การจัดเส้นทางเดินรถภายใต้กรอบเวลาบนฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

นายปิน เลียงวิทยาคุณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A GIS-BASED VEHICLE ROUTING WITH TIME WINDOWS

Mr. Pin Liangvittayakun

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดเส้นทางเดินรถภายใต้กรอบเวลาบนฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์
โดย	นายปิน **เลียงวิทยาคุณ**
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.**บุญสม เลิศหิรัญวงศ์**)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปิน เลียงวิทยาคุณ : การจัดเส้นทางเดินรถภายใต้กรอบเวลาบนฐานระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. (A GIS-BASED VEHICLE ROUTING WITH TIME WINDOWS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์, 66 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการขนส่งและกระจายสินค้าโดยรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวทำการขนส่งไปยังจุดส่งต่างๆ แบบไม่เต็มคันรถ ภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและความจุของยานพาหนะ การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถใช้วิธีฮิวริสติกในการหาผลเฉลย โดยใช้เทคนิคการหาค่าประหยัดในการสร้างแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้นและใช้เทคนิค Tabu search ในขั้นตอนของการวนรอบเพื่อปรับปรุงคำตอบของการจัดเส้นทางเดินรถและมีการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ช่วยในการจัดเส้นทางเดินรถ กรณีศึกษาตัวอย่างเก็บข้อมูลจากบริษัทค้าปลีกขนาดใหญ่แห่งหนึ่งของกรุงเทพมหานคร โดยขั้นตอนของการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถที่ได้จากแบบจำลองกับผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยพนักงาน ซึ่งผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางเดินรถที่ได้จากแบบจำลองให้ผลเฉลยที่ดีขึ้นกว่าผลเฉลยที่ถูกจัดโดยพนักงานในการปฏิบัติงานจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต ปิน เลียงวิทยาคุณ

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5070349021 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : VEHICLE ROUTING PROBLEM / TIME WINDOWS / HEURISTICS / GIS

PIN LIANGVITTAYAKUN ; A GIS-BASED VEHICLE ROUTING WITH TIME WINDOWS. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SOMPONG SIRISOPONSILP, Ph.D., 66pp.

This study develops a computerized system to determine optimal routes for goods delivery from a distribution center (DC) to multiple delivery points each having time windows within which the delivery must be made. The vehicle routing algorithm applies heuristic techniques and GIS application considering the restrictions on prescribed time windows and vehicle capacities with the objective to minimize delivery cost. The problem is initially solved using the so-called savings algorithm which constructs initial routing which is subsequently improved with tabu search technique to obtain the better result in an iterative fashion. Given a data set provided by a major retailer in Bangkok, the developed model is tested and appears to be able to find within reasonable amount of computation time better delivery routes than those determined by the manual practice.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Civil Engineering Student's Signature

Field of Study : Civil Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วง และผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มาโนช โลหเตปานนท์ ซึ่งเป็นประธานคณะกรรมการ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เทอดศักดิ์ รองวิริยะพานิช ซึ่งเป็นกรรมการ ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะประเด็นที่สำคัญที่ควรพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาแก่ผู้เขียนจนสามารถดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วง

นอกจากนี้ผู้เขียนขอขอบพระคุณบริษัท เซ็นทรัลรีเทล คอร์ปอเรชั่น จำกัดที่อำนวยความสะดวกและประสานงานในการรวบรวมข้อมูลในการวิจัยนี้เป็นอย่างดี และขอขอบคุณนายคมกฤษณ์ จิระสวัสดิ์ ที่ช่วยให้คำแนะนำในการทำวิจัย อีกทั้งรุ่นพี่ เพื่อน และน้องๆ ที่เป็นกำลังใจและช่วยสนับสนุนในระหว่างการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา และญาติพี่น้องที่คอยให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา จึงทำให้ผู้เขียนสามารถดำเนินมาจนถึงจุดนี้ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฌ

สารบัญรูป..... ญ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 4

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต..... 5

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ..... 5

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem, TSP)..... 7

2.1.2 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem, VRP)..... 9

2.2 เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ..... 9

2.2.1 เทคนิคการหาคำตอบด้วยผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact algorithm)..... 9

2.2.2 เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristics)..... 10

2.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ..... 17

2.4 การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์..... 19

2.5 การทบทวนผลงานที่ผ่านมา..... 20

2.6 บทสรุป..... 29

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 30

3.1 โครงร่างงานวิจัย..... 30

3.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงาน..... 30

3.3 ขั้นตอนการวิจัย..... 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ 33
4.1 การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น 33
4.1.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบ 33
4.2 การปรับปรุงเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิคค้นหาผลเฉลยแบบ Tabu search 42
4.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองจัดเส้นทางเดินรถกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ 50
บทที่ 5 การทดสอบระบบและวิเคราะห์ผล 54
5.1 แนวทางการทดสอบ 54
5.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง 54
5.2.1 การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง 54
5.2.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง 54
5.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง 55
5.3.1 การทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองเทียบกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน 55
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 59
6.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล 59
6.2 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ 59
6.3 การทดสอบและวิเคราะห์ผล 63
รายการอ้างอิง 64
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 66

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 คุณลักษณะทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ..... 6

5.1 ลักษณะของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถ 56

5.2 ผลลัพธ์ของการทดสอบแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบันของกลุ่มทดสอบ แบบที่ 1……...57

5.3 ผลลัพธ์ของการทดสอบแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบันของกลุ่มทดสอบ แบบที่ 2……...57

5.4 ผลลัพธ์ของการทดสอบแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบันของกลุ่มทดสอบ แบบที่ 3……...57

5.5 ผลลัพธ์ของการทดสอบแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบันของกลุ่มทดสอบ แบบที่ 4……...58

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ปริมาณการขนส่งสินค้ารวมภายในประเทศในช่วงปี พ.ศ. 2546 - 2550	2
2.1	ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (TSP)	8
2.2	ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (VRP)	9
2.3	การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีกวาด (Sweep algorithm)	11
2.4	การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Cross	12
2.5	การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Exchange	13
2.6	การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Relocation	13
2.7	ปัญหาคำตอบดีที่สุดเฉพาะแห่ง	15
2.8	The SPI neighborhood search	21
2.9	The Swap pairs neighborhood search	21
2.10	The WRI neighborhood search	22
4.1	การสร้าง New OD Cost Matrix	34
4.2	แสดง Network Analyst Window	35
4.3	แสดงระบุตำแหน่งของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง	36
4.4	การกำหนดคุณสมบัติของการวิเคราะห์	36
4.5	ผลการวิเคราะห์ OD Cost Matrix	37
4.6	การหาจุดส่งที่เหมาะสมแบบที่ 1 เพื่อเข้ามาอยู่ในเส้นทางเดินรถ	38
4.7	การหาจุดส่งที่เหมาะสมแบบที่ 2 เพื่อเข้ามาอยู่ในเส้นทางเดินรถ	39
4.8	การหาจุดส่งที่เหมาะสมแบบที่ 3 เพื่อเข้ามาอยู่ในเส้นทางเดินรถ	40
4.9	ขั้นตอนในการวิเคราะห์เส้นทางเดินรถเบื้องต้น	41
4.10	Flow chart มาตรฐานของ Tabu search algorithm	45
4.11	ขั้นตอนในการปรับปรุงเส้นทางเดินรถทั้งหมด	47
4.12	การปรับปรุงเส้นทางแบบ Cross exchange	48
4.13	การปรับปรุงเส้นทางแบบ Relocation	49
4.14	การปรับปรุงเส้นทางแบบ Within route	50
4.15	โครงข่ายถนน	51
4.16	ส่วนของระบบที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User interface)	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.17 การแสดงผลเฉลยของการจัดเส้นทางเดินรถ.....52

4.18 เอกสารเกี่ยวกับผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถ 53

6.1 กระบวนการสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น 61

6.2 การสร้างเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิคการหาค่าประหยัดและ Tabu search.....62

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

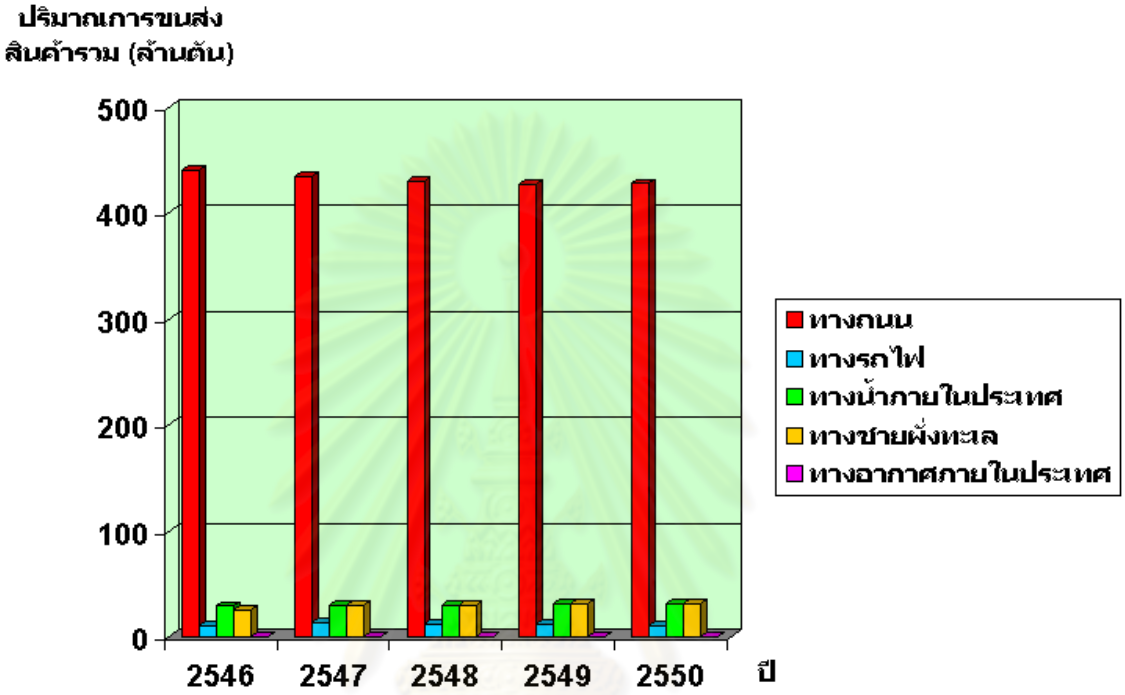
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในสภาพปัจจุบันการแข่งขันที่ธุรกิจต่าง ๆ ต้องเผชิญอยู่นั้น ปัจจัยที่จะนำพาองค์กรประสบความสำเร็จในการแข่งขันนั้นได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ปัจจัยด้านนวัตกรรมในผลิตภัณฑ์ พฤติกรรมผู้บริโภคและภาพพจน์องค์กรซึ่งถือเป็นอาวุธสำคัญในการตอบสนองความพึงพอใจของผู้บริโภค ปัจจุบันกลับไม่ใช่สิ่งที่จะสามารถรับประกันความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจขององค์กรได้อีกต่อไป เพราะสภาพแวดล้อมในการดำเนินงานปัจจุบันได้แปรเปลี่ยนไปสู่การดำเนินงานภายใต้การแข่งขันที่ต้องเร่งรีบในการลดระยะเวลา เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่มีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากลูกค้ามีโอกาสรับรู้ข้อมูลข่าวสารได้จากหลายทาง มีการเปิดรับสิ่งใหม่ ๆ ตลอดเวลา จากสภาพเช่นนี้ จะเห็นได้ว่าผู้ที่จะสามารถบรรลุสู่ชัยชนะในการแข่งขัน จะต้องไม่เพียงแต่มีผลิตภัณฑ์ที่ตรงความต้องการของตลาดยังต้องมีปัจจัยสนับสนุนสำคัญอีกสิ่งหนึ่ง คือ ความรวดเร็วในการนำเสนอผลิตภัณฑ์สู่ตลาด (Time to market) ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญกับการขนส่งและกระจายสินค้าซึ่งเป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างองค์กรกับลูกค้าในการนำเสนอผลิตภัณฑ์ บริการและคุณค่าสู่ลูกค้า โดยที่ยังคงยึดเป้าหมายด้านต้นทุนที่เหมาะสม และมีประสิทธิภาพด้านการปฏิบัติงาน และการครอบคลุมทั่วถึงต่อลูกค้า

ระบบการขนส่งทางถนนเป็นส่วนหนึ่งของระบบลอจิสติกส์ที่มีบทบาทสำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจภายในประเทศให้มีประสิทธิภาพ การขนส่งทางถนนมีต้นทุนการดำเนินการสูงกว่าการขนส่งในรูปแบบอื่นโดยเฉพาะต้นทุนด้านพลังงานซึ่งเป็นต้นทุนที่สำคัญ ทำให้ต้นทุนการขนส่งสินค้าของประเทศมีต้นทุนที่สูงมาก ส่งผลให้ต้นทุนลอจิสติกส์ของประเทศเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการพัฒนาศักยภาพด้านการแข่งขันระหว่างประเทศ โดยเฉพาะโอกาสและความเป็นไปได้ของประเทศไทยที่จะเป็นศูนย์กลางลอจิสติกส์และขนส่งของภูมิภาคอินโดจีน

จากสถิติของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม พบว่าปริมาณการขนส่งสินค้ารวมภายในประเทศประจำปี พ.ศ. 2550 มีปริมาณรวมทั้งหมด 502.2 ล้านตัน ซึ่งหากเปรียบเทียบกับสัดส่วนของการขนส่งสินค้าในประเทศไทยแล้ว

ปริมาณการขนส่งทางถนนมีสัดส่วนสูงที่สุด สถิติการขนส่งสินค้าภายในประเทศทางถนนในปี 2550 มีปริมาณ 428.12 ล้านตันต่อปี หรือคิดเป็นร้อยละ 85.25 ของปริมาณการขนส่งสินค้าภายในประเทศทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ปริมาณการขนส่งสินค้ารวมภายในประเทศในช่วงปี พ.ศ. 2546 - 2550
ที่มา: สถิติของศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
สำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม (2007)

การขนส่งสินค้าทางถนนเป็นรูปแบบการขนส่งสินค้าที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากมีจุดเด่นเหนือกว่าการขนส่งในรูปแบบอื่น ในประเด็นดังต่อไปนี้ 1) ความสามารถในการเข้าถึงจุดรับและจุดส่งสินค้า 2) การเตรียมตัวในการจัดส่งและรับสินค้าทำได้ง่าย และ 3) การขนส่งทางถนนเหมาะสำหรับการกระจายสินค้าให้กับผู้จำหน่ายสินค้ารายย่อยซึ่งสินค้าที่จัดส่งให้ผู้รับแต่ละรายมีจำนวนไม่มากนัก (Lambert, Stock, and Ellram, 1993 และ Bowersox, Calabro, and Wagenheim, 1981)

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem: VRP) เป็นปัญหาที่สำคัญในการจัดการขนส่งและกระจายสินค้าอย่างหนึ่ง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องการหาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่มีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของบริษัท การลด

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานนั้นอาจจะประกอบไปด้วย การใช้ยานพาหนะที่มีจำนวนน้อยลง การใช้ระยะทางในการขนส่งที่น้อยลง การลดระยะเวลาความล่าช้าในการขนส่งสินค้า และการเพิ่มระดับการให้บริการในการขนส่ง เป็นต้น

โดยทั่วไป เราสามารถแบ่งระดับปัญหาการจัดการการขนส่งสินค้าได้เป็น 3 ระดับ (Crainic และ Laporte, 1997) คือ

1. ปัญหาในระดับกลยุทธ์ (Strategic) เป็นส่วนของการวางแผนที่เกี่ยวกับนโยบายหรือทิศทางในการบริหารและดำเนินการขององค์กร เช่น การออกแบบและกำหนดที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า ขอบเขตของพื้นที่การให้บริการ ส่วนแบ่งการตลาด เป็นต้น
2. ปัญหาในระดับยุทธวิธี (Tactical) เป็นส่วนของการบริหารและวางแผนจัดสรรทรัพยากรต่าง ๆ ขององค์กร เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้ทรัพยากรสูงสุด เช่น การตัดสินใจขององค์กรที่จะซื้อรถบรรทุกหรือยานหาพนะจำนวนกี่คัน เป็นต้น
3. ปัญหาในระดับปฏิบัติการ (Operational) เป็นปัญหาในระดับของการควบคุมงานในแต่ละวัน โดยการแก้ปัญหาในระดับนี้จะต้องดำเนินการได้ง่ายขึ้น และรวดเร็ว เนื่องจากมีระยะเวลาในการตัดสินใจค่อนข้างจำกัด ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถอยู่ในส่วนของปัญหาในระดับปฏิบัติการ นั่นคือ องค์กรจะต้องออกแบบเส้นทางการขนส่งและเลือกขนาดรถที่เหมาะสมเพื่อส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าต่าง ๆ ให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดการจัดส่ง

เมื่อพิจารณาระดับของปัญหาต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเป็นปัญหาในระดับปฏิบัติการที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นงานพื้นฐานที่เกิดขึ้นเกือบทุกวันและมีผลโดยตรงต่อต้นทุนการขนส่งและคุณภาพการให้บริการ ซึ่งปัจจุบันมีการศึกษาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถในประเทศไทยมาบ้าง แต่ยังไม่ได้นำเงื่อนไขและข้อจำกัดของการขนส่งในด้านกรอบเวลามาประยุกต์ใช้ในการจัดเส้นทาง ตลอดจนเทคนิคที่นำมาประยุกต์ใช้ยังเป็นวิธีที่พัฒนามานานแล้ว ในการวิจัยนี้ได้นำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์และวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขและข้อจำกัดของการขนส่งในด้านกรอบเวลามาประยุกต์ใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้กำหนดวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการดังนี้

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการขนส่งและกระจายสินค้าให้เกิดการประหยัดต้นทุนในการขนส่งและเกิดประสิทธิภาพในการดำเนินงาน
2. เพื่อประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ช่วยในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการขนส่งและกระจายสินค้า

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ จะทำการศึกษารูปแบบการเดินรถแบบไม่เต็มคันรถ (Less Than Truck Load) ซึ่งจะพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้าโดยรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวไปยังจุดส่งต่าง ๆ โดยวิธีฮิวริสติก ซึ่งพิจารณาถึงเงื่อนไขและข้อจำกัดในการขนส่งต่าง ๆ คือ ประเภทสินค้า ประเภทรถบรรทุก ความจุและน้ำหนักที่รถสามารถบรรทุกได้ เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าขึ้นและลง สถานที่ และกรอบเวลา และมีการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ช่วยในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการขนส่งและกระจายสินค้า

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถนำมาใช้งานได้จริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานในปัจจุบัน
2. ช่วยให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางเดินรถสามารถจัดเส้นทางเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ คือ ลดระยะเวลาในการจัดเส้นทางเดินรถและสามารถประหยัดต้นทุนในการขนส่งสินค้า

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem : VRP) เป็นปัญหาของการจัดเส้นทางของยานพาหนะเพื่อหาจำนวนเส้นทางและลำดับการเดินทางภายในแต่ละเส้นทางที่มีความเหมาะสมไปยังลูกค้าต่าง ๆ และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายทางธุรกิจ ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดที่สำคัญต่าง ๆ ในการจัดเส้นทาง ได้แก่

- ข้อจำกัดเรื่องเส้นทาง (Route Capacity) ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการบรรทุกของรถ, ความสามารถในการเข้าถึงพื้นที่ของรถและเงื่อนไขของเวลาในการขับขี่รถบรรทุกที่กฎหมายอนุญาตข้อมูลที่สามารถหาได้จากบริเวณด่านเก็บค่าผ่านทาง เช่น จำนวนรถ
- ข้อมูลเวลา (Time Window) เป็นการกำหนดช่วงเวลาที่จะลงสินค้าของลูกค้าแต่ละราย โดยข้อกำหนดนี้อาจเป็นข้อกำหนดที่เข้มงวด คือ หลีกเลี่ยงไม่ได้ (Hard time window) และข้อกำหนดที่ไม่เข้มงวด (Soft time window) คือ ผ่อนปรนได้บ้าง แต่อาจมีบทปรับหรือลงโทษ ซึ่งกรอบเวลาสามารถแบ่งออกได้ใน 2 ลักษณะ (ณกร อินทร์พยุง, 2005) คือ
  1. เงื่อนไขทางด้านเวลาแบบด้านเดียว (Single – sided time window) เงื่อนไขลักษณะนี้ คือ รถบรรทุกจะต้องไปรับหรือส่งสินค้าไม่เกินเวลาที่ลูกค้ากำหนด ในกรณีนี้ รถบรรทุกสามารถไปถึงลูกค้าก่อนเวลาที่กำหนดได้โดยไม่ต้องเสียค่าปรับหรือผิดเงื่อนไขในการให้บริการ
  2. เงื่อนไขทางด้านเวลาแบบสองด้าน (Double – sided time window) เงื่อนไขลักษณะนี้ คือ รถบรรทุกจะต้องไปรับหรือส่งสินค้าในช่วงเวลาที่กำหนดเท่านั้น เช่น รถบรรทุกจะต้องไปส่งสินค้าให้ลูกค้า ก ในระหว่างช่วงเวลา 10.00 – 12.00 น. เท่านั้น ในกรณีนี้ บริษัทไม่สามารถจัดให้รถบรรทุกไปส่งสินค้าก่อนเวลา 10.00 น. ได้เพราะขัดแย้งกับเงื่อนไข สังเกตว่า การที่ลูกค้ากำหนดเงื่อนไขไม่ให้รถบรรทุกไปส่งสินค้าก่อนเวลานั้นอาจเป็นเพราะว่า ลูกค้ายังไม่เปิดเวลาทำการ หรือเนื่องจากข้อจำกัด

ในด้านสถานที่จอดรถของลูกค้า ในมุมของบริษัทผู้ให้บริการขนส่ง ถ้ารถบรรทุกไปถึงก่อนเวลามาก ๆ จะทำให้รถบรรทุกสูญเสียเวลาในการรอคอย ซึ่งบริษัทเสียโอกาสในการใช้ทรัพยากรอย่างเต็มประสิทธิภาพ

แนวทางในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจะมีความซับซ้อนและเปลี่ยนไปตามคุณลักษณะขององค์ประกอบของปัญหา ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณลักษณะทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

Nature of demand	Pure pickups or pure deliveries Pickups (deliveries) with backhaul option Single or multiple commodities Must serve all demand ? Common carrier option Priorities for customers
Information on demand	All demand known in advance ? Many repeat demands ? Fixed frequencies for visits ? Uncertain demands ? Real – time inflow of demands
Vehicle fleet	Homogeneous fleet or multiple vehicle types Weight and capacity restrictions compartments Loading restrictions/equipment Vehicle type/site dependencies Vehicle type/commodity compatibility Fixed or variable fleet size Fleet based at single depot or multiple terminals
Crew requirements	Pay structure Fixed or variable number of drivers Driver start times and locations Lunch or other breaks Multiple – day trips allowed
Scheduling requirements	Assignment of customers to day of the week Time windows for pickup/delivery (soft, hard)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	Open and close times Load/unload (dwell) times
Data requirements	Geographic database, road networks Customer addresses and locations Travel times Vehicle location information Customer credit and billing information

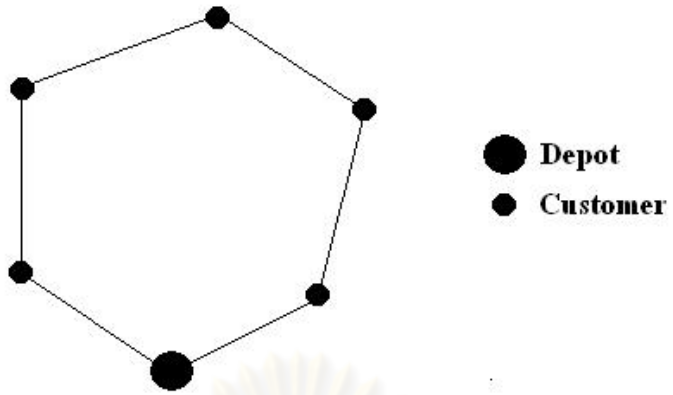
ที่มา: A.A.Assad (1988)

งานวิจัยนี้จะเน้นการวางแผนเส้นทางของรถบรรทุกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียวไปยังจุดส่งต่าง ๆ ซึ่งมีวิธีการจำลองปัญหานี้อยู่ 2 รูปแบบ เรียงลำดับจากปัญหาที่มีความซับซ้อนจากน้อยไปมาก คือ

- ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem, TSP)
- ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem, VRP)

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (Traveling Salesman Problem, TSP)

เป็นปัญหาระดับพื้นฐานที่สุด ซึ่งมีลักษณะของปัญหา คือ ต้องการจัดลำดับการส่งสินค้าภายในเส้นทางให้กับลูกค้าต่าง ๆ จากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว โดยมีเป้าหมายให้เกิดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ซึ่งเส้นทางที่จัดได้นั้นจะต้องมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้าและผ่านลูกค้าแต่ละรายเพียงครั้งเดียว ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ปัญหาลักษณะนี้ไม่มีข้อจำกัดด้านความจุของรถและเวลา



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (TSP)

สมมติให้โครงข่ายการขนส่ง (Network) G = [V, A, C] กำหนดให้ V คือ เซตของจุดส่ง (Nodes) V = {1,…,n) โดยให้เส้นทางเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่งแทนด้วยจุดส่งที่ 1 A คือ เซตของเส้นทางต่าง ๆ (Arcs) A = {(i,j):i,j $\in$V, i $\neq$ j} และ C = [C_{ij}] แทนเมตริกซ์ของ C_{ij} ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าจากจุดส่ง i ไปยังจุดส่ง j

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของปัญหา TSP เป็นดังนี้

Min : $$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij} \qquad (2.1)$$

Subject to : $$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = b_j = 1 \qquad (j = 1,\ldots,n) \qquad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i = 1 \qquad (i = 1,\ldots,n) \qquad (2.3)$$

$$\sum_{i.j\in S_p} x_{ij} \le |S_p| - 1 \qquad (S_p \subset P; 2 \le |S_p| \le n-2) \qquad (2.4)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \qquad (i, j = 1,\ldots,n) \qquad (2.5)$$

โดยกำหนดให้

x_{ij} = 1 ถ้า Arc(i,j) อยู่ในเส้นทาง และ x_{ij} = 0 ถ้า Arc(i,j) ไม่อยู่ในเส้นทาง

S_p = เซตของรอบการเดินทางที่ไม่สมบูรณ์

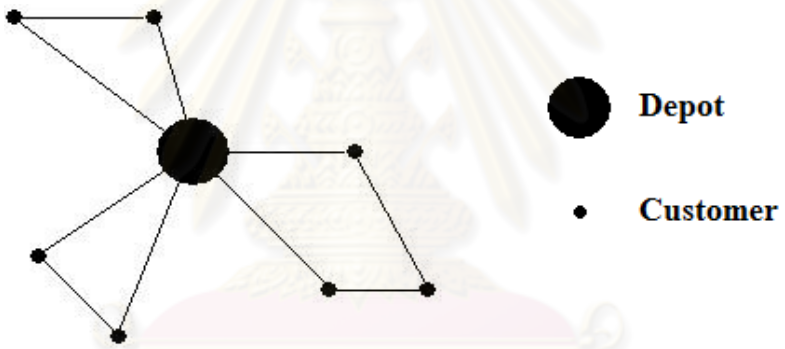
P = เซตของรอบการเดินทางที่สมบูรณ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมการวัตถุประสงค์ (2.1) คือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวมมีค่าต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไข (2.2) และ (2.3) คือ จุดส่งทุกจุดมีการเข้าและออกเพียงอย่างละครั้ง เงื่อนไข (2.4) คือ ป้องกันการเกิดรอบการเดินทางที่ไม่สมบูรณ์ เงื่อนไข (2.5) คือ กำหนดตัวแปรการตัดสินใจว่าจะเลือกหรือไม่เลือก

2.1.2 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem, VRP)

ลักษณะของปัญหาแบบนี้ คือ ต้องการหาจำนวนเส้นทางเดินรถและลำดับของการส่งสินค้าในแต่ละเส้นทาง ซึ่งเส้นทางแต่ละเส้นทางที่จัดได้นั้นจะต้องมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้า โดยมีเป้าหมายให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวมสำหรับทุกเส้นทางมีค่าต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ภายใต้ข้อจำกัดของการจัดส่ง เช่น ความจุของรถและเวลา เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (VRP)

2.2 เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

เทคนิคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวไปยังจุดส่งต่าง ๆ สามารถแบ่งเป็น 2 แนวทาง ดังนี้

- เทคนิคการหาคำตอบด้วยการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact algorithm)
- เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristics)

2.2.1 เทคนิคการหาคำตอบด้วยผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact algorithm)

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดจะได้คำตอบของปัญหาที่มีคุณภาพสูงที่สุด อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัตินั้นวิธีในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดมักประสบปัญหา เนื่องจากต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์หาคำตอบนานมาก จึงไม่สามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนในเวลาที่จำกัดได้ ซึ่งเทคนิคที่นำมาใช้แก้ปัญหามีหลายวิธี เช่น เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and bound) มีแนวคิดในการแก้ปัญหาโดยการแบ่งหรือแตกกิ่ง (Dividing or Branching) และการหยุด (Conquering) ซึ่งเริ่มต้นจากปัญหาที่มีขนาดใหญ่และแบ่งปัญหานั้นเป็นปัญหาย่อย ๆ (Sub problem) จากนั้นพิจารณาขอบเขต (Bounding) ของผลเฉลยสำหรับปัญหาย่อยและพิจารณาตัดปัญหาที่ไม่สามารถค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุดในขณะนั้นได้ และทำซ้ำเช่นนี้กับทุกปัญหาย่อย ๆ จนกระทั่งพบปัญหาย่อยที่ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด

2.2.2 **เทคนิคการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก** (Heuristics)

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติกเป็นวิธีการที่อาศัยการกำหนดกฎเกณฑ์บางประการขึ้นมา เพื่อหาคำตอบที่ดีและเหมาะสมในระดับหนึ่งถึงแม้คำตอบที่ได้จะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่ก็เป็นการหาคำตอบที่ดีและมีคุณภาพในระดับที่ยอมรับได้ภายในเวลาที่จำกัด โดยสามารถจำแนกการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติกได้ 2 กลุ่ม คือ

- กลุ่ม Classical Heuristics
- กลุ่ม Metaheuristics

เทคนิคการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถกลุ่ม Classical heuristics

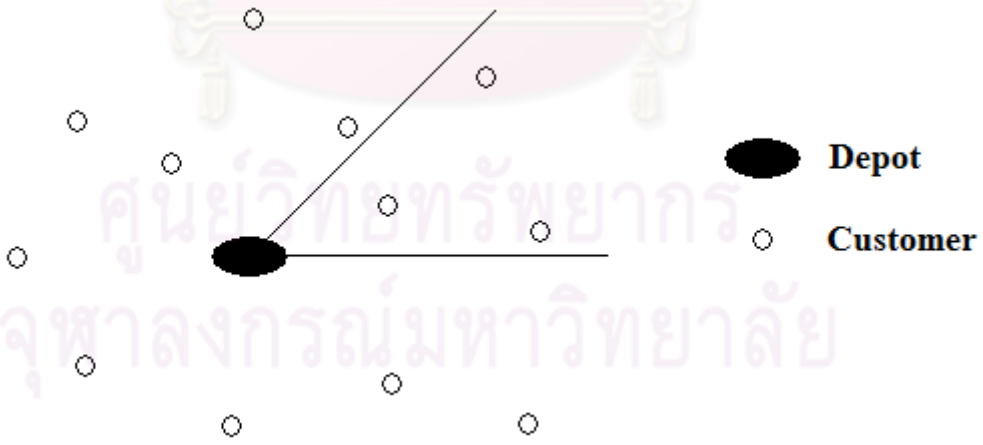
1. วิธีประหยัด (Saving algorithm)

วิธีประหยัดถูกเสนอโดย Clarke and Wright (1964) วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและให้คำตอบที่ตรงไปตรงมา แม้ว่าวิธีนี้จะไม่ประกันถึงการได้คำตอบที่ดีที่สุดก็ตาม สำหรับปัญหาการตัดสินใจที่มีขนาดไม่ใหญ่นัก วิธีประหยัดยังคงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง โดยหาค่าประหยัดค่าใช้จ่าย $S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$ โดยที่ i, j เป็นเซตของจุดส่ง และ i $\neq$ j แล้วทำการเรียงค่าประหยัดจากมากไปน้อย เพื่อสร้างเส้นทางที่ทำให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายสูงที่สุด โดยคำนึงถึง

ข้อจำกัดความจุของรถ อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจมีข้อบกพร่องเพราะเส้นทางที่ได้จากการวิเคราะห์อาจมีพื้นที่รับผิดชอบในการขนส่งแตกต่างกันมาก และทำให้ใช้ระยะเวลาในการเดินรถไม่เท่ากัน

2. วิธีกวาด (Sweep algorithm)

วิธีกวาดจะทำการหาจำนวนเส้นทางและลำดับการส่งสินค้าโดยการแบ่งพื้นที่รับผิดชอบให้แต่ละเส้นทางหรือให้รถแต่ละคันด้วยการหมุนเส้นสมมติทิศทวนเข็มหรือตามเข็มนาฬิกาดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในแต่ละเส้นทางที่เส้นดังกล่าวผ่านจะทำการรวมลูกค้ารายที่ยังไม่ถูกเลือกเข้ามาอยู่ในเส้นทางจนกระทั่งถึงข้อจำกัดของการขนส่ง เช่น ปริมาณสินค้าต้องไม่เกินความจุของรถ เป็นต้น จึงเปลี่ยนรถใหม่เข้ามาเพิ่มจนกระทั่งหมุนเส้นครบรอบ หลังจากนั้นจะจัดลำดับการส่งสินค้าภายในแต่ละเส้นทางโดยใช้เทคนิคการแก้ปัญหา TSP สำหรับแต่ละเส้นทาง อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจมีข้อบกพร่อง คือ ถ้าศูนย์กระจายสินค้าไม่ได้ตั้งอยู่ ณ ศูนย์กลางของพื้นที่ให้บริการหรือถ้าการกระจายตัวของลูกค้าไม่สม่ำเสมอจะทำให้รูปร่างของเส้นทางเดินรถมีขนาดไม่สมดุลและทำให้ระยะเวลาในการเดินทางของรถแต่ละคันมากกว่าวิธีแก้ปัญหาแบบอื่น ๆ นอกจากนี้แล้ววิธีกวาดไม่ได้คำนึงถึงลักษณะการวางแนวของถนน ทำให้ร้านค้าที่อยู่ในถนนเดียวกันอาจจะอยู่คนละเส้นทางก็ได้



รูปที่ 2.3 การแก้ไขปัญหาด้วยวิธีกวาด (Sweep algorithm)

3. วิธีแบ่งกลุ่มก่อนแบ่งเส้นทาง (Cluster First – Route Second algorithm)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีนี้จะทำการแบ่งกลุ่มของลูกค้าออกเป็นพื้นที่ความรับผิดชอบของรถแต่ละคัน โดยคำนึงถึงข้อจำกัดด้านความจุของรถแต่ละคัน จากนั้นจึงทำการหาลำดับการส่งสินค้าภายในแต่ละเส้นทางด้วยเทคนิคการแก้ปัญหา TSP

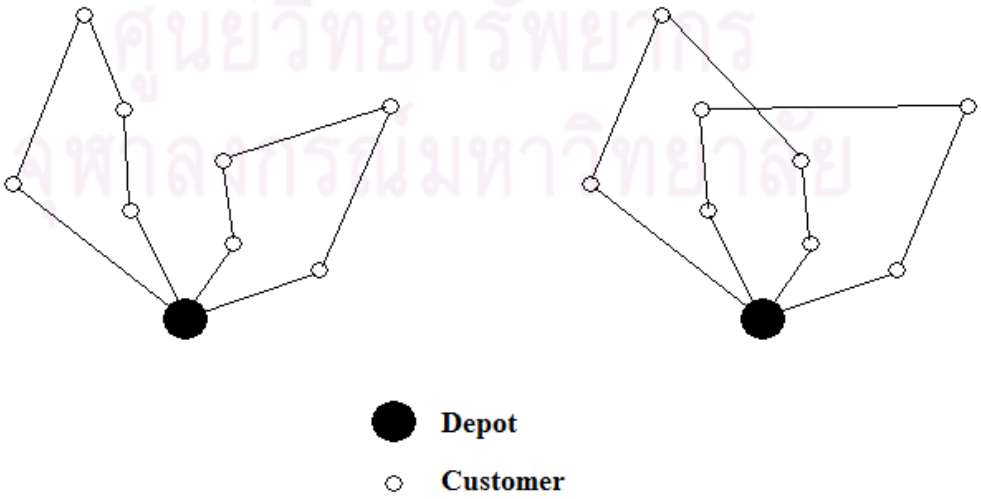
4. วิธีแบ่งเส้นทางก่อนแบ่งกลุ่ม (Route First – Cluster Second algorithm)

วิธีนี้จะเริ่มจากการหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่ผ่านลูกค้าทุกราย ซึ่งเรียกเส้นทางนี้ว่า Giant Tour หลังจากนั้นจึงทำการแบ่งเส้นทางเดินรถออกเป็นเส้นทางย่อย ๆ เนื่องจากรถเพียงหนึ่งคันไม่สามารถให้บริการลูกค้าได้ครบทุกราย ดังนั้นจึงต้องแบ่งเป็นเส้นทางย่อยโดยคำนึงถึงข้อจำกัดด้านความจุและระยะเวลาการขนส่งของรถแต่ละคัน

5. วิธี Improvement Heurisrics

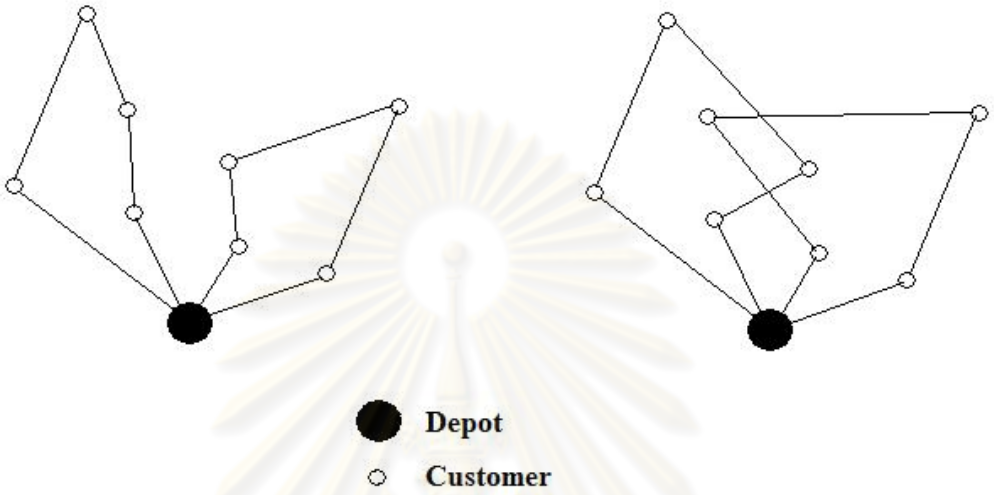
เป็นวิธีการปรับปรุงเส้นทางที่มีอยู่ เพื่อทำให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางลดลงด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางที่มีอยู่ โดยจะทำการแลกเปลี่ยนจนกระทั่งไม่สามารถปรับปรุงเส้นทางให้ดีขึ้นได้ ซึ่งรูปแบบของการปรับปรุงเส้นทางมีด้วยกัน 4 รูปแบบ (Breedam, 1994) ดังนี้

- String Cross (SC) เป็นการปรับปรุงระหว่างเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางโดยการข้ามทับเส้นทาง (Cross) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



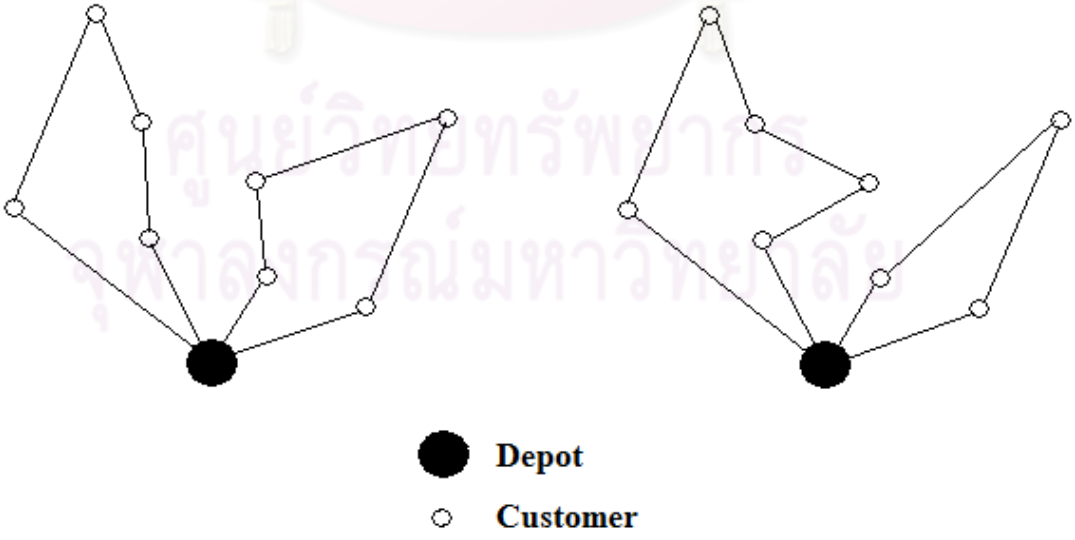
รูปที่ 2.4 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Cross

- String Exchange (SE) เป็นการปรับปรุงระหว่างเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทางที่ถูกเลือก ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งสามารถแลกจุดส่งครั้งละหลายจุดได้



รูปที่ 2.5 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Exchange

- String Relocation (SR) เป็นการปรับปรุงเส้นทางด้วยการย้ายจุดส่งจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยวิธีนี้สามารถย้ายจุดส่งครั้งละหลายจุดได้



รูปที่ 2.6 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Relocation

- String Mix (SM) เป็นการปรับปรุงเส้นทางที่ผสมผสานวิธีการของ String Exchange และ String Relocation เข้าด้วยกัน

6. วิธีการค้นหาเฉพาะแห่ง (Neighborhood Search, NS)

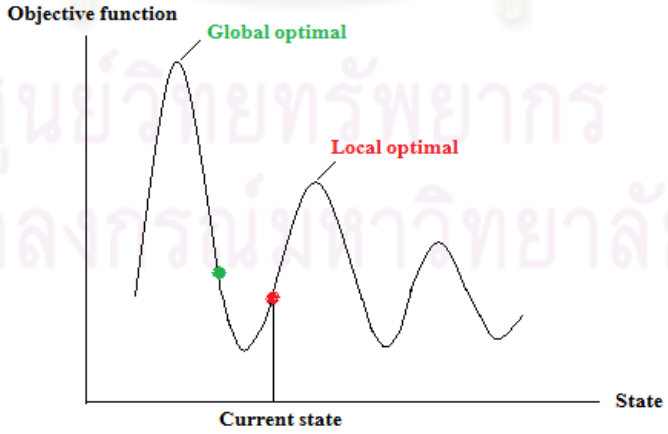
วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะแห่งเริ่มต้นจากคำตอบที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไขแล้วใช้ขั้นตอนการกระทำซ้ำ (Iterative improvement) เพื่อพยายามหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบ ณ เวลาปัจจุบันที่มีอยู่ (ณกร อินทร์พยุง, 2005) วิธีนี้ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เนื่องมาจากมีอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาที่ยืดหยุ่นและเข้าใจง่าย แนวคิดในการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้ คือ จะเริ่มการค้นหาคำตอบจากคำตอบเริ่มต้นที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไข (Initial feasible solution) สมมติให้คำตอบเริ่มต้นนี้เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ S^1 สำหรับแต่ละคำตอบ S (Solution S) ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข กลุ่มคำตอบที่อยู่ภายในเนเบอร์ฮูดของ S เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ N(S) ซึ่งกลุ่มคำตอบภายในเนเบอร์ฮูด S สามารถหาได้โดยการเปลี่ยนแปลง ดัดแปลงหรือปรับปรุงคำตอบตามกฎเกณฑ์บางอย่างที่ผู้ออกแบบอัลกอริทึมตั้งขึ้นมา กลุ่มคำตอบที่อยู่ภายใน N(S) เราเรียกว่าเนเบอร์ (Neighbor) ของ S ในแต่ละรอบการกระทำซ้ำ (Iteration) วิธีการค้นหาเฉพาะแห่งจะทำการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นภายในเนเบอร์ฮูดที่กำหนด โดยอัลกอริทึมจะทำการหาคำตอบแบบซ้ำไปซ้ำมาจนได้คำตอบ S^1 ,S^2, S^3, ..., S^{k+1} ที่เป็นคำตอบที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข อัลกอริทึมจะให้คำตอบ S^{k+1} ซึ่งมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีกว่า S^k ที่มีอยู่ ณ เวลานั้น อัลกอริทึมจะหยุดหาคำตอบเมื่อไม่สามารถหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบที่มีอยู่ภายในเนเบอร์ของมัน ซึ่งเรียกคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะแห่งนี้ว่า Local optima จากนั้นอัลกอริทึมจะเริ่มทำการหาคำตอบใหม่ที่มีจุดเริ่มต้นของคำตอบที่แตกต่างกัน และดำเนินการหาคำตอบจนถึงระยะเวลาหรือรอบการกระทำซ้ำที่กำหนด ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบที่เป็น Local optima จำนวนมาก โดย Local optima ที่มีค่าน้อยที่สุดคือคำตอบสุดท้ายของการแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้

สิ่งที่สำคัญในการหาคำตอบของปัญหาโดยวิธีค้นหาเฉพาะแห่ง คือ การออกแบบโครงสร้างเนเบอร์ฮูด (Neighborhood structure หรือ Local move structure) ซึ่งเป็นการกำหนดว่าเนเบอร์ฮูด N(S) จะนำไปสู่คำตอบ S ได้อย่างไร ซึ่งโครงสร้างของเนเบอร์ฮูดนี้จะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของอัลกอริทึม นอกจากนี้อาจจะใช้ข้อมูลที่เป็นลักษณะเฉพาะของปัญหามาช่วยในการค้นหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เช่น การใช้หน่วยความจำ (Memory หรือ Search

history) นั่นคือ เมื่ออัลกอริทึมได้ทำการสำรวจ ณ ที่ใดที่หนึ่งแล้วจะไม่ย้อนกลับไปสำรวจในพื้นที่นั้น ๆ อีก

7. วิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ (Large Scale Neighborhood Search, LNS)

วิธีการค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ (LNS) ถูกเสนอโดย Ahuja และ Orlin (2000) วิธี LNS เป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีค้นหาเฉพาะแห่ง (NS) เนื่องจากวิธี NS มีระยะของการค้นหาคำตอบข้างเคียงที่แคบทำให้ไม่สามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีขนาดใหญ่ได้ดีมากนัก ทำให้คำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนาดใหญ่โดยใช้วิธี NS จะได้คำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะแห่ง (Local optima) เท่านั้น ซึ่งวิธี LNS จะมีวิธีการในการแก้ปัญหาคล้ายคลึงกับวิธี NS แต่จะมีระยะของการค้นหาคำตอบข้างเคียง (Neighborhood solution) ที่กว้างขึ้น ทำให้สามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนาดใหญ่และหลีกเลี่ยงปัญหาคำตอบดีที่สุดเฉพาะแห่งได้ดีกว่าวิธี NS ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยผลเฉลยเบื้องต้นปัจจุบันอยู่ที่ตำแหน่ง Current state เมื่อทำการวนรอบหาคำตอบด้วยวิธี NS คำตอบที่ได้จะค่อย ๆ มีแนวโน้มไปในทิศทางที่เข้าหาตำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะแห่ง เนื่องจากวิธี NS มีระยะของการค้นหาคำตอบข้างเคียงที่แคบ แต่วิธี LNS ซึ่งมีระยะของการค้นหาคำตอบที่กว้างขึ้นจะสามารถค้นหาคำตอบที่ดีกว่าได้ โดยคำตอบสามารถกระโดดข้ามจากจุด Current state ไปยังจุด A ได้ เมื่อทำการวนรอบหาคำตอบด้วยวิธี LNS คำตอบที่ได้จะค่อย ๆ มีแนวโน้มไปในทิศทางที่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global optimal)



รูปที่ 2.7 ปัญหาคำตอบดีที่สุดเฉพาะแห่ง

โดยหลักการแล้วการใช้วิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่จะทำให้สามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพมากขึ้น เนื่องจากมีระยะการค้นหาคำตอบข้างเคียงที่กว้าง อย่างไรก็ตามการค้นหาคำตอบด้วยวิธีนี้ก็จะทำให้สูญเสียเวลาในการค้นหาคำตอบมากขึ้นเช่นกัน

เทคนิคการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถกลุ่ม Metaheuristics

เทคนิคที่ได้รับความนิยมและถูกประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถกันมากในปัจจุบัน ได้แก่ วิธีการหาคำตอบที่เลียนแบบการตกผลึกทางเคมี (Simulated annealing) วิธีการหาคำตอบที่ป้องกันการเข้าสู่ค่าเดิมหรือวิธีทาบู (Tabu search) เป็นต้น ทั้ง 2 วิธีนี้เป็นกรอบวิธีสำหรับการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยออกแบบสำหรับเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการอื่น ๆ เพื่อแก้ปัญหาผลการวิเคราะห์ที่มักจะได้ Local Optimality

1. วิธี Simulated annealing

วิธี Simulated annealing มีลักษณะเด่น คือ สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะแห่งได้ (Local optima) ซึ่งวิธีนี้จะแก้ปัญหา Local optima โดยการอนุญาตให้อัลกอริทึมออกจากจุด Local optima ได้ด้วยการประยุกต์ใช้ความน่าจะเป็น (Probability) อย่างหนึ่ง และเมื่อจำนวนรอบการกระทำซ้ำในการค้นหาคำตอบเพิ่มมากขึ้น คำตอบที่ได้ในปัจจุบันจะค่อย ๆ มีแนวโน้มเข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดได้โดยอาศัยพื้นฐานของทฤษฎีความน่าจะเป็นเช่นกัน

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยวิธี Simulated annealing คือ พารามิเตอร์ต่าง ๆ และโครงสร้างของเนเบอร์ฮูดที่ใช้ในการพัฒนาคำตอบ เนื่องจากวิธีนี้มีโครงสร้างอัลกอริทึมที่ง่ายและมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่มีขนาดใหญ่ทำให้วิธีนี้ได้รับความนิยมในปัจจุบัน

2. วิธี Tabu search

วิธี Tabu search มีลักษณะเด่น คือ การใช้ประโยชน์ของการจัดการหน่วยความจำ (Memory) ที่มีประสิทธิภาพ (สุทธิพงษ์ มีใย, 2006) สามารถดัดแปลงใช้งานได้หลายรูปแบบ หัวใจของ Tabu search คือ การส่งผ่านสถานะบางอย่างของคำตอบในปัจจุบัน

ให้กับหน่วยความจำรวม โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำไปปรับปรุงคำตอบในการคำนวณครั้งต่อไป โดยสถานะที่ใช้เรียกว่า สถานะ Tabu ในขบวนการของ Tabu search วัตถุที่ได้รับสถานะ Tabu จะมีสถานะต้องห้าม (Forbidden elements) และจะถูกนำเข้าสู่หน่วยความจำประมวลผล โดยสถานะนี้จะหายไปขึ้นอยู่กับเวลาหรือรอบการคำนวณ โครงสร้างหน่วยความจำของ Tabu search ขึ้นอยู่กับปัจจัย 4 ประการ คือ Recency Frequency Quality และ Influence ปัจจัย Recency และ Frequency เป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กันกล่าวคือ ปัจจัย Recency เป็นการใช้ผลลัพธ์ในอดีตมาปรับปรุงให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น ส่งผลต่อปัจจัย Frequency ที่เป็นปัจจัยทางด้านเวลาหรือรอบเวลาในการคำนวณ ปัจจัย Quality เป็นปัจจัยเนื่องจากคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จาก Tabu search โดยหน่วยความจำส่วนนี้จะถูกใช้ในการแยกแยะว่าวัตถุ (Element) ใดนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ดีและวัตถุใดนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ไม่ดี โดยจะกำหนดค่าหน่วง (Penalties) หรือการให้สถานะ Tabu กับวัตถุนั้นเพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นในรอบการคำนวณถัดไป ปัจจัย Influence เป็นปัจจัยในการกำหนดผลลัพธ์ที่ได้ไม่เพียงแต่ให้มีคุณภาพเท่านั้น แต่ยังรวมถึงความเป็นไปได้ในทางปฏิบัติของผลลัพธ์นั้นอีกด้วย การจัดการปัจจัยทั้ง 4 ประการนี้ให้มีประสิทธิภาพมีผลต่อปริมาณการใช้หน่วยความจำในการประมวลผลเพื่อหาผลลัพธ์จากวิธี Tabu search

2.3 การศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

ระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจเป็นระบบที่ช่วยให้ผู้ที่เกี่ยวข้องต่อการตัดสินใจสามารถตัดสินใจแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยระบบไม่ได้ทำหน้าที่ตัดสินใจแทนผู้เกี่ยวข้อง แต่ผู้เกี่ยวข้องจะทำการติดต่อและโต้ตอบผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) เพื่อเปลี่ยนแปลงปัจจัยหรือกำหนดสถานการณ์เพื่อให้สามารถวิเคราะห์และตัดสินใจได้ดียิ่งขึ้น ระบบช่วยสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดเส้นทางเดินรถ จะมีองค์ประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. ข้อมูลป้อนเข้าสู่ระบบและฐานข้อมูล

จากการศึกษาผลงานที่ผ่านมาพบว่าข้อมูลที่จำเป็นต่อกระบวนการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าจะประกอบด้วยข้อมูลภายในบริษัท และข้อมูลภายนอกบริษัท โดยอาจจำแนก ได้ 2 ประเภทคือ

- ข้อมูลหลัก (Master Files) ได้แก่ ข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะของรถขนส่งสินค้าที่มีอยู่และพนักงานขับ ข้อมูลลักษณะสินค้า ข้อมูลรายชื่อและลักษณะลูกค้า ข้อมูลทางกายภาพของถนน และข้อมูลตำแหน่งพิกัดลูกค้า
- ข้อมูลธุรกรรม ซึ่งแสดงข้อมูลที่ใช้ติดต่อระหว่างลูกค้ากับบริษัท ได้แก่ รายการการสั่งซื้อสินค้าของลูกค้า เป็นต้น

2. ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)
3. ข้อกำหนดการให้บริการ

ข้อกำหนดในการให้บริการเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อความยากง่ายในการวิเคราะห์การจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง โดยข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง ได้แก่

- ข้อจำกัดของรถบรรทุก ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการบรรทุกสินค้า เช่น ความจุของยวดยาน จำนวนของยวดยานที่มีอยู่ เป็นต้น
- ข้อจำกัดด้านเวลา ได้แก่ เวลาในการทำงาน และกำหนดเวลาในการเข้าออกในบางพื้นที่ เงื่อนไขนี้เป็นเงื่อนไขที่ส่งผลกระทบต่อการจัดจำนวนรถและประเภทรถส่งสินค้า
- เงื่อนไขด้านสินค้า ได้แก่ ประเภทและขนาดของสินค้า ซึ่งเงื่อนไขนี้มีผลต่อความจุของสินค้าเนื่องจากสินค้าแต่ละชนิดมีน้ำหนักและปริมาตรที่ต่างกัน
- เงื่อนไขด้านสถานที่ ซึ่งสะท้อนถึงความสามารถในการเลือกประเภทของยวดยานที่ใช้ในการขนส่งสินค้าในแต่ละจุดส่ง เช่น ในพื้นที่คับแคบจะไม่สามารถใช้รถขนาดใหญ่ในการส่งสินค้า เป็นต้น

4. แนวทางการติดต่อกับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface)

ระบบการจัดเส้นทางเดินรถจำเป็นจะต้องมีกลไกในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้ระบบ โดยการติดต่อที่ดีควรสนับสนุนให้ผู้ใช้สามารถติดต่อกับระบบได้ง่ายและช่วยตัดสินใจปัญหาได้ถูกต้องและรวดเร็ว ตัวอย่างของการติดต่อระหว่างระบบและผู้ใช้ในการจัดเส้นทาง เช่น

- ผู้ใช้ระบบเป็นผู้ที่กำหนดลักษณะและขอบเขตของปัญหา

- คอมพิวเตอร์ช่วยเลือกข้อมูลที่จำเป็นตามลักษณะปัญหาและวิเคราะห์ปัญหา
- ผู้ใช้ระบบเปรียบเทียบแนวทางของคอมพิวเตอร์และประสบการณ์ของพนักงานแล้วจึงรวบรวมแนวทางทั้งสองเข้าด้วยกัน
- ผู้ใช้ระบบให้คอมพิวเตอร์ช่วยทบทวนและศึกษาปัญหาเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดความชัดเจนสำหรับการวิเคราะห์ปัญหา
- ผู้ใช้ระบบอาจปรับปรุงผลการวิเคราะห์ที่ได้จากแบบจำลองด้วยการใช้ประสบการณ์ของตนเองเพื่อให้คำตอบที่เหมาะสม

ปัจจุบันแนวทางในการโต้ตอบและประสานกันระหว่างผู้ใช้ระบบและคอมพิวเตอร์มีได้หลายวิธี เช่น ให้พนักงานกำหนดแนวทางการแก้ปัญหาเพิ่มเติม และแก้ไขหรือปรับปรุงเส้นทางในภายหลังได้ เป็นต้น จะเห็นได้ว่าแนวทางดังกล่าวจะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางในการเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพมาก เช่น ลดเวลาในการแก้ปัญหา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการลดข้อด้อยของวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกได้อย่างดี และช่วยให้ผู้ใช้เกิดความมั่นใจในระบบมากขึ้น

2.4 การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

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

ในการจำลองโครงข่ายถนนลงบนระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จะทำการปรับปรุงแผนที่โครงข่ายถนน โดยจะทำการตรวจสอบและเพิ่มจุดยอด (Vertex) ที่เป็นจุดรับ-ส่งสินค้าหรือตำแหน่งร้านค้า และเส้นทางเชื่อมต่อ (Arc) ระหว่างจุดยอดที่เพิ่มเติมเข้าไปกับโครงข่ายถนนที่มีอยู่ โดยใช้โปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ArcView

2.5 การทบทวนผลงานที่ผ่านมา

Vehicle Routing and scheduling problems with time window constraints: efficient implementations of solution improvement procedures (Marius M. Solomon, Edward K. baker and Joanne R. Schaffer, 1988)

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถให้เกิดต้นทุนในการดำเนินการต่ำที่สุด โดยนำข้อมูลด้านความจุของรถแต่ละคันและข้อมูลปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้ามาใช้ประกอบการพิจารณา ทุกเส้นทางเดินรถจะมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่จุดเดียวกัน ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากรถขนส่งเพียง 1 ครั้ง และรถขนส่งแต่ละคันสามารถให้บริการลูกค้าได้ในปริมาณสินค้าที่ไม่เกินความจุของรถขนส่งแต่ละคัน จากการศึกษาพบว่ามีการพัฒนาวิธี Acceleration of branch exchange ซึ่งเป็นวิธีฮิวริสติกส์มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถภายใต้เงื่อนไขด้านกรอบเวลา โดยจะมุ่งเน้นพัฒนารูปแบบของวิธี Branch exchange ทั้ง 3 รูปแบบ คือ Two branch exchange, Three branch exchange และ Three branch exchange ในกรณีที่ทิศทางของลำดับการขนส่งของส่วนของเส้นทางที่ถูกแลกเปลี่ยนยังคงเดิม ทั้งนี้การพัฒนาวิธีต่าง ๆ เหล่านี้มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อทำให้อัลกอริทึมสามารถค้นหาคำตอบในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถภายใต้เงื่อนไขด้านกรอบเวลาได้อย่างมีประสิทธิภาพภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว ผลการทดสอบพบว่าอัลกอริทึมสามารถลดเวลาประมวลผลโดยเฉลี่ยได้ประมาณ 57 เปอร์เซ็นต์ แต่อัลกอริทึมจะสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพได้ดีถ้าเป็นการแก้ปัญหาขนาดเล็กมากกว่าการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ จึงทำให้วิธีนี้ไม่เหมาะกับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่

Using Constraint Programming and Local Search Methods to Solve Vehicle Routing Problems (Shaw, 1998)

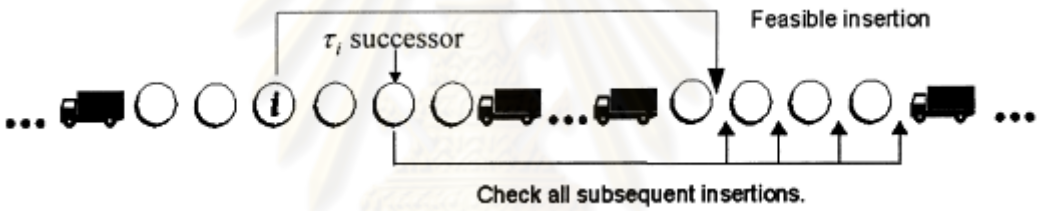
งานวิจัยนี้ทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยใช้วิธีค้นหาเฉพาะแห่งขนาดใหญ่ (Large neighborhood search) ซึ่งทดลองใช้อัลกอริทึมในการคัดออกและแทรกกลับจุดส่งในเส้นทางหลายวิธี จากการทดลองพบว่าอัลกอริทึมที่แตกต่างกันให้คำตอบและใช้ระยะเวลาในการค้นหาคำตอบที่แตกต่างกันมาก ดังนั้นการเลือกวิธีในการคัดออกและแทรกกลับจุดส่งเป็นสิ่งที่จำเป็นสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Solving the pickup and delivery problem with time windows using reactive tabu search (Nanry and Barnes, 1999)

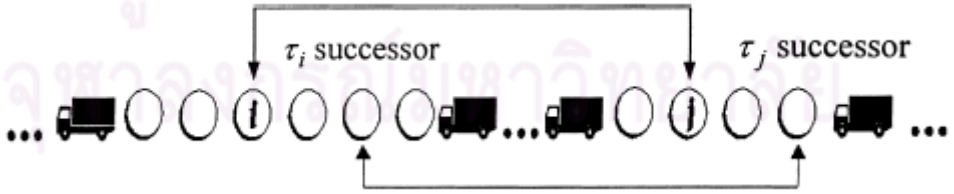
งานวิจัยนี้จะสร้างเส้นทางเบื้องต้นโดยวิธี greedy หลังจากนั้นจะทำการปรับปรุงเส้นทางโดยการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนเส้นทาง ซึ่งมีรูปแบบในการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนเส้นทาง 3 รูปแบบ คือ

- Single paired insertion (SPI) เป็นการเคลื่อนย้ายคู่ของลูกค้าจากเส้นทางเดิมไปยังเส้นทางใหม่ โดยคู่ของลูกค้าที่เคลื่อนย้ายจะต้องเรียงลำดับก่อน-หลังตามเดิมและย้ายเข้าแทรกสู่เส้นทางใหม่โดยที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขด้านกรอบเวลาและความจุของรถ



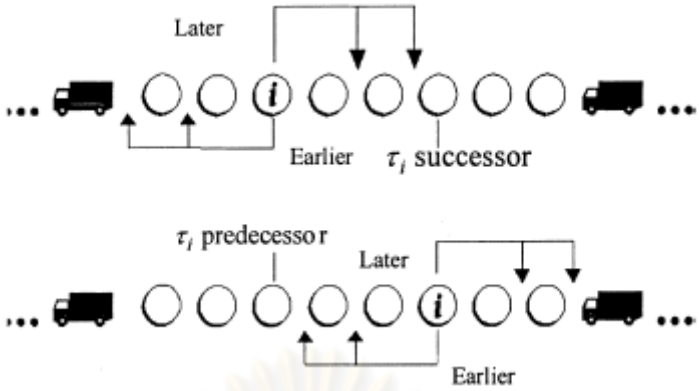
รูปที่ 2.8 The SPI neighborhood search

- Swapping pairs between routes (SBR) เป็นการเคลื่อนย้ายคู่ของลูกค้าโดยการแลกเปลี่ยนคู่ของลูกค้าระหว่างสองเส้นทาง ซึ่งทำให้มีโอกาสที่จะเกิด infeasible solution



รูปที่ 2.9 The Swap pairs neighborhood search

- Within route insertion (WRI) เป็นการเคลื่อนย้ายลูกค้าภายในเส้นทาง เพื่อปรับปรุงเส้นทางเดินรถที่เป็น infeasible solution ให้เป็น feasible solution



รูปที่ 2.10 The WRI neighborhood search

กระบวนการเลือกวิธีในการเคลื่อนย้ายเส้นทางขึ้นอยู่กับความเข้มงวดของเงื่อนไขด้านกรอบเวลาในเส้นทางเดินรถปัจจุบัน คือ ความยาวเฉลี่ยของช่วงกรอบเวลา (average time window length, awtl) เช่น ถ้า awtl น้อยกว่าร้อยละ 25 ของความยาวของช่วงเวลาการเดินรถ จะทำให้จำนวนตัวเลือกในการเคลื่อนย้ายเส้นทางแบบ SPI มีน้อยมาก เนื่องจากเงื่อนไขด้านกรอบเวลามีความเข้มงวดมาก นอกจากนี้ยังมีการใช้ Reactive tabu seach (RTS) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมในการวนรอบ วิธี RTS จะสร้างโครงสร้างหน่วยความจำระยะสั้นขึ้นมา เพื่อป้องกันการได้คำตอบซ้ำกับรอบที่ผ่านมาและเป็นการหลีกเลี่ยงปัญหา local optima ผลการศึกษาพบว่าการค้นหาคำตอบของงานวิจัยนี้ให้คำตอบที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับวิธีฮิวริสติกในอดีต แต่สามารถได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพภายในเวลารวดเร็วกว่า

Computerized vehicle routing for goods distribution (ธเนศ ทักษิณวราจาร, 2000)

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาระบบการจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการกระจายสินค้าด้วยกลุ่มรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวไปยังจุดส่งต่างๆ และดำเนินการจัดเส้นทางเดินรถโดยใช้วิธีฮิวริสติกภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุของรถ และเขตการส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางในการขนส่งต่ำสุด ซึ่งใช้วิธีการหาค่าประหยัด (Saving method) ในการสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น ใช้วิธีสลับเส้นทาง 2 เส้นทาง (2-opt) ในการปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง ใช้วิธี Local improvement ในการปรับปรุงลำดับการส่งระหว่างเส้นทาง และมีกลไกจัดลำดับการส่งโดยพนักงาน เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้ที่ทำหน้าที่ดูแลการจัดเส้นทางสามารถที่จะปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเส้นทางได้เอง โดยไม่ได้พึ่งการตัดสินใจของคอมพิวเตอร์ทั้งหมด จาก

การทดสอบพบว่าวิธีนี้ให้คำตอบในการจัดเส้นทางใกล้เคียงกับผลการศึกษาในอดีต แต่วิธีการจัดเส้นทางจะด้อยลงถ้ามีจำนวนจุดส่งมากขึ้น

Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem (Laporte และคณะ, 2000)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิธีฮิวริสติกที่นำมาประยุกค์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ Classical heuristic เช่น วิธีประหยัด วิธีกวาด เป็นต้น ซึ่งวิธีนี้เริ่มมีการประยุกต์ระหว่างปี ค.ศ. 1960 กับปี ค.ศ. 1990 และ Modern heuristic เช่น วิธี Tabu search เป็นต้น เป็นวิธีแบบใหม่ที่เพิ่งค้นพบเมื่อต้นทศวรรษที่ 19 จากงานวิจัยพบว่าวิธีฮิวริสติกแบบ Classical ให้คำตอบที่มีคุณภาพแย่กว่าแต่ใช้เวลาในการหาคำตอบดีกว่าวิธีฮิวริสติกแบบ Modern

Exhaustive Search, Combinatorial Optimization and Enumeration: Exploring the Potential of Raw Computing Power (Jurg Nievergelt, 2000)

งานวิจัยนี้เกี่ยวข้องกับวิธีเฉพาะทางในการค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยประยุกต์ร่วมกับแนวความคิดของอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งในแต่ละปัญหาจะมีพื้นที่สำหรับค้นหาคำตอบ เรียกว่า Search space หรือ State space ถ้าเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ พื้นที่ในการค้นหาคำตอบประกอบด้วย เส้นทางเดินรถที่เกิดจากเซตของจุดส่ง (nodes) และเซตของเส้นทางที่เชื่อมต่อระหว่างแต่ละจุดส่ง (arcs) การคำนวณทางคอมพิวเตอร์ก็จะประมวลผลเพื่อค้นหาผลเฉลยตามอัลกอริทึมที่ผู้เขียนโปรแกรมได้เขียนขึ้นภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดของแต่ละปัญหา ภายในกรอบพื้นที่การค้นหาคำตอบที่กำหนด เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นเส้นทางเดินรถจากจุดส่งหนึ่งไปยังจุดส่งหนึ่งผ่านโครงข่ายการเชื่อมต่อของแต่ละจุดส่ง โดยวิธีเฉพาะทางในการค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุดที่งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึง คือ Exhaustive search ซึ่งวิธีนี้สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดได้โดยการค้นหาผลเฉลยทุกค่าแล้วนำมาเปรียบเทียบหาผลเฉลยที่ดีที่สุด หรืออีกทางหนึ่งคือไม่จำเป็นต้องค้นหาผลเฉลยทุกค่า สามารถข้ามการค้นหาในบางพื้นที่ของคำตอบที่ไม่ตรงกับเงื่อนไขของปัญหา และทำการค้นหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ทุกคำตอบที่เหลือซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขของปัญหาที่กำหนด

A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows (Bent and Van hentenryck, 2004)

งานวิจัยนี้ทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนรวมในการเดินทางน้อยที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและความจุของรถด้วยการนำวิธีที่มีประสิทธิภาพ 2 วิธีมาผสมกัน คือ ในขั้นตอนที่ 1 ใช้วิธี Simulated annealing (SA) เพื่อหาจำนวนเส้นทางเดินรถที่น้อยที่สุด และในขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธี Large neighborhood search (LNS) เพื่อหาต้นทุนในการเดินทางที่น้อยที่สุด ซึ่งในขั้นตอนที่ 2 อาจจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจำนวนเส้นทางเดินรถจากขั้นตอนที่ 1 ได้

ขั้นตอนที่ 1 Minimizing the number of routes ขั้นตอนนี้ใช้อัลกอริทึม SA ในการปรับปรุงเส้นทางจากเส้นทางเดินรถเบื้องต้น โดยใช้หลักการ pair relocation เป็นพื้นฐาน ซึ่งจะทำการสุ่มเลือกลูกค้าเพื่อทำการ relocation จากนั้นหากได้คำตอบในการจัดเส้นทางที่ดีกว่าเดิมก็จะเก็บค่าคำตอบนั้นเป็นคำตอบปัจจุบัน แต่หากได้ค่าคำตอบที่แย่กว่าเดิมจะมีค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่งเพื่อใช้ในการอนุญาตให้สามารถเก็บค่าคำตอบนั้นเป็นคำตอบปัจจุบันเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา local optima

ขั้นตอนที่ 2 Minimizing the travel cost ขั้นตอนนี้ใช้อัลกอริทึม LNS ในการปรับปรุงเส้นทางเดินรถ โดยใช้หลักการ pair relocation เป็นพื้นฐาน และมีการนำหลักการ relateness มาช่วยในการตัดสินใจเลือกลูกค้าที่จะนำมา relocation

จากผลการทดสอบปัญหาที่มีลูกค้า 100 200 และ 600 ราย พบว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสามารถหาคำตอบของปัญหาภายในเวลาที่รวดเร็ว

Unifying Local and Exhaustive search (J.N. Hooker, 2005)

งานวิจัยนี้แนะนำเทคนิคในการประยุกต์ใช้การค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact solution method) ดัดแปลงให้เข้ากับการค้นหาผลเฉลยด้วยวิธีฮิวริสติก (Heuristic solution method) โดยประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้วยรถขนส่งคันเดียว วิธีฮิวริสติกไม่สามารถรับประกันได้ว่าผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดเนื่องจากวิธีนี้ทำการค้นหาผลเฉลยใน

บางพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ (Local search) ขณะที่วิธีการค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุดสามารถรับประกันได้ว่าผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดเนื่องจากวิธีนี้ทำการค้นหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ในทุกพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ (Exhaustive search)

ประโชน์ของการนำ exhaustive search และ local search มาดัดแปลงให้เข้ากัน คือ สามารถเพิ่มแนวทางการค้นหาผลเฉลยได้หลากหลายรูปแบบมากขึ้น สำหรับอัลกอริทึมที่มีทางเลือกในการค้นหาคำตอบทั้งแบบ exhaustive search และ local search เช่น เมื่อปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถซับซ้อนขึ้น การเลือกทำการค้นหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ในทุกพื้นที่ของคำตอบจะใช้เวลาในการประมวลผลที่นานขึ้น แต่สามารถรับประกันว่าจะให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด หรือโปรแกรมอาจเปลี่ยนวิธีการค้นหาเป็นแบบ local search ซึ่งทำการค้นหาผลเฉลยเฉพาะในบางพื้นที่ของคำตอบ อาจทำให้ได้ผลเฉลยที่เป็นค่าที่ดีที่สุดหรือแย่กว่าการค้นหาแบบผลเฉลยแบบ exhaustive search แต่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับผู้ใช้ได้มากขึ้น

วิธี Exact solution method ที่งานวิจัยนี้นำเสนอ คือ Nogood-Based Search มีหลักการทำงาน คือ ทำการแก้ปัญหาโดยการผ่อนคลายข้อจำกัดต่าง ๆ และอาศัยการเรียนรู้จากความผิดพลาดในอดีต เพื่อนำไปสู่การหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ทุกกรณี สามารถดัดแปลงเพื่อทำการค้นหาผลเฉลยได้ทั้งสองรูปแบบ คือ การค้นหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ในทุกพื้นที่ของ การค้นหาคำตอบ (Exhaustive search) หรือ การค้นหาผลเฉลยในบางพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ (Local search) โดยมีหลักการทำงานคล้ายกัน คือ เริ่มต้นให้เซตของ Nogood ซึ่งประกอบด้วย ผลเฉลยที่เป็นไปไม่ได้กล่าวคือผลเฉลยที่ขัดแย้งกับข้อจำกัดของปัญหา (infeasible solution) และเซตของผลเฉลยที่เป็นไปได้ที่ถูกค้นหาเจอแล้ว (feasible solution) เท่ากับเซตว่าง หลังจากนั้นโปรแกรมทำการประมวลผลเพื่อค้นหาคำตอบ เมื่อการวนรอบเพิ่มมากขึ้น จำนวนสมาชิกของเซต Nogood จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยโปรแกรมจะทำผ่อนคลายข้อจำกัดต่าง ๆ และทำการค้นหาเฉพาะผลเฉลยที่ไม่ถูกจัดอยู่ในเซตของ nogood จนกระทั่งโปรแกรมสามารถค้นหาผลเฉลยทุกกรณีและให้ค่าผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าของผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยวิธี Exhaustive search แตกต่างกับ Local search ตรงที่การออกแบบวิธีในการผ่อนคลายข้อจำกัดในแต่ละการวนรอบเพื่อหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า หากปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถมีความซับซ้อนไม่มากนัก การดัดแปลงแนวคิดในการผ่อนคลายข้อจำกัดของวิธีการค้นหาเฉพาะแห่งที่เหมาะสม (Local search) จะสามารถนำมาซึ่งผลเฉลยที่ดีที่สุดได้เช่นเดียวกับการค้นหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ในทุกพื้นที่ของการค้นหาคำตอบ (Exhaustive search) แต่หากปัญหามีความซับซ้อนมากขึ้น วิธี

Exhaustive search ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าหรือเท่ากันกับวิธี Local search แต่ใช้เวลาในการประมวลผลมากกว่า

A GIS – based vehicle routing for goods distribution (สุทธิพงษ์ มีใย, 2006)

งานวิจัยนี้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อกระจายสินค้าโดยรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวไปยังจุดส่งต่าง ๆ โดยวิธีฮิวริสติกภายใต้ข้อจำกัดด้านความจุ ได้แก่ น้ำหนักรถ ปริมาตรที่สามารถบรรทุกได้และข้อจำกัดของจุดส่ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ประหยัดต้นทุนการขนส่ง โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถปรับเปลี่ยนลำดับการส่งและปรับปรุงเส้นทางโดยผ่านส่วนติดต่อกับผู้ใช้ด้วยการให้รายละเอียดทางจอภาพ

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน คือ

1. การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น ใช้วิธีการหาค่าประหยัด (Sequential saving heuristic) โดยมีหลักการพื้นฐาน ดังนี้ คำนวณหาระยะทางที่สามารถประหยัดได้จากการเลือกเส้นทางในการเดินทางจากจุดตั้งต้น i ใด ๆ ไปยังจุดปลาย j ใด ๆ จากนั้นทำการเรียงค่าการประหยัดจากมากไปน้อย โดยค่าประหยัดที่มีค่ามากจะมีโอกาสถูกนำเข้ามาอยู่ในเส้นทาง สร้างเส้นทางโดยพิจารณาคู่ลำดับของค่าประหยัดให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางจนกระทั่งจัดเส้นทางได้ครบและสอดคล้องกับข้อจำกัดต่าง ๆ
2. การปรับปรุงเส้นทางเดินรถโดยใช้ Tabu search แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ
   - การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง (Within routes) ใช้วิธีการปรับปรุงเส้นทางด้วยการเปลี่ยนเส้นทางการส่ง 2 เส้นทาง (2-opt)
   - การปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง (Between routes) ใช้เทคนิค tabu search คือ การส่งผ่านสถานะบางอย่างของคำตอบปัจจุบันให้กับหน่วยความจำรวม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำไปปรับปรุงคำตอบในการคำนวณครั้งต่อ ๆ ไป รูปแบบการปรับปรุงเส้นทางใน tabu search จะใช้วิธีการเคลื่อนย้ายจุดสั่งหลายรูปแบบ ได้แก่ String cross, String Exchange, String relocation และ String mix
3. การปรับลำดับการส่งโดยพนักงาน เป็นกลไกเสริมเพื่อลดข้อบกพร่องของแบบจำลอง รวมทั้งเปิดโอกาสให้ผู้ที่ทำหน้าที่ดูแลจัดเส้นทางสามารถปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง

เส้นทางได้ด้วยตนเอง โดยไม่ต้องพึ่งการตัดสินใจของคอมพิวเตอร์ทั้งหมด ทั้งนี้กลไกเสริมดังกล่าวประกอบด้วย กลไกการเพิ่มจุดส่งและกลไกการลดจุดส่ง

ผลลัพธ์โดยรวมจากการปรับปรุงเส้นทางพบว่าวิธีนี้สามารถให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางได้ดี หากจำนวนลูกค้ามีไม่มากนักประมาณไม่เกิน 30 จุดส่ง หากจำนวนจุดส่งเพิ่มขึ้นผลลัพธ์ที่ได้จะด้อยลง โดยผลต่างเปรียบเทียบกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า มีระยะทางมากกว่าประมาณร้อยละ 5-10 การนำระบบที่พัฒนามาใช้ในสภาพจริงพบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ดีกว่าการจัดด้วยพนักงานในทุก ๆ ปัญหาตัวอย่างที่ทำการทดสอบ

A column generation based local search for pickup and delivery problem (เกรียงศักดิ์ วณิชชากรพงศ์ และ ณกร อินทร์พยุง, 2007)

งานวิจัยนี้เสนอวิธีพันธ์ผสมในการแก้ปัญหา โดยใช้วิธี Column generation (CG) ในการรักษาความเสถียรภาพให้กับอัลกอริทึม โดยไม่ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์จำนวนมากหรือโครงสร้างที่ออกแบบมาใช้เฉพาะกับปัญหาหรือเงื่อนไขของปัญหาบางอย่างเหมือนกับวิธีฮิวริสติกส์ และทำการแปลงปัญหาย่อยให้อยู่ในรูปเงื่อนไขจากนั้นใช้วิธี local search ซึ่งมีโครงสร้างที่ง่ายและยืดหยุ่นในการหาคำตอบของปัญหาย่อย

การแก้ปัญหาโดยวิธี local search กำหนดให้เงื่อนไขที่ไม่ยอมให้มีความขัดแย้งเกิดขึ้นเป็นเงื่อนไขหลัก (Hard constraints) และวัตถุประสงค์เป็นเงื่อนไขรอง (Soft constraints) อัลกอริทึมจะพบคำตอบที่ดีที่สุดก็ต่อเมื่อค่าความขัดแย้งของเงื่อนไขหลัก (Hard violation, H) ทุกตัวมีค่าเป็น 0 และค่าความขัดแย้งของเงื่อนไขรอง (Soft violation, S) มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งอาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าค่าความขัดแย้งของเงื่อนไขทั้งหมด (Total constraint violation, V = H + S) ต้องมีค่าที่น้อยที่สุด

เงื่อนไขหลัก (Hard constraints) มีดังต่อไปนี้

- งานรับสินค้าและงานส่งสินต้าต้องอยู่ภายในยานพาหนะคันเดียวกัน
- ลำดับของงานรับสินค้าจะต้องน้อยกว่าลำดับของงานส่งสินค้า

- ปริมาณสินค้าในยานพาหนะ k เมื่อมาถึงจุดรับ/ส่งสินค้าลำดับ i จะมีค่าเท่ากับผลรวมของปริมาณสินค้าในยานพาหนะเมื่อมาถึงจุด i – 1 กับปริมาณสินค้าที่ต้องให้บริการที่จุด i – 1
- สินค้าที่บรรทุกต้องไม่เกินความจุที่ยานพาหนะสามารถบรรทุกได้

เงื่อนไขรอง (Soft constraints) คือ จำนวนยานพาหนะและระยะทางที่ใช้ในการขนส่ง

หลักการทำงานจะประยุกต์ใช้วิธี Constraint-based local search (CLS) นำคำตอบที่ได้มาทำการปรับปรุงคุณภาพตามรอบการกระทำซ้ำที่กำหนด โดยอัลกอริทึมจะทำการ trial flip ภายในยานพาหนะ และ trial flip ภายนอกยานพาหนะ

Trial flip ภายในยานพาหนะถูกแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ การสลับตำแหน่งการรับ/ส่งสินค้า และการแทรกตำแหน่งการรับส่งสินค้า เมื่อเกิดการสลับหรือแทรกตำแหน่งแล้วคำตอบที่ได้ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขหลักและทำให้ค่า V' < V อัลกอริทึมก็จะเก็บคำตอบนั้นเป็นคำตอบปัจจุบัน

Trial flip ภายนอกยานพาหนะนั้นจะกระทำเมื่อ อัลกอริทึมทำ Trail flip ภายในยานพาหนะแล้วไม่มีคำตอบที่ดีกว่าปัจจุบัน นั่นคือ V' > V อัลกอริทึมจะทำการสุ่มเลือกยานพาหนะอื่น ๆ มาหนึ่งคัน โดยการแทรกนั้นจะเป็นการแทรกลำดับการรับ/ส่งสินค้าในลักษณะเดียวกับการแทรกภายในยานพาหนะนั่น ทั้งนี้แม้ว่า ค่า V จากการ Flip นอกยานพาหนะนั้นจะมีค่าแย่กว่าค่า V ก่อนการ Flip อัลกอริทึมจะยังคง Flip เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหา Local optima

ผลการทดสอบพบว่าอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพทัดเทียมกับ Best known โดยเฉพาะปัญหา PDP 100 จุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows (Ropke and Pisinger, 2007)

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธี Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกที่ดัดแปลงมาจากวิธี Large Neighborhood Search (LNS) มาใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถภายใต้เงื่อนไขด้านกรอบเวลาและความจุของรถ หลักการใน

การแก้ปัญหาคือการนำวิธีฮิวริสติกหลายวิธีมาช่วยปรับปรุงเส้นทางการเดินรถ โดยใช้หลักการ Roulette wheel ในการคัดเลือกวิธี ซึ่งกำหนดค่าน้ำหนักในการเลือกให้กับวิธีฮิวริสติกส์แต่ละวิธีเท่ากันทั้งหมดในการวนรอบครั้งแรก ในการวนรอบถัดไปจะมีการเพิ่มค่าน้ำหนักในการเลือกให้กับแต่ละวิธีฮิวริสติกส์ที่ถูกใช้งาน โดยการเพิ่มค่าน้ำหนักมากน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับความสำเร็จของวิธีฮิวริสติกส์นั้น ๆ ในการใช้งานในรอบที่ผ่าน ๆ มา และนำวิธี Simulated annealing มาประยุกต์ใช้ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหา local optima โดยอัลกอริทึมจะอนุญาตให้ยอมรับการปรับปรุงเส้นทางที่ทำให้ค่าวัตถุประสงค์แย่ลงด้วยค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่ง และอัลกอริทึมจะหยุดการวนรอบเมื่อครบรอบตามที่กำหนด

2.6 บทสรุป

จากผลการทบทวนทฤษฎีและผลงานในอดีตที่ผ่านมา สามารถสรุปได้ว่าการศึกษานี้ควรเลือกใช้วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก เนื่องจากเทคนิคการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีฮิวริสติกสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีได้ภายในระยะเวลาการประมวลที่รวดเร็วกว่ามาก อีกทั้งวิธีค้นหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นวิธีซับซ้อนและยากต่อการพัฒนา ซึ่งสอดคล้องกับ Zanakis และ Evans (1981) ที่ได้แนะนำให้ใช้วิธีการค้นหาผลเฉลยแบบฮิวริสติกแทนวิธีหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เมื่อ

- ลักษณะของปัญหาในทางปฏิบัติมีความซับซ้อน เช่น มีเงื่อนไขในทางปฏิบัติเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้วิธีการค้นหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลนานมาก ไม่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง
- มีความเป็นไปได้ในอนาคตที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา
- เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งและไม่มีเวลาในการแก้ปัญหามากนัก
- กระบวนการแก้ปัญหาสามารถเขียนเป็นกฎเกณฑ์ได้และง่ายต่อการพัฒนา

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 โครงร่างงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อช่วยยกระดับการดำเนินงานในปัจจุบัน โดยมุ่งเน้นให้เกิดการประหยัดต้นทุนและเกิดประสิทธิภาพในการทำงานของระบบขนส่งและกระจายสินค้าและมีการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ช่วยในการจัดเส้นทางเดินรถ เพื่อให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางเดินรถสามารถจัดเส้นทางเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ

วิธีการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนหลัก ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. สร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น โดยวิธีการหาค่าประหยัด (Savings Matrix Method)
2. การปรับปรุงเส้นทางเดินรถโดยเทคนิค Tabu search
3. นำแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถที่ได้มาประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อแสดงผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

3.2 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลการปฏิบัติงาน

การสำรวจปัญหาและรวบรวมข้อมูลรายละเอียดของการปฏิบัติงานของบริษัทตัวอย่าง มีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาแบบจำลอง เนื่องจากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลช่วยให้

- เกิดความเข้าใจในลักษณะปัญหาและกระบวนการทำงานได้ดีขึ้น
- ทราบถึงวัตถุประสงค์และข้อจำกัดที่มีผลต่อการปฏิบัติงาน
- ได้ข้อมูลจากการสำรวจเบื้องต้นไปใช้ในการศึกษาในขั้นถัดไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การสร้างแบบจำลองในการจัดเส้นทางเดินรถให้สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญ จากการศึกษาลักษณะงานของบริษัทตัวอย่างในปัจจุบันพบปัญหาในการทำงานดังนี้

- การใช้ทรัพยากรของบริษัทด้านรถขนส่งและเวลายังไม่เต็มประสิทธิภาพ
- เสียเวลาในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อกระจายสินค้าถึง 1 ชั่วโมงในแต่ละวัน
- การทำงานจำเป็นต้องอาศัยความสามารถของผู้ปฏิบัติงานมากเกินไป

ปัญหาที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้นล้วนแล้วแต่เป็นปัญหาที่เกิดเนื่องจากไม่มีระบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ดีการแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางการเดินรถหลักนั้นเป็นเรื่องยากเนื่องจากมีข้อจำกัดจากสภาพการทำงานจริงจำนวนมาก ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลที่เป็นข้อจำกัดในการขนส่งของบริษัทตัวอย่าง พบว่ามีเงื่อนไขที่ต้องพิจารณา ดังต่อไปนี้

- กำหนดการขนส่งสินค้า (Time Window) คือ ช่วงเวลาที่
- ความจุของรถขนส่งสินค้า (Capacity)
- เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าลงจากยานพาหนะ (Unloading Time)
- เวลาที่ใช้เดินทางระหว่างแต่ละจุดส่ง (Travelling Time)
- ช่วงเวลาและบริเวณห้ามรถบรรทุกวิ่ง (Truck Ban Hour)

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยได้วางขั้นตอนการวิจัยไว้ดังนี้

1. ศึกษาลักษณะรูปแบบและปัญหาในการทำงานของระบบการทำงานปัจจุบัน (Current Operation) ของบริษัทขนส่งสินค้าตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นก่อนนำไปพัฒนาแบบจำลองที่เหมาะสม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ปัญหา
3. รวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่องานวิจัยดังนี้
    - ลักษณะการทำงานในปัจจุบันอย่างละเอียด
    - ระยะเวลาและบริเวณห้ามรถบรรทุกวิ่ง (Truck Ban)
    - ชนิดและลักษณะของยานพาหนะ
    - รายละเอียดในปัจจุบันของลูกค้า เช่น ที่ตั้งของลูกค้า จำนวนลูกค้า สถิติปริมาณการสั่งซื้อ เป็นต้น
    - เวลาในการเดินทางระหว่างแต่ละจุดส่ง
    - เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าลงจากยานพาหนะ
    - โครงข่ายถนนดิจิตอล (Digital Road Network)
    - ลักษณะของกำหนดการขนส่งค้า (Time Windows)
4. สร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่สอดคล้องกับสภาพปัญหาและเงื่อนไขที่เกิดขึ้นด้วยเทคนิคการค้นหาผลเฉลยแบบฮิวริสติก พร้อมทั้งประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจในการเลือกเส้นทางเดินรถสามารถจัดเส้นทางเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. ทดสอบประสิทธิภาพการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่พัฒนาขึ้นกับระบบที่ใช้ปฏิบัติงานจริงในปัจจุบัน
6. วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากผลการทดสอบ โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ จำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง และเวลาที่ใช้ในการขนส่ง
7. สรุปและเสนอแนะแนวทางในการพัฒนางานวิจัยในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยมุ่งเน้นที่จะประยุกต์ใช้ความสามารถของระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ผนวกกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมา เพื่อช่วยในการบริหารจัดการรถบรรทุกสินค้าให้มีประสิทธิภาพกว่าในปัจจุบันที่จัดการโดยคน โดยการพัฒนาแบบจำลองการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวไปยังหลายจุดส่งนั้น จะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ที่มีความซับซ้อนหลายข้อจำกัดด้วยกัน เช่น กรอบเวลาการขนส่งสินค้า ความจุของยานพาหนะ เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าลงจากยานพาหนะ เป็นต้น ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนหลัก ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. สร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น โดยวิธีการหาค่าประหยัด (Savings Matrix Method)
2. การปรับปรุงเส้นทางเดินรถโดยเทคนิค Tabu Search
3. นำแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถที่ได้มาประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อแสดงผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

4.1 การสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น

การสร้างแบบจำลองในการจัดเส้นทางเดินรถเบื้องต้น ใช้วิธีการหาค่าประหยัด (Savings Matrix Method) โดยมีหลักการพื้นฐาน ดังนี้

1. คำนวณหาเวลาที่สามารถประหยัดได้จากการเลือกเส้นทางในการเดินทางจากจุดตั้งต้น i ใดๆ ไปยังจุดปลาย j ใดๆ
2. เรียงค่าการประหยัดจากมากไปน้อย โดยค่าประหยัดที่มีค่ามากจะมีโอกาสถูกนำเข้ามาอยู่ในเส้นทาง
3. สร้างเส้นทางโดยพิจารณาคู่ลำดับของค่าประหยัดให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางจนกระทั่งจัดเส้นทางได้ครบและสอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆ

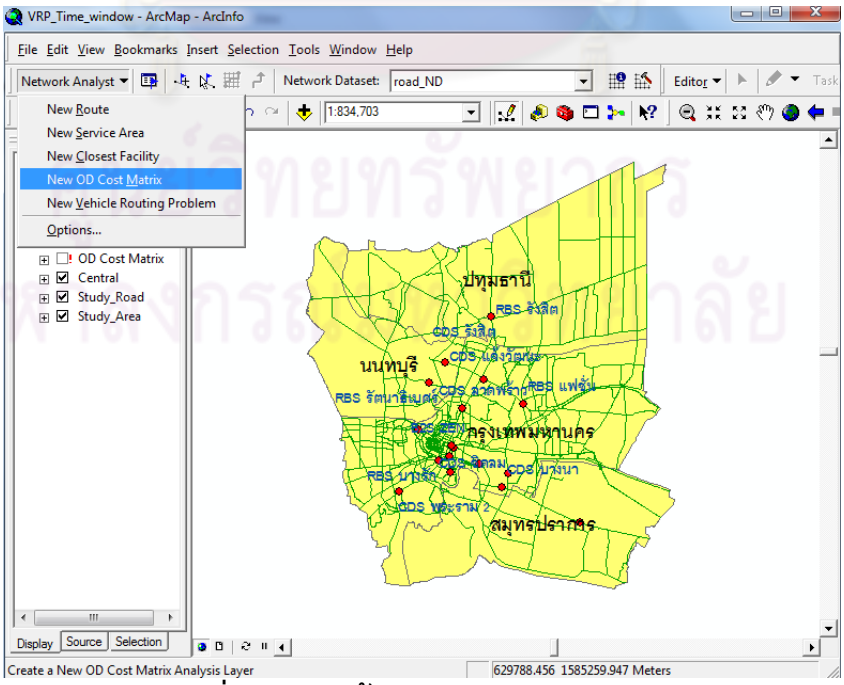
4.1.1 ข้อพิจารณาในการออกแบบ

การทำงานของแบบจำลองสามารถทำได้หลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสำคัญ ระดับของปัญหา ประเภทของข้อมูล วิธีการวิเคราะห์ และข้อกำหนดต่างๆ ข้อพิจารณาในการออกแบบ รายละเอียดการทำงานของแบบจำลอง ประกอบด้วย

การสร้างเมตริกซ์เวลาในการเดินทางระหว่างแต่ละจุดส่ง

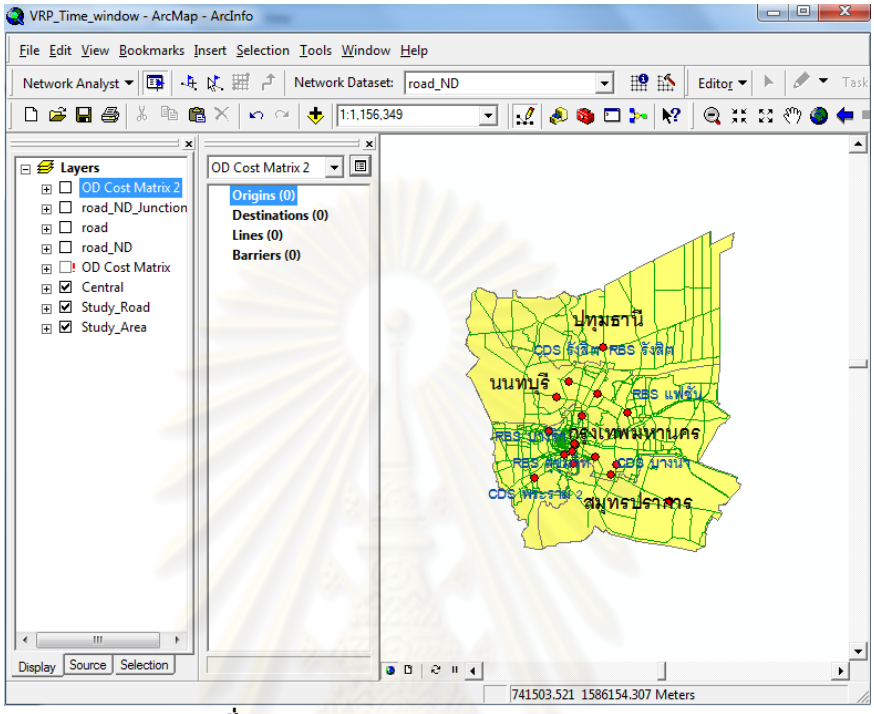
เป็นการหาค่าเวลาหรือระยะทางโดยเป็นการประยุกต์วิธีการหาเมตริกซ์ค่าใช้จ่ายที่เกิดระหว่างจุดเริ่มต้นและจุดหมายปลายทางใดๆ (Origin-Destination Cost Matrix) ในโปรแกรม ArcGIS ซึ่งจะทำให้สามารถรู้ค่าเวลาการเดินทางหรือระยะทางที่สั้นที่สุด (Shortest path) จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังสาขาต่างๆ ของบริษัทตัวอย่าง และจากสาขาไปยังสาขาด้วยกัน เพื่อที่จะนำข้อมูลเวลาหรือระยะทางที่สั้นที่สุดที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์การจัดเส้นทางขนส่งสินค้า ซึ่งทั้งนี้ต้องมีการเตรียมข้อมูลเบื้องต้นในส่วนของโครงข่ายถนน (Road Network) และทำการสร้าง Network Dataset จากโหมดวิซาร์ดใน ArcCatalog โดยขั้นตอนต่างๆ ของการสร้าง OD Cost Matrix จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังจุดส่งต่างๆ และจากจุดส่งไปยังจุดส่งด้วยกันสามารถที่จะทำได้ใน ArcMap ดังตัวอย่างต่อไปนี้

1. ไปที่เครื่องมือ Network Analyst แล้วเลือก New OD Cost Matrix ดังรูปที่ 4.1



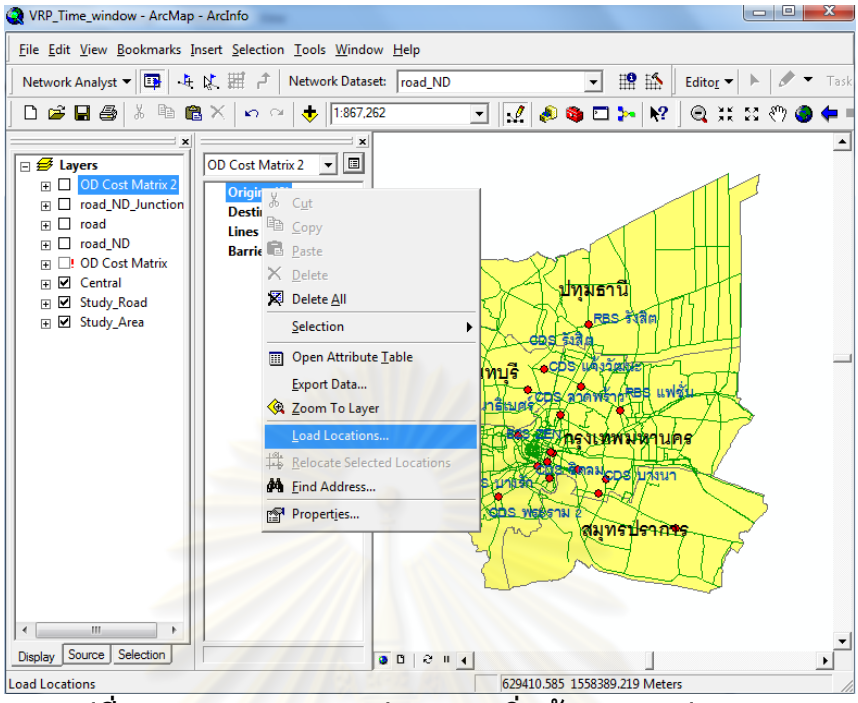
รูปที่ 4.1 การสร้าง New OD Cost Matrix

2. OD Cost Matrix Layer จะปรากฏขึ้นมาใน TOC จากนั้นทำการเปิด Network Analyst window ขึ้นมาดังรูปที่ 4.2



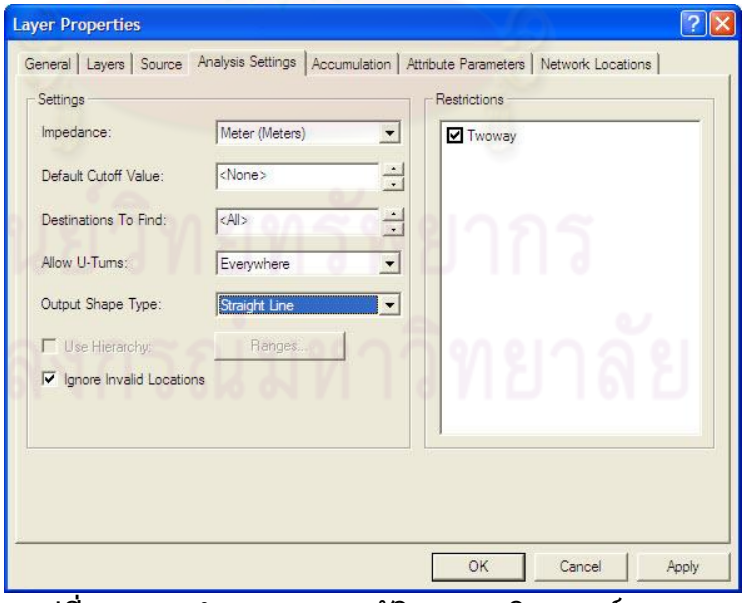
รูปที่ 4.2 **แสดง** Network Analyst Window

3. ระบุตำแหน่งของจุดเริ่มต้น (Origin) โดยคลิกขวาไปที่ Origins ใน Network Analyst Window แล้วเลือก Load Locations และโหลดข้อมูลของชั้นข้อมูลของจุดส่งสินค้า กราฟิกแสดงจุดเริ่มต้นจะปรากฏขึ้นมาบนแผนที่ ระบุตำแหน่งของปลายทาง (Destination) โดยคลิกขวาไปที่ Destinations ใน Network Analyst Window แล้วเลือก Load Locations และโหลดข้อมูลของชั้นข้อมูลของจุดส่งสินค้า กราฟิกแสดงปลายทางจะปรากฏขึ้นมาบนแผนที่ ดังรูปที่ 4.3



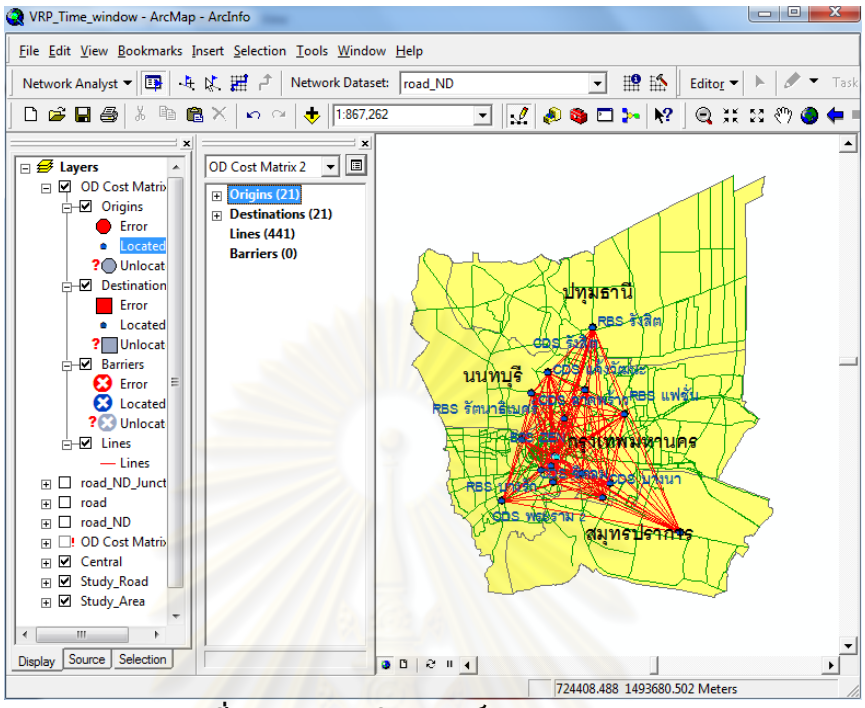
รูปที่ 4.3 แสดงระบุตำแหน่งของจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง

4. คลิกที่ปุ่ม เพื่อเปิดหน้าต่างคุณสมบัติของ Service Area Layer แล้วเลือกที่แถบ Analysis Settings เพื่อกำหนดคุณสมบัติของการวิเคราะห์ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การกำหนดคุณสมบัติของการวิเคราะห์

5. คลิกปุ่ม เพื่อหาผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 **ผลการวิเคราะห์** OD Cost Matrix

จากผลการวิเคราะห์ OD Cost Matrix ซึ่งทำงานบนโปรแกรม ArcMap ผู้วิจัยสามารถแปลงค่าข้อมูลเมตริกซ์เวลาหรือระยะทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางบนโครงข่ายถนนระหว่างสองจุดส่งใด ๆ ออกมาให้อยู่ในรูปแบบของ Excel File เพื่อนำไปวิเคราะห์การจัดเส้นทางเดินรถได้

การเลือกจุดส่งชุดแรก

ในการเลือกจุดส่งชุดแรกให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางเดินทางรถ สามารถยึดหลักเกณฑ์ใดหลักเกณฑ์หนึ่ง ดังนี้ (Breedam, 1994)

- เลือกจุดส่งเพียงจุดเดียวที่อยู่ใกล้ที่สุดจากศูนย์กระจายสินค้า
- เลือกจุดส่งเพียงจุดเดียวที่อยู่ไกลที่สุดจากศูนย์กระจายสินค้า
- เลือกจุดส่งสองสุดที่มีค่าการประหยัดมากที่สุด

การศึกษานี้เลือกจุดส่งที่อยู่ไกลที่สุดจากศูนย์กระจายสินค้าเป็นลำดับการส่งแรก เนื่องจากรถสามารถทำความเร็วในช่วงระยะไกลได้ดีกว่าช่วงระยะสั้น

การลำดับการส่งภายในเส้นทาง

การหาลำดับการส่งสินค้าภายในเส้นทางด้วยเทคนิคการหาค่าการประหยัด เริ่มต้นจากกำหนดจุดส่งที่อยู่ไกลจากศูนย์กระจายสินค้าที่สุดเป็นลำดับการส่งแรก จากนั้นทำการคำนวณค่าการประหยัดของเวลาในการเดินทางขนส่ง เนื่องจากพิจารณาผลของข้อจำกัดด้านกรอบเวลาเป็นหลักสำคัญ เพื่อหาจุดส่งในลำดับถัดไปให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง โดยจุดส่งลำดับถัดไปที่นำมาจัดเส้นทางเดินทางรถต้องไม่ขัดแย้งกับข้อจำกัดของการจัดเส้นทาง เช่น กรอบเวลาการขนส่งสินค้า ความจุของรถ เป็นต้น

สมมติให้ A และ B เป็นจุดส่งที่ถูกจัดอยู่ในเส้นทางเดินรถปัจจุบัน หลังจากนั้นหาจุดส่งในลำดับถัดไปให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง ซึ่งสมมติให้เป็น C โดยวิธีในการหาจุดส่ง C ที่เหมาะสมที่สุดที่ควรจะจัดเข้ามาอยู่ในเส้นทางด้วยการพิจารณาเปรียบเทียบหาค่าการประหยัดที่มากที่สุดสามารถทำได้ 3 รูปแบบ ดังนี้

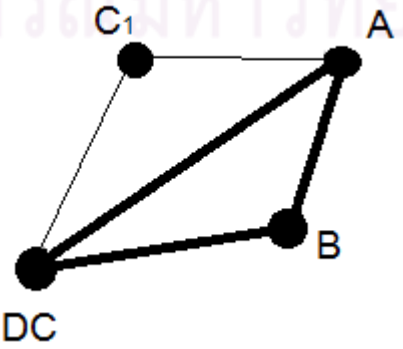
1. หาค่าการประหยัด (S) จากการหาจุดส่ง C_1 เข้ามาอยู่ในเส้นทางที่ปลาย A ที่มีค่ามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.6 นั่นคือ

$$s = (c_{DC-A} + c_{A-B} + c_{B-DC} + c_{DC-C_1} + c_{C_1-DC}) - (c_{DC-C_1} + c_{C_1-A} + c_{A-B} + c_{B-DC}) \quad (4.1)$$

$$s = (c_{DC-A} + c_{C_1-DC} - c_{C_1-A}) \quad (4.2)$$

โดยกำหนดให้

c_{i-j} = เวลาในการเดินทางขนส่งระหว่างจุดส่ง i และจุดส่ง j ใดๆ



รูปที่ 4.6 การหาจุดส่งที่เหมาะสมแบบที่ 1 เพื่อเข้ามาอยู่ในเส้นทางเดินรถ

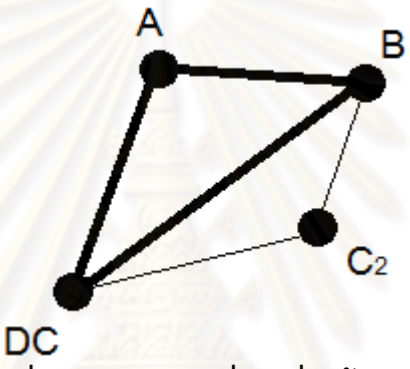
2. หาค่าการประหยัด (S) จากการหาจุดส่ง C_2 เข้ามาอยู่ในเส้นทางที่ปลาย B ที่มีค่ามากที่สุดดังแสดงในรูปที่ 4.7 นั่นคือ

$$s = (c_{DC-A} + c_{A-B} + c_{B-DC} + c_{DC-C_2} + c_{C_2-DC}) - (c_{DC-A} + c_{A-B} + c_{B-C_2} + c_{C_2-DC}) \quad (4.3)$$

$$s = (c_{B-DC} + c_{DC-C_2} - c_{B-C_2}) \quad (4.4)$$

โดยกำหนดให้

c_{i-j} = เวลาในการเดินทางขนส่งระหว่างจุดส่ง i และจุดส่ง j ใดๆ



รูปที่ 4.7 การหาจุดส่งที่เหมาะสมแบบที่ 2 เพื่อเข้ามาอยู่ในเส้นทางเดินรถ

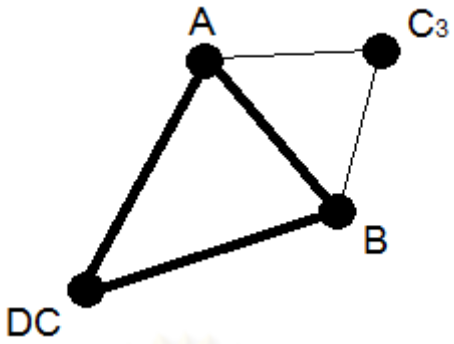
3. หาค่าการประหยัด (S) จากการหาจุดส่ง C_3 เข้ามาอยู่ในเส้นทางที่ระหว่างปลาย A กับปลาย B ใดๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 นั่นคือ

$$s = (c_{DC-A} + c_{A-B} + c_{B-DC} + c_{DC-C_3} + c_{C_3-DC}) - (c_{DC-A} + c_{A-C_3} + c_{C_3-B} + c_{B-DC}) \quad (4.5)$$

$$s = (c_{A-B} + c_{DC-C_3} + c_{C_3-DC} - c_{A-C_3} - c_{C_3-B}) \quad (4.6)$$

โดยกำหนดให้

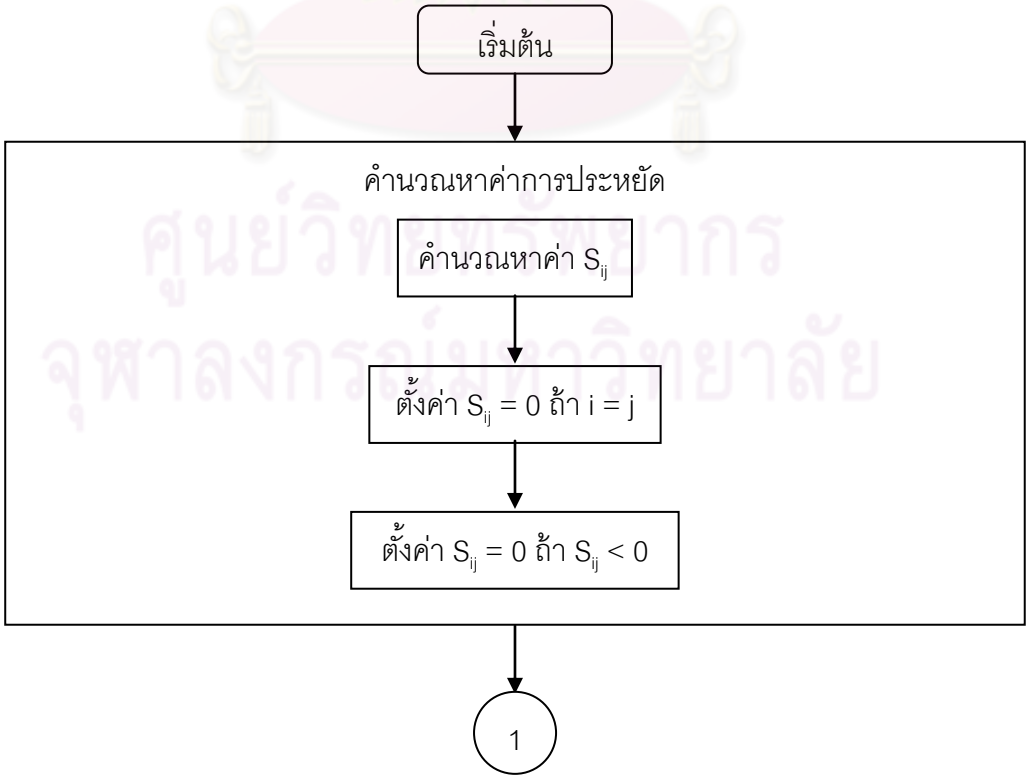
c_{i-j} = เวลาในการเดินทางขนส่งระหว่างจุดส่ง i และจุดส่ง j ใดๆ



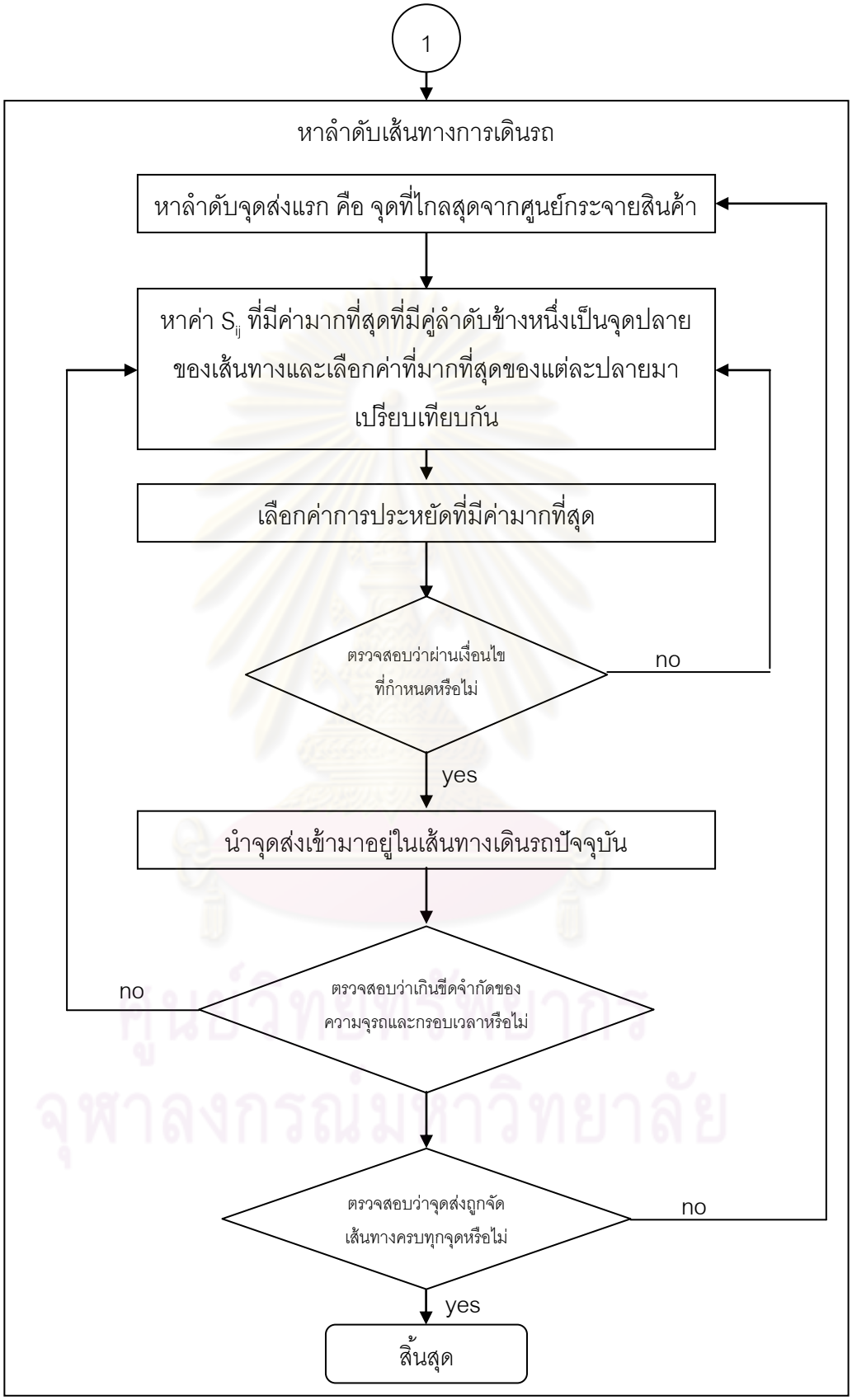
รูปที่ 4.8 การหาจุดส่งที่เหมาะสมแบบที่ 3 เพื่อเข้ามาอยู่ในเส้นทางเดินรถ

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์การเลือกจุดส่งที่เหมาะสมในลำดับถัดไปจากการเปรียบเทียบค่าการประหยัด โดยจุดส่งที่จะนำมาหาค่าการประหยัดมากสุดจะต้องเป็นคู่จุดส่งที่มีจุดส่งจุดหนึ่งเป็นจุดปลายของเส้นทางที่ได้รับการจัดลงในเส้นทางแล้ว ขณะที่ปลายอีกข้างหนึ่งเป็นจุดส่งใหม่ที่ไม่ได้จัดลงในเส้นทาง และเลือกนำจุดส่งที่ให้ค่าการประหยัดสูงสุดจากการวิเคราะห์ทั้งหมด เพื่อจัดเข้ามาอยู่ในเส้นทางเดินรถปัจจุบัน ทั้งนี้จุดส่งดังกล่าวต้องผ่านการพิจารณาข้อจำกัดด้านกรอบเวลาการขนส่งและความจุของรถขนส่งด้วย และทำการทำซ้ำจนกว่าจะสามารถจัดเส้นทางเดินรถสำหรับทุกจุดส่งได้ครบถ้วนและไม่ขัดแย้งต่อข้อจำกัดในการขนส่ง

ขั้นตอนในการวิเคราะห์เส้นทางเดินรถเบื้องต้นสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 4.9



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 **ขั้นตอนในการวิเคราะห์เส้นทางเดินรถเบื้องต้น**

4.2 การปรับปรุงเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิค Tabu search

เทคนิค Tabu search เป็นเทคนิคแบบฮิวริสติกในระดับสูง เป็นขั้นตอนของการปรับปรุงเส้นทางเดินรถในแต่ละครั้งของการวนรอบ โดยเริ่มต้นจากการมีคำตอบที่เป็นเส้นทางเดินรถเบื้องต้นและเทคนิคนี้จะพยายามประมวลผลเพื่อให้ได้ค่าคำตอบของการจัดเส้นทางเดินรถที่ดีขึ้นในแต่ละการวนรอบ ลักษณะที่โดดเด่นของเทคนิคนี้ คือ สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะแห่ง (Local optima) ได้ และสามารถป้องกันการทำงานซ้ำในพื้นที่การค้นหาคำตอบที่เคยค้นหาผลเฉลยไปแล้วในแต่ละการวนรอบที่ผ่านมาด้วยการใช้หน่วยความจำที่มีประสิทธิภาพและมีความยืดหยุ่น (Glover, 1997)

การปรับปรุงเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิค Tabu serach มีวัตถุประสงค์ที่จะนำเส้นทางเบื้องต้นที่มีอยู่แล้วมาปรับปรุงด้วยการผ่านกระบวนการค้นหา (Search mechanism) เทคนิคฮิวริสติกนี้สามารถคำนึงผลกระทบทางด้านกรอบเวลาในการปรับปรุงเส้นทางเดินรถ โดยการกำหนดค่าปรับสำหรับการปรับปรุงเส้นทางที่ทำให้ผลเฉลยที่ได้ขัดแย้งต่อเงื่อนไขด้านกรอบเวลา และเทคนิคนี้มีวิธีการหาผลเฉลยที่ฉลาดมากขึ้นด้วยการใช้ประโยชน์ของการจัดการหน่วยความจำ (Memory) ที่มีประสิทธิภาพ หัวใจสำคัญของ Tabu search คือ การส่งผ่านสถานะบางอย่างของคำตอบในปัจจุบันให้กับหน่วยความจำรวม โดยมีจุดประสงค์เพื่อนำไปปรับปรุงคำตอบในการคำนวณครั้งต่อไป โดยสถานะที่ใช้เรียกว่าสถานะ Tabu ในขบวนการของ Tabu search วัตถุที่ได้รับสถานะ Tabu จะมีสถานะต้องห้าม (Forbidden Elements) และจะถูกนำเข้าสู่หน่วยความจำประมวลผล โดยสถานะนี้จะหายไปขึ้นอยู่กับเวลาหรือรอบเวลาการคำนวณ

เทคนิค Tabu search มีหลักการสำคัญ 3 ประการ เพื่อช่วยให้มีกระบวนการค้นหา (Search mechanism) ที่ดีกว่ากระบวนการค้นหารูปแบบอื่น ๆ คือ

- Forbidding strategy
  เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ของการส่งผ่านสถานะของคำตอบปัจจุบันให้กลายเป็นสถานะ Tabu ซึ่งเป็นสถานะต้องห้าม
- Freeing strategy

เป็นการกำหนดหลักเกณฑ์ของการส่งผ่านสถานะของคำตอบปัจจุบันที่ติดสถานะ Tabu ให้กลายเป็นสถานะปกติ รวมทั้งกำหนดเวลาที่สถานะ Tabu จะถูกทำให้หายไป

- Short-term strategy

  เป็นการควบคุมช่วงรอยต่อระหว่างการเปลี่ยนสถานะของคำตอบปัจจุบันจากสถานะ Tabu ไปเป็นสถานะปกติ และจากสถานะปกติไปเป็นสถานะ Tabu เพื่อที่สามารถทำการค้นหาผลเฉลยได้อย่างมีประสิทธิภาพ

องค์ประกอบหลักของเทคนิค Tabu search เพื่อช่วยในการจัดเส้นทางเดินรถในขั้นตอนของการปรับปรุงเส้นทาง ประกอบด้วย

- Current solution

  คือ ค่าคำตอบปัจจุบันของการจัดเส้นทางเดินรถในแต่ละการวนรอบ และมีบทบาทสำคัญในการสร้างและเปลี่ยนแปลงผลเฉลยใหม่ เนื่องจากผลเฉลยในการวนรอบถัดไปจะถูกปรับปรุงจากเส้นทางเดินรถในรอบปัจจุบัน

- Moves

  คือ กระบวนการกำหนดลักษณะของการเคลื่อนย้ายหรือสลับที่จุดส่งภายในเส้นทางหรือระหว่างเส้นทางเพื่อให้ได้ผลเฉลยใหม่ ซึ่งยังคงมีความคล้ายหรือใกล้เคียงกับผลเฉลยในการวนรอบก่อนหน้า

- Set of candidate move

  คือ เซตของการเคลื่อนย้ายหรือสลับที่จุดส่งที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งมีความใกล้เคียงกับเส้นทางเดินรถปัจจุบัน โดยทั่วไปเซตนี้จะมีขนาดใหญ่หรือมีขนาดเป็นอนันต์ ดังนั้น เราสามารถกำหนดจำนวนขีดจำกัดของจำนวนการเคลื่อนย้ายหรือสลับที่จุดส่งที่เป็นไปได้ด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่ง

- Tabu restriction

  เป็นการกำหนดสถานะ Tabu หรือสถานะต้องห้ามให้กับค่าคำตอบหรือรูปแบบการเคลื่อนย้ายจุดส่งในปัจจุบัน โดยมีแนวคิดหลัก ๆ คือ ป้องกันการทำงานซ้ำในแต่ละการวนรอบและหลีกเลี่ยงปัญหา Local optima ซึ่งขนาดของ Tabu list จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหาที่นำมาแก้ โดยหาก Tabu list มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการค้นหาคำตอบที่ซ้ำ

ในแต่ละการวนรอบ ขณะที่หาก Tabu list มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้มีโอกาสที่ค่าคำตอบที่ได้จะมีคุณภาพด้อยลง เนื่องจากมีการกำหนดสถานะต้องห้ามให้กับการเคลื่อนย้ายจุดส่งที่มากเกินไป

- Aspiration Criterion

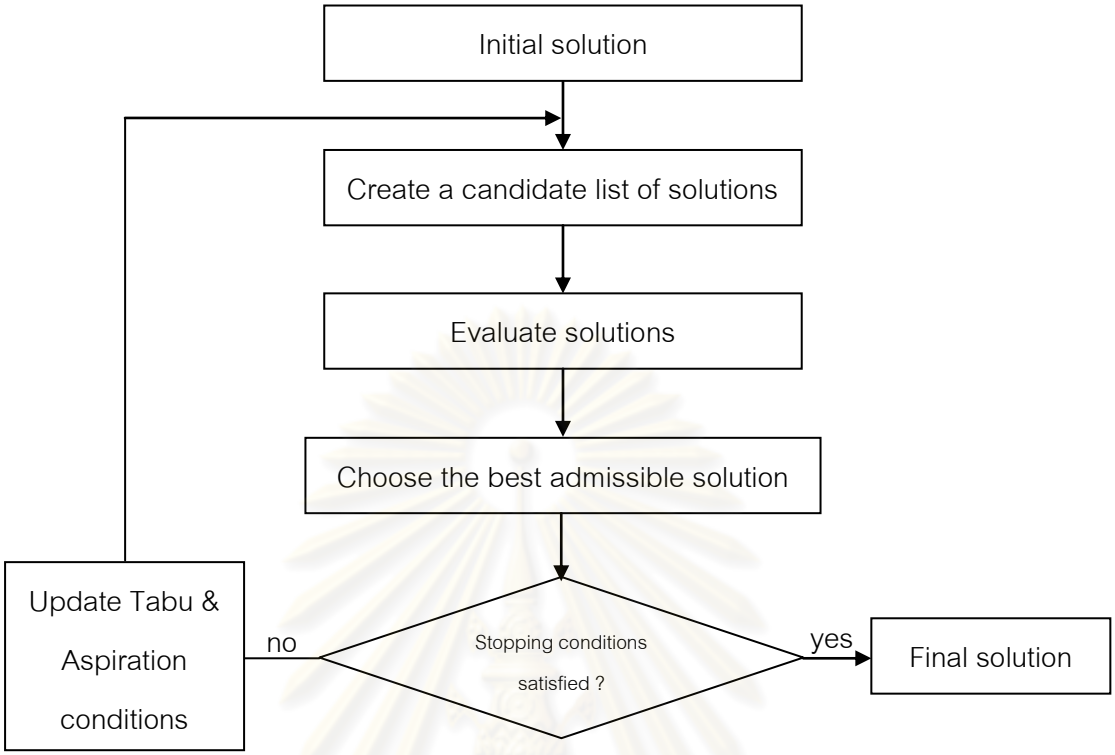
  เป็นการสร้างเงื่อนไขในการยกเลิกสถานะ Tabu หรือสถานะต้องห้าม โดยเงื่อนไขในการยกเลิกสถานะ Tabu นั้นมีหลากหลายแนวคิด ซึ่งตัวอย่างหนึ่งของเงื่อนไขในการยกเลิกสถานะ Tabu คือ หากการเคลื่อนย้ายหรือสลับที่จุดส่งในเส้นทางเดินรถปัจจุบันทำให้ค่าคำตอบของการจัดเส้นทางดีขึ้นก็สามารถยกเลิกสถานะ Tabu ได้ โดยสิ่งสำคัญขององค์ประกอบนี้ คือ การเพิ่มความยืดหยุ่นให้แก่การกำหนดสถานะ Tabu ในกระบวนการวนรอบเพื่อค้นหาผลเฉลยที่ดีขึ้น

- Stopping criteria

  เงื่อนไขในการหยุดการวนรอบ เช่น กำหนดให้จำนวนครั้งในการวนรอบสูงสุดเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง, กำหนดระยะเวลาในการประมวลผล, กำหนดจำนวนรอบของการวนรอบที่ต่อเนื่องแล้วไม่ทำให้ได้ค่าคำตอบของการจัดเส้นทางที่ดีขึ้นเลยในแต่ละรอบ

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถเขียนสรุปเป็น Flow chart มาตรฐานของ Tabu search algorithm ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 Flow chart **มาตรฐานของ** Tabu search algorithm

เทคนิค Tabu search ที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้มีการคำนึงเงื่อนไขด้านกรอบเวลา โดยมีการกำหนดค่าปรับสำหรับค่าความล่าช้าที่เกิดขึ้นในการขนส่ง กล่าวคือ หากมีการขนส่งสินค้าในช่วงเวลาที่อยู่นอกขอบเขตของกำหนดเวลาที่สามารถส่งสินค้าได้จะมีการคำนวณค่าปรับที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์ดังกล่าว ซึ่งส่งผลให้ผลเฉลยที่มีการกำหนดค่าปรับเกิดขึ้นคือ ขนส่งสินค้าในช่วงเวลาที่อยู่นอกขอบเขตของกำหนดเวลาที่สามารถส่งสินค้าได้ของแต่ละจุดส่ง มีค่าที่ด้อยกว่าผลเฉลยที่ไม่มีค่าปรับเนื่องจากความล่าช้าในการขนส่ง โดยค่าวัตถุประสงค์ของการจัดเส้นทาง มีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Min :} \qquad \text{Total distance} + (A * \sum_{i=1}^{n} lateness_i) \qquad (4.1)$$

โดยกำหนดให้

A = พารามิเตอร์ในการกำหนดน้ำหนักของค่าปรับที่เกิดขึ้นจากการขนส่งล่าช้า

$Lateness_i$ = ความล่าช้าที่เกิดขึ้นในการขนส่งสินค้าที่จุดส่ง i

นอกจากนี้ยังมีวิธีการหาผลเฉลยที่ฉลาดมากขึ้นด้วยการใช้ประโยชน์ของการจัดการหน่วยความจำ (Memory) ที่มีประสิทธิภาพ โดยการเปลี่ยนแปลงเส้นทางเดินรถที่เกิดขึ้นแล้วในอดีตจะติดสถานะ Tabu ซึ่งจะไม่ถูกนำมาหาผลเฉลยในการวนรอบครั้งถัดไปจนกว่าสถานะ Tabu ที่เกิดขึ้นนั้นถูกลบออกไป ซึ่งการกำหนดว่าสถานะ Tabu ที่เกิดขึ้นจะสามารถถูกลบออกไปได้ในการวนรอบครั้งที่เท่าไหร่นั้นคำนวณได้จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการครอบครองสถานะ Tabu (Tabu tenure) ยกตัวอย่างเช่น

กำหนดให้

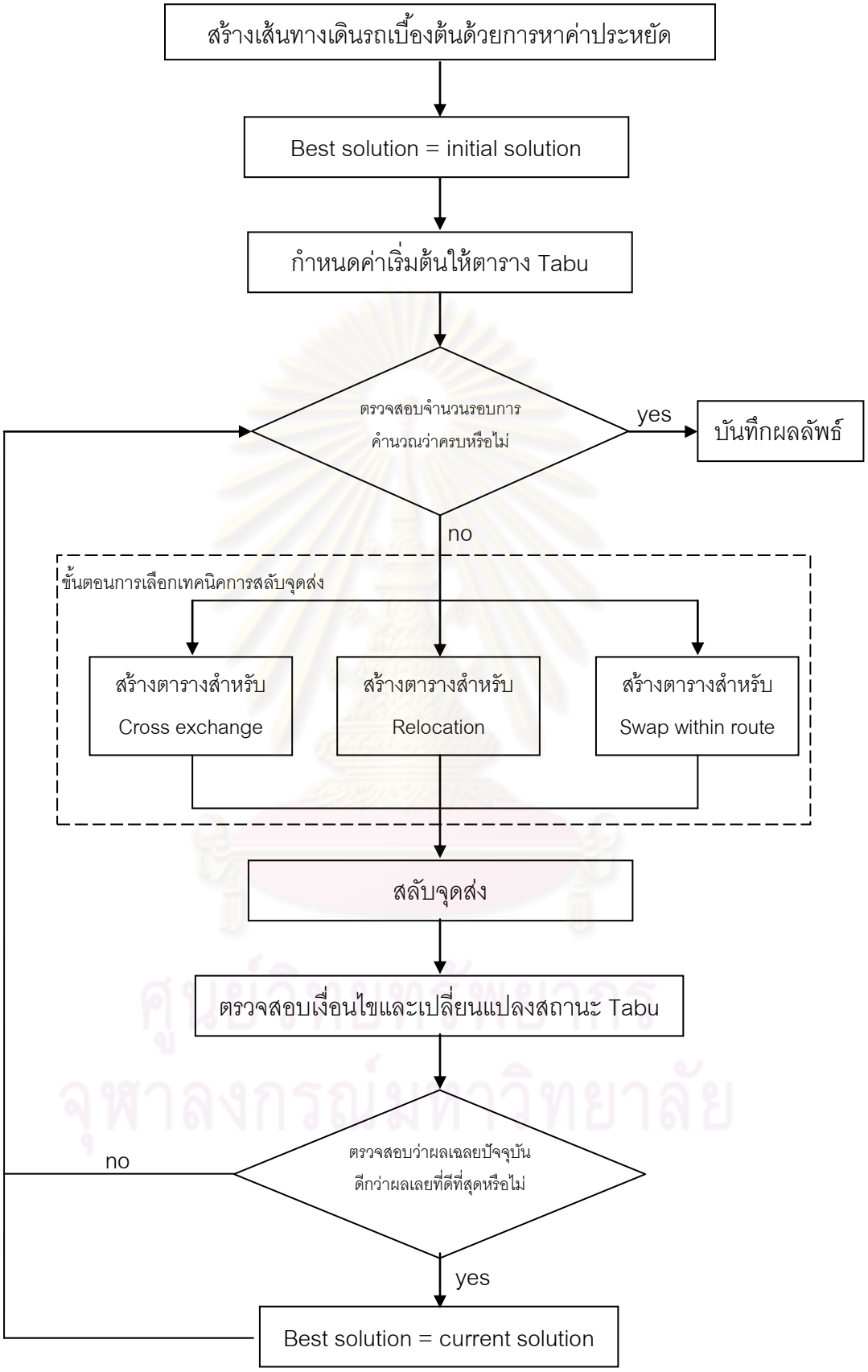
จำนวนครั้งในการวนรอบทั้งหมด = 300
จำนวนครั้งในการวนรอบ ณ ปัจจุบัน = 20
Tabu tenure = จำนวนครั้งในการวนรอบทั้งหมด/2

ดังนั้น เมื่อการเปลี่ยนแปลงเส้นทางเดินรถรูปแบบใด ๆ เกิดขึ้นในการวนรอบครั้งที่ 20 จะถูกติดสถานะ Tabu ไปจนถึงการวนรอบครั้งที่ 170 (คำนวณจาก จำนวนครั้งของการวนรอบ ณ ปัจจุบัน + จำนวนครั้งของการวนรอบที่ถูกครอบครองสถานะ Tabu = 20 + (300/2) = 170)

กรอบการทำงานของขั้นตอนปรับปรุงเส้นทางเดินรถทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.11 สรุปขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

1. การสร้างเส้นทางเดินรถด้วยการหาค่าประหยัด ดังรายละเอียดที่กล่าวในหัวข้อ 4.1
2. กำหนดค่าเริ่มต้นสถานะ Tabu โดยการกำหนดให้สถานะของเมตริกซ์ของแต่ละคู่จุดส่งมีค่าเท่ากับ -1
3. ตรวจสอบจำนวนรอบการทำงาน หากยังไม่ครบรอบที่กำหนดให้โปรแกรมทำงานต่อไป หากครบจำนวนรอบที่กำหนดแล้วให้หยุดการคำนวณ และนำผลที่ได้สรุป
4. เลือกลักษณะการสลับจุดส่ง
5. ทำการปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง
6. ทำการตรวจสอบเงื่อนไขและเปลี่ยนแปลงสถานะ Tabu แล้วจึงทำการคำนวณต่อไปยังขั้นตอนที่ 3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

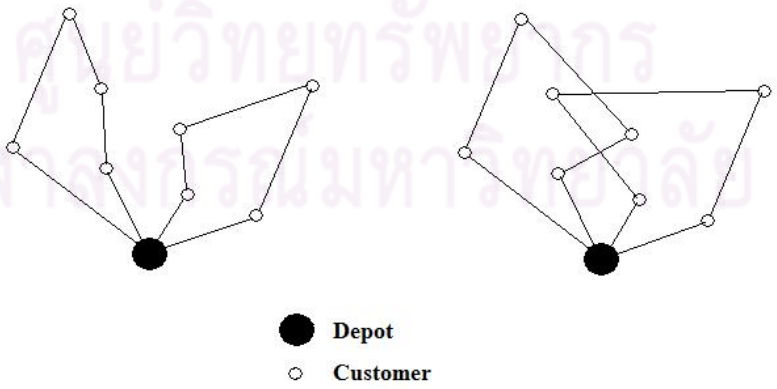


รูปที่ 4.11 ขั้นตอนในการปรับปรุงเส้นทางเดินรถทั้งหมด

รูปแบบการปรับปรุงเส้นทางใน Tabu search จะใช้วิธีการเคลื่อนย้ายจุดส่งหลายรูปแบบ ดังนี้

1. Cross exchange เป็นการปรับปรุงระหว่างเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางโดยการข้ามทับเส้นทาง ดังรูปที่ 4.12 ข้อดีของการปรับปรุงด้วยวิธีนี้ คือ สามารถป้องกันให้เกิดผลกระทบแก่จุดส่งใดๆ ในแง่ของกรอบเวลาค่อนข้างน้อย มีหลักการทำงานดังนี้

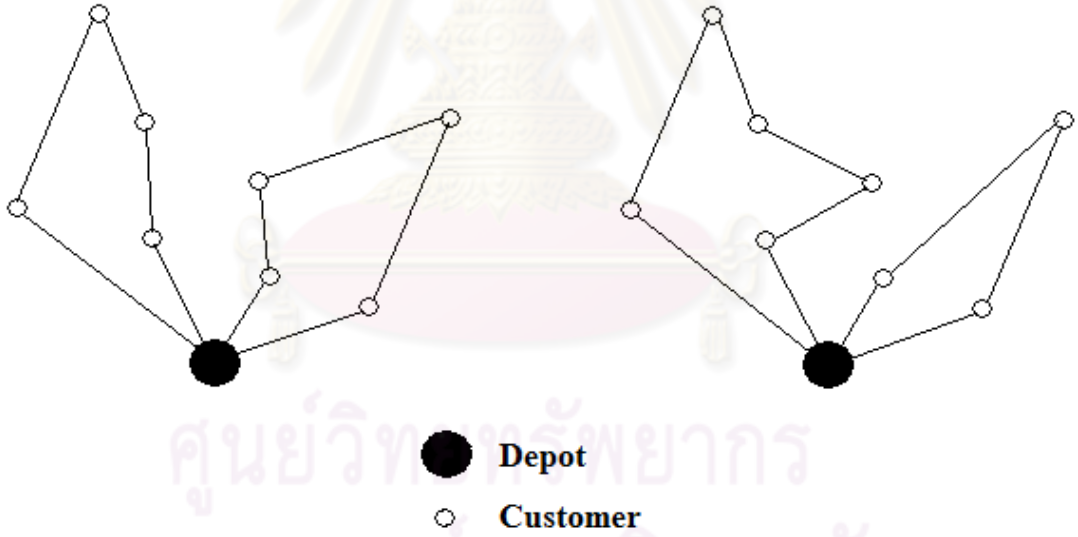
    - คอมพิวเตอร์เริ่มต้นด้วยการย้ายจุดส่งจากเส้นทาง Origin ไปยังเส้นทาง Destination ขณะที่จุดส่งในเส้นทาง Destination จะถูกย้ายมาอยู่ในเส้นทาง Origin เช่นกัน หลังจากนั้นจึงตรวจสอบข้อจำกัดเกี่ยวกับความจุของรถ กรอบเวลาในการขนส่งสินค้า หากไม่มีการขัดแย้งกับข้อจำกัด จะทำการตรวจสอบค่าประหยัดที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนจุดส่ง และบันทึกลำดับการส่งและจุดส่ง ถ้าเส้นทางที่ได้จากการแลกเปลี่ยนเส้นทางมีเวลาในการเดินทางสั้นลง
    - ทดลองเปลี่ยนจุดส่งของ Origin และ Destination เป็นค่าใหม่และกลับไปทำขั้นตอนที่ 1 จนครบทุกจุดส่ง
    - ตรวจสอบหาการแลกจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดมากที่สุด และสลับจุดส่งไปยังลำดับที่มีค่าการประหยัดเส้นทางสูงสุด



รูปที่ 4.12 **การปรับปรุงเส้นทางแบบ Cross exchange**

2. Reloaction เป็นการปรับปรุงเส้นทางด้วยการย้ายจุดส่งจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทาง มีผลทำให้เส้นทางบางเส้นทางมีจำนวนจุดส่งน้อยลงและอาจลดจำนวนเส้นทางลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 มีหลักการทำงานดังนี้

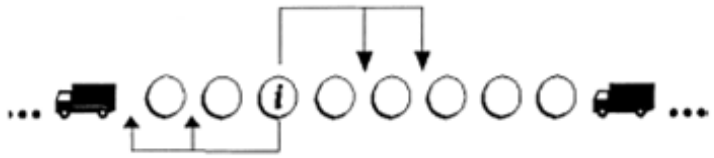
   - คอมพิวเตอร์เริ่มต้นย้ายจุดส่งจาก Origin ไปให้เส้นทาง Destination โดยเริ่มย้ายจากจุดส่งแรกของ Origin ไปยังลำดับต่างๆ ของ Destination หลังจากนั้นจึงตรวจสอบข้อจำกัดการขนส่ง และคำนวณค่าการประหยัดเนื่องจากการย้ายจุดส่ง และบันทึกลำดับการส่งและจุดส่ง
   - ทดลองเปลี่ยนจุดส่งที่ต้องการย้ายจากเส้นทาง Origin เป็นจุดส่งใหม่และดำเนินตามขั้นตอนที่ 1 จนกระทั่งครบทุกจุดส่ง
   - ตรวจสอบหาการย้ายจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดมากสุด แล้วจึงย้ายจุดส่งไปเพิ่มในเส้นทาง Destination



รูปที่ 4.13 การปรับปรุงเส้นทางแบบ Relocation

3. Within route เป็นการปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง ด้วยการทดลองย้ายลำดับการส่งแล้วตรวจสอบผลลัพธ์จากการปรับปรุง ดังแสดงในรูปที่ 4.14

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 การปรับปรุงเส้นทางแบบ Within route

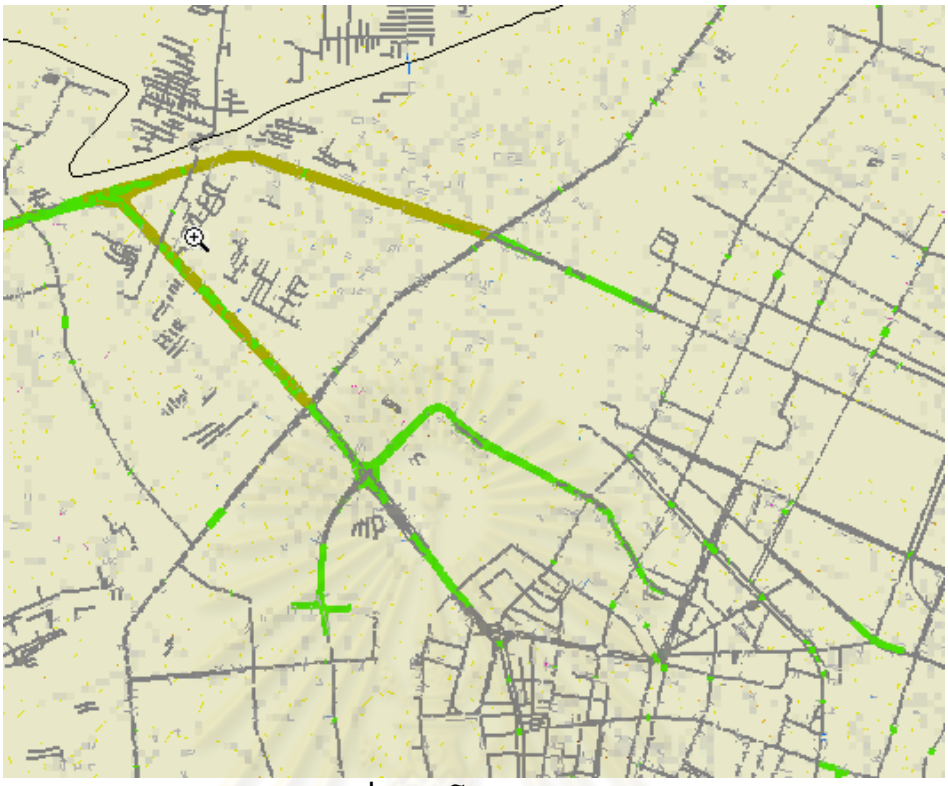
4.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลองเส้นทางเดินรถกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

การประยุกต์ใช้แบบจำลองกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์จะมุ่งเน้นในส่วนของการสร้างเมตริกซ์เวลาในการเดินทางระหว่างแต่ละจุดส่งซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.1 และการแสดงผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

การนำข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม ArcGIS มีดังนี้

- โครงข่ายถนน (Road digital network) โดยกรณีศึกษาตัวอย่างเป็นโครงข่ายถนนของเขตกรุงเทพและปริมณฑล ซึ่งสามารถเข้าถึงข้อมูลถนนได้หลากหลายระดับทั้งที่เป็นถนนสายหลัก สายรอง หรือ ตรอกซอกซอยต่าง ๆ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.15

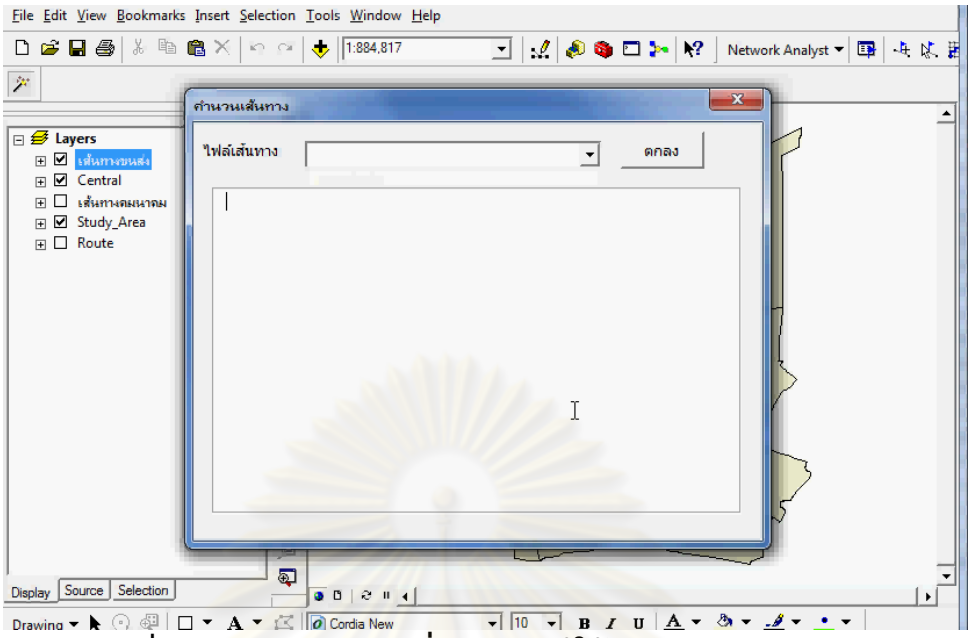
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



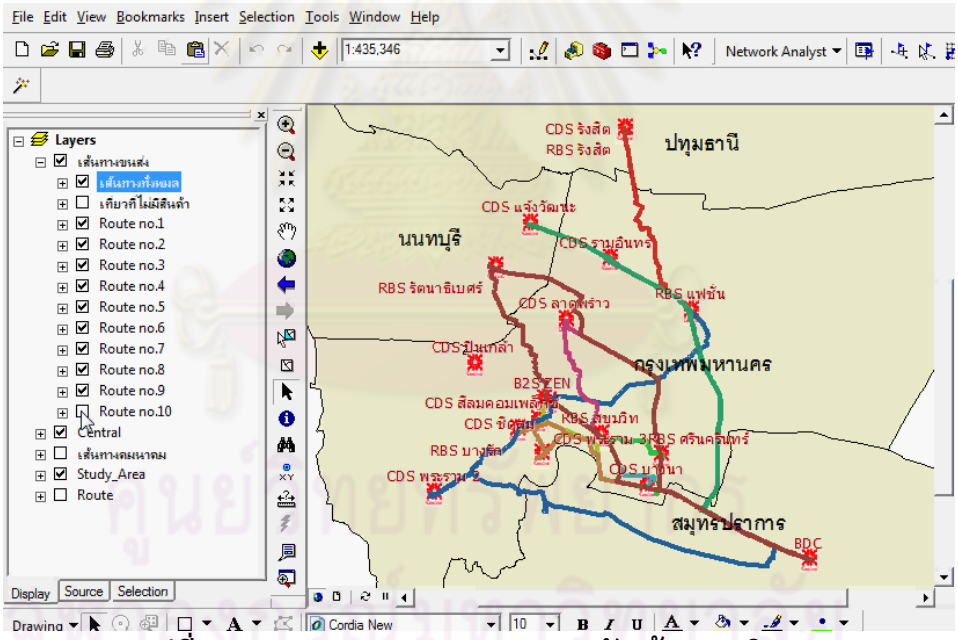
รูปที่ 4.15 โครงข่ายถนน

- พิกัดทางภูมิศาสตร์ของแต่ละจุดส่ง
- รูปแบบของผลเฉลยการจัดเส้นทางเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง

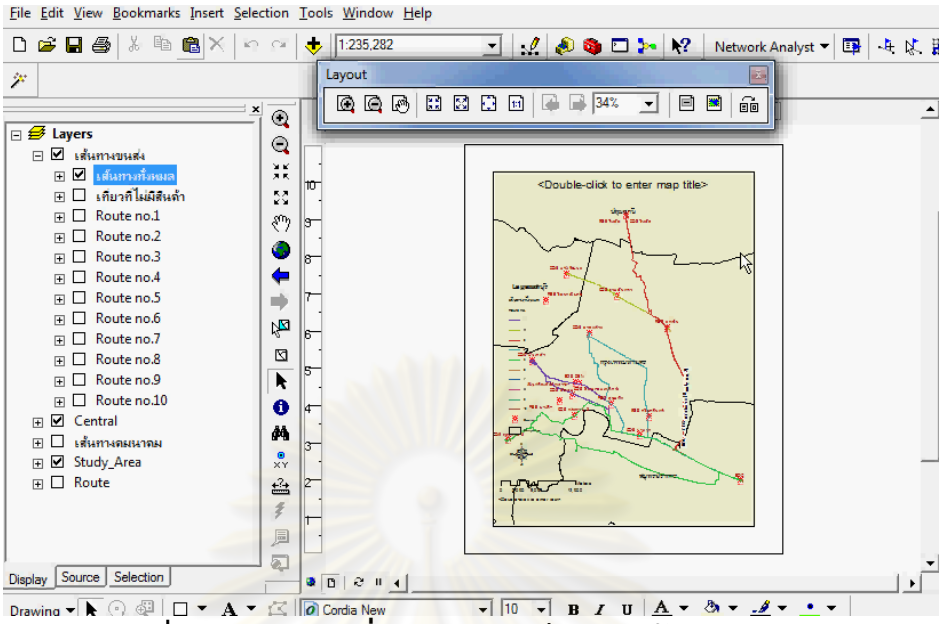
เมื่อมีการนำเข้าข้อมูลครบถ้วนแล้ว จะทำการเขียนโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์เพื่อจัดการในส่วนของระบบที่ติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และโปรแกรม ArcGIS จะทำการแสดงผลเฉลยของการจัดเส้นทางเดินรถออกมาในรูปแบบของเส้นทางเดินรถด้วยระยะทางที่สั้นที่สุดบนโครงข่ายถนน ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองเส้นทางเดินรถกับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ โดยเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการขนส่งสินค้าจะถูกแสดงขึ้นบนหน้าจอแสดงผลของ ArcGIS เพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมสามารถจัดรถขนส่งสินค้าในแต่ละวันได้ อีกทั้งยังสามารถพิมพ์เอกสารเกี่ยวกับผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินทางรถ เพื่อความสะดวกของผู้ปฏิบัติงานจริงจากโปรแกรม ArcGIS ได้ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.16 ส่วนของระบบที่ติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface)



รูปที่ 4.17 การแสดงผลเฉลยของการจัดเส้นทางเดินรถ



รูปที่ 4.18 เอกสารเกี่ยวกับผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การทดสอบระบบและการวิเคราะห์ผล

5.1 แนวทางการทดสอบ

การศึกษานี้ได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง และการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง ดังนี้

5.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง

การทดสอบความถูกต้องในขั้นตอนนี้เป็นการทดสอบแต่ละส่วนย่อยของระบบประกอบด้วย การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง และความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง ดังนี้

5.2.1 การทดสอบความถูกต้องของข้อมูลและการนำข้อมูลเข้าสู่แบบจำลอง

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบความถูกต้องของข้อมูลที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถ หรือเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการป้อนข้อมูลผิดหรือป้อนข้อมูลไม่ครบ เช่น

- ข้อมูลพิกัดภูมิศาสตร์ของแต่ละจุดส่ง
- ข้อมูลสถิติปริมาณการสั่งซื้อของลูกค้า
- ข้อมูลกำหนดการขนส่งสินค้าของลูกค้าแต่ละราย

5.2.2 การทดสอบความถูกต้องในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในแบบจำลอง

โดยขั้นตอนหลักที่ต้องตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของแบบจำลอง ได้แก่ การสร้างเส้นทางเบื้องต้น การปรับปรุงเส้นทางเดินรถ ซึ่งมีรายละเอียดในการทดสอบความถูกต้อง ดังนี้

- การสร้างเส้นทางเบื้องต้น สามารถทดสอบได้ด้วยการนำปัญหาที่ทราบผลลัพธ์ที่ถูกต้องแล้วนำมาใช้ในการทดสอบและเปรียบเทียบคำตอบ และตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ ที่อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน
- การปรับปรุงเส้นทางเดินรถ การตรวจสอบนี้มีลักษณะคล้ายกับการตรวจสอบการสร้างเส้นทาง แต่การทดสอบนี้ไม่ยุ่งยาก เนื่องจากสามารถคาดการณ์คำตอบได้ล่วงหน้า เพราะเส้นทางที่สามารถปรับปรุงได้ต้องทำให้ลำดับการส่งสินค้าใหม่ที่เกิดขึ้นให้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพไม่ด้อยกว่าลำดับการส่งแบบเดิม ดังนั้นการปรับปรุงเส้นทางเดินรถสามารถทดสอบได้โดยการตรวจสอบคุณภาพของผลลัพธ์ใหม่ที่เกิดขึ้นกับผลลัพธ์แบบเดิม

5.3 การทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของแบบจำลอง

ภายหลังจากที่แต่ละขั้นตอนได้ถูกทดสอบจนแน่ใจว่าไม่มีความผิดพลาดปรากฏให้เห็นแล้ว ในขั้นตอนต่อมาเป็นการนำแต่ละขั้นตอนที่มีความสัมพันธ์มาเชื่อมต่อกันและทำการทดสอบอีกครั้งหนึ่ง เพื่อหาข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการรวมกัน โดยการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ทำการทดสอบจากข้อมูลจริงที่มีอยู่ ซึ่งเป็นการทดสอบผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถด้วยแบบจำลองเทียบกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

5.3.1 การทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองเทียบกับวิธีการที่ใช้ในปัจจุบัน

การทดสอบแบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองในสภาพจริงเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถในปัจจุบันซึ่งจัดโดยพนักงาน โดยวัดผลสัมฤทธิ์ด้วยจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง เวลาที่ใช้ในการขนส่ง

จากการนำข้อมูลการปฏิบัติงานจริงของบริษัทขนส่งตัวอย่างมาศึกษาพบว่าลักษณะของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถ เป็นดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ลักษณะของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถ

	ชุดข้อมูล	352	ชุด
ปริมาณสินค้า	เฉลี่ยต่อชุดข้อมูล	249.8	พาเลต
	มากที่สุด	578	พาเลต
	น้อยที่สุด	3	พาเลต
	รวมทั้งหมด	88,183	พาเลต
จำนวนจุดส่ง	เฉลี่ยต่อชุดข้อมูล	14.6	จุดส่ง
	มากที่สุด	20	จุดส่ง
	น้อยที่สุด	1	จุดส่ง

จากข้อมูลข้างต้น งานวิจัยนี้จึงทำการทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบันซึ่งถูกจัดโดยพนักงาน โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 4 กลุ่มทดสอบ ดังนี้

- แบบที่ 1 เลือกใช้ข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางระหว่างคู่จุดส่งใดๆ (Time matrix) ที่เป็น shortest path จากการประมวลผลของโปรแกรม ArcGis เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อการประมวลผลของแบบจำลองด้วยเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัด
- แบบที่ 2 เลือกใช้ข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางระหว่างคู่จุดส่งใดๆ (Time matrix) ที่เป็นข้อมูลจริงของบริษัทตัวอย่างเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อการประมวลผลของแบบจำลองด้วยเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัด
- แบบที่ 3 เลือกใช้ข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางระหว่างคู่จุดส่งใดๆ (Time matrix) ที่เป็น shortest path จากการประมวลผลของโปรแกรม ArcGis เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อการประมวลผลของแบบจำลองด้วยเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัดและเทคนิค Tabu search
- แบบที่ 4 เลือกใช้ข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางระหว่างคู่จุดส่งใดๆ (Time matrix) ที่เป็นข้อมูลจริงของบริษัทตัวอย่างเป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อการประมวลผลของแบบจำลองด้วยเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัดและเทคนิค Tabu search

และวัดผลสัมฤทธิ์ด้วยจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง และเวลาที่ใช้ในการขนส่ง ได้ผลลัพธ์การทดสอบ ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลลัพธ์ของการทดสอบแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบันของกลุ่มทดสอบแบบที่ 1

		ปริมาณสินค้า (พาเลต)	
		1 - 250	251 - 580
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยพนักงาน	จำนวนรอบการขนส่ง	11	25
	เวลาที่ใช้ในการขนส่ง(นาที)	3124	6873
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยคอมพิวเตอร์	จำนวนรอบการขนส่ง	11	25
	เวลาที่ใช้ในการขนส่ง(นาที)	3094	6598
ผลต่างจำนวนรอบการขนส่ง (%)		-	-
ผลต่างเวลาที่ใช้ในการขนส่ง (%)		-1.0%	-4.0%

ตารางที่ 5.3 ผลลัพธ์ของการทดสอบแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบันของกลุ่มทดสอบแบบที่ 2

		ปริมาณสินค้า (พาเลต)	
		1 - 250	251 - 580
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยพนักงาน	จำนวนรอบการขนส่ง	11	25
	เวลาที่ใช้ในการขนส่ง(นาที)	3124	6873
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยคอมพิวเตอร์	จำนวนรอบการขนส่ง	11	25
	เวลาที่ใช้ในการขนส่ง(นาที)	3103	6662
ผลต่างจำนวนรอบการขนส่ง (%)		-	-
ผลต่างเวลาที่ใช้ในการขนส่ง (%)		-0.7%	-3.1%

ตารางที่ 5.4 ผลลัพธ์ของการทดสอบแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบันของกลุ่มทดสอบแบบที่ 3

		ปริมาณสินค้า (พาเลต)	
		1 - 250	251 - 580
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยพนักงาน	จำนวนรอบการขนส่ง	11	25
	เวลาที่ใช้ในการขนส่ง(นาที)	3124	6873
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยคอมพิวเตอร์	จำนวนรอบการขนส่ง	11	25
	เวลาที่ใช้ในการขนส่ง(นาที)	3085	6551
ผลต่างจำนวนรอบการขนส่ง (%)		-	-
ผลต่างเวลาที่ใช้ในการขนส่ง (%)		-1.2%	-4.7%

ตารางที่ 5.5 ผลลัพธ์ของการทดสอบแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบันของกลุ่มทดสอบแบบที่ 4

		ปริมาณสินค้า (พาเลต)	
		1 - 250	251 - 580
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยพนักงาน	จำนวนรอบการขนส่ง	11	25
	เวลาที่ใช้ในการขนส่ง(นาที)	3124	6873
ผลลัพธ์จากการจัดด้วยคอมพิวเตอร์	จำนวนรอบการขนส่ง	11	25
	เวลาที่ใช้ในการขนส่ง(นาที)	3097	6603
ผลต่างจำนวนรอบการขนส่ง (%)		-	-
ผลต่างเวลาที่ใช้ในการขนส่ง (%)		-0.9%	-3.9%

ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนากับวิธีการจัดเส้นทางในปัจจุบันโดยพนักงาน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง พบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ดีเท่ากับการจัดด้วยพนักงานในทุกๆ ปัญหาตัวอย่างที่ทำการทดสอบ
2. เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการขนส่ง พบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในทุกรูปแบบ ให้ผลลัพธ์ดีกว่าการจัดด้วยพนักงานในทุกๆ ปัญหาตัวอย่างที่ทำการทดสอบ โดยมีผลต่างของเวลาที่ใช้ที่ประหยัดได้เล็กน้อยร้อยละ 1 ถึง 5
3. เมื่อพิจารณาผลเฉลยของการจัดเส้นทางของการนำเข้าข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางระหว่างคู่จุดส่งใดๆ (Time matrix) ที่เป็น shortest path จากการประมวลผลของโปรแกรม ArcGis เทียบกับการนำเข้าข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางระหว่างคู่จุดส่งใดๆ (Time matrix) ที่เป็นข้อมูลจริงของบริษัทตัวอย่าง เพื่อใช้ในการประมวลผลจากแบบจำลอง พบว่า การเลือกใช้ข้อมูลนำเข้าที่เป็น Shortest path ให้ผลลัพธ์การจัดเส้นทางที่ดีขึ้นร้อยละ 20 ถึง 50
4. เมื่อพิจารณาผลเฉลยของการจัดเส้นทางของการประมวลผลของแบบจำลองด้วยเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัดเทียบกับการประมวลผลด้วยการใช้เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัดควบคู่ไปกับเทคนิค Tabu search พบว่า การหาผลเฉลยโดยใช้เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัดควบคู่ไปกับเทคนิค Tabu search ให้ผลลัพธ์การจัดเส้นทางที่ดีขึ้นร้อยละ 18 ถึง 28

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเพื่อพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้า มีวัตถุประสงค์ในการดำเนินงาน 2 ประการ คือ

1. เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการขนส่งและกระจายสินค้าให้เกิดการประหยัดต้นทุนในการขนส่งและเกิดประสิทธิภาพในการดำเนินงาน
2. เพื่อประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ช่วยในการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการขนส่งและกระจายสินค้า

6.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูล

การสำรวจปัญหาและรายละเอียดของการปฏิบัติงานของบริษัทตัวอย่างพบว่าบริษัทมีการขนส่งสินค้าแบบไม่เต็มคันรถจากศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวไปยังจุดส่งต่างๆ โดยเมื่อพิจารณาข้อจำกัดในการขนส่งของบริษัทตัวอย่าง พบว่ามีเงื่อนไขที่ต้องพิจารณา ดังต่อไปนี้

- กำหนดการขนส่งสินค้า (Time Window)
- ความจุของรถขนส่งสินค้า (Capacity)
- เวลาที่ใช้ในการบรรทุกสินค้าลงจากยานพาหนะ (Unloading Time)
- เวลาที่ใช้เดินทางระหว่างแต่ละจุดส่ง (Travelling Time)
- ช่วงเวลาและบริเวณห้ามรถบรรทุกวิ่ง (Truck Ban Hour)

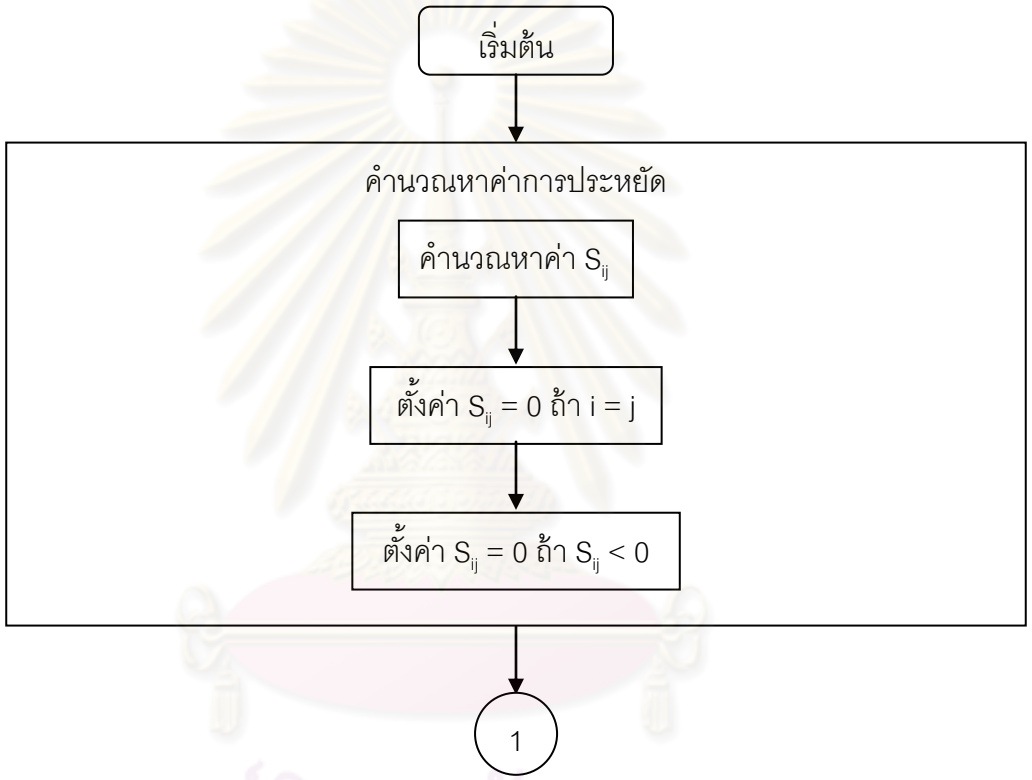
6.2 แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ

วิธีการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนหลัก ๆ 3 ขั้นตอน ดังนี้

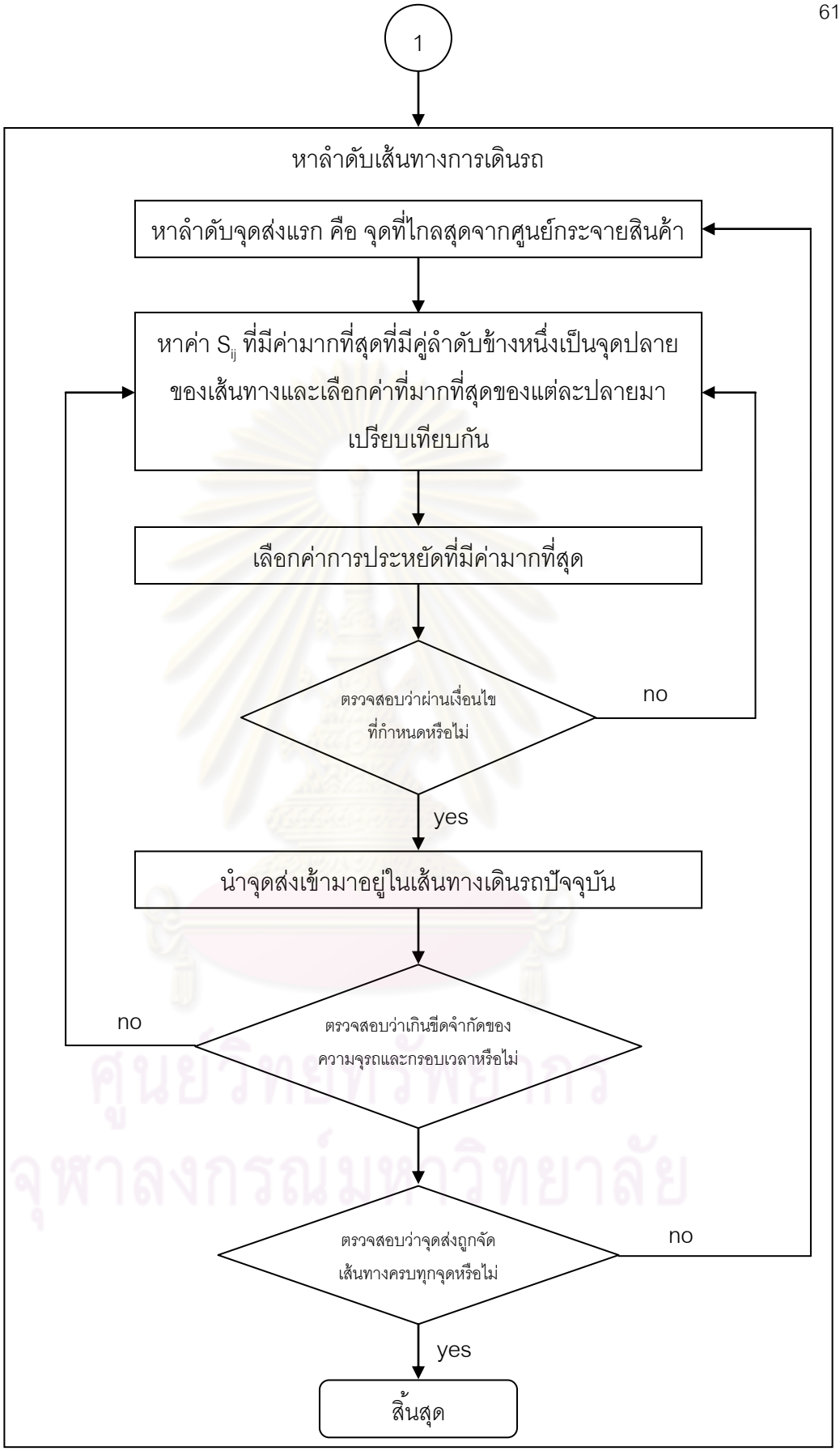
1. สร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น โดยวิธีการหาค่าประหยัด (Savings Matrix Method)

2. การปรับปรุงเส้นทางเดินรถโดยเทคนิค Tabu search
3. นำแบบจำลองการจัดเส้นทางเดินรถที่ได้มาประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์เพื่อแสดงผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถทางหน้าจอคอมพิวเตอร์

กระบวนการของการสร้างเส้นทางเดินรถสามารถสรุปได้เป็นดังแสดงในรูปที่ 6.1 และ 6.2

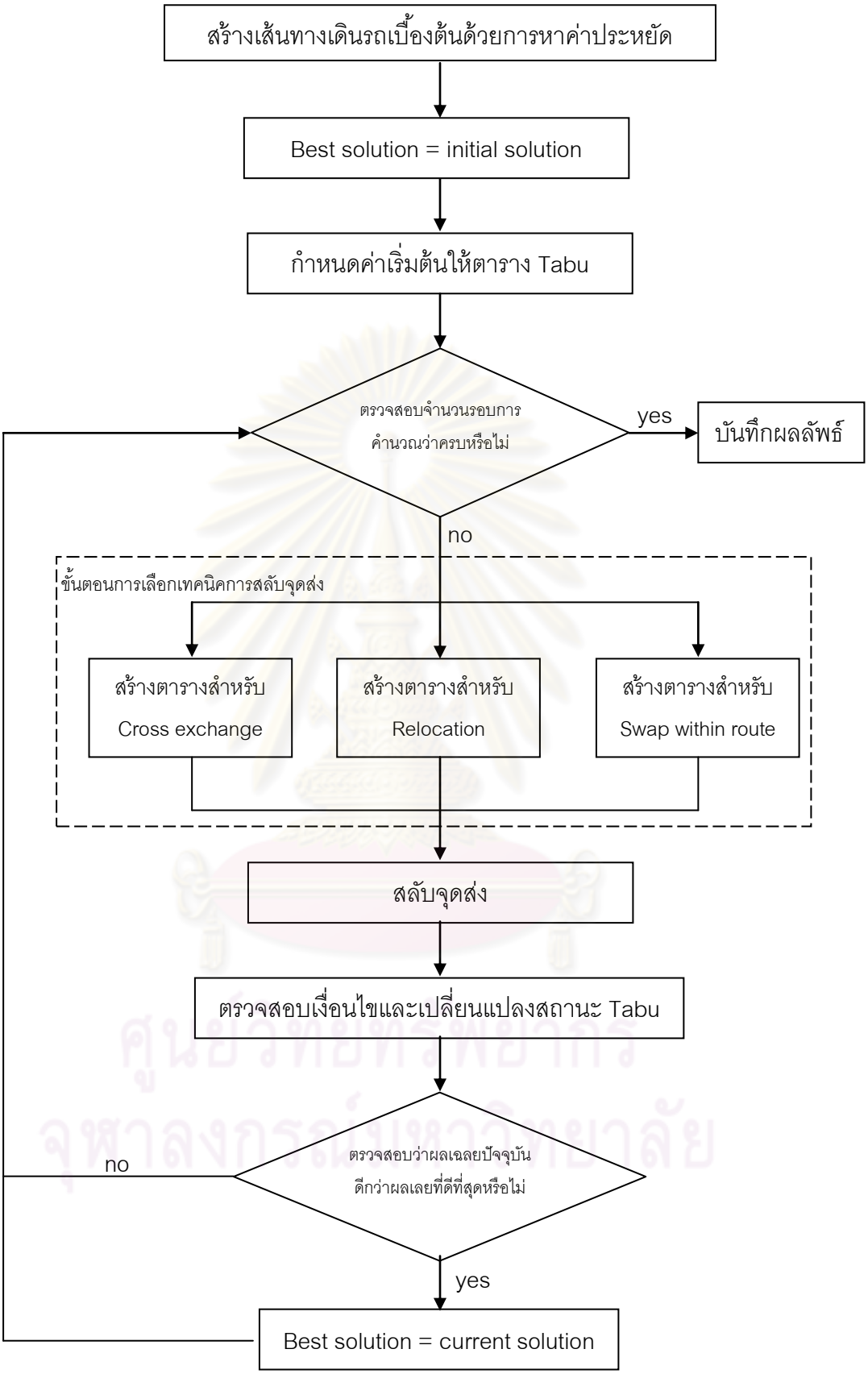


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 กระบวนการสร้างเส้นทางเดินรถเบื้องต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.2 การสร้างเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิคการหาค่าประหยัดและ Tabu search

6.3 การทดสอบและวิเคราะห์ผล

งานวิจัยนี้ทำการทดสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองเทียบกับวิธีทำงานในปัจจุบัน ซึ่งถูกจัดโดยพนักงาน โดยทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 4 กลุ่มทดสอบ และวัดผลสัมฤทธิ์ด้วย จำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง เวลาที่ใช้ในการขนส่ง ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนากับวิธีการจัดเส้นทางในปัจจุบันโดยพนักงาน สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. เมื่อพิจารณาจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง พบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นให้ผลลัพธ์ดีเท่ากับการจัดด้วยพนักงานในทุกๆ ปัญหาตัวอย่างที่ทำการทดสอบ
2. เมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการขนส่ง พบว่า การจัดเส้นทางด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นในทุกรูปแบบ ให้ผลลัพธ์ดีกว่าการจัดด้วยพนักงานในทุกๆ ปัญหาตัวอย่างที่ทำการทดสอบ โดยมีผลต่างของเวลาที่ใช้ที่ประหยัดได้เล็กน้อยร้อยละ 1 ถึง 5
3. เมื่อพิจารณาผลเฉลยของการจัดเส้นทางของการนำเข้าข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางระหว่างคู่จุดส่งใดๆ (Time matrix) ที่เป็น shortest path จากการประมวลผลของโปรแกรม ArcGis เทียบกับการนำเข้าข้อมูลระยะเวลาในการเดินทางระหว่างคู่จุดส่งใดๆ (Time matrix) ที่เป็นข้อมูลจริงของบริษัทตัวอย่าง เพื่อใช้ในการประมวลผลจากแบบจำลอง พบว่า การเลือกใช้ข้อมูลนำเข้าที่เป็น Shortest path ให้ผลลัพธ์การจัดเส้นทางที่ดีขึ้นร้อยละ 20 ถึง 50
4. เมื่อพิจารณาผลเฉลยของการจัดเส้นทางของการประมวลผลของแบบจำลองด้วยเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัดเทียบกับการประมวลผลด้วยการใช้เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัดควบคู่ไปกับเทคนิค Tabu search พบว่า การหาผลเฉลยโดยใช้เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยการหาค่าประหยัดควบคู่ไปกับเทคนิค Tabu search ให้ผลลัพธ์การจัดเส้นทางที่ดีขึ้นร้อยละ 18 ถึง 28

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ วณิชชากรพงศ์ และ ณกร อินทร์พยุง. A column generation based local search for pickup and delivery problem. วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต, วิทยาลัยการขนส่งและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา, 2550.

ณกร อินทร์พยุง. Discrete optimization in transport and logistics. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2548

ธเนศ ทักษิณวราจาร. การจัดเส้นทางเดินรถด้วยคอมพิวเตอร์เพื่อการกระจายสินค้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

สุทธิพงษ์ มีใย, ร้อยเอก. การจัดเส้นทางเดินรถเพื่อการกระจายสินค้าโดยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการด้านโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549.

ภาษาอังกฤษ

Ahuja, K., Punnen, P., and Orlin, B. A Survey of Very Large-Scale Neighborhood Search Techniques. Department of Mathematics Statistics and Computer Science University of New Brunswick, 2000.

Assad, A., and Golden, L. Vehicle routing method and studies. 16(1988):7-46.

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

Bowersox, D.J., Calabro, P.J., and wagenheim, G.D. Introduction to transportation. New York: McMilan, 1981.

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

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

Crainic, T. G., and Laporte, G. Planning models for freight transportation. European journal of operational research: (1997):409-438.

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

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

Lambert, D.M., Stock, J.R., and Ellram, L.M. Fundamental of Logistics Management. First European Edition. London: McGraw-Hill, 1993.

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

Marius, M. Solomon., Edward, K. baker., and Joanne, R. Schaffer. Vehicle Routing and scheduling problems with time window constraints : efficient implementations of solution improvement procedures. Vehicle routing method and studies. 16(1988):85-106.

Nanry, P., and Barnes, J. Solving the pick up and delivery problem with time windows using reactive tabu search. Transportation research part B. (2000):107-121.

Ropke, S., and Pisinger, D. Adaptive Large Neighborhood Search applied to mixed vehicle routing problems, 2007.

Shaw, P. Using constraint programming and local search methods to solve vehicle routing problems. Proceedings of the fourth international conference on the principles and practice of constraint programming, (1998):417-431.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปิน เลียงวิทยาคุณ เกิดเมื่อวันที่ 20 พฤษภาคม พ.ศ.2528 สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2549 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการขนส่ง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย