ระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ

นางสาวโสภา คู่สมรัตน์

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 VEHICLE ROUTING WITH TRANSSHIPMENT

Miss Sopa Kusomrat

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	ระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถ ที่สามารถถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ
โดย	นางสาวโสภา คู่สมรัตน์
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)

โสภา คู่สมรัตน์ : ระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ . (DECISION SUPPORT SYSTEM FOR VEHICLE ROUTING WITH TRANSSHIPMENT) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์, 117 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอระบบสนับสนุนการจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะเพื่อลดระยะทางขนส่ง โดยปัญหาเส้นทางขนส่งในงานวิจัยนี้เป็นการขนส่งแบบต่อเนื่องที่มีทั้งการรับและส่งสินค้า ภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งและข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่สินค้าสามารถขนส่งได้ งานวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของการนำเสนอฮิวริสติกสำหรับการตัดสินใจถ่ายโอนสินค้าและส่วนของระบบสารสนเทศเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจ ฮิวริสติกที่นำเสนอแบ่งการทำงานเป็น 3 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกเป็นการหางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ ขั้นตอนที่สองเป็นการหาคู่รถในการถ่ายโอนสินค้า ภายใต้เงื่อนไขความจุของรถและกรอบเวลาขนส่ง ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเลือกสถานที่และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายโอนสินค้า โดยที่สถานที่ถ่ายโอนอาจจะเป็นจุดใดๆบนเส้นทางเดิม หรือเป็นจุดที่อยู่นอกเส้นทางเดิมก็ได้ จากการทดสอบฮิวริสติกด้วยปัญหาตัวอย่าง 60 ปัญหาที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ พบว่าลำดับการเลือกงานมีผลต่อคำตอบสุดท้ายที่ได้ ซึ่งวิธีการเลือกงานแบบ Saving-Selection จะดีที่สุดทั้งในด้านคุณภาพของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ วิธีนี้ให้คำตอบใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดโดยมีความแตกต่างเฉลี่ยเพียง 1.70% แต่ใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ยน้อยกว่าถึงประมาณ 3 เท่า ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการหาคำตอบในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ได้โดยที่ยังได้คำตอบที่ดี หลังจากนั้นได้ออกแบบระบบสารสนเทศที่สนับสนุนการตัดสินใจด้วยฮิวริสติกที่นำเสนอ ระบบสารสนเทศที่นำเสนอประกอบด้วยโครงสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ โครงสร้างฐานข้อมูล และหน้าจอการใช้งานของระบบ

ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมศาสตร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 255 5

5370377821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : TRANSFER / TRANSHIPMENT / VEHICLE ROUTING PROBLEM / HEURISTIC / DECISION SUPPORT SYSTEM

SOPA KUSOMRAT : DECISION SUPPORT SYSTEM FOR VEHICLE ROUTING WITH TRANSSHIPMENT. ADVISOR : ASST. PROF. PAVEENA CHAOVALITWONGSE, Ph.D., 117 pp.

This research proposes a decision support system for inter-vehicle goods transferring in order to reduce travelling cost. The routing problem considered in this research is a mixed pickups and deliveries problem with capacity and time window constraints. This research composes of two parts: heuristic for making transshipment decisions and an information supporting system. The proposed heuristics consist of three steps: determining transferable jobs, matching vehicles for transshipment, and determining location and time of transshipment. The transshipment location can be within existing routes or detouring from existing routes. The proposed heuristics are tested with 60 test problems. The computational experiments shows that the sequence of jobs to be transferred affects the quality of solution. The Saving-Selection heuristic gives the best performance over other job sequencing heuristics by giving average 1.70% from optimal and using 3 times less of the computational time. It can significantly be time reduction in a larger problem while the solutions are satisfactory. Finally, the information supporting system is designed based on the proposed heuristic. The proposed information system composes of database design, decision-support structure, and design of user interface.

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2012 .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์ที่เคารพหลายท่าน อันได้แก่ ผศ.ดร.ปวีณา เชาวลิตวงศ์ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยดูแลช่วยเหลือและให้คำปรึกษาแนะนำอย่างดีมาโดยตลอด ผศ.ดร.มานพ เรี่ยวเดชะ ผศ.ดร.เหรียญ บุญดีสกุลโชค อ.ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี และ อ.ภูมิ เหลืองจามีกร ที่กรุณาให้โอกาส ให้ความช่วยเหลือแนะนำและเสนอข้อคิดเห็นต่างๆในการดำเนินการวิจัย นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณรุ่นพี่ในหน่วยพัฒนาศักยภาพ -สมรรถนะการบริหารทรัพยากรและระบบงานเชิงบูรณาการสำหรับหน่วยงานภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการภาครัฐ (ROM) อันได้แก่ คุณกฤษดา พัวสกุล คุณสำเริง ปัญจคุณาธร คุณสิรวิชญ์ สว่างนพ และคุณอนวัช อริยสัจจากร ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือดูแลในเรื่องต่างๆ มาโดยตลอด รวมถึงเพื่อนและน้องทุกคน และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาทุกท่าน

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์ด้านงบประมาณจากโครงการเชื่อมโยงอุตสาหกรรมของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ระยะที่ 4 ปีที่ 1 (พ.ศ. 2554-2556) และในระหว่างการดำเนินวิจัยผู้วิจัยจำเป็นต้องเก็บข้อมูลที่จำเป็นและสัมภาษณ์พนักงานที่ทำงานที่เกี่ยวข้องกับระบบการขนส่งที่ผู้วิจัยสนใจ ทั้งภายในโรงงานอุสาหกรรมและบริษัทขนส่งต่างๆ ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณที่ทุกท่านได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อให้ผู้วิจัยได้สอบถามข้อมูลต่างๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจ ดูแลเอาใจใส่ผู้วิจัยด้วยความรัก ความห่วงใย จนทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... ..... จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ .....ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ .....ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 รูปแบบปัญหางานวิจัย..... 4

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 4

1.4 ขอบเขตและข้อสมมุติฐานของงานวิจัย..... 4

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 7

2.1.1 การขนส่ง..... 7

2.1.2 ทางเลือกการออกแบบการขนส่ง (Design option for transportation)..... 11

2.1.2.1 การขนส่งทางตรง (Direct shipment)..... 11

2.1.2.2 การขนส่งตรงแบบ Milk runs (Direct shipment with milk runs).. 12

2.1.2.3 การขนส่งแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้ากลาง (All shipment via central distribution)..... 13

2.1.2.4 การขนส่งไปและจากศูนย์กระจายสินค้าแบบ Milk runs (shipment to and from DC with milk runs) 14

2.1.2.5 การออกแบบการขนส่งตามขนาดลูกค้า (Transportation design by size of customer)..... 15

2.1.3 ระดับการวางแผนการขนส่ง..... 15

2.1.4 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle routing problem, VRP)..... 16

หน้า

2.1.4.1 รูปแบบและพัฒนาการปัญหาการจัดเส้นทาง 18
2.1.4.2 ปัญหาการจัดเส้นทางแบบรับและส่งสินค้า (Pickup and delivery problem) 22
2.1.4.3 เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง 25
2.1.5 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision support system) 27
2.1.5.1 ลักษณะของปัญหาที่ต้องตัดสินใจ 27
2.1.5.2 กระบวนการตัดสินใจ 28
2.1.5.3 ลักษณะและความสามารถของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ 28
2.1.5.4 ประโยชน์ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ 29
2.1.5.5 ส่วนประกอบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ 30
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 32
บทที่ 3 หลักการและแนวคิด 36
บทที่ 4 รายละเอียดการออกแบบระบบ 40
4.1 โครงสร้างข้อมูลนำเข้า 40
4.2 ฮิวริสติกสำหรับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ 44
4.2.1 การหางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ 44
4.2.2 การหาคู่รถที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้า 48
4.2.3 การหาจุดและช่วงเวลาในการถ่ายโอนสินค้า 53
4.3 โครงสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ 63
บทที่ 5 การทดสอบระบบ 71
5.1 ประเด็นลำดับการเลือกงานในการพิจารณาถ่ายโอนสินค้า 72
5.1.1 ประสิทธิภาพของวิธีการเลือกงานด้านคุณภาพของคำตอบ 86
5.1.2 ประสิทธิภาพของวิธีการเลือกงานด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ 89
5.2 ประเด็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติก 92
5.3 ประเด็นจุดถ่ายโอนสินค้า 97
5.4 ประเด็นรูปแบบของเส้นทางที่เหมาะสม 101
บทที่ 6 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ 111
6.1 สรุปผลวิจัย 111

หน้า

6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม 113
รายการอ้างอิง 114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 117

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของรูปแบบงานวิจัยของปัญหา VRP 19
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างแผนเส้นทางขนส่ง 41
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างข้อมูลรถขนส่ง 41
ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลความต้องการขนส่ง 42
ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางระหว่างสถานที่ 43
ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาระหว่างสถานที่ 43
ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างข้อมูลคุณสมบัติจุดที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ 44
ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างเส้นทางขนส่งสำหรับพิจารณารถรับโอน 50
ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างเส้นทางขนส่งสำหรับพิจารณาหาจุดถ่ายโอน 55
ตารางที่ 4.9 ฐานข้อมูลเส้นทางขนส่ง 64
ตารางที่ 4.10 ฐานข้อมูลรายละเอียดงานขนส่ง 64
ตารางที่ 4.11 ฐานข้อมูลรถขนส่ง 65
ตารางที่ 4.12 ฐานข้อมูลความต้องการขนส่ง 65
ตารางที่ 4.13 ฐานข้อมูลสถานที่ 66
ตารางที่ 5.1 แผนเส้นทางตัวอย่างตั้งต้น 73
ตารางที่ 5.2 ระยะทางระหว่างจุดของแผนเส้นทางขนส่งตั้งต้น 73
ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างผลลัพธ์จากลำดับการเลือกงานที่แตกต่างกัน 74
ตารางที่ 5.4 เส้นทางตัวอย่างเริ่มต้น 98
ตารางที่ 5.5 เส้นทางตัวอย่างของตัวอย่างที่ 1 101
ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างเส้นทาง 1 ที่เปลี่ยนแปลงไป 103
ตารางที่ 5.7 ตัวอย่างเส้นทางของตัวอย่างที่ 2 104
ตารางที่ 5.8 เส้นทางตัวอย่าง 2 ที่เปลี่ยนแปลงไป 106
ตารางที่ 5.9 ข้อมูลความต้องการขนส่งของตัวอย่างที่ 3 107
ตารางที่ 5.10 ข้อมูลเส้นทางขนส่งตัวอย่างที่ 3 108

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างการขนส่งแบบไม่มีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างยานพาหนะ....2
ภาพที่ 1.2 ตัวอย่างการขนส่งแบบมีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างยานพาหนะ....3
ภาพที่ 2.1 ประเภทของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งสัตว์และสิ่งของ....8
ภาพที่ 2.2 น้ำหนักรถบรรทุกใหม่ พ.ศ. 2549....9
ภาพที่ 2.3 การขนส่งทางตรง....11
ภาพที่ 2.4 การขนส่งตรงแบบ milk runs จากผู้ผลิตหลายราย....12
ภาพที่ 2.5 การขนส่งตรงแบบ milk runs ไปให้ลูกค้าหลายราย....13
ภาพที่ 2.6 การขนส่งตรงแบบ milk runs จากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้าหลายราย....13
ภาพที่ 2.7 การขนส่งแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้ากลาง....14
ภาพที่ 2.8 กรอบการทำงานของปัญหาระบบการขนส่งโดยแบ่งตามวัตถุประสงค์....16
ภาพที่ 2.9 อนุกรมวิธานของปัญหา VRP (Eksioglu และคณะ, 2009)....18
ภาพที่ 2.10 กระบวนการตัดสินใจและแก้ไขปัญหา....28
ภาพที่ 2.11 ลักษณะและความสามารถของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ....29
ภาพที่ 2.12 ลักษณะที่เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการการขนส่งแบบเรียลไทม์....34
ภาพที่ 3.1 การถ่ายโอนสินค้าเกิดขึ้นภายในเส้นทางเดิม....37
ภาพที่ 3.2 การถ่ายโอนสินค้าแบบเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งออกนอกเส้นทาง....37
ภาพที่ 3.3 การถ่ายโอนสินค้าแบบทั้งสองเส้นทางออกนอกเส้นทาง....38
ภาพที่ 3.4 แนวคิดในการออกแบบระบบ....39
ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างลำดับการขนส่งของแผนการขนส่ง 1 เส้นทาง....44
ภาพที่ 4.2 ลำดับงานที่ลดลงเมื่อถ่ายโอนส่งงาน D....45
ภาพที่ 4.3 ลำดับงานที่ลดลงเมื่อถ่ายโอนงาน F....45
ภาพที่ 4.4 ลำดับการทำงานที่เปลี่ยนแปลงเมื่อฝากส่งงาน....46
ภาพที่ 4.5 ขั้นตอนการพิจารณาหางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้....47
ภาพที่ 4.6 เส้นทางของรถส่งโอนและรถรับโอน....49
ภาพที่ 4.7 ขั้นตอนการพิจารณาหาคู่รถที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้า....53
ภาพที่ 4.8 การหาจุดถ่ายโอนสินค้า....54
ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างการแบ่งเส้นทางและจับคู่ระหว่าง R_a กับ R_p....57

หน้า

ภาพที่ 4.10 แสดงการอินเตอร์เซกชัน 58
ภาพที่ 4.11 แสดงการหาจุดถ่ายโอนใน Set A 58
ภาพที่ 4.12 แสดงการหาจุดถ่ายโอนใน Set B 59
ภาพที่ 4.13 แสดงการหาจุดถ่ายโอนใน Set C 59
ภาพที่ 4.14 แสดงการหาจุดถ่ายโอนใน Set D 59
ภาพที่ 4.15 การเดินทางไปยังจุดถ่ายโอนเพื่อทำการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง 60
ภาพที่ 4.16 ขั้นตอนการหาจุดและช่วงเวลาในการถ่ายโอนสินค้า 62
ภาพที่ 4.17 โครงสร้างความสัมพันธ์ฐานข้อมูล 63
ภาพที่ 4.18 โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ 67
ภาพที่ 4.19 UI รับข้อมูลนำเข้า 68
ภาพที่ 4.20 UI เลือกงานที่ต้องการถ่ายโอน 69
ภาพที่ 4.21 UI เลือกจุดถ่ายโอน 69
ภาพที่ 4.22 UI ผลลัพธ์เส้นทางขนส่ง 70
ภาพที่ 5.1 กระบวนการเลือกงานแบบ MD-Selection 77
ภาพที่ 5.2 กระบวนการเลือกงานแบบ Saving-Selection 79
ภาพที่ 5.3 กระบวนการเลือกงานแบบ Saving &MD Selection (ตอน1) 81
ภาพที่ 5.4 กระบวนการเลือกงานแบบ Saving &MD Selection (ตอน2) 82
ภาพที่ 5.5 กระบวนการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection (ตอน 1) 85
ภาพที่ 5.6 กระบวนการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection (ตอน 2) 86
ภาพที่ 5.7 เปอร์เซ็นต์ระยะทางที่สามารถประหยัดได้ด้วยวิธีการเลือกงานที่แตกต่างกัน 87
ภาพที่ 5.8 การกระจายตัวของความแตกต่างด้านคำตอบที่ได้จากวิธีการเลือกงานที่แตกต่างกัน 89
ภาพที่ 5.9 จำนวนรอบในการพิจารณาตัวอย่างเส้นทางทดสอบด้วยวิธีการเลือกงานที่แตกต่างกัน. 90
ภาพที่ 5.10 ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนรอบการพิจารณาการถ่ายโอน 91
ภาพที่ 5.11 การเปรียบเทียบคุณภาพของวิธีการเลือกงานในมิติของคำตอบและเวลา 91
ภาพที่ 5.12 แนวโน้มระยะทางที่ประหยัดได้เทียบกับจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้น 92
ภาพที่ 5.13 แนวโน้มระยะทางที่ประหยัดได้เทียบกับจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่าย
โอนสินค้าได้ 93
ภาพที่ 5.14 แนวโน้มระยะทางที่ประหยัดได้เทียบกับระดับการพิจารณาการถ่ายโอน 93
ภาพที่ 5.15 แนวโน้มจำนวนรอบการพิจารณาเทียบกับจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้น 94

หน้า

ภาพที่ 5.16 แนวโน้มจำนวนรอบการพิจารณาเทียบกับจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ 95
ภาพที่ 5.17 แนวโน้มจำนวนรอบการพิจารณาเทียบกับจำนวนระดับการพิจารณาการถ่ายโอน 95
ภาพที่ 5.18 แนวโน้มจำนวนรอบการพิจารณาเทียบกับจำนวนรากของคำตอบ 96
ภาพที่ 5.19 การหางานส่งอย่างเดียวของเส้นทางตัวอย่าง 98
ภาพที่ 5.20 การหาจุดถ่ายโอนสินค้าของเส้นทางตัวอย่าง 99
ภาพที่ 5.21 ผลลัพธ์ของเส้นทางตัวอย่างจากการพิจารณาการถ่ายโอน 99
ภาพที่ 5.22 ผลลัพธ์ของเส้นทางตัวอย่างจากการพิจารณาการถ่ายโอน 100
ภาพที่ 5.23 การหางานส่งอย่างเดียวของตัวอย่างเส้นทาง 1 102
ภาพที่ 5.24 การหาจุดถ่ายโอนสินค้าของตัวอย่างเส้นทาง 1 102
ภาพที่ 5.25 การหางานส่งอย่างเดียวของตัวอย่างเส้นทาง 1 ที่เปลี่ยนแปลง 103
ภาพที่ 5.26 การหาจุดถ่ายโอนของเส้นทางตัวอย่าง 1 ที่เปลี่ยนแปลง 104
ภาพที่ 5.27 การหางานส่งอย่างเดียวของตัวอย่างเส้นทาง 2 105
ภาพที่ 5.28 การหาจุดถ่ายโอนของตัวอย่างเส้นทาง 2 105
ภาพที่ 5.29 การหางานส่งอย่างเดียวของเส้นทางตัวอย่าง 2 ที่เปลี่ยนแปลง 106
ภาพที่ 5.30 การหาจุดถ่ายโอนของตัวอย่างเส้นทาง 2 ที่เปลี่ยนแปลง 107
ภาพที่ 5.31 การหางานส่งอย่างเดียวของเส้นทางตัวอย่างที่ 3 108
ภาพที่ 5.32 ผลลัพธ์ของเส้นทางตัวอย่างที่ 3 เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนสินค้า 109
ภาพที่ 5.33 การหาจุดถ่ายโอนของเส้นทางตัวอย่างที่ 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงข้อมูลงานขนส่ง 110
ภาพที่ 6.1 ตัวอย่างเส้นทางของรถรับโอนที่เสนอแนะ 113

บทที่ 1
บทนำ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัยอย่างแพร่หลายตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบันทั้งในเชิงของทฤษฎีและการประยุกต์ใช้ เนื่องจากเป็นปัญหาที่ใกล้ชิดและอยู่รอบตัวเรา โดยที่ปัญหาดังกล่าวจะเกี่ยวข้องกับการหาคำตอบในการจัดเส้นทางเพื่อให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ส่วนการถ่ายโอนสินค้า (Transshipment) จะเป็นกระบวนการที่เกี่ยวกับการโอนย้ายสินค้าจากยานพาหนะหนึ่งไปยังอีกยานพาหนะหนึ่ง (ถ่ายเรือ , ถ่ายรถ) ซึ่งส่วนมากแล้วจะมองการขนส่งนี้ในรูปแบบของการขนส่งแบบต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Intermodal) คือมีการขนส่งที่เกี่ยวข้องกับโหมดการขนส่งอื่นตั้งแต่ 2 ประเภทขึ้นไป เช่น การขนส่งระหว่างทางเรือกับทางรถ ระหว่างทางเรือกับทางรถไฟ เป็นต้น หรืออาจจะมองในโหมดการขนส่งแบบเดียวกันที่เรียกว่าการขนส่งแบบรวบรวมการจัดส่ง (Cross-docking) ซึ่งจะมีท่าสำหรับเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างยานพาหนะ โดยจะมีการควบรวมสินค้า (Consolidate) เพื่อไปกระจายสินค้าที่อยู่ในเส้นทางขนส่งเดียวกัน งานวิจัยนี้จะประยุกต์แนวทางการขนส่งในรูปแบบของการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ (Transfer) มาใช้กับการวางแผนจัดเส้นทางขนส่ง โดยมีวัตถุประสงค์คือต้องการลดต้นทุนขนส่งจากระยะทางขนส่งที่ลดลง

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

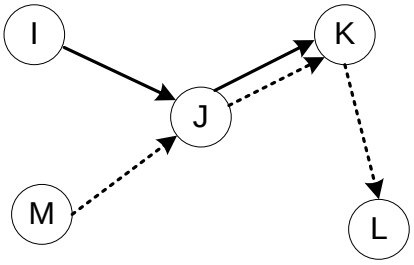
ในปัจจุบันต้นทุนโลจิสติกส์ (Logistic Cost) มีความสำคัญและมีบทบาทอย่างมากต่อต้นทุนสินค้า ซึ่งต้นทุนโลจิสติกส์ประกอบด้วยต้นทุนการขนส่งสินค้า (Transportation Costs) ต้นทุนการถือครองสินค้า (Inventory Carrying Costs) ต้นทุนการบริหารคลังสินค้า (Warehousing Costs) และต้นทุนการบริหารจัดการ (Administration Costs) (อัทธ์, 2553) เนื่องจากการจัดการโลจิสติกส์ หมายถึง การจัดการกระบวนการเคลื่อนย้ายและจัดเก็บสินค้า วัตถุดิบ จากจุดกำเนิดจนถึงผู้บริโภคสุดท้าย (คำนาย , 2546) ดังนั้นการลดต้นทุนโลจิสติกส์จึงจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนวิธีการเคลื่อนย้าย จัดเก็บ และกระจายสินค้า

การขนส่งเป็นหนึ่งในกิจกรรมโลจิสติกส์ เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายและกระจายสินค้า ซึ่งมีความสำคัญทั้งในด้านต้นทุนและระดับการบริการลูกค้า (ไชยยศและมยุขพันธุ์, 2550) ซึ่งแนวทางการลดต้นทุนขนส่ง ได้แก่ การใช้พลังงานทางเลือก เช่น การใช้ NGV แทนน้ำมัน การประยุกต์แนวคิดการจัดส่งรูปแบบอื่น เช่น การจัดส่งแบบ Milk Run การจัดการขนส่งแบบรวมศูนย์ การจัด

เส้นทางการขนส่งให้ในแต่ละเที่ยวการขนส่งสามารถเกิดทั้งการรับและส่งสินค้าได้หลายๆแห่งในเที่ยวรถคันเดียวกัน การจัดส่งสินค้าแบบต่อเนื่องเพื่อลดปัญหาการวิ่งเที่ยวเปล่าในขากลับ นอกจากนี้ยังมีการจัดส่งสินค้าแบบมีการถ่ายโอนสินค้า (Transshipment)

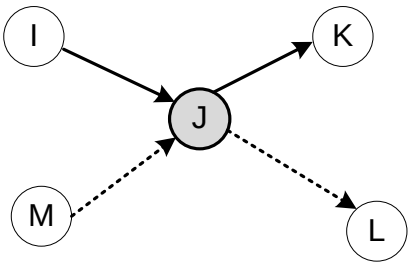
การถ่ายโอนสินค้า หมายถึง การเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะที่ใช้ขนส่งสินค้า มีข้อดีคือสามารถลดระยะทางโดยรวมที่ใช้ในการขนส่งได้ (Mitrovic และคณะ, 2006) แต่การถ่ายโอนสินค้าในกรณีสินค้าขนาดใหญ่หรือสินค้าที่มีน้ำหนักมาก ยากต่อการขนส่งจะเกิดต้นทุนการยกขนขึ้น -ลงยานพาหนะเพิ่มขึ้น (Loading-Unloading Cost) (ไชยยศและมยุขพันธุ์ , 2550) เนื่องจากความจำเป็นต้องใช้เครื่องมือพิเศษในการขนถ่าย อย่างไรก็ตามต้นทุนที่เกิดขึ้นนี้ก็มีความคุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนด้านระยะทางที่ลดลง ซึ่งสามารถพบเห็นได้ในการขนส่งของบริษัทรับจ้างขนส่งขนาดใหญ่ต่างๆ รูปแบบการถ่ายโอนมีหลายแบบเช่น การขนส่งแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้ากลาง ซึ่งจำเป็นต้องมีศูนย์สำหรับกระจายสินค้า โดยอาจเป็นจุดพักสินค้า (DC) หรือจุดผ่านสินค้า (Cross-dock) รูปแบบการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ (Transfer) ก็จัดเป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายโอนสินค้า วิธีนี้มีประโยชน์คือช่วยลดต้นทุนการบริหารศูนย์กระจายสินค้าได้

การถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะเป็นการเปลี่ยนถ่ายสินค้าที่อยู่บนยานพาหนะคันหนึ่งไปให้ยานพาหนะคันอื่นก่อนที่จะถึงจุดปลายทางเพื่อให้สินค้าที่อยู่ในเส้นทางเดียวกันถูกถ่ายโอนไปอยู่บนพาหนะคันเดียวกันและขนส่งไปด้วยกัน ซึ่งทำให้สามารถลดระยะทางขนส่งลงได้ ดังตัวอย่างที่เสนอขึ้นจากงานวิจัยของ Thangiah และคณะ (2007) ซึ่งสมมติว่ามีรถขนส่ง 2 คัน โดยรถขนส่งคันที่หนึ่งมีงานขนส่ง 2 งาน คือ S_{IJ} ขนจากโหนด I ไปโหนด J และ S_{IK} ขนจากโหนด I ไปโหนด K ส่วนรถขนส่งอีกคันก็มีงานขนส่ง 2 งานเช่นกันคือ S_{MK} ขนส่งจากโหนด M ไปยังโหนด K และ S_{JL} ขนส่งจากโหนด J ไปยังโหนด L โดยแสดงเส้นทางการวิ่งของรถขนส่งดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ตัวอย่างการขนส่งแบบไม่มีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างยานพาหนะ

จากรูปจะเห็นได้ว่ามีเส้นทางทับซ้อนกันในช่วง JK ซึ่งถ้าหากสามารถมีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างยานพาหนะที่จุด J ดังภาพที่ 1.2 โดยมีการถ่ายงาน S_{MK} ของรถขนส่งคันที่สองให้กับรถขนส่งคันที่หนึ่ง ก็จะช่วยประหยัดเส้นทางการขนส่งได้เท่ากับ JK + KL – JL



ภาพที่ 1.2 ตัวอย่างการขนส่งแบบมีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างยานพาหนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยต่อเนื่องจากหัวข้อการวิจัย “ระบบบริหารการขนส่งสำหรับอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่ม” โครงการเชื่อมโยงอุตสาหกรรมของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ระยะที่ 3 ปีที่ 3 (พ.ศ. 2551-2553) มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะพัฒนาระบบสนับสนุนการวางแผนการขนส่งสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการขนส่งแบบรวมศูนย์ ทางผู้วิจัยจึงเล็งเห็นประโยชน์ของแนวทางการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะดังกล่าวมาประยุกต์ใช้กับการจัดเส้นทางในอุตสาหกรรมเครื่องนุ่งห่มและการขนส่งทั่วไป

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งและการจัดเส้นทางเดินรถพบว่า ส่วนใหญ่แล้วจะมุ่งเน้นการจัดเส้นทางโดยไม่อนุญาตให้มีการถ่ายโอนสินค้า นอกจากนี้งานวิจัยที่สนใจการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งมีค่อนข้างน้อยและไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดบางอย่างเช่น ความจุรถขนส่ง กรอบเวลาของการส่งมอบสินค้า ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญ อาจเนื่องจากว่าปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจัดเป็นปัญหาที่ซับซ้อน ยากต่อการคำตอบ (NP-Hard) (ณกร, 2548) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาฮิวริสติกที่ใช้สำหรับถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง โดยมุ่งปรับปรุง (Improve) เส้นทางต่อจากแผนเส้นทางขนส่งที่มีอยู่เดิมซึ่งเป็นการขนส่งแบบไม่มีการถ่ายโอนสินค้า (ขนส่งทางตรง) เพื่อลดต้นทุนขนส่งจากเดิม และเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ปัญหา และเนื่องจากข้อมูลที่จะต้องนำเข้ามาร่วมพิจารณามีจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อให้สามารถทำงานได้ง่ายขึ้นและมีความถูกต้อง ทางผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจซึ่งเป็นเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าร่วมด้วย

1.2 รูปแบบปัญหางานวิจัย

งานวิจัยนี้จะประยุกต์วิธีการขนส่งแบบถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะมาใช้กับการวางแผนจัดเส้นทางขนส่ง โดยมีวัตถุประสงค์คือต้องการลดระยะทางขนส่งจากแผนขนส่งเดิมที่เป็นการขนส่งทางตรง กระบวนการปรับปรุงต้นทุนขนส่งจะเริ่มพิจารณาจากเส้นทางขนส่งทางตรงที่ได้มีการจัดเส้นทางไว้แล้ว ซึ่งเส้นทางขนส่งที่สนใจปรับปรุงอยู่ในรูปแบบการขนส่งแบบต่อเนื่อง (เมื่อเสร็จการทำงาน ไม่จำเป็นต้องกลับไปยังจุดเริ่มต้น) เส้นทางขนส่งเกิดจากการวางแผนจากงานขนส่งซึ่งประกอบด้วยข้อมูลปริมาตร (volume) น้ำหนัก (weight) จุดรับสินค้า (pickup location) จุดส่งสินค้า (delivery location) และกรอบเวลาของการขนส่งซึ่งได้แก่ เวลาที่สามารถเริ่มรับสินค้าได้ (earliness) และเวลาช้าสุดที่ส่งสินค้าได้ (lateness) ให้กับรถขนส่งจำนวน k คัน ดังนั้นแผนขนส่งที่นำมาพิจารณาจะมีทั้งหมด k เส้นทาง ซึ่งการปรับปรุงเส้นทางดังกล่าวจะต้องพิจารณาว่าจากเส้นทางขนส่งเดิมนั้นสามารถแทรกการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งเข้าไปเพื่อให้ระยะทางโดยรวมลดลงได้หรือไม่ ถ้าแทรกได้ควรแทรกอย่างไร ภายใต้ข้อจำกัดเดิม คือ ข้อจำกัดด้านความจุรถขนส่ง และข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่งานขนส่งสามารถทำได้

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อออกแบบระบบสนับสนุนและนำเสนอฮิวริสติกสำหรับพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะสำหรับการวางแผนเส้นทางขนส่งแบบต่อเนื่อง ที่มีทั้งการรับและส่งสินค้าภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุของรถขนส่ง และข้อจำกัดด้านกรอบเวลา (Continuous mixed pickup and delivery with capacity and time window) เพื่อลดต้นทุนการขนส่งจากแผนการขนส่งเดิม

1.4 ขอบเขตและข้อสมมุติฐานของงานวิจัย

1) งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจและฮิวริสติกในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะสำหรับแผนการขนส่งสินค้าที่มีอยู่แล้วเท่านั้น ไม่รวมถึงการสร้างแผนการจัดเส้นทางขนส่ง
2) แผนการขนส่งที่สนใจอยู่ในรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางแบบแบบต่อเนื่อง ที่มีทั้งการรับและส่งสินค้า ภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุของรถขนส่ง (Capacity constraint) และข้อจำกัดด้านกรอบเวลา (Time window constraint)

3) ไม่พิจารณาเรื่องรูปร่างของสินค้า จะพิจารณาเฉพาะมิติของน้ำหนักและปริมาตร
4) รถที่จะถ่ายโอนสินค้าจะประกอบไปด้วยรถส่งมอบ (Active vehicle, R_a) และรถรับมอบ (Passive vehicle, R_p) โดยรถทั้งสองคันจะต้องมาเจอกันเพื่อถ่ายโอนสินค้า เนื่องจากไม่สามารถฝากสินค้าไว้ที่สถานที่ใดที่หนึ่งได้ ถ้ารถคันใดมาถึงก่อนจะต้องรอจนกว่าอีกคันหนึ่งจะมาถึง
5) จุดถ่ายโอนสินค้า (transshipment point, t) จะเป็นจุดที่อยู่ในระบบ ซึ่งเป็นได้ทั้งจุดที่อยู่ในเส้นทาง (Transfer without detour) และนอกเส้นทาง (Transfer with detour)
6) ไม่สามารถแยกสินค้า (spilt order) เพื่อขนส่งได้
7) เวลาที่เกิดจากการโหลดสินค้าไม่ถูกนำมาพิจารณา
8) สนใจการถ่ายโอนสินค้าขนาดเล็ก จึงไม่พิจารณาต้นทุนในการยกขนสินค้า (double handing)
9) การถ่ายโอนสินค้าต้องเป็นไปได้จริงภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง (capacity constraint) และข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่สินค้านั้นสามารถขนส่งได้ (time window constraint)

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบฮิวริสติกและระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับพิจารณาการถ่ายโอนสินค้า ซึ่งมีลำดับการดำเนินการวิจัยดังนี้

<u>ระยะที่ 1</u>

เป็นการศึกษาลักษณะการขนส่งโดยทั่วไป โดยการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ด้านคือ การศึกษาลักษณะการทำงานจริงที่เกิดขึ้น และศึกษาจากบทความและงานวิจัยต่างๆ เพื่อให้เข้าใจถึงกระบวนการ ลักษณะการขนส่ง และข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง และกำหนดรูปแบบปัญหาการขนส่งที่สนใจ

<u>ระยะที่ 2</u>

เป็นการศึกษารูปแบบการขนส่งที่สนใจ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง โดยศึกษาจากบทความทางวิชาการและงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้อง เพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการนี้คือแนวคิดในการแก้ไขปัญหา

ระยะที่ 3

เป็นการออกแบบกระบวนการในการแก้ไขปัญหาจากแนวคิดที่ได้ ซึ่งประกอบด้วยการออกแบบตรรกะ (logic) หรือฮิวริสติก (heuristic) ในระยะนี้จะมีการทดสอบฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นกับตัวอย่างเส้นทางสมมุติก่อน เพื่อปรับปรุงฮิวริสติกให้มีความสมบูรณ์

ระยะที่ 4

เป็นการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision support) โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ฐานข้อมูล โครงสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ และหน้าตาการใช้งานของระบบ ที่รองรับการทำงานของฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้น นอกจากนี้ยังมีการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม (Verification) หลังจากการสร้างระบบเสร็จ

ระยะที่ 5

เป็นการทดสอบฮิวริสติกกับเส้นทางตัวอย่าง (Validation) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของฮิวริสติก ซึ่งประกอบด้วยประเด็นลำดับการเลือกงานถ่ายโอน ประเด็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติก ประเด็นจุดถ่ายโอนสินค้า และประเด็นรูปแบบเส้นทางที่เหมาะสม

ระยะที่ 6

เป็นการสรุปงานวิจัยและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย

- บทที่ 1 บทนำ
- บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- บทที่ 3 หลักการและแนวคิด
- บทที่ 4 รายละเอียดการออกแบบระบบ
- บทที่ 5 การทดสอบระบบ
- บทที่ 6 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถช่วยลดต้นทุนขนส่งจากแผนขนส่งเดิมได้
2) ช่วยลดความซับซ้อนยุ่งยากในการทำงานของผู้ใช้ได้
3) เพิ่มทางเลือกในการขนส่งและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบการขนส่งอื่นได้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การขนส่ง

การขนส่ง หมายถึง การเคลื่อนย้ายหรือลำเลียงบุคคล สัตว์ สิ่งของด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ในการขนส่งจากที่แห่งหนึ่งไปยังที่แห่งหนึ่ง เพื่อตอบสนองตามความต้องการและให้เกิดอรรถประโยชน์

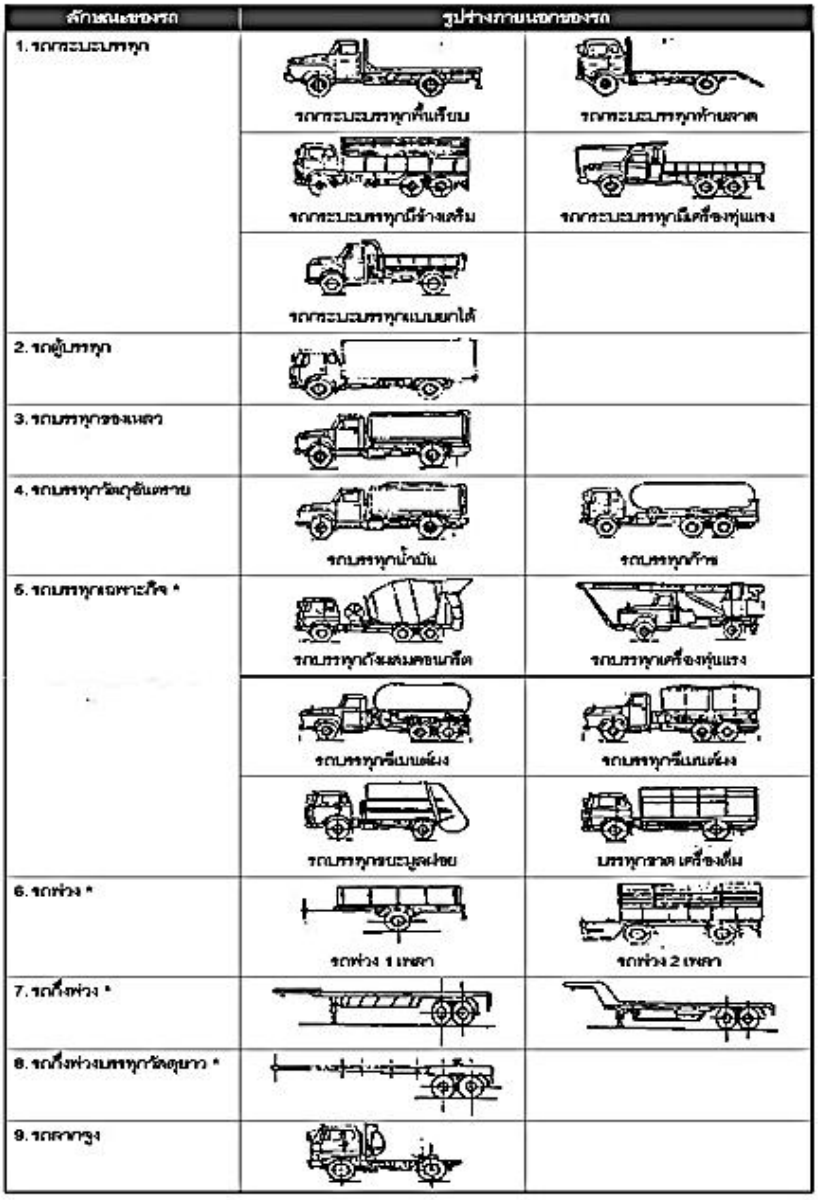
การขนส่งเป็นสื่อกลางในการเชื่อมโยงสิ่งต่างๆและอยู่ในรูปแบบของการบริการ ซึ่งมีหน้าที่ในการสนับสนุนการผลิตคือมีหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายปัจจัยที่ใช้ในการผลิตต่างๆ เช่น วัตถุดิบ (Raw material) วัสดุ เครื่องมือและอุปกรณ์ในการผลิต เป็นต้น เพื่อทำการผลิตเป็นสินค้าและบริการต่อไป หน้าที่ของการขนส่งอีกประการหนึ่งคือการสนับสนุนการตลาด คือมีหน้าที่เคลื่อนย้ายผลิตผลที่สำเร็จออกมาเป็นสินค้าและบริการไปสู่ผู้บริโภคได้อย่างถูกที่ถูกเวลา

การขนส่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือการขนส่งทางบก การขนส่งทางน้ำและการขนส่งทางอากาศ แต่หากแบ่งตามลักษณะของเส้นทางหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการขนส่งแล้วสามารถแบ่งออกเป็น 6 ลักษณะ คือ การขนส่งทางถนน การขนส่งทางอากาศ การขนส่งทางน้ำ การขนส่งทางรถไฟ การขนส่งทางท่อ และการขนส่งในลักษณะอื่นๆ

รูปแบบการขนส่งทางถนนเป็นรูปแบบการขนส่งที่นิยมมากที่สุดในประเทศ เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกที่สุดและมีความคล่องตัวสูง เนื่องจากสามารถส่งไปถึงจุดหมายปลายทางได้โดยไม่ต้องมีการเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะ (Door to door) มีความยืดหยุ่นทางด้านเวลาค่อนข้างสูง รวดเร็ว และควบคุมเวลาได้ดี สามารถขนส่งได้ตั้งแต่ปริมาณน้อยจนถึงปริมาณมาก สามารถกำหนดจำนวนเที่ยวของการขนส่งได้บ่อยครั้งตามต้องการ สามารถบริการได้ตลอดเวลาและทันเวลา คลอบคลุมพื้นที่การขนส่งได้ไกลกว่าโหมดอื่นๆ แต่มีข้อเสียคือ ในกรณีสินค้ามีปริมาณมากหรือมีระยะไกลต้นทุนและค่าใช้จ่ายจะสูงมากเมื่อเทียบกับรูปแบบการขนส่งอื่นๆ

ยานพาหนะที่ใช้เป็นอุปกรณ์ในการขนส่งทางถนนแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ รถยนต์โดยสารเพื่อใช้สำหรับงานขนส่งบุคคล และรถยนต์บรรทุกเพื่อใช้สำหรับงานขนส่งสินค้า นอกจากนี้เรายังสามารถแบ่งตามลักษณะการใช้งานได้เป็นรถยนต์สาธารณะ , รถยนต์บริการ และรถยนต์ส่วนบุคคล ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าทางถนนส่วนใหญ่นิยมใช้รถบรรทุกขนาดตั้งแต่ 6 ล้อ 10 ล้อ และมากกว่า 10 ล้อขึ้นไป เนื่องจากสามารถบรรทุกสินค้าได้จำนวนมากพอที่จะ

ทำการรวบรวมและกระจายสินค้า ซึ่งประเภทของรถบรรทุกตามกฎกระทรวงฉบับที่ 4 ออกตามความในพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 มีสาระสำคัญดังแสดงในภาพที่ 2.1

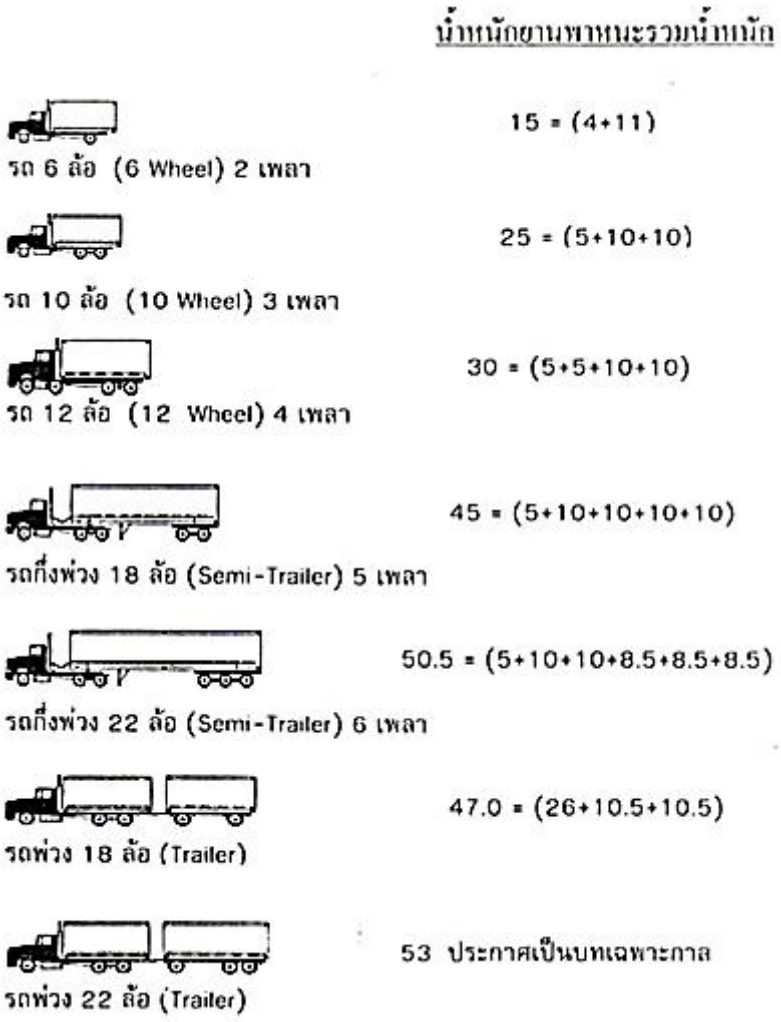


หมายเหตุ: * รถที่ใช้ในการขนส่งสัตว์หรือสิ่งของลักษณะ 5 ลักษณะ 6 ลักษณะ 7 และลักษณะ 8 ซึ่งเป็นรถบรรทุกเฉพาะกิจ จะมีความกว้าง ความสูง ความยาว ส่วนยื่นหน้าและส่วนยื่นท้ายเกินกว่าที่กำหนดไว้ก็ได้ หากมีความจำเป็นตามลักษณะของการใช้งานเฉพาะกิจ แต่ต้องได้รับความเห็นชอบจากกรมการขนส่งทางบก

ภาพที่ 2.1 ประเภทของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งสัตว์และสิ่งของ

(การขนส่งสินค้าทางถนน, 2554 : ออนไลน์)

ในเรื่องน้ำหนักบรรทุกอนุญาตได้มีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับวิวัฒนาการและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ ในอดีตกฎหมายกำหนดพิกัดน้ำหนักบรรทุกไว้ที่ 16 ตัน แล้วจึงเพิ่มเป็น 18 ตัน และในปี พ.ศ. 2518 เพิ่มเป็น 21 ตัน หลังจากนั้นรัฐบาลได้ออกบทเฉพาะกาลผ่อนผันให้รถบรรทุก 10 ล้อ สามารถบรรทุกสินค้าได้เพิ่มขึ้นเป็นน้ำหนักรวมรถ 26 ตัน จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2548 โดยล่าสุดเมื่อปี พ.ศ. 2549 ได้ประกาศน้ำหนักรถบรรทุกใหม่ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 น้ำหนักรถบรรทุกใหม่ พ.ศ. 2549

(การขนส่งสินค้าทางถนน, 2554 : ออนไลน์)

การพัฒนาการขนส่ง (Transportation development) มีจุดมุ่งหมายในการพัฒนาอยู่ 3 ประการใหญ่คือ

1) การพัฒนาเพื่อลดเวลาในการขนส่ง เป็นการขนส่งโดยใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด เพื่อที่จะให้สินค้าและบริการสามารถไปสู่ตลาดได้อย่างทันเวลา โดยที่ไม่เกิดการสูญเสียระหว่างการขนส่ง เช่นการใช้เครื่องบินในการขนส่งแทนการเดินทางด้วยเรือ
2) การพัฒนาเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เป็นการพัฒนาเพื่อลดต้นทุนในการขนส่งให้น้อยลง
3) การพัฒนาเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการขนส่ง เป็นการขนส่งโดยมุ่งให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ใช้บริการ และเพื่อลดความเสียหายจากการขนส่ง โดยมุ่งที่จะพัฒนาให้การขนส่งมีมาตรฐานและมีประสิทธิภาพควบคู่กับความรวดเร็ว

ซึ่งประสิทธิภาพในการขนส่งจะประกอบด้วย

1) ความรวดเร็ว (speed)
2) ประหยัด (economy)
3) ปลอดภัย (safety)
4) ความสะดวกสบาย (convenient)
5) แน่นอน ตรงต่อเวลา เชื่อถือได้ (certainty and punctually)

ปัจจัยที่สำคัญสำหรับการขนส่ง มีองค์ประกอบที่สำคัญดังนี้

1) เส้นทางในการขนส่ง (ways or routes) เส้นทางในการขนส่งเป็นเส้นทางที่ใช้เดินทาง ซึ่งอาจจะเป็นเส้นทางบนถนน แม่น้ำ ทะเล เป็นต้น เส้นทางเหล่านี้อาจเป็นเส้นทางประจำ หรือเป็นเส้นทางที่ถูกกำหนดขึ้นตามความต้องการก็ได้
2) อุปกรณ์ (vehicle or equipment) ได้แก่ รถยนต์ รถบรรทุก รถไฟ และอื่นๆรวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆสำหรับอำนวยความสะดวกในการขนส่ง เช่น รถฟอร์คลิฟต์ เครนยก ตู้คอนเทนเนอร์ เป็นต้น
3) สถานี (terminal) เป็นสถานที่ที่ใช้ในการขนส่งสินค้าและบริการ อาจเป็นสถานีต้นทาง หรือระหว่างเส้นทางก็ได้

ซึ่งปัจจัยทั้งสามอย่างเป็นปัจจัยที่สำคัญและมีความจำเป็นต้องมีโดยจะขาดสิ่งใดสิ่งหนึ่งไม่ได้ เพื่อให้สามารถดำเนินการขนส่งได้ตามวัตถุประสงค์ นอกจากปัจจัยทั้งสามอย่างนี้แล้วยังมีองค์ประกอบอื่นๆที่ต้องพิจารณา ได้แก่ ผู้ประกอบการขนส่ง กฎระเบียบข้อบังคับต่างๆ เป็นต้น

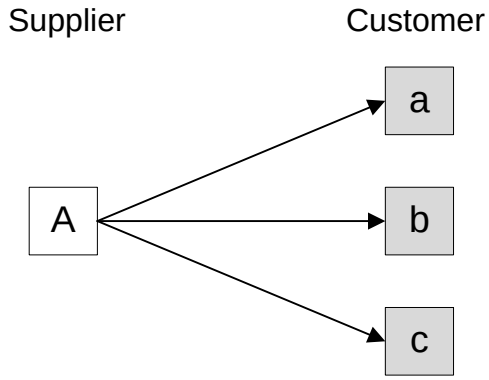
จะเห็นว่าได้ว่าในการบริหารงานขนส่ง มีสิ่งหนึ่งที่ควรพิจารณาคือการกำหนดเส้นทางที่จะใช้ในการขนส่ง (Routing) เพราะจะทำให้การขนส่งมีประสิทธิภาพและประสบความสำเร็จ

2.1.2 ทางเลือกการออกแบบการขนส่ง (Design option for transportation)

หน้าที่สำคัญของฝ่ายโลจิสติกส์คือการจัดการการขนส่งให้มีต้นทุนต่ำและมีคุณภาพ การจัดการการขนส่งมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าในด้านเวลาและต้นทุน ทางเลือกการออกแบบการขนส่งมีได้หลายทางเลือก ดังนี้

2.1.2.1 การขนส่งทางตรง (Direct shipment)

การขนส่งทางตรง เป็นการขนส่งจากผู้ผลิตเต็มคันรถ (Full truck load: FTL) ตรงไปยังลูกค้าแต่ละราย โดยสินค้าจะไม่มีคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าและไม่มีการเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะระหว่างทาง ข้อดีคือ ไม่เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเนื่องจากการใช้คลังสินค้า รวดเร็ว และระยะทางขนส่งสั้น แต่การขนส่งแบบนี้จะมีต้นทุนต่ำถ้ามีการขนส่งสินค้าเต็มคันรถ ถ้าไม่เต็มคันรถจะทำให้ต้นทุนการขนส่งสูง การออกแบบการขนส่งทางตรงจะต้องพิจารณาถึงปริมาณของสินค้า และความถี่ในการส่งมอบด้วย อย่างไรก็ตามการขนส่งวิธีนี้มีข้อเสียคือถ้าขนส่งเป็นปริมาณมาก ก็จะทำให้เกิดสินค้าคงคลังจำนวนมาก ทำให้ต้นทุนสินค้าคงคลังสูงในกรณีลูกค้ามีขนาดเล็ก จากภาพที่ 2.3 ถ้าหากต้นทางเป็นผู้ผลิตวัตถุดิบ ปลายทางหรือลูกค้าก็จะเป็นโรงงาน



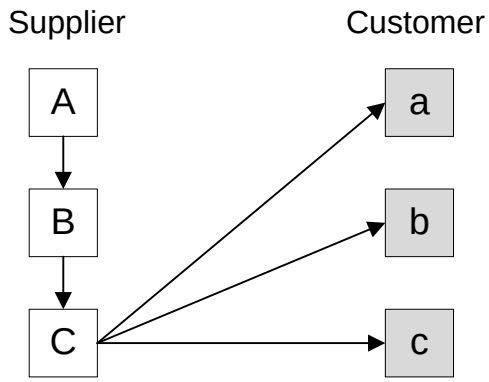
ภาพที่ 2.3 การขนส่งทางตรง

2.1.2.2 การขนส่งตรงแบบ Milk runs (Direct shipment with milk runs)

การขนส่งตรงแบบนี้เป็นวิธีการขนส่งเพื่อใช้ยานพาหนะให้เกิดประโยชน์สูงสุดหรือเต็มคันรถ ซึ่งประยุกต์มาจากการวิ่งส่งนมหรือการส่งหนังสือพิมพ์ในอดีต คือมีการรวมสินค้าเข้าด้วยกันแล้วทยอยส่งตามเส้นทางที่กำหนด โดยมีหลายรูปแบบ เช่น

1) การขนส่งตรงแบบ milk runs จากผู้ผลิตหลายราย

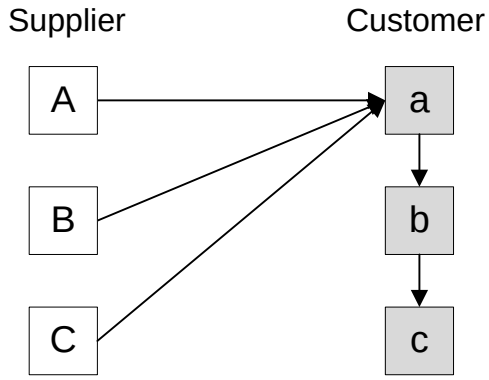
จากภาพที่ 2.4 ผู้ผลิตแต่ละรายมีปริมาณสินค้าที่จะส่งลูกค้าไม่มากพอเต็มคันรถ วิธีการขนส่งที่ประหยัดคือให้ยานพาหนะแต่ละคันแวะรวบรวมจากผู้ผลิต A, B และ C เต็มคันรถแล้วส่งให้ลูกค้าแต่ละราย วิธีการขนส่งนี้สามารถพบได้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ที่มีการผลิตแบบ lean วิธีนี้ไม่เหมาะสมในกรณีที่ซัพพลายเออร์แต่ละรายอยู่ห่างไกลกัน



ภาพที่ 2.4 การขนส่งตรงแบบ milk runs จากผู้ผลิตหลายราย

2) การขนส่งตรงแบบ milk runs ไปให้ลูกค้าหลายราย

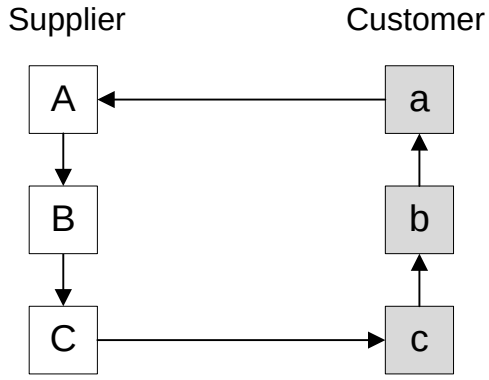
วิธีเหมาะกับกรณีที่ลูกค้ามีปริมาณการสั่งซื้อไม่มาก ดังนั้นแต่ละซัพพลายเออร์จะขนส่งสินค้าเต็มคันรถไปส่งให้ลูกค้าหลายๆที่ ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การขนส่งตรงแบบ milk runs ไปให้ลูกค้าหลายราย

3) การขนส่งตรงแบบ milk runs จากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้าหลายราย

เป็นการรวบรวมสินค้าจากซัพพลายเออร์หลายรายให้เต็มคันรถแล้วไปส่งให้ลูกค้าหลายราย ดังภาพที่ 2.6

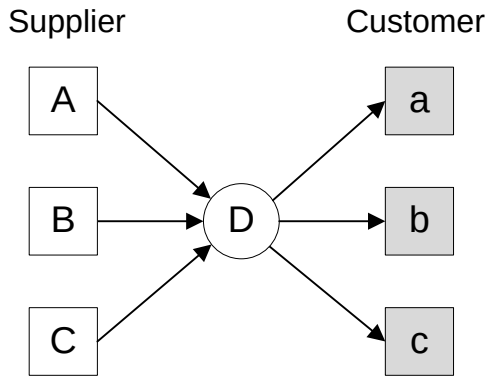


ภาพที่ 2.6 การขนส่งตรงแบบ milk runs จากผู้ผลิตหลายรายไปให้ลูกค้าหลายราย

2.1.2.3 การขนส่งแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้ากลาง (All shipment via central distribution)

เป็นการขนส่งจากผู้ผลิตแบบเต็มคันรถมาผ่านศูนย์กระจายสินค้า โดยสินค้าจะถูกถ่ายออกจากยานพาหนะแล้วเก็บเข้าศูนย์กระจายสินค้า หรือเพื่อเปลี่ยนถ่ายยานพาหนะ ดั งภาพที่ 2.7 ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

1) การขนส่งแบบผลิตภัณฑ์พักชั่วคราวที่ศูนย์กระจายสินค้า (Shipment with products temporary store at DC) ผลิตภัณฑ์จากผู้ผลิตหลายรายจะถูกขนส่งแล้วมาเก็บไว้ที่คลังสินค้าเพื่อรอการรวบรวมและการคัดแยกส่งให้กับลูกค้าปลายทาง การขนส่งแบบนี้จะพบได้กรณีบริษัทมีหลายโรงงาน มีการผลิตสินค้าหลายชนิด ซึ่งจะใช้ศูนย์กระจายสินค้ารวบรวมวัสดุขาเข้าเต็มคันรถ จากนั้นจะทำการคัดแยกและรวบรวมวัสดุให้เต็มคันรถแล้วส่งตรงไปที่แต่ละโรงงาน
2) การขนส่งแบบใช้ศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดผ่าน (Transportation with cross-docking) เป็นรูปแบบการขนส่งโดยที่สินค้านั้นจะถูกคัดแยกและรวบรวมไปให้ลูกค้า โดยที่ไม่มีการเก็บสินค้าที่ DC ซึ่งสินค้าดังกล่าวจะถูกพักไว้ที่ DC ได้ไม่เกิน 24 ชั่วโมง รูปแบบการขนส่งนี้มีประโยชน์คือช่วยลดสินค้าคงคลัง ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาสินค้า ลดค่าใช้จ่ายในการยกขนสินค้า และทำให้สินค้าเคลื่อนไปถึงลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 2.7 การขนส่งแบบผ่านศูนย์กระจายสินค้ากลาง

2.1.2.4 การขนส่งไปและจากศูนย์กระจายสินค้าแบบ Milk runs (shipment to and from DC with milk runs)

ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้รูปแบบการขนส่งดังที่ได้กล่าวมาร่วมกัน

2.1.2.5 การออกแบบการขนส่งตามขนาดลูกค้า (Transportation design by size of customer)

การออกแบบโครงสร้างการขนส่งแบบนี้ต้องคำนึงถึงขนาดของลูกค้าและที่ตั้ง ถ้าเป็นลูกค้ารายใหญ่จะใช้วิธีการขนส่งแบบเต็มคันรถ แต่ถ้าเป็นลูกค้าขนาดเล็กควรใช้การขนส่งแบบ Milk runs ค่าใช้จ่ายในการขนส่งประกอบด้วย

1) ค่าระวางสินค้า ขึ้นกับระยะทาง ถ้าระยะทางไกลค่าขนส่งต่อหน่วยจะสูงขึ้น
2) ค่าส่งมอบสินค้า ขึ้นกับจำนวนหรือปริมาณสินค้าที่ส่งมอบ การส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้ารายเดียวในปริมาณมาก ก็จะช่วยให้ค่าส่งมอบสินค้าต่ำ

2.1.3 ระดับการวางแผนการขนส่ง

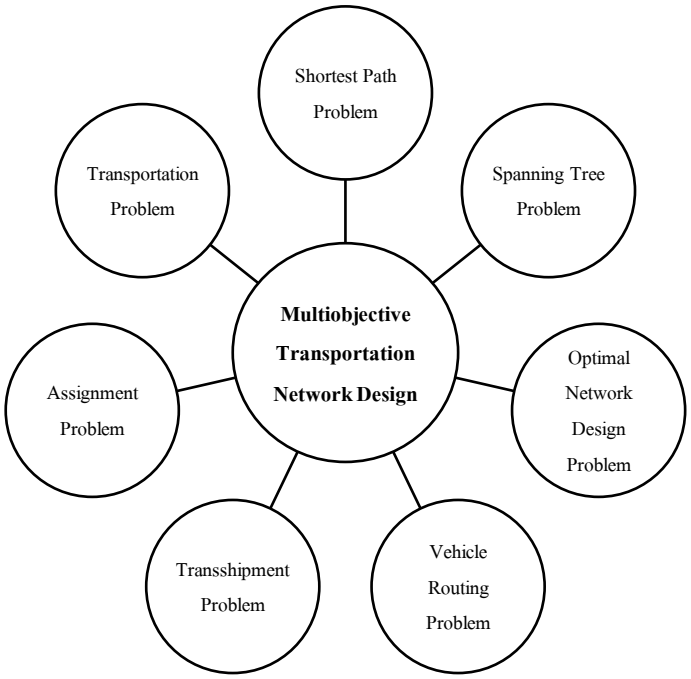
โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งระดับการวางแผนการจัดการการขนส่งสินค้าได้เป็น 3 ระดับ คือ

1) การวางแผนเชิงกลยุทธ์ (Strategic planning) เป็นการวางแผนในระยะยาวซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนที่เกี่ยวนโยบายหรือทิศทางในการบริหารและดำเนินการของบริษัท เช่น การออกแบบและกำหนดที่ตั้งของโรงจอดยานพาหนะ (depot) คลังสินค้า (warehouse) ขอบเขตพื้นที่การให้บริการ เป็นต้น
2) การวางแผนเชิงควบคุม (Tactical planning) เป็นการวางแผนระยะกลาง การตัดสินใจในระดับนี้จะเกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่วางไว้และเกิดประสิทธิภาพ ได้แก่การตัดสินใจของบริษัทที่เกี่ยวข้องกับการซื้อรถบรรทุกหรือยานพาหนะจำนวนกี่คัน เป็นรถประเภทไหน ขนาดเท่าไหร่ การคัดเลือกจัดจ้างจัดหา outsource เป็นต้น
3) การวางแผนเชิงปฏิบัติการ (Operation planning) เป็นการวางแผนระยะสั้น มีการวางแผนเป็นประจำซึ่งก็คือปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั่นเอง คือจะต้องมีการจัดการขนส่งสินค้าหรือกระจายสินค้าอย่างไร และจะกำหนดเส้นทางของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งอย่างไรเพื่อให้เกิดต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด

2.1.4 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle routing problem, VRP)

ปัญหาการขนส่ง (Transportation Problem) เป็นปัญหาในการจัดการขนส่งหรือกระจายสินค้าและวัตถุดิบจากแหล่งต้นทาง (Source) ไปยังแหล่งปลายทาง (Destination) โดยต้องการให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งมีค่าต่ำสุด

Current และ Marsh (1993) นั้นได้สรุปกรอบการทำงานกว้างๆของปัญหาระบบการขนส่งโดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ (Eksioglu และคณะ, 2009) ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 กรอบการทำงานของปัญหาระบบการขนส่งโดยแบ่งตามวัตถุประสงค์ (Eksioglu และคณะ, 2009)

ซึ่งจะเห็นได้ว่าปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถนั้นเป็นปัญหาหนึ่งในปัญหาการขนส่ง นอกจากนี้ Eksioglu และคณะ (2009) ได้รวบรวมและค้นคว้างานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางแล้วทำการแบ่งประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางทั่วไป (Generalized routing problem) โดยคร่าวๆดังตัวอย่างต่อไปนี้

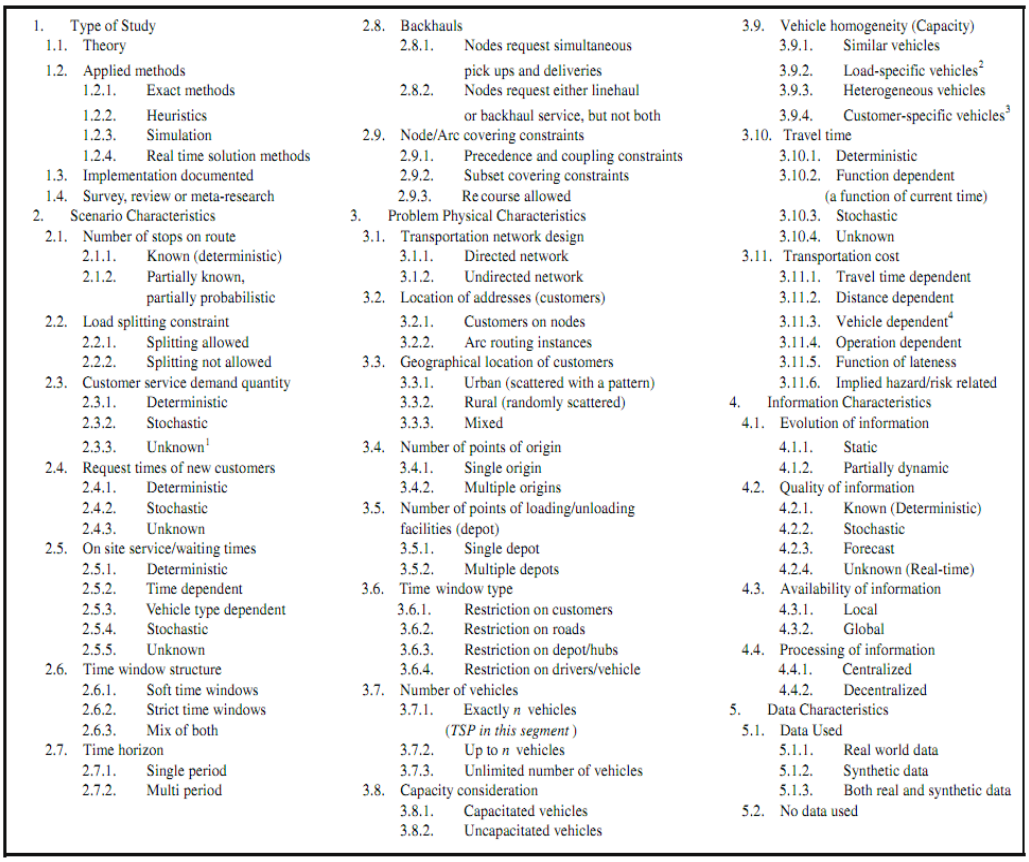
1) Shortest Path Problem เป็นปัญหาการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากต้นทาง (Source) ไปยังปลายทาง (Terminal หรือ Sink) โดยพิจารณาจากเส้นเชื่อมระหว่างจุดโหนด (Node) ว่าเส้นไหนที่มีระยะทางสั้นสุดจะไปทางนั้น

2) Chinese Postman Problem (CCP) เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางสำหรับบุรุษไปรษณีย์ในการจัดส่งจดหมายภายในอาณาเขตที่กำหนด โดยที่จะต้องเดินทางไปส่งจดหมายโดยผ่านทุกๆถนนในอาณาเขตที่กำหนดให้แล้วเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นตามถนนที่มีอยู่ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้ระยะทางในการเดินทางน้อยที่สุด โดยปัญหานี้เป็นหนึ่งในปัญหาการจัดเส้นทางแบบ edge-covering คือจะต้องเดินทางผ่านครบทุก edge ที่มีอยู่แล้วกลับมายังจุดเริ่มต้น (กฤษณภัทร, 2549)
3) Dial-a-ride Service Route Problem เป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการรับส่งผู้โดยสาร โดยที่ผู้โดยสารจะกำหนดสถานที่และเวลาที่ให้ไปรับและส่งตามความต้องการ ซึ่งเป็นปัญหาแบบหนึ่งของปัญหาการรับและส่งสินค้า (Pickup and Delivery Problem) (Savelsbergh และคณะ, 1995)
4) Traveling Salesman Problem เป็นปัญหาที่พนักงานขาย 1 คนจะต้องเดินทางจากเมืองเริ่มต้นไปยังเมืองทุกเมืองต่อเนื่องกันจนครบที่กำหนด ซึ่งมีลักษณะที่สำคัญคือแต่ละเมืองจะผ่านเข้า-ออกได้เพียงครั้งเดียว และเส้นทางมีลักษณะเป็นเส้นทางปิด (Closed Path) คือจะต้องกลับมายังเมืองเริ่มต้น โดยมีจุดประสงค์คือให้ระยะทางรวมในการเดินทางสั้นที่สุด ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหาการจัดเส้นทางแบบ node-covering ที่เป็นที่รู้จักและมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางที่สุด (กฤษณภัทร , 2549)
5) Vehicle Routing Problem (VRP) เป็นปัญหาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาด้านการขนส่งและโลจิสติกต์ ปัญหานี้ได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัยกันอย่างกว้างขวางทั้งในเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์ ซึ่งมีวิวัฒนาการทั้งในส่วนของรูปแบบปัญหาและวิธีในการหาคำตอบ (Eksioglu และคณะ , 2009) งานวิจัยของปัญหา VRP เริ่มในปี 1954 โดย Dantzig, Fulkerson และ Johnson ได้ทำการศึกษาปัญหา TSP ขนาดใหญ่ และได้นำเสนออัลกอลิทึมในการแก้ปัญหาซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของงานวิจัยต่างๆ โดย TSP เป็นปัญหาเฉพาะของปัญหา VRP ในปี 1964 Clarke และ Wright ได้ร่วมมือกันวิจัยและกำหนดปัญหาที่เกี่ยวของกับ VRP โดยใช้รถขนส่งมากกว่าหนึ่งคัน หลังจากนั้นก็ได้เริ่มมีงานวิจัยที่เกี่ยวของกับ VRP ในรูปแบบต่างๆเช่น Distribution Management, Solid Waste Collection เป็นต้น ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งเกี่ยวข้องกับการเลือกเส้นทาง (Route) ที่เหมาะสมจากข่ายงาน (Network) ซึ่งสามารถสร้างตัวแบบที่เป็นโปรแกรมเชิงเส้นได้ โดยทั่วไปปัญหาจะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางโดยรวมหรือต้นทุนการขนส่ง

โดยรวมต่ำ ซึ่งผลเฉลยที่ได้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ (Objective) และข้อจำกัดในการแก้ปัญหา (Constraint)

2.1.4.1 รูปแบบและพัฒนาการปัญหาการจัดเส้นทาง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถสามารถจำแนกหรือแบ่งกลุ่มความแตกต่างของปัญหาได้หลากหลายขึ้นอยู่กับการให้คำจำกัดความ เช่น การแบ่งกลุ่มด้วยความแน่นอนข้อมูล การแบ่งกลุ่มด้วยวิธีการหาคำตอบ เป็นต้น ดังจะเห็นได้ในบทความวิจัยของ Eksioglu และคณะ (2009) ได้มีการจัดหมวดหมู่ของงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวของกับ VRP ออกเป็น 5 หมวด คือ ประเภทงานวิจัย (Type of Study) ลักษณะทางสภาวะแวดล้อมของปัญหา (Scenario Characteristics) ลักษณะทางกายภาพของปัญหา (Problem Physical Characteristics) ลักษณะของสารสนเทศ (Information Characteristics) และลักษณะของข้อมูล (Data Characteristics) ได้ดังภาพที่ 2.9



1. Type of Study
   - 1.1. Theory
   - 1.2. Applied methods
     - 1.2.1. Exact methods
     - 1.2.2. Heuristics
     - 1.2.3. Simulation
     - 1.2.4. Real time solution methods
   - 1.3. Implementation documented
   - 1.4. Survey, review or meta-research
2. Scenario Characteristics
   - 2.1. Number of stops on route
     - 2.1.1. Known (deterministic)
     - 2.1.2. Partially known, partially probabilistic
   - 2.2. Load splitting constraint
     - 2.2.1. Splitting allowed
     - 2.2.2. Splitting not allowed
   - 2.3. Customer service demand quantity
     - 2.3.1. Deterministic
     - 2.3.2. Stochastic
     - 2.3.3. Unknown[1]
   - 2.4. Request times of new customers
     - 2.4.1. Deterministic
     - 2.4.2. Stochastic
     - 2.4.3. Unknown
   - 2.5. On site service/waiting times
     - 2.5.1. Deterministic
     - 2.5.2. Time dependent
     - 2.5.3. Vehicle type dependent
     - 2.5.4. Stochastic
     - 2.5.5. Unknown
   - 2.6. Time window structure
     - 2.6.1. Soft time windows
     - 2.6.2. Strict time windows
     - 2.6.3. Mix of both
   - 2.7. Time horizon
     - 2.7.1. Single period
     - 2.7.2. Multi period
   - 2.8. Backhauls
     - 2.8.1. Nodes request simultaneous pick ups and deliveries
     - 2.8.2. Nodes request either linehaul or backhaul service, but not both
   - 2.9. Node/Arc covering constraints
     - 2.9.1. Precedence and coupling constraints
     - 2.9.2. Subset covering constraints
     - 2.9.3. Re course allowed
3. Problem Physical Characteristics
   - 3.1. Transportation network design
     - 3.1.1. Directed network
     - 3.1.2. Undirected network
   - 3.2. Location of addresses (customers)
     - 3.2.1. Customers on nodes
     - 3.2.2. Arc routing instances
   - 3.3. Geographical location of customers
     - 3.3.1. Urban (scattered with a pattern)
     - 3.3.2. Rural (randomly scattered)
     - 3.3.3. Mixed
   - 3.4. Number of points of origin
     - 3.4.1. Single origin
     - 3.4.2. Multiple origins
   - 3.5. Number of points of loading/unloading facilities (depot)
     - 3.5.1. Single depot
     - 3.5.2. Multiple depots
   - 3.6. Time window type
     - 3.6.1. Restriction on customers
     - 3.6.2. Restriction on roads
     - 3.6.3. Restriction on depot/hubs
     - 3.6.4. Restriction on drivers/vehicle
   - 3.7. Number of vehicles
     - 3.7.1. Exactly *n* vehicles (*TSP in this segment*)
     - 3.7.2. Up to *n* vehicles
     - 3.7.3. Unlimited number of vehicles
   - 3.8. Capacity consideration
     - 3.8.1. Capacitated vehicles
     - 3.8.2. Uncapacitated vehicles
   - 3.9. Vehicle homogeneity (Capacity)
     - 3.9.1. Similar vehicles
     - 3.9.2. Load-specific vehicles[2]
     - 3.9.3. Heterogeneous vehicles
     - 3.9.4. Customer-specific vehicles[3]
   - 3.10. Travel time
     - 3.10.1. Deterministic
     - 3.10.2. Function dependent (a function of current time)
     - 3.10.3. Stochastic
     - 3.10.4. Unknown
   - 3.11. Transportation cost
     - 3.11.1. Travel time dependent
     - 3.11.2. Distance dependent
     - 3.11.3. Vehicle dependent[4]
     - 3.11.4. Operation dependent
     - 3.11.5. Function of lateness
     - 3.11.6. Implied hazard/risk related
4. Information Characteristics
   - 4.1. Evolution of information
     - 4.1.1. Static
     - 4.1.2. Partially dynamic
   - 4.2. Quality of information
     - 4.2.1. Known (Deterministic)
     - 4.2.2. Stochastic
     - 4.2.3. Forecast
     - 4.2.4. Unknown (Real-time)
   - 4.3. Availability of information
     - 4.3.1. Local
     - 4.3.2. Global
   - 4.4. Processing of information
     - 4.4.1. Centralized
     - 4.4.2. Decentralized
5. Data Characteristics
   - 5.1. Data Used
     - 5.1.1. Real world data
     - 5.1.2. Synthetic data
     - 5.1.3. Both real and synthetic data
   - 5.2. No data used

[1] Unknown refers to the case in which information is revealed in real-time (i.e., dynamic and fuzzy studies fall under this category)

[2] Each vehicle can be used to handle specific types of loads

[3] A customer must be visited by a specific type of vehicle

[4] Cost of operating a vehicle is not negligible

ภาพที่ 2.9 อนุกรมวิธานของปัญหา VRP (Eksioglu และคณะ, 2009)

ในอดีตที่ผ่านมาการศึกษาปัญหาเหล่านี้จะให้ความสำคัญกับปัญหาแบบคงที่ (Static) ซึ่งจำเป็นต้องรู้ข้อมูลทั้งหมดล่วงหน้าก่อนที่จะมีการวางแผนจัดเส้นทาง แต่ในทางปฏิบัตินั้นปัญหามักจะเป็นปัญหาแบบพลวัต (Dynamic) คือไม่รู้ข้อมูลทั้งหมดล่วงหน้าก่อนการวางแผนจัดเส้นทาง หรือมีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลนำเข้า (Eksioglu และคณะ, 2009) เนื่องจากในสมัยก่อนนั้นระบบประมวลผลของคอมพิวเตอร์ยังไม่สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้มาก ในปี 1990 ระบบคอมพิวเตอร์ถูกพัฒนาให้มีความสามารถมากขึ้น ปัญหา VRP จึงได้เริ่มมีการศึกษามาขึ้นทั้งในปัญหาการวางแผนจัดเส้นทางแบบพลวัต (Dynamic) แบบมีความไม่แน่นอน (Stochastic) และแบบคลุมเครือ (Fuzzy) ซึ่งการศึกษาวิจัยโดยส่วนใหญ่แล้วจะกำหนดให้รถขนส่งมีรอบการทำงานที่คงที่และเมื่อหมดรอบการทำงานแล้ว รถขนส่งจะต้องกลับมายังจุดเริ่มต้น (origin depot)

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของรูปแบบงานวิจัยของปัญหา VRP

รูปแบบปัญหา	ชื่อย่อ	ความหมาย
VRP with Capacity Restriction	CVRP	VRP แบบมีข้อจำกัดด้านความจุของรถขนส่ง
VRP with Time Window	VRPTW	VRP แบบมีกรอบเวลาขนส่ง
VRP with Backhaul	VRPB	VRP แบบมีการขนส่งกลับมายังคลังเดิม
Pickup and Delivery	PDP	VRP แบบมีทั้งการรับและส่งสินค้า
VRPPD with Time Window	PDPTW	PDP แบบมีกรอบเวลา
VRP with Multiple Depots	MDVRP	VRP แบบมีหลายคลังสินค้า
Periodic VRP	PVRP	VRP แบบมีช่วงเวลา
Periodic VRPTW	PVRPTW	VRP แบบมีช่วงเวลาและกรอบเวลา
Split Delivery VRP	SDVRP	VRP แบบมีการขนส่งที่ปลายทางมากกว่า 1 ครั้ง
Open VRP	OVRP	VRP แบบรถขนส่งไม่ต้องกลับมาที่เดิมเมื่อสิ้นสุดการทำงาน
PDP with Transfer	PDPT	PDP แบบมีการขนส่งที่ปลายทางด้วยรถขนส่งคันอื่น
PDPTW with Transshipment	PDPTTW	PDPT แบบมีกรอบเวลา

1) CVRP เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่เพิ่มข้อจำกัดเรื่องความจุของรถหรือยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง โดยที่คำนึงถึงปริมาณสินค้าที่รถสามารถบรรทุกได้ โดยมีเงื่อนไขในการแก้ปัญหาคือ ปริมาณบรรทุกรวมในเส้นทางการขนส่งจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสูงสุดที่รถสามารถบรรทุกได้ (ยศศิริ, 2549)
2) VRPTW เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่คำนึงถึงช่วงเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ โดยเวลารับสินค้าจะกำหนดเป็นลักษณะช่วงเวลา (Time Windows) การขนส่งสินค้าจะต้องให้บริการภายในเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ (ยศศิริ, 2549)

3) VRPB เป็นรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ลูกค้าบางรายสามารถส่งสินค้าบางอย่างกลับสู่จุดกระจายสินค้าได้ โดยมีลักษณะที่สำคัญ คือ จะต้องทำการส่งสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ ในเส้นทางการขนส่งให้หมดก่อนที่จะรับสินค้าที่จะบรรทุกกลับมายังจุดเริ่มต้น (ยศศิริ, 2549)
4) PDP เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่รถบรรทุกสามารถรับและส่งสินค้าได้ตลอดเส้นทางโดยที่ปริมาณบรรทุกไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถ ลักษณะของ PDP แตกต่างจาก VRPB เนื่องจาก VRPB จะบรรทุกสินค้าจากลูกค้ากลับมายังจุดกระจายสินค้าได้นั้นจะต้องส่งสินค้าให้เรียบร้อยก่อนจึงบรรทุกสินค้ากลับ ส่วน PDP จะมีการรับ-ส่งสินค้าตลอดเส้นทาง แต่ต้องไม่มีการขนส่งสินค้าในระหว่างลูกค้าด้วยกันเอง (ยศศิริ, 2549)
5) PDPTW เป็นปัญหาแบบ PDP ที่เพิ่มข้อจำกัดเรื่องกรอบเวลาเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดระยะเวลาในการให้บริการ
6) MDVRP เป็นปัญหาการจัดเส้นทางที่มีท่ารถอยู่มากกว่า 1 แห่งโดยจะต้องมีการจัดสรรว่าลูกค้ารายใดจะรับสินค้าที่มาจากท่ารถแห่งไหน แล้วจัดเส้นทางให้ได้ระยะทางในการเดินทางต่ำที่สุดและใช้จำนวนยานพาหนะในการจัดส่งน้อยที่สุด (กฤษณภัทร, 2549)
7) PVRP เป็นปัญหาที่ผสมผสานกันระหว่างปัญหา VRP กับ Assignment Problem โดยเป็นการพิจารณาเส้นทางสำหรับช่วงเวลาใดๆสำหรับความต้องการของลูกค้าที่มีลักษณะเป็นคาบในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา (กฤษณภัทร, 2549)
8) PVRPTW เป็นปัญหาแบบ PVRP ที่เพิ่มข้อจำกัดเรื่องกรอบเวลาคือเวลาเริ่มต้นและเวลาสิ้นสุดระยะเวลาในการให้บริการ
9) SDVRP เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ลูกค้าแต่ละรายสามารถไปพบได้มากกว่า 1 ครั้ง (กฤษณภัทร, 2549) เนื่องจากสินค้าที่ทำการขนส่งมีขนาดเกินกว่าความจุของรถขนส่ง จึงจำเป็นต้องมีการแบ่งสินค้าให้กับรถมากกว่าหนึ่งคัน
10) OVRP เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่รถขนส่งที่รถขนส่งเริ่มต้นที่คลังสินค้าแล้วทำการขนส่งไปยังยังจุดต่างๆ เมื่อสิ้นสุดการทำงานแล้วไม่จำเป็นต้องกลับมายังคลังสินค้าเมื่อเสร็จสิ้น (Feiyue และคณะ, 2007)
11) PDPT เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่รถบรรทุกสามารถรับและส่งสินค้าได้ซึ่งแตกต่างจากปัญหา PDP ตรงที่ปัญหา PDP จะเป็นการขนส่งแบบทางตรงคือสินค้าที่ทำการขนส่งนั้นจะอยู่บนรถขนส่งสินค้าคันเดียวกันตั้งแต่จุดเริ่มรับสินค้า

(Source) ไปจนถึงจุดหมายปลายทาง (Destination) แต่ PDPT นั้นสามารถใช้รถขนส่งคันอื่นไปส่งสินค้าแทนได้ ปัญหาแบบนี้จะมีจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้า (Transshipment Point) เพื่อให้รถขนส่งถ่ายคันหนึ่งไปรับสินค้าแล้วมาถ่ายของให้กับรถอีกคันหนึ่งเพื่อให้ไปส่งสินค้าที่จุดหมายปลายทาง ปัญหา PDP โดยปกติแล้วจะมีข้อจำกัดเรื่องคู่ของการขนส่ง (Couple Constraint) คือ การรับและการขนส่งสินค้าจะถูกดำเนินการด้วยรถขนส่งคันเดียวกัน แต่ในปัญหา PDPT จะมีการละเลยข้อจำกัดเรื่องคู่ของการขนส่งออกไป การขนส่งแบบนี้มีข้อดีคือสามารถลดระยะทางโดยรวมของการขนส่งและลดปริมาณรถขนส่งที่ใช้ลงได้ (Mitrovic และคณะ, 2006)

12) PDPTTW เป็นปัญหา PDPT ที่เพิ่มข้อจำกัดเรื่องกรอบเวลาเวลาเริ่มต้น เวลาสิ้นสุดระยะเวลาในการให้บริการ

ระบบที่กล่าวมาข้างต้น ถ้าอยู่ในระบบที่มีสภาวะที่แน่นอน เราจะเรียกว่าเป็นปัญหา VRP แบบแน่นอน (Deterministic VRP หรือ Static VRP) แต่เมื่อระบบมีองค์ประกอบตั้งแต่ 1 อย่างขึ้นไปที่มีความไม่แน่นอน ปัญหาจะถูกจัดเป็น Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP) เนื่องจากในความเป็นจริงสิ่งต่างๆในระบบอาจเกิดความไม่แน่นอนได้ ซึ่งเราสามารถแบ่งตามองค์ประกอบที่มีความไม่แน่นอนได้ดังนี้ (กฤษณภัทร, 2549)

