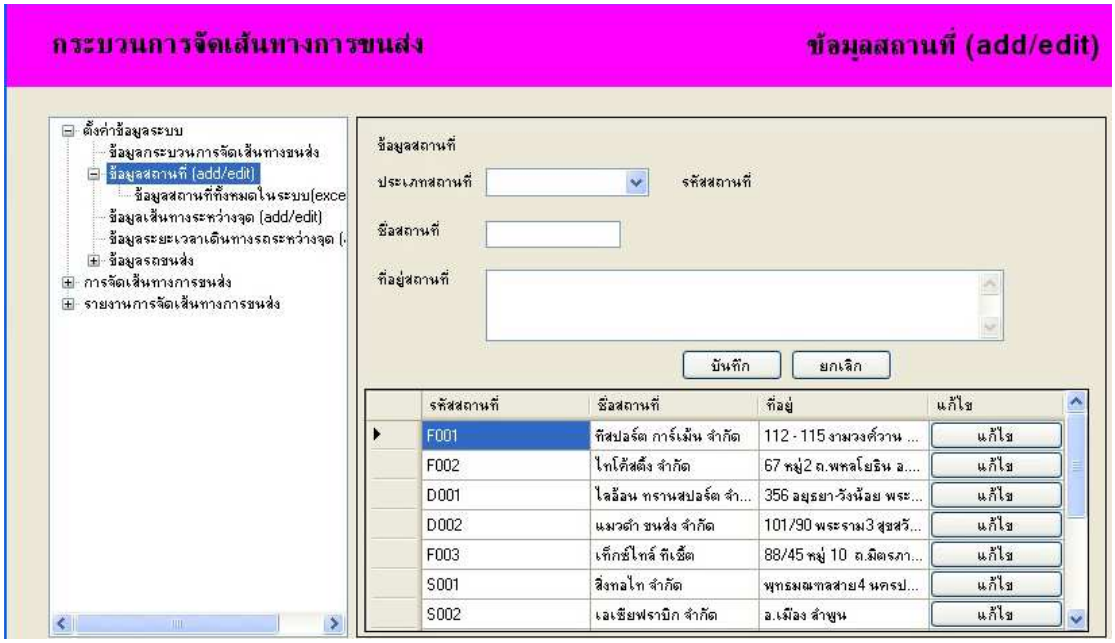
- ระยะเวลาของแผน มีหน่วยเป็นชั่วโมง ผู้ใช้งานสามารถทำการกรอกหรือแก้ไขข้อมูลลงไปในช่องโดยการกดปุ่ม Edit จากนั้นกดปุ่ม Save ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลระยะเวลาของแผนที่วางให้ต้องการจัดเส้นทางเดินรถ
- ระยะเวลากำหนดแผน มีหน่วยเป็นชั่วโมง ผู้ใช้งานสามารถทำการกรอกหรือแก้ไขข้อมูลลงไปในช่องโดยการกดปุ่ม Edit จากนั้นกดปุ่ม Save ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลระยะเวลากำหนดแผนที่ต้องการให้ทำการยืนยันและไม่สามารถปรับเปลี่ยนเส้นทางได้ภายหลัง
- ความเร็วรถ มีหน่วยเป็นกิโลเมตร/ชั่วโมง ผู้ใช้งานสามารถทำการกรอกหรือแก้ไขข้อมูลลงไปในช่องโดยการกดปุ่ม Edit จากนั้นกดปุ่ม Save ระบบจะทำการบันทึก

ข้อมูลความเร็วรถที่จะใช้สำหรับการคำนวณระยะเวลาเดินทางระหว่างสถานที่ในกรณีที่ผู้ใช้งานไม่ทราบ ซึ่งข้อมูลความเร็วรถที่กรอกลงไปในช่องจะเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยจากรถทั้งหมดที่ได้รับจากระบบติดตามยานพาหนะ

- ราคาน้ำมันวันนี้ มีหน่วยเป็นบาท/ลิตร ผู้ใช้งานสามารถทำการกรอกหรือแก้ไขข้อมูลลงไปในช่องโดยการกดปุ่ม Edit จากนั้นกดปุ่ม Save ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลราคาน้ำมันที่จะใช้ในการคำนวณต้นทุนการขนส่งต่อระยะทางของรถแต่ละคันในส่วนของข้อมูลรถขนส่ง
- ค่าจ้างขนส่ง มีหน่วยเป็นบาท/กิโลเมตร ผู้ใช้งานสามารถทำการกรอกหรือแก้ไขข้อมูลลงไปในช่องโดยการกดปุ่ม Edit จากนั้นกดปุ่ม Save ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลค่าจ้างขนส่งเพื่อใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการจ้างผู้รับจ้างขนส่งภายนอก (outsource)

2) การตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลสถานที่

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลนำเข้าสถานที่ในระบบมีลักษณะดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลสถานที่

วัตถุประสงค์การใช้งาน

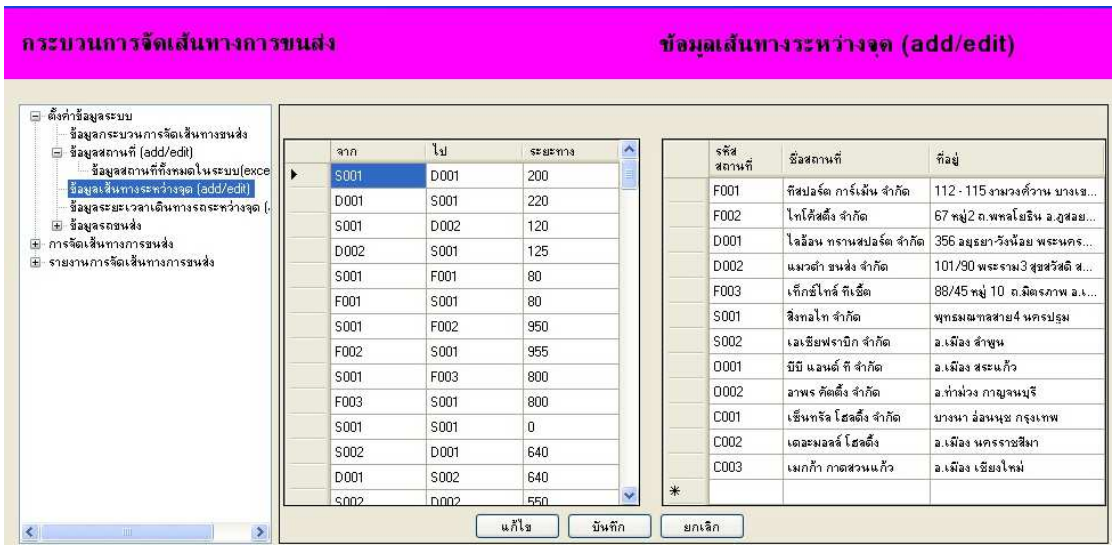
เพื่อระบุรายละเอียดของสถานที่ต่างๆในการขนส่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ในระบบทั้งหมด ตามการเก็บข้อมูลความต้องการขนส่ง ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าของกระบวนการจัดเส้นทางการขนส่ง ที่ผู้ใช้งานจะต้องระบุรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ประเภทสถานที่ สามารถเลือกได้จาก 5 รายการ ได้แก่ โรงงาน(F) ผู้จัดหาวัตถุดิบ(S) ผู้รับจ้างผลิต(O) ศูนย์กระจาย/คลังสินค้า(D) ลูกค้า(C)
- รหัสสถานที่ ระบบจะทำการสร้างให้โดยอัตโนมัติ จากประเภทของสถานที่ที่เลือกและเรียงลำดับข้อมูลตามการเข้ามาในระบบ
- ชื่อสถานที่ ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปในช่องได้
- ที่อยู่สถานที่ ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปในช่องได้

เมื่อกดปุ่ม บันทึก หลังจากที่กรอกข้อมูลครบทุกส่วนแล้วระบบจะทำการบันทึกข้อมูลเก็บเข้าเป็นฐานข้อมูล และแสดงผลการบันทึกปรากกฏอยู่ในตารางด้านล่าง เมื่อผู้ใช้งานต้องการยกเลิกการกรอกข้อมูลให้กดปุ่ม ยกเลิก ระบบจะไม่ทำการบันทึกข้อมูล ถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะแก้ไขข้อมูลสามารถทำได้โดยกดปุ่ม แก้ไข จะสามารถเรียกข้อมูลแต่ละรายการมาทำการแก้ไขได้

3) การตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลเส้นทางระหว่างจุด

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลนำเข้าระยะทางระหว่างสถานที่ในระบบมีลักษณะดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 หน้าจอระบบสนับสนุนการจัดเส้นทาง ตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลเส้นทางระหว่างจุด

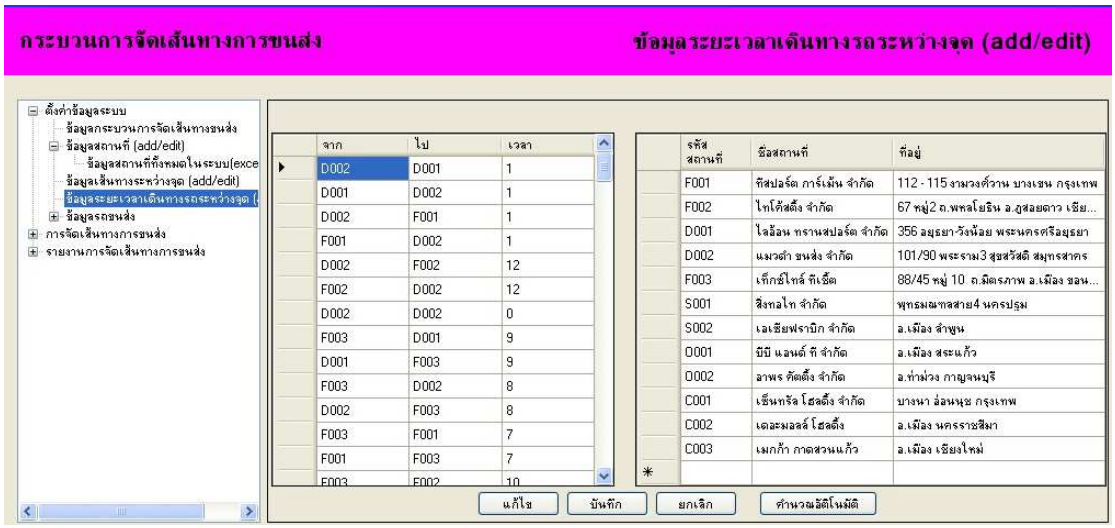
วัตถุประสงค์การใช้งาน

เพื่อตั้งค่าเริ่มต้นของระยะทางระหว่างสถานที่ ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าของกระบวนการจัดเส้นทางการขนส่ง หน้าจอการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนทางด้านกรอบซ้ายจะเป็นรหัสสถานที่จากที่หนึ่งไปอีกแห่งหนึ่งที่ผู้ใช้งานจะต้องกรอกระยะทางระหว่างจุดลงไปในช่องระยะทาง มีหน่วยเป็นกิโลเมตร ส่วนทางด้านกรอบทางขวาแสดงข้อมูลรายละเอียดของรหัสสถานที่เพื่อใช้ประกอบการกรอกข้อมูล

เมื่อกดปุ่ม บันทึก หลังจากที่กรอกข้อมูลครบทุกค่าแล้วระบบจะทำการบันทึกข้อมูลเก็บเข้าเป็นฐานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานต้องการยกเลิกการกรอกข้อมูลให้กดปุ่ม ยกเลิก ระบบจะไม่ทำการบันทึกข้อมูล ถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะแก้ไขข้อมูลสามารถทำได้โดยกดปุ่ม แก้ไข

4) การตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลระยะเวลาเดินทางระหว่างจุด

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลนำเข้าระยะเวลาเดินทางระหว่างสถานที่ในระบบมีลักษณะดังภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลระยะเวลาเดินทางระหว่างจุด

วัตถุประสงค์การใช้งาน

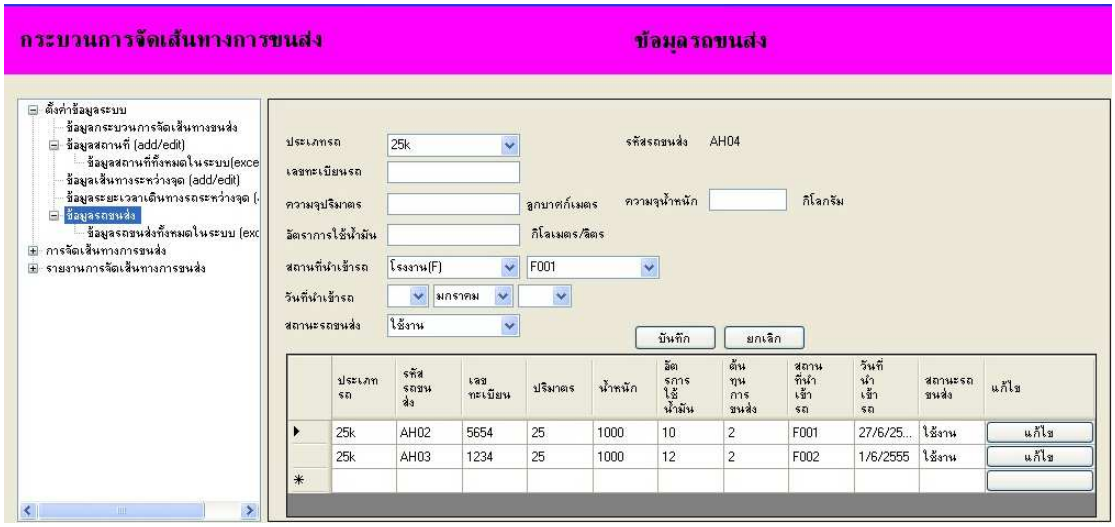
เพื่อตั้งค่าเริ่มต้นของระยะเวลาเดินทางระหว่างสถานที่ ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าของกระบวนการจัดเส้นทางการขนส่ง หน้าจอการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนทางด้านกรอบซ้ายจะเป็นรหัส

สถานที่จากที่หนึ่งไปอีกแห่งหนึ่งที่ผู้ใช้งานจะต้องกรอกระยะเวลาเดินทางระหว่างจุดลงไปในช่องมีหน่วยเป็นชั่วโมง หรือถ้าผู้ใช้งานไม่สามารถกรอกค่าข้อมูลได้ให้กดปุ่ม คำนวณอัตโนมัติ ซึ่งระบบจะทำการคำนวณเวลาให้จากระยะทางที่นำเข้าระบบก่อนหน้านี้และความเร็วรถที่จัดเก็บอยู่ในระบบ ส่วนทางด้านกรอบทางขวาแสดงข้อมูลรายละเอียดของรหัสสถานที่เพื่อใช้ประกอบการกรอกข้อมูล

เมื่อกดปุ่ม บันทึก หลังจากที่กรอกข้อมูลครบทุกค่าแล้วระบบจะทำการบันทึกข้อมูลเก็บเข้าเป็นฐานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานต้องการยกเลิกการกรอกข้อมูลให้กดปุ่ม ยกเลิก ระบบจะไม่ทำการบันทึกข้อมูล ถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะแก้ไขข้อมูลสามารถทำได้โดยกดปุ่ม แก้ไข

5) การตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลรถขนส่ง

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลนำรถขนส่งในระบบมีลักษณะดังภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการตั้งค่าเบื้องต้นของข้อมูลรถขนส่ง

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

เพื่อจัดเก็บเป็นประวัติข้อมูลรถที่มีทั้งหมดในระบบ ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าของกระบวนการจัดเส้นทางการขนส่ง ที่ผู้ใช้งานจะต้องระบุรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ประเภทรถ สามารถเลือกได้จากรายการ ซึ่งในงานวิจัยนี้ให้มีรถอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ 25k และ 30k แบ่งตามปริมาตรความจุของรถ

- รหัสรถขนส่ง ระบบจะทำการสร้างให้โดยอัตโนมัติ จากประเภทของรถที่เลือกและเรียงลำดับข้อมูลตามการเข้ามาในระบบ
- เลขทะเบียนรถ ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปในช่องได้
- ความจุปริมาตร มีหน่วยลูกบาศก์เมตร เป็นข้อมูลความจุสูงสุดที่บรรทุกได้ ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปในช่องได้
- ความจุน้ำหนัก มีหน่วยกิโลกรัม เป็นข้อมูลความจุสูงสุดที่บรรทุกได้ ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปในช่องได้
- อัตราการใช้น้ำมัน มีหน่วยกิโลเมตร/ลิตร เป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยที่รถแต่ละคันใช้ได้รับมาจากระบบติดตามยานพาหนะ ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปในช่องได้ ซึ่งข้อมูลอัตราการใช้น้ำมันจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณต้นทุนการขนส่ง/ระยะทาง
- สถานที่นำเข้ารถ สามารถเลือกได้จากรายการประเภทสถานที่ และรหัสสถานที่ เพื่อใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นในการวางแผนเส้นทางขนส่งครั้งแรกของระบบ
- วันที่นำเข้ารถ ผู้ใช้งานจะต้องระบุวัน เดือน ปี เก็บเข้าเป็นข้อมูลประวัติรถและการใช้งานระบบครั้งแรก
- สถานะรถขนส่ง ผู้ใช้งานจะต้องระบุว่ารถสามารถ ใช้งานได้ หรือ เลิกใช้งาน

เมื่อกดปุ่ม บันทึก หลังจากที่กรอกข้อมูลครบทุกส่วนแล้วระบบจะทำการบันทึกข้อมูลเก็บเข้าเป็นฐานข้อมูล และแสดงผลการบันทึกปรากกฏอยู่ในตารางด้านล่าง โดยมีข้อมูลเพิ่มเข้ามาหลังคำนวณจากข้อมูลที่นำเข้าคือต้นทุนการขนส่ง/ระยะทาง มีหน่วยเป็นบาท/กิโลเมตร ซึ่งจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณต้นทุนการขนส่ง เมื่อผู้ใช้งานต้องการยกเลิกการกรอกข้อมูลให้กดปุ่มยกเลิก ระบบจะไม่ทำการบันทึกข้อมูล ถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะแก้ไขข้อมูลสามารถทำได้โดยกดปุ่มแก้ไข จะสามารถเรียกข้อมูลแต่ละรายการมาทำการแก้ไขได้

5.2.2 การจัดเส้นทางขนส่ง

1) ความต้องการขนส่ง

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางการรับเข้าข้อมูลความต้องการขนส่งในระบบมีลักษณะดังภาพที่ 5.7

ภาพที่ 5.7 หน้าจอการทำงานระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางในการนำเข้าข้อมูลความต้องการขนส่ง

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

เพื่อระบุรายละเอียดความต้องการขนส่งที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าของกระบวนการจัดเส้นทางการขนส่ง ที่ผู้ใช้งานจะต้องระบุรายละเอียดดังต่อไปนี้

- สถานที่รับ ผู้ใช้งานเลือกจากประเภทสถานที่และรหัสสถานที่
- สถานที่ส่ง ผู้ใช้งานเลือกจากประเภทสถานที่และรหัสสถานที่
- ประเภทสินค้า ผู้ใช้งานเลือกจากชนิดของสินค้าที่ทำการขนส่งโดยในรายการมี 3 ประเภท ได้แก่ สินค้าสำเร็จรูป(F) วัตถุดิบ(R) และสินค้าระหว่างผลิต(W)
- ปริมาตรสินค้า มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปในช่องได้ โดยจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณเส้นทางขนส่ง
- น้ำหนัก มีหน่วยเป็นกิโลกรัม ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปในช่องได้ โดยจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณเส้นทางขนส่ง
- วันที่เริ่มต้นรับสินค้า ผู้ใช้งานจะต้องระบุวัน เดือน ปี ที่ต้องการจะให้เริ่มดำเนินการ (earliest date)ขนส่งความต้องการสินค้านั้นได้
- เวลาเริ่มต้นรับสินค้า มีหน่วยเป็นชั่วโมง ผู้ใช้งานจะต้องระบุเวลาที่ต้องการให้เริ่มดำเนินการ โดยสเกลเวลาที่ใช้เป็น 24 ชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 00.00 ถึงเวลา 23.00
- วันที่สุดท้ายส่งสินค้า ผู้ใช้งานจะต้องระบุวัน เดือน ปี ที่เป็นขอบเขตช้าสุด (latest date) ที่สามารถดำเนินการขนส่งความต้องการสินค้านั้นได้

- เวลาสุดท้ายส่งสินค้า มีหน่วยเป็นชั่วโมง ผู้ใช้งานจะต้องระบุเวลาที่เป็นขอบเขตล่าช้าสุดของการขนส่ง โดยสเกลเวลาที่ใช้เป็น 24 ชั่วโมงเริ่มตั้งแต่เวลา 00.00 ถึงเวลา 23.00
- สถานะงาน ผู้ใช้งานจะต้องระบุข้อมูลสถานะของความต้องการขนส่ง ในที่นี้แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ unfix คือสถานะที่เป็นงานเข้าใหม่หรืองานที่ยังไม่ได้วางแผน on truck คือ สถานะที่งานอยู่ระหว่างการขนส่ง และ fix คือสถานะที่เป็นงานขนส่งเสร็จเรียบร้อยแล้ว โดยสถานะงานจะถูกนำไปพิจารณาในกระบวนการจัดเส้นทางขนส่ง
- จำนวนสินค้า ผู้ใช้งานสามารถกรอกข้อมูลลงไปในช่องได้
- รหัสการขนส่งสินค้า ระบบจะทำการสร้างให้โดยอัตโนมัติ จากประเภทที่รับ ประเภทสถานที่ส่ง และประเภทสินค้า เป็นรหัสอักษร 3 ตัวแรกเรียงตามลำดับ และเรียงลำดับข้อมูลตามการเข้ามาในระบบ

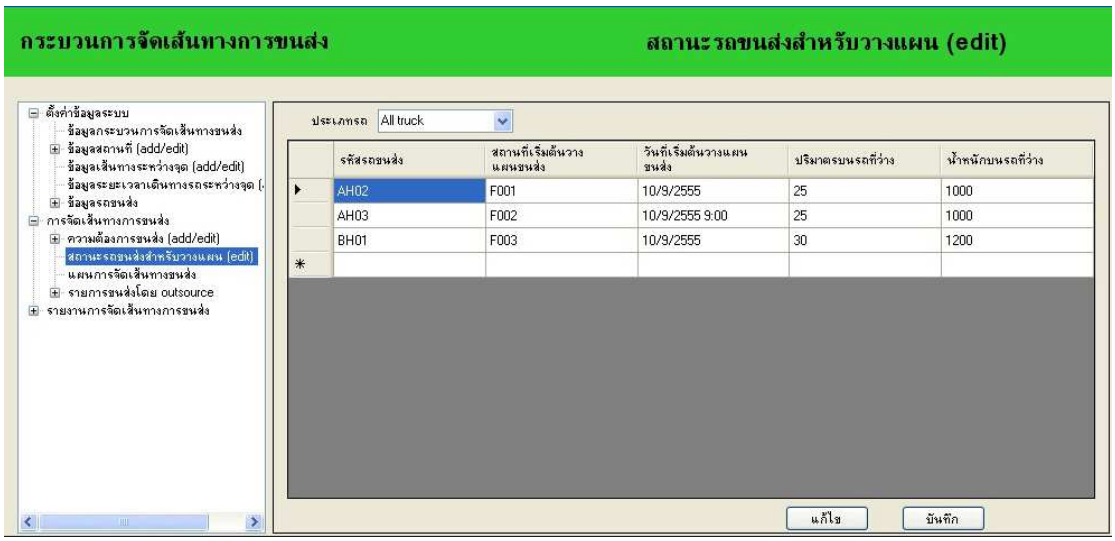
เมื่อกดปุ่ม บันทึก หลังจากที่กรอกข้อมูลครบทุกส่วนแล้วระบบจะทำการบันทึกข้อมูลเก็บเข้าเป็นฐานข้อมูล และแสดงผลการบันทึกปรากกฏอยู่ในตาราง โดยข้อมูลที่อยู่ในตารางนี้จะมีเฉพาะข้อมูลที่จำเป็นสำหรับใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ ได้แก่ รหัสการขนส่ง รหัสสถานที่รับ รหัสสถานที่ส่ง ปริมาตร น้ำหนักสินค้า วันและเวลาเริ่มต้น วันและเวลาสุดท้าย และสถานะงาน ส่วนข้อมูลรายการอื่นที่เป็นรายละเอียดของความต้องการขนส่งจะถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูลอีกส่วนหนึ่ง เมื่อผู้ใช้งานต้องการยกเลิกการกรอกข้อมูลให้กดปุ่ม ยกเลิก ระบบจะไม่ทำการบันทึกข้อมูล ถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะแก้ไขข้อมูลสามารถทำได้โดยกดปุ่ม แก้ไข จะสามารถเรียกข้อมูลแต่ละรายการมาทำการแก้ไขได้

2) สถานะรถขนส่งสำหรับวางแผน

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการรับเข้าของข้อมูลสถานะรถขนส่งสำหรับวางแผนมีลักษณะดังภาพที่ 5.8

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

เพื่อตรวจสอบและปรับแก้ไขข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลนำเข้าของสถานะรถขนส่งที่เป็นจุดเริ่มต้นในกระบวนการจัดเส้นทางการขนส่งแต่ละครั้ง โดยหน้าจอการทำงานของสถานะรถขนส่งนี้ระบบจะทำการปรับอัตโนมัติจากแผนของเส้นทางตำแหน่งสุดท้ายของรถแต่ละคันที่ถูกกำหนดไว้ ซึ่งหน้าจอการทำงานประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 5.8 หน้าจอการทำงานระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางแสดงสถานะรถขนส่งสำหรับวางแผน

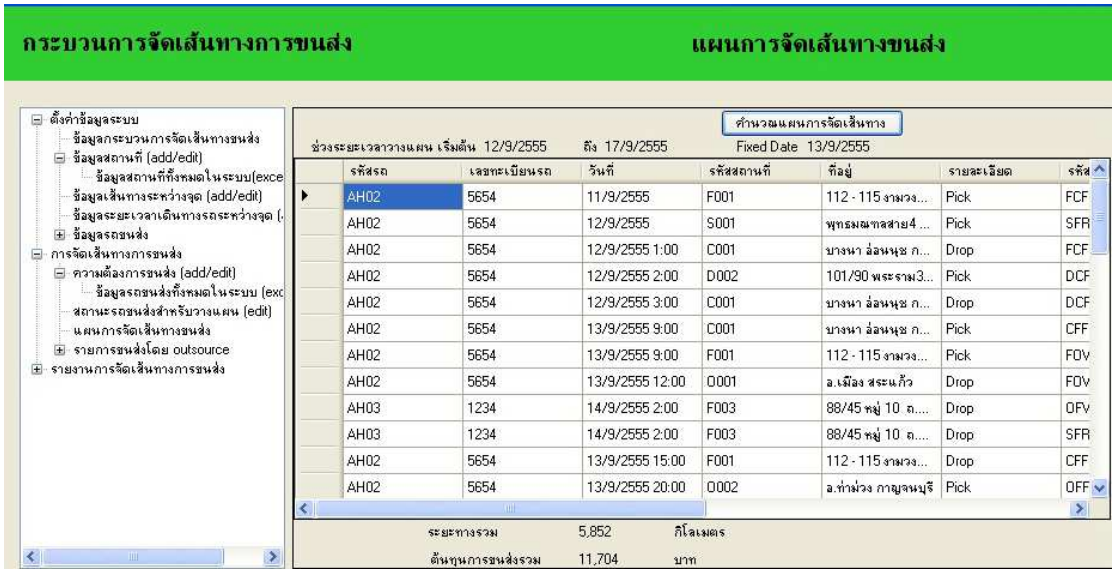
- ประเภทรถ ผู้ใช้งานสามารถเรียกดูทั้งหมดหรือตามแต่ละประเภทได้ ซึ่งเป็นการช่วยทำการค้นหาข้อมูลได้ง่ายและสะดวกขึ้น
- รหัสรถขนส่ง แสดงรถขนส่งทั้งหมดที่ถูกเลือกค้นหาตามประเภทรถ
- สถานที่เริ่มต้นวางแผนขนส่ง แสดงข้อมูลที่รถถูกกำหนดไว้ตำแหน่งสุดท้ายของแผนรอบก่อนหน้า (last fixed node) เพื่อที่เป็นจุดเริ่มต้นของรถขนส่งในการวางแผนครั้งใหม่ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถแก้ไขได้
- วันที่เริ่มต้นวางแผนขนส่ง แสดงข้อมูลวันและเวลาสุดท้ายที่รถถูกกำหนดไว้ของแผนรอบก่อนหน้า (last fixed date) เพื่อที่เป็นจุดเริ่มต้นของรถขนส่งในการวางแผนครั้งใหม่ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถแก้ไขได้
- ปริมาตรบนรถที่ว่าง มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตร แสดงข้อมูลปริมาตรของรถขนส่งที่สามารถบรรทุกได้เพิ่ม ณ ตำแหน่งสุดท้ายตามวันและเวลาที่ถูกกำหนดไว้ของแผนรอบก่อนหน้า โดยคำนวณจากส่วนต่างของความจุปริมาตรกับปริมาตรสินค้าทั้งหมดที่อยู่บนรถ เพื่อที่เป็นค่าเริ่มต้นในการวางแผนครั้งใหม่ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถแก้ไขได้
- น้ำหนักบนรถที่ว่าง มีหน่วยเป็นกิโลกรัม แสดงข้อมูลน้ำหนักของรถขนส่งที่สามารถบรรทุกได้เพิ่ม ณ ตำแหน่งสุดท้ายตามวันและเวลาที่ถูกกำหนดไว้ของแผนรอบก่อนหน้า โดยคำนวณจากส่วนต่างของความจุน้ำหนักกับน้ำหนักสินค้าทั้งหมดที่อยู่บนรถ เพื่อที่เป็นค่าเริ่มต้นในการวางแผนครั้งใหม่ ซึ่งผู้ใช้งานสามารถแก้ไขได้

ถ้าผู้ใช้งานต้องการที่จะแก้ไขข้อมูลสามารถทำได้โดยกดปุ่ม แก้ไข โดยรายการที่สามารถทำการแก้ไขได้ ได้แก่ สถานที่เริ่มต้นวางแผนขนส่ง วันที่เริ่มต้นวางแผนขนส่ง ปริมาตรบนรถที่ว่าง

และน้ำหนักบนรถที่ว่าง หลังจากทำการแก้ไขครบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานจะต้องทำการกดปุ่มบันทึก ระบบจะทำการบันทึกข้อมูลเก็บเข้าเป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้เป็นข้อมูลเริ่มต้นรถขนส่งในการจัดเส้นทางเดินรถ

3) แผนการจัดเส้นทางขนส่ง

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการแสดงผลของแผนเส้นทางเดินรถมีลักษณะดังภาพที่ 5.9



ภาพที่ 5.9 หน้าจอการทำงานระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางแสดงผลของแผนการจัดเส้นทางขนส่ง

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

เพื่อทำการคำนวณการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น และแสดงผลลัพธ์เส้นทางเดินรถที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งหน้าจอการทำงานประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

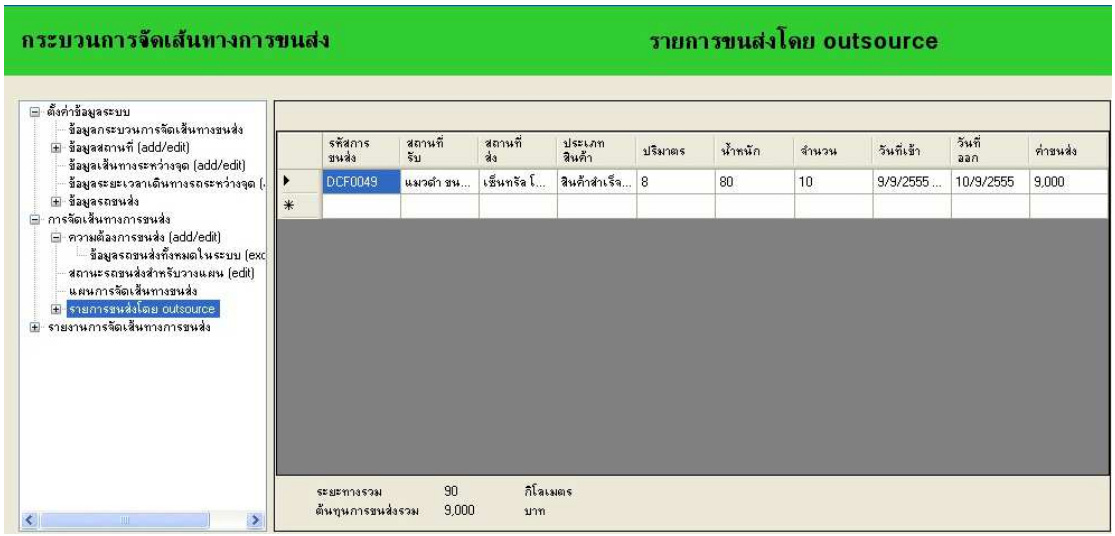
- ช่วงระยะเวลาวางแผน แสดงวันที่เริ่มต้นวางแผนเส้นทางขนส่ง ถึงวันสุดท้ายที่วางแผนโดยคำนวณจากระยะเวลาวางแผน (planning horizon) ซึ่งความต้องการขนส่งที่อยู่นอกช่วงระยะเวลาวางแผนจะไม่ถูกนำมาทำการคำนวณในรอบนั้น
- วันสุดท้ายที่กำหนดแผน (fixed date) แสดงวันที่สุดท้ายที่ต้องการกำหนดแผนไว้ โดยคำนวณจากระยะเวลากำหนดแผน (fixed period) นับจากวันเริ่มต้นวางแผน ซึ่งลำดับการขนส่งที่อยู่ในช่วงกำหนดแผนจะทำให้ความต้องการขนส่งนั้นจะมีสถานะเป็น fix
- ตารางแผนเส้นทางการขนส่ง แสดงลำดับการขนส่งของรถแต่ละคัน ข้อมูลในตารางที่ปรากฏประกอบด้วย รหัสรถขนส่ง เลขทะเบียนรถ วันที่ต้องรับและ/หรือส่งสินค้า รหัส

สถานที่ ที่อยู่ รายละเอียดการทำงานรับหรือส่งสินค้า รหัสการขนส่ง ประเภทสินค้า ปริมาตร น้ำหนัก และจำนวนสินค้าที่ต้องขนส่ง ซึ่งตารางแผนการขนส่งของรถแต่ละคันจะถูกส่งให้กับพนักงานขับรถดำเนินการปฏิบัติตาม

- ระยะทางรวม มีหน่วยเป็นกิโลเมตร แสดงผลการคำนวณระยะทางรวมจากการจัดเส้นทางของรถทุกคัน
- ต้นทุนการขนส่งรวม มีหน่วยเป็นบาท แสดงผลการคำนวณต้นทุนการขนส่งรวมจากการจัดเส้นทางของรถทุกคัน

4) รายการขนส่งโดย outsource

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางในการแสดงผลของรายการขนส่งที่ต้องดำเนินการโดยผู้รับจ้างขนส่งภายนอก (outsource) มีลักษณะดังภาพที่ 5.10



ภาพที่ 5.10 หน้าจอการทำงานระบบสนับสนุนการแสดงผลรายการขนส่งโดย outsource

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

เพื่อแสดงรายการขนส่งที่ต้องดำเนินการโดย outsource หลังจากที่ทำการคำนวณการจัดเส้นทาง ซึ่งหน้าจอการทำงานประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

- ตารางรายการขนส่งโดยoutsource แสดงรายการความต้องการขนส่งที่จำเป็นจะต้องขนส่งโดยผู้รับจ้างขนส่งภายนอก ข้อมูลในตารางที่ปรากฏประกอบด้วย รหัสการขนส่ง สถานที่รับและที่อยู่ สถานที่ส่งและที่อยู่ ประเภทสินค้า ปริมาตร น้ำหนัก และจำนวนสินค้าที่ต้องขนส่ง วันที่รับสินค้าคำนวณจากวันสุดท้ายของการขนส่งงานนั้นลบกับระยะเวลาเดินทาง

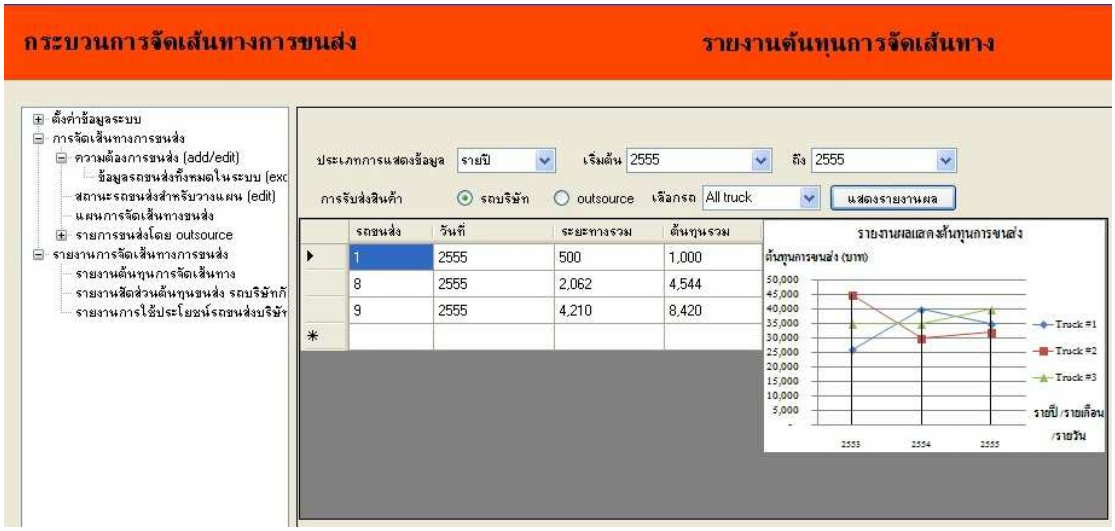
ระหว่างจุดรับส่ง วันที่ส่งสินค้ามีค่าเท่ากับวันสุดท้ายของการส่งสินค้านั้นที่ลูกค้าเป็นผู้ระบุมาในข้อมูลนำเข้าความต้องการขนส่ง และค่าใช้จ่ายในการขนส่ง โดยคำนวณจากระยะทางระหว่างจุดคูณกับค่าจ้างขนส่งในฐานข้อมูลตั้งค่ากระบวนการขนส่ง

- ระยะทางรวม มีหน่วยเป็นกิโลเมตร แสดงผลการคำนวณระยะทางรวมจากรายการความต้องการขนส่งที่เป็นงานของ outsource ทั้งหมด
- ต้นทุนการขนส่งรวม มีหน่วยเป็นบาท แสดงผลการคำนวณค่าใช้จ่ายการขนส่งรวมที่เป็นงานของ outsource ทั้งหมด

5.2.3 รายงานการจัดเส้นทางขนส่ง

1) รายงานต้นทุนการจัดเส้นทาง

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการแสดงรายงานต้นทุนการจัดเส้นทางขนส่งที่เกิดขึ้นทั้งหมดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีลักษณะดังภาพที่ 5.11



ภาพที่ 5.11 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการแสดงผลรายงานต้นทุนการขนส่ง

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

เพื่อแสดงรายงานผลรวมของต้นทุนการจัดเส้นทางขนส่งที่เป็นเกิดขึ้นทั้งหมดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน หรือตามเวลาที่ผู้ใช้งานเลือกคำนวณ ซึ่งหน้าจอการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ฟังก์ชั่น คือ ตารางรายงานต้นทุนและกราฟแสดงผลของต้นทุนการขนส่งตามเวลาที่เลือก รายละเอียดของหน้าจอการทำงานมีดังนี้

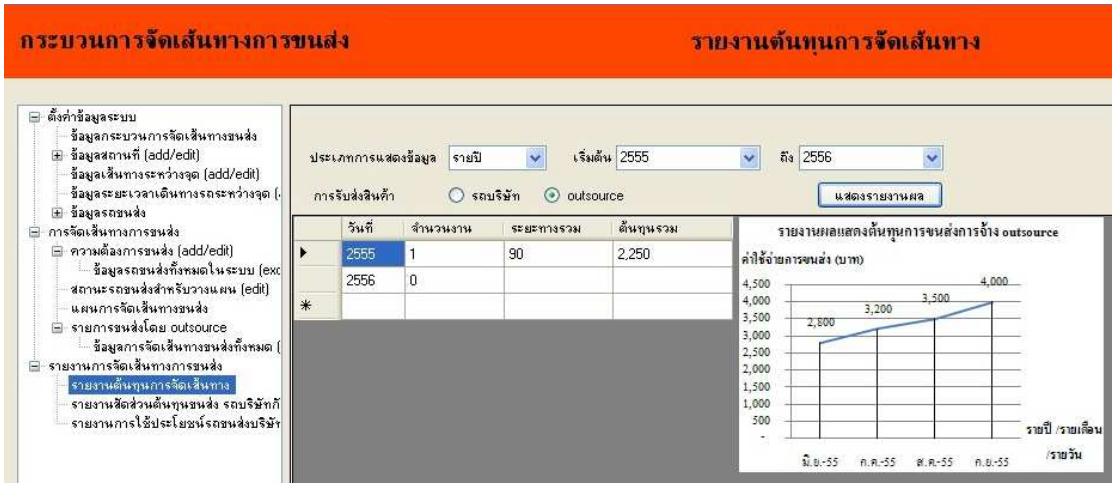
- ประเภทของการแสดงข้อมูล ผู้ใช้งานสามารถเลือกรูปแบบการแสดงข้อมูลที่แบ่งตามเวลาได้ 3 ประเภทคือ รายปี รายเดือน และรายวัน ซึ่งแสดงข้อมูลผลรวมต้นทุนการขนส่งที่เกิดจากรถของบริษัทหรือ outsource ภายในระยะเวลา 1 ปี (วันที่ 1 มกราคม - 31 ธันวามคม แต่ละปี) หรือ ภายในระยะเวลา 1 เดือน (วันที่ 1- 31 ของแต่ละเดือน) หรือภายในระยะเวลา 1 วัน (เวลา 00.00 – 23.00 ของแต่ละวัน) โดยสามารถเลือกเวลาเริ่มต้นถึงเวลาสุดท้ายที่ต้องการทำการคำนวณได้จากปฏิทินในโปรแกรมที่สร้างขึ้น และระบบจะทำงานก็ต่อเมื่อต้องเลือกเวลาที่เริ่มต้นก่อนเสมอ
- การรับส่งสินค้า ผู้ใช้งานจะต้องเลือกชนิดของรถขนส่งที่แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ รถบริษัท และ outsource โดยตารางรายงานต้นทุนของรถทั้ง 2 ชนิด แสดงผลที่แตกต่างกัน

  กรณีเลือกการรับส่งสินค้า **รถบริษัท** ผู้ใช้งานสามารถเลือกการแสดงผลรายงานรถขนส่งรายคันหรือทั้งหมดได้ ตารางรายงานต้นทุนการขนส่งและกราฟแสดงดังภาพที่ 5.11 ประกอบด้วยรายละเอียดต่อไปนี้ เมื่อกดปุ่ม แสดงรายงานผล

  - รหัสรถขนส่ง แสดงผลการคำนวณของรถขนส่งแต่ละคัน ตามช่วงเวลาที่เลือกไว้
  - วันที่ แสดงตามประเภทของช่วงเวลาที่เลือกคำนวณ
  - ระยะทางรวม แสดงผลรวมระยะทางของรถแต่ละคันในช่วงเวลาที่เลือกไว้
  - ต้นทุนรวม แสดงผลรวมต้นทุนการขนส่งของรถแต่ละคันที่เกิดขึ้นตามช่วงเวลาที่เลือกไว้

  กรณีเลือกการรับส่งสินค้า **outsource** เป็นการแสดงผลรวมของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการจ้างผู้รับจ้างขนส่งภายนอกดำเนินการขนส่งความต้องการสินค้าบางรายการที่รถขนส่งของบริษัทไม่สามารถทำการขนส่งได้เอง ตารางรายงานต้นทุนการขนส่งและกราฟแสดงดังภาพที่ 5.12 รายละเอียดดังต่อไปนี้ เมื่อกดปุ่ม แสดงรายงานผล

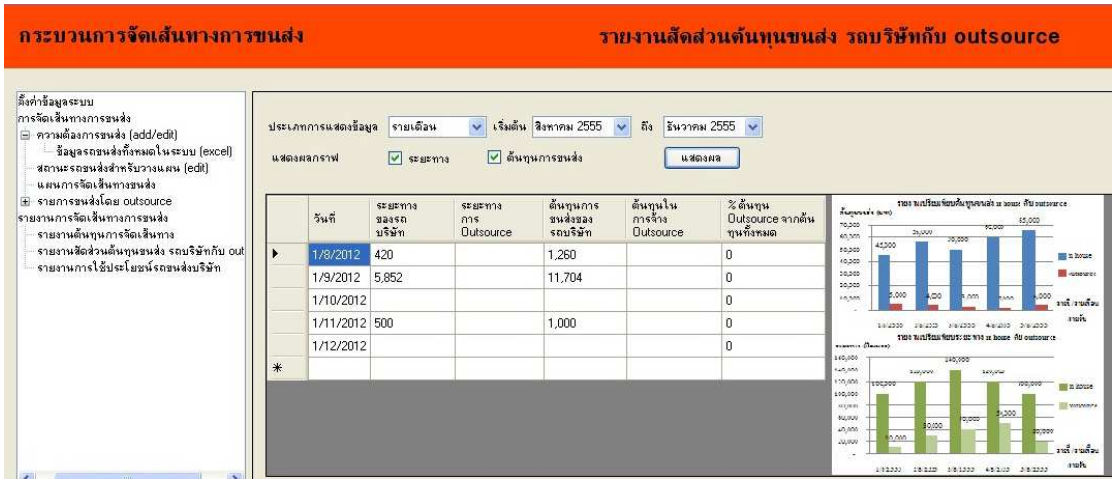
  - วันที่ แสดงตามประเภทของช่วงเวลาที่เลือกคำนวณ
  - จำนวนงาน แสดงผลรวมของจำนวนรายการความต้องการขนส่งที่ดำเนินการโดย outsource ในช่วงเวลาที่เลือกไว้ (1 รหัสการขนส่ง เท่ากับ 1 จำนวนงาน)
  - ต้นทุนรวม แสดงผลรวมต้นทุนการขนส่งที่เป็นการจ้างงาน outsource ตามช่วงเวลาที่เลือก



ภาพที่ 5.12 หน้าจอการทำงานในการแสดงผลรายงานต้นทุนการขนส่งโดย outsource

2) รายงานสัดส่วนต้นทุนขนส่งระหว่างรถบริษัทกับผู้รับจ้างขนส่งภายนอก

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการแสดงรายงานสัดส่วนต้นทุนขนส่งระหว่างรถบริษัทกับ outsource ที่เกิดขึ้นทั้งหมดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีลักษณะดังภาพที่ 5.13



ภาพที่ 5.13 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการแสดงผลรายงานสัดส่วนต้นทุนการขนส่ง รถบริษัทกับ outsource

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

เพื่อแสดงรายงานสัดส่วนของผลรวมต้นทุนขนส่งที่เกิดขึ้นทั้งหมดตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันระหว่างการขนส่งโดยรถบริษัทของรถทุกคันกับการขนส่งโดย outsource ของทุกรายการ ตามเวลา

ที่ผู้ใช้งานเลือกคำนวณ ซึ่งหน้าจอการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ฟังก์ชั่น คือ ตารางรายงานสัดส่วนต้นทุนและกราฟแสดงผลของการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งระหว่างรถบริษัทกับ outsource ตามเวลาที่เลือก รายละเอียดของหน้าจอการทำงานมีดังนี้

- ประเภทของการแสดงข้อมูล ผู้ใช้งานสามารถเลือกรูปแบบการแสดงข้อมูลที่แบ่งตามเวลาได้ 3 ประเภทคือ รายปี รายเดือน และรายวัน ซึ่งแสดงข้อมูลผลรวมต้นทุนการขนส่งที่เกิดจากรถของบริษัทหรือ outsource ภายในระยะเวลา 1 ปี (วันที่ 1 มกราคม - 31 ธันวามคม แต่ละปี) หรือ ภายในระยะเวลา 1 เดือน (วันที่ 1- 31 ของแต่ละเดือน) หรือภายในระยะเวลา 1 วัน (เวลา 00.00 – 23.00 ของแต่ละวัน) โดยสามารถเลือกเวลาเริ่มต้นถึงเวลาสุดท้ายที่ต้องการทำการคำนวณได้จากปฏิทินในโปรแกรมที่สร้างขึ้น และระบบจะทำงานก็ต่อเมื่อต้องเลือกเวลาที่เริ่มต้นก่อนเสมอ
- แสดงผลกราฟ ผู้ใช้งานสามารถเลือกชนิดของกราฟแสดงผลระยะทางหรือต้นทุนการขนส่งได้
- ตารางรายงานสัดส่วนต้นทุนการขนส่ง ประกอบด้วยรายละเอียดต่อไปนี้ เมื่อกดปุ่มแสดงผล
    - วันที่ แสดงตามประเภทของช่วงเวลาที่เลือกคำนวณ
    - ระยะทางของรถบริษัท แสดงผลรวมระยะทางของรถทุกคันที่จัดเส้นทางในช่วงเวลาที่เลือกไว้
    - ระยะทางของ outsource แสดงผลรวมระยะทางของทุกความต้องการขนส่งที่ถูกดำเนินการโดย outsource ตามช่วงเวลาที่เลือกไว้
    - ต้นทุนการขนส่งของรถบริษัท แสดงผลรวมต้นทุนการขนส่งของรถทุกคันที่เกิดขึ้นตามช่วงเวลาที่เลือกไว้

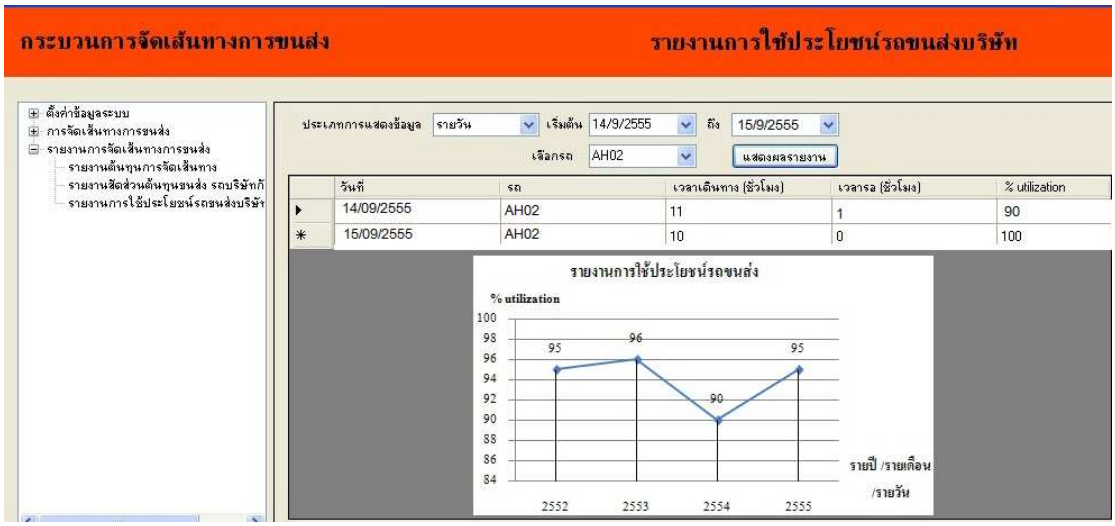
      ต้นทุนในการจ้าง outsource แสดงผลรวมต้นทุนของทุกรายการขนส่งที่ถูกดำเนินการโดย outsource ในช่วงเวลาที่เลือกไว้
    - % ต้นทุน outsource จากต้นทุนทั้งหมด แสดงสัดส่วนที่เป็นต้นทุนการขนส่งของ outsource ที่เกิดขึ้นทั้งหมดตามเวลาที่เลือกไว้ โดยคำนวณ

$$\frac{\text{ต้นทุนที่เกิดจาก } outsource}{\text{ต้นทุน } outsource + \text{ต้นทุนรถบริษัท}} \times 100$$

- กราฟ แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างรถบริษัทกับ outsource ในด้านของต้นทุนการขนส่งและด้านระยะทาง ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกแสดงผลได้ทั้ง 2 แบบ

3) รายงานการใช้ประโยชน์รถขนส่งบริษัท

หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการแสดงรายงานการใช้ประโยชน์รถขนส่งบริษัท มีลักษณะดังภาพที่ 5.14



ภาพที่ 5.14 หน้าจอการทำงานของระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถในการแสดงผลรายงานการใช้ประโยชน์รถขนส่งบริษัท

<u>วัตถุประสงค์การใช้งาน</u>

เพื่อแสดงรายงานการใช้ประโยชน์รถขนส่งบริษัท แสดงผลเป็นรายคัน โดยการใช้ประโยชน์รถขนส่ง(utilization) คิดจากเวลาที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดเทียบกับเวลารอคอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งหน้าจอการทำงานจะแบ่งออกเป็น 2 ฟังก์ชั่น คือ ตารางรายงานการใช้ประโยชน์รถขนส่งและกราฟแสดงผล % utilization ของรถแต่ละคันตามเวลาที่เลือก รายละเอียดของหน้าจอการทำงานมีดังนี้

- ประเภทของการแสดงข้อมูล ผู้ใช้งานสามารถเลือกรูปแบบการแสดงข้อมูลที่แบ่งตามเวลาได้ 3 ประเภทคือ รายปี รายเดือน และรายวัน ซึ่งแสดงข้อมูลผลรวมต้นทุนการขนส่งที่เกิดจากรถของบริษัทหรือ outsource ภายในระยะเวลา 1 ปี (วันที่ 1 มกราคม - 31 ธันวามคม แต่ละปี) หรือ ภายในระยะเวลา 1 เดือน (วันที่ 1- 31 ของแต่ละเดือน) หรือภายในระยะเวลา 1 วัน (เวลา 00.00 – 23.00 ของแต่ละวัน) โดยสามารถเลือกเวลาเริ่มต้นถึงเวลาสุดท้ายที่

ต้องการทำการคำนวณได้จากปฏิทินในโปรแกรมที่สร้างขึ้น และระบบจะทำงานก็ต่อเมื่อต้องเลือกเวลาที่เริ่มต้นก่อนเสมอ

- การแสดงผลของรถขนส่ง ผู้ใช้งานสามารถเลือกแสดงผลรายงานการใช้ประโยชน์รถขนส่งได้รายคันหรือแสดงผลของรถขนส่งทั้งหมด
- ตารางรายงานการใช้ประโยชน์รถขนส่ง ประกอบด้วยรายละเอียดต่อไปนี้ เมื่อกดปุ่มแสดงผลรายงาน
    - วันที่ แสดงตามประเภทของช่วงเวลาที่เลือกคำนวณ
    - รหัสรถขนส่ง แสดงผลการคำนวณของรถขนส่งแต่ละคันตามช่วงเวลาที่เลือกไว้
    - เวลาเดินทาง มีหน่วยเป็นชั่วโมง แสดงผลรวมเวลาเดินทางทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่งของรถแต่ละคันตามแต่ละช่วงเวลาที่เลือกไว้
    - เวลารอคอย (waiting time) มีหน่วยเป็นชั่วโมง แสดงผลรวมของที่ไม่เกิดการเดินทางทั้งหมดในช่วงเวลาหนึ่งของรถแต่ละคันตามแต่ละช่วงเวลาที่เลือกไว้
    - % Utilization แสดงการใช้ประโยชน์รถขนส่งซึ่งใช้เวลาเป็นตัวชี้วัด โดยคำนวณ

$$\frac{\text{เวลาเดินทาง}}{\text{เวลาเดินทาง} + \text{เวลารอ}} \times 100$$

โดยหน้าจอการทำงานแต่ละะหน้าจอสามารถใช้งานได้อย่างอิสระจากกัน ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกดูเฉพาะส่วนงานที่ต้องการแก้ไขหรือแสดงผลข้อมูลได้ เมื่อผู้ใช้งานต้องการจบการทำงานสามารถออกจากโปรแกรมได้ทันที

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัย

ผลการทดสอบคุณภาพคำตอบของวิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ นำมาสู่การสรุปผลการวิจัย ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย รวมถึงข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตดังต่อไปนี้

6.1 สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาของต้นทุนการขนส่งที่มาจากรูปแบบการจัดเส้นทางเดินรถแบบปิด คือ การที่รถขนส่งต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นเสมอหลังจากทำงานครบ 1 รอบให้ทันภายในเวลาทำงาน ซึ่งไม่รองรับต่อความต้องการขนส่งที่เปลี่ยนแปลงไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งการขนส่งในระยะทางไกลที่มีเพิ่มขึ้นจากการศึกษาพฤติกรรมการขนส่งสินค้าของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างที่ดำเนินการในปัจจุบันนี้ โดยการแก้ปัญหาต้นทุนการขนส่งที่เพิ่มมากขึ้น งานวิจัยนี้ได้นำเสนอฮิวริสติกสำหรับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งรวม ซึ่งรูปแบบปัญหาของงานวิจัยนี้มีความซับซ้อนการคำนวณหาค่าที่ดีที่สุดของโครงข่ายอยู่ในระดับ NP-hard ในเบื้องต้นได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อศึกษารูปแบบและแนวทางการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถได้รับความสนใจศึกษาแยกย่อยออกไปอย่างแพร่หลายตามข้อจำกัดเฉพาะของระบบงานทำให้เกิดรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางที่แตกต่างกันออกไป สำหรับวิธีการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทางหลักคือ วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด และวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์และศึกษารูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดภายใต้ระบบที่รถขนส่งสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง สามารถหยุดและเริ่มงาน ณ ที่ใดก็ได้ในระบบ โดยไม่จำเป็นจะต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นทุกครั้งหลังจากจบการทำงาน และข้อมูลเป็นแบบทะยอยรับเข้า ที่มีกำหนดส่งมอบเป็นช่วงเวลา จากนั้นจึงทำการสร้างฮิวริสติกเพื่อใช้ในการหาคำตอบเส้นทางการขนส่งที่มีต้นทุนรวมต่ำภายใต้เงื่อนไขการจัดเส้นทางขนส่งคือ ความจุของรถและกำหนดเวลาส่งมอบสินค้า โดยแนวทางแก้ปัญหาได้ออกแบบกระบวนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

- การเลือกความต้องการขนส่ง ซึ่งนำเอาวิธีการจัดเรียงลำดับงานแบบกำหนดส่งมอบเร็วสุด (Earliest Due Date หรือ EDD) และการจัดลำดับของงานโดยใช้วิธีเวลาหย่อนน้อย

สุด (Minimum Slack Time หรือ MST) มาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการหาความเร่งด่วนของงานเพื่อทำให้งานสามารถส่งมอบทันตามกำหนดเวลา

- การจัดเส้นทาง นำเอาวิธีการแทรกงานของ Nawaz ที่ให้ค่าคุณภาพของคำตอบที่ดีมาประยุกต์ใช้ โดยทำการเปรียบเทียบต้นทุนจากการลองแทรกงานของรถทุกคันเพื่อเลือกเส้นทางที่ทำให้ต้นทุนการขนส่งโดยรวมต่ำสุด
- การกำหนดเส้นทางการขนส่ง เป็นการสรุปเส้นทางการขนส่งและคัดสรรข้อมูลที่จะถูกนำไปวางแผนในรอบถัดไป

จากผลการทดสอบคุณภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดที่สร้างขึ้น ตัวชี้วัดในงานวิจัยนี้คือระยะทางรวมซึ่งสามารถใช้เป็นตัวแทนของต้นทุนการขนส่ง เนื่องจากสมมติฐานของงานวิจัยที่กำหนดให้ต้นทุนการขนส่งแปรผันตามระยะทาง โดยวัตถุประสงค์ของการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 วัตถุประสงค์ คือ

- การทดสอบการเปลี่ยนรูปแบบเส้นทางเดินรถ สมมติฐานคือ การจัดเส้นทางขนส่งแบบเปิดจะให้ค่าต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่าการจัดเส้นทางแบบปิด โดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการคำนวณของงานวิจัยกับการคำนวณของแบบจำลองการเดินรถแบบปิดในปัจจุบัน ซึ่งพารามิเตอร์ที่พิจารณา ได้แก่ ทำเลที่ตั้งของโครงข่ายในระบบ สัดส่วนการขนส่งระหว่างกลุ่ม และระยะเวลาเดินทางสูงสุดระหว่างจุด จากผลการทดสอบพบว่า การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดด้วยวิธีฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นให้ค่าระยะทางรวมต่ำกว่าวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบปิดจากทุกพารามิเตอร์ที่ทดสอบมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 28.125%
- การทดสอบคุณภาพฮิวริสติกที่สร้างขึ้น มีวิธีการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบเส้นทางเดินรถแบบเปิดระหว่างฮิวริสติกที่สร้างขึ้นกับแบบจำลองการจัดเส้นทางแบบง่าย พบว่า การจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดด้วยวิธีฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นให้ค่าระยะทางรวมต่ำกว่าวิธีการจัดเส้นทางอย่างง่ายโดยเฉลี่ย 3.96% และอีกหนึ่งการทดสอบคือ การปรับเส้นทางการขนส่งของข้อมูลทะยอยรับเข้าที่มีการเปลี่ยนแปลง ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบฮิวริสติกสำหรับการคำนวณที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงในแต่ละรอบให้ค่าคำตอบที่มีระยะทางต่ำใกล้เคียงกับการทดสอบของการจัดข้อมูลทั้งหมดเพียงครั้งเดียว โดยค่าที่ได้มากกว่าอยู่ในช่วง 0.3% - 4.6% และเฉลี่ยอยู่ที่ 2.55%

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ฮิวริสติกที่นำเสนอมีประสิทธิภาพอยู่ในเกณฑ์ดี มีความเหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดภายใต้ระบบที่ข้อมูลเป็นแบบพลวัตที่ทะยอยรับเข้าและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ และการนำเสนอแนวคิดของการเปลี่ยนรูปแบบวิธีการเดินรถจากแบบปิดมาเป็นแบบเปิดนี้สามารถแก้ปัญหาต้นทุนการขนส่งรวม ทำให้มีต้นทุนลดลงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

โดยในส่วนท้ายของงานวิจัยได้ทำการออกแบบฐานข้อมูลและหน้าจอการทำงานที่มีความจำเป็นและเกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อสนับสนุนการทำงานของระบบการตัดสินใจให้มีความง่ายสะดวกรวดเร็วและชัดเจนมากยิ่งขึ้นแก่ผู้ใช้งาน

6.2 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ฮิวริสติกที่นำเสนอสามารถคำนวณหาเส้นทางรับและส่งสินค้า พร้อมทั้งระบุตารางเวลาการขนส่งและรายละเอียดการขนส่งสินค้า โดยที่ความต้องการขนส่งทุกรายการสามารถส่งได้ทันภายในระยะเวลากำหนดส่งมอบ คำตอบที่ได้จากฮิวริสติกสามารถลดต้นทุนการขนส่งรวมให้มีค่าต่ำ โดยผลของงานวิจัยนี้สามารถนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้กับการขนส่งจริงที่ลักษณะความต้องการขนส่งเป็นแบบโครงข่ายได้

6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ในการพัฒนาวิธีการทางฮิวริสติกในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบเปิด สามารถทำได้โดยการเพิ่มเงื่อนไขของการขนส่งด้านต่างๆที่เป็นขอบเขตในการดำเนินงานวิจัย ได้แก่ สินค้าขนส่งพิจารณาคุณสมบัติพิเศษที่ห้ามทำการขนส่งรวมกับสินค้าอื่น สถานที่แต่ละแห่งที่มีคุณสมบัติต่างกันออกไปที่ไม่สามารถเป็นจุดพักรถได้ทุกแห่ง ในส่วนของการคำนวณต้นทุนขนส่งพิจารณาในส่วนของต้นทุนคงที่และต้นทุนที่เกิดจากการคอย ซึ่งสำหรับบริษัทที่เป็นธุรกิจบริการรับจ้างขนส่งการเสียเวลาคอยอาจทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสขึ้น รวมถึงยังต้องพิจารณาเวลาที่ใช้ในการโหลดสินค้าเพิ่มขึ้นมาด้วย ในกรณีที่กิจกรรมการขนส่งนั้นใช้เวลานานในการเคลื่อนย้าย เพราะมิฉะนั้นแล้วการคำนวณเวลาของแผนการขนส่งจะเกิดข้อผิดพลาดได้และไม่ทันกำหนดส่งมอบลูกค้า นอกจากนี้ยังสามารถทำการปรับรูปแบบการขนส่งแบบเปิดให้มีการกำหนดจุดพักรถที่แน่นอนเพื่อเป็นการประยุกต์ในกรณีที่บริษัทขนส่งมีจุดพักรถหลักในแต่ละพื้นที่ และมีความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติมากขึ้น โดยการประยุกต์จะเป็นการเปรียบเทียบเส้นทางทั้งหมดที่เป็นไปได้จากจุดตั้งต้นของเส้นทางแต่ละรอบไปยังจุดพักรถปลายทางที่ถูกกำหนดขึ้นทั้งหมด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฤศณภัทร สวาสดิ์. การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

จิรภัทร วัธนเวคิน. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำมัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การวิจัยดำเนินงาน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท้อป, 2553.

ไตรภูมิ ปันกิติ. ฮิวริสติกสำหรับการหาเส้นทางการรับและส่งสินค้าให้ทันภายในระยะเวลารับประกัน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ปารเมศ ชุติมา. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ยศศิริ อดุลยศักดิ์. แบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. ข้อมูลโรงงานสถิติอุตสาหกรรมปี 2554-2555 [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: http://www.diw.go.th/hawk/content.php?mode=spss55 [10 มกราคม 2555]

อัทธ์ พิศาลวานิช. การศึกษาโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ของไทยและการวิเคราะห์ผลกระทบจากราคาน้ำมัน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 30 (2553).

ภาษาอังกฤษ

Berbeglia, G. ; Cordeau, J. F. and Laporte, G. Dynamic pickup and delivery problems. European Journal of Operational Research. 202 (2010): 8-15.

Blam, C. and Roil, A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. ACM Computing Surveys. 35 (2003): 268-308.

Daneshzand, F. The Vehicle-Routing Problem. Logistics Operations and Management. Elsevier Inc., 2011.

Du, T. ; Wang, F. K. and Lu, P. Y. A real-time vehicle-dispatching system for consolidating milk runs. Transportation Research Part E. 43 (2007): 565-577.

Hurkens, C. A. J. and Woeginger, G. J. On the nearest neighbor rule for the traveling salesman problem. Operation Research Letters. 32 (2004): 1-4.

Kek, A. G. H. ; Cheu, R. L. and Meng, Q. Distance-constrained capacitated vehicle routing problems with flexible assignment of start and end depots. Mathematical and Computer Modelling. 47 (2008): 140-152.

Laporte, G. The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. European Journal of Operation Research. 59 (1992): 345-358.

Larsen, A. ; Madsen, O. B. G. and Solomon, M. M. Classification of dynamic vehicle routing systems. Dynamic Fleet Management. Operations Research/Computer Science Interfaces Series. 38 (2007): 19-40.

Li, F. ; Gloden, F. and Wasil, E. The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results. Computer & Operation Research. 34 (2007): 2918-2930.

MirHassani, S. A. and Abolghasemi, N. A partical swarm optimization algorithm for open vehicle routing problem. Expert Systems with Applications. 38 (2011): 11547-11551.

Pisniger, D. and Ropke, S. A general heuristic for vehicle routing problems. Computer & Operations Research. 34 (2007): 2403-2435.

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

Sariklis, D. and Powell, S. A heuristic method for the open vehicle routing problem. Journal of the Operation Research Society. 51 (2000): 564-573.

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

Yeun, L. C. ; Ismail, W. R. ; Omar, K. and Zirour, M. Vehicle routing problem: Models and solutions. Journal of Quality Measurement and Analysis. 4 (2008): 205-218.

Zachariadis, E. E. and Kiranoudis, C. T. An open vehicle routing problem metaheuristic for examining wide solution neighborhoods. Computer & Operations Research. 37 (2010): 712-723.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวอรประไพ จารุพัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ในปีการศึกษา 2550 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

ในระหว่างศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ได้รับหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัยในศูนย์วิจัย ROM (Resource and Operation Management) ของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งเป็นหน่วยพัฒนาศักยภาพและสมรรถนะการบริหารทรัพยากร และระบบงานเชิงบูรณาการสำหรับหน่วยงานภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการ และภาครัฐ