1) ความไม่แน่นอนของการเข้ามาใช้บริการของลูกค้า (VRP with Stochastic Customer, VRPSC) เมื่อลูกค้าแต่ละรายมีความน่าจะเป็นที่จะปรากฏออกมาอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 หรือเป็นตัวแปรสุ่ม
2) ความไม่แน่นอนของความต้องการ (VRP with Stochastic Demands, VRPSD) เมื่อปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายเป็นตัวแปรสุ่ม
3) ความไม่แน่นอนของเวลา (Stochastic Times) ได้แก่ ระยะเวลาในการให้บริการ (VRP with Stochastic Service Time, VRPSST) ระยะเวลาในการเดินทาง ,(VRP with Stochastic Travel Time, VRPSTT) เป็นต้น ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวเป็นตัวแปรสุ่ม ในกรณีนี้พบว่าเมื่อเทียบกับปัญหา VRPSC และ VRPSD แล้ว ค่อนข้างได้รับความสนใจน้อยกว่า อาจเป็นได้ว่าปัญหาดังกล่าวอธิบายเกี่ยวกับความไม่แน่นอนของสภาวะแวดล้อมของเส้นทางเดินรถ และสภาพจราจรในท้องถนน ซึ่งสำหรับประเทศไทยโดยเฉพาะในเขตกรุงเทพมหานคร หรือเมืองหลวงใหญ่ในประเทศอื่นๆ ที่มีการจราจรหนาแน่น ปัญหาลักษณะนี้มีโอกาสเกิดขึ้นได้อย่างแน่นอน (ธรินี, 2552)

ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ SVRP เริ่มต้นเมื่อปี 1978 โดย Cook และ Russell (Eksioglu และคณะ, 2009) สำหรับระบบที่ไม่คงที่และไม่ทราบข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดก่อนเริ่มการจัดเส้นทางการขนส่ง แต่ข้อมูลดังกล่าวจะทยอยออกมาในระหว่างที่รถได้ออกขนส่งไปแล้ว แล้วจึงค่อยทำการตัดสินใจจัดเส้นทางในระหว่างที่รถกำลังอยู่ในระหว่างการเดินทาง ซึ่งจะเป็นเป็นการแก้ปัญหาแบบทันเวลา (Real Time) (กฤษณภัทร, 2549) เราเรียกการจัดเส้นทางในระบบนี้ว่าการจัดเส้นทางแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problem , DVRP) ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ DVRP เริ่มต้นเมื่อปี 1986 โดย Powell (Eksioglu และคณะ, 2009)

2.1.4.2 ปัญหาการจัดเส้นทางแบบรับและส่งสินค้า (Pickup and delivery problem)

Savelsbergh และคณะ (1995) ได้กล่าวไว้ว่าปัญหา General Pickup and Delivery (GPDP) นั้นรถขนส่งจะทำการขนส่งจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดหมายปลายทางโดยไม่ผ่านการเปลี่ยนถ่ายสินค้า (Transshipment) ซึ่งเส้นทางนั้นจะถูกสร้างขึ้นตามความต้องการการขนส่ง รถขนส่งแต่ละคันจะถูกระบุความสามารถในการบรรทุก (Capacity), สถานที่เริ่มต้นของการขนส่ง (Start location) และสถานที่สุดท้ายของการขนส่ง (End location) ส่วนความต้องการการขนส่งจะต้องระบุปริมาณหรือขนาดของสินค้าที่ต้องทำการขนส่งและสถานที่ที่ต้องการให้ไปรับ (Pickup) และสถานที่ต้องการให้ไปส่ง (Delivery) ซึ่งในปัญหา PDP รถขนส่งทุกคันจะเริ่มต้นและสิ้นสุดการทำงานที่จุดจอดรถจุดเดียวกันซึ่งมีเพียงหนึ่งจุด ส่วนปัญหา Dial-a-Ride นั้นเป็นการขนส่งผู้โดยสาร ซึ่งเปรียบเสมือนว่าผู้โดยสารคือความต้องการการขนส่งและขนาดของการขนส่งนั้นมีค่าเป็นหนึ่ง โดยปัญหานั้นจะมีลักษณะเฉพาะแตกต่างกันประกอบไปด้วย

1) ความต้องการการขนส่ง (Transportation requests)

ความต้องการการขนส่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ ถ้าความต้องการการขนส่งนั้นรู้ล่วงหน้าทั้งหมดก่อนที่จะทำการจัดเส้นทาง เราจะเรียกปัญหานั้นว่าเป็นปัญหาแบบคงที่ (Static) แต่ถ้าความต้องการการขนส่งนั้นมีบางส่วนที่เราทราบเมื่อได้มีการจัดเส้นทางการขนส่งและมีการดำเนินการขนส่งไปบางส่วนแล้ว เราจะเรียกปัญหานี้ว่าเป็นปัญหาแบบพลวัต (Dynamic) ซึ่งปัญหานี้จะเป็นปัญหาแบบทันเวลา (Real time) ซึ่งในสถานการณ์แบบพลวัต เมื่อมีความต้องการการขนส่งใหม่เข้ามา จะมีเส้นทางอย่างน้อยหนึ่งเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อรองรับความต้องการการขนส่งดังกล่าว ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาแบบคงที่ อย่างไรก็ตามส่วนใหญ่แล้วปัญหาแบบ Pickup and

Delivery จะเป็นปัญหาแบบพลวัต ซึ่งในทางปฏิบัติปัญหาแบบพลวัตนั้นมักจะใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบคงที่ โดยเมื่อมีความต้องการการขนส่งใหม่เข้ามาจะมีการปรับปรุงเส้นทางใหม่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งเราจะใช้อัลกอลิทึมแบบออนไลน์ (on-line algorithm) เนื่องจากปัญหาส่วนเป็นปัญหาแบบพลวัต ในกรณีที่มีการวางแผนระยะยาว (long planning horizon) จะมีเปลี่ยนแนวความคิดที่เคยกำหนดไว้ว่าสถานที่เริ่มต้นกับสถานที่สุดท้ายของการทำงานจะต้องอยู่ที่เดียวกัน เปลี่ยนเป็นว่าให้คนขับรถหลับพักผ่อนที่สถานที่สุดท้ายของการทำงานหรือเป็นสถานที่แรกที่จะต้องขนส่ง ณ วันถัดไป แต่ถ้าหากเป็นการวางแผนระยะสั้น (short planning horizon) เช่น รอบหนึ่งวัน รถจะต้องเริ่มทำงานและกลับจุดเดิม แต่เมื่อมีความต้องการการขนส่งใหม่เข้ามา จะไม่มีการสนใจจุดๆนั้น แต่จะทำการเปลี่ยนแปลงแผนการขนส่งภายในรถขนส่งนั่นเอง

2) ข้อจำกัดเรื่องของเวลา (Time Constraint)

นอกเหนือจากข้อจำกัดเรื่องความจุของรถขนส่งและข้อจำกัดเรื่องลำดับการขนส่งของการรับและส่งของงานขนส่ง ข้อจำกัดอีกอันหนึ่งที่คือข้อจำกัดเกี่ยวข้องกับเวลาซึ่งมักจะปรากฏในเกือบทุกๆสถานการณ์การขนส่งแบบ Pickup and Delivery เนื่องจากว่างานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัญหา Pickup and Delivery นั้นจะศึกษาปัญหา Dial-a-ride ซึ่งผู้โดยสารมักจะกำหนดเวลาที่ให้ไปรับและส่ง ซึ่งการกำหนดข้อจำกัดเรื่องเวลาเป็นสิ่งที่ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนในการคิดหาคำตอบมากกว่าไม่กำหนด ทำให้ปัญหานี้เป็นปัญหา NP-hard การหาผลเฉลยที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดในกรณีที่มีข้อจำกัดเรื่องเวลาจึงอาจจะเหมาะสมกับปัญหาขนาดเล็ก มิติข้อจำกัดด้านเวลาจะเกี่ยวข้องกับสองอย่างด้วยกันคือเกี่ยวกับความต้องการการขนส่งดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้ยังเกี่ยวข้องกับรถขนส่งเนื่องจากรถขนส่งไม่สามารถวิ่งได้ตลอดเวลา เพราะคนขับรถจำเป็นทานอาหารและพักผ่อน ซึ่งรูปแบบนี้มักจะเป็นงานวิจัยประเภทหลายกรอบเวลา (Multiple time window) ซึ่งจะกำหนดเป็นช่วงเวลา (Period) ที่สามารถทำงานได้ เงื่อนไขด้านกรอบเวลาสามารถแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ

- เงื่อนไขด้านเวลาด้านเดียว (single-sided time window) การขนส่งแบบนี้ลูกค้าจะกำหนด Dead line time ให้ ซึ่งจะต้องไปขนส่งก่อนเวลาที่กำหนด
- เงื่อนไขด้านเวลาแบบสองด้าน (double-side time window) การขนส่งแบบนี้จะกำหนดช่วงเวลาสำหรับทำการขนส่ง

3) วัตถุประสงค์ (Objective function)

ในปัญหา Pickup and Delivery นั้น มีการใช้วัตถุประสงค์ที่หลากหลายมาก ซึ่งส่วนมากแล้วจะใช้วัตถุประสงค์ดังนี้

<u>วัตถุประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับรถขนส่งจำนวนหนึ่งคัน</u>

ก. ช่วงระยะเวลาน้อยที่สุด (Minimize duration) เป็นเวลาที่รถหนึ่งคันต้องใช้ในการดำเนินการทั้งหมดในเส้นทางขนส่ง ซึ่งประกอบด้วยเวลาที่ใช้ในการเดินทาง (Travel times) เวลารอคอย (Waiting times, เวลาที่ใช้ในลำเลียงสินค้าขึ้นและลงรถ (Loading-Unloading Time) และเวลาหยุดพัก (Break times)

ข. เวลาปิดงานน้อยที่สุด (Minimize completion time) เป็นเวลาที่งานสุดท้ายถูกดำเนินการเสร็จ ซึ่งในการกรณีที่เวลาเริ่มทำงานของรถขนส่งเป็นศูนย์จะมีเท่ากับช่วงระยะเวลาที่ใช้ไป (Route duration)

ค. เวลาในการเดินทางสั้นที่สุด (Minimize travel time) ซึ่งเวลาที่เดินทางนั้นจะเกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ไปจริงในการเดินทางระหว่างสถานที่ต่างๆ

ง. ความยาวของเส้นทางสั้นที่สุด (Minimize route length) ซึ่งความยาวของหนึ่งเส้นทางคือผลรวมของระยะทางที่ใช้เดินทางจริงระหว่างสถานที่ต่าง

จ. ความไม่สะดวกน้อยที่สุด (Minimize client inconvenience) ในระบบ Dial-a-ride นั้น ความไม่สะดวกในการเดินทางของลูกค้าวัดจากความคลาดเคลื่อนของเวลาที่ไปรับส่ง ซึ่งเป็นความแตกต่างระหว่างเวลาจริงกับเวลาที่วางแผนไว้ ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้เกินไป

<u>วัตถุประสงค์ที่เกี่ยวข้องกับปัญหารับและส่งสินค้าหลายคัน (Multiple vehicle pickup and delivery problem)</u>

ก. จำนวนรถขนส่งน้อยที่สุด (Minimize the number of vehicles) วัตถุประสงค์นี้มักจะใช้กับปัญหา Dial-a-ride เนื่องจากในปัญหานี้คนขับรถและรถขนส่งเป็นส่วนที่มีค่าใช้จ่ายสูงมาก

ข. กำไรมากที่สุด (Maximize profit) จะเกี่ยวข้องกับรายรับและต้นทุนของการขนส่ง โดยมักจะใช้ในกรณีที่มีการปฏิเสธความต้องการการขนส่งเนื่องข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการบรรทุก แต่ในกรณีปัญหา Dial-a-ride นั้นจะไม่อนุญาตให้มีการปฏิเสธ

ส่วนปัญหาแบบพลวัตนั้นจะมีการกำหนดหัวข้อของวัตถุประสงค์ไม่ชัดเจน ซึ่งมักจะให้ความสำคัญกับผลกระทบที่เกิดขึ้นในอนาคตมากกว่า อย่างไรก็ตามหากเราใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบคงที่มาใช้ในปัญหาแบบพลวัต คำตอบที่ได้ก็ไม่จำเป็นต้องเท่ากัน

2.1.4.3 เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถถือว่าปัญหาแบบเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-Hard) เนื่องจากเป็นปัญหาที่ซับซ้อนและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบนานเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบนั้นจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential) กับขนาดของปัญหาที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะปัญหาที่มีขนาดใหญ่มากขึ้น จะยิ่งแก้ปัญหาได้ยาก และใช้เวลาในการหาคำตอบนานมากขึ้นหลายเท่าตัว ซึ่งในปัจจุบันสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ปัญหาเริ่มมีความซับซ้อนมากขึ้น งานวิจัยต่างๆในอดีตจึงไม่สามารถใช้ได้จริงในทุกสถานการณ์ จึงทำให้เกิดงานวิจัยที่หลากหลายมากขึ้น อัลกอริทึมต่างๆ จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างมากมายสำหรับปัญหาการวางแผนการขนส่งภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกันออกไป

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถหรือวิธีการในการหาผลเฉลยโดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทาง ดังต่อไปนี้ (กิตติโชค, 2551)

1) แนวทางในการหาคำตอบหรือวิธีการหาผลเฉลยที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Exact or Optimization Method) เป็นแนวทาง เพื่อที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดของการตัดสินใจ (Optimal Solution) อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อจำกัดตรงที่อัลกอริทึมจะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเป็นเวลานานมาก เนื่องจากในความเป็นจริงปัญหามีขนาดใหญ่มีข้อจำกัดหรือปัจจัยหลายอย่าง ซึ่งมีความซับซ้อนมาก (NP-hard problem) จึงทำให้วิธีดังกล่าวไม่สามารถนำไปใช้ได้ดีในทางปฏิบัติ ซึ่งเทคนิคในการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้ได้แก่

   ก. Linear Programming (LP) เป็นเทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่มีลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องในลักษณะเชิงเส้นตรงทั้งหมด

   ข. Dynamic Programming (DP) เป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาที่สามารถจัดลำดับขั้นตอน (Stages) ซึ่งจะมีการตัดสินใจในแต่ละขั้นตอน โดยการตัดสินในขั้นตอนหนึ่งๆจะมีผลต่อสถานะของระบบสำหรับการตัดสินใจในขั้นตอนต่อไป (มานพ, 2552) ซึ่งวิธีนี้สามารถประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาขนาดไม่เกิน 13 เมืองได้เท่านั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านหน่วยความจำและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ (จิตตภู, 2548)

   ค. Branch and Bound เป็นวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้หลักการตัดทอนการแจงนับ ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนพื้นฐานดังนี้ (ปารเมศ, 2546)

i. การแตกกิ่ง (Branching) เป็นกระบวนการแบ่งส่วนของปัญหาที่มีขนาดใหญ่ให้เป็นปัญหาย่อย 2 ปัญหาขึ้นไป

ii. การจำกัดเขต (Bounding) เป็นกระบวนการคำนวณหาค่าขอบเขตล่าง (Lower Bound) ของคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาย่อยที่กำหนดให้

2) แนวทางในการหาคำตอบหรือวิธีการหาผลเฉลยที่ไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Heuristic Method) เป็นแนวทางในการหาคำตอบโดยลดความซับซ้อนของปัญหาด้วยหลักการคิดที่ยอมรับได้ ซึ่งวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์สามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพดีได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว หรือภายในระยะเวลาจำกัด (Good enough fast enough solution) โดยคำตอบที่ได้ก็ไม่ได้ถูกประกันว่าเป็นคำตอบของตัดสินใจที่ดีที่สุด วิธีฮิวริสติกถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาหนึ่งเท่านั้น จึงไม่สามารถนำไปหาคำตอบของอีกปัญหาหนึ่งได้ โดยในปี 1998 Gendreau และคณะได้รวบรวมเทคนิคในการแก้ปัญหา VRP โดยใช้ meta-heuristic (Eksioglu และคณะ, 2009) ได้แก่

ก. Simulation Annealing (SA) เป็นวิธีในการแก้ปัญหาโดยมีพื้นฐานแนวความคิดมาจากการอบเหนียว คือในการขั้นตอนของการอบโลหะนั้น เมื่อเราให้ความร้อนกับโลหะจนถึงจุดหลอมเหลว จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของโลหะจะค่อยๆ ลดลง แล้วทำให้โลหะแข็งขึ้น ซึ่งการที่เนื้อของโลหะจะแข็งแกร่งได้ขึ้นกับเวลาที่ใช้ในการเย็นตัว ยิ่งใช้เวลามากโลหะจะยิ่งเหนียว แข็งแกร่ง แต่ถ้าหากถูกทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วแล้วจะทำให้โลหะนั้นแข็งแต่เปราะบาง แตกง่าย จึงเปรียบเสมือนกับการหาคำตอบที่หาได้จากวิธีนี้นั้นจะค่อยๆลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดเหมือนในช่วงการเย็นตัวของโลหะ

ข. Tabu Serch เป็นวิธีการแก้ปัญหาโดยมีการห้ามหรือป้องกันไม่ให้เข้าไปยังพื้นที่คำตอบที่เราไม่ต้องการ วิธีการหาคำตอบนี้ข้อดีคือมีโครงสร้างไม่สลับซับซ้อน ซึ่งนักวิจัยหลายๆท่านได้สรุปว่าวิธีนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี SA เนื่องจากวิธีทาบูเรียนรู้มาจากประสบการณ์ในจำนวนรอบของการกระทำซ้ำที่ผ่านมา (Search History) โดยใช้หน่วยความทรงจำของคอมพิวเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง วิธีนี้ยังมีข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือสามารถป้องกันการติดอยู่ในพื้นที่หาคำตอบเดิม

ค. Genetic Algorithms เป็นวิธีในการหาคำตอบโดยเลียนแบบขั้นตอนวิวัฒนาการทางธรรมชาติ (Natural Evaluation) ตามคำกล่าวที่ว่า “เผ่าพันธุ์ที่มีความแข็งแรงที่สุดนั้นที่จะสามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้ (Survival of the fittest)” ดังนั้นวิธีนี้จะตั้งอยู่บนแนวความคิดในการเลือกเผ่าพันธุ์ ซึ่งเปรียบเสมือนกับการเลือกคำตอบที่

มีค่าดีที่สุดเพื่อใช้ในการพัฒนาคำตอบในครั้งถัดไป วิธีการหาคำตอบนี้มีข้อดีคือมีโครงสร้างไม่สลับซับซ้อนและมีความยืดหยุ่นมากเช่นเดียวกับวิธีท าบู (ณกร, 2548)

2.1.5 ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision support system)

การตัดสินใจมีบทบาทที่สำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์แต่ละคนอาจมีความสามารถในการตัดสินใจที่แตกต่างกัน ขึ้นกับประสบการณ์ ความสามารถและปัจจัยด้านอื่นๆ เนื่องจากในปัจจุบันมีการพัฒนาระบบคอมพิวเตอร์ ทำให้เกิดแนวคิดในการนำเทคโนโลยีสารสนเทศที่มีพื้นฐานการทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการตัดสินใจ เกิดเป็นระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision support system, DSS) ซึ่งช่วยให้การตัดสินใจมีความน่าเชื่อถือและมีประสิทธิภาพ อันก่อให้เกิดประโยชน์กับองค์กร

การตัดสินใจ (Decision making) คือ กระบวนการคัดเลือกแนวทางปฏิบัติจากทางเลือกต่างๆเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งจัดเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการแก้ไขปัญหา (กิตติ, 2546)

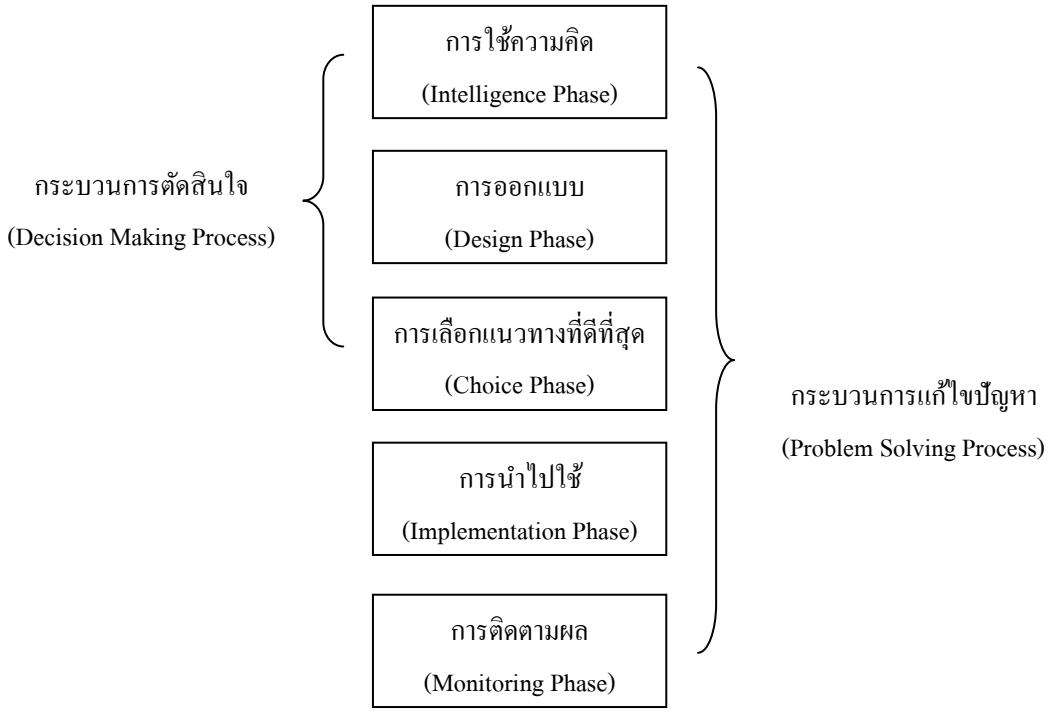
2.1.5.1 ลักษณะของปัญหาที่ต้องตัดสินใจ

ปัญหาการตัดสินใจสามารถแบ่งออกได้ 3 แบบคือ

1) ปัญหาแบบมีโครงสร้าง (Structured problem) เป็นปัญหาที่มีวิธีการแก้ไขปัญหาที่ชัดเจนและแน่นอน สามารถจำลองปัญหาได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ เป็นปัญหาที่ผู้ตัดสินใจมีข้อมูลและสารสนเทศประกอบการตัดสินใจอย่างครบถ้วน
2) ปัญหาแบบไม่มีโครงสร้าง (Unstructured problem) เป็นปัญหาที่ไม่สามารถหาวิธีการแก้ไขได้อย่างชัดเจนและแน่นอน ไม่สามารถจำลองปัญหาได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ กล่าวคือ เป็นปัญหาที่ผู้วิจัยมีข้อมูลและสารสนเทศไม่เพียงพอต่อการแก้ปัญหา ต้องอาศัยประสบการณ์ในการแก้ปัญหา
3) ปัญหาแบบกึ่งโครงสร้าง (Semi structured problem) เป็นปัญหาที่มีลักษณะเฉพาะตัว ไม่เกิดซ้ำ และไม่มีกระบวนการดำเนินการมาตรฐาน เป็นปัญหาที่มีวิธีการแก้ไขเพียงบางส่วนเท่านั้น ส่วนที่เหลือต้องอาศัยประสบการณ์ในการตัดสินใจ

2.1.5.2 กระบวนการตัดสินใจ

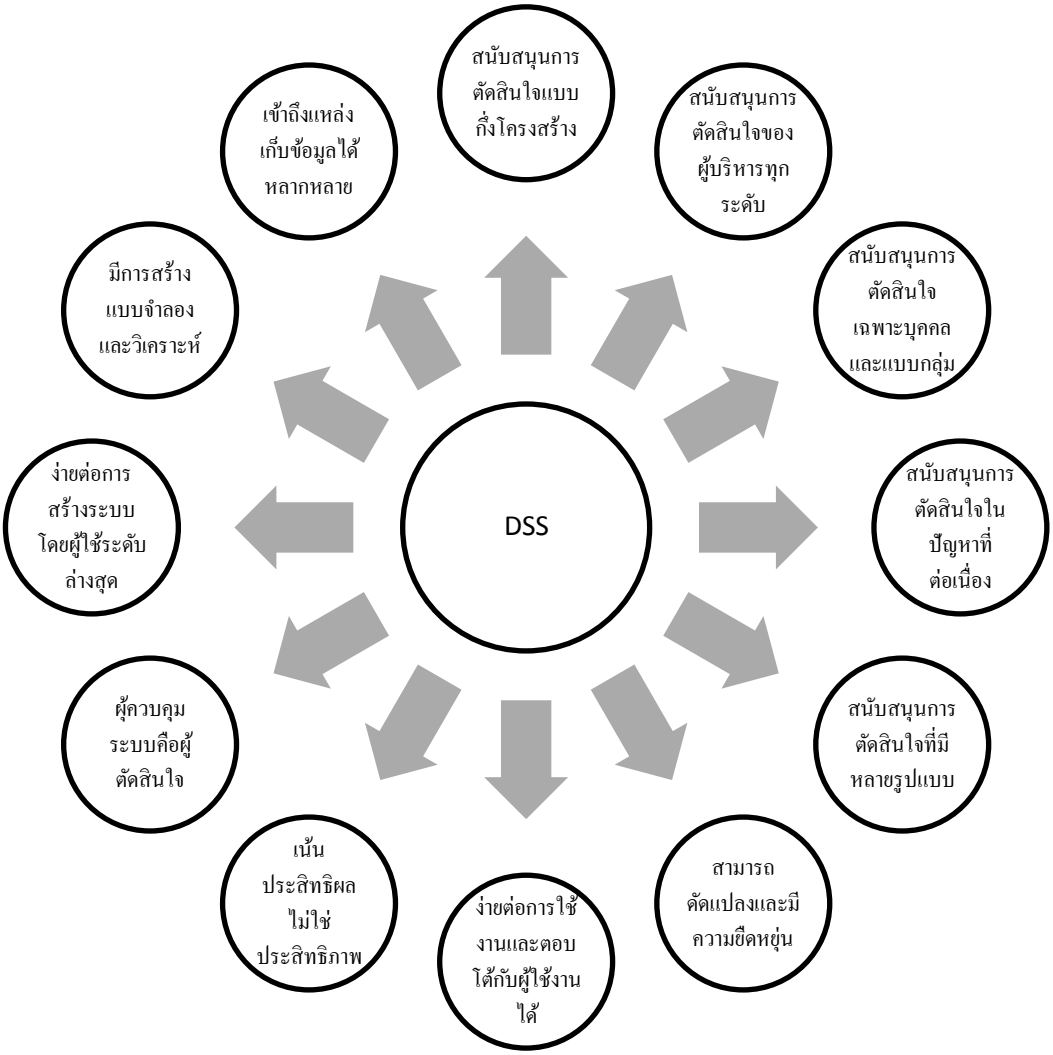
กระบวนการตัดสินใจ (Decision making process) คือการกำหนดขั้นตอนในการตัดสินใจแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างมีหลักเกณฑ์ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 กระบวนการตัดสินใจและแก้ไขปัญหา

2.1.5.3 ลักษณะและความสามารถของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เป็นระบบที่ช่วยให้ผู้ตัดสินใจมีความสะดวกสบายมากขึ้น สามารถสร้างทางเลือกในการตัดสินใจได้หลากหลายและรวดเร็ว โดยสามารถสรุปลักษณะและความสามารถของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ได้ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ลักษณะและความสามารถของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

2.1.5.4 ประโยชน์ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีประโยชน์ดังนี้

1) พัฒนาประสิทธิภาพการทำงานส่วนบุคคล
2) พัฒนาประสิทธิภาพการแก้ไขปัญหา
3) ช่วยอำนวยความสะดวกในการติดต่อสื่อสาร
4) ส่งเสริมการเรียนรู้หรือการฝึกหัด
5) เพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมองค์กร

2.1.5.5 ส่วนประกอบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีส่วนประกอบ 4 ส่วน ดังนี้

1) อุปกรณ์ (hard ware) หรือ เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นส่วนที่ใช้ในการคำนวณและประมวลผลข้อมูลต่างๆ ที่เราต้องการ โดยสามารถแบ่งออกได้ 3 ชนิดคือ
   - อุปกรณ์ที่ใช้ในการประมวลผล คือตัวเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้นั่นเอง ซึ่งถูกพัฒนาการให้มีขนาดเล็กลงในปัจจุบัน
   - อุปกรณ์ที่ใช้ในการสื่อสาร คือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการเชื่อมต่อเป็นแบบระบบเครือข่าย (Network) ทำให้สามารถใช้ข้อมูลและอุปกรณ์บางอย่างร่วมกันได้ สำหรับเครือข่ายที่นิยมได้แก่ระบบ LAN และ ระบบ WAN ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นระบบ Wifi และระบบ 3G
   - อุปกรณ์ที่ใช้ในการแสดงผล คือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแสดงผลลัพธ์ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจออกมาได้ ซึ่งอาจเป็นได้ทั้งจอภาพที่มีความละเอียดสูง เครื่องพิมพ์ (printer) เป็นต้น ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สารสนเทศมีความเข้าใจและช่วยให้ได้งานที่มีประสิทธิภาพ
2) ระบบการทำงาน (soft ware) หรือโปรแกรมที่จะใช้งานในระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ถือว่ามีส่วนที่สำคัญ เนื่องจากเป็นตัวที่ช่วยให้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสามารถทำงานได้ตรงตามความต้องการของผู้ใช้ สามารถแบ่งออกได้ดังนี้คือ
   ก. การจัดการตอบโต้ (Dialogue management) สามารถแบ่งออกเป็นระบบย่อยได้ 3 ระบบคือ
      - ระบบย่อยของการเชื่อมต่อสำหรับผู้ใช้งาน (user interface subsystem) ระบบนี้จะทำการเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการนำเข้าข้อมูล และการแสดงผลลัพธ์ทางจอภาพ
      - ระบบย่อยของการควบคุมการโต้ตอบ (Dialogue control subsystem) ระบบนี้ทำหน้าที่ดูแลระบบต่างๆที่จะต้องใช้ในการทำงาน ซึ่งมีทั้งรูปแบบของเมนู และรูปแบบของคำสั่ง

- ระบบตัวแปลการร้องขอ (request translator) ระบบนี้จะทำหน้าที่แปลการร้องขอในการติดต่อกับระบบอื่น และแปลคำสั่งให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจและใช้งานได้

ข. การจัดการฐานตัวแบบ (Model base management) เป็นตัวแบบเกี่ยวกับกิจกรรมต่างๆขององค์กรทั้งภายในและภายนอก ซึ่งอาจจะทำงานในด้านการเงิน การบัญชี การดำเนินการต่างๆ และแบบจำลองสถานการณ์ทางด้านธุรกิจ ผู้ที่มีหน้าที่จัดการตัวแบบจะเก็บตัวแบบเอาไว้และจะนำมาใช้งานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง สำหรับในการทำงานนั้นเมื่อมีการส่งข้อมูลประมวลผลแล้ว ผลลัพธ์ที่ได้จะส่งไปเก็บไว้ที่ส่วนฐานข้อมูล (database) ของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ และส่งต่อไปให้ผู้ใช้งาน (user)

ค. การจัดการฐานข้อมูล (database management) ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะมีฐานข้อมูล เป็นของตัวเองเฉพาะ ซึ่งจะเก็บรวบรวมข้อมูลต่างๆที่สำคัญเอาไว้ สำหรับการค้นหาข้อมูลมาใช้ในอนาคต โดยที่ตัวระบบสนับสนุนการตัดสินใจนั้นไม่สามารถเข้าไปยุ่งเกี่ยว สร้าง แก้ไข หรือค้นหาข้อมูลในฐานข้อมูลทั้งหมดขององค์กรได้ เนื่องจากในฐานข้อมูลขององค์กรจะมีข้อมูลอยู่มากมาย ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจ แต่อาจมีการเชื่อมต่อกับแหล่งข้อมูลจากภายนอก เพื่อนำมาประมวลผลได้

ง. ระบบชุดคำสั่ง (software system) สำหรับชุดคำสั่งหรือโปรแกรมนี้ถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่จะใช้ในการทำงาน โปรแกรมต่างๆที่เรานำมาใช้ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจมีหน้าที่แตกต่างกันออกไปตามความสามารถของโปรแกรมนั้น

3) ข้อมูล (data) ข้อมูลเป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งที่จะต้องนำมาใช้ในการประมวลผลเพื่อการตัดสินใจ ถ้าเรานำข้อมูลที่ไม่มีประสิทธิภาพมาทำการประมวลผลหรือมีข้อมูลไม่เพียงพอที่จะทำการประมวลแล้ว ข้อมูลนั้นก็คงไม่ได้ช่วยสนับสนุนการตัดสินใจที่ดีได้ และอาจทำให้การตัดสินใจมีความผิดพลาด ข้อมูลที่ควรนำมาใช้

งานควรเป็นข้อมูลที่ความถูกต้อง ทันสมัย มีปริมาณเพียงพอ จัดรูปแบบได้ และสะดวกในการนำมาใช้งาน

4) บุคลากร (people) เป็นผู้ที่เกี่ยวข้องตั้งแต่การกำหนดปัญหา การกำหนดเงื่อนไข การกำหนดเกณฑ์ต่างๆ การพัฒนาทางเลือก และการนำทางเลือกไปใช้งาน ซึ่งบุคลากรสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

ก. ผู้ใช้งาน (user) คือ ผู้ที่ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยตรง และรวมถึงผู้พัฒนาโปรแกรม นักวิเคราะห์ระบบ ผู้บริหารตลอดผู้เชี่ยวชาญต่างๆ เพราะเกี่ยวข้องกับระบบสนับสนุนการตัดสินใจทั้งสิ้น

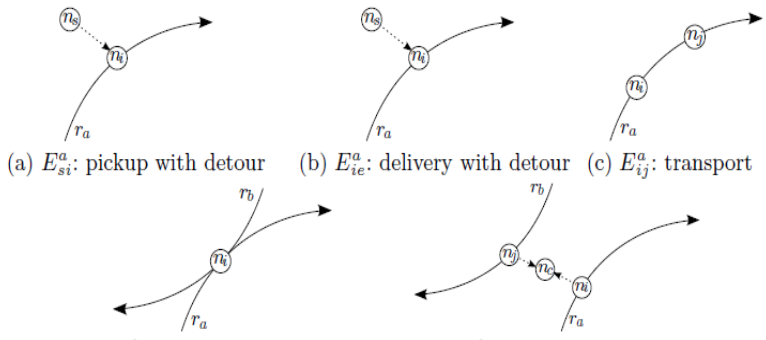
ข. ผู้สนับสนุนระบบการตัดสินใจ (DSS supporter) คือ ผู้ที่มีหน้าที่จัดหาสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆมาสนับสนุนการตัดสินใจ ตลอดจนการดำเนินงาน การบำรุงรักษาเครื่องคอมพิวเตอร์ การจัดหาโปรแกรม เพื่อให้สามารถดำเนินการต่างๆได้ตรงตามความต้องการและตรงกับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การถ่ายโอนสินค้า หมายถึง การขนส่งที่มีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างยานพาหนะที่ใช้ขนส่ง สินค้า จากการศึกษางานวิจัยของ Mitrovic และคณะ (2006) พบว่าการขนส่งด้วยกระบวนการถ่ายโอนสินค้า (Transshipment) เป็นหนึ่งในวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง เนื่องจากสามารถช่วยลดระยะทางการขนส่งโดยรวมได้ การจัดเส้นทางแบบมีการถ่ายโอนสินค้าได้รับการศึกษาในหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ในงานวิจัยของ Mues และคณะ (2005) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการขนส่งร่วม (Intermodal Transportation) ซึ่งเป็นการขนส่งสินค้าโดยใช้ช่องทางการขนส่งมากกว่า 1 ช่องทาง เช่น การเปลี่ยนโหมดการขนส่งจากทางรถไฟเป็นการขนส่งทางถนน เป็นต้น งานวิจัย ของ Dondo และคณะ (2011) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการขนส่งแบบรวบรวมการจัดส่ง (Cross-docking with routing) ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนการจัดเก็บสินค้าคงคลัง แต่วิธีนี้จำเป็นต้องมีศูนย์การเปลี่ยนถ่ายสินค้าที่มีการจัดการสินค้าที่มีประสิทธิภาพจึงจะประสบความสำเร็จ ในงานวิจัยของ Drexl (2011) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการขนส่งแบบรถบรรทุกและรถพ่วง (Truck-trailer routing) ซึ่งเป็นการขนส่งที่ให้รถพ่วงเปรียบเสมือนคลังสินค้าเคลื่อนที่ แล้วให้รถบรรทุกวิ่งออกไปขนส่งในบางพื้นที่แทน

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการถ่ายโอนสินค้าแบบเปลี่ยนถ่ายของระหว่างรถขนส่ง (Transfer) กันเองโดยไม่มีจุดพักสินค้า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่งานวิจัยของ Mitrovic และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาปัญหาการขนส่งแบบ PDPTTW โดยออกแบบปัญหาทั่วไป (Generalize) และวิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกในเชิงของทฤษฎี โดยได้แนวคิดมาจากการสังเกตการขนส่งหนังสือของบริษัทแห่งหนึ่ง ซึ่งมีลูกค้ากระจายอยู่ทั่วประเทศ แต่มีข้อจำกัดเรื่องของคนขับรถ ซึ่งคนขับรถไม่สามารถเดินทางออกต่างเขตได้จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าระหว่างรถขนส่ง โดยรถคันหนึ่งจะทำหน้าที่รับสินค้า จากนั้นไปทิ้งไว้ที่จุด transshipment แล้วมีรถคันอื่นมารับของไปส่ง ที่จุดหมายปลายทางแทน งานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงความสามารถในการจุของรถบรรทุก เนื่องจากสินค้ามีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับขนาดของรถขนส่ง และถือว่ารถขนส่งมีเพียงพอที่จะรองรับความต้องการการขนส่งได้ ฮิวริสติกแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนสร้างเส้นทาง (construction phase) และส่วนพัฒนาคำตอบ (improvement phase) โดยในขั้นตอนการสร้างเส้นทางจะใช้วิธี random multi-start cheapest insertion ส่วนขั้นตอนพัฒนาคำตอบจะใช้วิธี remove และ reinsert ถ้าหากความต้องการการขนส่งไหนจะทำการเปลี่ยนถ่ายสินค้า ก็จะมีการแตก (spilt) ความต้องการการขนส่งออกเป็นสองส่วน คือจากจุดรับ i^+ ไปยังจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้า และจากจุดเปลี่ยนถ่ายสินค้าไปยังจุดส่ง i^- แล้วกำหนดลำดับของการทำงานขึ้น (Precedence Constraint) โดยที่ส่วนแรกจะต้องเกิดก่อนส่วนที่สองเสมอ การทดสอบฮิวริสติกทำโดยสุ่มความต้องการการขนส่งจำนวน 50 และ 100 จำนวน ภายในพื้นที่การขนส่งรูปสี่เหลี่ยมขนาด 60 x 60 ตารางกิโลเมตร ทดสอบกับความต้องการขนส่งที่มีการกระจายตัวแบบ Uniform และแบบ Cluster ผลจากการศึกษาพบว่าการเปลี่ยนถ่ายสินค้าในบางจุดสามารถช่วยลดระยะทางโดยรวมในการขนส่งได้ โดยใช้ได้ดีกับความต้องการการขนส่งที่มีการกระจายตัวแบบ Cluster และจะดีมากขึ้นเมื่อขนาดของกลุ่ม Cluster มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ Shang และคณะ (1995) ซึ่งนำเสนอระบบสำหรับสำหรับการขนส่งเอกสารภายในโรงพยาบาล โดยการประยุกต์ใช้การจัดตารางเส้นทางการเดินรถเข้ามาช่วย ซึ่งเป็นรูปแบบปัญหาแบบ PDPTW ข้อมูลความต้องการการขนส่งเป็นแบบ static, รถขนส่งมีหลายคันและมีการขนส่งแบบ many to many สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะได้ โดยการถ่ายโอนสินค้าจะเกิดก็ต่อเมื่อสินค้าบนเส้นทางนั้นไม่สามารถส่งได้ทันภายใต้กรอบเวลา ภายใต้วัตถุประสงค์สามส่วน คือ ค่าใช้จ่ายรถขนส่ง เวลาล่าช้าและเวลาเดินทางต่ำสุด ฮิวริสติกที่นำเสนอมีการใช้ look ahead เข้ามาช่วยในการสร้างเส้นทางย่อยๆ และมีการใช้เทคนิค head/tail head และ tail integration ซึ่งเป็นการรวมงานที่มีจุดรับและจุดส่งร่วมกัน การทดสอบฮิวริสติกทำโดยทดสอบกับตัวอย่างข้อมูลในหนึ่งวันของการขนส่งจริงซึ่งมีความต้องการการขนส่งประมาณ 300 ข้อมูล ระหว่างสถานที่ภายในโรงพยาบาล 9 จุด โดยใช้รถจำนวน 6 คันที่มี

ระยะเวลาทำงาน 13 ชั่วโมง การทดสอบพบว่าฮิวริสติกสามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่งจากที่มีอยู่ในปัจจุบันได้ แต่ไม่สามารถบอกว่าคุณภาพของฮิวริสติกเป็นอย่างไร ได้ เนื่องจากเป็นปัญหาที่ซับซ้อนและไม่มีคำตอบที่ดีที่สุด (optimal solution) มาเปรียบเทียบได้ หลังจากนั้น Thangiah และคณะ (2007) ได้ออกแบบและพัฒนาฮิวริสติกต่อยอดจากงานวิจัยของ Shang และคณะ (1995) โดยปรับข้อจำกัดด้านกรอบเวลาของเวลาเป็นแบบ soft time window และนำข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-time) มาประกอบการพิจารณา นอกจากนี้ยังสามารถทำการแยก (spilt) สินค้าได้ ซึ่งฮิวริสติกมีเสนอรูปแบบการแก้ปัญหาแบบ react สำหรับการแก้ปัญหาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความต้องการการขนส่ง และแบบ responds สำหรับการแก้ปัญหาเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของรถขนส่ง เช่น รถเสียระหว่างทาง หรือมีรถใหม่เข้ามาในระบบ โดยผลการทดสอบฮิวริสติกในรูปแบบปัญหาคงที่ (static) พบว่าสามารถช่วยปรับปรุงการระยะทางขนส่งจากเดิมได้ถึง 60% อย่างไรก็ตามทั้งสองงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงข้อจำกัดของรถขนส่งทั้งในด้านปริมาณและความจุของรถขนส่ง งานวิจัย Bouros และคณะ (2011) ได้นำประโยชน์ของการเปลี่ยนถ่ายสินค้ามาใช้แก้สถานการณ์ในกรณีที่มีความต้องการการขนส่งแบบเรียลไทม์แทรกเข้ามาระหว่างการดำเนินงานแผนการขนส่ง โดยประยุกต์ใช้วิธี 2-phase local search algorithm เพื่อหารถที่จะมารองรับความต้องการการขนส่งที่เกิดขึ้น โดยรถขนส่งสามารถเกิดลักษณะการทำงานได้ดั งภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 ลักษณะที่เกิดขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการการขนส่งแบบเรียลไทม์

จากรูปจะพบว่ารถขนส่งทั้งรถที่รับของและส่งของสามารถเดินออกนอกเส้นทางเพื่อทำงานดังกล่าวได้ โดยฮิวริสติกที่นำเสนอเรียกว่า SP algorithm คือจะเป็นการหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุด (Shortest path) จากจุดรับและจุดส่งสินค้าภายใต้แนวคิดของกราฟ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนรวม

ต่ำสุด ต้นทุนรวมประกอบด้วยต้นทุนจากบริษัทและต้นทุนจากลูกค้า ต้นทุนบริษัทคำนวณจากเวลาสายจากแผนการขนส่งตั้งต้น ส่วนต้นทุนลูกค้าเกิดจากเวลาที่ใช้ทั้งหมดในการทำงานให้เสร็จ ซึ่งรถขนส่งจะรับและส่งของเป็นทอดๆ ถ้ารถคันไหนมาถึง ณ จุดเปลี่ยนถ่ายก่อนจะต้องเป็นฝ่ายรอ ฮิวริสติกถูกทดสอบเปรียบเทียบกับวิธี HT algorithm ซึ่งเป็นวิธี 2-phase แบบดั้งเดิม ผลการทดสอบพบว่าวิธี SP ใช้เวลาในการหาคำตอบเร็วกว่า HT โดยที่ให้ต้นทุนสูงกว่าเดิมเพียงเล็กน้อย

บทที่ 3
หลักการและแนวคิด

การถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะเป็นการเปลี่ยนถ่ายสินค้าที่อยู่บนยานพาหนะคันหนึ่งไปให้ยานพาหนะคันอื่นก่อนที่จะถึงจุดปลายทางเพื่อให้สินค้าที่อยู่ในเส้นทางเดียวกันถูกถ่ายโอนไปอยู่บนพาหนะคันเดียวกันและขนส่งไปด้วยกัน ซึ่งทำให้สามารถลดระยะทางขนส่งลงได้

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ เพื่อปรับปรุงเส้นทางการขนส่งจากแผนการขนส่งทางตรงที่ได้วางแผนไว้แล้วให้มีระยะทางโดยรวมลดลงด้วยการแทรกการถ่ายโอนสินค้าเข้าไปในแผนขนส่ง โดยจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง (Capacity constraint) และข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่สินค้านั้นสามารถขนส่งได้ (Time window constraint) ดังนั้นผลลัพธ์สุดท้ายของการวิจัยจะประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

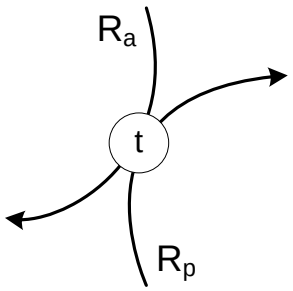
1) การออกแบบฮิวริสติกสำหรับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ
2) การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ผลลัพธ์จากการตัดสินใจจะต้องบอกได้ว่าจากแผนการขนส่งที่มีอยู่นั้นสามารถลดระยะทางลงด้วยการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะได้หรือไม่ และต้องแทรกการถ่ายโอนสินค้ายังไงจึงจะเหมาะสม จากหลักการในงานวิจัยของ Drexl (2011) ที่ว่าการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะจะมีลักษณะเป็นแบบ Synchronize คือความเกี่ยวโยงกันระหว่างรถขนส่ง ซึ่งผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางจะต้องตอบคำถามที่ว่า “Which vehicle transfers how much load when where into which other vehicle” ให้ได้ ดังนั้นกระบวนการถ่ายโอนสินค้าจะต้องประกอบด้วยข้อมูล 5 ส่วนคือ

- รถส่งมอบ (active vehicle) เป็นรถที่ต้องการถ่ายโอนสินค้าให้กับรถส่งมอบ
- ปริมาณของสินค้าที่จะถ่ายโอน (amount of load) เป็นความจุของสินค้าที่ถูกถ่ายโอน ซึ่งประกอบด้วยความจุด้านปริมาตรและความจุด้านน้ำหนัก
- รถรับมอบ (passive vehicle) เป็นรถที่มีความสามารถในการรับงานถ่ายโอน จากรถส่งมอบ
- สถานที่ (location) เป็นสถานที่ที่ มีการถ่ายโอนเกิดขึ้นระหว่างรถส่งมอบและรถรับมอบ
- ตำแหน่งของเวลา (point in time) เป็นช่วงเวลาที่เกิดการถ่ายโอน

โดยที่รูปแบบการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะที่สนใจสามารถแบ่งออกได้ 2 รูปแบบใหญ่คือ

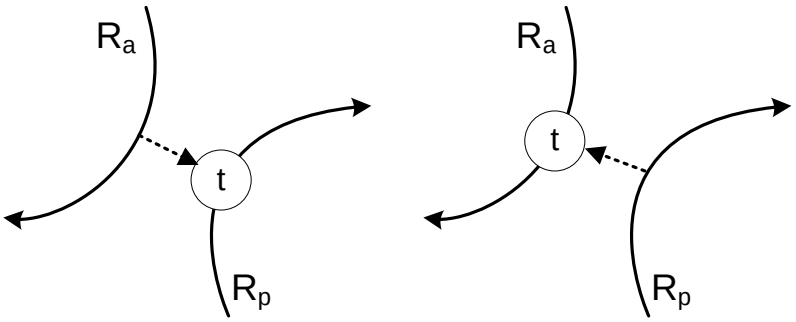
1) การถ่ายโอนภายในเส้นทาง เป็นการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งโดยที่จุดถ่ายโอนเป็นจุดที่บนเส้นทางเดิมของทั้งรถส่งมอบและรถรับมอบ ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 การถ่ายโอนสินค้าเกิดขึ้นภายในเส้นทางเดิม

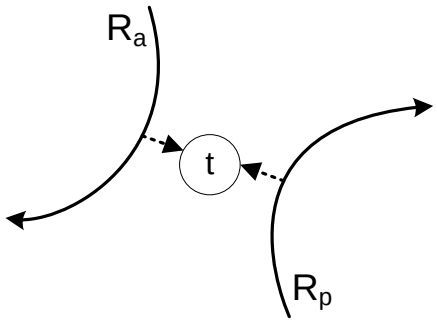
2) การถ่ายโอนภายนอกเส้นทาง เป็นการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งโดยที่จุดถ่ายโอนเป็นจุดที่อยู่นอกเส้นทาง ซึ่งสามารถแบ่งออกได้สองกรณีคือ

- การถ่ายโอนสินค้าเกิดขึ้นเมื่อมีเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งออกนอกเส้นทาง ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การถ่ายโอนสินค้าแบบเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งออกนอกเส้นทาง

- การถ่ายโอนสินค้าเกิดขึ้นเมื่อมีเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งออกนอกเส้นทาง ดังภาพที่ 3.3



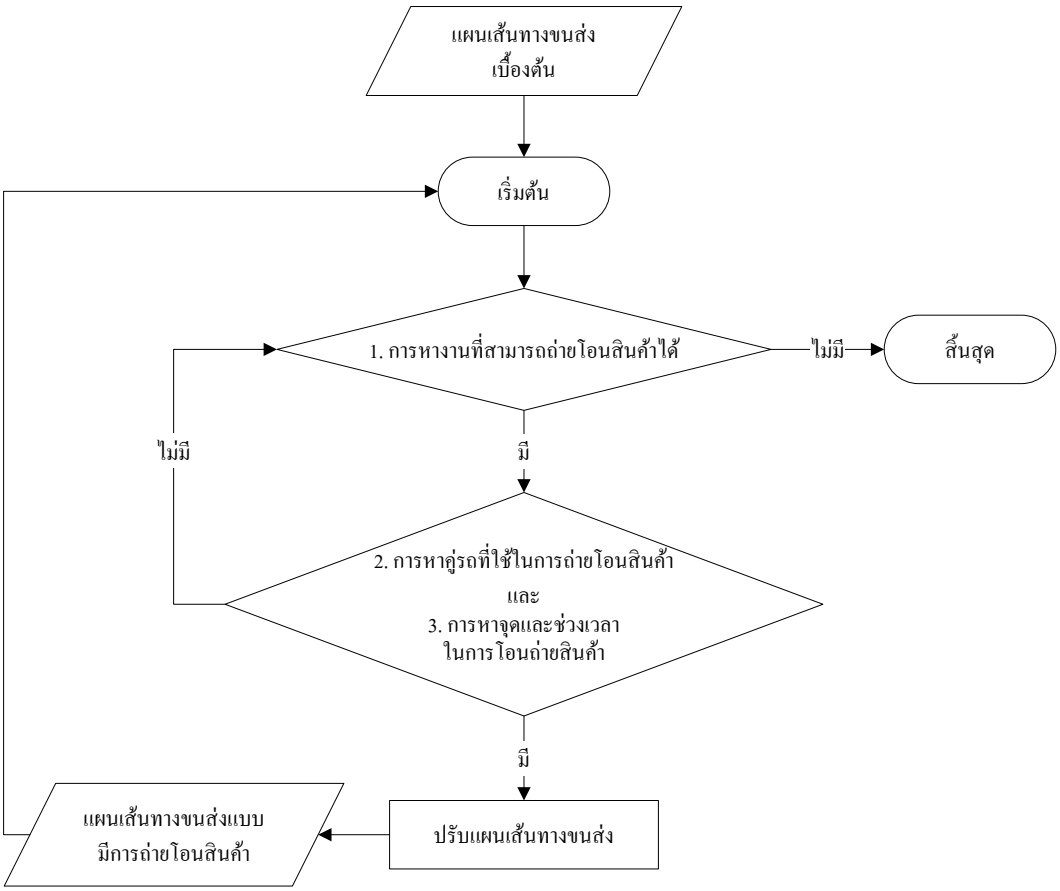
ภาพที่ 3.3 การถ่ายโอนสินค้าแบบทั้งสองเส้นทางออกนอกเส้นทาง

การตัดสินใจถ่ายโอนสินค้าจะต้องพิจารณาว่างานใดบ้างที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ ถ้าถ่ายโอนได้จะถ่ายโอนงานให้กับรถคันไหน ณ สถานที่และช่วงเวลาใดของเส้นทางการขนส่ง แต่เนื่องจากการตัดสินใจนี้เป็นการพิจารณาจากเส้นทางที่มีอยู่ ซึ่งแต่ละเส้นทางจะประกอบไปด้วยงานขนส่ง ณ สถานที่ และ ณ ช่วงเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงแบ่งฮิวริสติก (Heuristic) สำหรับพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าเป็น 3 ขั้นตอนดังนี้

1) การหางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ ซึ่งจะเป็นการตอบคำถามเรื่องของรถส่งมอบและปริมาณของสินค้าที่ต้องการถ่ายโอน
2) การหาคู่รถที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้า ซึ่งจะเป็นการตอบคำถามเรื่องของรถรับมอบที่เป็นไปได้ในการรับถ่ายโอนงานจากรถส่งมอบ
3) การหาจุดและช่วงเวลาในการถ่ายโอนสินค้า ซึ่งจะเป็นการตอบคำถามเรื่องของสถานที่และตำแหน่งของเวลาที่จะใช้ในการถ่ายโอนสินค้า

แนวคิดดังกล่าวมีวัตถุประสงค์คือเพื่อให้การถ่ายโอนสินค้าสามารถทำให้เกิดการลดระยะทางรวมจากแผนการขนส่งตั้งต้นได้สูงสุด โดยมีรูปแบบแนวคิด ดังภาพที่ 3.4 เริ่มจากการรับแผนเส้นทางขนส่งเบื้องต้นซึ่งเป็นแผนเส้นทางขนส่งทางตรงมาพิจารณาหางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ โดยเกณฑ์ในการเลือกคือเป็นงานส่งอย่างเดียวที่มีค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุด (Max saving distance) เมื่อเลือกงานที่ต้องการถ่ายโอนแล้ว จากนั้นขั้นต่อไปจะเป็นการพิจารณาหารถรับมอบซึ่งจะต้องเป็นรถที่มีความสามารถในการถ่ายโอน แล้วจึงหาว่าจุดใดบ้างที่สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถส่งมอบและรถรับมอบ ซึ่งแต่ละจุดถ่ายโอนจะทำให้เกิดระยะการเดินทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้าและเกิดเวลารอคอยที่ไม่เหมือนกัน จากนั้นจึงทำการเลือกรถรับ

มอบ จุดถ่ายโอน และช่วงเวลาที่ดีที่สุดที่ต้องการให้เกิดการถ่ายโอนสินค้า แล้วจึงปรับตารางการขนส่งใหม่ซึ่งตารางขนส่งใหม่ที่ได้จะเป็นแผนการขนส่งที่มีการถ่ายโอนสินค้าแทรกอยู่ด้วย จากนั้นจึงเริ่มพิจารณาแผนใหม่อีกครั้งจนกว่าการถ่ายโอนสินค้าจะทำไม่ได้



ภาพที่ 3.4 แนวคิดในการออกแบบระบบ

ในส่วนของการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะเป็นการออกแบบการไหลของข้อมูล (Data Flow) ฐานข้อมูล (Database) และหน้าตาการใช้งานของระบบ (User Interface) ที่เอื้ออำนวยต่อการทำงานของฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้น

บทที่ 4

รายละเอียดการออกแบบระบบ

ในส่วนนี้จะเป็นการอธิบายรายละเอียดของระบบที่ออกแบบขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็นสามส่วนใหญ่คือ

1) โครงสร้างข้อมูลนำเข้า
2) ฮิวริสติกสำหรับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ
3) โครงสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

4.1 โครงสร้างข้อมูลนำเข้า

ในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะจำเป็นต้องใช้ข้อมูลนำเข้าซึ่งมีโครงสร้างข้อมูลดังนี้

1) แผนเส้นทางขนส่ง

แผนขนส่งนี้จะเป็นข้อมูลหลักสำหรับการพิจารณาถ่ายโอนสินค้า ซึ่งแผนขนส่งจะบอ ก รายละเอียดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งดังนี้

- รถคันไหน
- ทำงานวันที่อะไรและเวลาใด
- ทำงาน ณ สถานที่ใด
- ทำงานอะไร

ซึ่งตัวอย่างข้อมูลแผนขนส่งแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างแผนเส้นทางขนส่ง

รถขนส่งที่	วันและเวลา	สถานที่	รายละเอียดขนส่ง	งานขนส่ง
1	27/5/2555 9.00	A	รับ	1
			รับ	2
	27/5/2555 11.00	D	ส่ง	1
	27/5/2555 12.00	G	รับ	3
	27/5/2555 15.00	H	ส่ง	2
			ส่ง	3
2	27/5/2555 8.30	B	รับ	4
			รับ	5
	27/5/2555 13.00	A	ส่ง	4
	27/5/2555 15.00	C	ส่ง	5

2) ข้อมูลรถขนส่ง

ข้อมูลรถขนส่งนี้จะเป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการพิจารณาถ่ายโอนสินค้า ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

- ความจุน้ำหนัก จะเป็นข้อมูลน้ำหนักสูงสุดที่รถสามารถบรรทุกได้
- ความจุปริมาตร จะเป็นข้อมูลปริมาตรสูงสุดที่รถสามารถบรรทุกได้

ซึ่งตัวอย่างข้อมูลรถขนส่งแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างข้อมูลรถขนส่ง

รถขนส่งที่	ความจุน้ำหนัก (กิโลกรัม)	ความจุปริมาตร (คิว)
1	1500	20
2	1500	25
3	2000	30

3) ข้อมูลความต้องการขนส่ง

ข้อมูลความต้องการขนส่งนี้จะเป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการพิจารณาถ่ายโอนสินค้า ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

- รหัสงานขนส่ง
- น้ำหนักขนส่ง (weight)
- ปริมาตรขนส่ง (volume)
- จุดรับสินค้า (pickup location)
- จุดส่งสินค้า (delivery location)
- เวลาที่สามารถเริ่มรับสินค้าได้ (earliness)
- เวลาช้าสุดที่ส่งสินค้าได้ (lateness)

ซึ่งตัวอย่างข้อมูลความต้องการขนส่งแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างข้อมูลความต้องการขนส่ง

งานขนส่ง	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)	จุดรับ	จุดส่ง	วัน/เวลาเริ่ม	วัน/เวลาสิ้นสุด
1	100	1	A	D	27/5/2555 7.00	28/5/2555 12.00
2	200	10	A	H	26/5/2555 7.00	29/5/2555 15.00
3	500	20	G	H	27/5/2555 9.00	27/5/2555 16.00

4) ข้อมูลสถานที่

ข้อมูลสถานที่นี้จะเป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการพิจารณาถ่ายโอนสินค้า ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

ก. ข้อมูลระยะทางระหว่างสถานที่

เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับระยะทางที่ใช้เดินทางระหว่างสถานที่ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างข้อมูลระยะทางระหว่างสถานที่

จาก/ถึง	A	B	C	D	E
A	-	316	500	539	300
B	316	-	500	361	500
C	500	500	-	283	316
D	539	361	283	-	519
E	300	500	316	519	-

ข. ข้อมูลระยะเวลาระหว่างสถานที่

เป็นรายละเอียดเกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้เดินทางระหว่างสถานที่ต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างข้อมูลระยะเวลาระหว่างสถานที่

จาก/ถึง	A	B	C	D	E
A	-	5	7	8	4
B	5	-	7	5	7
C	7	7	-	4	5
D	8	5	4	-	7
E	4	7	5	7	-

ค. จุดที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้

เป็นการบอกคุณสมบัติของสถานที่ที่สามารถถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะได้ แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างข้อมูลคุณสมบัติจุดที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้

จุดในระบบทั้งหมด	สามารถถ่ายโอนสินค้าได้
A	✓
B	×
C	✓
D	✓
E	×

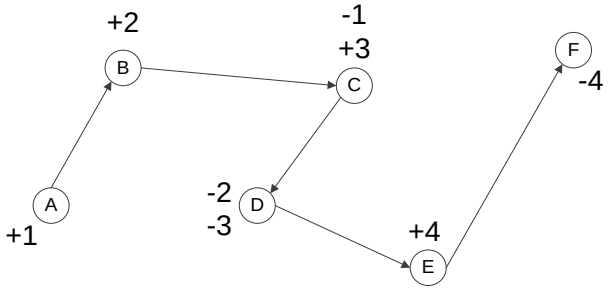
4.2 ฮิวริสติกสำหรับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ

จากหลักการและแนวคิดที่ทางผู้วิจัยได้ออกแบบขึ้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการอธิบายรายละเอียดของกระบวนการในพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าซึ่งประกอบไปด้วย 3 หัวข้อหลักดังนี้

4.2.1 การหางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้

ข้อมูลแผนขนส่งที่นำเข้ามาพิจารณาถ่ายโอนสินค้า ประกอบด้วยเส้นทางขนส่งจำนวน k เส้นทาง ในแต่ละเส้นทางจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับงานขนส่งที่ต้องไปทำ ณ สถานที่และเวลาต่างๆ เนื่องจากเส้นทางขนส่งที่สนใจเป็นแบบที่มีทั้งการรับและส่งสินค้า ดังนั้นในแต่ละจุดขนส่งจะเกิดรูปแบบการทำงานที่แตกต่างกันซึ่งสามารถแบ่งการทำงานได้ 3 รูปแบบใหญ่ คือ

- การรับสินค้าอย่างเดียว
- การส่งสินค้าอย่างเดียว
- รับและส่งสินค้า



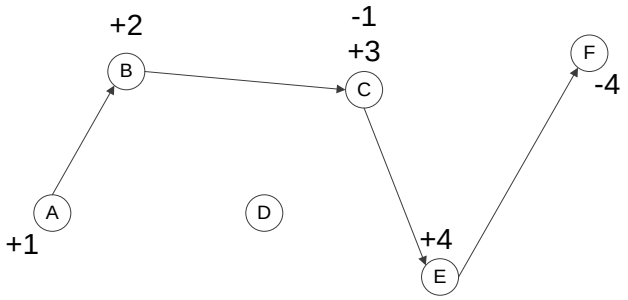
ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างลำดับการขนส่งของแผนการขนส่ง 1 เส้นทาง

(+ คือรับงานขนส่ง – คือส่งงานขนส่ง)

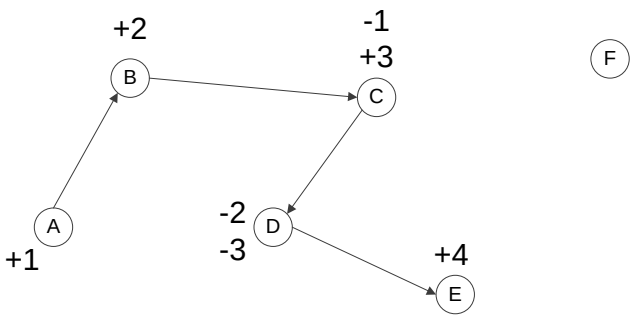
จากภาพที่ 4.1 ตัวอย่างลำดับการขนส่งของแผนการขนส่ง 1 เส้นทาง แสดงให้เห็นตัวอย่างลำดับการทำงานของเส้นทางการขนส่งดังนี้

1) รับงาน 1 ที่จุด A
2) รับงาน 2 ที่จุด B
3) ส่งงาน 1 และรับงาน 3 ที่จุด C
4) ส่งงาน 2 และงาน 3 ที่จุด D
5) รับงาน 4 ที่จุด E
6) ส่งงาน 4 ที่จุด F

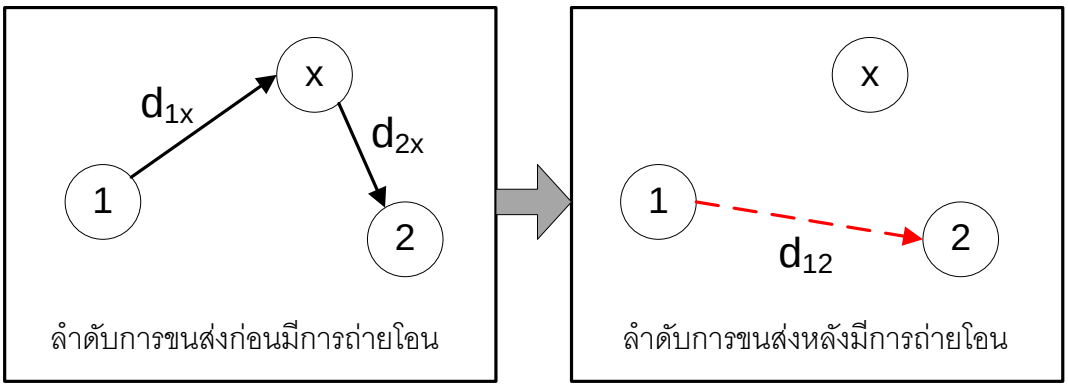
จากแผนการขนส่งจะเห็นได้ว่าจุด A B E เป็นจุดที่มีลำดับการขนส่งเป็นงานรับอย่างเดียว จุด D F เป็นจุดที่มีลำดับการขนส่งเป็นงานส่งอย่างเดียว ส่วนจุด C เป็นจุดที่มีทั้งการรับและส่งสินค้า จากเส้นทางดังกล่าวสังเกตได้ว่าถ้ารถขนส่งคันนี้สามารถถ่ายโอนงานส่งของจุด D ให้กับรถขนส่งคันอื่นไปส่งแทนได้ จะทำให้สามารถลดลำดับงาน ณ จุด D ซึ่งจะทำให้เหลือจุดที่ต้องไปคือ A B C E และ F เท่านั้น ดังภาพที่ 4.2หรือในกรณีที่ถ้ารถขนส่งคันนี้สามารถถ่ายโอนงานส่งของจุด F ให้กับรถขนส่งคันอื่นไปส่งแทนได้ จะทำให้สามารถลดลำดับงาน ณ จุด F ซึ่งจะทำให้เหลือจุดที่ต้องไปคือ A B C D และ E เท่านั้น ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.2 ลำดับงานที่ลดลงเมื่อถ่ายโอนส่งงาน D



ภาพที่ 4.3 ลำดับงานที่ลดลงเมื่อถ่ายโอนงาน F



ภาพที่ 4.4 ลำดับการทำงานที่เปลี่ยนแปลงเมื่อฝากส่งงาน

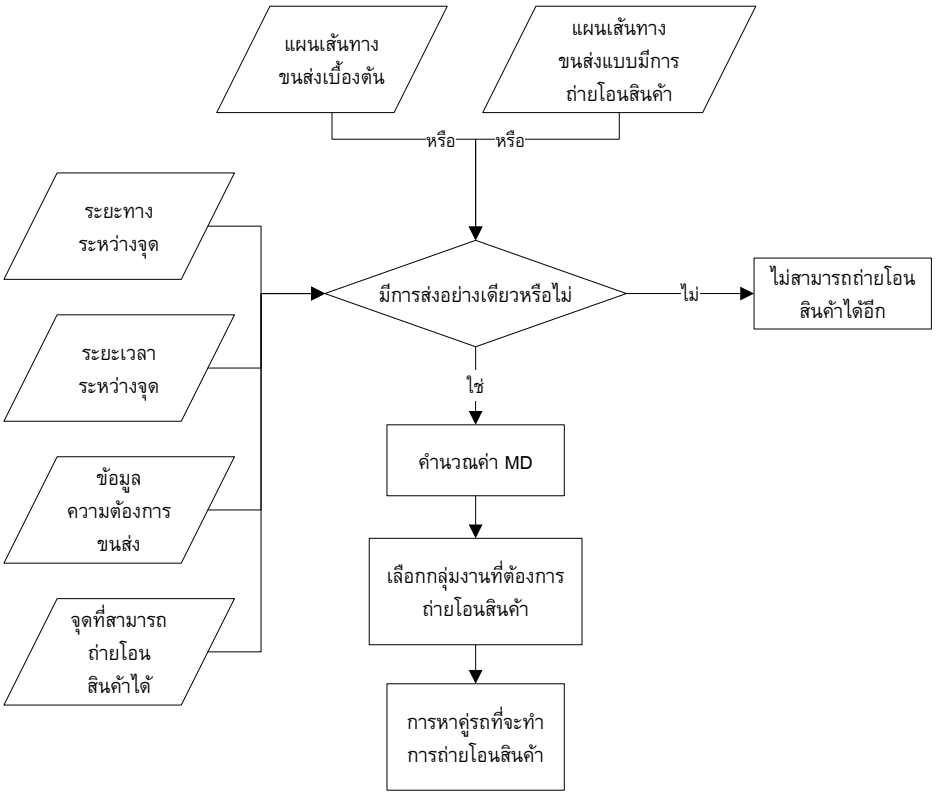
จากภาพที่ 4.4 ถ้าเส้นทางตั้งต้นมีการเดินทางเป็น 1-*x*-2 ตามลำดับ และถ้าจุด *x* เป็นจุดที่มีงานส่งอย่างเดียว เช่นเดียวกับจุด D หรือ F ดังตัวอย่างที่เสนอข้างต้น ถ้าสามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าซึ่งเป็นงานส่ง ณ จุด *x* ให้รถคันอื่นส่งแทน จะทำให้ลำดับการขนส่งเปลี่ยนแปลงเป็น 1-2 ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางดังกล่าวทำให้ระยะทางลดลงจาก $d_{1x} + d_{x2}$ เป็น d_{12}

เมื่อ d_{1x} คือ ระยะทางจุด 1 ไปยังจุด *x*

d_{x2} คือ ระยะทางจุด *x* ไปยังจุด 2

d_{12} คือ ระยะทางจุด 1 ไปยังจุด 2

จะเห็นได้ว่าการถ่ายโอนงานส่งจะทำให้เส้นทางขนส่งมีลำดับการทำงานลดลง ซึ่งส่งผลให้เส้นทางมีระยะทางขนส่งลดลงจากเดิมตามด้วย ดังนั้นงานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ในที่นี้จึงกำหนดให้เป็นงาน ณ จุดขนส่งที่มีการส่งสินค้าอย่างเดียว เนื่องจากเมื่อถ่ายโอนให้รถขนส่งคันอื่นไปส่งแทนแล้วจะทำให้เส้นทางขนส่งของรถส่งโอนเปลี่ยนแปลงและทำให้ระยะทางลดลงเนื่องจากไม่ต้องไปทำงาน ณ จุดนั้น ค่าระยะทางขนส่งที่ลดลงนี้เรียกว่าค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุด (Max saving distance value, MD-value) ซึ่งแสดงถึงโอกาสสูงสุดที่เส้นทางนั้นสามารถลดระยะทางจากเดิมได้เมื่อมีการถ่ายโอนงานส่ง 1 จุด ซึ่งในแต่ละจุดหรือแต่ละสถานที่จะให้ค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุดที่แตกต่างกันได้ และในแต่ละจุดนั้นอาจมีงานส่งมากกว่าหนึ่งงานได้ (กลุ่มงานส่ง) ในขั้นตอนนี้จะต้องทำการตรวจสอบแผนขนส่งทั้งหมดว่ามีเส้นทางขนส่งใดบ้างที่มีจุดที่เป็นงานส่งอย่างเดียว ถ้าตรวจสอบได้ว่ามีงานส่งอย่างเดียวเกิดขึ้น แสดงว่าแผนขนส่งเบื้องต้นนี้มีโอกาสที่จะสามารถทำการถ่ายโอนสินค้าได้ แต่ถ้าตรวจสอบได้ว่าแผนขนส่งไม่มีงานส่งอย่างเดียวเกิดขึ้น แสดงว่าแผนขนส่งเบื้องต้นดังกล่าวนี้ไม่สามารถทำการปรับเส้นทางด้วยการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะได้เลย



ภาพที่ 4.5 ขั้นตอนการพิจารณาหางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้

เมื่อตรวจสอบแผนขนส่งแล้วพบว่ามีงานส่งอย่างเดียวเกิดขึ้น ในขั้นตอนต่อไปจะต้องคำนวณหาค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุด (Max saving distance value, MD-value) ของสถานที่ที่มีงานส่งอย่างเดียวทั้งหมด ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ (4.1)

$$MD_j = d_{ij} + d_{jk} - d_{ik} \tag{4.1}$$

โดยที่

L คือ เซทของจุดขนส่งทั้งหมดในระบบ

X คือ เซทของจุดขนส่งที่มีการส่งสินค้าอย่างเดียวของทุกเส้นทางขนส่ง, $X \in L$

j คือ จุดขนส่งที่มีการส่งสินค้าอย่างเดียว, $j \in X$

i คือ จุดบนเส้นทางที่อยู่ในลำดับก่อนหน้าจุด j หนึ่งจุด, $i \in L$

k คือ จุดบนเส้นทางที่อยู่ในลำดับหลังจากจุด j หนึ่งจุด, $k \in L$

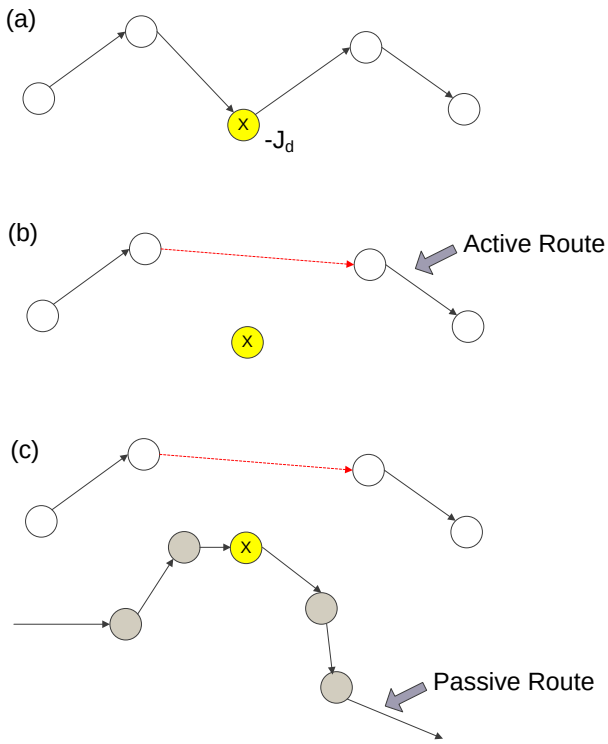
MD_j คือ ค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุด (Max saving distance) ของจุด j

d_{ij} คือ ค่าระยะทางจากจุดขนส่ง i ไปยังจุด $j, i \in L, j \in L$

เนื่องจากรูปแบบการถ่ายโอนสินค้าที่สนใจมีทั้งการถ่ายโอนสินค้าภายในเส้นทางและการถ่ายโอนสินค้าภายนอกเส้นทาง ซึ่งรูปแบบการถ่ายโอนสินค้าภายนอกเส้นทางจะทำให้เกิดระยะการเดินทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเดินทางออกไปยังจุดถ่ายโอนสินค้า ค่าระยะการเดินทางที่เพิ่มนี้ไม่ควรมีค่ามากกว่าระยะทางสูงสุดที่สามารถลดลงได้ เพราะถ้าระยะการเดินทางที่เพิ่มขึ้นมีค่ามากกว่าระยะทางสูงสุดที่สามารถลดลงได้แล้ว จะทำให้ระยะทางโดยรวมมีค่ามากกว่าระยะทางของแผนตั้งต้นเดิม ดังนั้นค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุด (MD_j) ในที่นี้จะใช้เป็นเป็นขอบเขตบนของค่าระยะทางที่สามารถเพิ่มขึ้นได้เนื่องจากการเดินทางไปจุดถ่ายโอนสำหรับการพิจารณาหาจุดถ่ายโอนในขั้นตอนการหาจุดและช่วงเวลาในการถ่ายโอนสินค้า สำหรับขั้นตอนนี้จะเลือกกลุ่มงานที่ต้องการถ่ายโอนสินค้าเพื่อไปพิจารณาหาคู่รถรับโอนในหัวข้อถัดไป โดยงานที่เลือกนี้เรียกว่างานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ (J_d)

4.2.2 การหาคู่รถที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้า

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการหารถที่มีคุณสมบัติเป็นรถรับโอนสินค้า ซึ่งจะทำหน้าที่ไปส่งงานขนส่งที่เลือกมาจากขั้นตอนก่อนหน้าแทนเจ้าของเส้นทางเดิม โดยรถหรือเส้นทางที่เป็นเจ้าของงานขนส่ง (J_d) นี้เรียกว่ารถส่งโอนสินค้า (Active Route, R_a) ดังภาพที่ 4.6 จะเป็นผู้ถ่ายโอนงานให้กับรถคันอื่นที่เรียกว่ารถรับโอนสินค้า (Passive Route, R_p)



ภาพที่ 4.6 เส้นทางของรถส่งโอนและรถรับโอน

ซึ่งรถรับโอนงาน J_d จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1) ในลำดับการทำงานที่มีอยู่ของรถรับโอนจะต้องมีจุด x เป็นจุดหนึ่งที่ต้องไปทำงาน ซึ่งการเดินทางไปจุด x สามารถไปเพื่อทำงานรับหรือส่งสินค้าก็ได้

ตัวอย่างเช่นจากตารางที่ 4.7 ถ้างานที่สนใจคืองาน 1 ณ จุดส่ง D ของรถคันที่ 1 ดังนั้น รถส่งโอนในที่นี้คือรถคันที่ 1

J_d คืองาน 1

จุด x คือจุด D

ซึ่งจากตารางพบว่ารถในระบบทั้งหมดมี 4 คัน คันที่สามารถเป็นรถถ่ายโอนได้คือ คันที่ 3 และ 4 เนื่องจากมีการไปทำงานที่จุด D

ตารางที่ 4.7 ตัวอย่างเส้นทางขนส่งสำหรับพิจารณารถรับโอน

รถขนส่งที่	วันและเวลา	สถานที่	รายละเอียดขนส่ง	งานขนส่ง
1	27/5/2555 9.00	A	รับ	1
			รับ	2
	27/5/2555 11.00	D	ส่ง	1
	27/5/2555 12.00	G	รับ	3
	27/5/2555 15.00	H	ส่ง	2
			ส่ง	3
2	27/5/2555 8.30	B	รับ	4
			รับ	5
	27/5/2555 13.00	A	ส่ง	4
	27/5/2555 15.00	C	ส่ง	5
3	27/5/2555 8.00	B	รับ	6
	27/5/2555 12.00	D	ส่ง	6
			รับ	7
	27/5/2555 18.00	E	ส่ง	7
4	27/5/2555 9.00	G	รับ	8
	27/5/2555 18.00	H	ส่ง	8
	27/5/2555 19.00	I	รับ	9
	28/5/2555 01.00	F	ส่ง	9
			รับ	10
	28/5/2555 13.00	D	ส่ง	10

2) เนื่องจากงานที่ต้องการถ่ายโอน (J_d) จะมีคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อรถขนส่งคือเรื่องของน้ำหนักและปริมาตรสินค้า ดังนั้นรถขนส่งที่มีคุณสมบัติเป็นรถรับโอนนั้นก่อนที่จะไปทำงานที่จุด x รถรับโอนสินค้าจะต้องมีความจุบนรถขนส่งเหลือมากกว่าหรือเท่ากับผลรวมน้ำหนักและผลรวมปริมาตรของงานส่งอย่างเดียว

$$V = \sum v_d \tag{4.2}$$

$$W = \sum w_d \tag{4.3}$$

$$LV_{x-1} \geq V \tag{4.4}$$

$$LW_{x-1} \geq W \tag{4.5}$$

โดยที่

D	คือ เซทของงานส่ง ณ จุด x
d	คือ งานส่งอย่างเดียว, $d \in D$
v_d	คือ ความจุปริมาตรของงานส่ง d
w_d	คือ ความจุน้ำหนักของงานส่ง d
V	คือ ผลรวมของความจุปริมาตรของกลุ่มงานส่ง
W	คือ ผลรวมของความจุน้ำหนักของกลุ่มงานส่ง
LV_{x-1}	คือ ความจุปริมาตรของรถขนส่งที่เหลืออยู่ก่อนถึงจุด x หนึ่งจุด
LW_{x-1}	คือ ความจุน้ำหนักของรถขนส่งที่เหลืออยู่ก่อนถึงจุด x หนึ่งจุด

3) เวลาที่รถรับโอนสินค้าไปถึงจุด x ของแผนการขนส่งเดิมจะต้องไม่เกินเวลาสุดท้ายในการส่งของ (Latest time) ของรายการงานส่งอย่างเดียว เนื่องจากว่าถ้าเวลาที่รถรับโอนไปถึงจุด x เกินเวลาสุดท้ายแล้วแสดงว่างานขนส่งดังกล่าวจะมีการล่าช้าเกิดขึ้น ซึ่งขัดต่อ Time window constraint

$$t_x \leq l_D \tag{4.6}$$

$$l_D = \min(l_1, l_2, l_3, \dots) \tag{4.7}$$

โดยที่

t_x คือ เวลาที่รถรับโอนสินค้าไปถึงจุด x

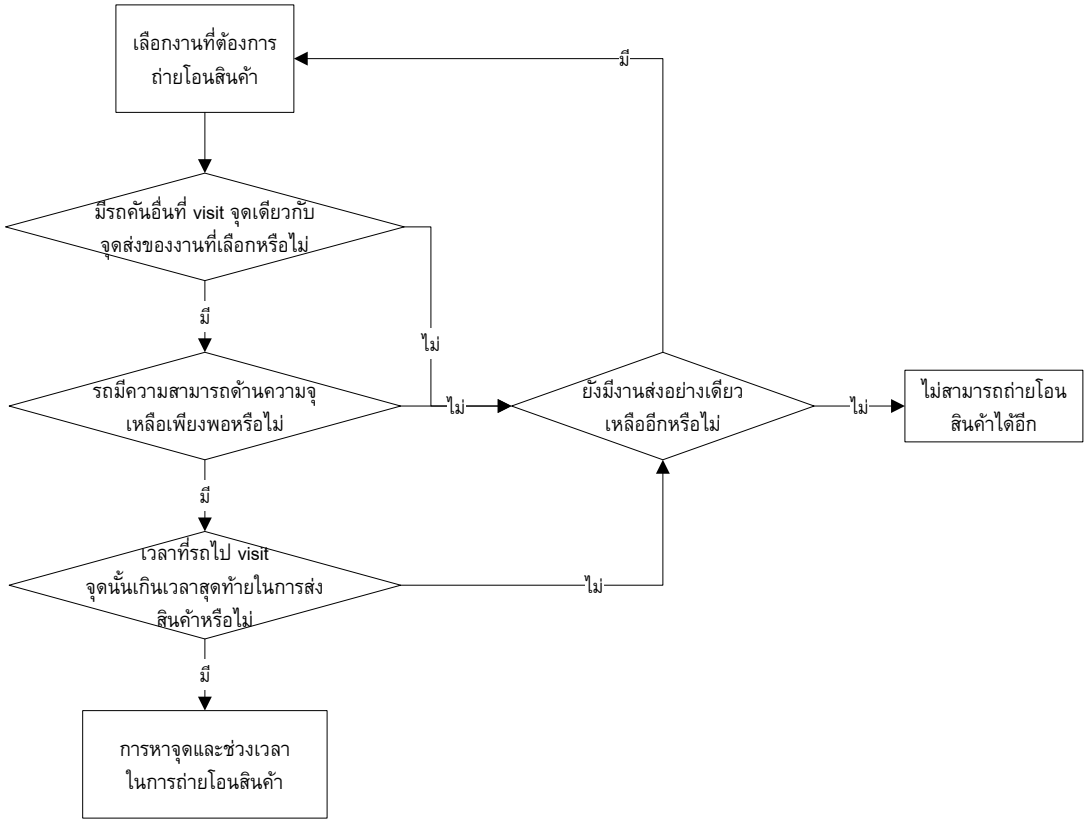
l_d คือ เวลาช้าสุดที่ส่งของได้ของงานส่งที่ต้องการถ่ายโอน $d, d \in D$

l_D คือ ค่าน้อยที่สุดของเวลาช้าสุดที่ส่งของได้ของกลุ่มงานส่งที่ต้องการถ่ายโอน

ดังเช่นตัวอย่างในตารางที่ 4.7 และข้อมูลใน

ตารางที่ 4.3 จะพบว่ารถคันที่ 4 ไม่มีคุณสมบัติในการเป็นรถรับโอนเนื่องจากเวลาในการไปจุด D เกินเวลาช้าสุดที่ส่งของได้ของงานขนส่ง 1

ในขั้นตอนนี้จะได้รถที่มีความสามารถในการถ่ายโอนงานขนส่งซึ่งมีคุณสมบัติครบทั้ง 3 ข้อ ขั้นตอนถัดไปจะนำไปพิจารณาหาจุดหรือสถานที่ในการถ่ายโอนสินค้า และช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อคัดเลือกรถส่งโอนสินค้าที่ดีที่สุดให้กับรถส่งมอบ ในกรณีที่ไม่สามารถหารถที่มีคุณสมบัติเป็นรถรับมอบได้ จะต้องไปเลือกงานส่งใหม่มาพิจารณาแทน



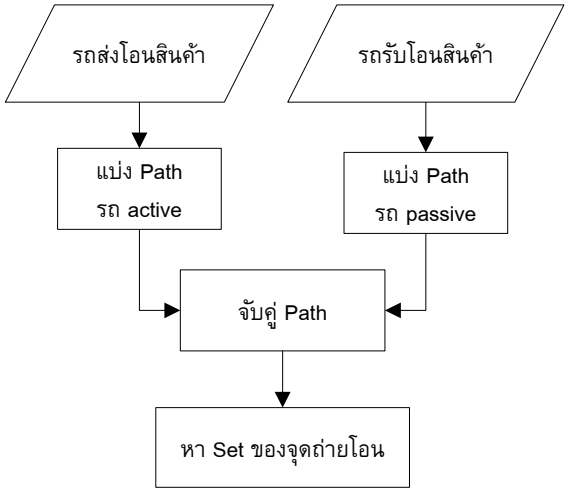
ภาพที่ 4.7 ขั้นตอนการพิจารณาหาคู่รถที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้า

4.2.3 การหาจุดและช่วงเวลาในการถ่ายโอนสินค้า

เมื่อเราได้รถขนส่งที่มีความสามารถรับโอนงานขนส่งจากขั้นตอนการหาคู่รถที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้าแล้ว ในแต่ละคันหรือในแต่ละเส้นทางจะพิจารณาหาจุดถ่ายโอนสินค้า (Transshipment point, t) และช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อคัดเลือกคู่รถขนส่งที่ดีที่สุด โดยพิจารณาจากค่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้า (Increasing Distance, ID_t) และเวลารอคอย (Waiting time, WT) ณ จุดถ่ายโอนสินค้า t นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาความเป็นไปได้ของผลกระทบต่อข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่สามารถขนส่งได้ของลำดับงานที่เหลืออยู่ด้วย โดยที่การเลือกจุดถ่ายโอนให้มีค่าระยะทางเพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้าน้อยที่สุดเป็นวัตถุประสงค์หลัก ส่วนเวลารอคอยน้อยที่สุดเป็นวัตถุประสงค์รอง

เนื่องจากการขนส่งในแต่ละเส้นทางจะมีลำดับการทำงาน ณ สถานที่และเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นกระบวนการในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการแบ่งเส้นทางของรถขนส่งออกเป็นช่วง (path) เพื่อ

จับคู่เส้นทางระหว่างรถส่งมอบและรถรับมอบ และหาจุดถ่ายโอนสินค้าที่อยู่ระหว่างคู่ของเส้นทาง ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.8 การหาจุดถ่ายโอนสินค้า

การแบ่งเส้นทางจะแบ่งออกได้ 2 ฝ่ายคือ

1) การแบ่งเส้นทางของรถส่งมอบ (Active Route) โดยที่การแบ่งเส้นทางของรถส่งมอบ R_a จะเริ่มจากจุดที่รับงาน J_d ไปจนถึงจุดหลัง x โดยไม่พิจารณาจุดส่งของงาน J_dซึ่งก็คือจุด x นั่นเอง
2) การแบ่งเส้นทางของรถรับมอบ (Passive Route) โดยที่การแบ่งเส้นทางของรถรับมอบ R_p เริ่มจากจุดที่รถสามารถบรรทุกงาน J_d ได้ไปจนถึงจุด x ซึ่งแสดงดังตัวอย่างในภาพที่ 4.9

ตัวอย่างเช่นถ้าเส้นทางขนส่งเดิมเป็นดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างเส้นทางขนส่งสำหรับพิจารณาหาจุดถ่ายโอน

รถขนส่งที่	วันและเวลา	สถานที่	รายละเอียดขนส่ง	งานขนส่ง
1	27/5/2555 9.00	A	รับ	1
			รับ	2
	27/5/2555 11.00	D	ส่ง	1
	27/5/2555 12.00	G	รับ	3
	27/5/2555 15.00	H	ส่ง	2
			ส่ง	3
2	27/5/2555 8.30	B	รับ	4
			รับ	5
	27/5/2555 13.00	A	ส่ง	4
	27/5/2555 15.00	C	ส่ง	5
3	27/5/2555 8.00	B	รับ	6
	27/5/2555 12.00	D	ส่ง	6
			รับ	7
	27/5/2555 18.00	E	ส่ง	7
4	27/5/2555 9.00	G	รับ	8
	27/5/2555 18.00	H	ส่ง	8
	27/5/2555 19.00	I	รับ	9
	28/5/2555 01.00	F	ส่ง	9
			รับ	10
	28/5/2555 9.00	D	ส่ง	10

ถ้างานที่สนใจถ่ายโอนคืองาน 1 ณ จุด D ของรถคันที่ 1

ดังนั้น รถส่งโอนในที่นี้คือรถคันที่ 1

J_d คืองาน 1

จุด x คือจุด D

และรถรับโอนในที่นี้คือ รถคันที่ 3 และรถคันที่ 4

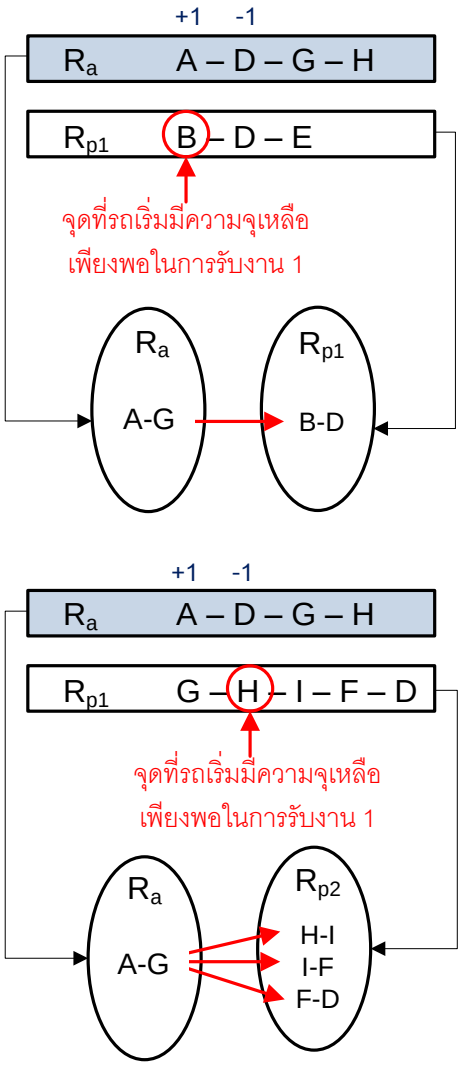
- รถส่งมอบ R_a มีเส้นทางขนส่งคือ A-D-G-H ตามลำดับ
- รถรับมอบมีสองคันคือ R_{p1} (รถคันที่ 3) และ R_{p2} (รถคันที่ 4)
- รถรับมอบ R_{p1} มีลำดับเส้นทางขนส่งคือ B-D-E ตามลำดับ
- รถรับมอบ R_{p2} มีลำดับเส้นทางขนส่งคือ G-H-I-F-D ตามลำดับ
- เมื่อพิจารณาเส้นทาง R_a ถ้าจุด D คือจุดส่งของงานส่งที่สนใจ และจุด A คือจุดรับของงานส่งที่สนใจ ดังนั้นรถส่งมอบ R_a สามารถแบ่งเส้นทางออกได้หนึ่งท่อนคือ A-G
- ถ้าในเส้นทางของรถรับมอบ R_{p1} มีจุด B เป็นจุดที่รถเริ่มมีความจุบนรถขนส่งเพียงพอในการรับงาน 1 ดังนั้นรถรับมอบ R_{p1}สามารถแบ่งเส้นทางออกได้หนึ่งท่อนคือ B-D
- ถ้าในเส้นทางของรถรับมอบ R_{p2} มี จุด H เป็นจุดที่รถเริ่มมีความจุบนรถขนส่งเพียงพอในการรับงาน 1 ดังนั้นรถรับมอบ R_{p2} สามารถแบ่งเส้นทางออกได้สามท่อนคือ H-I, I-F, และ F-D
- เมื่อนำมาจับคู่เพื่อพิจารณาหาจุดถ่ายโอนจะได้ทั้งหมด 4 คู่เส้นทาง (1*1 + 1*3) คือ

การจับคู่ path ระหว่าง R_a กับ R_{p1}

- A-G กับ B-D

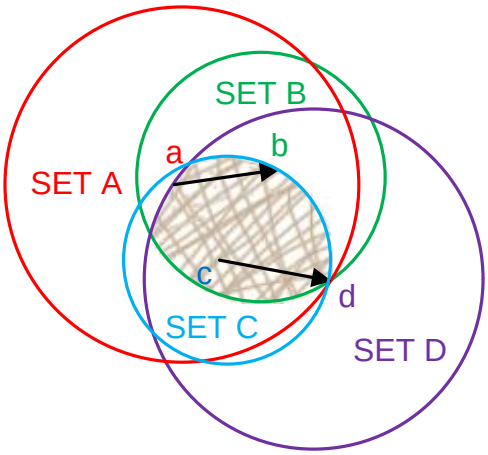
การจับคู่ path ระหว่าง R_a กับ R_{p2}

- A-G กับ H-I
- A-G กับ I-F
- A-G กับ F-D



ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างการแบ่งเส้นทางและจับคู่ระหว่าง R_a กับ R_p

ขั้นตอนถัดไป ในแต่ละคู่จะหาเซทของจุดถ่ายโอนซึ่งเป็นจุดร่วมที่อยู่ระหว่างเส้นทางโดยใช้วิธีการอินเตอร์เซกชัน (Intersection) หรือการดำเนินการของเซตเข้ามาช่วยดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แสดงการอินเตอร์เซกชัน

เมื่อกำหนดให้

a-b คือ ลำดับการขนส่งจากสถานที่ a ไป b ของเส้นทาง R_a

c-d คือ ลำดับการขนส่งจากสถานที่ c ไป d ของเส้นทาง R_p

A เป็นเซทของจุดที่มีระยะห่างจากจุด a ไม่เกินค่า max (d_{ab}, d_{ac}, d_{ad})

B เป็นเซทของจุดที่มีระยะห่างจากจุด b ไม่เกินค่า max (d_{ba}, d_{bc}, d_{bd})

C เป็นเซทของจุดที่มีระยะห่างจากจุด c ไม่เกินค่า max (d_{ca}, d_{cb}, d_{cd})

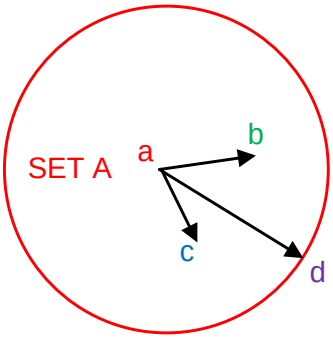
D เป็นเซทของจุดที่มีระยะห่างจากจุด d ไม่เกินค่า max (d_{da}, d_{db}, d_{dc})

E เป็นเซทของจุดที่สามารถทำการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะได้

T เป็นเซทของจุดถ่ายโอนสินค้าที่อยู่ระหว่างคู่เส้นทาง

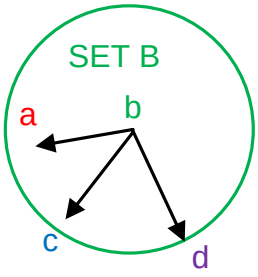
โดยเริ่มจากการหา Set ของจุดถ่ายโอน ดังนี้

1) หาจุดที่อยู่ห่างจากจุด A ไม่เกิน max (d_{ab}, d_{ac}, d_{ad})



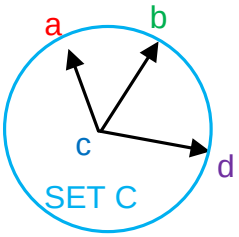
ภาพที่ 4.11 แสดงการหาจุดถ่ายโอนใน Set A

2) หาจุดที่อยู่ห่างจากจุด B ไม่เกิน max (d_{ba}, d_{bc}, d_{bd})



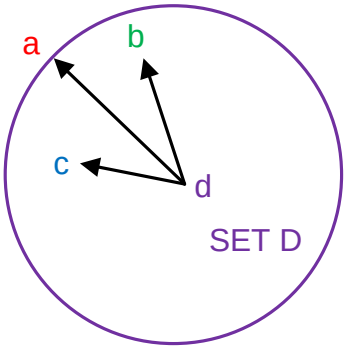
ภาพที่ 4.12 แสดงการหาจุดถ่ายโอนใน Set B

3) หาจุดที่อยู่ห่างจากจุด C ไม่เกิน max (d_{ca}, d_{cb}, d_{cd})



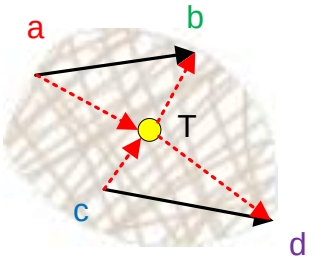
ภาพที่ 4.13 แสดงการหาจุดถ่ายโอนใน Set C

4) หาจุดที่อยู่ห่างจากจุด D ไม่เกิน max (d_{da}, d_{db}, d_{dc})



ภาพที่ 4.14 แสดงการหาจุดถ่ายโอนใน Set D

5) ทำการอินเตอร์เซกหาจุดถ่ายโอนร่วมกัน โดยที่ $T = A \cap B \cap C \cap D \cap E - \{x\}$ ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่ที่เป็นจุดประภาพที่ 4.15 สาเหตุที่มีการตัดจุด x ออกจากการพิจารณาเนื่องจากว่าจุด x เป็นจุดส่งของงานที่ต้องการถ่ายโอน ถ้าหากมีการนำ x มาพิจารณาด้วยแล้วจะผิดหลักการถ่ายโอน เนื่องจากมีการเดินทางของรถส่งโอนไปยังจุด x เหมือนเดิม
6) ในกรณีที่รูปแบบการถ่ายโอนระหว่างยานพาหนะกำหนดให้เป็นเฉพาะแบบการถ่ายโอนภายในเส้นทาง จุดถ่ายโอนสินค้าจะเป็นเฉพาะจุดที่อยู่บนเส้นทางเท่านั้น ดังนั้น $T = (\{a\} \cup \{b\} \cup \{c\} \cup \{d\}) \cap E - \{x\}$
7) เมื่อได้เซทของจุดถ่ายโอนสินค้าแล้วให้คำนวณค่า ID_t ของแต่ละจุด t ดังภาพที่ 4.15 ดังสมการ



ภาพที่ 4.15 การเดินทางไปยังจุดถ่ายโอนเพื่อทำการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง

$$ID_t = (d_{at} + d_{tb} - d_{ab}) + (d_{ct} + d_{td} - d_{cd}) \quad (4.8)$$

เนื่องจากว่าแต่ละจุดจะเกิดระยะการเดินทางเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจมีเท่ากันหรือมีค่าไม่เท่ากัน อย่างไรก็ตามค่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นนี้จะต้องไม่มากกว่าค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุดด้วย ดังสมการ

$$ID_t < MD \quad (4.9)$$

ถ้าค่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นมีค่ามากกว่าค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุด แสดงว่าจุดนั้นไม่สามารถเป็นจุดถ่ายโอนสินค้าของงานส่งอย่างเดียวนี้ได้ ในขั้นตอนต่อไป จะเป็นการพิจารณาเวลารอคอยที่เกิดขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้า ณ จุดถ่ายโอนสินค้า t ใดๆดังสมการ

$$WT_t = |(T_a + t_{at}) - (T_c + t_{ct})| \quad (4.10)$$

ซึ่งถ้าค่า $(\mathrm{T_a} + \mathrm{t_{at}}) - (\mathrm{T_c} + \mathrm{t_{ct}})$ เป็นบวกแสดงว่ารถรับโอนจะเป็นฝ่ายรอ

แต่ถ้าค่า $(\mathrm{T_a} + \mathrm{t_{at}}) - (\mathrm{T_c} + \mathrm{t_{ct}})$ เป็นลบแสดงว่ารถส่งโอนจะเป็นฝ่ายรอ

แต่ถ้าค่า $(\mathrm{T_a} + \mathrm{t_{at}}) - (\mathrm{T_c} + \mathrm{t_{ct}})$ เป็นศูนย์แสดงว่าทั้งรถรับโอนและรถส่งโอนมาเจอกันพอดี ไม่มีฝ่ายใดเป็นฝ่ายที่ต้องรอ

โดยที่

ID_t คือ ค่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งที่จุด t

WT_t คือ เวลารอคอยเนื่องจากการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งที่จุด t

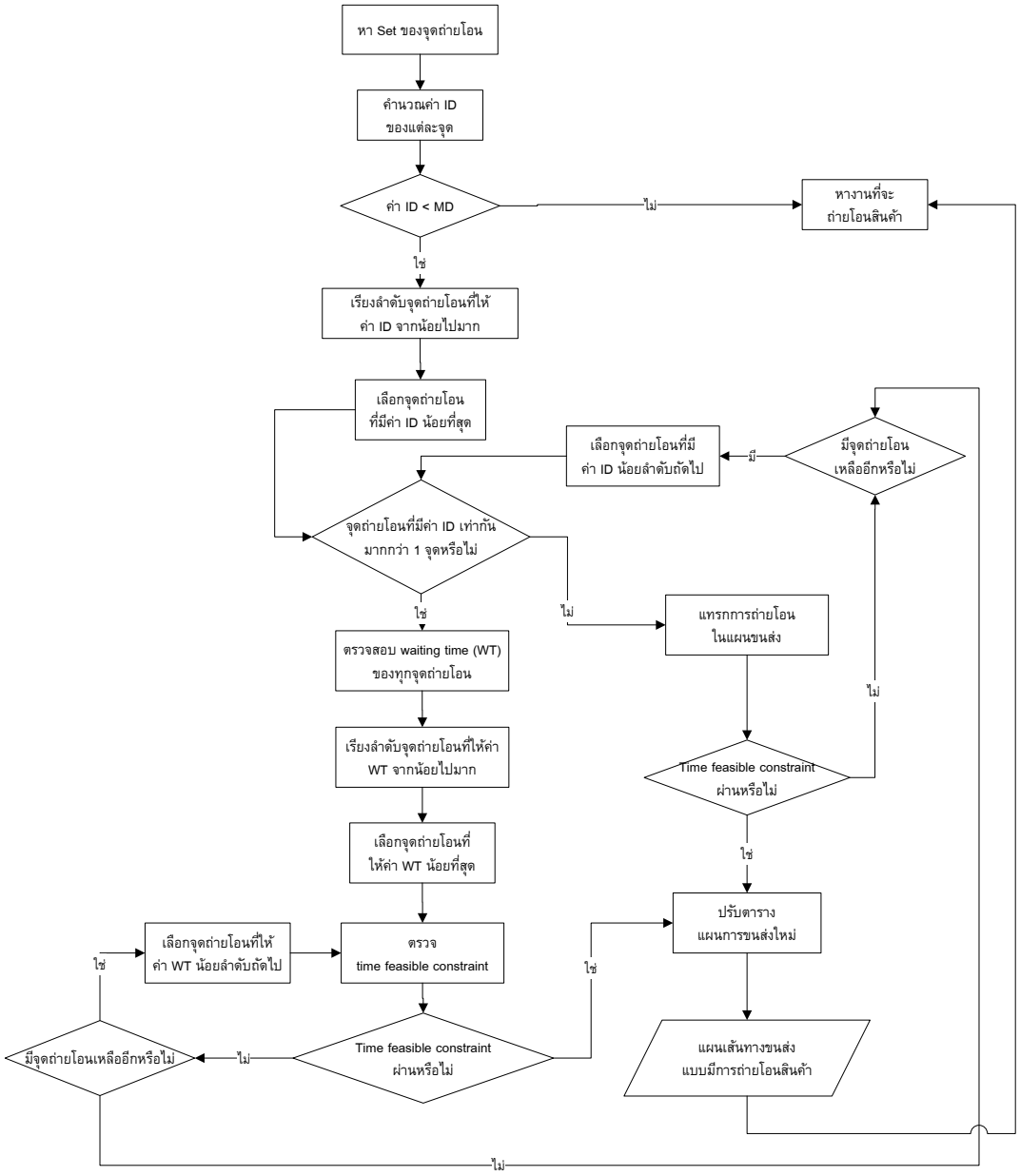
d_{ij} คือ ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปจุด j

t_{ij} คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปจุด j

T_a คือ เวลาที่รถส่งมอบเดินทางไปถึงจุด a

T_c คือ เวลาที่รถรับมอบเดินทางไปถึงจุด c

จากนั้นให้ทดสอบความเป็นไปได้ (feasible) ของจุด t โดยพิจารณาจากผลกระทบต่อข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่สามารถขนส่งได้ของลำดับงานที่เหลืออยู่หลังจากมีการถ่ายโอนสินค้าที่จุด t



ภาพที่ 4.16 ขั้นตอนการหาจุดและช่วงเวลาในการถ่ายโอนสินค้า

ขั้นตอนนี้จะพิจารณาจุด t ไปทีละจุดโดยเรียงตามลำดับค่า ID_t จากค่าน้อยไปมาก ในกรณีที่ ID_t มีค่าเท่ากันให้พิจารณาจาก WT_t ที่มีค่าน้อยก่อน ถ้าจุด t ใดมีความเป็นไปได้ในการถ่ายโอนสินค้าก่อน ให้ทำการปรับตารางแผนการขนส่งใหม่ แล้วเริ่มทำการพิจารณาหางานที่สามารถทำการถ่ายโอนสินค้าได้ในขั้นตอนที่ 2.3 ใหม่อีกครั้งจนกว่าแผนการขนส่งดังกล่าวจะไม่สามารถทำการถ่ายโอนสินค้าได้อีก

4.3 โครงสร้างระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะประกอบด้วยการจัดทำฐานข้อมูล (Data base) โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision-support Structure) และหน้าตาการใช้งานของระบบ (User Interface) ที่สอดคล้องกับฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นดังนี้

1) โครงสร้างฐานข้อมูล (Data base)

ฐานข้อมูลที่เกี่ยวข้องแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มฐานข้อมูลคือ

ก. เส้นทางขนส่ง

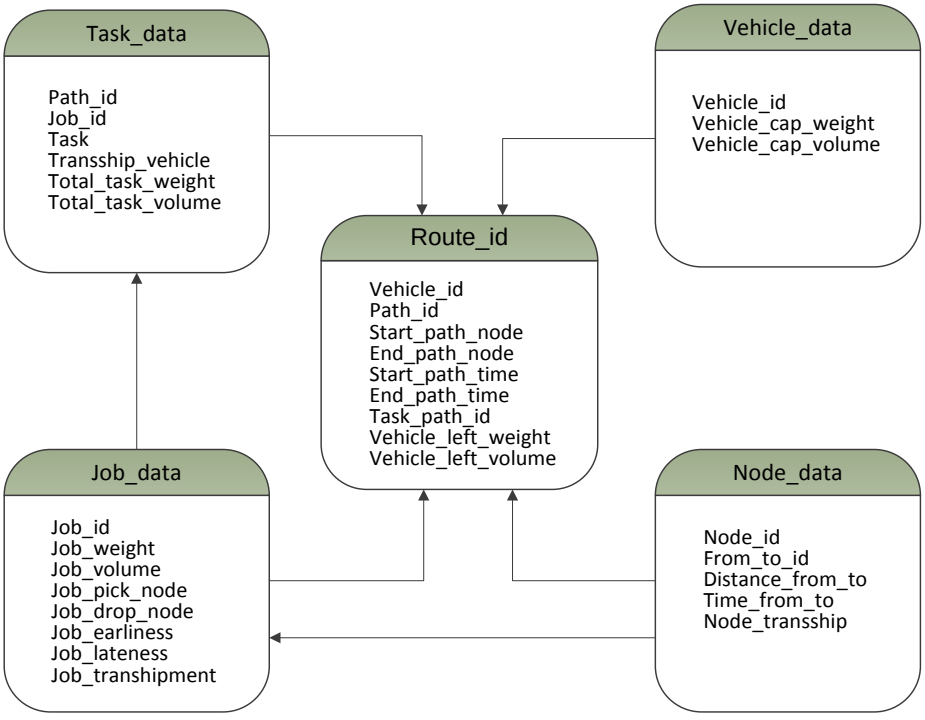
ข. รายละเอียดงานขนส่ง

ค. ข้อมูลรถขนส่ง

ง. ข้อมูลความต้องการขนส่ง

จ. ข้อมูลสถานที่

ซึ่งทั้ง 5 ฐานข้อมูลมีความสัมพันธ์ดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 โครงสร้างความสัมพันธ์ฐานข้อมูล

ตารางที่ 4.9 ฐานข้อมูลเส้นทางขนส่ง

Table Name	Route_data	
Table Description	รายละเอียดเส้นทางขนส่ง	
Data Name	Example	Description
Vehicle_id	1	รหัสรถขนส่ง
Path_id	1	รหัสเส้นทางย่อย
Start_path_node	A	สถานที่เริ่มต้น
End_path_node	A	สถานที่ถัดไป
Start_path_time	27/05/2555 9.00	เวลาเริ่มต้น
End_path_time	27/05/2555 12.00	เวลาถัดไป
Task_path_id	1,2,3,…	รหัสรายละเอียดงาน
Vehicle_left_weight	1000	ความจุน้ำหนักที่เหลือบนรถ
Vehicle_left_volume	500	ความจุปริมาตรที่เหลือบนรถ

ตารางที่ 4.10 ฐานข้อมูลรายละเอียดงานขนส่ง

Table Name	Task_data	
Table Description	รายละเอียดงานขนส่ง	
Data Name	Example	Description
Path_id	1	รหัสเส้นทางย่อย
Job_id	5	รหัสความต้องการขนส่ง
Task	Pick	รับหรือส่งสินค้า
Transship_vehicle	1	รถขนส่งที่มีการถ่ายโอนสินค้า
Total_task_weight	200	ความจุน้ำหนักเบ็ดเสร็จของงานขนส่ง
Total_task_volume	10	ความจุปริมาตรเบ็ดเสร็จของงานขนส่ง

ตารางที่ 4.11 ฐานข้อมูลรถขนส่ง

Table Name	Vehicle_data	
Table Description	รายละเอียดยานพาหนะ	
Data Name	Example	Description
Vehicle_id	1	รหัสรถขนส่ง
Vehicle_cap_weight	1000	ความจุน้ำหนักรถขนส่ง
Vehicle_cap_volume	20	ความจุปริมาตรรถขนส่ง

ตารางที่ 4.12 ฐานข้อมูลความต้องการขนส่ง

Table Name	Job_data	
Table Description	รายละเอียดของความต้องการขนส่ง	
Data Name	Example	Description
Job_id	1	รหัสความต้องการขนส่ง
Job_weight	200	น้ำหนักสินค้า
Job_volume	10	ความจุสินค้า
Job_pick_node	A	จุดรับสินค้า
Job_drop_node	B	จุดส่งสินค้า
Job_earliness	27/05/2555 05.00	เวลาที่สามารถเริ่มรับสินค้าได้
Job_lateness	29/05/2555 18.00	เวลาช้าสุดที่ส่งสินค้าได้
Job_transhipment	1	คุณสมบัติงานที่เกิดการถ่ายโอนสินค้า

ตารางที่ 4.13 ฐานข้อมูลสถานที่

Table Name	Node_data	
Table Description	รายละเอียดข้อมูลสถานที่	
Data Name	Example	Description
Node_id	1	รหัสสถานที่
From_to_id	1	รหัสจากสถานที่ถึงสถานที่
Distance_from_to	100	ระยะทางเดินทางจากสถานที่ถึงสถานที่
Time_from_to	2	ระยะเวลาเดินทางจากสถานที่ถึงสถานที่
Node_transship	1	คุณสมบัติการเป็นจุดถ่ายโอนสินค้า

2) โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision-support Structure)

ข้อมูลต่างๆจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูลแล้วถูกนำมาประมวลผลต่อดังภาพที่ 4.18 ซึ่งกระบวนการทำงานในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าในแต่ละครั้งจะมีลำดับการทำงานดังนี้

ก. เริ่มจากการรับข้อมูลนำเข้าไปเก็บไว้ในฐานข้อมูล

ข. หางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้

ค. เลือกงานที่ต้องการถ่ายโอนสินค้า

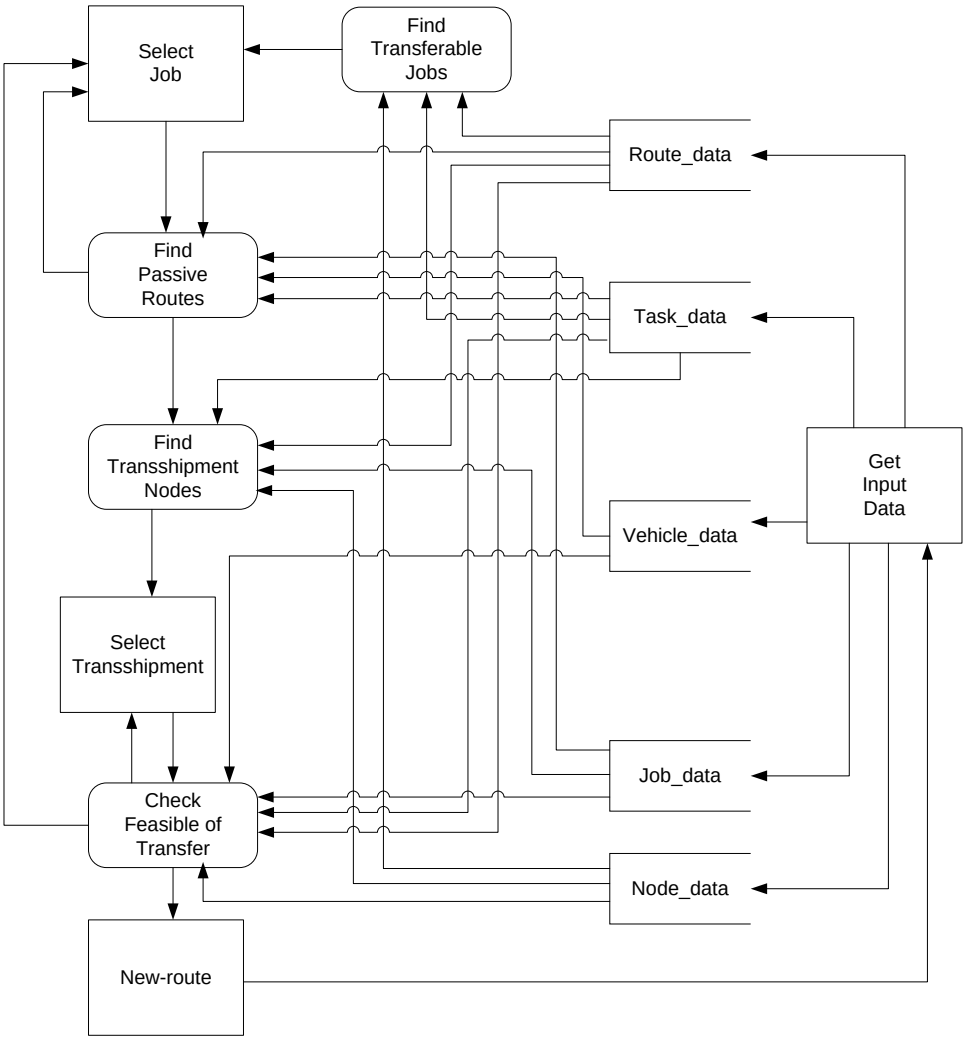
ง. หารถคู่รถที่ใช้ในการถ่ายโอนสินค้า

จ. หาจุดและช่วงเวลาในการถ่ายโอนสินค้า

ฉ. เลือกจุดถ่ายโอน

ช. ทดสอบความเป็นไปได้ของจุดถ่ายโอน ถ้าไม่ผ่านกลับไปเลือกจุดถ่ายโอนใหม่

ซ. ปรับเส้นทางขนส่งแบบมีการถ่ายโอนสินค้า

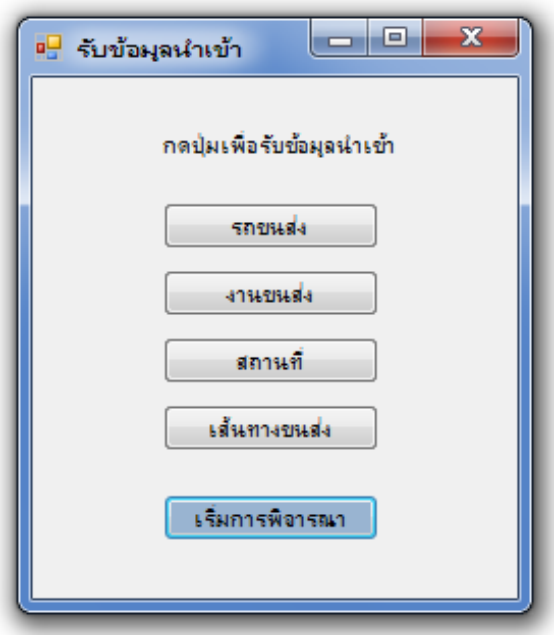


ภาพที่ 4.18 โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

3) หน้าจอการใช้งานของระบบ (User Interface)

จากรูปแบบกระบวนการทำงานและรูปแบบการไหลของข้อมูลที่ออกแบบขึ้น ดังนั้น หน้าตาการใช้งานของระบบที่เอื้อต่อการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าเป็นดังนี้

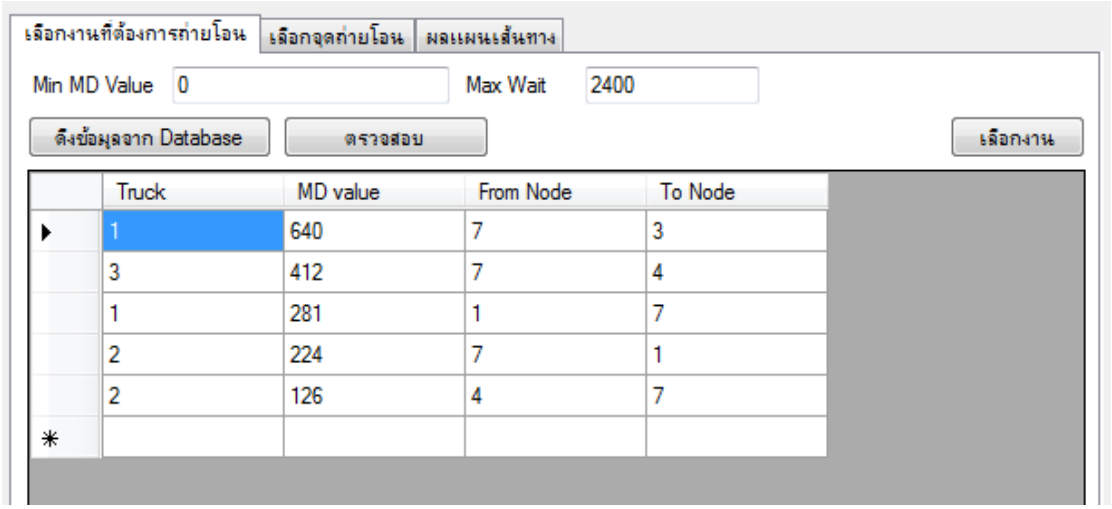
ก. การรับข้อมูลนำเข้า



ภาพที่ 4.19 UI รับข้อมูลนำเข้า

วัตถุประสงค์ เพื่อให้โปรแกรมเชื่อมโยงกับฐานข้อมูลนำเข้าสำหรับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ

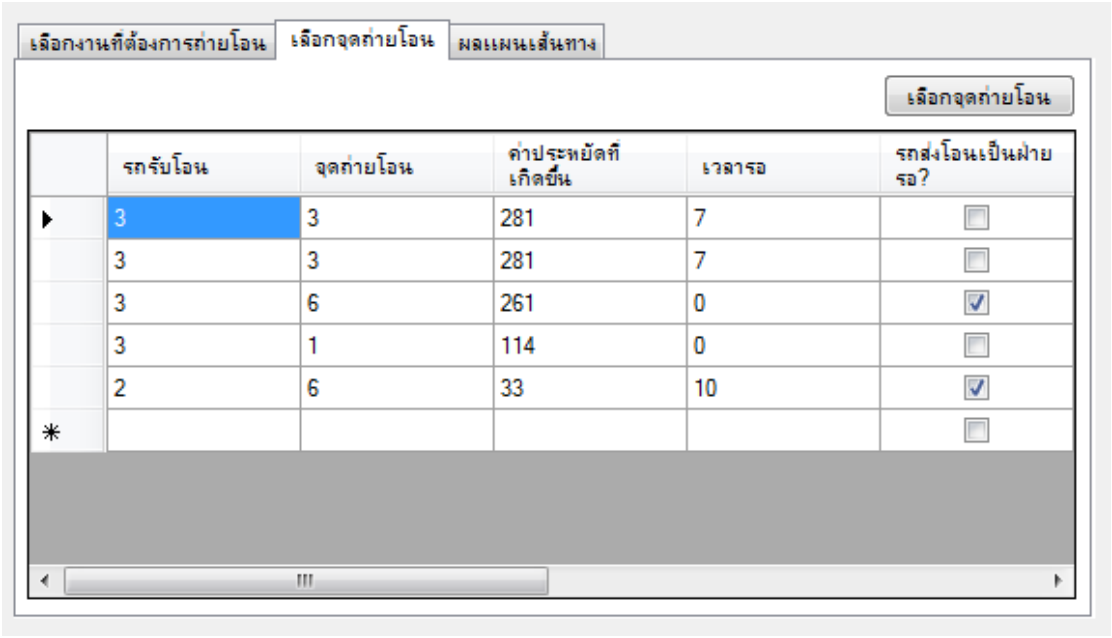
ข. การเลือกงานที่ต้องการถ่ายโอนสินค้า



ภาพที่ 4.20 UI เลือกงานที่ต้องการถ่ายโอน

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อแสดงข้อมูลงานส่งอย่างเดียวของตัวอย่างเส้นทางที่กำลังพิจารณาและเลือกงานที่ต้องการถ่ายโอนสินค้าสำหรับพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าในขั้นตอนถัดไป

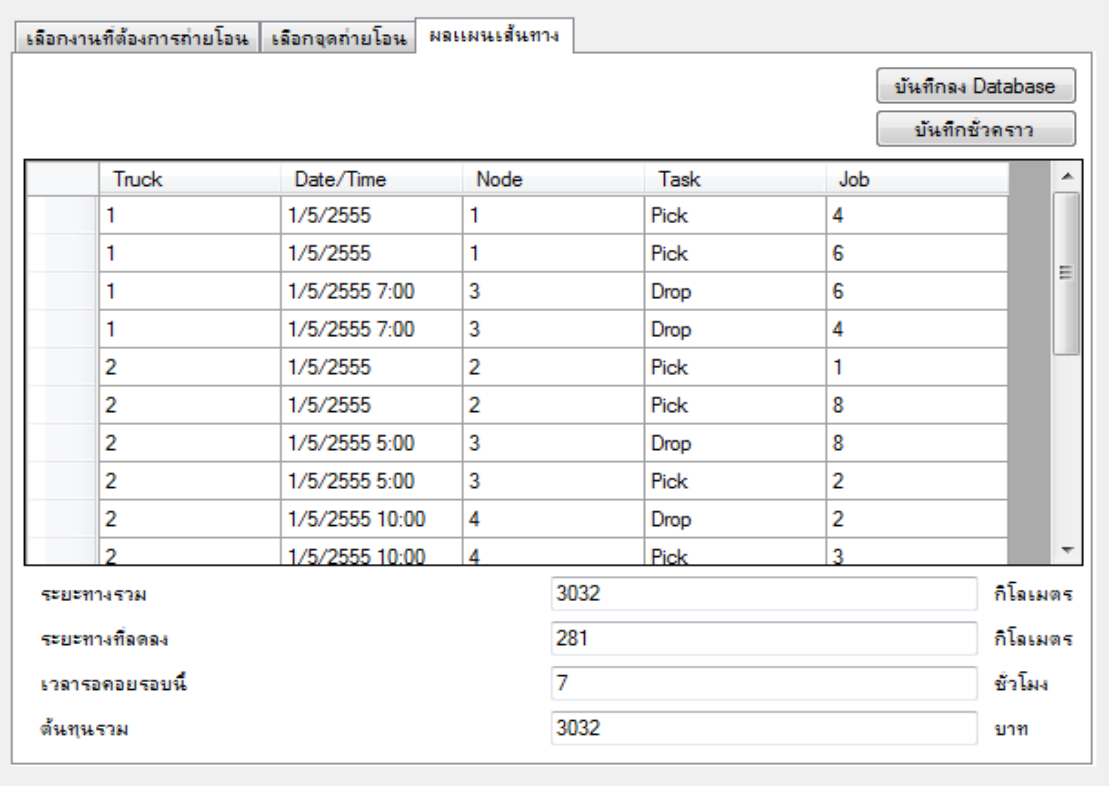
ค. การเลือกจุดถ่ายโอนสินค้า



ภาพที่ 4.21 UI เลือกจุดถ่ายโอน

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อเลือกจุดถ่ายโอนที่สนใจสำหรับให้ระบบไปทำการปรับเส้นทาง

ง. ผลลัพธ์จากการปรับเส้นทางขนส่ง



ภาพที่ 4.22 UI ผลลัพธ์เส้นทางขนส่ง

<u>วัตถุประสงค์</u> เพื่อแสดงผลที่เกิดจากการปรับเปลี่ยนเส้นทาง และกดยืนยันเส้นทางเพื่อนำไปเก็บแทนที่แผนเส้นทางเดิมสำหรับเป็นข้อมูลนำเข้าในการพิจารณาการถ่ายโอนอีกใหม่ครั้ง

บทที่ 5

การทดสอบระบบ

การทดสอบระบบในที่นี้เป็นการทดสอบเพื่อประเมินฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมา ซึ่งสามารถแบ่งประเด็นการประเมินออกได้ 4 ประเด็นคือ เรื่องของลำดับการเลือกงานในการพิจารณาถ่ายโอนสินค้า ปัจจัยที่มีผลต่อ คุณภาพของคำตอบ และด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ จุดถ่ายโอน และรูปแบบของเส้นทางที่เหมาะสม ซึ่งการประเมินดังกล่าวเกิดจากทดสอบกับตัวอย่างแผนเส้นทางขนส่งเบื้องต้น โดยแผนเส้นทางขนส่งทั้งหมดสร้างขึ้นด้วยวิธีการดังนี้

1) สุ่มสถานที่ซึ่งเกิดจากการกำหนดพิกัดจุดภายในระยะพิกัด 9x9 จำนวน 5-8 จุด
2) ระยะทางระหว่างสถานที่เกิดจากการคำนวณระยะทางระหว่างจุด ด้วยสูตรการคำนวณดังสมการ (5.1)

$$\text{ระยะทางระหว่างจุดใดๆ} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \tag{5.1}$$

3) ระยะเวลาเดินทางระหว่างสถานที่แปรผันตรงกับระยะทางระว่างสถานที่ ด้วยการกำหนดความเร็วดังสมการ (5.2)

$$\text{ระยะเวลา} = \frac{\text{ระยะทางความเร็วเฉลี่ย}}{} \tag{5.2}$$

4) สุ่มจำนวนความต้องการขนส่ง 8-10 งาน โดยที่แต่ละงาน
    ก. สุ่มขนาดน้ำหนักสินค้าที่ 10%, 20%, 30%, 40% และ 50% ของความจุรถ
    ข. กำหนดขนาดปริมาตรสินค้าแปรผันตรงกับขนาดน้ำหนักสินค้า
    ค. สุ่มจุดรับและจุดส่งของความต้องการขนส่งภายใต้สถานที่ที่สร้างขึ้นมา
    ง. กำหนดให้งานทุกงานสามารถเริ่มทำงาน (earliness time) ได้ตั้งแต่เวลาที่ 0 (หน่วยชั่วโมง) เพื่อให้ง่ายต่อการจัดเส้นทางเบื้องต้น
    จ. กำหนดเวลาสุดท้ายที่สามารถส่งสินค้าได้ (lateness time) ซึ่งเกิดจากการสุ่มเวลาที่ 24, 48 และ 72 (หน่วยชั่วโมง)
    ฉ. สร้างเส้นทางด้วย วิธีการ Push forward insertion ภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งและข้อจำกัดด้านเวลาของการส่งสินค้า

5.1 ประเด็นลำดับการเลือกงานในการพิจารณาถ่ายโอนสินค้า

จากการทดสอบ กับตัวอย่างเส้นทาง พบว่า ลำดับการเลือกงานในขั้นตอนการ หางานที่สามารถถ่ายโอนได้ นั้นมีผลต่อระยะทางรวมที่สามารถลดลงได้ จริง (Total actual saving distance) หรือ ระยะทางสุดท้าย ของเส้นทางขนส่งที่มีการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าเสร็จแล้ว (Final Distance) ซึ่งค่าการประหยัดจริงจะมีค่าเท่ากับค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุดลบด้วย ค่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเดินทางไปถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง ดังสมการ (5.3) และ (5.4)

$$SD_d = MD_d - ID_d \tag{5.3}$$

$$TSD = \sum_{i=1}^{n} SD_i \ , i = 1..n \tag{5.4}$$

โดยที่

D คือ เซทของงานส่งอย่างเดียว

d คือ งานส่งอย่างเดียว, $d \in D$

n คือ จำนวนครั้งของการพิจารณาการถ่ายโอน

SD_d คือ ค่าการประหยัดเส้นทางจริง (Actual saving distance) ของงาน d

TSD คือ ระยะทางรวมที่สามารถลดลงได้จริง (Total actual saving distance)

การแสดงกระบวนการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าในแต่ละครั้ง แสดงดังตัวอย่างต่อไปนี้ โดยมีรายละเอียดของเส้นทางเริ่มต้นและระยะทางระหว่างจุดแสดงดังตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 ตามลำดับ ส่วนตารางที่ 5.3 เป็นการแสดงให้เห็นถึงระยะทางสุดท้ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการพิจารณาถ่ายโอนสินค้า ในแต่ละครั้ง ด้วยวิธีการเลือกงานที่มีลำดับแตกต่างกัน โดยที่ ตัวอย่างเส้นทางนี้มีระยะทางตั้งต้นเท่ากับ 3579

- ในการพิจารณาการถ่ายโอนครั้งแรก พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 5 งาน มีค่า MD เท่ากับ 361, 316, 316, 261 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งสามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้เกือบทุกงานยกเว้นงานที่มี MD เท่ากับ 361 โดยระยะทางสุดท้ายที่เกิดขึ้นเมื่อมีการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าของงานที่มี MD เท่ากับ 316, 316, 261 และ 128 มีค่า 3487, 3455, 3318 และ 3451 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 แผนเส้นทางตัวอย่างตั้งต้น

Truck	Date/Time	Node	Task	Job
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	3
1	1/5/2012 4:00	9	Pick	1
1	1/5/2012 4:00	9	Drop	3
1	1/5/2012 7:00	8	Drop	1
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	4
2	1/5/2012 4:00	3	Pick	9
2	1/5/2012 4:00	3	Drop	4
2	1/5/2012 7:00	4	Pick	7
2	1/5/2012 10:00	5	Pick	5
2	1/5/2012 10:00	5	Drop	9
2	1/5/2012 12:00	6	Drop	7
2	1/5/2012 15:00	9	Drop	5
3	1/5/2012 0:00	3	Pick	6
3	1/5/2012 0:00	3	Pick	2
3	1/5/2012 5:00	8	Drop	2
3	1/5/2012 8:00	9	Pick	8
3	1/5/2012 8:00	9	Drop	6
3	1/5/2012 11:00	6	Drop	8

ตารางที่ 5.2 ระยะทางระหว่างจุดของแผนเส้นทางขนส่งตั้งต้น

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	283	224	400	583	640	200	447	412
2	283	0	412	283	316	361	200	200	224
3	224	412	0	361	640	762	224	500	600
4	400	283	361	0	316	500	200	200	500
5	583	316	640	316	0	224	424	141	412
6	640	361	762	500	224	0	539	300	316
7	200	200	224	200	424	539	0	283	412
8	447	200	500	200	141	300	283	0	361
9	412	224	600	500	412	316	412	361	0

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างผลลัพธ์จากลำดับการเลือกงานที่แตกต่างกัน

ระยะทางเริ่มต้น 3579							
ครั้งที่1		ครั้งที่2		ครั้งที่3		ครั้งที่4	
MD	ระยะทางหลังการถ่ายโอน	MD	ระยะทางหลังการถ่ายโอน	MD	ระยะทางหลังการถ่ายโอน	MD	ระยะทางหลังการถ่ายโอน
361	-						
316	3487	361	-				
		316	-				
		261	***3226***	361	-		
				316	-		
				128	-		
		128	-				
316	3455	361	-				
		316	3363	361	-		
				224	-		
				40	-		
				1	***3362***		
		224	-				
		40	***3415***	361	-		
				316	-		
				300	-		
		1	3454	361	-		
				316	***3362***	361	-
						224	-
						40	-
				224	-		
				40	-		
261	3318	361	-				
		316	-				
		316	***3326***	361	-		
				316	-		
				128	-		
		128	***3190***	361	-		
				316	-		
128	3451	361	-				
		316	-				
		261	***3190***	361	-		
				316	-		

- ในการพิจารณาการถ่ายโอนครั้งที่สอง พบว่า
  - การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3487 พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 3 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316 และ 261 ตามลำดับ ซึ่งงานที่มีค่า MD เท่ากับ 261 สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้เพียงงานเดียว โดยได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3326
  - การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3455 พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 5 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316, 224, 40 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งงานที่มีค่า MD เท่ากับ 316, 40 และ 1 สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้า โดยได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3363, 3415 และ 3454 ตามลำดับ
  - การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3318 พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 4 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316, 316 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งงานที่มีค่า MD เท่ากับ 316 (ตัวที่ 2) และ 128 สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้า โดยได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3326 และ 3190 ตามลำดับ
  - การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3451 พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 3 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316 และ 261 ตามลำดับ ซึ่งงานที่มีค่า MD เท่ากับ 261 สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้เพียงงานเดียว โดยได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3190
- ในการพิจารณาการถ่ายโอนงานที่สาม พบว่า
  - การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3226 พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 3 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316 และ 126 ตามลำดับ ซึ่งทุกงานไม่สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้ต่ออีก
  - การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3363 พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 4 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 224 ,40 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งงานที่มีค่า MD เท่ากับ 1 สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้เพียงงานเดียว โดยได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3362
  - การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3415 พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 3 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316 และ 300 ตามลำดับ ซึ่งทุกงานไม่สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้ต่ออีก

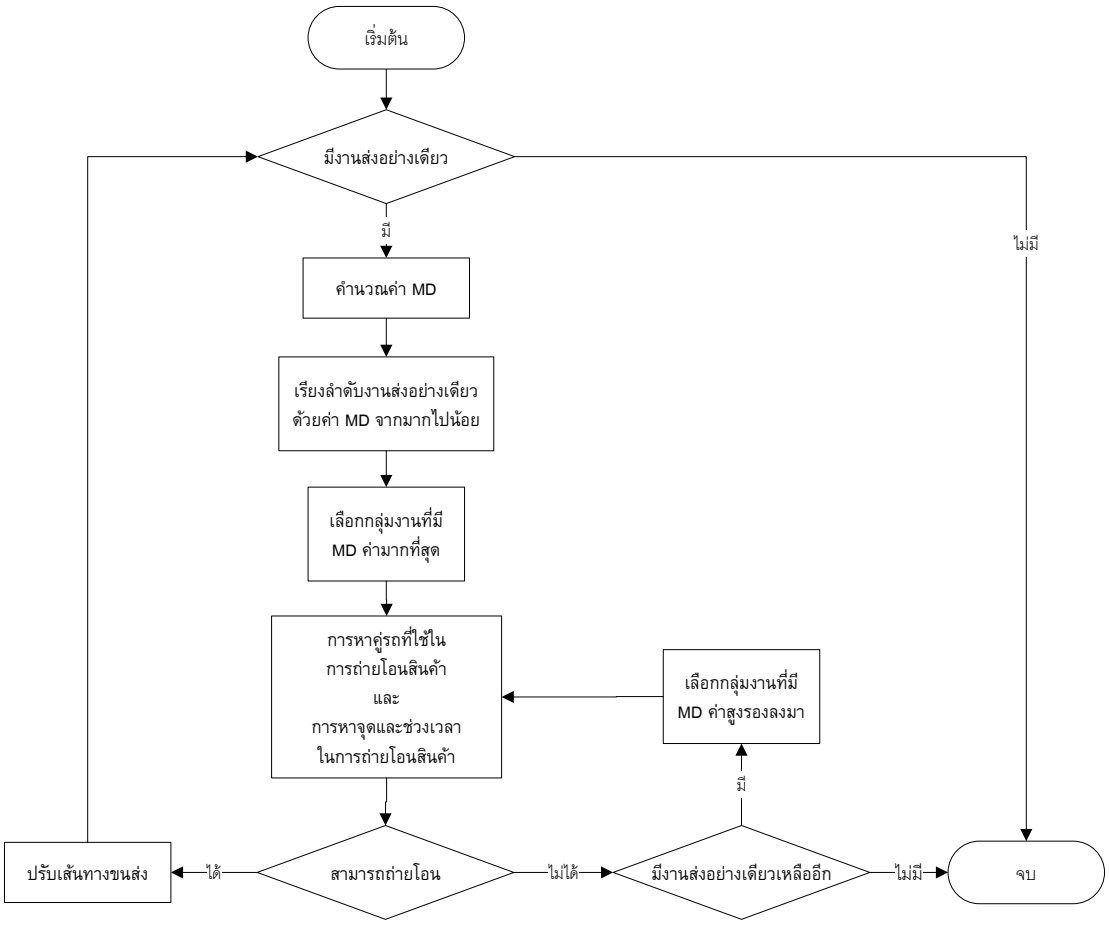
- การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3454 พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 4 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316, 224 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งงานที่มีค่า MD เท่ากับ 316 สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้เพียงงานเดียว โดยได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3362
- การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3326 พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 3 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316 และ128 ตามลำดับ ซึ่งทุกงานไม่สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้ต่ออีก
- การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3190 (MD ตั้งต้นในครั้งแรกเท่ากับ 261) พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 2 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361 และ316 ตามลำดับ ซึ่งทุกงานไม่สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้ต่ออีก
- การพิจารณาถ่ายโอนต่อจากเส้นทางที่มีระยะทางเท่ากับ 3190 (MD ตั้งต้นในครั้งแรกเท่ากับ 128) พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 2 งาน ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361 และ316 ตามลำดับ ซึ่งทุกงานไม่สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้ต่ออีก

จะเห็นได้ว่าตัวอย่างเส้นทางนี้จากเดิมมีระยะทางตั้งต้นเท่ากับ 3579 เมื่อพิจารณาถ่ายโอนสินค้าแล้วสามารถหาคำตอบได้ดีที่สุดคือระยะทางสุดท้ายมีค่าเท่ากับ 3190 เมื่อมีลำดับการเลือกงานดังนี้คือ MD261- MD128 ตามลำดับ หรือ MD128 - MD261 ตามลำดับ ส่วนคำตอบที่แย่ที่สุดคือมีระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3415 เมื่อมีลำดับการเลือกงานดังนี้คือ MD316 – MD40 ตามลำดับ

จากตัวอย่างแสดงให้เห็นว่าการพิจารณาถ่ายโอนสินค้าในแต่ละครั้ง ของงานถ่ายโอนที่แตกต่างกันจะให้ผลที่มีลักษณะเป็นไดนามิก (Dynamic) คือสามารถให้คำตอบที่เปลี่ยนแปลงไปได้เสมอ ซึ่งไม่สามารถคาดเดาได้ว่าควรมีลำดับการเลือกงานอย่างไรจึงจะได้คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นในประเด็นการเลือกงานนี้ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบวิธีการเลือกงานเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกงาน โดยมีแนวทางการเลือกงาน 4 วิธีคือ

1) MD – Selection

เป็นการเลือกงานเรียงตามลำดับค่า การประหยัดสูงสุด จากค่ามากไปค่าน้อย เหตุผลเนื่องจากว่างานที่มีค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุดค่ามากนั้นจะมีโอกาสในการถ่ายโอนมากกว่างานอื่น เพราะขอบเขตระยะทางในการเลือกจุดถ่ายโอนมีขนาดกว้างกว่าเมื่อเทียบกับขอบเขตระยะทางของงานที่มีค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุดค่าน้อยกว่า โดยมีกระบวนการดังภาพที่ 5.1



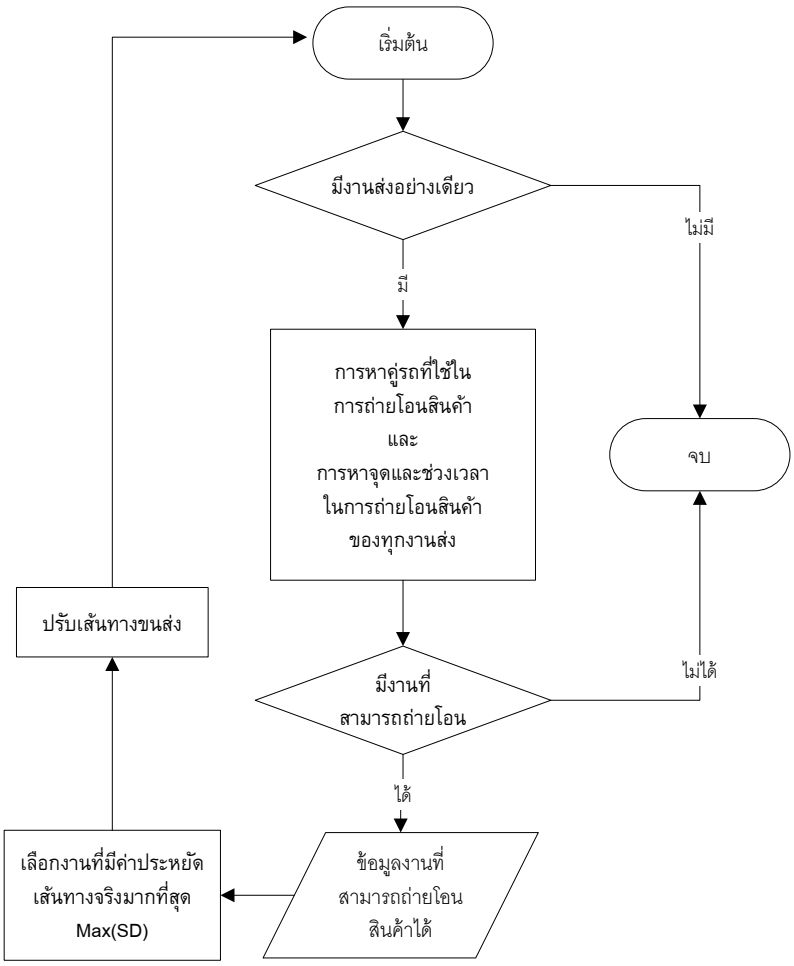
ภาพที่ 5.1 กระบวนการเลือกงานแบบ MD-Selection

ตัวอย่างเช่นจาก ตารางที่ 5.3 ถ้าเลือกงานด้วยวิธี MD-Selection ในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าในครั้งแรกจะเลือกงานที่มี MD เท่ากับ 361 เนื่องจากมีค่า MD สูงที่สุด แต่เนื่องจากงานนี้ไม่สามารถทำการถ่ายโอนได้ จึงเปลี่ยนไปเลือกพิจารณางานที่มี MD มากรองลงมาเท่ากับ 316 ได้ระยะทางเท่ากับ 3487 จากนั้นเมื่อพิจารณาการถ่ายโอนต่อในครั้งที่สองจะได้งานส่งที่มี MD เท่ากับ 361, 316 และ 261 ซึ่งเราจะเลือกพิจารณางานที่มี MD เท่ากับ 361 ก่อน แต่เนื่องจากงานนี้ไม่สามารถทำการถ่ายโอนได้ จึงเปลี่ยนไปเลือกพิจารณางานที่มี MD เท่ากับ 316 ซึ่งงานนี้ก็ไม่สามารถทำการถ่ายโอนได้อีกเช่นกัน จึงเปลี่ยนไปเลือกพิจารณางานที่มี MD เท่ากับ 261 ซึ่งพบว่าสามารถทำการถ่ายโอนได้ ได้ระยะทางเท่ากับ 3226 จากนั้นเมื่อพิจารณาการถ่ายโอนต่อในครั้งที่สามจะได้งานส่งที่มี MD เท่ากับ 361, 316 และ 128 พบว่าไม่สามารถทำการถ่ายโอนงานใดได้เลย ดังนั้นการเลือกงานด้วยวิธี MD-Selection จะได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3226 โดยสามารถสรุปลำดับการพิจารณาดังนี้

ครั้งที่ 1 พิจารณา MD361 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
ครั้งที่ 2 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 92
เลือกถ่ายโอนงานนี้และปรับเส้นทางขนส่ง
เริ่มหางานที่สามารถถ่ายโอนใหม่
ครั้งที่ 3 พิจารณา MD361 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
ครั้งที่ 4 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
ครั้งที่ 5 พิจารณา MD216 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 261
เลือกถ่ายโอนงานนี้และปรับเส้นทางขนส่ง
เริ่มหางานที่สามารถถ่ายโอนใหม่
ครั้งที่ 6 พิจารณา MD361 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
ครั้งที่ 7 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
ครั้งที่ 8 พิจารณา MD128 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
สิ้นสุดการพิจารณา

2) Saving-Selection

เป็นการเลือกงานเรียงตามลำดับค่าการประหยัดจริงสูงสุดจากค่ามากไปค่าน้อย เหตุผลเนื่องจากว่าผลลัพธ์สุดท้ายของการพิจารณาการถ่ายโอนจะเกิดจากผลรวมของค่าการประหยัดเส้นทางจริง ดังนั้นถ้าแต่ละครั้งของการพิจารณาการถ่ายโอนมีค่าการประหยัดจริงมาก อาจจะส่งผลให้เส้นทางสุดท้ายหลังจากการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้ามีระยะทางลดลงจากเดิมเป็นจำนวนมาก โดยมีกระบวนการดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 กระบวนการเลือกงานแบบ Saving-Selection

ตัวอย่างเช่นจากตารางที่ 5.3 ถ้าเลือกงานด้วยวิธี Saving-Selection ในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าในครั้งแรก พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 5 งาน โดยมีค่า MD เท่ากับ 361, 316, 316, 261 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งเราจะพิจารณาการถ่ายโอนทุกงาน จากการทดสอบพบว่างานที่มี MD เท่ากับ 361 ไม่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้เพียงงานเดียว ส่วนงานอื่นเมื่อพิจารณาการถ่ายโอนแล้วสามารถเกิดการประหยัดจริงเท่ากับ 92, 124, 261 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลให้ได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3487, 3455, 3318 และ 3451 ตามลำดับ ดังนั้นในการพิจารณาการถ่ายโอนครั้งแรกงานที่สามารถทำให้เกิดการถ่ายโอนสินค้าและมีค่าการประหยัดจริงสูงที่สุดคืองานที่มี MD เท่ากับ 261 ดังนั้นเราจะเลือกทำการถ่ายโอนงานขนส่งนี้ จากนั้นเมื่อพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าต่อในครั้งที่ 2 พบว่าเกิดงานส่งอย่างเดียว 4 งานโดยมี MD เท่ากับ 361, 316, 316 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาการถ่ายโอนแล้วพบว่างานที่มี MD เท่ากับ 361 และ 316 แรกไม่สามารถเกิดการถ่ายโอนสินค้าได้ ส่วนงานที่มี MD เท่ากับ 316

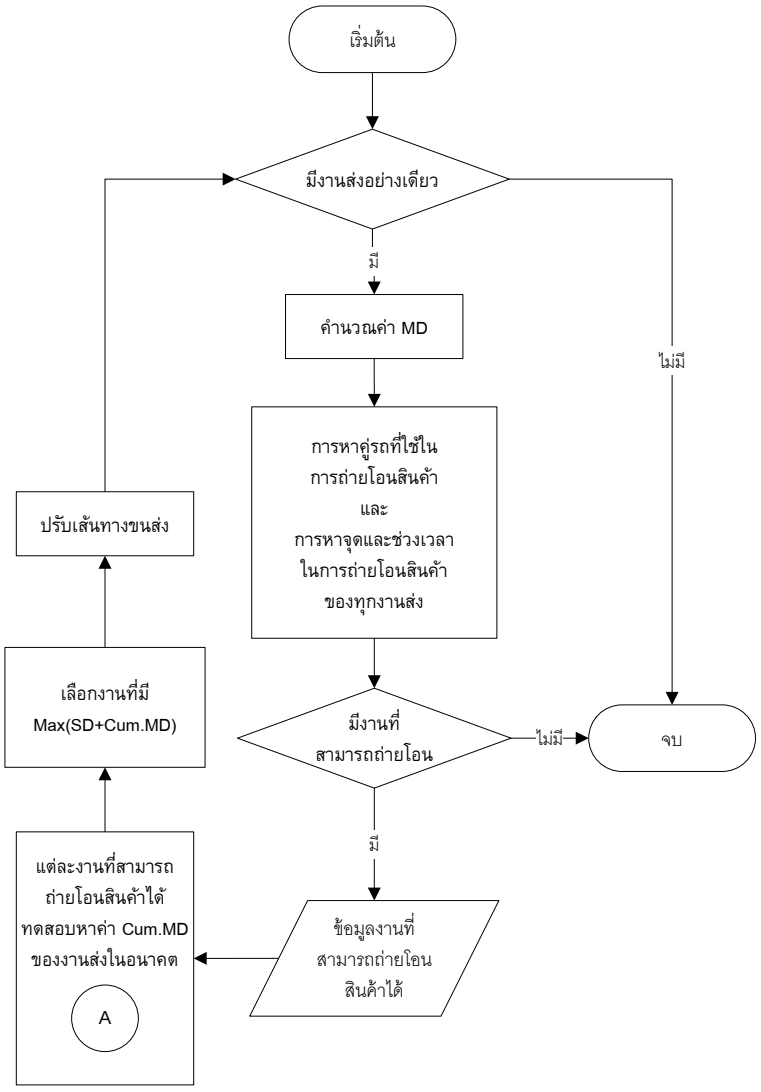
ตัวหลังและ 128 สามารถเกิดการถ่ายโอนและเกิดค่าการประหยัดจริงเท่ากับ 92 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งจะส่งผลให้ได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3226 และ 3190 ตามลำดับ ดังนั้นในการพิจารณาการถ่ายโอนครั้งที่สองจะเลือกทำการถ่ายโอนงานที่มี MD เท่ากับ 128 เนื่องจากเกิดค่าการประหยัดจริงสูงที่สุด จากนั้นเมื่อพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าต่อในครั้งที่ 3 พบว่าเกิดงานส่งอย่างเดียว 2 งานโดยมี MD เท่ากับ 361 และ 316 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนพบว่าทั้งสองงานไม่สามารถเกิดการถ่ายโอนงานได้ ดังนั้นการพิจารณาการถ่ายโอนโดยใช้วิธีการเลือกงานแบบ Saving-Selection จะได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3190 โดยสามารถสรุปลำดับการพิจารณาดังนี้

ครั้งที่ 1 พิจารณา MD361 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
ครั้งที่ 2 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 92
ครั้งที่ 3 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 124
ครั้งที่ 4 พิจารณา MD261 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 261
ครั้งที่ 5 พิจารณา MD128 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 128
เลือกงานที่มี MD เท่ากับ 261 และ SD เท่ากับ 261 และปรับเส้นทางขนส่งเริ่มหางานที่สามารถถ่ายโอนใหม่
ครั้งที่ 6 พิจารณา MD361 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
ครั้งที่ 7 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
ครั้งที่ 8 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 92
ครั้งที่ 9 พิจารณา MD128 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 128
เลือกงานที่มี MD เท่ากับ 128 และ SD เท่ากับ 128 และปรับเส้นทางขนส่งเริ่มหางานที่สามารถถ่ายโอนใหม่
ครั้งที่ 10 พิจารณา MD361 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
ครั้งที่ 11 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนไม่ได้
สิ้นสุดการพิจารณา

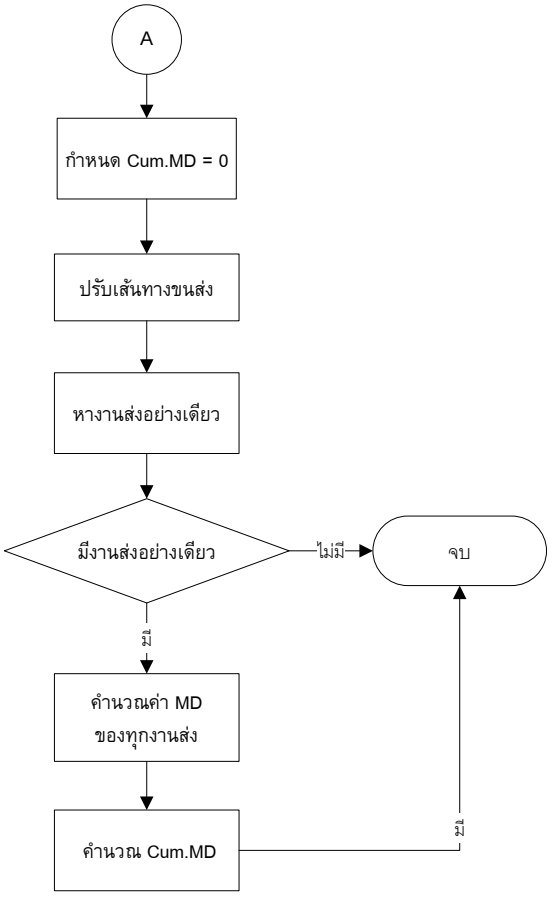
3) Saving & MD-Selection

เป็นการเลือกงานเรียงตามลำดับผลรวมของค่าการประหยัดจริง (SD) กับค่าการประหยัดสูงสุด รวมที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต (Cumulative MD) จากค่ามากไปค่าน้อย วิธีนี้จะประยุกต์วิธีการเลือกงานวิธีที่ 1) กับวิธีการเลือกงานวิธีที่ 2) เข้าด้วยกัน เหตุผลเนื่องจากว่าในวิธีการเลือกงานเรียงตามลำดับค่าการประหยัดสูงสุดจากค่ามาก

ไปค่าน้อย (MD – Selection) จะเป็นพิจารณาจากโอกาสที่สามารถเกิดขึ้นได้ แต่มีข้อเสียคือวิธีนี้ไม่ทราบว่างานที่เลือกพิจารณามีการประหยัดจริงจะเป็นอย่างไร ส่วนวิธีการเลือกงานเรียงตามลำดับค่าการประหยัดจริงสูงสุดจากค่ามากไปค่าน้อย (Saving-Selection) เป็นการพิจารณาจากค่าการประหยัดที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งทำให้เราทราบค่าการประหยัดที่แน่นอน แต่ไม่อาจทราบว่าในอนาคตจะสามารถเกิดการประหยัดได้มาก-น้อยเพียงใด โดยมีกระบวนการดังภาพที่ 5.3 และภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.3 กระบวนการเลือกงานแบบ Saving &MD Selection (ตอน1)



ภาพที่ 5.4 กระบวนการเลือกงานแบบ Saving &MD Selection (ตอน2)

ตัวอย่างเช่นจากตารางที่ 5.3 ถ้าเลือกงานด้วยวิธี Saving & MD-Selection ในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าในครั้งแรก พบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 5 งาน โดยมีค่า MD เท่ากับ 361, 316, 316, 261 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งงานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้คือ งานที่มี MD เท่ากับ 316, 316, 261 และ 128 ซึ่งมีค่า SD เท่ากับ 92, 124, 261 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละงานที่สามารถถ่ายโอนได้จะทดลองพิจารณาปรับเส้นทางและหางานส่งอย่างเดียวที่จะเกิดขึ้นในอนาคตดังนี้

- MD316-SD92 มีงานส่งในอนาคตซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316, 261 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า Cum.MD เท่ากับ 1066 ดังนั้น SD + Cum.MD มีค่าเท่ากับ 1158
- MD316-SD124 มีงานส่งในอนาคตซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316, 224, 40 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า Cum.MD เท่ากับ 942 ดังนั้น SD + Cum.MD มีค่าเท่ากับ 1066

- MD261-SD261 มีงานส่งในอนาคตซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316, 316 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า Cum.MD เท่ากับ 1121 ดังนั้น SD + Cum.MD มีค่าเท่ากับ 1382
- MD128-SD128 มีงานส่งในอนาคตซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316 และ 261 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า Cum.MD เท่ากับ 938 ดังนั้น SD + Cum.MD มีค่าเท่ากับ 1066

เนื่องจาก MD261-SD261 มีค่า SD + Cum.MD สูงที่สุด ดังนั้นในครั้งแรกจะทำการถ่ายโอนงาน MD261 ก่อน ซึ่งจะได้ระยะทางใหม่เท่ากับ 3318 จากนั้นเมื่อพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าต่อในครั้งที่ 2 พบว่าเกิดงานส่งอย่างเดียว 4 งานโดยมี MD เท่ากับ 361, 316, 316 และ128 ตามลำดับ ซึ่งงานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้คืองานที่มี MD เท่ากับ 316 (ตัวที่ 2) และ 128 ซึ่งมีค่า SD เท่ากับ 92 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งในแต่ละงานที่สามารถถ่ายโอนได้จะทดลองพิจารณาปรับเส้นทางและหางานส่งอย่างเดียวที่จะเกิดขึ้นในอนาคตดังนี้

- MD316-SD92 มีงานส่งในอนาคตซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361, 316 และ 128 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า Cum.MD เท่ากับ 805 ดังนั้น SD + Cum.MD มีค่าเท่ากับ 897
- MD128-SD128 มีงานส่งในอนาคตซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 361 และ 316 ตามลำดับ ซึ่งมีค่า Cum.MD เท่ากับ 677 ดังนั้น SD + Cum.MD มีค่าเท่ากับ 805

เนื่องจาก MD316-SD92 มีค่า SD + Cum.MD สูงที่สุด ดังนั้นในครั้งที่สองจะทำการถ่ายโอนงาน MD316 ซึ่งจะได้ระยะทางใหม่เท่ากับ 3226 จากนั้นเมื่อพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าต่อในครั้งที่ 3 พบว่าเกิดงานส่งอย่างเดียว 2 งาน ซึ่งไม่สามารถทำการถ่ายโอนสินค้าได้เลย ดังนั้นการพิจารณาการถ่ายโอนโดยใช้วิธีการเลือกงานแบบ Saving &MD-Selection จะได้ระยะทางสุดท้ายเท่ากับ 3226 โดยสามารถสรุปลำดับการพิจารณาดังนี้

ครั้งที่ 1 พิจารณา MD361 ทำการถ่ายโอนไม่ได้

ครั้งที่ 2 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 92 เมื่อทดลองปรับเส้นทางพบว่าจะเกิดงานส่งอย่างเดียวในอนาคตจำนวน 4 งานที่มี Cum.MD เท่ากับ 1066

ครั้งที่ 3 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 124 เมื่อทดลองปรับเส้นทางพบว่าจะเกิดงานส่งอย่างเดียวในอนาคตจำนวน 5 งานที่มี Cum.MD เท่ากับ 942

ครั้งที่ 4 พิจารณา MD261 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 261 เมื่อทดลองปรับเส้นทางพบว่าจะเกิดงานส่งอย่างเดียวในอนาคตจำนวน 4 งานที่มี Cum.MD เท่ากับ 1121

ครั้งที่ 5 พิจารณา MD128 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 128 เมื่อทดลองปรับเส้นทางพบว่าจะเกิดงานส่งอย่างเดียวในอนาคตจำนวน 5 งานที่มี Cum.MD เท่ากับ 938

เลือกงานที่มี MD เท่ากับ 261 และ SD เท่ากับ 261 และปรับเส้นทางขนส่ง

เริ่มหางานที่สามารถถ่ายโอนใหม่

ครั้งที่ 6 พิจารณา MD361 ทำการถ่ายโอนไม่ได้

ครั้งที่ 7 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนไม่ได้

ครั้งที่ 8 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 92 เมื่อทดลองปรับเส้นทางพบว่าจะเกิดงานส่งอย่างเดียวในอนาคตจำนวน 3 งานที่มี Cum.MD เท่ากับ 805

ครั้งที่ 8 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 92 เมื่อทดลองปรับเส้นทางพบว่าจะเกิดงานส่งอย่างเดียวในอนาคตจำนวน 3 งานที่มี Cum.MD เท่ากับ 805

ครั้งที่ 9 พิจารณา MD128 ทำการถ่ายโอนได้ ได้ SD เท่ากับ 128 เมื่อทดลองปรับเส้นทางพบว่าจะเกิดงานส่งอย่างเดียวในอนาคตจำนวน 2 งานที่มี Cum.MD เท่ากับ 677

เลือกงานที่มี MD เท่ากับ 316 และ SD เท่ากับ 92 และปรับเส้นทางขนส่ง

เริ่มหางานที่สามารถถ่ายโอนใหม่

ครั้งที่ 10 พิจารณา MD361 ทำการถ่ายโอนไม่ได้

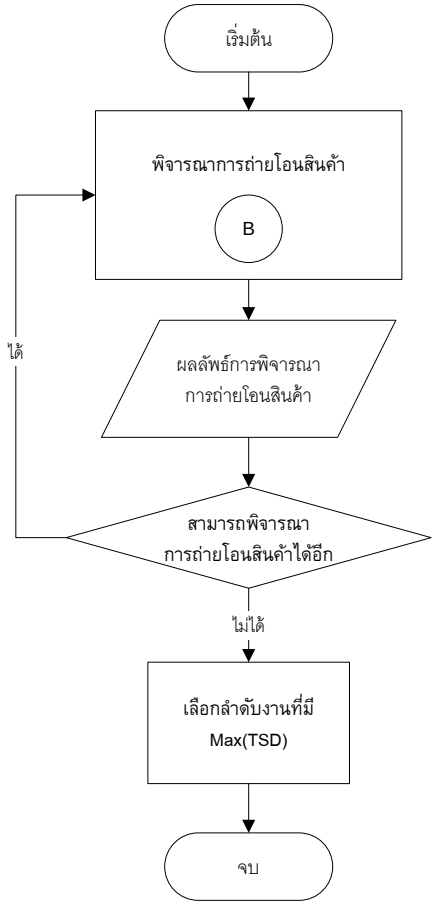
ครั้งที่ 11 พิจารณา MD316 ทำการถ่ายโอนไม่ได้

ครั้งที่ 12 พิจารณา MD128 ทำการถ่ายโอนไม่ได้

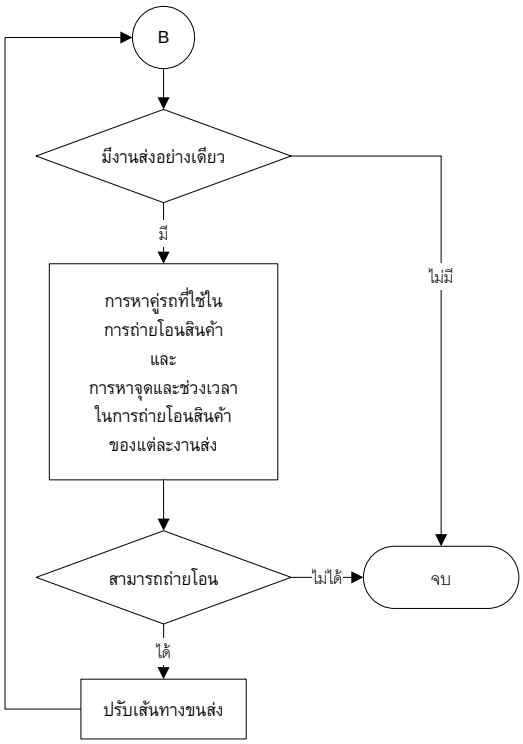
สิ้นสุดการพิจารณา

4) Enumeration-Selection

เป็นการพิจารณาการเลือกงานทุกทางเลือกของงาน เพื่อหาลำดับงานที่มี ระยะทางรวมที่สามารถลดลงได้ค่ามากที่สุด (Max TSD) หรือมีระยะทางสุดท้าย หลังจากการพิจารณาการถ่ายโอนค่าต่ำที่สุด เนื่องจากวิธีนี้จะสามารถรู้คำตอบทั้งหมดจากทุกลำดับของการเลือกงาน ดังนั้นการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าด้วยการเลือกงานวิธีนี้จะได้ลำดับการเลือกงานที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถได้คำตอบที่มีระยะทางรวมสุดท้ายต่ำที่สุด โดยมีกระบวนการดังภาพที่ 5.5และภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.5 กระบวนการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection (ตอน 1)



ภาพที่ 5.6 กระบวนการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection (ตอน 2)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกงานจะเปรียบเทียบในสองส่วนคือ

1) ด้านคุณภาพของคำตอบ
2) ด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

5.1.1 ประสิทธิภาพของวิธีการเลือกงานด้านคุณภาพของคำตอบ

ในส่วนนี้การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการเลือกงานด้านคุณภาพของคำตอบวัดจะเปรียบเทียบใน 2 ด้านคือ

1) เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของระยะทางที่สามารถประหยัดได้
2) ความแตกต่างด้านคำตอบของวิธีการเลือกงานที่แตกต่างกัน

เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของระยะทางที่สามารถประหยัดได้ ได้จากกา รเปรียบเทียบระยะทางสุดท้ายที่ได้หลังจากการใช้ฮิวริสติกด้วยวิธีการเลือกงานทั้งสี่แบบคือแบบ MD-Selection, Saving-Selection, Saving &MD-Selection และ Enumeration-Saving เทียบกับระยะทางจากแผนตั้งต้น ดังสมการ (5.5) และสมการ (5.6)

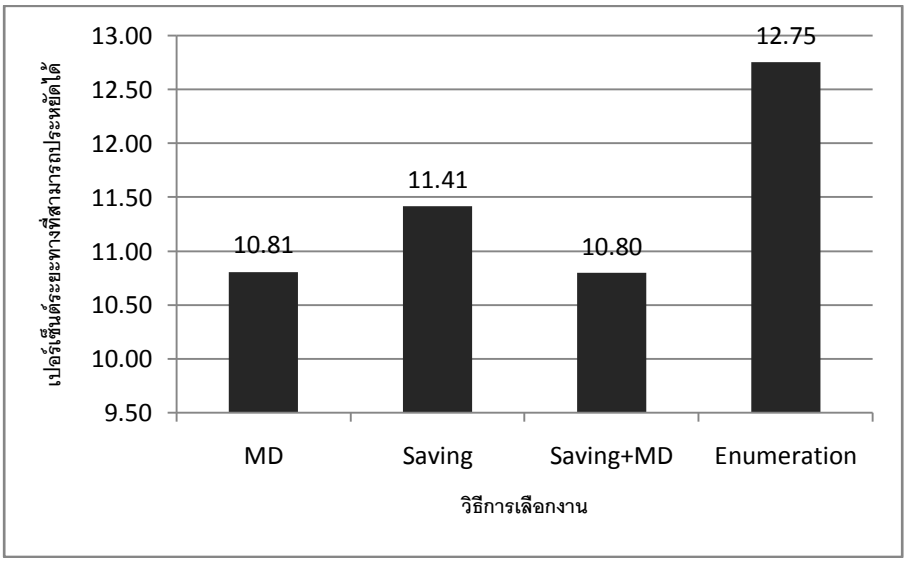
$$\text{ระยะทางที่ประหยัดได้} = \left(\frac{\text{ระยะทางตั้งต้น} - \text{ระยะทางสุดท้ายที่ได้จากการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระยะทางตั้งต้น}}{}\right) \text{x } 100\% \quad (5.5)$$

$$\%\text{เฉลี่ยระยะทางที่ประหยัดได้} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \%\ \text{ระยะทางที่ประหยัดได้}_i}{n} \quad (5.6)$$

เมื่อ n คือจำนวนตัวอย่างเส้นทางทดสอบ

จากการทดสอบกับจำนวนเส้นทางที่สามารถทำการถ่ายโอนสินค้าได้จำนวน 60 ตัวอย่างเส้นทางพบว่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของระยะทางที่สามารถประหยัดได้ด้วยวิธีการเลือกงาน ด้วยวิธีต่างๆ มีค่าดังนี้ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 5.7

1) เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของระยะทางที่สามารถประหยัดได้ด้วยวิธีการเลือกงาน แบบ MD-Selection มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.81%
2) เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของระยะทางที่สามารถประหยัดได้ด้วยวิธีการเลือกงาน แบบ Saving-Selection มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.41%
3) เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของระยะทางที่สามารถประหยัดได้ด้วยวิธีการเลือกงาน แบบ Saving &MD-Selection มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 10.80%
4) เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยของระยะทางที่สามารถประหยัดได้ด้วยวิธีการเลือกงาน แบบ Enumeration-Selection มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 12.75%



ภาพที่ 5.7 เปอร์เซ็นต์ระยะทางที่สามารถประหยัดได้ด้วยวิธีการเลือกงานที่แตกต่างกัน

ส่วนความแตกต่างด้านคำตอบ จะเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก วิธีการเลือกงาน แบบ MD-Selection, Saving-Selection และ Saving &MD-Selection เทียบกับวิธี Enumeration-Selection เพื่อแสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการเลือกงานแบบอื่นๆเมื่อเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดจาก วิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection มีความแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งสามารถหาค่าความแตกต่างได้ดังสมการ (5.7) และ (5.8)

$$\%\text{ความแตกต่าง} = \left(\frac{\text{ระยะทางที่ประหยัดได้ด้วยวิธี Enumeration} - \text{ระยะทางที่ประหยัดได้ด้วยวิธีการเลือกงานแบบอื่น}}{\text{ระยะทางที่ประหยัดได้ด้วยวิธี Enumeration}}\right) \text{x } 100\% \quad (5.7)$$

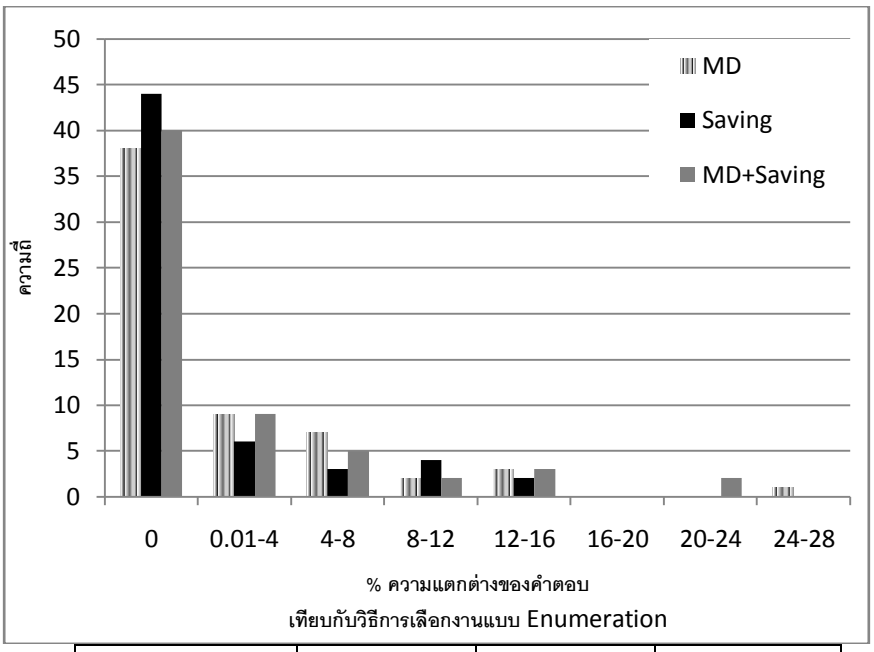
$$\%\text{ เฉลี่ยความแตกต่าง} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \%\text{ ความแตกต่าง}_{\,i}}{n} \quad (5.8)$$

เมื่อ n คือจำนวนตัวอย่างเส้นทางทดสอบ

จากการทดสอบกับตัวอย่างเส้นทางจำนวน 60 เส้นทาง พบว่า

1) %เฉลี่ยความแตกต่าง ของของคำตอบด้วย วิธีการเลือกงานแบบ MD-Selection เทียบกับวิธี Enumeration-Selection มีค่าเท่ากับ 2.49%
2) %เฉลี่ยความแตกต่าง ของของคำตอบด้วย วิธีการเลือกงานแบบ Saving-Selection เทียบกับวิธี Enumeration-Selection มีค่าเท่ากับ 1.70%
3) %เฉลี่ยความแตกต่าง ของคำตอบด้วย วิธีการเลือกงานแบบ Saving &MD-Selection เทียบกับวิธี Enumeration-Selection มีค่าเท่ากับ 2.47%

ความแตกต่างของคำตอบแสดงดังภาพที่ 5.8 จากรูปจะเห็นได้ว่าคำตอบส่วนใหญ่ที่ได้จากการทดสอบกับตัวอย่างเส้นทางจำนวน 60 เส้นทางด้วยการเลือกงานทั้งสามวิธีคือ วิธีการเลือกงานแบบ MD-Selection, Saving-Selection และ Saving &MD-Selection มีค่าความแตกต่างเท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่าการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าด้วยวิธีการเลือกงานทั้งสามวิธีมีโอกาสที่จะได้คำตอบที่ดีที่สุดค่อนข้างมาก โดยที่วิธี Saving-Selection มีโอกาสในการเกิดคำตอบที่ดีที่สุดมากที่สุด



วิธีการเลือกงาน	MD	Saving	Saving &MD
ค่าเฉลี่ย	2.49%	1.70%	2.47%
ค่ามากที่สุด	27.97%	15.74%	21.41
ค่าน้อยที่สุด	0.00%	0.00%	0.00%

ภาพที่ 5.8 การกระจายตัวของความแตกต่างด้านคำตอบที่ได้จากวิธีการเลือกงานที่แตกต่างกัน

5.1.2 ประสิทธิภาพของวิธีการเลือกงานด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพฮิวริสติกด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบจะวัดจากจำนวนรอบในการพิจารณาถ่ายโอนสินค้าด้วยวิธีการเลือกงาน ทั้งสามวิธีคือ วิธีการเลือกงาน แบบ MD-Selection, Saving-Selection และ Saving &MD-Selection เปรียบเทียบกับวิธีการเลือกงาน แบบ Enumeration-Selection ดังสมการ (5.9) และ (5.10)

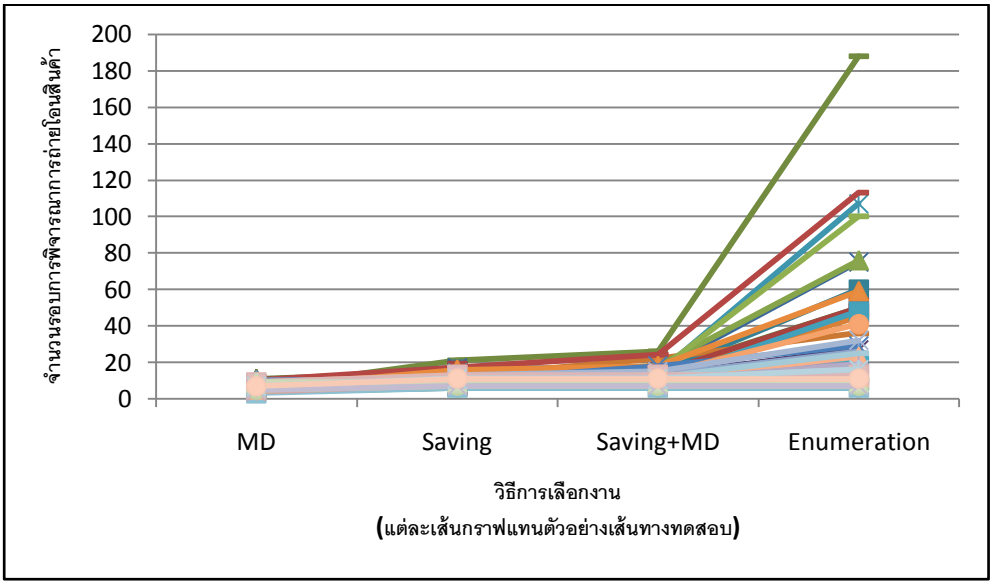
$$\text{สัดส่วนของจำนวนรอบในการพิจารณา} = \frac{\text{จำนวนรอบในการพิจารณาด้วยวิธี Enumeration}}{\text{จำนวนรอบในการพิจารณาด้วยวิธีอื่น}} \quad (5.9)$$

$$\text{ค่าเฉลี่ยสัดส่วนของจำนวนรอบ} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \text{สัดส่วนของจำนวนรอบในการพิจารณา}_i}{\text{n}} \quad (5.10)$$

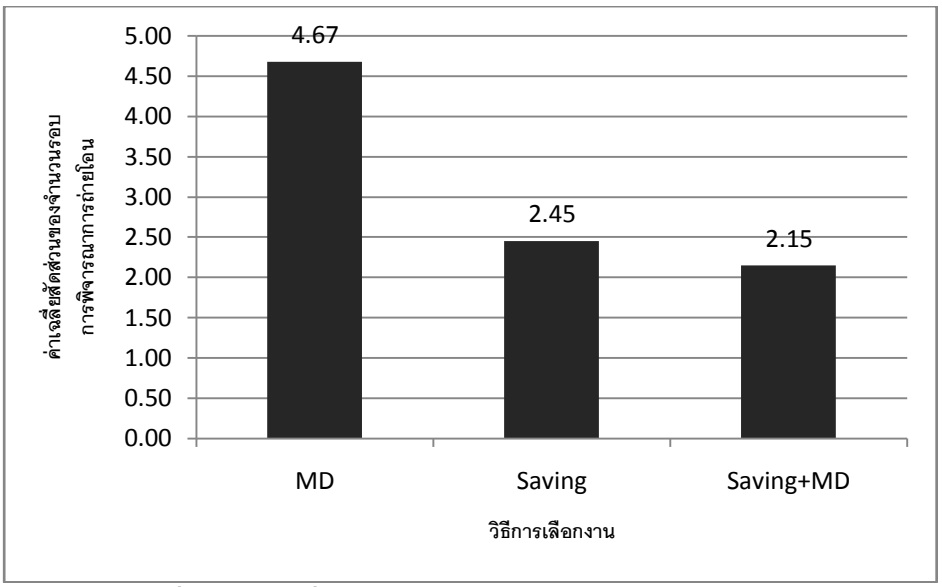
จากการทดสอบพบว่า เมื่อใช้วิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection จะเกิดจำนวนรอบในการพิจารณามากที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการเลือกงานแบบอื่น ซึ่งจำนวนรอบของการพิจารณาของตัวอย่างเส้นทางจำนวน 60 ตัวอย่าง แสดงดังภาพที่ 5.9 จากรูปจะเห็นได้ว่าจำนวนรอบในการพิจารณาด้วยวิธี Saving-Selection และ Saving &MD-Selection มีแนวโน้มที่จะใช้จำนวนรอบสูงมากกว่าวิธี MD-Selection เพียงเล็กน้อย แต่จำนวนรอบของการพิจารณาด้วยวิธี Enumeration-Selection มีแนวโน้มที่จะใช้จำนวนรอบสูงและมีความแตกต่างกับวิธีการเลือกงานแบบอื่นๆอย่างมาก โดยที่

1) วิธีการเลือกงานแบบ MD-Selection ใช้รอบการพิจารณาน้อยกว่าวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration- Selection เฉลี่ยประมาณ 4.67 เท่า
2) วิธีการเลือกงานแบบ Saving-Selection ใช้รอบการพิจารณาน้อยกว่าวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration- Selection เฉลี่ยประมาณ 2.45 เท่า
3) วิธีการเลือกงานแบบ Saving &MD-Selection ใช้รอบการพิจารณาน้อยกว่าวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration- Selection เฉลี่ยประมาณ 2.15 เท่า

ซึ่งแสดงดัง ภาพที่ 5.10 โดยที่ วิธีการเลือกงาน แบบ MD-Selection สามารถลด รอบการพิจารณาได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับรอบในการพิจารณาด้วยวิธีแบบ Enumeration-Selection

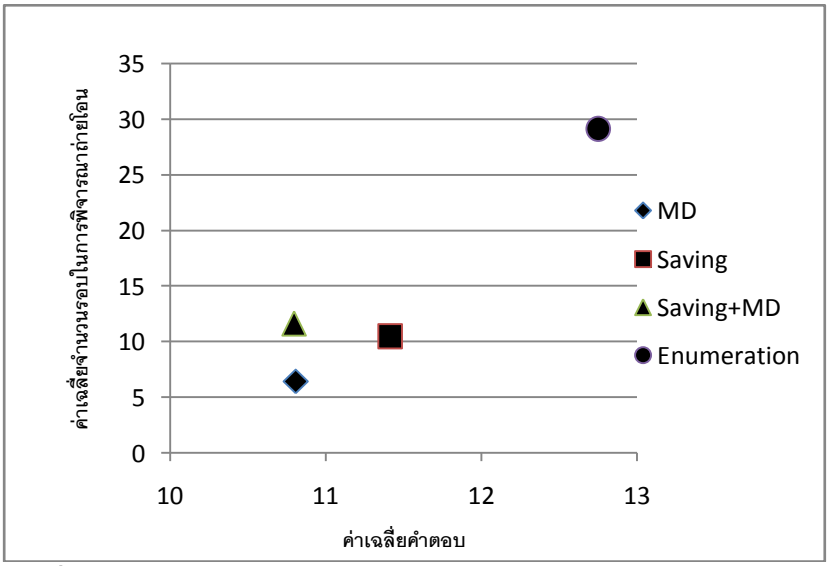


ภาพที่ 5.9 จำนวนรอบในการพิจารณาตัวอย่างเส้นทางทดสอบด้วยวิธีการเลือกงานที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 5.10 ค่าเฉลี่ยของสัดส่วนรอบการพิจารณาการถ่ายโอน

เมื่อวัดประสิทธิภาพของวิธีการเลือกงานต่างๆทั้งสองมิติในด้านคุณภาพของคำตอบและระยะเวลาในการหาคำตอบพร้อมกัน ดังภาพที่ 5.11 พบว่าวิธี MD-Selection และวิธี Saving &MD Selection ได้คุณภาพของคำตอบแย่ที่สุด แต่วิธี MD-Selection ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด ส่วนวิธี Enumeration-Selection ได้คุณภาพของคำตอบดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการหาคำตอบมากที่สุด และเมื่อมองทั้งในคุณภาพของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบพร้อมกัน วิธี Saving-Selection จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องจากใช้เวลาในการหาคำตอบค่อนข้างน้อย และสามารถให้คำตอบใกล้เคียงกับของคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection

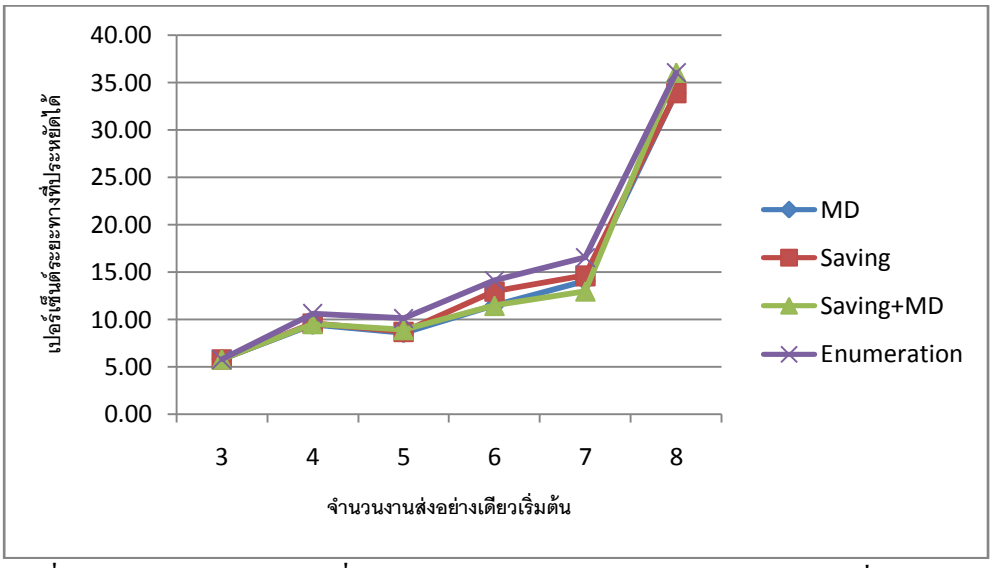


ภาพที่ 5.11 การเปรียบเทียบคุณภาพของวิธีการเลือกงานในมิติของคำตอบและเวลา

5.2 ประเด็นปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของฮิวริสติก

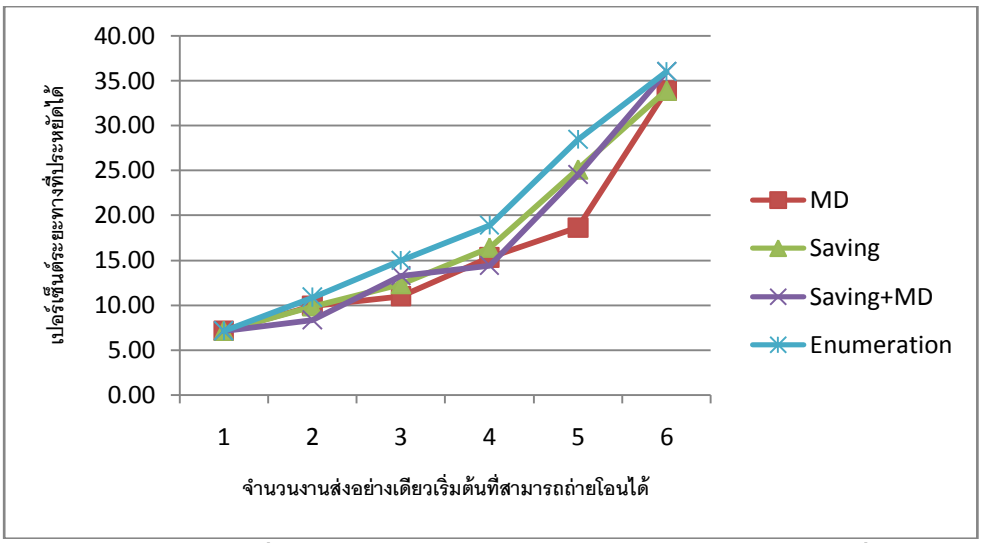
ในส่วนนี้จะเป็นการหาปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ โดยวิเคราะห์จากตัวอย่างเส้นทางทดสอบที่มีอยู่ พบว่า

1) คุณภาพของคำตอบมีแนวโน้มสูงมากขึ้น เมื่อการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าในครั้งแรกมีจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นสูงมากขึ้น ดังภาพที่ 5.12



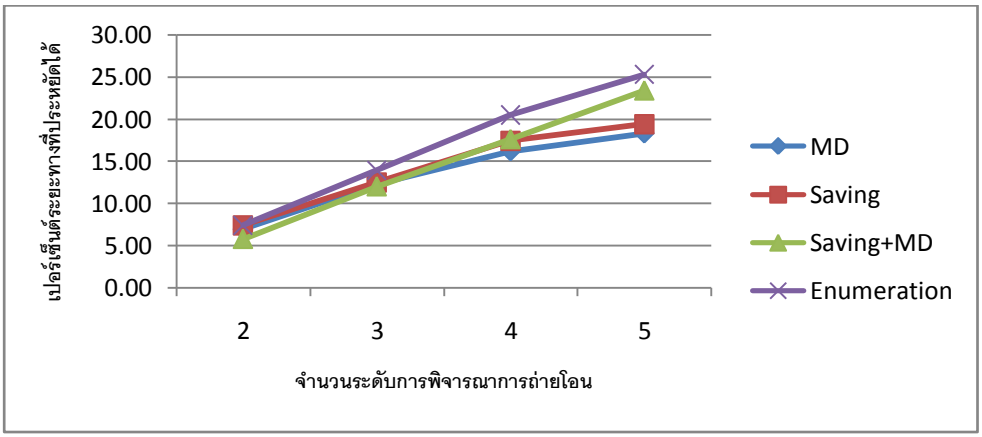
ภาพที่ 5.12 แนวโน้มระยะทางที่ประหยัดได้เทียบกับจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้น

2) คุณภาพของคำตอบมีแนวโน้มสูงมากขึ้น เมื่อการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าในครั้งแรกมีจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ในรอบแรกมีจำนวนสูงมากขึ้น ดังภาพที่ 5.13



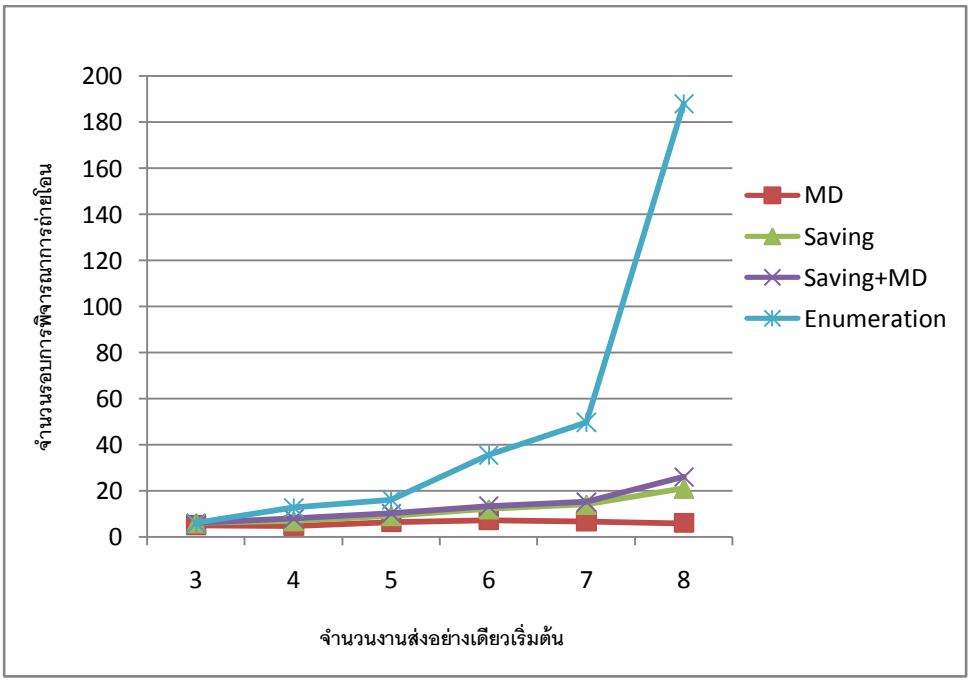
ภาพที่ 5.13 แนวโน้มระยะทางที่ประหยัดได้เทียบกับจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้

3) คุณภาพของคำตอบมีแนวโน้มสูงมากขึ้น เมื่อในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้ามีจำนวนระดับการพิจารณาสูงมากขึ้นดัง ภาพที่ 5.14 อาจเนื่องจากว่ายิ่งมีการพิจารณาการถ่ายโอนหลายครั้ง จะทำให้ผลรวมของค่าการประหยัดเส้นทางจริงมีค่ามากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อระยะทางสุดท้ายที่ได้หลังจากการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้า



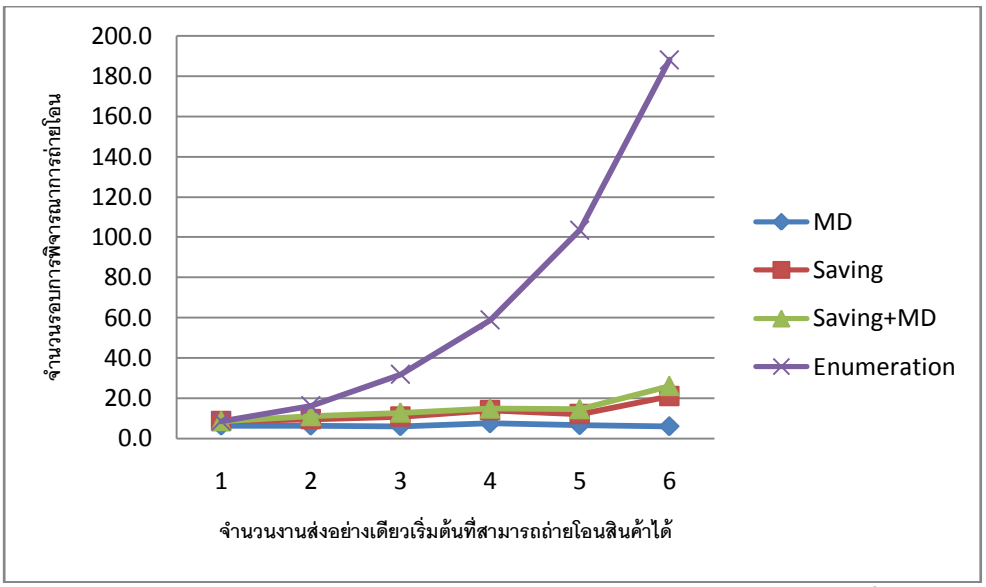
ภาพที่ 5.14 แนวโน้มระยะทางที่ประหยัดได้เทียบกับระดับการพิจารณาการถ่ายโอน

4) เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection มีแนวโน้มสูงมากขึ้นเมื่อในครั้งแรกของการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้ามีจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นสูงมากขึ้น แต่การเลือกงานด้วยวิธี MD-Selection, Saving-Selection และ Saving &MD Selection มีเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบค่อนข้างคงที่เมื่อจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นสูงมากขึ้น ดังภาพที่ 5.15



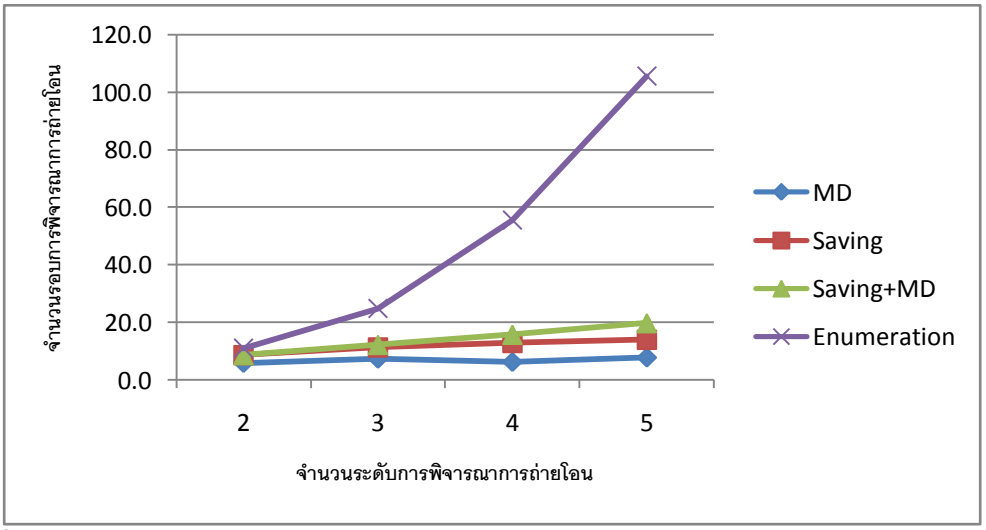
ภาพที่ 5.15 แนวโน้มจำนวนรอบการพิจารณาเทียบกับจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้น

5) เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection มีแนวโน้มสูงมากขึ้นเมื่อในครั้งแรกของการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้ามีจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้สูงมากขึ้น แต่การเลือกงานด้วยวิธี MD-Selection, Saving-Selection และ Saving &MD Selection มีเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบค่อนข้างคงที่เมื่อจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้สูงมากขึ้น ภาพที่ 5.16



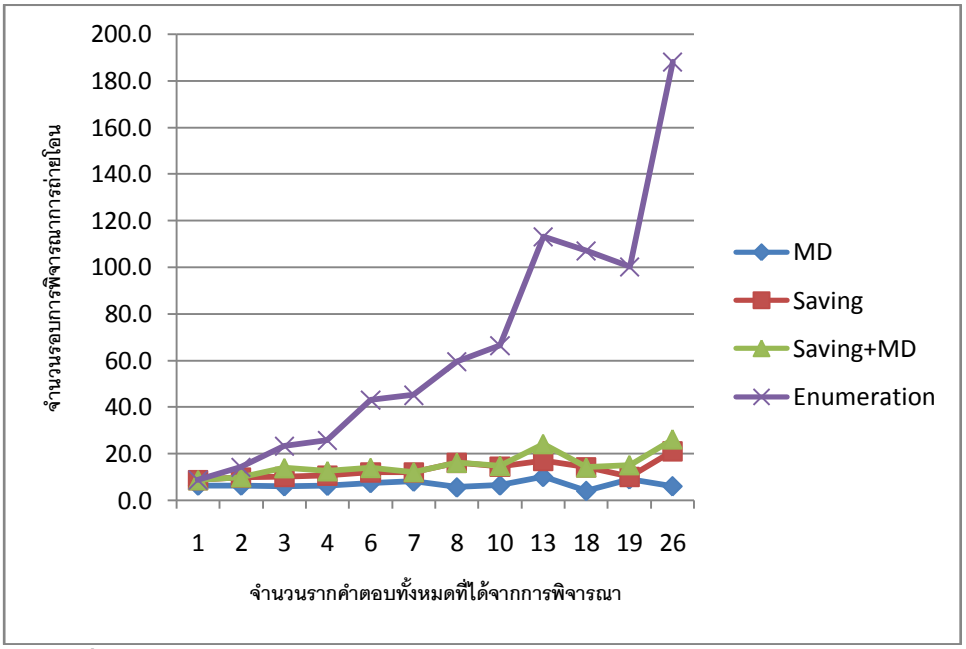
ภาพที่ 5.16 แนวโน้มจำนวนรอบการพิจารณาเทียบกับจำนวนงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้

6) เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection มีแนวโน้มสูงมากขึ้นเมื่อในการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้ามีจำนวนระดับการพิจารณาสูงมากขึ้น แต่การเลือกงานด้วยวิธี MD-Selection, Saving-Selection และ Saving &MD Selection มีเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบค่อนข้างคงที่เมื่อจำนวนระดับการพิจารณาสูงมากขึ้น ภาพที่ 5.17



ภาพที่ 5.17 แนวโน้มจำนวนรอบการพิจารณาเทียบกับจำนวนระดับการพิจารณาการถ่ายโอน

7) เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection มีแนวโน้มสูงมากขึ้นสอดคล้องกับรากของคำตอบหรือจำนวนของลำดับการเลือกงานที่เกิดขึ้นทั้งหมดด้วยวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection แต่การเลือกงานด้วยวิธี MD-Selection, Saving-Selection และ Saving &MD Selection มีเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบค่อนข้างคงที่เมื่อจำนวนรากของคำตอบสูงมากหรือปัญหามีความซับซ้อนมากขึ้น ดังภาพที่ 5.18



ภาพที่ 5.18 แนวโน้มจำนวนรอบการพิจารณาเทียบกับจำนวนรากของคำตอบ

จากการวิเคราะห์ในข้อ 1) – 3) สามารถสรุปได้ว่าปริมาณงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้น ปริมาณงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ในรอบแรก และปริมาณระดับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีการเลือกงานทั้ง 4 วิธี คือยิ่งปริมาณงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้น ปริมาณงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ในรอบแรก และปริมาณระดับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้ามีปริมาณสูงมากขึ้นจะทำให้คุณภาพของคำตอบดีขึ้น

จากการวิเคราะห์ในข้อ 3) – 7) พบว่าปริมาณงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้น ปริมาณงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ในรอบแรก ปริมาณระดับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าและจำนวนรากของคำตอบจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาของคำตอบที่ได้เฉพาะวิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-selection เท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า วิธีการเลือกงาน แบบ MD-Selection,

Saving-Selection และ Saving &MD-Selection จะใช้เวลาในการหาคำตอบค่อนข้างคงที่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีความซับซ้อนมากขึ้น

5.3 ประเด็นจุดถ่ายโอนสินค้า

จากการทดสอบกับเส้นทางตัวอย่างจำนวน 60 เส้นทาง พบว่าผลลัพธ์ของเส้นทางที่เกิดจากการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้ามี 2 รูปแบบด้วยกันคือ

1) เส้นทางขนส่งใหม่มีระยะทางขนส่งลดลงเนื่องจากมีการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง ณ จุดถ่ายโอนสินค้า ซึ่งอาจเป็นจุดที่อยู่บนเส้นทางขนส่งหรือเป็นจุดที่อยู่นอกเส้นทางขนส่ง
2) เส้นทางขนส่งใหม่มีระยะทางขนส่งลดลง แต่ไม่ได้เกิดจากการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง แต่เกิดจากการโอนงานขนส่งทั้งงานไปให้รถขนส่งอีกคันหนึ่งทำแทนเลย

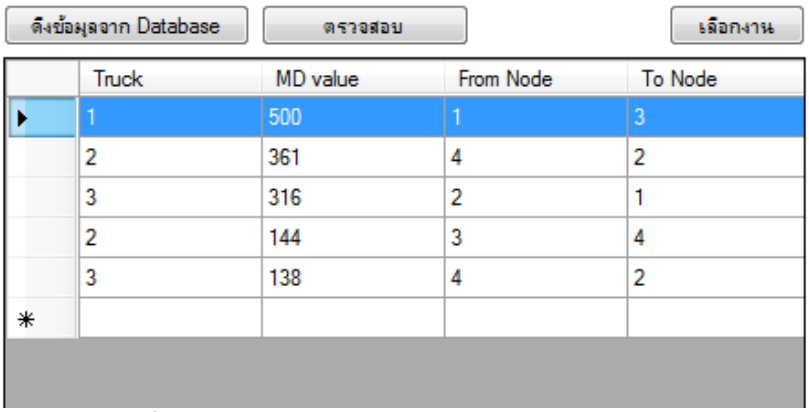
สาเหตุที่เกิดขึ้นในรูปแบบที่ 2) เกิดในกรณีที่การถ่ายโอนสินค้าเป็นแบบการถ่ายโอนภายในเส้นทางและจุดถ่ายโอนสินค้าเป็นจุดเดียวกับจุดรับสินค้า ดังนั้นเราสามารถนำฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นไปประยุกต์ใช้สำหรับการ Improve เส้นทางของวิธีการแผนขนส่งทางตรงเพื่อให้คำตอบของแผนขนส่งทางตรงมีคุณภาพดีขึ้นได้โดยไม่ต้องเกิดการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง ซึ่งแสดงได้จากตัวอย่างดังต่อไปนี้ ตารางที่ 5.4 แสดงรายละเอียดการทำงานของตัวอย่างเส้นทางหนึ่ง ซึ่งมีอยู่ 3 เส้นทาง โดยมีระยะทางรวมเริ่มต้นเท่ากับ 2920 เมื่อนำไปพิจารณาการถ่ายโอนพบว่ามีงานส่งอย่างเดียวเกิดขึ้น 5 งาน ดังภาพที่ 5.19 ดังนี้

- งานที่ 6 ของรถคันที่ 1 ที่มีจุดส่งที่จุด 3 มีค่า MD เท่ากับ 500
- งานที่ 5 และงานที่ 8 ของรถคันที่ 2 ที่มีจุดส่งที่จุด 2 มีค่า MD เท่ากับ 361
- งานที่ 7 ของรถคันที่ 3 ที่มีจุดส่งที่จุด 1 มีค่า MD เท่ากับ 316
- งานที่ 3 และงานที่ 4 ของรถคันที่ 2 ที่มีจุดส่งที่จุด 4 มีค่า MD เท่ากับ 144
- งานที่ 2 ของรถคันที่ 3 ที่มีจุดส่งที่จุด 2 มีค่า MD เท่ากับ 138

เมื่อเลือกพิจาณาถ่ายโอนงานที่มีค่า MD เท่ากับ 500 ของรถคันที่ 1 (งาน 6) จะเกิดจุดถ่ายโอนสินค้าให้เลือก 2 จุด คือจุดที่ 1 และจุดที่ 5 ระหว่างรถรับโอนคันที่ 2 ดังภาพที่ 5.20

ตารางที่ 5.4 เส้นทางตัวอย่างเริ่มต้น

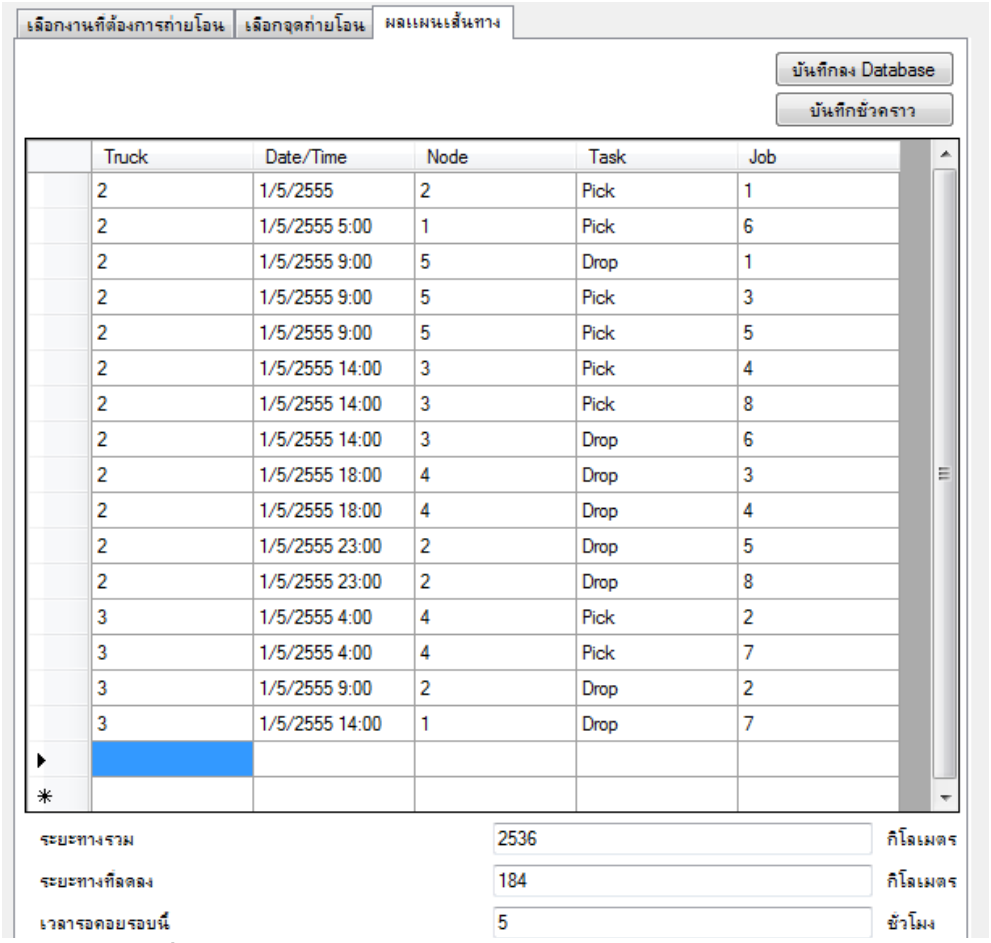
Truck	Date/Time	Node	Task	Job
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	6
1	1/5/2012 7:00	3	Drop	6
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	1
2	1/5/2012 7:00	5	Pick	5
2	1/5/2012 7:00	5	Pick	3
2	1/5/2012 7:00	5	Drop	1
2	1/5/2012 12:00	3	Pick	8
2	1/5/2012 12:00	3	Pick	4
2	1/5/2012 16:00	4	Drop	4
2	1/5/2012 16:00	4	Drop	3
2	1/5/2012 21:00	2	Drop	8
2	1/5/2012 21:00	2	Drop	5
3	1/5/2012 4:00	4	Pick	7
3	1/5/2012 4:00	4	Pick	2
3	1/5/2012 9:00	2	Drop	2
3	1/5/2012 14:00	1	Drop	7



ภาพที่ 5.19 การหางานส่งอย่างเดียวของเส้นทางตัวอย่าง

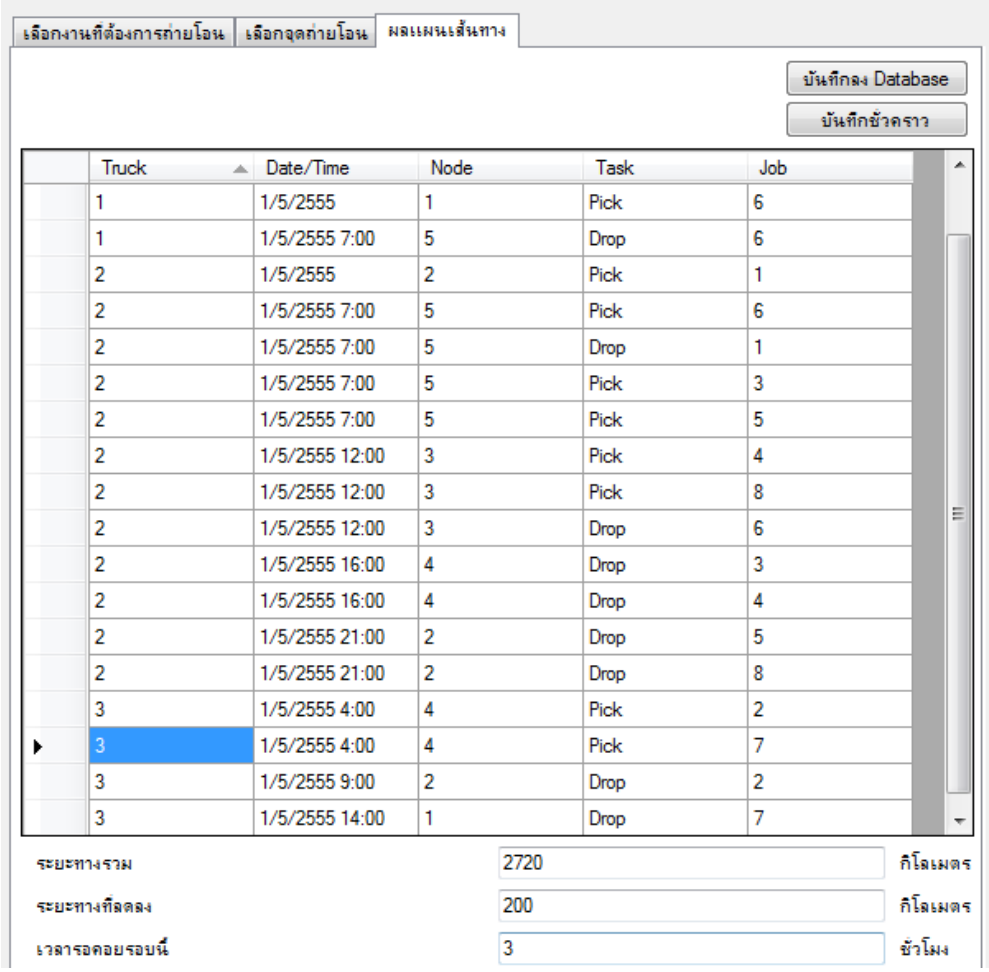
ภาพที่ 5.20 การหาจุดถ่ายโอนสินค้าของเส้นทางตัวอย่าง

เนื่องจากงานที่กำลังพิจารณาถ่ายโอนเป็นงานที่ 6 ซึ่งมีจุดรับคือจุด 1 และจุดส่งคือจุด 3 ดังนั้นถ้าเลือกจุดถ่ายโอนจุด 1 ซึ่งเป็นจุดเดียวกับจุดรับของงานที่ 6 พบว่าจะได้เส้นทางดัง ภาพที่ 5.21 ซึ่งจะเป็นการโอนงานขนส่งที่ 6 ของรถขนส่งคันที่ 1 ให้กับรถขนส่งคันที่ 2 ทำแทน ซึ่งทำให้รถขนส่งคันที่ 1 ไม่ต้องรับ-ส่งงาน 6 แล้ว และไม่เกิดการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่งแต่ช่วยลดระยะทางขนส่งเป็น 2536



ภาพที่ 5.21 ผลลัพธ์ของเส้นทางตัวอย่างจากการพิจารณาการถ่ายโอน

แต่ถ้าเลือกจุดถ่ายโอนอีกจุดคือจุดที่ 5 จะพบว่าจะเกิดการถ่ายโอนงาน 6 ระหว่างรถขนส่งคันที่ 1 และรถขนส่งคันที่ 2 ที่จุด 5 ดังภาพที่ 5.22 คือรถคันที่ 1 จะไปรับงาน 6 ที่จุด 1 และไปส่งงาน 6 ให้กับรถคันที่ 2 ที่จุด 5 จากนั้นรถคันที่ 2 จะนำงาน 6 ไปส่งให้ที่จุด 3 แทน



ภาพที่ 5.22 ผลลัพธ์ของเส้นทางตัวอย่างจากการพิจารณาการถ่ายโอน

ดังนั้นเราสามารถนำฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นไปประยุกต์ใช้สำหรับการ Improve เส้นทางของวิธีการแผนขนส่งทางตรงเพื่อให้คำตอบของแผนขนส่งทางตรงมีคุณภาพดีขึ้นได้โดยไม่ต้องเกิดการถ่ายโอนสินค้าระหว่างรถขนส่ง โดยการกำหนดให้การถ่ายโอนสินค้าเป็นแบบการถ่ายโอนภายในเส้นทางและจุดถ่ายโอนสินค้าเป็นจุดเดียวกับจุดรับสินค้า

5.4 ประเด็นรูปแบบของเส้นทางที่เหมาะสม

จากตัวอย่างเส้นทางที่ได้ทดสอบทำให้สังเกตเห็นได้ว่าเส้นทางที่เหมาะสมต่อการใช้ฮิวริสติกสำหรับพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะ จะต้องเป็นแผนขนส่งที่มีจุดหมายปลายทางทับซ้อนกัน เนื่องจากว่าฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้น มีรูปแบบเฉพาะตัว คือรถรับโอนจะต้องเป็นรถที่มีการทำงานผ่านจุดขนส่งที่ต้องการถ่ายโอนเท่านั้น ซึ่งสามารถแสดงได้จากตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 2

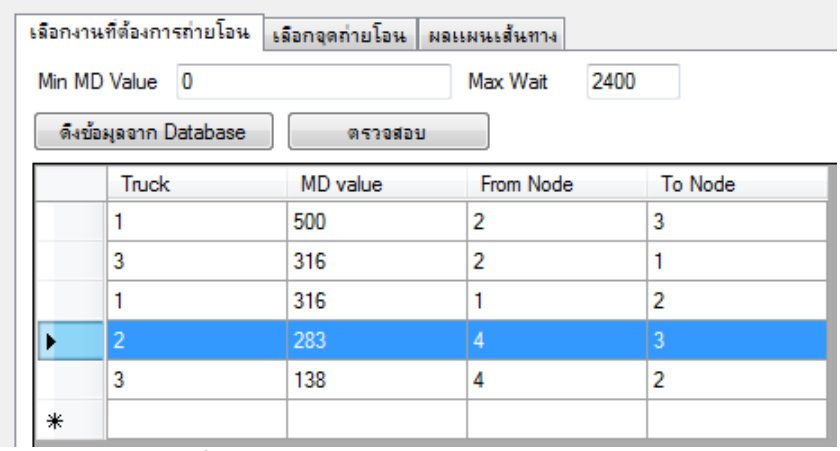
ตัวอย่างที่ 1

เส้นทางเริ่มต้นมีขนาดเท่ากับ 3069 ซึ่งมีรายละเอียดของเส้นทางดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 เส้นทางตัวอย่างของตัวอย่างที่ 1

Truck	Date/Time	Node	Task	Job
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	6
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	5
1	1/5/2012 5:00	2	Drop	5
1	1/5/2012 13:00	3	Drop	6
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	3
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	1
2	1/5/2012 8:00	5	Pick	2
2	1/5/2012 8:00	5	Drop	3
2	1/5/2012 17:00	4	Pick	4
2	1/5/2012 17:00	4	Drop	2
2	1/5/2012 17:00	4	Drop	1
2	1/5/2012 22:00	3	Drop	4
3	1/5/2012 0:00	3	Pick	8
3	1/5/2012 5:00	4	Pick	7
3	1/5/2012 11:00	2	Drop	8
3	1/5/2012 16:00	1	Drop	7

ซึ่งเมื่อนำไปพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าพบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 5งาน ดังแสดงใน ภาพที่ 5.23



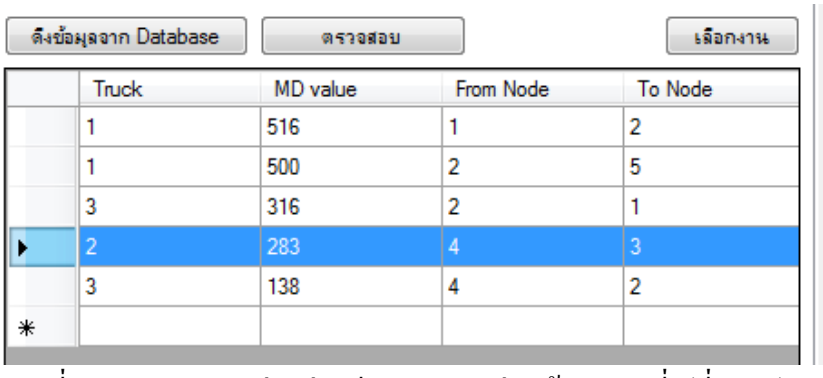
ภาพที่ 5.23 การหางานส่งอย่างเดียวของตัวอย่างเส้นทาง 1

สมมุติว่าถ้าเราเลือกถ่ายโอนงานที่ 4 ที่มีจุดส่งที่จุด 3 ของรถคันที่ 2 ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 283 พบว่าสามารถเกิดการถ่ายโอนได้ที่จุด 4 กับรถคันที่ 1ดังภาพที่ 5.24 สาเหตุเนื่องจากว่ารถคันที่ 1 ไปทำงานที่จุด 3 เหมือนกัน แต่ถ้าเราลองเปลี่ยนเส้นทางโดยเปลี่ยนงาน 6 ให้มีจุดส่งที่จุด 5 แทน ดังตารางที่ 5.6 เพื่อที่รถคันที่ 1 จะได้ไม่ไปทำงานที่จุด 3 เมื่อพิจารณาหางานที่สามารถถ่ายโอนได้ใหม่อีกครั้ง พบว่ายังคงมีงาน 4 ที่มีจุดส่งที่จุด 3 ของรถคันที่ 2 ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 283 ดังภาพที่ 5.25 แต่เมื่อนำมาพิจารณาถ่ายโอนสินค้าของจุดดังกล่าวพบว่าไม่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้เลยดังภาพที่ 5.26 ซึ่งเป็นผลมากจากฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นมีรูปแบบเฉพาะ ตัว คือ รถรับโอนจะต้องเป็นรถที่มีการทำงานผ่านจุดขนส่งที่ต้องการถ่ายโอนเท่านั้น

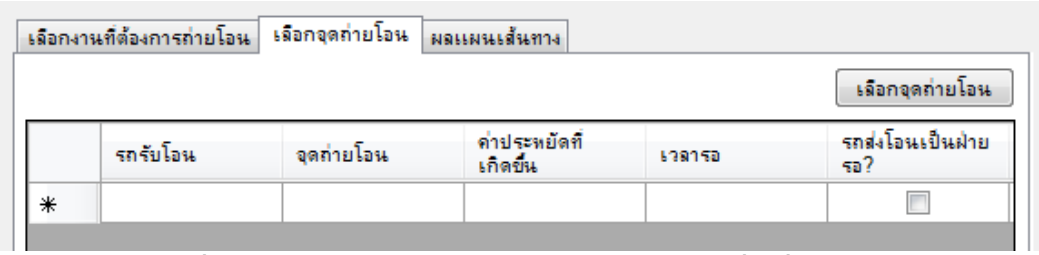
ภาพที่ 5.24 การหาจุดถ่ายโอนสินค้าของตัวอย่างเส้นทาง 1

ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างเส้นทาง 1 ที่เปลี่ยนแปลงไป

Truck	Date/Time	Node	Task	Job
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	6
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	5
1	1/5/2012 5:00	2	Drop	5
1	1/5/2012 13:00	3	Drop	6
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	3
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	1
2	1/5/2012 8:00	5	Pick	2
2	1/5/2012 8:00	5	Drop	3
2	1/5/2012 17:00	4	Pick	4
2	1/5/2012 17:00	4	Drop	2
2	1/5/2012 17:00	4	Drop	1
2	1/5/2012 22:00	3	Drop	4
3	1/5/2012 0:00	3	Pick	8
3	1/5/2012 5:00	4	Pick	7
3	1/5/2012 11:00	2	Drop	8
3	1/5/2012 16:00	1	Drop	7



ภาพที่ 5.25 การหางานส่งอย่างเดียวของตัวอย่างเส้นทาง 1 ที่เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 5.26 การหาจุดถ่ายโอนของเส้นทางตัวอย่าง 1 ที่เปลี่ยนแปลง

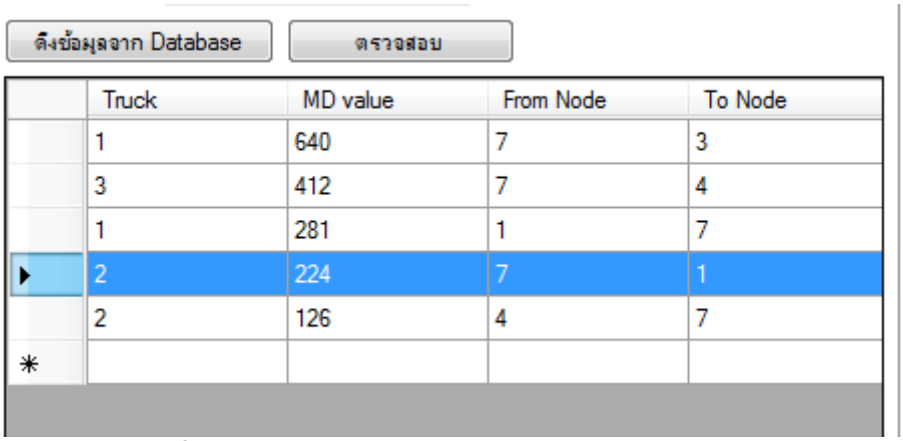
ตัวอย่างที่ 2

เส้นทางเริ่มต้นมีขนาดเท่ากับ 4714 ซึ่งมีรายละเอียดของเส้นทางดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ตัวอย่างเส้นทางของตัวอย่างที่ 2

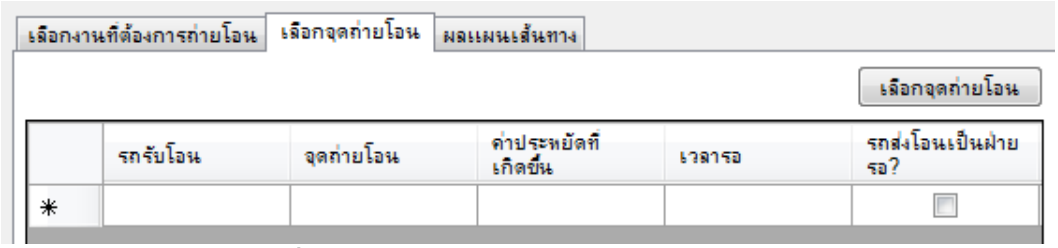
Truck	Date/Time	Node	Task	Job
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	6
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	4
1	1/5/2012 3:00	7	Drop	4
1	1/5/2012 11:00	3	Drop	6
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	8
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	1
2	1/5/2012 5:00	3	Pick	2
2	1/5/2012 5:00	3	Drop	8
2	1/5/2012 10:00	4	Pick	3
2	1/5/2012 10:00	4	Drop	2
2	1/5/2012 15:00	7	Drop	1
2	1/5/2012 18:00	1	Drop	3
3	1/5/2012 0:00	3	Pick	5
3	1/5/2012 8:00	7	Pick	7
3	1/5/2012 8:00	7	Drop	5
3	1/5/2012 13:00	4	Drop	7

ซึ่งเมื่อนำเส้นทางนี้ไปพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าพบว่ามีงานส่งอย่างเดียว 5งาน ดังแสดงในภาพที่ 5.27



ภาพที่ 5.27 การหางานส่งอย่างเดียวของตัวอย่างเส้นทาง 2

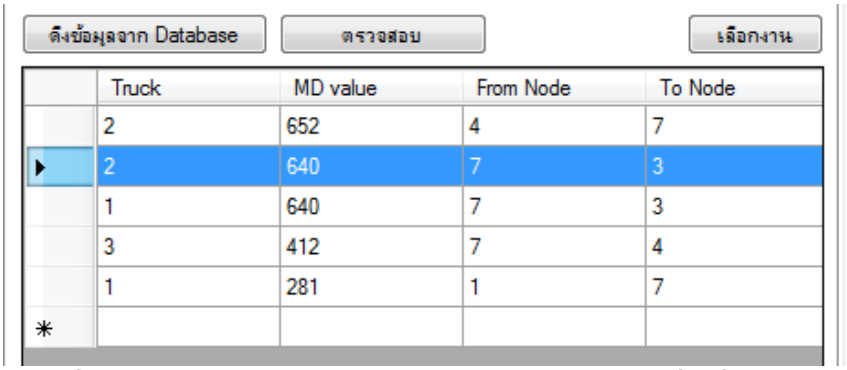
โดยเมื่อเราพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าของงาน 3 ของรถคันที่ 2 ที่จุด 1 ซึ่งมีค่า MD เท่ากับ 224 พบว่าไม่สามารถทำการถ่ายโอนสินค้าได้เลยดัง ภาพที่ 5.28 แต่เมื่อเราเปลี่ยนจุดส่งของงาน 3 จากจุดที่ 1 เป็นจุดที่ 3 ดังเส้นทางในตารางที่ 5.8 พบว่าเมื่อนำไปพิจารณาการถ่ายโอนสินค้างานเดิมคืองาน 3 ของรถคันที่ 2 ที่จุด 3 ซึ่งมีค่า MD-value เปลี่ยนไปเป็นเท่ากับ 640 ดังภาพที่ 5.29 พบว่าสามารถเกิดการถ่ายโอนที่จุดถ่ายโอนสินค้าดัง ภาพที่ 5.30 ได้ เนื่องจากว่าเส้นทางใหม่นี้เกิดเส้นทางที่ทับซ้อนกันที่จุดที่ 3 ระหว่างรถคันที่ 1 และรถคันที่ 2



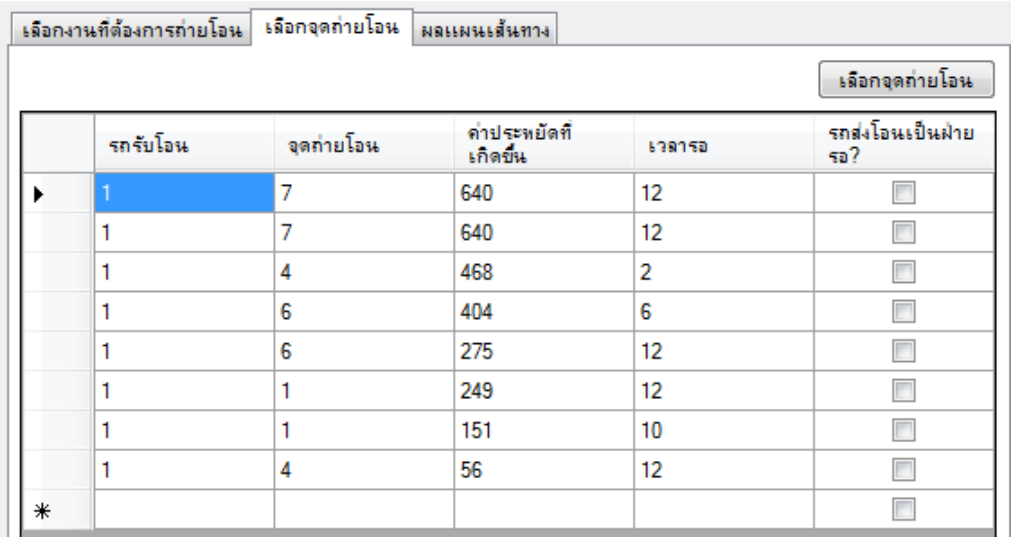
ภาพที่ 5.28 การหาจุดถ่ายโอนของตัวอย่างเส้นทาง 2

ตารางที่ 5.8 เส้นทางตัวอย่าง 2 ที่เปลี่ยนแปลงไป

Truck	Date/Time	Node	Task	Job
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	6
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	4
1	1/5/2012 3:00	7	Drop	4
1	1/5/2012 11:00	3	Drop	6
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	8
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	1
2	1/5/2012 5:00	3	Pick	2
2	1/5/2012 5:00	3	Drop	8
2	1/5/2012 10:00	4	Pick	3
2	1/5/2012 10:00	4	Drop	2
2	1/5/2012 15:00	7	Drop	1
2	1/5/2012 18:00	3	Drop	3
3	1/5/2012 0:00	3	Pick	5
3	1/5/2012 8:00	7	Pick	7
3	1/5/2012 8:00	7	Drop	5
3	1/5/2012 13:00	4	Drop	7



ภาพที่ 5.29 การหางานส่งอย่างเดียวของเส้นทางตัวอย่าง 2 ที่เปลี่ยนแปลง



	รถรับโอน	จุดถ่ายโอน	ค่าประหยัดที่เกิดขึ้น	เวลารอ	รถส่งโอนเป็นฝ่ายรอ?
▶	1	7	640	12	☐
	1	7	640	12	☐
	1	4	468	2	☐
	1	6	404	6	☐
	1	6	275	12	☐
	1	1	249	12	☐
	1	1	151	10	☐
	1	4	56	12	☐
*					☐

ภาพที่ 5.30 การหาจุดถ่ายโอนของตัวอย่างเส้นทาง 2 ที่เปลี่ยนแปลง

นอกจากนี้เส้นทางขนส่งควรมีเวลาที่ยืดหยุ่นได้ (Slack time) ที่กว้างพอที่จะรองรับเวลารอคอยที่เกิดขึ้น เนื่องจากในขั้นตอน การเลือกจุดถ่ายโอน จะเลือกจุดที่เกิดระยะการเดินทางเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดก่อน ซึ่งจุดถ่ายโอนนั้นอาจจะทำให้เกิดเวลารอคอยมากกว่าจุดถ่ายโอนจุดอื่นที่ให้ค่าระยะการเดินทางเพิ่มขึ้นมากกว่าดังตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างเส้นทางขนส่ง มีข้อมูลความต้องการขนส่งและรายละเอียดเส้นทางขนส่ง ดังตารางที่ 5.9และตารางที่ 5.10 ตามลำดับ

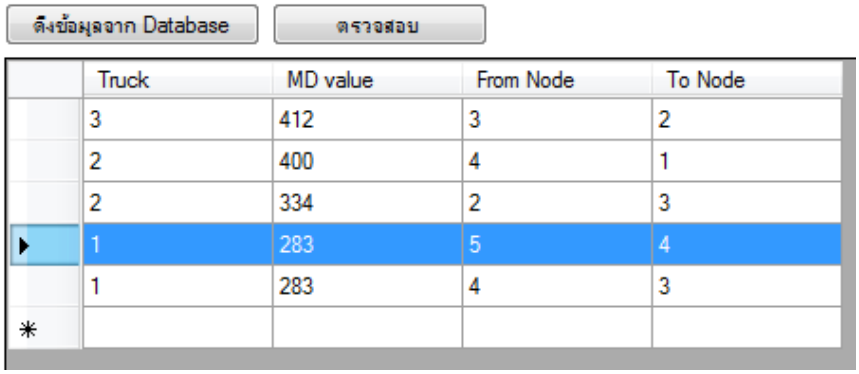
ตารางที่ 5.9 ข้อมูลความต้องการขนส่งของตัวอย่างที่ 3

งานขนส่ง	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ปริมาตร (ลูกบาศก์เมตร)	จุดรับ	จุดส่ง	วัน/เวลาเริ่ม	วัน/เวลาสิ้นสุด
1	300	6	1	5	1/5/2555	2/5/2555
2	300	6	2	3	1/5/2555	2/5/2555
3	100	2	4	6	1/5/2555	4/5/2555
4	500	10	5	3	1/5/2555	3/5/2555
5	200	4	6	4	1/5/2555	2/5/2555
6	500	10	4	1	1/5/2555	4/5/2555
7	500	10	3	2	1/5/2555	2/5/2555
8	200	4	6	1	1/5/2555	3/5/2555 12:00:00

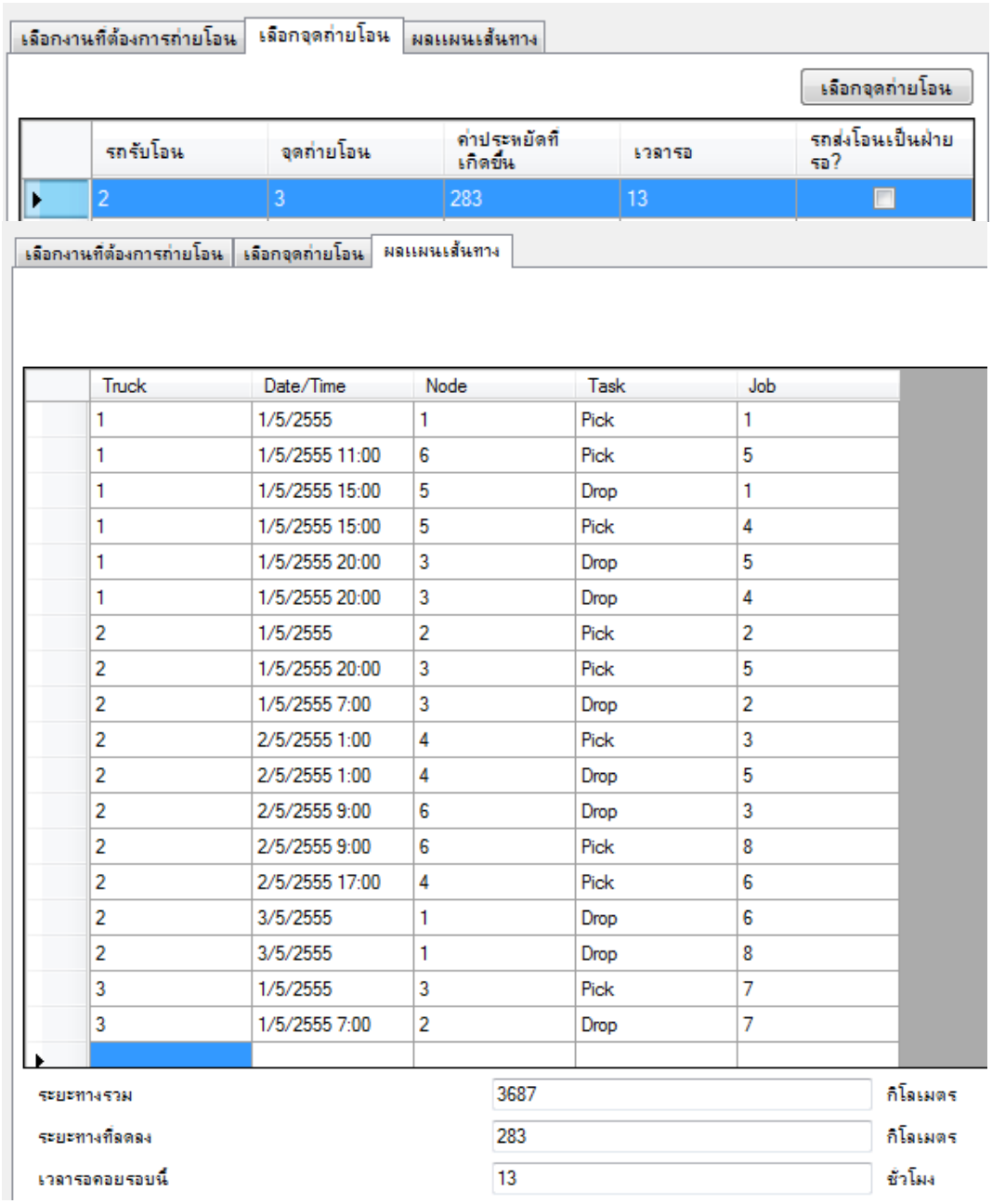
ตารางที่ 5.10 ข้อมูลเส้นทางขนส่งตัวอย่างที่ 3

Truck	Date/Time	Node	Task	Job
1	1/5/2012 0:00	1	Pick	1
1	1/5/2012 11:00	6	Pick	5
1	1/5/2012 15:00	5	Pick	4
1	1/5/2012 15:00	5	Drop	1
1	1/5/2012 20:00	4	Drop	5
1	1/5/2012 25:00	3	Drop	4
2	1/5/2012 0:00	2	Pick	2
2	1/5/2012 7:00	3	Drop	2
2	1/5/2012 12:00	4	Pick	3
2	1/5/2012 20:00	6	Pick	8
2	1/5/2012 20:00	6	Drop	3
2	2/5/2012 4:00	4	Pick	6
2	2/5/2012 11:00	1	Drop	8
2	2/5/2012 11:00	1	Drop	6
3	1/5/2012 0:00	3	Pick	7
3	1/5/2012 7:00	2	Drop	7

เมื่อนำไปพิจารณาถ่ายโอนสินค้าพบว่ามีงานส่ง 5 งาน ดังภาพที่ 5.31 เมื่อเลือกถ่ายโอนงาน 5 ของรถคันที่ 1 ที่มีจุดส่งที่จุด 4 ซึ่งมีค่า MD-value เท่ากับ 283 แล้วพบว่าสามารถเกิดจุดถ่ายโอนคือจุดที่ 3 ของรถคันที่ 2 โดยมีเวลารอคอยที่เกิดขึ้นคือ 13 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลลัพธ์ของเส้นทางดัง ภาพที่ 5.32

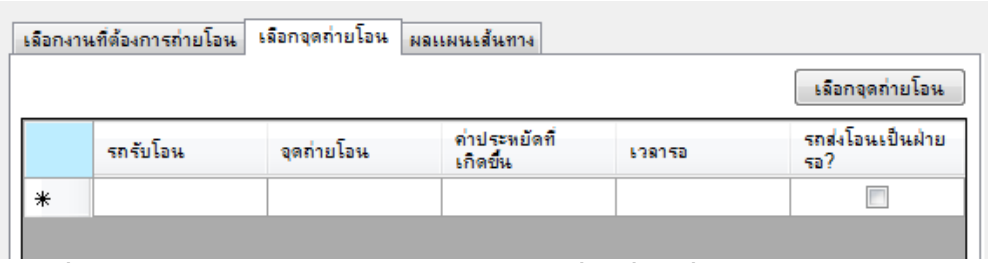


ภาพที่ 5.31 การหางานส่งอย่างเดียวของเส้นทางตัวอย่างที่ 3



ภาพที่ 5.32 ผลลัพธ์ของเส้นทางตัวอย่างที่ 3 เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนสินค้า

เมื่อเราทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลความต้องการขนส่งของงานขนส่งที่ 6 ในส่วน วัน/เวลาสิ้นสุดของการขนส่ง (lateness time) จาก 4/5/2555 เป็น 2/5/2555 13:00:00 เพื่อที่จะทำให้เวลายืดหยุ่นของเส้นทางนี้มีค่าน้อยลงพบว่า เมื่อนำไปพิจารณาการถ่ายโอนสินค้าใหม่อีกครั้ง ไม่สามารถทำการถ่ายโอนได้อีก ดังภาพที่ 5.33



ภาพที่ 5.33 การหาจุดถ่ายโอนของเส้นทางตัวอย่างที่ 3 เมื่อเปลี่ยนแปลงข้อมูลงานขนส่ง

ดังนั้นถ้าเส้นทางขนส่งที่พิจารณาการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะมีเวลาที่ยืดหยุ่นได้ (Salck time) ที่กว้างมากพอ ก็จะช่วยให้เกิดโอกาสในการถ่ายโอนสินค้าได้มากขึ้น

บทที่ 6
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากที่ผู้วิจัยได้สนใจที่จะลดต้นทุนขนส่งด้วยการนำแนวทางการถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะเข้ามาประยุกต์ใช้กับการจัดเส้นทางขนส่ง ในบทนี้จะเป็นการนำเสนอภาพรวมของงานวิจัยและผลการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด ซึ่งจะแบ่งเนื้อหาออกเป็นสามส่วนคือ การสรุปผลวิจัย ปัญหาและอุปสรรคในการทำวิจัย และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม ดังนี้

6.1 สรุปผลวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเสนอฮิวริสติกสำหรับตัดสินใจถ่ายโอนสินค้าระหว่างยานพาหนะเพื่อลดระยะทางขนส่งจากเส้นทางขนส่งทางตรงที่วางแผนไว้แล้ว โดยปกติแล้วปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจะเป็นการสร้างเส้นทางที่ดีที่สุดภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ แต่เนื่องจากการสร้างเส้นทางพร้อมๆกับการถ่ายโอนสินค้าภายใต้รูปแบบปัญหาที่ผู้วิจัยสนใจนั้นเป็นสิ่งที่ยากและซับซ้อนมาก ผู้วิจัยจึงเปลี่ยนวิธีการในการแก้ปัญหาโดยพัฒนาฮิวริสติกสำหรับตัดสินใจถ่ายโอนสินค้าขึ้นมาสำหรับปรับปรุงเส้นทางที่มีอยู่แล้วแทนเพื่อลดความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ปัญหา โดยปัญหาเส้นทางขนส่งที่สนใจเป็นการขนส่งแบบต่อเนื่องที่มีทั้งการรับและส่งสินค้า ภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งและข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่สินค้าสามารถขนส่งได้ โดยไม่มีแยกสินค้า (split order) และไม่พิจารณาเวลาโหลดสินค้า (loading time)

โดยฮิวริสติกแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่งเป็นการหางานที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ ซึ่งจะเลือกจากงานส่งอย่างเดียว โดยมีวิธีการเลือกงาน 4 วิธี คือ

- MD- Selection เป็นการเลือกงานเรียงตามลำดับค่า การประหยัดสูงสุด จากค่ามากไปค่าน้อย
- Saving-Selection เป็นวิธีการเลือกงานเรียงตามลำดับค่าการประหยัดจริงสูงสุดจากค่ามากไปค่าน้อย
- Saving &MD Selection เป็นวิธีการเลือกงานเรียงตามลำดับผลรวมของค่าการประหยัดจริงกับค่าการประหยัดสูงสุดที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตจากค่ามากไปค่าน้อย
- Enumeration-Selection เป็นวิธีการเลือกงานโดยพิจารณาทุกลำดับทางเลือกงาน

ขั้นตอนที่สองเป็นการหาคู่รถในการถ่ายโอนสินค้า ซึ่งพิจารณาจากเงื่อนไขความจุของรถที่เหลืออยู่และเงื่อนไขด้านกรอบเวลา

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเลือกสถานที่และช่วงเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายโอนสินค้า โดยรูปแบบการถ่ายโอนนั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 รูปแบบคือ การถ่ายโอนในเส้นทาง รถไม่สามารถออกนอกเส้นทางเดิมเพื่อไปถ่ายโอนสินค้าได้ และการถ่ายโอนนอกเส้นทาง รถสามารถออกนอกเส้นทางเดิมเพื่อไปถ่ายโอนสินค้าได้ ในขั้นตอนนี้จะพิจารณาจากผลรวมของค่าระยะการเดินทางที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการเดินทางไปจุดถ่ายโอนและเวลารอคอยที่เกิดขึ้น

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นทั้ง 4 วิธี สามารถลดระยะทางขนส่งโดยรวมลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับแผนเส้นทางขนส่งตั้งต้น จากการสังเกตแผนการขนส่งทางตรงที่จะถ่ายโอนสินค้าได้ดีมักจะเป็นแผนที่มีเส้นทางขนส่งที่จุดหมายปลายทางทับซ้อนกัน และใช้ได้ดีกับเส้นทางที่มีเวลายืดหยุ่นมาก (Slack time) เนื่องจากข้อจำกัดในการถ่ายโอนคือรถขนส่งจะต้องมาเจอกันพอดี ทำให้เกิดเวลารอคอยแตกต่างกัน ซึ่งส่งผลกระทบต่องานขนส่งที่เหลืออยู่หลังเกิดการถ่ายโอน นอกจากนี้การถ่ายโอนสินค้าในแต่ละครั้งจะทำเกิดแผนการขนส่งที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการเลือกงานที่จะทำการถ่ายโอนสินค้าจึงมีลักษณะเป็นแบบพลวัต ซึ่งลำดับก่อนหลังในการเลือกงานอาจส่งผลให้เกิดค่าการประหยัดจริงหรือส่งผลต่อระยะทางที่ลดได้จริงไม่เท่ากัน โดยจากการทดสอบพบว่าการเลือกงานด้วยวิธีการเลือกงานเรียงตามลำดับค่าการประหยัดสูงสุดจากค่ามากไปค่าน้อย (MD-Selection) ใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ยน้อยที่สุด แต่ได้คำตอบเฉลี่ยแย่ที่สุด ส่วนวิธีการเลือกงานโดยพิจารณาทุกทางเลือก (Enumeration-Selection) ได้คำตอบเฉลี่ยดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการพิจารณาเฉลี่ยมากที่สุด ส่วนวิธีการเลือกงานเรียงตามลำดับค่าการประหยัดจริงสูงสุดจากค่ามากไปค่าน้อย (Saving-Selection) ใช้เวลาในการหาคำตอบเฉลี่ยใกล้เคียงกับวิธีการเลือกงานเรียงตามลำดับผลรวมของค่าการประหยัดจริงกับค่า การประหยัดสูงสุด ที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตจากค่ามากไปค่าน้อย (Saving &MD Selection) แต่ได้คำตอบเฉลี่ยที่ดีกว่า ซึ่งเมื่อมองในมุมของด้านคุณภาพของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบร่วมกันพบว่าวิธี Saving-Selection จะดีที่สุด

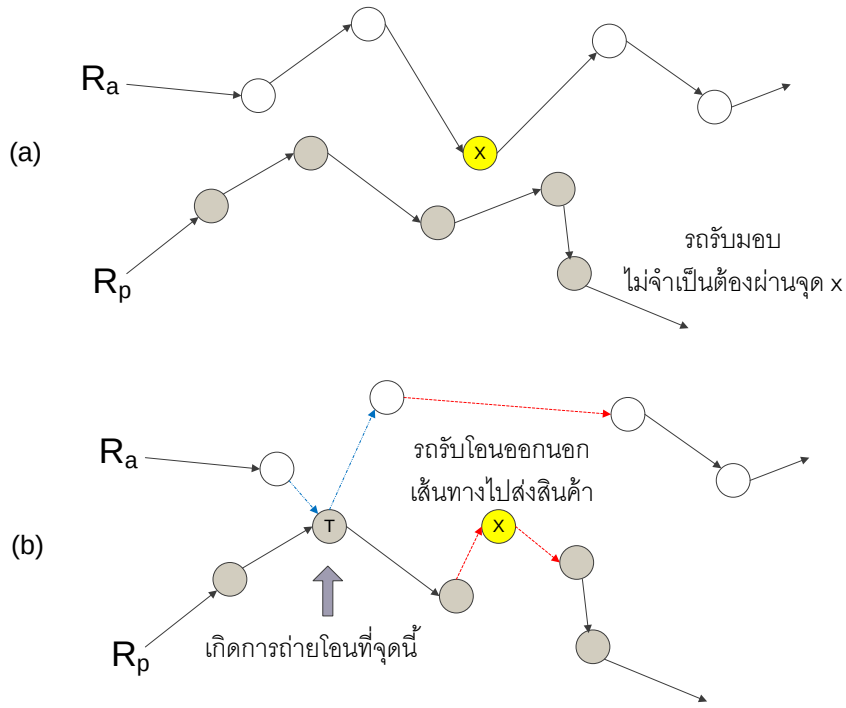
อีกทั้งปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบได้แก่ ปริมาณงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้น ปริมาณงานส่งอย่างเดียวเริ่มต้นที่สามารถถ่ายโอนสินค้าได้ในรอบแรก และปริมาณระดับการพิจารณาการถ่ายโอนสินค้า และเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธี Enumeration-Selection แต่ไม่ส่งผลอย่างชัดเจนต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบด้วยวิธี MD-Selection, Saving-Selection และ Saving &MD-Selection อีกทั้งยังพบว่าเมื่อปริมาณรากของคำตอบมีแนวโน้มสูงขึ้นจะส่งให้ต่อเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบสูงขึ้นตามไปด้วยอย่างมาก ดังนั้นในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นหรือมีความ

ซับซ้อนมากขึ้น ไม่ควรใช้วิธีการเลือกงานแบบ Enumeration-Selection แต่ควรใช้วิธีการเลือกงาน MD-Selection, Saving-Selection และ Saving &MD-Selection เพราะมีแนวโน้มการใช้เวลาในอัตราค่อนข้างคงที่เมื่อเทียบกับวิธี Enumeration-Selection

วิธีฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นนอกจากจะช่วยลดต้นทุนจากการถ่ายโอนระหว่างรถขนส่งแล้ว ยังสามารถนำไปดัดแปลงใช้กับการ Improve เส้นทางในการสร้างเส้นทางขนส่งทางตรงได้อีกด้วย โดยกำหนดให้เป็นการถ่ายโอนภายในเส้นทางและจุดถ่ายโอนเป็นจุดรับ ซึ่งจะทำให้คำตอบของเส้นทางทางตรงที่ได้ดีขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

เนื่องจากฮิวริสติกที่ออกแบบขึ้นเป็นรูปแบบจำกัดคือรถรับโอนที่จะสามารถทำการถ่ายโอนสินค้าได้ต้องมีจุดส่งที่รถส่งมอบต้องการถ่ายโอนงานให้เป็นจุดหนึ่งในการทำงาน ดังนั้น งานวิจัยที่สามารถทำเพิ่มเติมได้คือรถรับมอบไม่จำเป็นต้องมีจุดส่งเป็นจุดหนึ่งในการทำงาน รถ รับมอบสามารถออกนอกเส้นเส้นทางเพื่อไปส่งของแทนได้ดังภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 ตัวอย่างเส้นทางของรถรับโอนที่เสนอแนะ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฤศณภัทร สวาสดิ์ . การกำหนดเส้นทางเดินรถแบบ พลวัติ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

กิตติโชติ ตันติภนา. แบบจำลองและวิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าที่มีกรอบ เวลา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

จักรกฤษณ์ ดวงพัสตรา. หลักการขนส่ง. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2543.

จิตตภู เทพอารักษ์. การพัฒนาระบบการจัดส่งสินค้าในอุตสาหกรรมการผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ไชยยศ ไชยมั่นคง และ มยุขพันธุ์ ไชยมั่นคง . กลยุทธ์โลจิสติกส์และซัพพลายเชนเพื่อแข่งขันในตลาดโลก. นนทบุรี: ซี.วาย.ซิซเทิม พริ้นติ้ง, 2550.

ธรินี มณีศรี. ขั้นตอนวิธีการสำหรับการหาผลเฉลยเชิงทนทานของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและเวลาเดินทางไม่แน่นอน . วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2552.

ณกร อินทร์พยุง . การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมขนส่งและลอจิ สติกส์ . กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548.

ปารเมศ ชุติมา. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

พัชราภรณ์ เนียมมณี . ตัวแบบการจัดสรรทรัพยากร . กรุงเทพมหานคร : พัฒนารายวันการพิมพ์, 2552.

มานพ วราภักดิ์. การวิจัยดำเนินกา ร. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2552.

ยศศิริ อดุลยศักดิ์ . แบบจำลองและขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาการจัดส่งสินค้าแบบเต็มคันรถอย่างต่อเนื่อง . วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต , สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

วันชนะ วชิรวัฒนะธำรง . ขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาการรับและส่งสินค้าแบบเต็มความจุที่มีจุดรับสินค้าหลายแห่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

อัทธ์ พิศาลวานิช. การศึกษาโครงสร้างต้นทุนโลจิสติกส์ของไทยและการวิเคราะห์ผลกระทบจากราคาน้ำมัน. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยหอการค้าไทย 30(ม.ค. – มี.ค. 2553) : 38-53.

เอ็ดดูโซน . การขนส่งสินค้าทางถนน . [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา : blog.eduzones.com/kapok/1408 [8 กรกฎาคม 2554]

ภาษาอังกฤษ

Bouros, P., D. Sacharidis, T. Dalamagas, and T.K. Sellis. Dynamic Pickup and Delivery with Transfers. Proceedings of the 12th international conference on Advances in spatial and temporal databases, pp. 112—129. Berlin: Springer-Verlag, 2011.

Dondo, R., C. A. Méndez and J. Cerdá, ”The multi-echelon vehicle routing problem with cross docking in supply chain management. Computers & Chemical Engineering 35 (December 2011) : 3002-3024.

Dondo,R., C.A. Méndez and J. Cerdá. The supply-chain pick-up and delivery problem with transshipments. Computer Aided Chemical Engineering 26 (2009) : 1009-1014.

Drexl, M. Branch-and-Price and Heuristic Column Generation for the Generalized Truck-and-Trailer Routing Problem. Quantitative Methods for Economics and Business Administration 12 (December 2011) : 5-38.

Drexl, M. Synchronization in Vehicle Routing-A Survey of VRPs with Multiple Synchronization Constraints. Transportation science [Online]. 2012. Available from: http://transci.journal.informs.org [2012, March 19]

Eksioglu, B., A. V. Vural and A. Reisman. The vehicle routing problem: A taxonomic review. Computers & Industrial Engineering 57 (November 2009) : 1472-1483.

Li, F., B. Golden and E. Wasil. The open vehicle routing problem: Algorithms, large-scale test problems, and computational results. Computers & Operations Research 34 (October 2007) : 2918-2930.

Mitrovic-Minic, S. and G. Laporte. THE PICKUP AND DELIVERY PROBLEM WITH TIME WINDOWS AND TRANSSHIPMENT. INFOR 44 (August 2006) : 217-227.

Mues, C. and S. Pickl. Transshipment and Time Windows in Vehicle Routing. 8th International Symposium on Parallel Architectures, pp.113-119. Algorithms and Networks, 2005.

Savelsbergh, M. W. P. and M. Sol. The general pickup and delivery problem. Transportation Science 29 (1995) : 17-29.

Shang, J. S. and C. K. Cuff. Multicriteria pickup and delivery problem with transfer opportunity. Computers & Industrial Engineering 30 (September 1996) : 631-645.

Thangiah, S. R., A. Fergany and S. Awan. Real-time split-delivery pickup and delivery time window problems with transfers. Central European Journal of Operations Research 15 (November 2007) : 329-349.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวโสภา คู่สมรัตน์ เกิดวันที่ 1 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2550 จากนั้นได้เข้าทำงานในตำแหน่งหัวหน้าฝ่ายผลิต บริษัท ไทยยูเนี่ยน โฟรเซ่น โปรดักส์ (มหาชน) จำกัด เป็นเวลา 2 ปี 1 เดือน ภายหลังได้สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาการตลาด คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยรามคำแหง ในปีการศึกษา 2553 และเข้ารับการศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ในสถาบันจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553

ในระหว่างการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตได้รับหน้าที่เป็นผู้ช่วยวิจัยในศูนย์วิจัย ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ (Resource and Operation Manament, ROM) ซึ่งเป็นหน่วยพัฒนาศักยภาพ-สมรรถนะการบริหารทรัพยากรและระบบงานเชิงบูรณาการสำหรับหน่วยงานภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการภาครัฐ