

วิธีการทางฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางพนักงานระบบเครือข่ายโทรคมนาคม

HEURISTIC APPROACH FOR TELECOMMUNICATION MAINTENANCE  
ROUTING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-217-166

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

วิธีการทางฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางพนักงานระบบเครือข่ายโทรคมนาคม

HEURISTIC APPROACH FOR TELECOMMUNICATION MAINTENANCE  
ROUTING



เลขหมู่.....  
 เลขทะเบียน 148248  
 วันเดือนปี 18 มี.ค. 2560

b.....  
 i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
 สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์  
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-217-166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEURISTIC APPROACH FOR TELECOMMUNICATION MAINTENANCE  
ROUTING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2017

KMITL-2017-EN-M-217-166

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

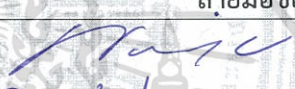




FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์   วิธีการทางฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางพนักงานระบบเครือข่ายโทรคมนาคม  
Thesis Title        Heuristic Approach for Telecommunication Maintenance Routing  
นักศึกษา               นางสาวจุฑามาส สานัต๊ะ  
รหัสประจำตัว        55613407  
ปริญญา                วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา            วิศวกรรมอุตสาหการ  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์       รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์  
หมายเลขวิทยานิพนธ์        KMITL-2017-EN-M-217-166

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.วิกรม	จารุพงศา	
ผศ.ดร.กิตติวัฒน์	สิริเกษมสุข	
ผศ.ดร.ชุมพล	ยางใย	
ดร.เชาวลิต	หามนตรี	
รศ.ดร.ฤดี	มาสุจันทร์	

วัน / เดือน / ปี   ที่สอบ   วันพุธที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2560   เวลา 11.00-13.00 น.  
สถานที่สอบ       ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

  
(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการทางฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางพนักงานระบบเครือข่ายโทรคมนาคม
นักศึกษา	นางสาวจุฑามาส สาณตะ
รหัสประจำตัว	55613407
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ฤดี มาสุจันทร์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Non - linear integer Programming เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงโดยใช้ต้นทุนต่อวันที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และตรงตามความต้องการของลูกค้า กรณีศึกษาของบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง พื้นที่กรุงเทพมหานคร เนื่องจากการปริมาณงานของบริษัทเพิ่มขึ้น ผู้จัดเส้นทางจะต้องจัดเส้นทางที่ทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่ำที่สุด ในขณะที่ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขทางด้านเวลาด้วย หน่วยงานมีพนักงานประจำแต่ละเขตรับผิดชอบอยู่จำนวนหนึ่ง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายทางหน่วยงานจะใช้พนักงานที่มีอยู่ของแต่ละเขตรับผิดชอบนั้นๆ ก่อน หากมีความจำเป็นจึงจะพิจารณาอนุญาตให้มีการทำงานนอกเวลาหรือขอความช่วยเหลือจากพนักงานจากเขตรับผิดชอบข้างเคียงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า โดยที่เส้นทางเริ่มจากศูนย์บริการของเขตรับผิดชอบนั้นๆ เสมอ การวิจัยครั้งนี้ศึกษาหาแนวทางในการจัดเส้นทางของพนักงาน (Traveling Salesman Problem) เพื่อลดค่าใช้จ่ายในเดินทาง โดยมีกลไกการปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH) ซึ่งผลจากการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานด้านงานซ่อมบำรุงอุปกรณ์สำหรับให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในสถานีฐานทำให้มีการใช้พนักงานภายในเขตการรับผิดชอบเพิ่มขึ้น สตรียะทางการเดินทางของพนักงานลงประมาณ 11% และค่าใช้จ่ายลดลงจากวิธีการจัดเส้นทางปัจจุบันประมาณ 44%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Heuristic Approach for Telecommunication Maintenance Routing
Student	Miss Juthamard Santa
Student ID.	55613407
Degree	Master of Engineering
Program	Industrial Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Ruedee Masuchun

### ABSTRACT

This research aims to introduce a non-linear integer programming mathematical model for route maintenance worker at minimal cost per day under the conditions set. And meet the needs of customers in Bangkok area. The routing path is crucial to keep total costs as low as possible while complying with the restricted time. This unit has its own staffs responsible for the works. In order to save costs, all staffs in the unit must be assigned first. If necessary, staffs will be allowed to work part - time or staffs from adjoining areas will be outsourced with higher cost. The route will always start from the center. This research studies and proposes the method of routing staffs (Traveling Salesman Problem) in order to reduce costs. Using the Nearest Neighbor Heuristics (NNH) also offer distance reduction of 11% and cost reduction of 44%, better than present method.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ฤดี มาสุจันทร์ ที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยอบรมสั่งสอน ประสทธิประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการผู้ให้ข้อมูลสำหรับทำงานวิจัยให้เกิดเป็นผลสำเร็จและสนับสนุนการทำงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ผู้ซึ่งดูแล เลี้ยงดู สนับสนุนการศึกษา เป็นกำลังใจสำคัญ เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น

จุฬามาส สานต๊ะ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	5
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	5
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem; TSP).....	8
2.2 วิธีการที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา.....	11
2.3 การจัดลำดับเส้นทาง (Route Sequencing Procedures).....	23
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
3.1 การศึกษาและจำลองข้อมูลการทำงาน.....	25
3.2 ตัวแบบคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดเส้นทาง.....	29
3.3 ทดสอบความถูกต้องและความเสมือนจริงของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	33
3.4 การออกแบบการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุง.....	37
3.5 เครื่องมือสำหรับพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุง.....	38

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.6 วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทาง ของพนักงานซ่อมบำรุง.....	39
3.7 การพัฒนาการจัดเส้นทางเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงแบบ TSP-NNH.....	39
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....</b>	<b>44</b>
4.1 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลอง.....	44
4.2 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง.....	50
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>56</b>
2.1 สรุปผลการวิจัย.....	56
2.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
<b>บรรณานุกรม.....</b>	<b>58</b>
<b>ภาคผนวก.....</b>	<b>61</b>
ภาคผนวก ก ตารางเมตริกข้อมูลการทำงาน.....	62
ภาคผนวก ข ขั้นตอนการใช้ Excel Solver.....	80
ภาคผนวก ค บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์.....	84
<b>ประวัติผู้เขียน.....</b>	<b>IX</b>

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตัวอย่างข้อมูลสถานีฐานในพื้นที่รับผิดชอบ.....	26
3.2 การจัดเส้นทางโดยวิธีปัจจุบัน.....	27
3.3 แสดงลำดับสถานีฐานในพื้นที่รับผิดชอบ.....	28
3.4 แสดงผลที่เกิดจากการจัดเส้นทางโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	32
3.5 ตัวอย่างข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	33
3.6 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 1 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายในเขตรับผิดชอบคนที่ 1.....	34
3.7 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 2 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายในเขตรับผิดชอบคนที่ 2.....	34
3.8 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 3 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายในเขตรับผิดชอบคนที่ 3.....	34
3.9 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 4 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายในเขตรับผิดชอบคนที่ 4.....	34
3.10 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 5 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบคนที่ 1.....	34
3.11 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 6 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบคนที่ 2.....	35
3.12 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 7 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบคนที่ 3.....	35
3.13 ค่าใช้จ่ายจากข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ.....	35
3.14 ค่าใช้จ่ายจากข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางของพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ (ไม่คิดค่าน้ำมัน). ..	36
3.15 แสดงผลที่เกิดจากการจัดเส้นทางตัวอย่างข้อมูลโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	36
3.16 ค่าใช้จ่ายของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบจากการจัดเส้นทางตัวอย่างข้อมูลโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....	37
4.1 การจัดเส้นทางทางการเดินทางของพนักงานปัจจุบัน.....	46
4.2 การจัดเส้นทางปัจจุบัน เปรียบเทียบการเดินทางของพนักงานภายใน - นอก.....	47
4.3 ค่าใช้จ่ายก่อนการจัดเส้นทางจากของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ.....	48
4.4 ค่าใช้จ่ายก่อนการจัดเส้นทางจากของพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ.....	49
4.5 การเดินทางของพนักงานหลังจัดเส้นทาง.....	51
4.6 แสดงผลที่เกิดจากการจัดเส้นทางโดยวิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH).....	52
4.7 ค่าใช้จ่ายหลังการจัดเส้นทางจากของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ.....	53
4.8 ค่าใช้จ่ายก่อนการจัดเส้นทางจากของพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ.....	54

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ก.1 เมตริกกระยะทาง (กิโลเมตร).....	62
ก.2 ระยะเวลาการเดินทางและระยะเวลาขนถ่ายอุปกรณ์ (นาที) .....	63
ก.3 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 1 (กิโลเมตร).....	64
ก.4 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 2 (กิโลเมตร).....	65
ก.5 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 3 (กิโลเมตร).....	66
ก.6 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 4 (กิโลเมตร).....	67
ก.7 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 5 (กิโลเมตร).....	68
ก.8 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 6 (กิโลเมตร).....	69
ก.9 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 7 (กิโลเมตร).....	70
ก.10 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 8 (กิโลเมตร).....	71
ก.11 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 9 (กิโลเมตร).....	72
ก.12 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 10 (กิโลเมตร).....	73
ก.13 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 11 (กิโลเมตร).....	74
ก.14 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 12 (กิโลเมตร).....	75
ก.15 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 13 (กิโลเมตร).....	76
ก.16 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 14 (กิโลเมตร).....	77
ก.17 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 15 (กิโลเมตร).....	78
ก.18 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 16 (กิโลเมตร).....	79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ปริมาณปัญหาที่เกิดขึ้น ช่วงเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2558.....	3
2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem).....	8
2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขายหลายคน (Multiple - Traveling Salesman Problem; M - TSP).....	11
2.3 แผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้.....	13
2.4 การจัดเส้นทางด้วยวิธี Nearest Neighbor Heuristics.....	16
2.5 การสลับสับเปลี่ยน.....	19
2.6 การจัดเส้นทางด้วยวิธี Sweep Method.....	19
2.7 วิธีการค้นหาต้องห้าม.....	22
3.1 โปรแกรม Google Map.....	40
3.2 การหาระยะทางจากโปรแกรม Google Map.....	41
3.3 โปรแกรม Microsoft Excel Solver.....	41
3.4 การจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงแบบ TSP-NNH.....	42
ข.1 หน้าจอเพื่อเรียกโปรแกรมย่อย.....	80
ข.2 หน้าจอเพื่อเลือก Solver Add-in.....	81
ข.3 นำเข้าข้อมูล.....	81
ข.4 เรียกใช้ Excel Solver.....	82
ข.5 Solver Parameters.....	82
ข.6 บันทึกค่าพารามิเตอร์.....	83
ข.7 ผลการหาคำตอบจาก Excel Solver.....	83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ช่วงเวลา 3 - 5 ปีนี้ บริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสงคาดการณ์ว่าความเปลี่ยนแปลงในธุรกิจโทรคมนาคมในประเทศไทยจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ธุรกิจสื่อสารซึ่งมีการแข่งขันค่อนข้างสูง การสื่อสารเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น ความต้องการของผู้บริโภคยังมีอยู่มาก เมื่อมีการแข่งขันเพิ่มมากขึ้น ด้วยพฤติกรรมของผู้บริโภคที่เปลี่ยนไป ต้องการใช้งานอินเทอร์เน็ตมากขึ้น มีความคาดหวังต่อการให้บริการเพิ่มมากขึ้น ด้วยความเร็วสูงขึ้น ความละเอียดสูงขึ้นและมีความต่อเนื่อง ผู้บริโภคย่อมต้องการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัยและโครงข่ายที่ให้ความสะดวกรวดเร็วในการเชื่อมต่อ บริษัทฯ ตระหนักถึงความเปลี่ยนแปลงนี้ และต้องการเป็นผู้นำในการเปลี่ยนแปลงอุตสาหกรรมให้ก้าวเข้าสู่ยุคดิจิทัล จึงกำหนดวิสัยทัศน์เพื่อมุ่งสู่การเป็น “ผู้ให้บริการดิจิทัลไลฟ์” ที่ให้บริการลูกค้าในทุกองค์ประกอบเพื่อตอบสนองต่อพฤติกรรมการใช้ชีวิตของผู้บริโภคที่ต้องการเชื่อมต่อกับโลกอินเทอร์เน็ตตลอดเวลาผ่านโครงข่ายคุณภาพที่เป็นรากฐานอันแข็งแกร่ง โดยคู่แข่งทางธุรกิจส่วนใหญ่ใช้เทคโนโลยี ADSL ที่ใช้งานอยู่นั้น เริ่มล้าสมัยและมีข้อจำกัดทางเทคนิคในเรื่องความเร็ว ผู้บริโภคจึงมองหาบริการที่ใช้งานได้ดียิ่งขึ้น โดยเฉพาะเรื่องความเร็วและความเสถียร ซึ่งเป็นโอกาสทางธุรกิจของบริษัทฯ เพื่อชิงความได้เปรียบทางการแข่งขันจึงเพิ่มบริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงสำหรับที่พักโดยใช้ประโยชน์จากโครงข่ายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic Cable) คุณภาพสูงที่กระจายอยู่ทั่วประเทศจากการวางโครงข่าย โดยมีเป้าหมายนับจากปี 2559 จะเร่งขยายพื้นที่บริการให้ครอบคลุมเพิ่มมากยิ่งขึ้น และพัฒนาขั้นตอนการทำงาน ได้แก่ หน่วยงานขาย การติดตั้ง และบริการหลังการขาย ซึ่งปัจจุบันมีการลงทุนในเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อให้เข้าใจลูกค้าในเชิงลึก ประกอบกับทรัพยากรบุคคลที่มีประสบการณ์และมีคุณภาพในการให้บริการและสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้า

ทุกๆ เทคโนโลยีที่บริษัทสนับสนุนและพัฒนาเพื่อให้เกิดกิจกรรมหรือการทำงานในรูปแบบต่างๆ ล้วนถูกกำหนดด้วยข้อมูลที่แม่นยำและรวดเร็ว จึงได้มีวิวัฒนาการและต่อยอดความสามารถของเทคโนโลยีให้เกิดประโยชน์สูงสุดอย่างต่อเนื่อง นอกจากคุณภาพของระบบเครือข่าย การจัดโปรโมชั่น การขยายพื้นที่การให้บริการ การเพิ่มสถานีฐานแล้ว บริษัทฯ ต้องปรับตัวและหาวิธีการรองรับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น การสร้างความพึงพอใจของลูกค้าต่อการให้บริการถือเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดปัจจัยหนึ่งต่อการพัฒนาและสร้างความสำเร็จในธุรกิจสื่อสาร ซึ่งปัจจุบันคุณภาพการให้บริการของหน่วยงานจะเป็นตัวชี้วัดถึงระดับความน่าเชื่อถือในการให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง

กระบวนการติดต่อสื่อสารรวมถึงอุปกรณ์ในแต่ละส่วนของโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสงย่อมเกิดความเบี่ยงเบนหรือความแปรปรวนได้อันมีผลมาจากหลายปัจจัยทั้งที่สามารถควบคุมได้และไม่สามารถควบคุมได้ ทั้งปัจจัยที่มีผลกระทบมากและปัจจัยที่มีผลกระทบน้อยความแปรปรวนเหล่านี้อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพของโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง ซึ่งถ้าความแปรปรวนมีน้อยและไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการลดลงของคุณภาพแสดงว่ากระบวนการยังอยู่ภายใต้การควบคุม แต่เมื่อใดที่ความแปรปรวนเกิดขึ้นมาและส่งผลให้คุณภาพลดลงนั้นก็แสดงว่ากระบวนการมีความผิดปกติไปจากที่ควรจะเป็น

### ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อคุณภาพประกอบไปด้วย

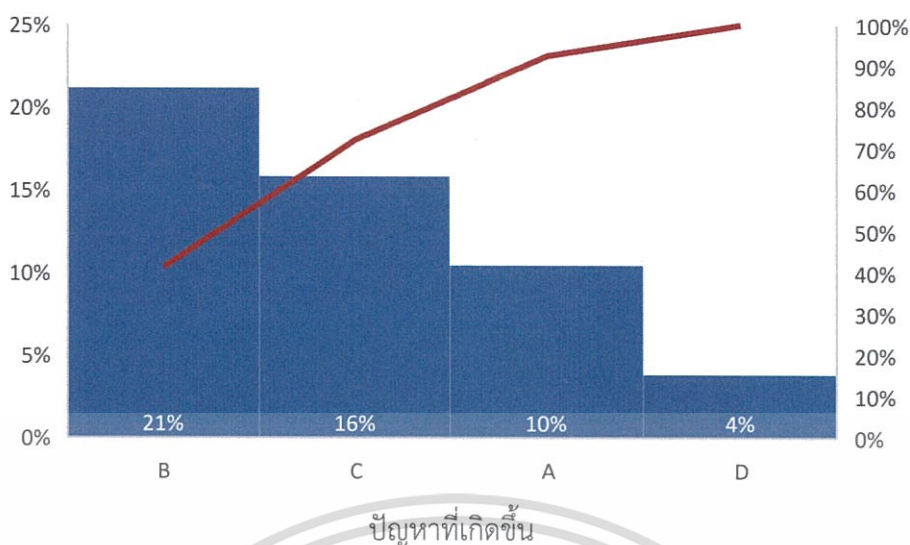
**คน (Man)** เป็นองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้เกิดความผันแปรในกระบวนการอันเนื่องมาจากการขาดความชำนาญ ความเมื่อยล้าและการขาดการอบรมอย่างถูกต้อง

**เครื่องจักร (Machine)** ถือเป็นส่วนประกอบที่มีความสำคัญของกระบวนการ เครื่องจักรที่มีอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อน การสึกหรอหรือมีการชำรุดซึ่งจะส่งผลให้เกิดความผันแปรในกระบวนการได้

**วัตถุดิบ (Raw Materials)** การควบคุมและตรวจสอบความผันแปรของสัญญาณซึ่งถือว่าเป็นวัตถุดิบที่มีผลต่อคุณภาพของระบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง

**กระบวนการ (Method)** ถือเป็นหัวใจสำคัญของระบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง ซึ่งหากมีกระบวนการหนึ่งกระบวนการใดเกิดความผิดปกติไปจากที่ควรซึ่งอาจส่งผลโดยตรงต่อคุณภาพโดยตรง ในการวิเคราะห์ปัญหาทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาที่แท้จริง

หน่วยงานมีการวิเคราะห์ปัญหาโดยอาศัยข้อมูลการทำงานของพนักงานซึ่งจะมีการสรุปปัญหาทุกเดือนพบว่าด้านงานซ่อมบำรุงอุปกรณ์สำหรับให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในสถานีสถาน และ การจัดเส้นทาง การเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงเป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินงาน โดยศึกษาจากปัญหาที่เกิดขึ้น ช่วงเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2558 ลูกค้านำจำนวน 392 ราย ปัญหา A คือพนักงานใช้เวลาแต่ละจุดเกินเวลาที่กำหนด ปัญหา B คือ พนักงานเดินทางถึงจุดบริการช้ากว่ากำหนด ปัญหา C คือ การใช้พนักงานภายนอกหน่วยงาน และ ปัญหา D คือ ปัญหาอื่นๆ ดังรูปที่ 1.1



**รูปที่ 1.1** ปริมาณปัญหาที่เกิดขึ้น ช่วงเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2558

จากรูปที่ 1.1 แสดงให้เห็นค่าอัตราส่วนปัญหาที่เกิดขึ้นเมื่อเทียบกับปริมาณงานทั้งหมดซึ่ง ปัญหาพนักงานเดินทางถึงจุดบริการช้ากว่ากำหนดมีปริมาณถึง 21% และปัญหาการใช้พนักงานภายนอกหน่วยงานเป็นลำดับรองลงมา คือ 16 %

ปัญหาพนักงานเดินทางถึงจุดบริการช้ากว่ากำหนด เนื่องจากการจัดเส้นทางให้พนักงานซ่อมบำรุงเดินทางไปนั้นไม่ได้คำนึงถึงระยะทางที่ไกลที่สุดจากตำแหน่งที่อยู่ในปัจจุบัน ทำให้พนักงานซ่อมบำรุงต้องใช้เส้นทางที่มีระยะทางไกลและใช้เวลาการเดินทางมาก ตลอดจนมีผลให้ต้องจ้างพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบเพื่อปฏิบัติงานเพิ่มเติมทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูงเกินความจำเป็น

ตลอดจนบริษัทฯ กำหนดให้หน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องลดต้นทุนด้านการดำเนินงานเชิงคุณภาพ การวางแผนเพื่อลดต้นทุนด้านการดำเนินงานนั้น หน่วยงานวิเคราะห์วิธีแก้ปัญหโดยอาศัยข้อมูลการทำงานของพนักงาน ซึ่งระยะเวลาการเดินทางเพื่อซ่อมบำรุงอุปกรณ์สำหรับให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในสถานีสถานแต่ละสถานีนั้นเป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ซึ่งการบริการอินเทอร์เน็ตไร้สายให้ความสำคัญกับการตอบสนองความต้องการของลูกค้ามาก และการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงเป็นส่วนสำคัญในการให้บริการ ต้องมีให้เพียงพอต่อการใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและลดต้นทุนด้านการดำเนินงาน ในที่นี้บริษัทฯ ใช้การขนส่งทางถนนเป็นหลัก เนื่องจากมีความคล่องตัวในการเคลื่อนย้ายและสามารถเข้าถึงสถานีสถานได้โดยง่าย ขณะเดียวกันการเดินทางของพนักงานโดยใช้รถได้รับผลกระทบจากการผันผวนของราคาน้ำมัน และจากปัจจัยอื่นๆ เช่น อัตราค่าแรงนอกเวลา ค่าบำรุงรักษารถ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงจากศูนย์บริการของเขตรับผิดชอบไปยังสถานีฐานในอดีต พบปัญหาที่เกิดขึ้นจากการปฏิบัติงานดังนี้

1. ผู้มีหน้าที่จัดเส้นทางอาศัยประสบการณ์ทำงานและความชำนาญในการตัดสินใจ อย่างไรก็ตามการพิจารณาของพนักงานแต่ละคนแตกต่างกันทำให้ไม่สามารถควบคุมประสิทธิภาพได้
2. ผู้มีหน้าที่จัดเส้นทางมีประสบการณ์ การพิจารณาแตกต่างกัน อาจต้องใช้เวลาในการจัดเส้นทางเพิ่มขึ้น
3. ข้อจำกัดด้านบุคลากรภายในแต่ละเขตพื้นที่มีจำนวนจำกัด เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อ การปรับปรุงการดำเนินงานโดยตรง
4. ต้นทุน ค่าใช้จ่ายสำหรับการทำงานนอกเวลา ค่าจ้างพนักงานภายนอก ตลอดจนค่าน้ำมัน
5. ลูกค้าขาดความเชื่อมั่นต่อผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ต มีการร้องเรียนตามช่องทางต่างๆ ของ บริษัท

การจัดการเส้นทางที่มีอยู่จึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญ โดยจะต้องมีแผนการจัดการเส้นทางให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อเป็นการลดต้นทุน และป้องกันปัญหาความล่าช้าที่จะตามมา เช่น ไม่มีพนักงานเพียงพอบางช่วงเวลา ค่าจ้างล่วงเวลาที่เพิ่มมากขึ้น หรือจำเป็นต้องจ้างช่างรับเหมาช่วง ซึ่งเป็นผลกระทบต่อต้นทุนทั้งสิ้น นอกจากนี้อาจทำให้บางสถานการณ์ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ตามแผนการซ่อมบำรุงที่กำหนดและเป็นสาเหตุให้ลูกค้าขาดความเชื่อมั่นต่อผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตได้

ปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP) เป็นรูปแบบปัญหาของพนักงานขายในการจัดการเส้นทางการเดินทางรถจากจุดเริ่มต้นไปยังทุกจุดของลูกค้า โดยมีเงื่อนไขให้สามารถผ่านแต่ละจุดได้เพียงครั้งเดียว จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดคือจุดเดียวกัน นั้นหมายความว่า เมื่อเดินทางครบทุกจุดของลูกค้าแล้ว จะต้องเดินทางกลับมาสู่จุดเริ่มต้นอีกครั้ง ลักษณะของคำตอบที่ได้อาจมีระยะทางหรือระยะเวลาในการเดินทางโดยรวมต่ำที่สุด โดยรูปแบบปัญหา TSP ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสถานการณ์จริงได้ดีที่สุด ปัญหาหนึ่ง อย่างไรก็ตามวิธีการแก้ไขปัญหา TSP ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เช่น Nearest Neighbor Heuristics (NN Heuristics) เป็นเทคนิคในการหาจุดที่ใกล้จุดเริ่มต้นที่สุดและยังไม่เคยไปมาก่อนเป็นจุดต่อไปของการเดินทาง NN Heuristics สนใจจุดต่อไปที่สั้นที่สุด การเดินทางกลับมาสู่จุดเริ่มต้นอีกครั้งอาจจะต้องใช้ระยะทางที่มาก จากการสำรวจพบว่า ความเป็นจริงนั้น เส้นทางขาไปกับเส้นทางขากลับระหว่างเมือง 2 เมืองมักจะไม่เท่ากันเป็นรูปแบบปัญหา TSP แบบไม่สมมาตร ที่เรียกว่า Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP)

ATSP เป็นรูปแบบปัญหาทั่วไปของ TSP แบบ Combinatorial Optimization ที่อยู่ในกลุ่มของปัญหาที่มีความซับซ้อนในระดับ Non-Deterministic Polynomial Time Hard หรือที่เรียกว่า NP-Hard ซึ่งไม่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดภายในระยะเวลาการคำนวณที่เหมาะสมได้โดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่

ดังนั้น เพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานจึงได้มีแนวคิดวางแผนจัดลำดับก่อน - หลังของเส้นทางจากศูนย์บริการของเขตรับผิดชอบไปยังสถานีฐานโดยประยุกต์จากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) โดยกำหนดให้พนักงานทางออกจากศูนย์บริการของเขตรับผิดชอบแห่งหนึ่งและหลังจากซ่อมบำรุงให้ลูกค้าครบทุกแห่งแล้ว เลือกเดินทางกลับศูนย์บริการนั้นๆ แล้วให้ระยะทางรวมในการเดินทางที่เหมาะสมที่สุดโดยเปรียบเทียบวิธีการดั้งเดิมจัดเส้นทางจากผู้มีหน้าที่จัดเส้นทางอาศัยประสบการณ์ทำงานและความชำนาญในการตัดสินใจและวิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธีการทางฮิวริสติกเพื่อหาคำตอบภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ใช้ระยะเวลาน้อยและสร้างความพึงพอใจมากที่สุด งานวิจัยนี้จึงจัดทำขึ้นเพื่อทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงระบบเครือข่ายโทรคมนาคมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสนับสนุนการใช้งานด้านการเดินทาง เพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการทำงานมากยิ่งขึ้น

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Non linear integer Programming เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงโดยใช้ต้นทุนต่อวันที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และตรงตามความต้องการของลูกค้า กรณีศึกษาของบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง

## 1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

สามารถใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่ หรือ Local Search โดยมีกลไกการปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH) หาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงาน (Traveling Salesman Problem) เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงโดยใช้ต้นทุนต่อวันที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

Traveling Salesman Problem (TSP) คือปัญหาการหาเส้นทางเดินที่เหมาะสม โดยพยายามหาเส้นทางที่สั้นที่สุด จากจุดเริ่มต้นเดินทางผ่านทุกจุด แล้วกลับมายังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง โดยให้สามารถผ่านแต่ละจุดได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นปัญหามีลักษณะเป็น กราฟ ประกอบด้วย จุดยอด และเส้นเชื่อม จัดเป็นปัญหาที่เรียกว่าข้อปัญหาเอ็นพีบริบูรณ์ (NP – Hard ) กล่าวคือไม่มีวิธีแก้ปัญหาให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดได้ภายในเวลาที่เหมาะสม เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะเพิ่มขึ้นแบบเลขชี้กำลัง เมื่อชุดข้อมูล (จำนวนสถานที่) มีขนาดเพิ่มขึ้น

Bräysy, et al. (2009) ศึกษาปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพเส้นทางถูกจำลองเป็นพนักงานขาย ปัญหาที่มีกรอบเวลา ด้วยการลดปริมาณของยานพาหนะและระยะทางรวมเป็นส่วนประกอบวัตถุประสงค์ การกำหนดเส้นทางใช้เครื่องมือที่ช่วยการเพิ่มประสิทธิภาพ และสร้างเส้นทางที่ดีที่สุด ผลที่ได้สามารถควบคุมค่าใช้จ่ายที่สำคัญเพิ่มขึ้นเป็น 50% ในทั้งระยะทางและจำนวนยานพาหนะเมื่อเทียบกับโซลูชันในปัจจุบัน

อย่างไรก็ตามปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ได้ด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ หรือ Local Search โดยใช้กลไกการปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH)

## 1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและจำลองข้อมูลกระบวนการทำงานของบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตในส่วนที่รับผิดชอบงานซ่อมบำรุง งานซ่อมบำรุงอุปกรณ์สำหรับให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในสถานีฐาน พื้นที่กรุงเทพมหานคร ผู้จัดเส้นทางจะต้องจัดเส้นทางให้เหมาะสม ในขณะที่ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขทางด้านเวลา ซึ่งหน่วยงานมีพนักงานประจำแต่ละเขตรับผิดชอบอยู่จำนวนหนึ่ง เพื่อทราบถึงขั้นตอนการทำงาน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการจริง ภายใต้พื้นที่แบ่งออกเป็น 4 พื้นที่ โดยแต่ละพื้นที่จะรับผิดชอบเขตที่บริษัทฯ กำหนด ได้แก่

1. พื้นที่ลาดพร้าว
2. พื้นที่แจ้งวัฒนะ
3. พื้นที่ทวีวัฒนา
4. พื้นที่บางพลี

ซึ่งรับผิดชอบงานซ่อมบำรุง ด้วยวิธีเข้าแก้ไขตรวจสอบอุปกรณ์ที่สถานีฐานแต่ละจุด ภายใต้พื้นที่ตัวเองรับผิดชอบอยู่ และจะมีลักษณะอาการเสียของอุปกรณ์เป็นเงื่อนไขหลักของลำดับการซ่อมบำรุง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทางเข้าสถานีฐาน บริษัทจะใช้พนักงานซ่อมบำรุงและรถที่มีอยู่ของโซนที่รับผิดชอบก่อนในเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมง หากมีความจำเป็นจึงจะพิจารณาอนุญาตให้มีการทำงานนอกเวลาหรือขอความช่วยเหลือจากโซนข้างเคียงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าโซนที่รับผิดชอบ โดยที่เส้นทางเดินทางเข้าซ่อมบำรุงจะเริ่มจากศูนย์รับเรื่องร้องเรียนหลักของแต่ละโซนเสมอและรถที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดของบริษัทเป็นประเภทและยี่ห้อเดียวกันมีอัตราค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางเท่ากัน

ทั้งนี้ บริษัทมีการจัดฝึกอบรมและฝึกปฏิบัติงานแต่ละงานก่อนเข้าปฏิบัติงานจริง ทำให้พนักงานทุกคนมีความรู้ ความเชี่ยวชาญในการทำงานอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน การปฏิบัติงานซ่อมบำรุงในแต่ละสถานีฐานจึงใช้เวลาใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1.6.1 ศึกษาทฤษฎีและความรู้พื้นฐานทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ Local Search โดยมีกลไกการปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH)

1.6.2 ศึกษาทฤษฎีและความรู้พื้นฐานทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงาน (Traveling Salesman Problem)

1.6.3 ศึกษาการวิธีการประยุกต์การปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH)

1.6.4 ศึกษาผลกระทบจากวิธีการประยุกต์การปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH)

1.6.5 ศึกษาแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดจากการประยุกต์การปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH)

1.6.6 พัฒนาการวิธีการปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH)

1.6.7 สรุปผลการทำงานของวิธีการปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH) เปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม

1.6.8 จัดทำเอกสารประกอบวิทยานิพนธ์



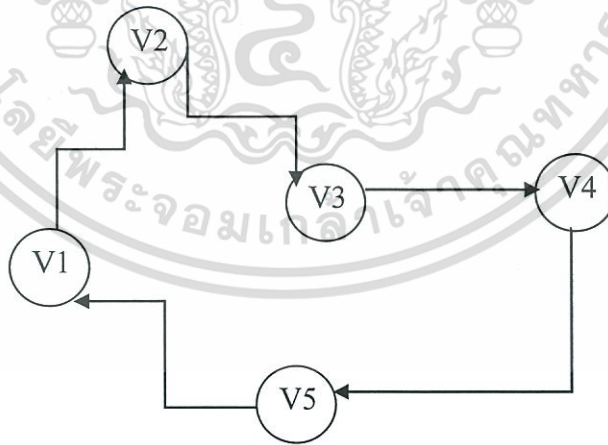
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem; TSP)

ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem) ซึ่งเป็นปัญหาที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และปัญหา TSP ได้รับการพิสูจน์ทางทฤษฎีแล้วว่าเป็นปัญหาเอ็นพี-สมบูรณ์ (NP-complete) หรือเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนในการหาผลเฉลย มีการตัดสินใจหาเส้นทางการเดินทางเมื่อมีเมืองที่ต้องเดินทางไปจำนวน  $N$  เมือง โดยเดินทางจากเมืองใดเมืองหนึ่งในจำนวน  $N$  เมือง โดยเส้นทางการเดินทางนั้น ๆ จะต้องเดินทางผ่านเมืองทุกเมืองใน  $N$  และกลับมาที่เมืองที่ทำการเริ่มต้นในการเดินทางเหมือนการเดินทางรอบ โดยมีเงื่อนไขห้ามกลับไปยังเมืองเดิมที่เคยไป ต้องมีระยะทางรวมของการเดินทางน้อยที่สุด หรือ อาจต้องมีเวลารวมของการเดินทางน้อยที่สุด ซึ่งหากจำนวนเมืองที่น้อย การค้นพบเส้นทางที่สั้นที่สุดอาจใช้ระยะเวลาหรือการหาคำตอบที่ใช้เวลาไม่นาน แต่ถ้าหากปัญหาเป็นระดับใหญ่มีจำนวนเมืองที่ต้องเดินทางเป็นจำนวนมาก โอกาสที่จะได้เส้นทางการเดินทางที่ดีที่สุดอาจใช้ระยะเวลานาน เช่น พนักงานเดินทางจำเป็นต้องเดินส่งสินค้าเป็นจำนวน 5 เมือง โดยเริ่มต้นจากเมืองที่ 1 จะต้องเดินไปยังครบทุกเมืองโดยที่ไม่ซ้ำเมืองเดิมแล้วกลับมายังเมื่อเริ่มต้น โดยใช้ระยะทางที่สั้นที่สุด หรือ ใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุด โดยทั่วไปลักษณะของปัญหาจะแสดงในรูปแบบของทิศทางการเดินทางไปยังลูกค้า ณ จุดต่างๆ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem)

โครงสร้างของรูปแบบปัญหาแทนด้วย  $G = (V, A)$  โดยที่  $V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$  แทนเซตของจุดต่อ (Nodes)  $v_1$  แทนคลังสินค้า และ  $v$  อื่นๆ แทนตำแหน่งของลูกค้าแต่ละราย และ  $A$  แทนเส้นเชื่อมระหว่างคลังสินค้าไปยังลูกค้าแต่ที่จุด และระหว่างลูกค้า  $v_i$  ไปยังลูกค้า  $v_j$  โดยที่  $i \neq j$  เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นเป็นประโยชน์ต่อการค้าไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเป็นรูปแบบหนึ่งของวิธีในการดำเนินการแก้ปัญหาการขนส่ง แสดงอยู่ในรูปแบบเมตริกเรียกว่า เมตริกระยะทาง (Distance Matrix) มีลักษณะเป็นกราฟ ซึ่งมีระยะทางการเดินทางผ่านจุด  $i$  ไป  $j$  สามารถเขียนในรูป  $d(i,j)$  ประกอบด้วยจุดต่อ (Node) หรือจุดยอด (Vertices) และ ส่วนโค้ง (Arc) หรือเส้นเชื่อม (Edges) มีรูปแบบการเดินทางเป็นการหาลำดับของการเดินทางไปยังเมืองต่างๆ ทุกเมืองในเส้นทางไปเยี่ยมแต่ละเมืองเพียงครั้งเดียว คือ เดินทางผ่านจุดต่อหรือจุดยอดอย่างน้อย 1 ครั้งและกลับมาจุดเริ่มต้น โดยเรียกว่าวงรอบฮามิลโทเนียน (Hamiltonian Cycle, HAMC) เส้นทางเดินที่ได้เราจะเรียกว่าทัวร์ (Tour) แต่ถ้าเดินทางผ่านไม่ครบทุกจุดต่อหรือจุดยอด และกลับมาจุดเริ่มต้น เรียกว่าทัวร์ย่อย (Subtour) ถ้าการเดินทางผ่านทุกจุดต่อหรือจุดยอดอย่างน้อย 1 ครั้งแต่ไม่กลับมาจุดเริ่มต้นจะเรียกว่าเส้นทางฮามิลโทเนียน (Hamiltonian Path, HAMP) เมื่อขนาดของจำนวนเมืองเพิ่มมากขึ้น ทำให้ลำดับการเดินทางไปยังเมืองต่างๆ ที่เป็นไปได้ก็มีจำนวนมากขึ้น ซึ่งเป็นการเติบโตแบบเอ็กโพเนนเชียล (Exponential Time)

สามารถนิยามประเภทของปัญหาได้ 2 ประเภท ตามรูปแบบความสัมพันธ์ระยะทางระหว่างคู่ตำแหน่ง โดยให้  $C_{ij}$  เป็นระยะทางระหว่างตำแหน่ง  $i$  และ  $j$  ได้ ดังนี้

1. แบบยอมรับอสมการอิงรูปสามเหลี่ยม (Satisfied Triangle Inequality) ระยะทางระหว่างทุกคู่ตำแหน่งของ  $i, j$  และ  $k$  มีความสัมพันธ์

$$C_{ik} \geq C_{ij} + C_{jk}$$

2. แบบไม่ยอมรับอสมการอิงรูปสามเหลี่ยม (Non-Satisfied Triangle Inequality) ระยะทางระหว่างตำแหน่งอย่างน้อย 1 ตำแหน่งของ  $i, j$  และ  $k$  มีความสัมพันธ์

$$C_{ik} < C_{ij} + C_{jk}$$

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย มีรูปแบบปัญหา 2 ลักษณะ คือ ปัญหาที่ระยะทางไปและกลับเท่ากันจะถูกเรียกว่า ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบสมมาตร (Symmetric Traveling Salesman Problem, STSP) และปัญหาที่ระยะทางไปและกลับไม่เท่ากันจะถูกเรียกว่า ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบอสมมาตร (Asymmetric Traveling Salesman Problem, ATSP)

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Algorithms) เป็นการประเมินเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเส้นทาง คือ จำนวน  $(n-1)!$  แต่ปัญหาสมมาตรจะเท่ากับ  $(n-1)!/2$  โดย  $n$  คือ จำนวนเมืองที่ต้องเดินทางไป พบว่าวิธีนี้มีความยุ่งยากซับซ้อน ไม่เหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากต้องใช้เวลาในการคำนวณเป็นเวลานานและใช้หน่วยความจำมาก ดังนั้นวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ วิธีการหาคำตอบใกล้เคียง ไม่ว่าการันตีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Near Optimal Solution) เนื่องจากมีความรวดเร็วในการคำนวณและลดความยุ่งยากซับซ้อนได้รวมถึงสามารถใช้แก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ ส่วนมากจะใช้วิธีการแก้ปัญหาแบบแตกกิ่งและมีขอบเขต (Branch and Bound) ในการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่มีจุดหมายปลายทางไม่เกิน 40 - 60 เมือง

วิธีการแก้ปัญหาแบบแตกกิ่งและมีขอบเขตเป็นวิธีพื้นฐานในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) วิธีนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานของการสังเกตว่า คำตอบของค่าตัวแปรตัดสินใจนั้นมีลักษณะเป็นแผนภูมิต้นไม้ ซึ่งวิธีนี้ไม่ได้สร้างค่าตัวแปรทั้งหมดในทุกๆ ทางเลือก แต่จะสร้างค่าตัวแปรในลักษณะเป็นลำดับขั้นของการตัดสินใจ ทั้งนี้วิธีนี้จะสร้างค่าตัวแปร (Node) ที่มีความเป็นไปได้จะนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุดในทุกๆ ลำดับขั้นของการตัดสินใจ ซึ่งจะกำหนดว่าค่าของตัวแปรใดควรจะถูกละทิ้งในการสร้างค่าของตัวแปรรุ่นลูก โดยเปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Bounding Function) กับค่าของคำตอบที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขซึ่งมีค่าที่ดีที่สุดขณะนั้น (Incumbent Solution) วิธีนี้จะช่วยลดขนาดแผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้ได้เป็นอย่างดี

วิธีการสร้างฮิวริสติก เป็นวิธีที่จะทำการหาคำตอบอย่างเป็นขั้นตอน เป็นการอาศัยข้อมูลของปัญหาในการสร้างขั้นตอนการหาคำตอบ ซึ่งวิธีนี้จะให้คำตอบเมื่อขั้นตอนทั้งหมดถูกกระทำเสร็จสิ้นแล้ว

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย มีรูปแบบปัญหา 2 ลักษณะ คือ ปัญหาที่ระยะทางไปและกลับเท่ากันจะถูกเรียกว่า ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบสมมาตร (Symmetric Traveling Salesman Problem, STSP) และปัญหาที่ระยะทางไปและกลับไม่เท่ากันจะถูกเรียกว่า ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบอสมมาตร (Asymmetric Traveling Salesman Problem, ATSP)

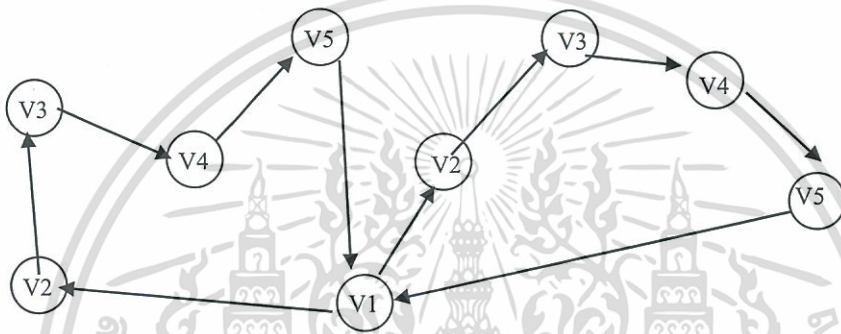
Tan et al. (2001) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่งสินค้าให้ลูกค้า โดยทราบปริมาณความต้องการของลูกค้า และมีข้อจำกัดของเวลาในการจัดส่งสามารถจัดส่งได้และ ข้อจำกัดเกี่ยวกับความสามารถของรถ ในการศึกษาได้สร้างฮิวริสติกโดยการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม เพื่อหาคำตอบของปัญหาที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด

จุฑาทิพย์ พุฒพันธ์ (2557) ศึกษาอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดการเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายของแบบไม่สมมาตร การศึกษาวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีการ Deterministic Algorithm, Stochastic Algorithm และ Local Search Algorithm แบบ SWAP และ INSERT มาประกอบจัดการเส้นทางเพื่อใช้ในการปรับปรุงผลลัพธ์ของระยะทางรวม ผลจากการคำนวณแสดงให้เห็นถึงการลดลงของระยะทางรวมของเส้นทางการเดินทางในแต่ละขั้นตอน พร้อมกับพิจารณาเปรียบเทียบระยะทางรวมของวิธีการในงานวิจัยในแต่ละขั้นตอน

นอกจากจะให้ความสนใจในการพัฒนาแนวทางการแก้ปัญหาที่มีประสิทธิภาพแล้ว นักวิจัยบางท่านยังให้ความสนใจในการแก้ปัญหาซึ่งมีลักษณะเฉพาะออกไป เช่น (Heuristics) Kara and Bektas (2005) ได้ทำการศึกษาในการขยายผลจากปัญหาการเดินทางพร้อมกันของพนักงานขายจำนวนหลายคน (Multiple Traveling Salesmen Problem: MTSP) ตามแบบดั้งเดิม โดยการกำหนดจำนวนตำแหน่งขั้นต่ำซึ่งผู้เดินทางจะต้องแวะเยี่ยมเป็นสภาวะข้างเคียงอีกหนึ่งสภาวะ รวมทั้งพิจารณากรณีที่มีจำนวนคลังเดี่ยวและหลายคลัง (Single and Multi-Depots) และนำเสนอการสร้างไอแอลพี (ILP, Integer Linear Programming) ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Program) ของทั้งกรณีคลังเดียวและกรณีหลายคลัง Carter and Ragsdale (2006) ก็ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการเดินทางพร้อมกันของพนักงานขายจำนวนหลายคน (MTSP) นักวิจัยทั้งสองได้พัฒนาวิธีการแก้ปัญหาแบบใหม่โดยประยุกต์ใช้วิธีทางจีเอ (GA, Genetic Algorithm)

การจัดเส้นทางของพนักงานขายแบบหลายเส้นทางเป็นรูปแบบปัญหาที่พัฒนาจากการเดินทางของพนักงานขาย 1 คน เป็นปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย M คน เป็นปัญหาในการจัดลำดับการส่งสินค้าโดยใช้เส้นทางหลายเส้นทางให้กับลูกค้าต่างๆ โดยออกจากศูนย์กลางแห่งเดียวโดยไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาและความจุของรถดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขายหลายคน (Multiple - Traveling Salesman Problem; M - TSP)

## 2.2 วิธีการที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา

### 2.2.1. วิธีแม่นยำ (Exact Method)

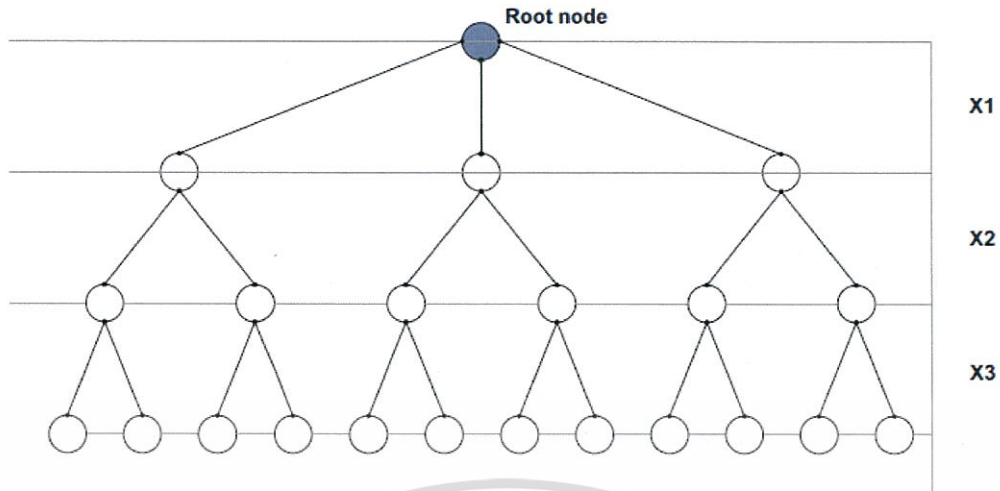
เป็นวิธีแก้ปัญหาโดยหาแนวทางที่มีโอกาสสามารถหาคำตอบได้สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางจนกระทั่งค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด เช่น วิธี Brute Force ซึ่งเป็นการหาคำตอบที่เป็นไปได้ของปัญหาและเลือกผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แต่วิธีการนี้ไม่เหมาะกับปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขายที่มีขนาดใหญ่ จะต้องใช้เวลาในการคำนวณนานเพื่อให้ได้คำตอบทั้งหมด หรือไม่ขัดแย้งกับทุกเงื่อนไขที่กำหนด และจะใช้เวลาเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเงื่อนไขหรือตัวแปร วิธีการขยายและจำกัดเขต (Branch and Bound) เป็นวิธีที่นิยมใช้ โดยหลักการของการแก้ปัญหา คือ เริ่มต้นด้วยการหาเส้นทางเส้นหนึ่ง แล้วพยายามหาเส้นทางอื่นขึ้นมาเปรียบเทียบ ถ้าได้เส้นทางใหม่ที่ดีกว่าจะนำเส้นทางที่ได้ใหม่นี้เป็นเส้นทางหลักแทนเส้นทางเดิมในการเปรียบเทียบกับเส้นทางอื่นต่อไป แต่ถ้าเส้นทางใหม่เมื่อวัดแล้วมีเพียงบางส่วนที่ยาวกว่าเส้นทางหลัก จะถูกยกเลิกเส้นทางนั้นๆ และทำในรูปแบบนี้ไปจนกระทั่งได้เส้นทางที่ดีที่สุด วิธีการแตกกิ่งและตัดส่วน (Branch and Cut) วิธีการกำหนดการเชิงพลวัต (Dynamic Programming) และขั้นตอนวิธีการตัดระนาบ (Cutting Plane Algorithm) เป็นต้น Agarwal *et al.* (1989) ได้นำเสนอวิธีการแบ่งส่วนของเซตผลเฉลย (Set Partitioning) บนพื้นฐานของวิธีแม่นยำเพื่อแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ส่วนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้มีการอธิบายในรายละเอียดโดย Christofides *et al.* (1985) และ Laporte (1992) ข้อด้อยของวิธีแมนตรง คือ เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น วิธีการอาจไม่สามารถรับประกันการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) ได้ เมื่อจำนวนลูกค้าเพิ่มมากขึ้น (มากกว่า 100 ปม) รวมทั้งใช้เวลานานในการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรโดยใช้เหตุ

วิธีการหาค่าตอบที่ดีที่สุด (Exact Algorithms) เป็นการประเมินเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเส้นทาง คือ จำนวน  $(n-1)!$  แต่ปัญหาสมมาตรจะเท่ากับ  $(n-1)!/2$  โดย  $n$  คือ จำนวนเมืองที่ต้องเดินทางไป พบว่าวิธีนี้มีความยุ่งยากซับซ้อน ไม่เหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากต้องใช้เวลาในการคำนวณเป็นเวลานานและใช้หน่วยความจำมาก ดังนั้นวิธีการที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ วิธีการหาค่าตอบใกล้เคียงค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด (Near Optimal Solution) เนื่องจากมีความรวดเร็วในการคำนวณและลดความยุ่งยากซับซ้อนได้รวมถึงสามารถใช้แก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ วิธีที่ได้รับความนิยมมีหลายวิธี เช่น วิธีซิมเพล็กซ์ วิธีแตกกิ่ง วิธีกำเนิดศตมภ์ เป็นต้น

2.2.1.1. วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) เป็นวิธีแก้ปัญหาเชิงเส้น (Linear Programming Problem : LP) ด้วยหลักการทางพีชคณิตเพื่อหาผลเฉลยของปัญหา วิธีซิมเพล็กซ์จะเริ่มต้นด้วยปรับรูปแบบของปัญหาให้เข้าเป็นรูปแบบทาบโบลย์ จากนั้นทำการวนซ้ำจนกระทั่งได้ค่าที่ดีที่สุด ต้องเป็นเครื่องหมายเท่ากับเท่านั้น และต้องเป็นรูปแบบปัญหาการหาค่าน้อยที่สุด (Minimization Problem) หากเป็นปัญหาการหาค่ามากที่สุด (Maximization Problem) จำเป็นต้องเปลี่ยนรูปแบบเป็นปัญหาการหาค่าน้อยที่สุดตามรูปแบบของทาบโบลย์เช่นกัน

2.2.1.2. วิธีแตกกิ่ง (Branch & Bound) คือ วิธีการแก้ปัญหากำหนดเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming – IP) วิธีการแก้ปัญหาแบบแตกกิ่งและมีขอบเขต (Branch and Bound) ในการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่มีจุดหมายปลายทางไม่เกิน 40 - 60 เมือง และมีขอบเขตเป็นวิธีพื้นฐานในการแก้ปัญหาการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete) วิธีนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานของการสังเกตว่า ค่าตอบของค่าตัวแปรตัดสินใจนั้นมีลักษณะเป็นแผนภูมิต้นไม้ ซึ่งวิธีนี้ไม่ได้สร้างค่าตัวแปรทั้งหมดในทุกๆ ทางเลือก แต่จะสร้างค่าตัวแปรในลักษณะเป็นลำดับขั้นของการตัดสินใจ ทั้งนี้วิธีจะสร้างค่าตัวแปร (Node) ที่มีความเป็นไปได้จะนำไปสู่ค่าตอบที่ดีที่สุดในทุกๆ ลำดับขั้นของการตัดสินใจ ซึ่งจะกำหนดว่าค่าของตัวแปรใดควรจะถูกเลือกในการสร้างค่าของตัวแปรรุ่นลูก โดยเปรียบเทียบค่าขีดจำกัดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Bounding Function) กับค่าของค่าตอบที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขซึ่งมีค่าที่ดีที่สุดขณะนั้น (Incumbent Solution) วิธีนี้จะช่วยลดขนาดแผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้ได้เป็นอย่างดี ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้

2.2.1.3. วิธีกำเนิดสดมภ์ (column Generation) เป็นเทคนิคเพื่อหาคำตอบในปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดขนาดใหญ่ (Large-Scale Optimization Problem) โดยวิธีนี้จะเริ่มต้นด้วยการสร้างเซตของแบบจำลองซึ่งเป็นสับเซตของแบบจำลองที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Master Problem : MP) ของปัญหา เรียกว่า Restricted Master Problem : RMP จากนั้นหาคำตอบของ RMP เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Objective Function Value) เมื่อค่ากำหนดของสมการเงื่อนไข (Right Hand Side) เปลี่ยนแปลง 1 หน่วย (Shadow Price) จากนั้นนำมาหาค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced cost)

#### 2.2.2. วิธีฮิวริสติก (Heuristic Method)

เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีพอเพียง ภายในเวลาจำกัด หรือ “Good enough and fast enough solution” ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับปัญหาเอ็นพี – สมบูรณ์ (NP-Hard) วิธีฮิวริสติกถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของแต่ละปัญหาเท่านั้น ดังนั้น วิธีฮิวริสติกที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาหนึ่งจึงไม่สามารถนำไปใช้หาผลเฉลยของอีกปัญหาหนึ่งได้ นอกจากนี้ในบางปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก การสร้างตัวแปรและเงื่อนไขในตัดสินใจให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) อาจกระทำได้ยาก จึงไม่สามารถใช้วิธีแมนตรง หรือใช้เทคนิคบางอย่างจากวิธีกำหนดการเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ได้

วิธีฮิวริสติกจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจที่มีลักษณะต่างๆ ดังนี้ ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ หรือไม่สามารถเขียนขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ชัดเจนได้ เช่น ปัญหาไม่สามารถเขียนในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมได้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นไม่ครอบคลุมผลเฉลยที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด หรือปัญหาที่ไม่มีขั้นตอนวิธีการใดๆ สามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ การตัดสินใจที่มีตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมากถึงแม้บางปัญหาสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ขั้นตอนวิธีการที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถหาผลเฉลยของปัญหาได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งมักพบโดยทั่วไปในปัญหาของภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในทางปฏิบัตินี้ทิววางแผนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจไม่ต้องการผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ต้องการผลเฉลยที่ดีเพียงพอที่สามารถหาได้ภายในเวลาที่กำหนด และด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนักหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า นักวางแผนต้องการค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไข ทั้งนี้โดยทั่วไปนักวางแผนมักมีผลเฉลย หรือทางเลือกอยู่ในใจอยู่แล้ว แต่ต้องการเพียงเครื่องมือหรือขั้นตอนวิธีการที่จะสนับสนุนทางเลือกนั้นๆ หรือใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจนั่นเอง

ในกรณีปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขายจัดเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Optimization) ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ด้วยรูปแบบที่ยุ่งยากซับซ้อน การประยุกต์ใช้วิธีแมนตรง หรือใช้เทคนิค LP อาจกระทำได้ยาก หรือไม่สามารกระทำได้เลย เมื่อจำนวนตัวแปรตัดสินใจเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว จนบางครั้งอาจไม่สามารถหาขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้ วิธีฮิวริสติกจึงน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับปัญหา การจัดเส้นทางของพนักงานขายในขณะนี้ โดยวิธีฮิวริสติกที่นิยมนำมาใช้แก้ปัญหา ประกอบด้วย

2.2.2.1 วิธีการสร้างผลเฉลย (Constructive Method) เป็นวิธีการที่ไม่สามารถรับประกันการหาค่าเหมาะที่สุดได้ วิธีการนี้อาศัยข้อมูลของปัญหาในการสร้างขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลย ตัวอย่างของวิธีการนี้ที่ได้รับความนิยม และได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ วิธีการเซฟวิงหรือการแทรก (Savings or Insertion Procedure) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Clarke and Wright (1964) นำเสนออัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) ของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียวไปยังลูกค้าต่างๆ โดยพิจารณาหาเส้นทางเดินรถที่ละขั้นตอนหรือเลือกแทรกลูกค้าเข้ามาในเส้นทางเดิมที่มีอยู่ โดยที่ความต้องการรวมต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง การแทรกจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ที่เหมาะสมจากระยะทางที่ประหยัดที่สุด (Saving) ของแต่ละคู่ของลูกค้า โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างค่าตอบเริ่มต้นโดยกำหนดให้เส้นทางหนึ่งมีลูกค้าเพียง 1 รายเท่านั้น ดังนั้นจะได้จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวนลูกค้า

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าประหยัด (Saving) ซึ่งแทนด้วย  $S_{ij}$  ระหว่างลูกค้า 2 ราย คือลูกค้า  $i$  และลูกค้า  $j$

$$S_{ij} = c_{ai} + c_{jd} - c_{ij}$$

โดยที่  $C_{ij}$  เป็นค่าใช้จ่ายหรือระยะทางระหว่างลูกค้า  $i$  และ  $d$  แทนคลังสินค้า ดังนั้น  $C_{ai}$  หมายถึงค่าใช้จ่ายหรือระยะทางระหว่างคลังสินค้าและลูกค้า  $i$

ขั้นตอนที่ 3 จัดลำดับค่าประหยัดจากค่ามากไปน้อยและสร้างเส้นทางจาก  $i$  ไป  $j$  โดยเลือกจากเส้นทางที่มีค่าประหยัดมากที่สุดลงมาโดยการกำหนดให้ลูกค้ารวมเข้าไปอยู่ในเส้นทางใดๆ แล้วเกินความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะคันดังกล่าวให้เดินทางกลับคลังสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารขั้นตอนที่ 4 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 โดยเลือกลูกค้าถัดไปที่มีความประหยัดมากที่สุดจนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 หยุดการทำงานเมื่อพบว่าค่าความประหยัดถูกพิจารณาแล้วทั้งหมด

พงศ์พัฒน์ โตตระกุล (2003) ได้เสนอวิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเวชภัณฑ์ในระบบการกระจายเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาล ซึ่งจัดเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ระบบเป็นพลวัต มีลักษณะของความต้องการเวชภัณฑ์ที่ไม่แน่นอนและมีกรอบระยะเวลาตอบสนองของเวชภัณฑ์ กระบวนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอแบ่งออกเป็น 2 ระยะ โดยระยะแรกจะสร้างเส้นทางการขนส่งขั้นต้นด้วยกรรมวิธี saving algorithm และปรับปรุงคุณภาพของเส้นทางการขนส่งด้วยกรรมวิธี 2-OPT algorithm และ anti-intersection algorithm ในระยะที่สอง

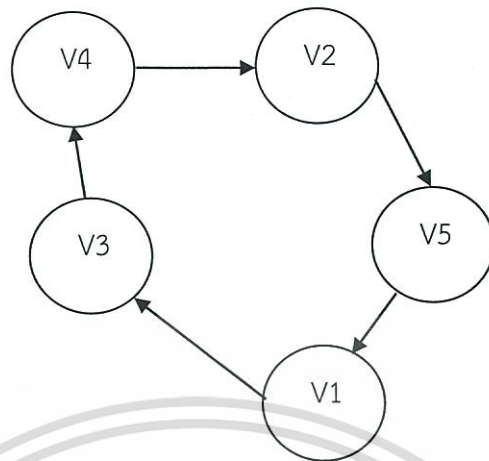
2.2.2.2 วิธี Nearest Neighbor (NN) และ Repetitive Nearest Neighbor Algorithms เป็นวิธีที่นิยมใช้มากสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย โดยหลักการของวิธีนี้คือ เลือกเดินทางที่สั้นที่สุดก่อน และทำในรูปแบบนี้ไปจนครบทุกเมือง จากนั้นเดินทางกลับมายังเมืองเริ่มต้น ทั้งนี้ อาจพิจารณาจากระยะทางหรือระยะเวลาในการเดินทางได้ตามความเหมาะสม ดังรูปที่ 2.4

Route 1	From	To	Distance
	1	2	8
	1	3	3
	1	4	4
	1	5	7

Route 2	From	To	Distance
	3	1	5
	3	2	6
	3	4	4
	3	5	10

Route 3	From	To	Distance
	4	1	9
	4	2	3
	4	3	7
	4	5	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การจัดเส้นทางด้วยวิธี Nearest Neighbor Heuristics

มีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจุดเริ่มต้นของเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 2 เลือกจุดที่อยู่ใกล้กับจุดปัจจุบันหรือจุดสุดท้ายมากที่สุดและต้องเป็นจุดที่ไม่เคย

ผ่านมาก่อน

ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 จนครบทุกจุด

ขั้นตอนที่ 4 นำจุดมาต่อกันเป็นเส้นทาง จากนั้นหาระยะทางระหว่างจุดและระยะทางรวม

ทั้งหมด

ข้อดีของวิธี Nearest Neighbor Heuristics คือ ไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อนจนเกินไป แต่มีข้อเสีย คือ ไม่เหมาะสมกับปัญหาที่มีระยะทางห่างกันมากๆ

จากข้อดีของการใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristics ในการแก้ปัญหา นั้น ได้ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ไขปัญหาดังจะเห็นได้จากงานวิจัยต่างๆ ดังนี้

ธราพงศ์ แซ่ตั้ง (2553) ศึกษาเพื่อหาวิธีในการแก้ไขปัญหการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าที่ขาดมาตรฐานและมีระยะทางที่ไม่แน่นอนจากการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าด้วยการคำนวณด้วยมือ โดยการนำเสนอวิธีการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามรูปแบบปัญหาการเดินทางของเซลล์แมน วิธี Sweeping and Teardrop method วิธี Nearest Neighbor Heuristics และ วิธี Pairwise Interchange โดยคำนึงถึงประเด็นด้านระยะทางที่สั้นที่สุด พบว่าการใช้วิธีโมเดลทางคณิตศาสตร์ตามรูปแบบปัญหาการเดินทางของเซลล์แมนจะให้ผลในเรื่องระยะทางในการเดินทางขนส่งสินค้าที่สั้นที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รินฤดี อัครมณี (2554) พัฒนาการจัดเส้นทางรถเดินรถให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง โดยการจัดเส้นทางจากกองคลังพัสดุกลาง (รังสิต) ไปยังคลังพัสดุต่างๆ 121 คลัง โดยนำวิธีฮิวริสติกส์มาตรฐานของวิธี Nearest Neighbor Heuristic (NNH) และวิธี Saving Algorithm (SA) พบว่าแบบที่ 4 คือ mSA3 ทำให้ต้นทุนการขนส่งลดลงจากเดิม

ปฏิพัทธ์ หงส์สุวรรณ และคณะ (2556) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่ม จังหวัดสมุทรสงคราม ให้สั้นที่สุด และต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด โดยคำนึงถึงความจุของปริมาณการบรรทุกของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและจำนวนเส้นทางของการขนส่ง ภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่เท่ากัน โดยวิธีปัญหาเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) จัดการปัญหาเส้นทางขนส่งน้ำดื่ม อำเภอบางคนที และอำเภอบ้านแหลม จังหวัดสมุทรสงคราม จัดส่ง 15 ตำแหน่ง ลูกค้า 28 ราย โดยการทดลองใช้วิธีการแก้ปัญหาวิธีฮิวริสติกส์แบบการหาคำตอบที่ใกล้เคียงที่สุด (Nearest Neighbor Heuristics), วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีการคำนวณเส้นทางด้วยโปรแกรมเชิงเส้น (LINGO) ช่วยคำนวณหาเส้นทางแก้ปัญหาเส้นทางเดินรถขนส่งน้ำดื่ม

2.2.2.3 วิธี Greedy Heuristic หรือเรียกว่า ขั้นตอนวิธีประเภทละโมภ ในขณะใดก็ตามเรา จะสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาโดยการเลือกเอาคำตอบที่ดีที่สุด ณ สถานะนั้นออกมาก่อน Korhan K. and M. Fatih T. (2014) นำเสนอวิธี greedy algorithm สำหรับการแก้ปัญหาพนักงานขายที่เดินทางแบบมีกรอบเวลา (TSPTW) เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางทั้งหมดหรือการจัดลำดับงาน การแบ่งแยกอย่างเป็นอิสระ แก้ปัญหาพนักงานขายที่เดินทางแบบมีกรอบเวลาที่มีการใช้งานในทางปฏิบัติหลายในการผลิตทั้งโลจิสติก และการจัดตารางเวลาการดำเนินงาน อัลกอริทึมที่นำเสนอโดยทั่วไปอาศัย Greedy algorithm โดยวิธีการสร้างจำนวนที่เพิ่มขึ้นของการแก้ปัญหาที่อยู่ใกล้เคียงผ่านการใช้ความคิดของการเปลี่ยนแปลงในการค้นหาตัวแปร (VNS)

2.2.2.4 ขั้นตอนวิธีการ 2 - เฟส (Two - Phase Algorithm) เป็นวิธีการที่แบ่งปัญหา VRP ออกเป็น 2 ส่วน คือ การแบ่งกลุ่มลูกค้าเข้าสู่เส้นทางที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไข และการจัดลำดับเส้นทางเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ขั้นตอนวิธีการนี้ถูกแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

2.2.2.4.1 วิธีการแบ่งส่วนก่อนแล้วจึงจัดเส้นทาง (Cluster-First Route-Second Procedures) โดยเริ่มต้นจากการแบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้ความต้องการสินค้าของลูกค้าเป็นตัวกำหนดโซนในการกระจายสินค้า จากนั้นจึงจัดเส้นทางที่เหมาะสมให้กับแต่ละส่วนที่ถูกแบ่งไว้แล้ว และจัดเรียงลำดับพื้นที่ที่จะพิจารณาจากการคำนวณ

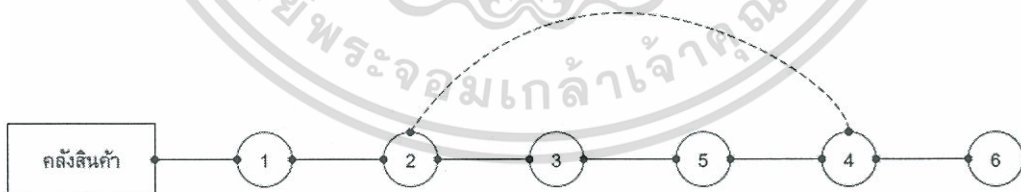
2.2.2.4.2 วิธีการจัดเส้นทางก่อนแล้วจึงแบ่งส่วน (Route-First Cluster-Second Procedures) เป็นการกำหนดเส้นทางในการเดินรถขนส่งก่อน แล้วจึงจัดลูกค้าเข้าสู่เส้นทางภายใต้เงื่อนไขของปัญหา วิธีการนี้จะหาเส้นทางก่อนแล้วจึงแบ่งเขต โดยขั้นแรกจะหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรถคันเดียวที่สามารถผ่านได้ทุกจุดในโครงข่าย เส้นทางเดินรถเดี่ยวๆ เรียกว่า Giant Tour

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากรถคันเดียวไม่สามารถเดินทางได้ครบทุกจุดใน Giant Tour ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ได้ และจะแบ่ง Giant Tour ออกเป็นเส้นทางขนส่งย่อยๆ ซึ่งแต่ละเส้นทางย่อยจะใช้รถ 1 คัน เป็นขั้นตอนต่อไป

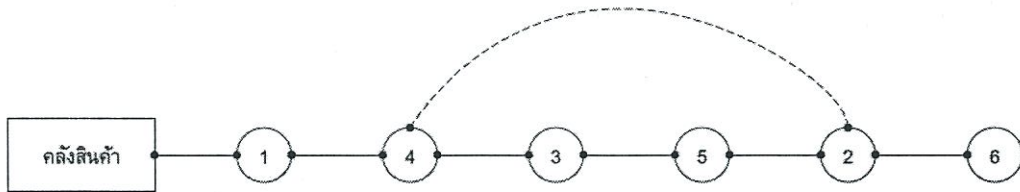
2.2.2.4.3 วิธีการปรับปรุงหรือสลับสับเปลี่ยน (Improvement or Exchange Procedure) เป็นเทคนิคการสลับสับเปลี่ยนปมบนเส้นทางแบบฮิวริสติก ซึ่งให้ผลเฉลยที่เข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ส่วนการปรับปรุงโดยวิธีอื่น ได้นำเสนอไว้โดย Potvin and Rousseau (1995) เรียกว่า “การสลับสับเปลี่ยนแบบออร์-ออฟท์ (Or - Opt Exchange) ซึ่งเป็นเทคนิคการสลับสับเปลี่ยนปมขนาด 1, 2 หรือ 3 ปม โดยการแทรกหรือตัดทิ้งไปจากเส้นทางเดิม หรือในเส้นทางอื่นๆ ที่เลือกพิจารณา วิธีการ 2 ออฟท์ เป็นการสลับสับเปลี่ยน 2 ปม ที่เกิดจาก 2 เส้นทางที่แตกต่างกันจากงานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าวิธีฮิวริสติกยังคงเป็นวิธีการที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหา VRP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ปัจจุบันปัญหา VRP จะถูกตัดแปลงเพิ่มเติมไปจากรูปแบบปัญหาดั้งเดิม ความซับซ้อนจึงมีมากขึ้น ในขณะเดียวกันวิธีการฮิวริสติกยังคงได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมตามไปด้วย ดังแสดงในงานวิจัยของ Paletta (2002) ได้นำเสนอวิธีการทางฮิวริสติกแบบใหม่ที่ง่าย และมีประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหา VRP แบบมีรถขนส่งเพียงคันเดียว หรือปัญหา TSP แบบมีช่วงเวลา นอกจากนี้ Thangiah, et al. (1996) ได้นำเสนอวิธีการฮิวริสติกแบบ 2-เฟส สำหรับแก้ปัญหา VRP แบบมีการขนส่งสินค้ากลับมายังคลังเดิม และมีกรอบเวลา (VRP with Backhauls and Time Windows) โดยเฟสแรก เริ่มจากการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Initial Solution) ตามขั้นตอนวิธีฮิวริสติกแบบมีการแทรกไปข้างหน้า (Push-Forward Insertion Heuristic) และเฟสที่ 2 ทำการปรับปรุงผลเฉลยโดยการสลับสับเปลี่ยน คู่อันดับ  $\lambda$  และการสลับสับเปลี่ยนแบบ 2 - ออฟท์ เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่ดีขึ้น ดังรูปที่ 2.5

ก่อนทำการสลับที่



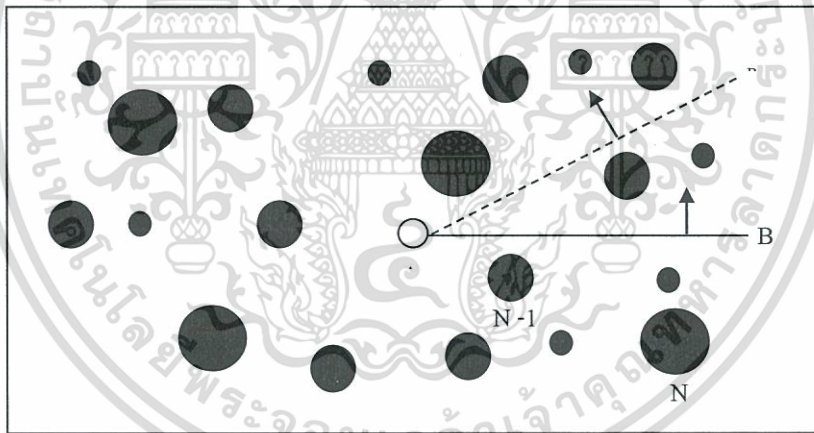
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังทำการสลับที่



รูปที่ 2.5 การสลับสับเปลี่ยน

2.2.2.5 วิธีกวาด (Sweep Method) Gillent and Miller (1974) ศึกษาวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและใช้เวลาในการแก้ปัญหาน้อยเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ โดยเส้นทางที่ใช้ในการเดินทางจะถูกกำหนดตามข้อจำกัดด้านความจุและเวลาของรถ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การจัดเส้นทางด้วยวิธี Sweep Method

มีขั้นตอนในการหาคำตอบ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 จากรูปที่ 2.6 เริ่มจากคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้า (Node A)

ขั้นตอนที่ 2 หมุนแกน AB ทวนเข็มนาฬิกาไปจนได้ความจุที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 3 ใช้วิธีแตกกิ่งค้นหาเส้นทางย่อย

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาเวลาในการเดินทาง ถ้าเวลาที่ใช้มีค่ามากกว่า T หมุนแกน AB กลับ

แล้วใช้เทคนิคการแตกกิ่งหาเส้นทางและระยะเวลาที่เหมาะสมอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 5 ถ้าระยะเวลาที่ใช้มีค่าน้อยกว่า  $T$  ให้เริ่มทำตามขั้นตอนที่ 2 อีกครั้ง โดยเป็นเส้นทางใหม่ต่อจากเส้นทางเดิม

ขั้นตอนที่ 6 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการหมุนแขน  $AB$  ทั้ง 2 ทิศทาง แล้วเลือกค่าที่น้อยกว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

ข้อเสียของ Sweep Method คือ หากคลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้าไม่อยู่จุดศูนย์กลางของพื้นที่จะทำให้เกิดเส้นทางย่อยที่มีรูปร่างและขนาดไม่สมดุล ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ได้คำนึงถึงข้อเท็จจริงของถนน

วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการตัดสินใจในแต่ละปัญหานั้นคือ วิธีฮิวริสติกที่ใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาหนึ่งอาจไม่สามารถหาผลเฉลยในปัญหาอื่น ๆ ได้ หรือแม้กระทั่งนำไปใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาเดิมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของปัญหาเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น การพัฒนาวิธีฮิวริสติกให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น และสามารถดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาใดๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งในหัวข้อถัดไปได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีการเมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีฮิวริสติก

### 2.2.3. วิธีเมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristic Method)

เป็นวิธีที่ได้จากการพัฒนาและดัดแปลงวิธีฮิวริสติกให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก ได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ผลเฉลยที่ได้อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุด หรือไม่สามารถรับประกันผลเฉลยที่ดีในทุกครั้งที่ทำการประมวลผลได้ แต่ผลเฉลยที่ได้เป็นที่ยอมรับ และค้นหาได้ภายในระยะเวลาอันเหมาะสม จึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในงานวิจัยทุกแขนง วิธีที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหา VRP อันประกอบด้วย

2.2.3.1. ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่ (Local Search) วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่มีอยู่หลายวิธีซึ่งมีความยุ่งยากแตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทของปัญหาที่จะแก้ไข เช่น การสลับตำแหน่ง (SWAP) และการสลับสองตำแหน่ง (2-opt) เป็นต้น ซึ่งวิธีการเหล่านี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาการจัดลำดับการผลิตด้วย ส่วนปัญหาการหาขนาดการผลิตก็สามารถนำหลักการเดียวกันนี้มาประยุกต์ใช้ได้ แต่อาจจะต้องมีการปรับรายละเอียดเล็กน้อย ในบางงานวิจัยยังได้พัฒนาการค้นหาคำตอบเฉพาะที่อีกหลายวิธี เช่น การสลับสามตำแหน่ง (3-opt), ลินและเคอร์นิงฮัน (Lin and Kernighan : LK), ไฮเปอร์ออปต์ (Hyper - opt)

2.2.3.2. ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing Algorithm) ในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจ เริ่มต้นครั้งแรกเมื่อประมาณ ค.ศ. 1980 ลักษณะเด่นของวิธีการนี้ คือ มีขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ง่าย และมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถหาผลเฉลยที่ดีได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว แนวคิดพื้นฐานของวิธี SA ได้ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกในวารสารวิชาการโดย Metropolis et al. (1953) ซึ่งเป็นการใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการควบคุมการเย็นตัวของวัสดุในอ่างความร้อน (Heat Bath) ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่าการอบอ่อน (Annealing) วัสดุจะถูกให้ความร้อนจนกระทั่งถึงจุดหลอมเหลว ต่อจากนั้นเมื่อไม่อาจร้อนใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาผ่านไปอุณหภูมิของวัสดุจะค่อยๆ ลดลง และทำให้วัสดุมีความแข็ง เมื่อเย็นตัวลง โครงสร้างคุณสมบัติของวัสดุที่เย็นตัวลงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการทำให้วัสดุนั้นเย็นตัวลง (Rate of Cooling)

SA มีลักษณะคล้ายกับวิธีการหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่ (Local Search) จุดอ่อนที่สำคัญของ SA คือ การได้ค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ (Local Optima) การแก้ปัญหาในขั้นตอนวิธีการโดยใช้การควบคุมอุณหภูมิที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมไดนามิก ซึ่งกฎของเทอร์โมไดนามิกกล่าวว่า ณ ที่ อุณหภูมิ  $t$  ความน่าจะเป็นในการยอมรับการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน (Energy Change or  $\Delta E$ ) มีค่าเท่ากับ

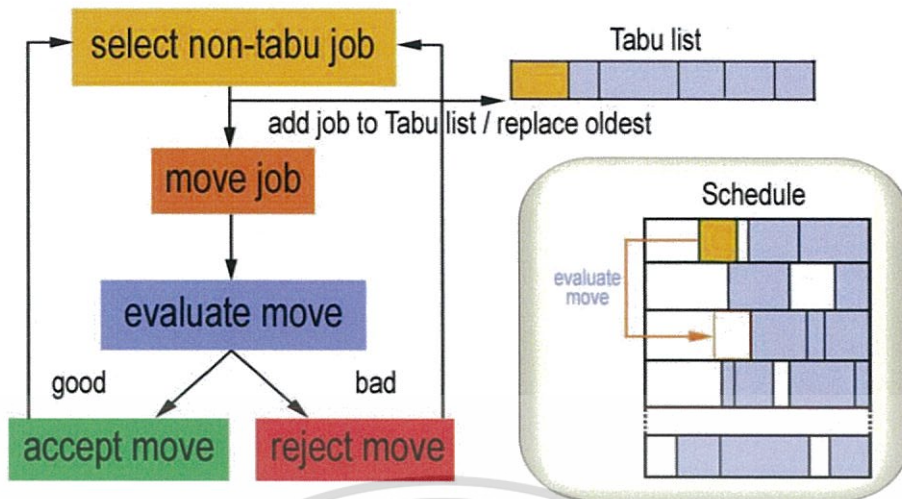
$$P_{\text{accept}} = \exp\left(\frac{-\Delta E}{k_B t}\right)$$

โดยที่  $k_B$  คือ ค่าคงที่โบลท์ซแมน (Boltzmann)

จากสมการถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นสถานะใหม่จะถูกเปลี่ยนแปลงด้วยความน่าจะเป็น  $P_{\text{accept}}$  ซึ่งจะถูกระงับตามจำนวนรอบของการกระทำซ้ำแต่ละค่าของอุณหภูมิ  $t$  จากนั้นอุณหภูมิจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งเข้าสู่สถานะคงที่

2.2.3.3. ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) วิธี TS เป็นวิธีที่ค่อนข้างได้รับความนิยมอย่างมาก เพราะมีโครงสร้างของขั้นตอนวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และจากผลการวิจัยจำนวนมากสรุปว่า วิธี TS มีประสิทธิภาพมากกว่า SA ข้อแตกต่างที่เด่นชัดระหว่าง 2 วิธีนี้ คือ วิธี TS แก้ปัญหาการยอมรับค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ โดยป้องกันไม่ให้เกิดซ้ำ (Pro-Active) แต่วิธี SA เป็นแก้ไขปัญหามือเมื่อเกิดขึ้นแล้ว (Post-Active)

ความหมายของคำว่าทาบู (Tabu หรือ Taboo) ในขั้นตอนวิธีการทางคอมพิวเตอร์นั้น หมายถึง การห้ามหรือป้องกันขั้นตอนวิธีการเข้าไปยังผลเฉลยข้างเคียงที่ไม่ต้องการ โดยแนวคิดสำคัญ คือ การเพิ่มความฉลาด ซึ่งใช้ความทรงจำของคอมพิวเตอร์มาเกี่ยวข้อง คอมพิวเตอร์จะเรียนรู้จากรอบการวนซ้ำที่ผ่านมา (Search History) ในการแนะนำ หรือบอกทิศทางของผลเฉลยที่ดีหรือดีที่สุดในรอบการกระทำซ้ำถัดไปข้างหน้า ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วิธีการค้นหาต้องห้าม

2.2.3.4. ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) กลวิธีนี้อาศัยหลักการและทฤษฎีจากการทำให้เกิดพันธุกรรมประชากร ในการสร้างขั้นตอนวิธีการที่เลียนแบบพฤติกรรมดังกล่าวโดยวิธีการจับคู่และการเกิดใหม่ของยีนส์เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด

2.2.3.5. ขั้นตอนวิธีการ GIDEON จัดอยู่ในกลุ่มของ GA สำหรับปัญหา VRPTW ที่มีเงื่อนไขของความสามารถในการบรรทุกสินค้า โดยใช้วิธีการในการแบ่งกลุ่มก่อนแล้วจึงจัดเส้นทาง ในกรณีนี้ GA ถูกประยุกต์ใช้ในเฟสของการแบ่งกลุ่ม เรียกว่า “การแบ่งกลุ่มแบบ GA” เป็นการแบ่งส่วนของปมออกเป็นส่วนๆ หรือแบ่งโดยมีศูนย์กลางอยู่ที่คลังสินค้า คล้ายกับ “ขั้นตอนวิธีการแบบกวาด (Sweep Algorithm)”

2.2.3.6. ขั้นตอนวิธีการฝูงมด (Ant Colony Algorithm) เป็นการจำลองพฤติกรรมในการหาอาหารของมด นำเสนอไว้โดย Dorigo et al. (1996) ซึ่งเป็นเมตาดิวริสติกสำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัดแบบยาก ที่เริ่มต้นมาจากปัญหา TSP โดยขั้นตอนวิธีการนี้ เป็นการสังเกตพฤติกรรมของฝูงมดในการค้นหาอาหาร ซึ่งมดจะมีการติดต่อสื่อสารส่งผ่านข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารด้วยฟีโรโมน (Pheromone) โดยมดจะทำสัญลักษณ์ตามเส้นทางที่เดินผ่านด้วยฟีโรโมนนี้ ซึ่งจะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของแหล่งอาหารที่ค้นพบ โดยมดตัวอื่นๆ จะตามรอยฟีโรโมนมายังแหล่งอาหารในที่สุด จากพฤติกรรมของมดดังกล่าว ถูกลำมาสร้างเป็นขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาการหาเชิงการจัดเพื่อหาค่าเหมาะที่สุด ในการจำลองพฤติกรรมนี้มดเทียมจะถูกสร้างขึ้นให้คล้ายคลึงกับสภาวะแวดล้อมในการค้นหาพื้นที่ของผลเฉลย วัตถุประสงค์ คือ ค้นหาให้เจอแหล่งอาหารที่มีคุณภาพ และตัดแปลงความจำไว้ที่ฟีโรโมน โดยมดเทียมนี้สร้างขึ้นจากฟังก์ชันฮิวริสติกเฉพาะที่ เพื่อเป็นแนวทางในการค้นหาเซตผลเฉลยที่เป็นไปได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 การจัดลำดับเส้นทาง (Route Sequencing Procedures)

### 2.3.1. การแทรกที่ไกลมากที่สุด (Farthest Insert)

กำหนดเส้นทางของพาหนะสำหรับลูกค้าที่เหลือ หาระยะทางที่จะเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดสำหรับลูกค้ากลุ่มนี้ เพื่อที่จะแทรกเข้าไปในจุดที่มีโอกาสในแต่ละเที่ยว แล้วเลือกแทรกลูกค้าจริงจากกลุ่มลูกค้าที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เพื่อให้ได้เที่ยวใหม่ ขั้นตอนนี้ถูกเรียกว่า การแทรกที่ไกลที่สุด เพราะลูกค้าที่ไกลที่สุดจากการเดินทางปัจจุบันจะถูกแทรก กระบวนการจะดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งลูกค้าที่เหลือของยานพาหนะถูกใส่รวมเข้ามาในเที่ยวทั้งหมด

### 2.3.2. การแทรกที่ใกล้ที่สุด (Nearest Insert)

กำหนดให้เส้นทางของยานพาหนะ รวมทั้งการเดินทางที่ศูนย์กระจายสินค้าสำหรับลูกค้าที่เหลือ ประมาณค่าการเพิ่มต่ำสุดของระยะทาง ถ้าแทรกลูกค้าที่จุดที่มีโอกาสในแต่ละเที่ยว ด้วยการเพิ่มระยะทางที่น้อยที่สุด เพื่อให้ได้เที่ยวใหม่ ขั้นตอนนี้เรียกว่าการแทรกที่ใกล้ที่สุด เพราะลูกค้าที่ใกล้ที่สุดในเที่ยวปัจจุบันจะถูกแทรก กระบวนการนี้จะทำต่อเนื่องไปจนกระทั่งลูกค้าที่เหลือของพาหนะถูกรวมเข้าไว้ในเที่ยวทั้งหมด

### 2.3.3. เพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (Nearest Neighbor)

เริ่มที่ศูนย์กระจายสินค้า กระบวนการนี้จะเพิ่มลูกค้าที่ใกล้โรงงานหรือศูนย์กระจายสินค้าที่สุดหรือเพิ่มระยะทางการเดินทางแต่ละขั้นการเดินทางจะเพิ่มโดยแทรกลูกค้าที่ใกล้จุดที่ส่งสินค้าครั้งล่าสุดจนกว่าจะส่งสินค้าครบทุกแห่ง

### 2.3.4. การกวาด (Sweep)

ในขั้นตอนการกวาดนี้ จุดใดๆ ในเส้นทางจะถูกเลือกและกวาดไปตามเข็มนาฬิกาหรือทวนเข็มนาฬิกา การเดินทางจึงถูกกำหนดโดยลำดับของลูกค้าที่พบเมื่อทำการกวาดผู้จัดการขนส่งใช้ขั้นตอนการกวาดด้วยเส้นทางที่มีจุดกึ่งกลางที่ศูนย์กระจายสินค้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Non - linear integer Programming เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงโดยใช้ต้นทุนต่อวันที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และตรงตามความต้องการของลูกค้า กรณีศึกษาของบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง ผู้จัดการเส้นทางจะต้องจัดเส้นทางให้เหมาะสม ในขณะที่ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขทางด้านเวลาด้วย หน่วยงานมีพนักงานประจำแต่ละเซกเตอร์รับผิดชอบอยู่จำนวนหนึ่ง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ซึ่งสอดคล้องกับซูลิกร ชนะสิทธิ์ (2011) ศึกษาการจัดเส้นทางการเดินทางขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าของบริษัทไปยังกลุ่มลูกค้าที่มีตำแหน่งที่ตั้งอยู่ภายในบริเวณพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะทางในการเดินทางขนส่งสินค้า โดยใช้แนวคิดการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกในการหาคำตอบ โดยเลือกใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) นำมาสร้างรูปแบบการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แก้ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem ; TSP) พบว่าการจัดเส้นทางแบบ TSP-NNH สามารถลดระยะทางในการจัดเส้นทางได้ดีกว่าการจัดเส้นทางแบบเดิม ซึ่งงานวิจัยนี้จะแก้ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem ; TSP) โดยเลือกใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) เปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางแบบดั้งเดิม และเพิ่มปัจจัยการให้ความสำคัญของความพึงพอใจของลูกค้าในระดับต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

# วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยมีวัตถุประสงค์นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Non - linear integer Programming เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงโดยใช้ต้นทุนต่อวันที่น้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และตรงตามความต้องการของลูกค้า กรณีศึกษาของบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง ซึ่งพบว่าปัญหาดังกล่าวคล้ายคลึงกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem ; TSP) ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก วิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) เป็นแนวคิดในการแก้ปัญหา

### 3.1 การศึกษาและจำลองข้อมูลการทำงาน

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและจำลองข้อมูลกระบวนการทำงานให้ใกล้เคียงกับข้อมูลของบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตในส่วนที่รับผิดชอบงานซ่อมบำรุง งานซ่อมบำรุงอุปกรณ์สำหรับให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในสถานีสถาน พื้นที่กรุงเทพมหานคร ผู้จัดเส้นทางจะต้องจัดเส้นทางให้เหมาะสม ในขณะที่ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขทางด้านเวลา ซึ่งหน่วยงานมีพนักงานประจำแต่ละเขตรับผิดชอบอยู่จำนวนหนึ่งเพื่อทราบถึงขั้นตอนการทำงาน ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้น ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการจริง ภายใต้พื้นที่แบ่งออกเป็น 4 พื้นที่ โดยแต่ละพื้นที่จะรับผิดชอบเขตที่บริษัทฯ

แต่ละพื้นที่จะมีสถานีฐานที่ต้องรับผิดชอบประมาณ 100 สถานีฐาน มีพนักงานซ่อมบำรุง จำนวน 4 คน จากศูนย์รับเรื่องร้องเรียนไปยังสถานีฐานพนักงานใช้รถจักรยานยนต์ในการเดินทางพร้อมอุปกรณ์ในการซ่อมบำรุงรวมถึง Spare Part สำหรับเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์เดิมที่ชำรุด เสียหายตลอดจนอุปกรณ์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของระบบงานเพื่อให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในสถานีสถาน โดยพนักงานซ่อมบำรุงจะได้รับข้อมูลลูกค้าที่เกิดปัญหาและผู้จัดเส้นทางจะลำดับการเดินทางไปยังจุดที่สถานีฐานที่ให้บริการลูกค้า นั้น ๆ ตามลำดับ

ปัญหาการใช้บริการอินเทอร์เน็ตของลูกค้าจะถูกจัดลำดับความสำคัญเป็นไปตามเงื่อนไขของหน่วยงาน ซึ่งรับผิดชอบงานซ่อมบำรุง ด้วยวิธีเข้าแก้ไขตรวจสอบอุปกรณ์ที่สถานีฐานแต่ละจุด ภายใต้พื้นที่ตัวเองรับผิดชอบอยู่ และจะมีลักษณะอาการเสียของอุปกรณ์เป็นเงื่อนไขหลักของลำดับการซ่อมบำรุง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการเดินทางเข้าสถานีสถาน บริษัทจะใช้พนักงานซ่อมบำรุงและรถที่มีอยู่ของพื้นที่ที่รับผิดชอบก่อนในเวลาทำงานปกติ 8 ชั่วโมง หากมีความจำเป็นจึงจะพิจารณาอนุญาตให้มีการทำงานนอกเวลาหรือขอความช่วยเหลือจากพื้นที่ข้างเคียงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าพื้นที่ที่รับผิดชอบ โดยที่เส้นทางเดินทางเข้าซ่อมบำรุงจะเริ่มจากศูนย์รับเรื่องร้องเรียนหลักของแต่ละพื้นที่เสมอและรถที่ใช้ในการเดินทางทั้งหมดของบริษัทเป็นประเภทและยี่ห้อเดียวกันมีอัตราค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทางเท่ากัน และการทำงานของพนักงานโดยการตอบสนองความต้องการของลูกค้าจะต้องเป็นไปตามตัวชี้วัด (KPI) ของบริษัทฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อวัตถุประสงค์เท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นประโยชน์หรือข้อผิดพลาดในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ข้อมูลจึงได้เลือกชุดข้อมูลจำลองที่ใกล้เคียงกับชุดข้อมูลจริงเนื่องจากครบถ้วนตามความเป็นจริงมากที่สุด ประกอบกับเป็นช่วงวันที่มีการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงเกิดขึ้นมากที่สุด โดยผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลที่อยู่ รายชื่อสถานีฐาน พิกัดตำแหน่งสถานีฐาน ดังตัวอย่างข้อมูลตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างข้อมูลสถานีฐานในพื้นที่รับผิดชอบ

สถานีฐาน	ที่ตั้ง
PWT1	ประเวศ 1
BKUM	บึงกุ่ม
SUK2	ถนนสุขาภิบาล 2
MKHN	หมู่บ้านเคหะนคร
RGSG	อาคารรุ่งแสง บางนา
TBKP	โรงเรียนเทคโนโลยีบางกะปิ
LZSC	โรงเรียนลาซาล
MTRN	หมู่บ้านธรากร
ANRK	ซอย อำนาจสุขร่มเกล้า

การทำงานในปัจจุบันพนักงานซ่อมบำรุงจะได้รับข้อมูลลูกค้าจากศูนย์รับเรื่องร้องเรียนตามพื้นที่ที่พนักงานรับผิดชอบโดยถูกจัดเส้นทางโดยใช้ประสบการณ์ในการวางแผนและลำดับการเข้าซ่อมบำรุงสถานีฐาน โดยในทุกการเดินทางต้องเริ่มต้นจากศูนย์รับเรื่องร้องเรียนของพื้นที่ตามกรณีศึกษา จากนั้นเดินทางไปยังสถานีฐานต่างๆ จนครบตามที่ได้วางแผนไว้ และพนักงานซ่อมบำรุงต้องเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นจึงถือว่าจบการเดินทาง

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงจากศูนย์บริการของเขตรับผิดชอบไปยังสถานีฐาน ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของการจัดเส้นทางจริงพบว่ามิใช่พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบในช่วงเดือน พฤษภาคม ถึง สิงหาคม จึงนำข้อมูลในช่วงดังกล่าวมาทำการทดสอบและเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย โดยในแต่ละเดือนทำการสุ่ม 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 วัน รายละเอียดตามตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 การจัดเส้นทางโดยวิธีปัจจุบัน

ชุดข้อมูล	จำนวนเที่ยว	จำนวนเที่ยว	
		พนักงานภายใน	พนักงานภายนอก
1	7	4	3
2	5	3	2
3	7	4	3
4	5	3	2
5	4	3	1
6	6	4	2
7	7	4	3
8	6	3	3
9	6	4	2
10	5	3	2
11	7	4	3
12	5	3	2
13	4	3	1
14	6	4	2
15	5	3	2
16	4	3	1
ผลรวม	89	55	34

จากตารางที่ 3.2 สันเกตว่าในช่วงเวลา 16 วันที่ทดสอบเขตรับผิดชอบหนึ่งมีการใช้พนักงานภายในรวม 55 เที่ยวและใช้พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบอีก 34 เที่ยว หรือคิดเป็นอัตราการใช้พนักงานภายในเขตรับผิดชอบ 62% ของจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมด

ในงานวิจัยนี้จะแทนค่าแต่ละสถานีฐานภายในเขตรับผิดชอบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 แสดงลำดับสถานีฐานในพื้นที่รับผิดชอบ

ลำดับที่	สถานีฐาน
1	BKK/BPL
2	TBKP
3	BKUM
4	EGSW
5	MKHN
6	MTRN
7	WDTC
8	M239
9	ON55
10	WSUK
11	WTSR
12	KHRM
13	C919
14	SUK2
15	KSLY
16	PWT1
17	RGSG
18	LZSC
19	ANRK
20	MDRM
21	SLNG
22	RSMK
23	ON66
24	ON88
25	WRKS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 ตัวแบบคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดเส้นทาง

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางรถขนส่งสินค้าของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) เพื่อให้ได้เส้นทางที่แตกต่างกันหลายรูปแบบ และคำนึงถึงระยะทางในการเดินทางด้วย โดยจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด สำหรับการเดินทางในแต่ละวัน

การเดินทางจะเริ่มต้นจากศูนย์บริการ ไปสู่สถานีฐานที่ทราบจำนวน ตำแหน่งที่ตั้ง และเวลาในการซ่อมบำรุงแต่ละสถานีฐานที่แน่นอนล่วงหน้า เป็นการหาจำนวนเส้นทางเดินทางรถและลำดับการเดินทางไปยังจุดต่าง ๆ โดยคำนึงถึงผลรวมของค่าใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงานมีค่าน้อยที่สุด

สามารถกำหนดสัญลักษณ์ได้ ดังนี้

$i, j$	แทนลำดับของศูนย์บริการและลูกค้า
กำหนดให้	ศูนย์บริการอยู่ตำแหน่ง $i, j = 0$ ลูกค้าตำแหน่งอื่น ๆ $i, j = 1, 2, \dots, n$
$k$	แทนพนักงานคนที่ $1, 2, \dots, K$ โดย พนักงานภายในเขตรับผิดชอบ $k = 1, 2, 3, 4$ พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ $k = 5, 6, \dots, K$
ตัวแปร	$t_{ij}$ เวลาออกจากศูนย์บริการ $i$ ไปให้บริการตำแหน่ง $j$ $X_{ijk} = 1$ ถ้าพนักงาน $k$ วิ่งจากตำแหน่ง $i$ ไปตำแหน่ง $j$ $= 0$ ในกรณีอื่น ๆ
พารามิเตอร์	$n$ จำนวนสถานีฐานทั้งหมด $C_{ijk}$ ค่าใช้จ่ายของพนักงาน $k$ เดินทางจากตำแหน่ง $i$ ไปตำแหน่ง $j$ $d_{ij}$ เวลาเดินทางของพนักงานใด ๆ จากตำแหน่ง $i$ ไปตำแหน่ง $j$ $f_i$ เวลาที่ใช้ขนถ่ายอุปกรณ์ที่ตำแหน่ง $i$ $r_k$ จำกัดเวลาการทำงานของพนักงาน $k$ ต่อเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการเป้าหมาย

$$\text{Minimize } z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0, i \neq j}^N \sum_{k=1}^K C_{ijk} X_{ijk} \quad (3.1)$$

โดยมีข้อจำกัด

$$\sum_{j=1}^N X_{0jk} = 1 \quad \forall k \quad (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i \neq j} X_{ijk} = 1 \quad j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (3.3)$$

$$t_{iok} + d_{i0} \leq r_k \quad \forall i, k \quad (3.4)$$

$$\sum_{k=1}^K (t_{mi} X_{mik}) + f_i + d_{ij} \leq \sum_{k=1}^K t_{ij} X_{ikm} \quad \begin{array}{l} \forall i, j, m \\ m \neq i \neq j \\ m = 0, 1, 2, \dots, n \end{array} \quad (3.5)$$

$$t_{ij} \geq 0 \quad (3.6)$$

$$X_{ijk} = 0, 1 \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการข้างต้นสามารถสรุปความหมาย ได้ดังนี้

- สมการที่ 1           สมการเป้าหมาย เพื่อหาต้นทุนการเดินทางต่อวันที่น้อยที่สุด
- สมการที่ 2           พนักงานทุกคนต้องเริ่มออกจากศูนย์บริการเสมอ
- สมการที่ 3           พนักงานทุกคนสามารถแวะที่จุดแต่ละจุดได้ครั้งเดียวเท่านั้น
- สมการที่ 4           ระยะเวลาสูงสุดต่อเส้นทางต้องไม่เกินเวลาการทำงานของพนักงานแต่ละคน
- สมการที่ 5           ข้อกำหนดของเงื่อนไขด้านเวลาโดยระยะเวลาการเดินทาง ระยะเวลาการปฏิบัติงาน และระยะเวลาขนถ่ายอุปกรณ์ในการซ่อมบำรุงรวมถึง Spare Part สำหรับเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์เดิมที่ชำรุด เสียหายตลอดจนอุปกรณ์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของระบบงานเพื่อให้บริการอินเตอร์เน็ตภายในสถานีฐานต้องไม่เกินระยะเวลาการเดินทางแต่ละเที่ยว
- สมการที่ 6           เวลาออกจากศูนย์บริการหรือจุดเริ่มต้นไปให้บริการที่ตำแหน่งถัดไปต้องมีค่าตั้งแต่ 0
- สมการที่ 7           พนักงานคนที่  $k$  เดินทางจากตำแหน่งศูนย์บริการหรือจุดเริ่มต้นไปให้บริการตำแหน่งถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆ

สมมติฐานและข้อจำกัดอื่น ๆ ดังนี้

1. ปริมาณความต้องการของลูกค้าของแต่ละช่วงเวลาในหนึ่งวันมีความแน่นอน
2. การเดินทางออกจากศูนย์บริการไปตามจุดต่าง ๆ และกลับเข้ามาที่ศูนย์บริการนับเป็น 1 เที่ยว
3. การเดินทางต้องใช้ระยะเวลาเดินทางไม่เกินกรอบเวลาที่กำหนด แต่ไม่จำเป็นต้องถึงพร้อมกัน
4. กำหนดการให้บริการต้องเป็นไปตามแผนการดำเนินงาน
5. การเดินทางของพนักงานแต่ละเส้นทางกำหนดให้สถานการณ์รถติดเป็นค่าคงที่
6. เวลาทำงานปกติของพนักงานเป็น 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังนั้น พนักงานแต่ละคนมีเวลาทำงาน  $T_k$  ไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน (ทุกคนสามารถทำล่วงเวลาได้ไม่เกิน 4 ชั่วโมงต่อวัน แต่จะพิจารณาให้ทำล่วงเวลาหลังจากพิจารณาจ้างพนักงานภายนอกแล้ว) และพนักงานทุกคน (ภายในเขตรับผิดชอบและภายนอกเขตรับผิดชอบ) มีเวลาทำงานเท่ากัน
7. พนักงานภายในเขตบริการมีจำนวน 4 คน ถ้าพนักงานภายในไม่เพียงพอจะพิจารณาจ้างพนักงานภายนอก
8. พนักงานเดินทางโดยใช้รถจักรยานยนต์ แต่เมื่อเดินทางกลับเข้าสู่ศูนย์บริการแล้วสามารถเดินทางเที่ยวใหม่ได้
9. ค่าจ้างพนักงานภายใน 450 บาทต่อวัน
10. ค่าจ้างพนักงานภายนอก 800 บาทต่อเที่ยว
11. ค่าน้ำมัน 2 บาทต่อกิโลเมตร (อัตราการใช้น้ำมันคือ 25 กิโลเมตรต่อลิตร ราคาน้ำมันลิตรละ 50 บาท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ ผู้วิจัยได้วางแผนการจัดเส้นทางเบื้องต้นมีจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมดมีการเดินทาง 89 เที่ยว ลดลงเหลือ 57 เที่ยวโดยใช้พนักงานภายในเขตรับผิดชอบลดลงจาก 55 เที่ยว ลดลงเหลือ 44 เที่ยว ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงผลที่เกิดจากการจัดเส้นทางโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ชุดข้อมูล	จำนวนเที่ยว	จำนวนเที่ยว	
		พนักงานภายใน	พนักงานภายนอก
1	4	4	0
2	3	2	1
3	5	3	2
4	3	3	0
5	2	2	0
6	4	3	1
7	5	4	1
8	4	3	1
9	4	3	1
10	3	2	1
11	6	4	2
12	3	2	1
13	2	2	0
14	4	3	1
15	3	2	1
16	2	2	0
<b>ผลรวม</b>	<b>57</b>	<b>44</b>	<b>13</b>

จากตารางที่ 3.4 คิดเป็นอัตราการใช้พนักงานภายในเขตรับผิดชอบ 75% ของจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมด ซึ่งถือว่าวิธีการนี้มีประโยชน์และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ทดสอบความถูกต้องและความเหมือนจริงของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) แล้ว จำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องและความเหมือนจริงของแบบจำลอง เมื่อให้แบบจำลองที่ใช้มีความถูกต้องและคล้ายกับระบบจริงมากที่สุด โดยการตรวจสอบความถูกต้อง (Verification) นั้นสามารถตรวจสอบได้ด้วยกระบวนการของการหาว่าแบบจำลองมีการทำที่สอดคล้องกับความต้องการและกำจัดความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงมีความถูกต้องสามารถให้ผลลัพธ์ในการทดสอบได้

การตรวจสอบความเหมือนจริง (Validation) ด้วยการตั้งสมมติฐานเพื่อเปรียบเทียบกับระบบจริงที่เกิดขึ้น อาจมีการใช้การตรวจสอบความมีเหตุและผล การทดสอบพารามิเตอร์และความสัมพันธ์ การทดสอบโครงสร้างและขอบเขต โดยจะทำการตรวจสอบจากจำนวนพนักงาน จำนวนเที่ยวของการเข้าซ่อมบำรุง ณ สถานีฐาน ซึ่งจะทำการสุ่มเก็บข้อมูลเพื่อใช้ในการทดสอบ เดือน พฤษภาคม ถึง สิงหาคม จึงนำข้อมูลในช่วงดังกล่าวมาทำการทดสอบและเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย โดยในแต่ละเดือนทำการสุ่ม 4 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 1 วัน จะเห็นได้ว่ามีทดสอบเขตรับผิดชอบหนึ่งมีจำนวนเที่ยวในการเดินทางลดลงและใช้พนักงานภายในเขตรับผิดชอบ 62% ของจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมด

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จำนวนจุดให้บริการ	จำนวนเที่ยว	จำนวนเที่ยว		ระยะทางการเดินทางของพนักงาน (กิโลเมตร)
		พนักงานภายใน	พนักงานภายนอก	
19	7	4	3	650.7

จากตารางที่ 3.5 ผู้วิจัยเสนอตัวอย่างชุดข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในชุดข้อมูลตัวอย่างมีจำนวนจุดให้บริการ 19 จุด จำนวนเที่ยวที่พนักงานต้องเดินทางทั้งหมด 7 เที่ยว โดยเป็นพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ จำนวน 4 เที่ยว บริษัทคิดค่าจ้างพนักงานภายในเขตรับผิดชอบวันละ 450 บาทต่อคน พนักงานเดินทางโดยใช้รถจักรยานยนต์ แต่เมื่อเดินทางกลับเข้าสู่ศูนย์บริการแล้วสามารถเดินทางเที่ยวใหม่ได้โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายเพิ่ม และเป็นพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ จำนวน 3 เที่ยว บริษัทคิดค่าจ้างพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบเที่ยวละ 800 บาท ต้องมีระยะเวลาการทำงาน การเดินทางรวมแล้วไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อเที่ยว

ตารางที่ 3.6 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 1 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายในเขตรับผิดชอบคนที่ 1

เที่ยวที่ 1	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทาง รวม
	1	13	12	6	1	
ระยะทาง	11.2	22.2	3.1	25.1	32.4	94

ตารางที่ 3.7 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 2 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายในเขตรับผิดชอบคนที่ 2

	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทาง รวม
เที่ยวที่ 2	1	14	2	7	1	
ระยะทาง	15.7	15.1	9.2	22.6	32.4	95

ตารางที่ 3.8 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 3 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายในเขตรับผิดชอบคนที่ 3

	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทาง รวม
เที่ยวที่ 3	1	9	5	5	1	
ระยะทาง	15.9	15.5	0	25.8	32.4	89.6

ตารางที่ 3.9 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 4 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายในเขตรับผิดชอบคนที่ 4

	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทาง รวม
เที่ยวที่ 4	1	14	10	15	1	
ระยะทาง	15.7	15.1	6.8	19.3	32.4	89.3

ตารางที่ 3.10 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 5 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบคนที่ 1

	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทาง รวม
เที่ยวที่ 5	1	8	11	1	
ระยะทาง	19.2	24.4	24.8	23.3	91.7

ตารางที่ 3.11 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 6 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบคนที่ 2

	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทาง รวม
เที่ยวที่ 6	1	3	2	10	1	
ระยะทาง	23.3	10.3	5	24.7	32.4	95.7

ตารางที่ 3.12 ระยะทางการเดินทางเที่ยวที่ 7 ของชุดข้อมูลโดยพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบคนที่ 3

	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทาง รวม
เที่ยวที่ 7	1	4	3	1	
ระยะทาง	32.4	16.6	23.1	23.3	95.4

จากตารางที่ 3.6 ถึง ตารางที่ 3.12 แสดงเส้นทางการเดินทางของพนักงานทั้งหมดจำนวน 7 เที่ยว มีรายละเอียดต้นทุนการเดินทางต่อวัน ดังนี้

1. พนักงานภายในเขตรับผิดชอบ จำนวน 4 คน ค่าจ้างวันละ 450 บาทต่อคนต่อวัน
  2. พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ จำนวน 3 คน ค่าจ้างเที่ยวละ 800 บาท (เที่ยวละไม่เกิน 8 ชั่วโมง และไม่มีการเพิ่มจำนวนจุดให้บริการหลังจากออกเดินทางจากศูนย์บริการแล้ว)
  3. ค่าน้ำมันคิดเป็น 2 บาทต่อกิโลเมตร
- โดยจะแสดงเป็นค่าใช้จ่ายตามตารางที่ 3.13 และ ตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.13 ค่าใช้จ่ายจากข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ

	ค่าจ้างพนักงาน (บาท)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าน้ำมัน (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
เที่ยวที่ 1	450	94	188	638
เที่ยวที่ 2	450	95	190	640
เที่ยวที่ 3	450	89.6	179.2	629.2
เที่ยวที่ 4	450	89.3	178.6	628.6
รวม				2,535.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 ค่าใช้จ่ายจากข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางของพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ (ไม่คิดค่าน้ำมัน)

	ค่าจ้างพนักงาน (บาท)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าน้ำมัน (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
เที่ยวที่ 5	800	91.7	-	800
เที่ยวที่ 6	800	95.7	-	800
เที่ยวที่ 7	800	95.4	-	800
รวม				2,400.00

จากตารางที่ 3.13 แสดงถึงค่าใช้จ่ายจากข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบซึ่งจะคำนวณจากค่าจ้างพนักงานวันละ 450 บาท จำนวน 4 คน เป็นเงิน 1,800 บาท และค่าน้ำมันจำนวน 735.80 บาท รวมเป็นเงิน 2,535.80 บาท และจากตารางที่ 3.14 ค่าใช้จ่ายจากข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางของพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ (ไม่คิดค่าน้ำมัน) ซึ่งจะคำนวณจากค่าจากพนักงานเท่านั้น เที่ยวละ 800 บาท จำนวน 3 เที่ยว เป็นเงิน 2,400.00 บาท ต้นทุนการเดินทางต่อวันรวมทั้งหมดในตัวอย่างชุดข้อมูลเท่ากับ 4,935.80 บาท

เมื่อนำข้อมูลมาดำเนินการทดสอบพารามิเตอร์และความสัมพันธ์ การทดสอบโครงสร้างและขอบเขต โดยจะทำการตรวจสอบจากจำนวนพนักงาน จำนวนเที่ยวของการเข้าซ่อมบำรุง ณ สถานีฐานตามแบบจำลองคณิตศาสตร์แล้วได้ผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 3.15 แสดงผลที่เกิดจากการจัดเส้นทางตัวอย่างข้อมูลโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

จำนวน จุดให้บริการ	จำนวน เที่ยว	จำนวนเที่ยว		ระยะทาง การเดินทางของ พนักงาน (กิโลเมตร)
		พนักงานภายใน	พนักงานภายนอก	
19	5	4	1	251.5

จากตารางที่ 3.15 ผู้วิจัยเสนอตัวอย่างชุดข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในชุดข้อมูลตัวอย่างมีจำนวนจุดให้บริการ 19 จุด จำนวนเที่ยวที่พนักงานต้องเดินทางทั้งหมดลดลงจาก 7 เที่ยว เหลือ 5 เที่ยว โดยเป็นพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ จำนวน 4 เที่ยว บริษัทคิดค่าจ้างพนักงานภายในเขตรับผิดชอบวันละ 450 บาทต่อคน พนักงานเดินทางโดยใช้รถจักรยานยนต์ แต่เมื่อเดินทางกลับเข้าสู่ศูนย์บริการแล้วสามารถเดินทางเที่ยวใหม่ได้โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายเพิ่ม และเป็นพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ จำนวน 1 เที่ยว บริษัทคิดค่าจ้างพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบเที่ยวละ 800 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องมีระยะเวลาการทำงาน การเดินทางรวมแล้วไม่เกิน 8 ชั่วโมงต่อเที่ยว โดยจะแสดงเป็นค่าใช้จ่ายตาม ตารางที่ 3.16 และ ตารางที่ 3.17

**ตารางที่ 3.16** ค่าใช้จ่ายของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบจากการจัดเส้นทางตัวอย่างข้อมูลโดย แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

	ค่าจ้างพนักงาน (บาท)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ค่าน้ำมัน (บาท)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
เที่ยวที่ 1	450	38.8	77.6	527.6
เที่ยวที่ 2	450	72.6	145.2	595.2
เที่ยวที่ 3	450	88.8	177.6	627.6
เที่ยวที่ 4	450	51.3	102.6	552.6
รวม				2,303.00

จากตารางที่ 3.16 แสดงถึงค่าใช้จ่ายจากข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางของพนักงานภายในเขต รับผิดชอบซึ่งจะคำนวณจากค่าจ้างพนักงานวันละ 450 บาท จำนวน 4 คน เป็นเงิน 1,800 บาท และ ค่าน้ำมันจำนวน 503 บาท รวมเป็นเงิน 2,303.00 บาท โดยไม่มีค่าใช้จ่ายจากพนักงานภายนอกเขต รับผิดชอบ (ไม่คิดค่าน้ำมัน) ต้นทุนการเดินทางต่อวันรวมทั้งหมดในตัวอย่างชุดข้อมูลเท่ากับ 2,303.00 บาท ลดลงจากก่อนการจัดเส้นทางโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 42%

### 3.4 การออกแบบการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุง

การออกแบบโปรแกรมจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ มีส่วนที่เป็นข้อมูลพื้นฐานคือ ข้อมูลระยะทาง ระหว่างแต่ละจุด เพื่อสร้างตารางเมตริกระยะทาง เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในแต่ละวัน โดยที่เลือกเข้าซ่อมบำรุงก่อนนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับศูนย์บริการของเขตรับผิดชอบมากที่สุดก่อน จากนั้นจึงเลือกตำแหน่งลูกค้าต่อไปที่ใกล้จากจุดเดิมเป็นลำดับถัดไป ดังนี้

1. การกำหนดค่าเดินทางเริ่มต้น  $k = 1$  จุดเริ่มต้น  $i = 1$  และ  $j = i + 1$
2. จัดเส้นทางเดินทาง จัดความต้องการทั้งหมดใส่เที่ยวการเดินทางที่  $k$  บันทึกเส้นทาง จากนั้น ตรวจสอบเวลาและปรับเปลี่ยนตำแหน่งจุดต่อไป
3. บันทึกจุดที่ให้บริการแล้วและเลื่อนจุดให้บริการ
  - 3.1 บันทึกว่าจุด  $j$  ได้ทำการจัดแล้วและไม่นำกลับมาจัดอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เลื่อนจุดเข้าให้บริการต่อไปโดยให้  $i = j$  และ  $j = j + 1$  เริ่มตรวจก่อนว่า  $j = N + 1$  หรือไม่ ถ้าใช่ ไปทำข้อ 4 ต่อ ถ้าไม่ใช่ คำนวณเวลาที่จะต้องเดินทางจาก  $i$  ไปตำแหน่ง  $j$  ใหม่

4. เมื่อ  $j = N + 1$  แสดงว่าเราตรวจจนถึงจุดส่งสุดท้ายของวันแล้ว จึงบังคับให้ย้อนกลับศูนย์บริการได้ คือ ให้จุดส่งต่อไปเป็น  $j = 0$  บันทึกเส้นทาง และเวลาที่ใช้ จากนั้นตรวจดูว่ายังมีจุดของที่ไม่ได้ยังไม่ได้เข้าให้บริการบ้าง ถ้ายังมีจุดที่ยังไม่ได้เข้าซ่อมอีกให้ตรวจว่า  $k$  ปัจจุบันเป็นเท่าไรแล้วเพิ่มค่า  $k = k + 1$  เริ่มจัดเส้นทางพนักงาน  $k$  นี้โดยเริ่มจากศูนย์บริการ  $i = 0$  และ  $j$  เป็นดัชนีของสมาชิกตัวแรกที่ยังไม่ได้เดินทาง แล้วกลับไปข้อ 2

เมื่อจบโปรแกรมแล้ว นำจำนวนเที่ยวเดินทางทั้งหมด  $k$  จากการจัดเส้นทางมาจัดตารางการเดินทางในแต่ละวันโดยที่เวลาของแต่ละเที่ยวต้องไม่ทับซ้อนกันเลย และต้องไม่เกินเวลาทำงานรวม 8 ชั่วโมงต่อวัน จะได้เป็นจำนวนพนักงานที่ต้องการใช้จริงในวันนั้น (พนักงาน 1 คนอาจเดินทางได้หลายเที่ยว จำนวนเที่ยวจึงมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนพนักงานที่ต้องการเสมอ) จากนั้นนำผลที่ได้มาคิดระยะทางรวมในการเดินทาง ค่าล่วงเวลา ค่าใช้จ่ายพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ และสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงของพนักงานภายในได้

### 3.5 เครื่องมือสำหรับพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุง

เครื่องมือที่ใช้ในการจัดเส้นทางการเดินทางในปัจจุบันมีให้เลือกมากมายในหลายรูปแบบทั้งที่เป็นในรูปแบบของโปรแกรมสำเร็จรูปสามารถสนองต่อความต้องการได้ดีในระดับหนึ่งแต่ยากที่จะเปลี่ยนแปลงรายงานต่าง ๆ ให้เป็นไปในรูปแบบที่ต้องการได้ หรือหากการพัฒนาเครื่องมือขึ้นมารองรับการจัดเส้นทางเดินทางเอง งานวิจัยนี้ได้ทำการเลือกใช้เครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางดังนี้

3.5.1. โปรแกรมกูเกิลแมพ (Google Maps) คือ บริการเกี่ยวกับแผนที่ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Google) สามารถเรียกใช้ได้จากเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป ที่ให้บริการเทคโนโลยีด้านแผนที่ที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้งานง่ายและให้ข้อมูลของธุรกิจในพื้นที่ได้แก่ ที่ตั้งของธุรกิจ รายละเอียดการติดต่อ เส้นทางจราจรและระยะทางจากเมืองหนึ่งไปอีกเมือง เป็นการให้บริการที่ไม่คิดค่าใช้จ่าย มีส่วนประกอบที่ทำให้ผู้ใช้เข้าใจง่ายคือแผนที่และภาพถ่ายดาวเทียมคุณภาพดี

3.5.2. โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล (Microsoft Excel) เพื่อการคำนวณเกี่ยวกับตัวเลขต่าง ๆ โดยใช้ไมโครซอฟท์เอ็กเซลเพื่อคำนวณหาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเส้นทางด้วย Excel Solver เนื่องจากมีใช้ทั่วไปในสำนักงานและสามารถปรับปรุงวิธีการและรูปแบบรายงานได้ตามต้องการ และยังใช้ในการค้นหาคำตอบหรือผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ในเวลาอันสั้น สามารถแก้ปัญหาแบบโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และแบบโปรแกรมไม่เป็นเชิงเส้น (Non - Linear Programming) ได้ทั้งในเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกมาใช้ในการพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุง

ผู้วิจัยกำหนดลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางเพื่อพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงเป็นการจัดลำดับเส้นทางเดินรถของแต่ละ 1 เขตพื้นที่จากทั้งหมด โดยมีศูนย์รับเรื่องร้องเรียนหลักของแต่ละเขตพื้นที่เพียงแห่งเดียว พบว่าปัญหาดังกล่าวคล้ายคลึงกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem ; TSP) ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกวิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) มีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจุดเริ่มต้นของเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 2 เลือกจุด (Node) ที่ระยะทางจากจุดเริ่มต้นจัดให้อยู่ในเส้นทางแล้วไปยังจุดข้างเคียงที่น้อยที่สุดและนำจุดที่เลือกเป็นส่วนหนึ่งของเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 จนสามารถผ่านทุกจุด แล้วจึงบรรจบจุดสุดท้ายเข้ากับจุดเริ่มต้น

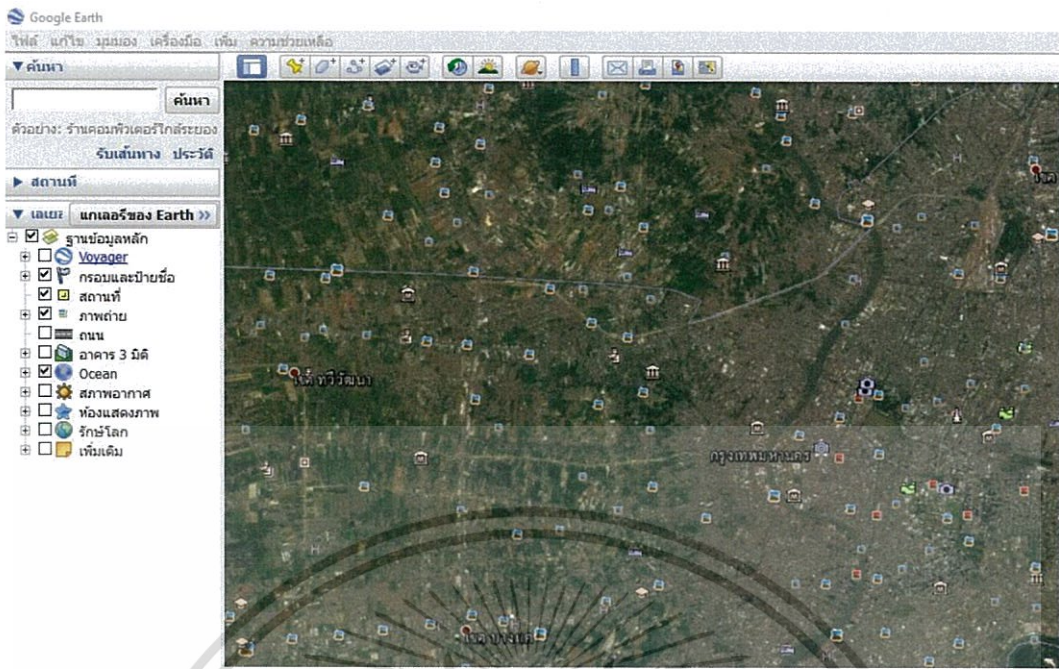
ในการคำนวณแต่ละครั้งจะมีจำนวนครั้งในการคำนวณเท่ากับ  $n^2$  ครั้ง โดย  $n$  แทนจำนวนจุด (Node) แต่การคำนวณอาจจะต้องทำซ้ำเป็นจำนวน  $n$  ครั้ง เนื่องจากจะต้องเลือกจุดใหม่เพื่อเป็นค่าเริ่มต้นจำนวน  $n$  ครั้ง เพื่อหาเส้นทางที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด เนื่องจากวิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) เป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน ใช้เวลาหาคำตอบไม่นานและสามารถยอมรับได้ และเหมาะสมกับการทำงานของบริษัท ทัศนศึกษาที่ต้องการความรวดเร็วในการเดินทางเพื่อบริการลูกค้าแบบวันต่อวัน

วิธีการนี้เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อนจนเกินไป แต่ไม่เหมาะสมกับปัญหาที่มีระยะทางห่างกันมาก ๆ

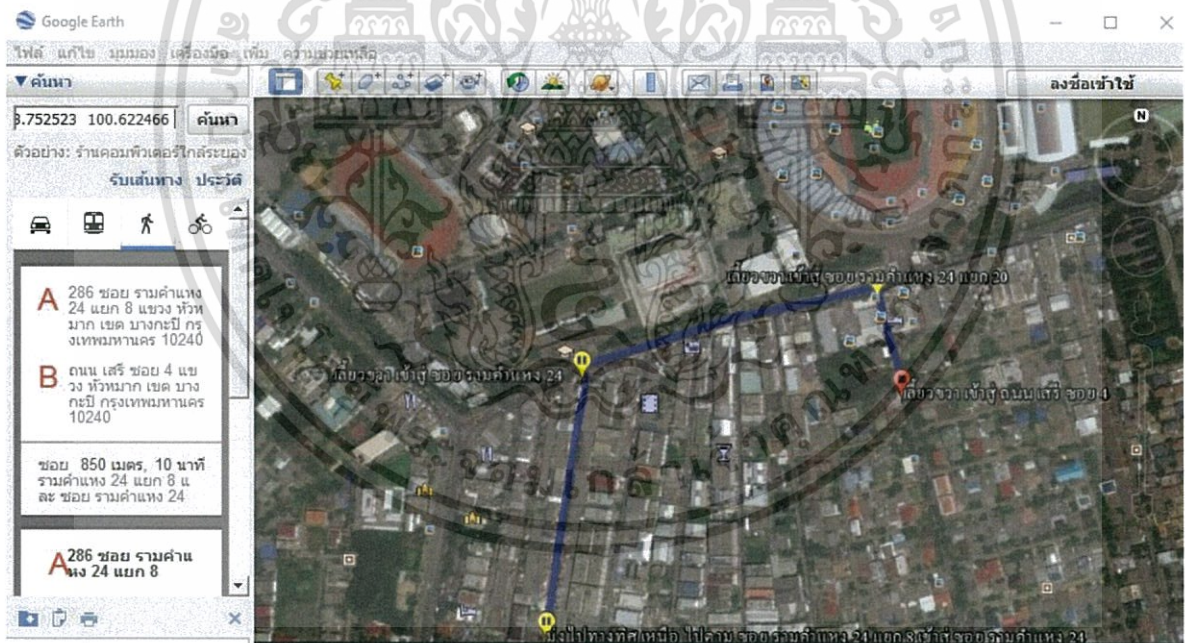
### 3.7 การพัฒนาการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงแบบ TSP-NNH

การพัฒนาการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงแบบเดิมคล้ายคลึงกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem ; TSP) ในการวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกวิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) นำมาประยุกต์เพื่อพัฒนาการจัดเส้นทางมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การหาเมตริกระยะทาง (Distance Matrix) โดยใช้โปรแกรม Google Map เพื่อหาข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งสถานีฐานของบริษัทฯ ภายในพื้นที่รับผิดชอบตามรูปที่ 3.1 ใช้ละติจูดและลองจิจูดจากการหาพิกัด ตามรูปที่ 3.2 ในการหาระยะทางระหว่างสถานีฐานกับศูนย์บริการและระหว่างสถานีฐานกับสถานีฐาน โดยจะนำข้อมูลระยะทางระหว่างตำแหน่งแต่ละจุดมาบันทึกลงในโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาระยะทางระหว่างจุดในรูปแบบตามเมตริกระยะทาง (Distance Matrix)



รูปที่ 3.1 โปรแกรม Google Map



รูปที่ 3.2 การหาระยะทางจากโปรแกรม Google Map

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้ระยะทางระหว่างจุดที่ตั้งทั้งหมดตั้งตารางเมตริก นำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver ตามรูปที่ 3.3

i/j	BKK/BPL	TBKP	BKUM	EGSW	MKHN	MTRN	WDTC	M239	ON
BKK/BPL	0	31	30	40	31	31	33	27	23
TBKP	34	0	15	25	16	16	16	14	17
BKUM	32	18	0	22	12	15	13	19	23
EGSW	43	26	24	0	23	19	29	32	34
MKHN	33	16	12	20	0	12	17	20	24
MTRN	33	15	13	20	11	0	18	20	23
WDTC	31	69	12	27	16	19	0	16	18
M239	30	14	21	34	24	28	16	0	12
ONS5	25	22	21	33	23	25	21	13	0
WSUK	32	12	20	28	20	20	16	18	14
WTSR	32	26	23	12	20	19	28	32	29

ผลลัพธ์จากการทดลอง

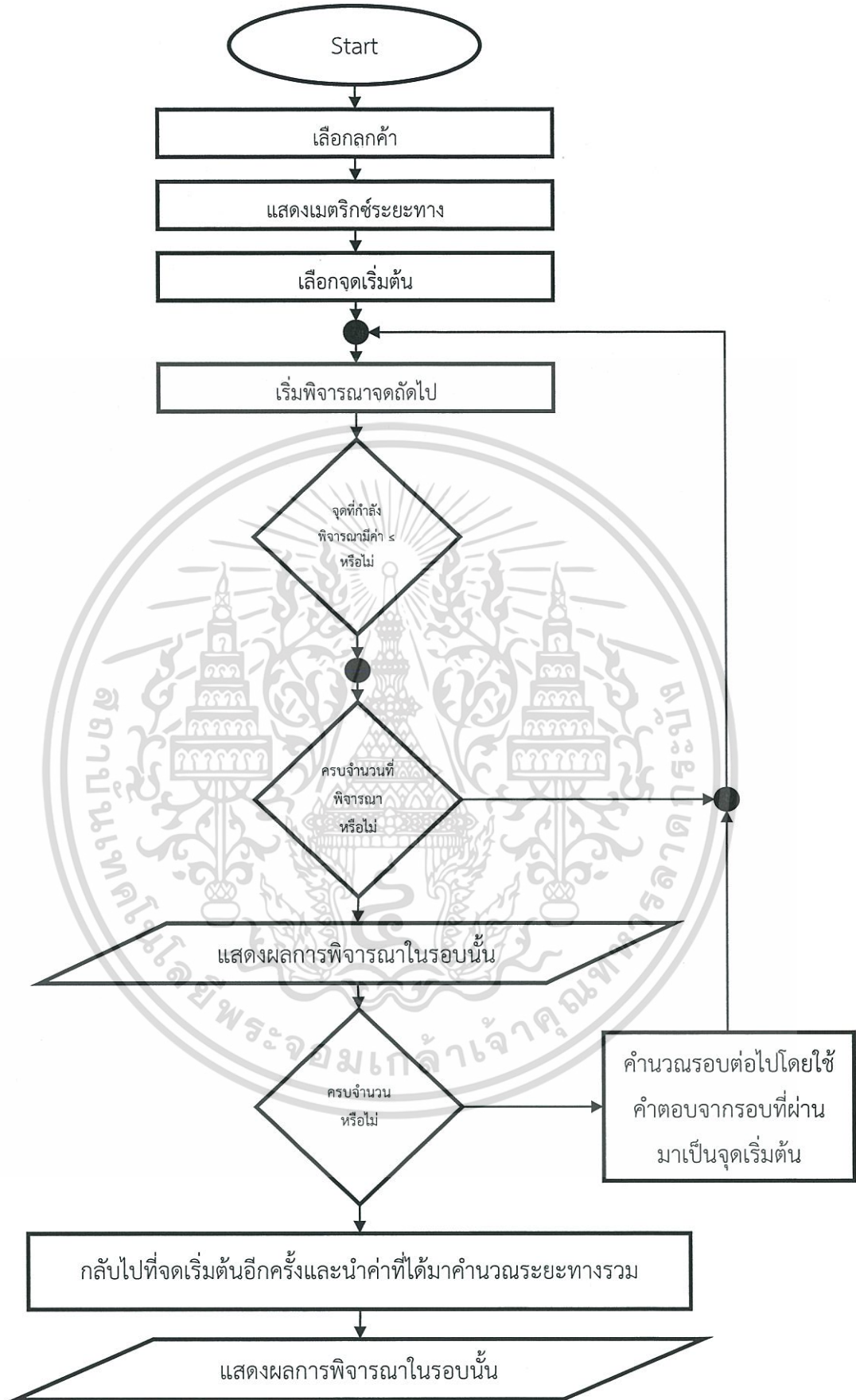
จุด	7	3	5	6	2	10	8	11	1
ระยะเวลา	12	12	12	15	12	18	32	32	23
ระยะเวลาที่น้อยที่สุด								63	

รูปที่ 3.3 โปรแกรม Microsoft Excel Solver

ขั้นตอนที่ 3 ส่วนของการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

1. ทำการเลือกสถานีฐานจากแต่ละพื้นที่จากจำนวนลูกค้าทั้งหมดในหนึ่งวัน โดยมีการป้อนข้อมูลสถานีฐานโดยโปรแกรมจะแสดงตารางเมตริกหรือตารางแสดงระยะทางระหว่างจุดต่าง ๆ ในเส้นทางการเดินทางของพื้นที่นั้น ๆ
2. เมื่อใส่ข้อมูลลูกค้าในโปรแกรมครบทุกจุดแล้ว โปรแกรมจะนำข้อมูลไปประมวลผลเพื่อจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด พร้อมแสดงเส้นทางการเดินทางและระยะทางจากจุดเริ่มต้นไปถึงจุดสุดท้าย
3. จัดส่งลำดับการเข้าซ่อมแซมสถานีฐานและเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงให้แก่พนักงานเพื่อใช้ในการเดินทางไปยังจุดต่าง ๆ ในแต่ละเส้นทาง การพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงแบบ TSP-NNH มีกระบวนการดำเนินการตามรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงแบบ TSP-NNH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการค้นหาเฉพาะที่ หรือ Local Search โดยมีกลไกการปรับเปลี่ยนคำตอบแบบ Nearest Neighbor Heuristics (NNH) เป็นอัลกอริทึมที่ได้คำตอบดีในทางปฏิบัติ เป็นวิธีที่ใช้ได้ผลและยอมรับในทางปฏิบัติมาก จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางรถขนส่งสินค้าของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) สำหรับการเดินทางในแต่ละวัน โดยการเดินทางจะเริ่มต้นจากศูนย์บริการ ไปสู่สถานีฐานที่ทราบจำนวน ตำแหน่งที่ตั้ง และเวลาในการซ่อมบำรุงแต่ละสถานีฐานที่แน่นอนล่วงหน้า เป็นการหาจำนวนเส้นทางเดินทางและลำดับการเดินทางไปยังจุดต่าง ๆ จนครบทุกจุด ไม่เดินทางไปซ้ำจุดเดิม โดยระยะเวลาการทำงานไม่เกินเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เพื่อให้ได้ผลรวมของค่าใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงานที่มีค่าน้อยที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการดำเนินงานวิจัยเพื่อนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Non - linear integer Programming เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงโดยใช้ต้นทุนต่อวันทีน้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และตรงตามความต้องการของลูกค้า กรณีศึกษาของบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง โดยใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก วิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) เป็นในการแก้ปัญหา ในบทนี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาและจำลองข้อมูลกระบวนการทำงานให้ใกล้เคียงกับข้อมูลการทำงานของบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตในส่วนที่รับผิดชอบงานซ่อมบำรุงอุปกรณ์สำหรับให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในสถานีสถาน พื้นที่กรุงเทพมหานครที่จะได้รับข้อมูลจากศูนย์รับเรื่องร้องเรียนตามพื้นที่ที่พนักงานรับผิดชอบ ในทุกการเดินทางต้องเริ่มต้นจากศูนย์รับเรื่องร้องเรียนของพื้นที่ตามกรณีศึกษา จากนั้นเดินทางไปยังสถานีสถานต่าง ๆ จนครบตามที่ได้วางแผนไว้ และพนักงานซ่อมบำรุงต้องเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้นจึงถือว่าจบการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุง โดยเลือกปัญหาการเดินทาง จำนวน 16 ชุดข้อมูล

##### 4.1.1 ชุดข้อมูล 1

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 20 จุด

##### 4.1.2 ชุดข้อมูล 2

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 22 จุด

##### 4.1.3 ชุดข้อมูล 3

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 24 จุด

##### 4.1.4 ชุดข้อมูล 4

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 19 จุด

##### 4.1.5 ชุดข้อมูล 5

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 17 จุด

##### 4.1.6 ชุดข้อมูล 6

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 21 จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**4.1.7 ชุดข้อมูล 7**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 17 จุด

**4.1.8 ชุดข้อมูล 8**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 23 จุด

**4.1.9 ชุดข้อมูล 9**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 20 จุด

**4.1.10 ชุดข้อมูล 10**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 17 จุด

**4.1.11 ชุดข้อมูล 11**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 17 จุด

**4.1.12 ชุดข้อมูล 12**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 22 จุด

**4.1.13 ชุดข้อมูล 13**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 20 จุด

**4.1.14 ชุดข้อมูล 14**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 17 จุด

**4.1.15 ชุดข้อมูล 15**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 15 จุด

**4.1.16 ชุดข้อมูล 16**

เป็นข้อมูลที่ประกอบด้วยจุดบริการจำนวน 17 จุด

แต่ละพื้นที่จะมีสถานีฐานที่ต้องรับผิดชอบประมาณ 100 สถานีฐาน มีพนักงานซ่อมบำรุงจำนวน 4 คน จากศูนย์รับเรื่องร้องเรียนไปยังสถานีฐานพนักงานใช้รถจักรยานยนต์ในการเดินทางพร้อมอุปกรณ์ในการซ่อมบำรุงรวมถึง Spare Part สำหรับเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์เดิมที่ชำรุดเสียหายตลอดจนอุปกรณ์สำหรับทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานของระบบงานเพื่อให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในสถานีฐาน โดยพนักงานซ่อมบำรุงจะได้รับข้อมูลลูกค้าที่เกิดปัญหาและผู้จัดการเส้นทางจะลำดับการเดินทางไปยังจุดที่สถานีฐานที่ให้บริการลูกค้า นั้น ๆ ตามลำดับ

โดยมีระยะทางและเวลาเดินทางระหว่างจุดเป็นค่าระยะทางของถนนภายในเมือง เริ่มต้นจากศูนย์บริการ ไปสู่สถานีฐานที่ทราบจำนวน ตำแหน่งที่ตั้ง และเวลาในการซ่อมบำรุงแต่ละสถานีฐานที่แน่นอนล่วงหน้า รายละเอียดตามตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานปัจจุบัน

ชุดข้อมูล	จำนวนเที่ยว	ระยะทางรวม	ระยะเวลา (นาที)		
		(กิโลเมตร)	เดินทาง	ปฏิบัติงาน	รวม
1	7	465.4	778	765	1,543
2	6	440.6	487	690	1,087
3	7	554.6	685	880	1,565
4	6	437.5	585	610	1,195
5	7	451.3	692	635	1,327
6	9	635.6	797	740	1,457
7	8	505.2	737	655	1,392
8	9	558.4	704	925	1,629
9	9	609.5	838	800	1,638
10	6	437.2	617	900	1,517
11	6	399.9	633	850	1,483
12	7	394.5	657	1,010	1,641
13	9	558	782	850	1,632
14	6	354.9	582	670	1,252
15	6	349.4	596	710	1,306
16	7	409.3	588	750	1,338
รวม		7,561.3	5,065.5	10,758	12,440

การจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานปัจจุบัน โดยหาระยะทางโดยใช้โปรแกรม Google Map เพื่อหาระยะทางระหว่างตำแหน่งสถานีฐานของบริษัทฯ ภายในพื้นที่รับผิดชอบ มีระยะเวลาเดินทางระหว่างจุดเป็นค่าระยะทางของถนนภายในเมือง เริ่มต้นจากศูนย์บริการไปสู่สถานีฐาน จะเห็นว่ามีการใช้ระยะเวลาเดินทางและปฏิบัติงานมาก และสามารถจัดเส้นทางโดยกำหนดเที่ยวการเดินทางของพนักงานภายใน และภายนอก รายละเอียดตามตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การจัดเส้นทางปัจจุบัน เปรียบเทียบการเดินทางของพนักงานภายใน – นอก

ชุดข้อมูล	จำนวนเที่ยว	จำนวนเที่ยว	
		พนักงานภายใน	พนักงานภายนอก
1	7	4	3
2	6	4	2
3	7	4	3
4	6	3	3
5	7	3	4
6	9	5	4
7	8	4	4
8	9	5	4
9	9	5	4
10	6	5	1
11	6	4	2
12	7	4	3
13	9	5	4
14	6	4	2
15	6	4	2
16	7	5	2
ผลรวม	115	68	47

จากตารางที่ 4.2 สังเกตว่าในชุดข้อมูล 16 ชุดข้อมูล เขตรับผิดชอบหนึ่งมีการใช้พนักงานภายในรวม 68 เที่ยวและใช้พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบอีก 47 เที่ยว เนื่องจากผู้มีหน้าที่จัดเส้นทางไม่ได้คำนึงถึงการเดินทางไปยังสถานีฐานถัดไปจากระยะทางที่สั้นที่สุดก่อนทำให้ใช้เวลาในการเดินทางมากและหน่วยงานต้องพิจารณาจ้างพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบซึ่งมีข้อดี คือ สามารถรองรับความต้องการของผู้จัดเส้นทางได้ทันที แต่ทำให้ต้นทุนค่าใช้จ่ายต่อวันของหน่วยงานสูงขึ้น หรือคิดเป็นอัตราการใช้พนักงานภายในเขตรับผิดชอบ 59% ของจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายที่นับเป็นต้นทุนต่อวันของการปฏิบัติงาน มีดังนี้

1. พนักงานภายในเขตรับผิดชอบ จำนวน 4 คน ค่าจ้างวันละ 450 บาทต่อคนต่อวัน
2. พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ ค่าจ้างเที่ยวละ 800 บาท (เที่ยวละไม่เกิน 8 ชั่วโมง และไม่มีการเพิ่มจำนวนจุดให้บริการหลังจากออกเดินทางจากศูนย์บริการแล้ว)
3. ค่าน้ำมันคิดเป็น 2 บาทต่อกิโลเมตร

ตารางที่ 4.3 ค่าใช้จ่ายก่อนการจัดเส้นทางจากของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ

ชุดข้อมูล	จำนวนพนักงาน	ค่าจ้างพนักงานต่อคนต่อวัน	ค่าจ้างพนักงาน	ระยะทาง	ค่าน้ำมัน	ค่าใช้จ่าย
	(คน)	(บาท)	(บาท)	(กิโลเมตร)	(บาท)	(บาท)
1	4	450.00	1,800.00	238.30	476.60	2,276.60
2	4	450.00	1,800.00	330.30	660.60	2,460.60
3	4	450.00	1,800.00	352.10	704.20	2,504.20
4	4	450.00	1,800.00	184.50	369.00	2,169.00
5	4	450.00	1,800.00	220.30	440.60	2,240.60
6	4	450.00	1,800.00	322.10	644.20	2,444.20
7	4	450.00	1,800.00	261.80	523.60	2,323.60
8	4	450.00	1,800.00	283.90	567.80	2,367.80
9	4	450.00	1,800.00	313.30	626.60	2,426.60
10	4	450.00	1,800.00	378.50	757.00	2,557.00
11	4	450.00	1,800.00	283.80	567.60	2,367.60
12	4	450.00	1,800.00	239.90	479.80	2,279.80
13	4	450.00	1,800.00	382.90	765.80	2,565.80
14	4	450.00	1,800.00	250.90	501.80	2,301.80
15	4	450.00	1,800.00	253.00	506.00	2,306.00
16	4	450.00	1,800.00	305.60	611.20	2,411.20
<b>รวม</b>			<b>28,800.00</b>	<b>4,601.20</b>	<b>9,202.40</b>	<b>38,002.40</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 ชุดข้อมูล 16 ชุดข้อมูล เขตรับผิดชอบหนึ่งมีการใช้พนักงานภายในเขต  
รับผิดชอบจำนวน 4 คน โดยบริษัทได้จ้างพนักงานเมื่อคำนวณเป็นรายวันแล้วจะเท่ากับ 450 บาทต่อ  
วันต่อคน เพราะฉะนั้นค่าจ้างพนักงานภายใน จะมีค่าเป็น 1,800 บาทต่อ 1 ชุดข้อมูล รวมทั้งหมด 16  
ชุดข้อมูลเป็นเงิน 28,800 บาท และค่าน้ำมันจำนวน 9,202.40 บาท รวมเป็นเงิน 38,002.40 บาท

ตารางที่ 4.4 ค่าใช้จ่ายก่อนการจัดเส้นทางจากของพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ

ชุดข้อมูล	จำนวนเที่ยว	ค่าจ้างพนักงานต่อเที่ยว	ค่าจ้างพนักงาน
		(บาท)	(บาท)
1	3	800.00	2,400.00
2	2	800.00	1,600.00
3	3	800.00	2,400.00
4	3	800.00	2,400.00
5	4	800.00	3,200.00
6	4	800.00	3,200.00
7	4	800.00	3,200.00
8	4	800.00	3,200.00
9	4	800.00	3,200.00
10	1	800.00	800.00
11	2	800.00	1,600.00
12	3	800.00	2,400.00
13	4	800.00	3,200.00
14	2	800.00	1,600.00
15	2	800.00	1,600.00
16	2	800.00	1,600.00
<b>ผลรวม</b>	<b>47</b>	<b>800.00</b>	<b>37,600.00</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 แสดงถึงค่าใช้จ่ายจากข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางของพนักงานภายนอกเขต  
รับผิดชอบ (ไม่คิดค่าน้ำมัน) ซึ่งจะคำนวณจากค่าจ้างพนักงานเท่านั้น เทียบละ 800 บาท จำนวน 47  
เที่ยว เป็นเงิน 37,600.00 บาท

ต้นทุนต่อวันที่นำมาคำนวณค่าใช้จ่ายจากการปฏิบัติงาน ได้แก่

- ค่าจ้างพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ 28,800.00 บาท
- ค่าน้ำมันที่เกิดจากการเดินทางของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ 9,202.40 บาท
- ค่าจ้างพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ 37,600.00 บาท

รวมต้นทุนต่อวันค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น 75,602.40 บาท

## 4.2 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ใน  
รูปแบบการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางขนส่งสินค้าของพนักงานขาย (Traveling Salesman  
Problem: TSP) เลือกใช้วิธีการหาคำตอบแบบ ฮิวริสติกวิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH)  
เพื่อให้ได้เส้นทางที่แตกต่างกันหลายรูปแบบ และคำนึงถึงระยะทางในการเดินทางด้วย โดยจะเลือก  
เส้นทางที่สั้นที่สุด สำหรับการเดินทางในแต่ละวัน ข้อมูลระยะทางระหว่างแต่ละจุดสร้างตารางเมตริก  
ระยะทาง ดังตารางที่ ก.1 เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในแต่ละวันโดยที่เลือกเข้าซ่อม  
บำรุงก่อนนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับศูนย์บริการของเขตรับผิดชอบมากที่สุดก่อนจากนั้นจึงเลือก  
ตำแหน่งลูกค้าต่อไปที่ใกล้จากจุดเดิมเป็นลำดับถัดไป

นำจำนวนเที่ยวเดินทางทั้งหมด จากการจัดเส้นทางมาจัดตารางการเดินทางในแต่ละวัน นำ  
ผลที่ได้มาคิดระยะทางรวมในการเดินทาง ค่าล่วงเวลา ค่าใช้จ่ายพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ  
และสามารถตรวจสอบประสิทธิภาพการซ่อมบำรุงของพนักงานภายในได้ตามตารางที่ 4.5 โดย

ค่าใช้จ่ายที่นับเป็นต้นทุนต่อวันของการปฏิบัติงาน มีดังนี้

1. พนักงานภายในเขตรับผิดชอบ จำนวน 4 คน ค่าจ้างวันละ 450 บาทต่อคนต่อวัน
2. พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ ค่าจ้างเที่ยวละ 800 บาท (เที่ยวละไม่เกิน 8 ชั่วโมง  
และไม่มีการเพิ่มจำนวนจุดให้บริการหลังจากออกเดินทางจากศูนย์บริการแล้ว)
3. ค่าน้ำมันคิดเป็น 2 บาทต่อกิโลเมตร

ตารางที่ 4.5 การเดินทางของพนักงานหลังจัดเส้นทาง

ชุดข้อมูล	จำนวนเที่ยว	ระยะทางรวม	ระยะเวลา (นาที)		
		(กิโลเมตร)	เดินทาง	ปฏิบัติงาน	รวม
1	4	251.5	481	765	1,246
2	3	215.4	332	690	1,096
3	4	287.1	465	880	1,345
4	4	289.2	469	610	1,079
5	3	241.9	404	635	1,039
6	4	297.1	447	740	1,187
7	5	317.1	485	655	1,140
8	5	241.9	515	925	1,440
9	5	354.9	525	800	1,325
10	4	267	424	900	1,324
11	5	371.8	558	850	1,408
12	6	412.1	635	1,010	1,645
13	4	282.8	439	850	1,289
14	4	274.4	433	670	1,103
15	3	255.8	376	710	1,086
16	3	249.7	408	750	1,158
รวม		4,609.7	4,102	7,396	12,440

จากตารางที่ 4.5 เมื่อทำการปรับปรุงเส้นทางจัดการเดินทางของพนักงานโดยวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกวิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) ระยะทางและระยะเวลาการเดินทางลดลงคิดเป็น 39% ของจำนวนการเดินทางก่อนการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 แสดงผลที่เกิดจากการจัดเส้นทางโดยวิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH)

ชุดข้อมูล	จำนวนเที่ยว	จำนวนเที่ยว	
		พนักงานภายใน	พนักงานภายนอก
1	4	4	0
2	3	3	0
3	4	4	0
4	4	3	1
5	3	3	0
6	4	4	0
7	5	5	0
8	5	5	0
9	5	4	1
10	4	3	1
11	5	4	1
12	6	4	2
13	4	3	1
14	4	4	0
15	3	3	0
16	3	3	0
ผลรวม	66	59	7

จากตารางที่ 4.6 คิดเป็นอัตราการใช้พนักงานภายในเขตรับผิดชอบ 89% ของจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมด ซึ่งถือว่าวิธีการนี้มีประโยชน์และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายหลังการจัดเส้นทางจากของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ

ชุดข้อมูล	จำนวนพนักงาน	ค่าจ้างพนักงานต่อคนต่อวัน	ค่าจ้างพนักงาน	ระยะทาง	ค่าน้ำมัน	ค่าใช้จ่าย
	(คน)	(บาท)	(บาท)	(กิโลเมตร)	(บาท)	(บาท)
1	4	450.00	1,800.00	251.50	503.00	2,303.00
2	4	450.00	1,800.00	215.40	430.80	2,230.80
3	4	450.00	1,800.00	287.10	574.20	2,374.20
4	4	450.00	1,800.00	206.10	412.20	2,212.20
5	4	450.00	1,800.00	241.90	483.80	2,283.80
6	4	450.00	1,800.00	297.10	594.20	2,394.20
7	4	450.00	1,800.00	317.10	634.20	2,434.20
8	4	450.00	1,800.00	241.90	483.80	2,283.80
9	4	450.00	1,800.00	270.80	541.60	2,341.60
10	4	450.00	1,800.00	203.30	406.60	2,206.60
11	4	450.00	1,800.00	290.50	581.00	2,381.00
12	4	450.00	1,800.00	304.70	609.40	2,409.40
13	4	450.00	1,800.00	194.70	389.40	2,189.40
14	4	450.00	1,800.00	274.40	548.80	2,348.80
15	4	450.00	1,800.00	255.80	511.60	2,311.60
16	4	450.00	1,800.00	249.70	499.40	2,299.40
<b>รวม</b>			<b>28,800.00</b>	<b>4,102.00</b>	<b>8,204.00</b>	<b>37,004.00</b>

เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ ผู้วิจัยได้วางแผนการจัดเส้นทางใหม่โดยมีจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมดลดลงเหลือ 66 เที่ยวโดยใช้พนักงานภายในเขตรับผิดชอบเพิ่มเป็น 59 เที่ยว และใช้พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบอีก 7 เที่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดข้อมูล 16 ชุดข้อมูล เขตรับผิดชอบหนึ่งมีการใช้พนักงานภายในรวม 59 เทียว จากพนักงานภายในเขตรับผิดชอบจำนวน 4 คน จากตารางที่ 4.7 ชุดข้อมูล 16 ชุดข้อมูล เขตรับผิดชอบหนึ่งมีการใช้พนักงานภายในเขตรับผิดชอบจำนวน 4 คน โดยบริษัทได้จ้างพนักงานเมื่อคำนวณเป็นรายวันแล้วจะเท่ากับ 450 บาทต่อวันต่อคน เพราะฉะนั้นค่าจ้างพนักงานภายใน จะมีค่าเป็น 1,800 บาทต่อ 1 ชุดข้อมูล รวมทั้งหมด 16 ชุดข้อมูลเป็นเงิน 28,800 บาท และค่าน้ำมันจำนวน 8,204.00 บาท รวมเป็นเงิน 37,004.00 บาท

ตารางที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายก่อนการจัดเส้นทางจากของพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ

ชุดข้อมูล	จำนวนเทียว	ค่าจ้างพนักงานต่อเทียว	ค่าจ้างพนักงาน
		(บาท)	(บาท)
1	0	800.00	-
2	0	800.00	-
3	0	800.00	-
4	1	800.00	800.00
5	0	800.00	-
6	0	800.00	-
7	0	800.00	-
8	0	800.00	-
9	1	800.00	800.00
10	1	800.00	800.00
11	1	800.00	800.00
12	2	800.00	1,600.00
13	1	800.00	800.00
14	0	800.00	-
15	0	800.00	-
16	0	800.00	-
<b>ผลรวม</b>	<b>7</b>	<b>800.00</b>	<b>5,600.00</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.8 แสดงถึงค่าใช้จ่ายจากข้อมูลก่อนการจัดเส้นทางของพนักงานภายนอกเขต  
รับผิดชอบ (ไม่คิดค่าน้ำมัน) ซึ่งจะคำนวณจากค่าจ้างพนักงานเท่านั้น เทียบละ 800 บาท จำนวน 7  
เที่ยว เป็นเงิน 5,600.00 บาท

ต้นทุนต่อวันที่นำมาคำนวณค่าใช้จ่ายจากการปฏิบัติงาน ได้แก่

- ค่าจ้างพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ 28,800.00 บาท
- ค่าน้ำมันที่เกิดจากการเดินทางของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบ 8,204.00 บาท
- ค่าจ้างพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ 5,600.00 บาท

รวมต้นทุนต่อวันค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น 42,604.00 บาท

การใช้พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบเป็นผลที่เกิดจากการจัดเส้นทางที่ขาดประสิทธิภาพ  
เพราะเมื่อได้รับการทบทวนและวิเคราะห์การจัดเส้นทางโดยผู้ที่มีทักษะก็สามารถลดค่าใช้จ่ายได้  
การลดลงของจำนวนเที่ยวการเดินทางของพนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบ จะมีผลโดยตรงกับ  
ค่าใช้จ่าย สามารถสรุปได้ว่า ค่าใช้จ่ายโดยรวมที่เกิดจากการเดินทาง ซึ่งค่าน้ำมันที่เกิดจากการ  
เดินทางของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบก่อนการจัดเส้นทางเป็นเงิน 9,202.40 บาท ลดลงเป็น  
8,204.00 บาท หรือลดลงคิดเป็น 11% นอกจากนี้ยังรวมถึงค่าใช้จ่ายของพนักงานภายนอกเขต  
รับผิดชอบ พบว่าการใช้พนักงานจัดเส้นทางทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมด 75,602.40 บาท เมื่อใช้วิธีการ  
จัดเส้นทางด้วยวิธีวิธิตศิศจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดลดลงเป็น 42,604.00 บาท ทำให้ค่าใช้จ่าย  
ลดลงจากเดิมประมาณ 44%

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการดำเนินงานวิจัยนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบ Non - linear integer Programming เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงโดยใช้ต้นทุนต่อวันที่น้อยที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และตรงตามความต้องการของลูกค้า กรณีศึกษาของบริษัทผู้ให้บริการโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านใยแก้วนำแสง โดยใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก วิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) เป็นในการแก้ปัญหา เพื่อหาระยะทางที่เหมาะสมที่สุด โดยลำดับการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า และลดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

พบปัญหาที่เกิดขึ้น ช่วงเดือน พฤษภาคม – สิงหาคม พ.ศ. 2558 ลูกค้าจำนวน 392 ราย คือ ปัญหาพนักงานเดินทางถึงจุดบริการช้ากว่ากำหนดมีปริมาณถึง 21% และปัญหาการใช้พนักงานภายนอกหน่วยงานเป็นลำดับรองลงมา คือ 16 % ของจำนวนลูกค้าทั้งหมด

เมื่อปรับปรุงการจัดเส้นทางแล้วทำให้ปัญหาพนักงานเดินทางถึงจุดบริการช้ากว่ากำหนดมีปริมาณลดลงซึ่งจะเห็นได้จากระยะทางการเดินทางของพนักงานลดลงจาก 7,561.30 กิโลเมตร เหลือ 4,607.70 กิโลเมตร ทำให้ค่าน้ำมันที่เกิดจากการเดินทางของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบก่อนการจัดเส้นทางเป็นเงิน 9,202.40 บาทลดลงเป็น 8,204.00 บาท หรือลดลงคิดเป็น 11% และปัญหาการใช้พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบจากเดิมใช้พนักงานภายนอกเขตรับผิดชอบจำนวน 47 เทียวย ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ภายในเขตรับผิดชอบลดลงเหลือเพียง 7 เทียวยการเดินทาง

เมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการจัดเส้นทางโดยวิธีการปัจจุบัน และการปรับปรุงการจัดเส้นทางโดยใช้วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก วิธี Nearest Neighbor Heuristics (NNH) นั้น

วิธีปัจจุบันพนักงานจัดเส้นทางทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมด 75,602.40 บาท เมื่อใช้วิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกจะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดลดลงเป็น 42,604.00 บาท ทำให้ค่าใช้จ่ายลดลงจากเดิมประมาณ 44%

การปรับปรุงการจัดเส้นทางนี้จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนต่อวันที่เกิดขึ้นได้แล้ว เมื่อระยะทางหรือระยะเวลาการเดินทางการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงลดลงแล้วยังทำให้ลูกค้ามีความพึงพอใจเพิ่มมากขึ้น ความน่าเชื่อถือของหน่วยงานเพิ่มมากขึ้นอาจจะทำให้ปริมาณการร้องเรียนของลูกค้าลดลง ทั้งยังทำให้การประเมินประสิทธิภาพรายบุคคลของพนักงานภายในเขตรับผิดชอบอยู่ในเกณฑ์ดีอีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในกรณีที่การการเพิ่มการบริการ พนักงานที่กำลังเดินทางจะไม่มีฐานข้อมูลของระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายดังนั้นควรมีการทำฐานข้อมูลในส่วนเพิ่มเพื่อความแม่นยำ

5.2.2 ในการคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุดจากการพัฒนาครั้งนี้ไม่ได้คำนึงถึงจุดที่อยู่ในพื้นที่รถติด มีผลต่อระยะเวลาในการจัดเส้นทางได้ ครั้งต่อไปอาจมีการปรับตารางเมตริกระยะทางของจุดบริการพื้นที่ที่รถติด เพื่อชดเชยในเรื่องของเวลาระหว่างรถติด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- กมลชนก สุทธิวาทนฤพุด, ศลิษา ภมรสถิตย และจักรกฤษณ์ ดวงพิศตรา. 2544. การจัดการโลจิสติกส์. แมคกรอ-ฮิล, กรุงเทพฯ.
- คำนาย อภิปรัชญาสกุล. 2556. การบริหารเส้นทางการขนส่งสินค้า. ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โฟกัส มีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง.
- จุฑาทิพย์ พุฒพันธ์. 2557. “อัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดการเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายของแบบไม่สมมาตร” บัณฑิตวิทยาลัย สาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม, สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น.
- จุลิศร ชนะสิทธิ์ และสรวิชัย เยาวสุวรรณไชย. 2556. “การพัฒนาโปรแกรมการจัดการเส้นทางการเดินทางขนส่งสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผู้ให้บริการด้านธุรกิจขนส่งสินค้า”. WMS Journal of Management. 2 : 55 – 69.
- ณกร อินทร์พุง. 2548. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรม การขนส่งและโลจิสติกส์. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- ธราพงศ์ แซ่ตั้ง. 2553. “การปรับปรุงการจัดการเส้นทางการเดินทาง รถขนส่งสินค้า กรณีศึกษาบริษัทผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์รายหนึ่ง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ธริณี มณีศรี. 2552. "ขั้นตอนวิธีการสำหรับการหาผลเฉลยเชิงทันทานของปัญหาการจัดการเส้นทางการเดินทางขนส่งแบบมีกรอบเวลาและเวลาเดินทางไม่แน่นอน", วิทยานิพนธ์ปริญญาเอก, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นพกฤต ก้อนใจ. 2551. “การออกแบบสร้างระบบอัตโนมัติในการเฝ้าระวังความผิดปกติของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยแผนภูมิควบคุม” บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- นลินี อุดมสมบัติมีชัย, พีรยุทธ์ ชาญเศรษฐ์กุล. 2005 "การประยุกต์วิธีศึกษาสำนึกสำหรับจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา. Proceedings of the 5th GS1/TLAPS/Thai VCML Industrial - Academic Annual Conference on Supply Chain and Logistics Management.
- พงศ์พัฒน์ ไตตระกูล. 2546. “วิธีการค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดการเส้นทางการขนส่งเวชภัณฑ์” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ระพีพันธ์ ปิตาโคโส. 2554. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์, กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- รื่นฤดี อัครมณี. 2553. “การพัฒนาการจัดเส้นทางเดินรถของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ บัณฑิตวิทยาลัยการจัดการและนวัตกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สรสวรรค์ รัศมีโสรัส. 2551. “การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อหาจำนวนรถบรรทุกที่เหมาะสมในการส่งสินค้า กรณีศึกษา บริษัท ซีพีเอฟ เทรดดิ้ง จำกัด”
- อดิศร สาดแสงจันทร์. 2552. “การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งหลายขนาดบรรทุกและหลายช่องบรรจุสำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงหลายชนิด” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- Aarts, E. and J.K. Lenstra. 1997. *Local Search in Combinatorial Optimization*, Wiley and Sons, Inc.
- Agarwal, Y., K. Mathur and H.M. Salkin. 1989. "A set-partitioning-based exact algorithm for the vehicle routing problem". *Networks* 19 (7) : 731-749.
- Bräysy, O., Nakarić, P., Dullaert, W., Neittaanmäki, P., 2009. "An optimization approach for communal home meal delivery Service : A case study", *Journal of Computational and Applied Mathematics* : 46-53.
- Carter, A.E. and Ragsdale, C.T.. “Scheduling preprinted newspaper advertising inserts using genetic algorithms”, *Omega*, 30 : 415–421.
- Christofides, N. 1985. “The traveling salesman problem”. *A Guided Tour of Combinatorial Optimization* : 431-448.
- Dorigo, M., V. Maniezzo and A. Coloni. 1996, "The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents". *IEEE Trans. on Systems* 26 (1) : 1-13.
- Gillett, B. and Miller, L., 1974, "A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem". *Operations Research* 22 (2) : 340-349.
- Glover, F. 1989, *Tabu Search-Part I*. *ORSA Journal on Computing* 1 (3) : 190-206.
- Imdat Kara, Tolga Bektas. 2006 “Integer Linear Programming Formulation of the Generalized Vehicle Routing Problem” *European Journal of Operational Research*. 174 : 1449–1458.
- Ioannis Petrakis , Christian Hass, Martin Bichler. 2012. “On the impact of real-time information on field service scheduling”, *Decision Support Systems* : 282–293.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- Korhan K. and M. Fatih T., 2014. "A variable iterated greedy algorithm for the traveling salesman". *Information Sciences problem with time windows*. : 383–395.
- Laporte G., F.V. Louveaux and H. Mecure. 1992. "The vehicle routing problem with stochastic travel times". *Transportation Science*. 26 (3) : 161-170.
- Lau, H.C., Sim, M. and Tao, K.M., 2003. "Vehicle Routing Problem with Time Windows and a Limited Number of Vehicles". *European Journal of Operational Research*. 148 : 559-569.
- Metropolis, N., A.W. Rosenbluth, M.N. Rosenbluth, A.H. Teller and E. Teller, 1953, "Equations of state calculations by fast computing machine". *Journal of Chemical Physic*. 21 (6) : 1087-1092.
- Paletta, P. 2002. "The period traveling salesman problem: A new heuristic algorithm". *Computer and Operations Research*. 29 (10) : 1343-1352.
- Potvin, J.Y. and Rousseau, J.M. 1995. "An exchange heuristic for routing problems with time windows". *Journal of the Operations Research Society*. 46 (12) : 1433–1446.
- Sam, R.T. 1995. "Vehicle Routing with Time Windows using Genetic Algorithms" submitted to the book on *Application Handbook of Genetic Algorithms : New Frontiers* : 253-277.
- Solomon, M.M. 1987. "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time windows. constraints". *Operations Research*. 35 (2) : 254–265.
- Tan, KC., L.H. Lee and K. Ou. 2001. "Heuristic Methods for Vehicle Routing with Time Windows", *Artificial Intelligence in Engineering* : 281-295.
- Thangiah, S.R., Potvin, J.Y. , and T. Sun. 1996. "Heuristics approaches to vehicle routing with backhauls and time windows". *Computer and Operations Research*. 23 (11) : 1043-1057.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

## ข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลอง

ตารางที่ ก.1 เมตริกการขยายทาง (กิโลเมตร)

ปี	BKX/ BPL	TBKP	BKUM	EGSW	MKHN	MTRN	WDTC	M239	ON55	WSUK	WTSR	KHRM	C919	SUK2	KSLY	PWT1	RG5G	LZSC	ANRK	MDRM	SLNG	RSMK	ON66	ON88	WRKS
	0	23.3	23.3	32.4	23.9	24	25.9	19.2	15.9	27.4	24.5	26.2	11.2	15.7	17.6	16.2	10.6	10.6	20.1	23.1	19.5	14.8	18.5	12.4	32.8
	26.4	0	7.1	17.2	8.7	8.9	9.2	6.7	9.2	5	21.8	11	12.6	15.2	9.4	17.5	19.1	21.2	16.1	7.8	10.6	19.9	10.3	13.7	30.1
	23.1	10.3	0	14.6	4.2	6.3	5.2	11.7	15	14.1	19.2	8.4	20	16.3	16.8	18.6	29.9	30	9.4	7.8	18.1	21	16.3	14.8	23.5
	33.9	18.8	16.6	0	14.5	11.5	21.2	24.1	26.7	22.4	5	13.4	30	24.7	28.4	27	38.3	38.4	11.1	23.8	33.5	29.4	29.3	23.2	21.1
	22.8	8.7	4.2	12.9	0	4.6	9.1	14	16.6	12.3	17.5	6.7	19.9	14.6	18.3	16.9	28.2	28.8	9.8	11.7	23.4	20.2	19.2	13.1	29.4
	25.1	8	5.8	11.4	3.7	0	10.4	19.3	15.9	11.6	15.9	5.1	21.7	13.9	17.6	16.2	27.5	27.6	8.3	13	22.7	18.6	18.5	12.4	28.7
	22.6	10.6	5	19.7	8.9	11.3	0	7.2	10.4	8.1	19.1	13.4	15.5	18.8	10.8	16.8	15.3	15.4	15.6	14	15.4	5.2	9	2.9	23.7
	22.2	6.8	13.1	22.6	17	21	8.8	0	4.2	5.6	24.4	21.6	9.4	10.6	4.6	11.5	16.8	12.7	20	5.9	7.5	14.7	5.5	7.5	28.2
	18.4	15	14	25.4	15.5	17.2	13.2	5.4	0	9.2	20.7	19.2	9.2	6.8	3.7	5.4	20.8	20.8	16.3	10.3	11.1	10.8	4.7	3.7	24.5
	24.7	4.9	12.8	20.8	12.3	12.4	8.5	5.1	6.6	0	24.1	14.5	10	13.5	6.8	15.8	17.3	13.3	19.7	5.6	8	18.2	7.7	12	27.9
	24.8	18	15.9	4.2	13.8	10.8	20.5	24.5	21.8	21.7	0	12.7	30.4	19.8	23.5	22.1	33.5	33.5	8	23.1	28.4	24.5	24.4	18.3	19.3
	27.6	10.4	8.3	11.3	6.1	3.1	12.8	15.8	18.4	14	15.9	0	24.1	16.3	20	18.6	30	30	8.2	15.5	19.7	21.1	20.9	14.9	31.1
	15.4	19.3	18.4	28.5	19.9	20.1	22	14.9	11.6	18.6	25.1	22.2	0	10.8	9.3	7.2	6.1	7.8	20.7	19.1	13.4	3.8	10.2	8.1	28.8
	11.7	15.1	14.1	24.2	15.7	15.8	17.7	10.6	7.3	15.1	19.4	17.9	12.4	0	9	5	14.2	14.2	15	14.8	16.3	4.8	9.9	3.8	24.6
	19.3	8.4	15	25.1	16.5	16.7	11.2	3.3	1.4	7.2	21.7	18.8	7.8	7.8	0	8.5	9.4	11.1	17.3	8.3	9	11.8	3.5	4.7	25.4
	12.9	14.2	13.2	23.3	14.8	15	16.5	9.7	6.4	14.2	20	17.1	8.4	5	8.1	0	15.3	18	15.6	14	15.4	5.2	9	2.9	23.7
	12.4	26.3	25.3	35.4	26.9	27	28.6	11.8	9.8	28.2	32	29.1	4	12.5	8.7	13.2	0	2.2	27.6	26.4	12.8	7.6	9.7	15.4	35.8
	15.3	29.2	28.3	38.4	29.8	30	18.5	12.5	11.2	18.9	35	32.1	5.4	15.4	10.1	16.2	2.2	0	30.6	15.6	11.9	9	11	18.4	38.8
	24.5	13.9	11.8	9.5	9.6	6.6	16.3	23.2	21.5	28.2	10.8	8.5	30.6	19.5	23.2	21.8	35.2	33.2	0	18.9	28.1	24.2	24.1	18	24.8
	27.2	6.3	7.6	22.3	11.5	14	3.3	4.3	7.6	6.5	21.7	16.1	12.6	15.9	9.4	14.7	24.8	16	14.6	0	10.7	20.7	8.9	14.5	25.6
	27.6	27.6	12.4	18.3	28.3	19.8	20	13.9	8	9.2	8.5	29.6	22.1	11.2	15.6	8.1	16.3	15.2	17.3	25.2	0	11.1	14.8	9	33.4
	12.8	12.8	18.8	18.2	28.3	19.7	19.9	21.8	14.5	11	19.1	24.9	22	5.1	4.9	10.6	5.3	7.4	9.2	20.5	18.9	0	11.6	7.5	28.6
	17.2	17.2	8.7	16.3	27.8	19.3	20.9	11.5	6.1	4.1	7.5	24.4	21.6	6.3	10.5	3	11.2	7.8	9.6	20	8.7	7.3	0	7.5	28.2
	16.4	16.4	13	12	22.1	15.6	13.8	15.6	6.9	3.6	10.7	18.7	15.9	10.7	4.8	5.2	5.5	18.8	18.9	14.4	12.8	12.6	8.9	0	22.5
	25.2	25.2	30.8	27.6	26	31.3	28.5	27	28.9	26.2	30.4	20.2	33.6	31.3	24.2	27.9	26.5	37.8	37.9	22.1	30.2	32.8	28.9	28.8	0

ตารางที่ ก.2 ระยะเวลากาการเดินทางและระยะเวลาขนำอยู่ปรกรณ์ (นาที)

I/J	BKK/ BPL	TBKP	BKUM	EGSW	MKHN	MTRN	WDTC	M239	OM55	WSUK	WTSR	KHRM	C919	SUK2	KSLY	PWT1	RG5G	LZ5C	ANRK	MDRM	SLNG	RSMK	ON66	ON88	WRKS
BKK/BPL	0	31	30	40	31	31	33	27	23	35	31	34	19	24	25	29	19	18	28	31	27	22	26	21	41
TBKP	34	0	15	25	16	16	16	14	17	12	29	19	20	23	17	25	28	29	22	15	18	27	19	21	39
BKUM	32	18	0	22	12	15	15	19	23	22	27	16	27	24	24	26	37	38	21	15	27	28	24	28	31
EGSW	43	26	24	0	23	19	29	32	34	29	12	21	37	32	36	35	47	47	19	32	40	35	37	31	28
MKHN	33	16	12	20	0	12	17	20	24	20	25	14	28	22	26	24	37	36	17	19	31	29	31	21	6
MTRN	33	15	13	20	11	0	18	20	25	19	24	13	29	21	25	25	35	35	16	20	31	27	26	21	11
WDTC	31	69	12	27	16	19	0	16	18	16	28	21	23	26	18	24	24	23	23	22	24	13	16	10	7
M239	30	14	21	34	24	28	16	0	12	13	32	29	17	18	12	19	24	21	27	14	19	22	14	16	7
ON55	25	22	21	33	23	25	21	13	0	17	28	28	17	14	11	13	28	28	24	18	19	19	13	11	32
WSUK	32	12	20	28	20	20	16	18	14	0	32	22	17	21	14	28	26	21	27	13	15	26	15	18	35
WTSR	32	26	23	12	20	19	28	32	29	32	0	20	38	27	31	30	42	41	15	31	36	32	33	27	28
KHRM	35	18	19	27	14	11	20	23	25	21	23	0	32	24	30	34	37	38	20	23	27	29	28	23	40
C919	23	27	26	35	27	28	29	22	19	21	34	31	0	18	17	16	15	16	28	28	21	12	18	16	36
SUK2	20	22	22	32	23	23	26	18	15	23	27	25	21	0	16	12	23	22	22	22	21	11	15	11	33
KSLY	27	16	22	34	24	24	19	11	9	15	29	27	15	18	0	17	17	19	25	16	17	19	11	12	34
PWT1	20	22	21	32	22	22	24	17	14	22	27	25	22	12	16	0	24	25	23	22	24	13	16	10	31
RG5G	20	34	38	44	34	34	36	19	17	32	39	37	11	20	16	22	0	11	35	35	20	16	21	23	44
LZ5C	23	37	36	47	37	37	26	28	19	28	42	41	13	24	19	25	10	0	38	23	20	17	18	27	46
ANRK	32	21	19	17	18	18	24	32	29	34	18	17	38	28	31	29	45	41	0	26	37	32	33	25	32
MDRM	36	14	16	31	20	21	12	13	15	15	29	24	21	23	18	23	32	24	23	0	18	25	15	20	30
SLNG	35	36	20	27	36	27	27	21	15	18	17	37	30	19	24	16	24	23	26	37	0	8	22	16	21
RSMK	28	30	27	31	36	30	35	39	23	23	27	35	37	23	12	26	13	15	20	36	25	0	15	19	15
ON66	25	25	16	25	35	27	29	19	17	20	16	32	30	18	18	11	19	16	17	28	20	15	0	11	14
ON88	24	25	23	27	31	21	22	23	15	11	18	32	23	18	15	21	13	26	32	22	20	21	16	0	13
WRKS	33	33	38	35	33	42	44	31	35	32	38	28	40	39	32	35	32	45	45	29	38	40	34	36	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 1 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	11.2	22.2	3.1	25.1	61.6
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	15.7	15.1	9.2	22.6	62.6
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	15.9	15.5	0	25.8	57.2
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	15.7	15.1	6.8	19.3	56.9
5	พนักงานภายนอก คนที่ 1	19.2	24.4	24.8	23.3	91.7
6	พนักงานภายนอก คนที่ 2	23.3	10.3	5	24.7	63.3
7	พนักงานภายนอก คนที่ 3	32.4	16.6	23.1		72.1
รวม						465.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 2 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	32.4	33.5	8.5	24.5	22.2	121.1
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	18.5	24.4	8.3	21	12.8	85
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	32.8	0	20.2	20	19.3	92.3
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	19.2	7.5	13.9	22.2		62.8
5	พนักงานภายนอก คนที่ 1	14.8	24.9	21.1	12.8		73.6
6	พนักงานภายนอก คนที่ 2	17.6	25.4	24.2	3.3	22.2	92.7
รวม							440.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 3 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	10.6	30	10.4	15.5	15.4	81.9
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	26.2	20.9	6.1	0	18.4	71.6
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	10.6	24.2	27.9	28.8	16.4	107.9
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	25.9	14	25.6	25.2		90.7
5	พนักงาน ภายนอก คนที่ 1	17.6	7.8	11.6	3.7	16.4	57.1
6	พนักงาน ภายนอก คนที่ 2	24.5	4.2	33.5	27.6		89.8
7	พนักงาน ภายนอก คนที่ 3	25.9	16.8	12.9			55.6
รวม							472.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 4 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	23.1	7.6	6.3	10.4	22.6	70
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	23.1	24.8	12.4			60.3
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	17.6	9	27.6			54.2
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	17.6	11.2	11.3	25.1		65.2
5	พนักงานภายนอก คนที่ 1	10.6	32	4.2	29.3	17.2	93.3
6	พนักงานภายนอก คนที่ 2	24.5	15.9	29.9	12.5	11.7	94.5
รวม							437.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.7 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 5 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	10.6	7.6	6.3	10.4	22.6	57.5
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	17.6	11.1	28.3	23.1		80.1
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	24.5	24.5	9.2	24.5		82.7
4	พนักงาน ภายนอก คนที่ 1	15.7	15.1	26.4			57.2
5	พนักงาน ภายนอก คนที่ 2	15.9	16.3	24.5			56.7
6	พนักงาน ภายนอก คนที่ 3	10.6	15.3				25.9
7	พนักงาน ภายนอก คนที่ 4	19.5	25.2	21.7	24.8		91.2
รวม							451.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 6 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	27.4	27.9	25.2		80.5
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	25.9	14	27.2		67.1
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	12.4	16.4	26.4		55.2
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	25.9	19.7	35.9		81.5
5	พนักงานภายใน คนที่ 3	12.4	12.6	12.8		37.8
6	พนักงานภายนอก คนที่ 1	18.5	19.3	25.1		62.9
7	พนักงานภายนอก คนที่ 2	32.8	26	28.2	12.4	99.4
8	พนักงานภายนอก คนที่ 3	26.2	20	9	27.6	82.8
9	พนักงานภายนอก คนที่ 4	19.2	13.1	16.8	19.3	68.4
รวม						635.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 7 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	10.6	38.4	38.3	12.4	99.7
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	23.3	11.7	10.6	11.7	57.3
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	16.2	17.1	15.5	27.2	76
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	12.4	16.4			28.8
5	พนักงาน ภายนอก คนที่ 1	26.2	27.6			53.8
6	พนักงาน ภายนอก คนที่ 2	11.2	7.8	15.3		34.3
7	พนักงาน ภายนอก คนที่ 3	24.5	24.5	12.8		61.8
8	พนักงาน ภายนอก คนที่ 4	32.4	33.5	27.6		93.5
<b>รวม</b>						<b>505.2</b>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.10 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 8 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	23.3	15.2	3.8	16.4	58.7
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	26.2	18.4	5.4	12.9	62.9
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	23.3	10.6	0	27.6	61.5
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	14.8	11	24.7		50.5
5	พนักงานภายใน คนที่ 4	23.1	0	27.2		50.3
6	พนักงานภายนอก คนที่ 1	18.5	6.3	11.7		36.5
7	พนักงานภายนอก คนที่ 2	24	8.3	24.2	12.8	69.3
8	พนักงานภายนอก คนที่ 3	24	27.5	26.1	27.2	104.8
9	พนักงานภายนอก คนที่ 4	24	27.5	12.4		63.9
รวม						558.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 9 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	24.5	23.5	19.3		67.3
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	32.8	31.3	25.1		89.2
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	15.7	7.3	18.4		41.4
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	20.1	18	16.4		54.5
5	พนักงานภายใน คนที่ 3	23.9	12.3	24.7		60.9
6	พนักงานภายนอก คนที่ 1	20.1	33.2	15.3		68.6
7	พนักงานภายนอก คนที่ 2	23.3	13.7	16.4	26.4	79.8
8	พนักงานภายนอก คนที่ 3	32.8	0	28.5	22.6	83.9
9	พนักงานภายนอก คนที่ 4	10.6	26.1	27.2		63.9
รวม						609.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 10 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	23.3	4.2	4.2	23.1	54.8
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	24	18.6	18.8	23.1	84.5
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	15.7	15.7	11.7	27.2	70.3
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	10.6	11.9	28.3	25.8	76.6
5	พนักงานภายใน คนที่ 1	11.2	25.1	28.4	27.6	92.3
6	พนักงานภายนอก คนที่ 1	27.4	4.9	26.4		58.7
รวม						437.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 11 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	20.1	29.8	38.4	26.3	114.6
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	32.4	15	4.6	15.1	67.1
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	10.6	8.4	19.7	6.3	45
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	32.8	5.5	8.4	10.4	57.1
5	พนักงานภายนอก คนที่ 1	11.2	6.1	38.4	26.3	82
6	พนักงานภายนอก คนที่ 2	15.7	11.6	6.8		34.1
รวม						399.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 12 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	23.3	15.2	3.8	16.4		58.7
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	26.2	18.4	5.4	12.9		62.9
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	23.3	10.6	0	27.6		61.5
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	14.8	11	12.4	8	10.6	56.8
5	พนักงานภายนอก คนที่ 1	23.1	0	14	25.1		62.2
6	พนักงานภายนอก คนที่ 2	18.5	6.3	15.8	15.9		56.5
7	พนักงานภายนอก คนที่ 3	15.7	3.8	16.4			35.9
รวม							394.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 13 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	24.5	23.5	17.3	24.5	89.8
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	32.8	31.3	3.7	25.8	93.6
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	15.7	7.3	16.3	24.5	63.8
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	12.4	16.4	26.4		55.2
5	พนักงานภายใน คนที่ 3	27.4	27.9	25.2		80.5
6	พนักงานภายนอก คนที่ 1	10.6	2.2	12.4		25.2
7	พนักงานภายนอก คนที่ 2	15.7	7.3	18.4		41.4
8	พนักงานภายนอก คนที่ 3	17.6	17.3	24.5		59.4
9	พนักงานภายนอก คนที่ 4	24	25.1			49.1
รวม						558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 14 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	32.4	6.3	12.9	10.3	61.9
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	25.9	18.5	18.2	10.3	72.9
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	17.6	15.8	23.4	6.3	63.1
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	20.1	10.1	12.4	10.4	53
5	พนักงานภายนอก คนที่ 1	15.7	20.1	12.9	10.3	59
6	พนักงานภายนอก คนที่ 2	24.5	7.7	12.8		45
รวม						354.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 15 (กิโลเมตร)

เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	32.4	8.4	0	25.2	66
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	32.4	14.6	4.2	18.8	70
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	23.3	7.8	23.2	15.1	69.4
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	25.9	11.4	10.3	0	47.6
5	พนักงานภายนอก คนที่ 1	23.3	7.8	13.9	0	45
6	พนักงานภายนอก คนที่ 2	26.2	0	25.2	0	51.4
<b>รวม</b>						349.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลการเดินทางชุดข้อมูลที่ 16 (กิโลเมตร)

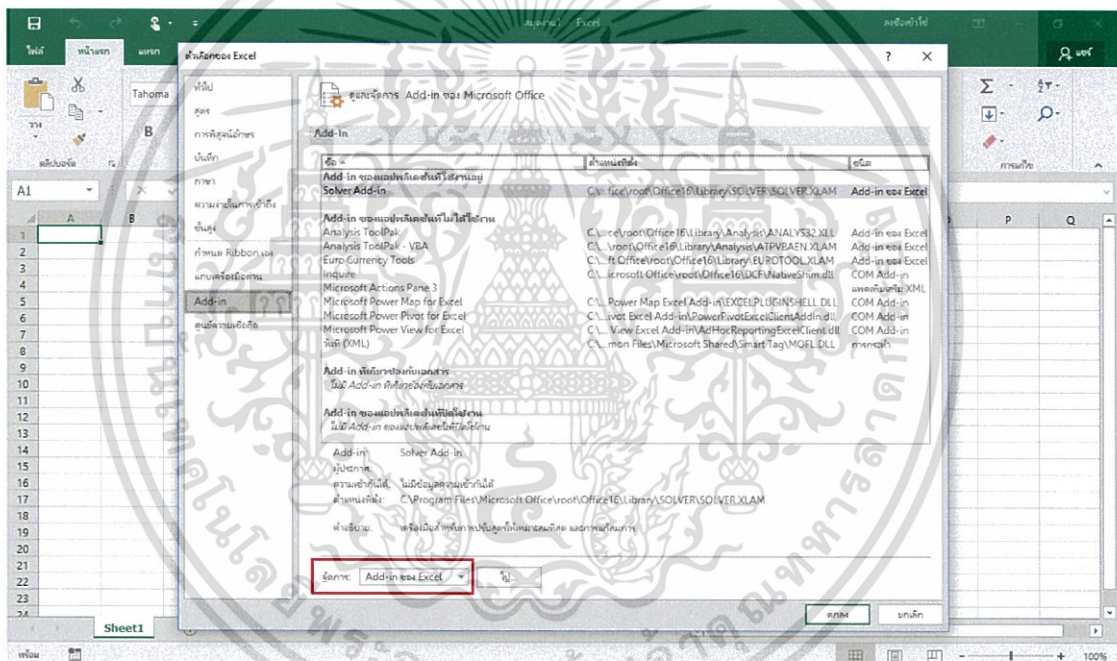
เที่ยวที่	พนักงาน	จุดที่ 0	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	ระยะทางรวม
1	พนักงานภายใน คนที่ 1	10.6	38.4	27	12.9	88.9
2	พนักงานภายใน คนที่ 2	23.3	18.1	0	27.6	69
3	พนักงานภายใน คนที่ 3	16.2	2.9	12.6	12.8	44.5
4	พนักงานภายใน คนที่ 4	12.4	5.2	12.9		30.5
5	พนักงานภายใน คนที่ 4	23.9	12.9	35.9		72.7
6	พนักงานภายนอก คนที่ 1	11.2	9.3	19.3		39.8
7	พนักงานภายนอก คนที่ 2	24	27.5	12.4		63.9
รวม						409.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข. ขั้นตอนการใช้ Excel Solver

การใช้โปรแกรม Microsoft Excel ช่วยจัดรูปแบบการนำข้อมูลเข้า รูปแบบรายงานได้ตามต้องการ และใช้แก้ปัญหาตัวแบบกำหนดการเชิงเส้นที่มีขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้แก้ปัญหาที่มีตัวแปรไม่เกิน 200 ตัว และเงื่อนไขบังคับไม่เกิน 100 ข้อ

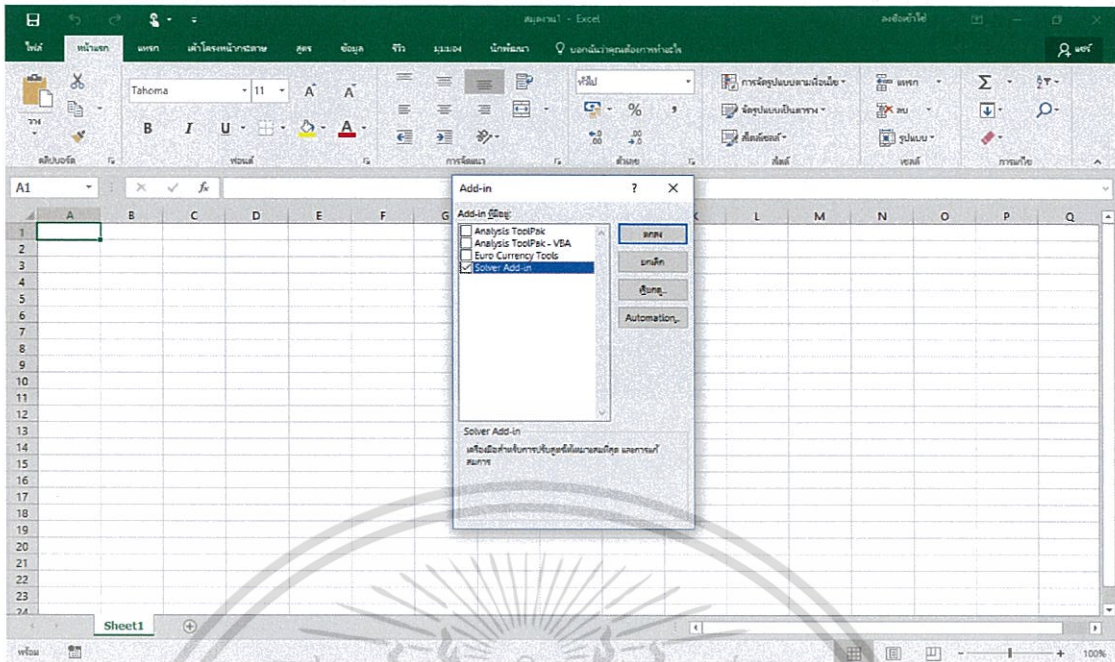
ในการคำนวณจะใช้ Excel Solver ซึ่งเป็นโปรแกรมย่อย (Add - in) โดยเลือก ตัวเลือก จะแถบ ไฟล์ จะแสดงรายการโปรแกรมย่อย และเลือก Add - in เพื่อเลือก Add-in ของ Excel จัดการ ตามรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 หน้าจอเพื่อเรียกโปรแกรมย่อย

เมื่อเลือก Add-in ของ Excel จัดการแล้ว หน้าจอจะแสดงตามรูปที่ ข.2 เลือก Solver Add-in จึงจะเสร็จสิ้นการติดตั้งและพร้อมใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.2 หน้าจอเพื่อเลือก Solver Add-in

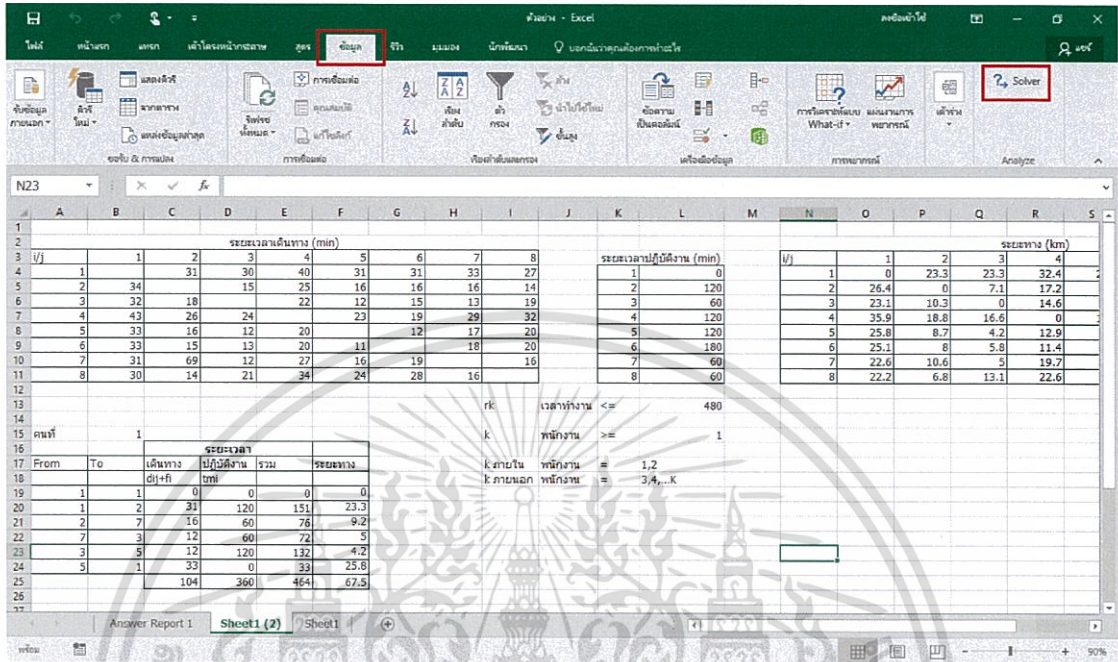
การเรียกใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver ดังนี้  
**ขั้นตอนที่ 1** นำเข้าข้อมูลที่ต้องการ

i/j	BKK/BPL	TBKP	BKUM	EGSW	MKHN	MTRN	WDTC	M239	ระยะเวลาปฏิบัติงาน (min)		
4	BKK/BPL		31	30	40	31	31	33	27	BKK/BPL	0
5	TBKP	34		15	25	16	16	16	14	TBKP	120
6	BKUM	32	18		22	12	15	13	19	BKUM	60
7	EGSW	43	26	24		23	19	29	32	EGSW	120
8	MKHN	33	16	12	20		12	17	20	MKHN	120
9	MTRN	33	15	13	20	11		18	20	MTRN	180
10	WDTC	31	69	12	27	16	19		16	WDTC	60
11	M239	30	14	21	34	24	28	16		M239	60

รูปที่ ข.3 นำเข้าข้อมูล

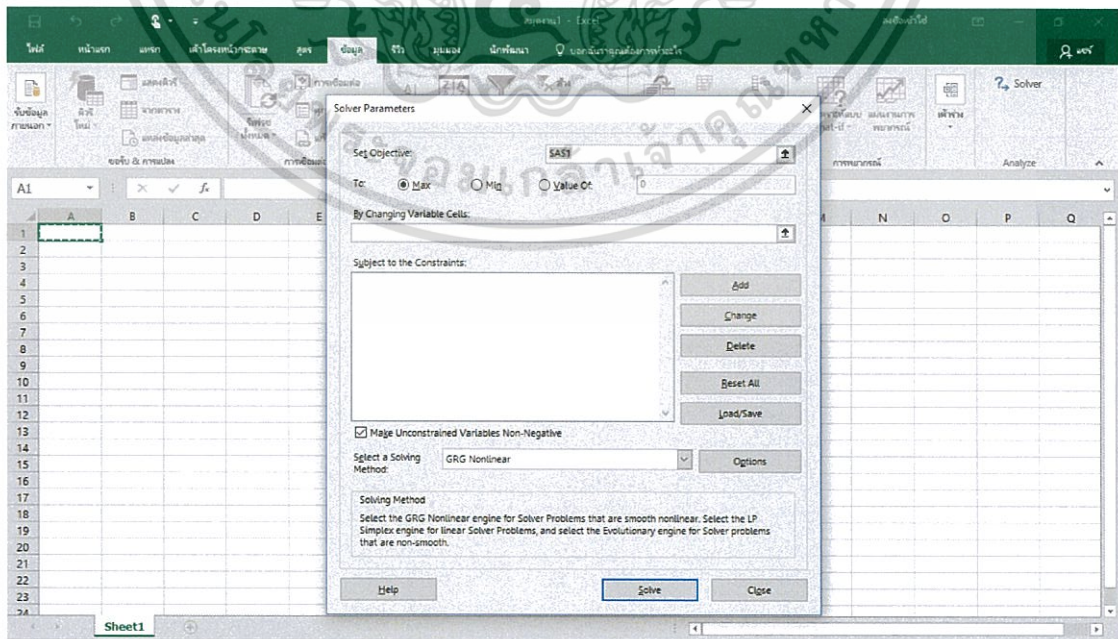
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อต้องการใช้โปรแกรม Microsoft Excel Solver ให้เลือกไปที่แถบ ข้อมูล และเลือก Solver ตามรูปที่ ข.4



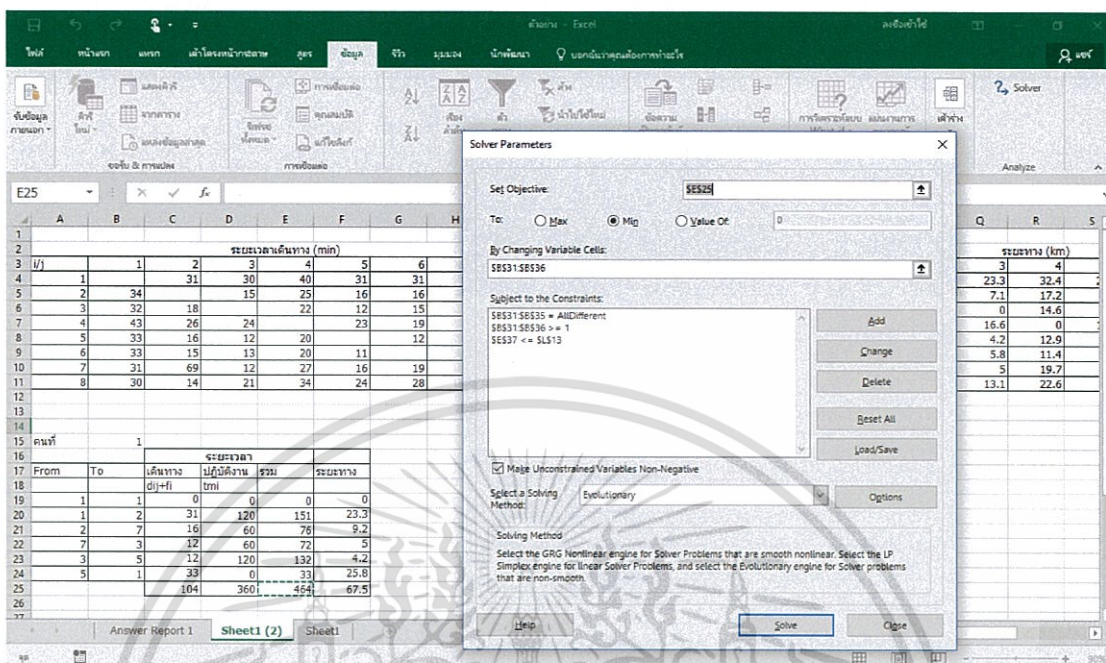
รูปที่ ข.4 เรียกใช้ Excel Solver

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อเลือก Solver หน้าจอจะแสดงตามรูปที่ ข.5 เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์



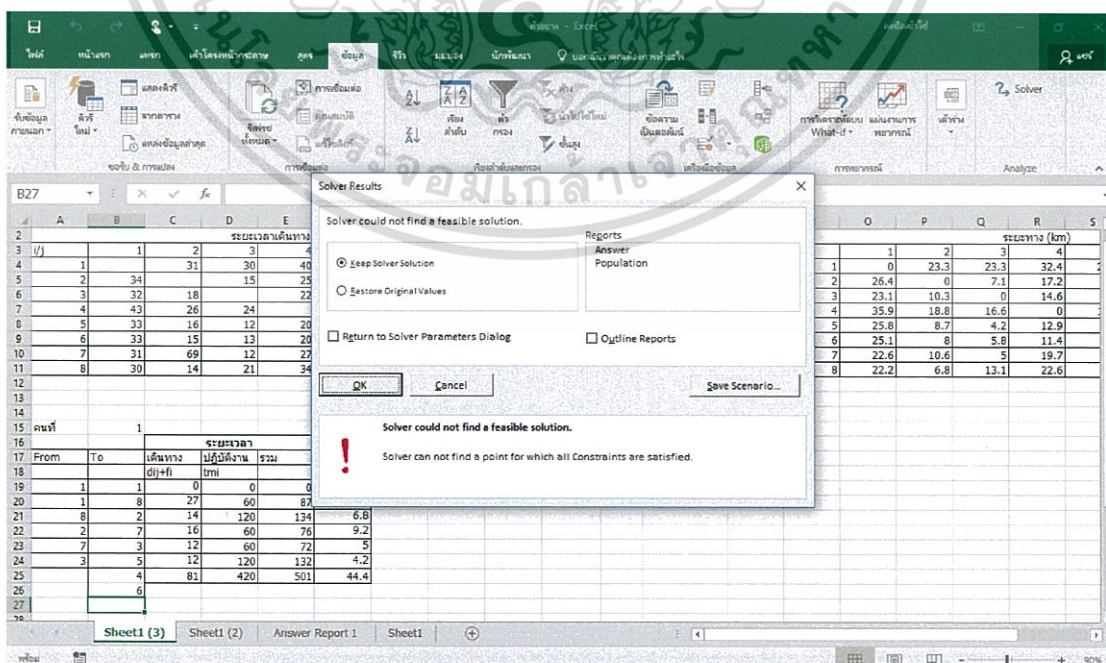
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้รูปที่ ข.5 Solver Parameters ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ขั้นตอนที่ 4** บันทึกค่าพารามิเตอร์เพื่อหาคำตอบที่ต้องการ ตามวัตถุประสงค์และเงื่อนไขตามรูปที่ ข.6



รูปที่ ข.6 บันทึกค่าพารามิเตอร์

**ขั้นตอนที่ 5** เมื่อบันทึกค่าพารามิเตอร์เพื่อหาคำตอบที่ต้องการ ตามวัตถุประสงค์และเงื่อนไขที่กำหนดแล้ว เลือก Solve หน้าจอจะแสดงผลคำตอบโดยเลือก Answer ตามรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.7 ผลการหาคำตอบจาก Excel Solver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดหรือกรณีศึกษา ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

## บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

จุฑามาส สานต๊ะ รศ.ดร.ฤดี มาสุจินท์, 2557. “แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางของพนักงานดำเนินงานซ่อมบำรุง”. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ. 2557. ตุลาคม 2557.



เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางของพนักงานด้านงานซ่อมบำรุง An Improvement Approach for Maintenance Routing of Staff

จุฑามาส ซานตะ" รศ.ดร.ฤดี มาสุขันท์

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
กรุงเทพมหานคร  
E-mail: ๑5613407@kmitl.ac.th

Juthamard Santa" Asooo, Prof. Dr. Ruedee Mawuchun<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang, Bangkok  
E-mail: ๑5613407@kmitl.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานด้านงานซ่อมบำรุงอุปกรณ์  
สำหรับให้บริการอินเทอร์เน็ตภายในเขตเมืองในกรุงเทพมหานคร เนื่องจากปริมาณงานของบริษัทเพิ่มขึ้น  
ผู้ให้บริการต้องจัดเส้นทางที่ทำให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่ำที่สุด ในขณะที่ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขทางด้านเวลา  
ด้วย หน่วยงานมีพนักงานประจำแต่ละเขตรับผิดชอบอยู่จำนวนหนึ่ง เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายทางหน่วยงานจะใช้  
พนักงานที่มีอยู่ของแต่ละเขตรับผิดชอบนั้นๆ ก่อน หากมีความจำเป็นจึงจะพิจารณาอนุญาตให้มีการทำงานนอก  
เขตหรือขอความช่วยเหลือจากพนักงานจากเขตรับผิดชอบข้างเคียงซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงกว่า โดยที่เส้นทางเริ่มจาก  
ศูนย์บริการของแต่ละเขตรับผิดชอบนั้นๆ เสมอ การวิจัยครั้งนี้ศึกษาหาแนวทางในการจัดเส้นทางของพนักงาน  
(Traveling Salesman Problem) เพื่อลดค่าใช้จ่ายในเดินทาง  
ค่าหลัก มีปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงาน ค่าใช้จ่าย เวลา

#### Abstract

This research aims to optimize the traveling path of Maintenance Equipment staffs for internet providers  
within the base station in Bangkok area. Due to increasing workload, the routing path is crucial to keep  
total costs as low as possible while complying with the restricted time. This unit has its own staffs  
responsible for the works. In order to save costs, all staffs in the unit must be assigned first. If necessary,  
staffs will be allowed to work part-time or staffs from adjoining areas will be outsourced with higher cost.  
The route will always start from the center. This research studies and proposes the method of routing  
staffs (Traveling Salesman Problem) in order to reduce costs.

Keywords: Traveling Salesman Problem, Costs, time

- 1. บทนำ  
บริษัทผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตไร้สาย มีการแข่งขัน  
ค่อนข้างสูง เนื่องจากการสื่อสารเข้ามาับบทบาทใน  
ชีวิตประจำวันเพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการแข่งขันเพิ่มมากขึ้น  
เทคโนโลยีมีการพัฒนาความหลากหลายให้ดีขึ้น ทำให้  
ผู้บริโภคมีความคาดหวังต่อการให้บริการเพิ่มมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อชิงความได้เปรียบทางการแข่งขันทั้งในธุรกิจหรือ  
กิจการใดๆ และหาวิธีการรองรับสถานการณ์ที่จะเกิดขึ้น  
จึงกำหนดให้ลดต้นทุนด้านการดำเนินงาน

ทั้งนี้การวางแผนเพื่อลดต้นทุนด้านการดำเนินงาน  
นั้น วิเคราะห์วิธีแก้ปัญหาโดยอาศัยข้อมูลการทำงานของ  
พนักงาน ซึ่งจะมีการสรุปปัญหาทุกเดือน

การบริหารอิเล็กทรอนิกส์ให้สายให้ความสำคัญกับการ  
ตอบสนองความต้องการของลูกค้ามาก ซึ่งทีมงานซ่อม  
บำรุงอุปกรณ์สำหรับให้บริการอิเล็กทรอนิกส์ภายในสถานี  
ฐาน และการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานซ่อม  
บำรุงเป็นส่วนหนึ่งในการให้บริการจึงต้องจัดให้มีเพียงพอ  
มีประสิทธิภาพและลดต้นทุน ในที่นี้บริษัทฯ ใช้การ  
เดินทางทางถนนเป็นหลัก เนื่องจากมีความคล่องตัวใน  
การเคลื่อนย้ายและสามารถเข้าถึงสถานีฐานได้โดยง่าย  
ขณะเดียวกันการเดินทางของพนักงานโดยใช้รถได้รับ  
ผลกระทบจากปริมาณของราคาน้ำมัน และจากปัจจัย  
อื่นๆ เช่น อัตราค่าแรง ค่าบำรุงรักษา เป็นต้น

จากการเดินทางของพนักงานซ่อมบำรุงจาก  
ศูนย์บริการของเซตรับมิดชิดออกไปยังสถานีฐานในอศิต ภูมิ  
พื้นที่จัดเส้นทางอาศัยประสบการณ์ทีมงานและความ  
ชำนาญในการตัดสินใจ อย่างไรก็ตามการพิจารณาของ  
พนักงานแต่ละคนแตกต่างกันทำให้ไม่สามารถควบคุม  
ประสิทธิภาพได้ และอาจต้องใช้เวลานานในการจัดเส้นทาง  
เพิ่มขั้นด้วย มีผลกระทบต่อการดำเนินงานแก้ไขโดยตรง  
โดยจะต้องมีแผนการจัดการเส้นทางให้เกิดประสิทธิภาพ  
สูงสุดเพื่อเป็นการลดต้นทุน และป้องกันปัญหาความ  
ล่าช้าที่จะตามมาซึ่งเป็นผลกระทบต่อต้นทุนทั้งสิ้น  
นอกจากนี้บางสถานการณ์ไม่สามารถแก้ไขปัญหาได้ตาม  
แผนการซ่อมบำรุงที่กำหนดและเมื่อนำเหตุให้ลูกค้าขาด  
ความเชื่อมั่นต่อผู้ให้บริการอิเล็กทรอนิกส์ได้

2. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบ  
ทั่วไป (General Traveling Salesman Problem, GTSP)  
ยังขาดประสิทธิภาพเพราะจะได้เส้นทางค่าตอบแทนเพียงหนึ่ง  
เส้นทางซึ่งเป็นเส้นทางที่สั้นที่สุด เท่านั้น ปัญหาที่  
ระยะทางไปและกลับไม่เท่ากันจะถูกเรียกว่า ปัญหาการ  
เดินทางของพนักงานขายแบบอสมมาตร (Asymmetric  
Traveling Salesman Problem, ATSP) [1] Clarke and

Wright นำเสนออัลกอริทึมแบบประหยัด (Savings  
Algorithm) ของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มี  
คลังสินค้าเพียงแห่งเดียวไปยังลูกค้าต่างๆ [2]

Gilbert Laporte และคณะ ได้มีการสรุปแนวทาง  
ในการหาค่าตอบของปัญหา Vehicle Routing Problem  
(VRP) ด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์ โดยได้แบ่งวิธีการ  
ออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มวิธีการแบบ Classical ซึ่งเป็น  
กลุ่มที่ไม่มีการปรับปรุงค่าตอบแทนที่ได้อะ และ กลุ่มวิธีการแบบ  
Modern ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีการปรับปรุงค่าตอบแทนเพื่อให้ได้  
ค่าตอบแทนที่ดีที่สุด [3]

เป็นวิธีแก้ปัญหาโดยหาแนวทางที่มีโอกาสสามารถ  
หาค่าตอบแทนได้สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง  
จนกระทั่งค้นหาค่าตอบแทนที่เหมาะสมที่สุด เช่น วิธีการขยาย  
และจำกัดเขต (Branch and Bound) ซึ่งเหมาะสมสำหรับ  
ปัญหา VRP ที่มีจำนวนลูกค้าไม่เกิน ๑๐๐ ปม วิธีการตัด  
กิ่งและตัดส่วน (Branch and Cut) วิธีกำหนดการเชิง  
พลวัต (Dynamic Programming) และขั้นตอนวิธีการตัด  
ระแนบ (Cutting Plane Algorithm) เป็นต้น Agarwal และ  
คณะ ได้นำเสนอวิธีการแบ่งส่วนของเซตหลาย (Set  
Partitioning) บนพื้นฐานของวิธีนี้มาตรงเพื่อแก้ปัญหา  
VRP [4] ส่วนการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการอื่นๆ ที่  
เกี่ยวข้องได้มีการอธิบายในรายละเอียดโดย Chakraborty  
และคณะ และ Laporte ข้อคือของวิธีนี้มาตรง คือ เมื่อ  
ปัญหามีขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น วิธีการอาจไม่สามารถ  
รับประกันการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ได้ เมื่อ  
จำนวนลูกค้าเพิ่มมากขึ้น (มากกว่า 100 ปม) รวมทั้งใช้  
เวลานานในการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการ  
สิ้นเปลืองทรัพยากรโดยใช่เหตุ [5,6] ดังนั้นผู้วิจัยมีความ  
สนใจที่จะนำเสนอ และประยุกต์ใช้วิธีการ ฮิวริสติก  
(Heuristic) สำหรับปรับปรุงคุณภาพของการเดินทางของ  
พนักงานขาย

3. ปัญหาการจัดเส้นทาง

3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลกระบวนการทำงาน

การจัดการเส้นทางการเดินทางเพื่อซ่อมบำรุง  
อุปกรณ์สำหรับให้บริการอิเล็กทรอนิกส์ภายในสถานีได้  
ศึกษากระบวนการทำงานจริง ทางบริษัทมีพนักงานแต่ละ  
เขตรับผิดชอบเพื่อเข้าซ่อมบำรุงอุปกรณ์ ซึ่งในการทำ  
วิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาในเขตกรุงเทพฯ เท่านั้น ทางบริษัท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีศึกษาได้แบ่งพื้นที่ออกเป็น 4 เขต โดยมีลักษณะ โดยใน แต่ละวันจะมีการเดินทางตามความต้องการของลูกค้า

จากการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูล เนื่องจากมี ข้อมูลครบถ้วนตามความเป็นจริงมากที่สุดประกอบด้วย ช่วงวันที่มีสถิติการเดินทางที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยมี จำนวนลูกค้าทั้งหมด 151 ราย

ภายใต้ข้อจำกัด คือ

- 1) ข้อจำกัดของจำนวนพนักงาน
- 2) ข้อจำกัดด้านงบประมาณการทำงานของพนักงาน

**3.2 วัตถุประสงค์**

1. เพื่อลำดับการซ่อมบำรุงให้ตรงตามความต้องการ
2. เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงาน
3. เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานโดยใช้ ระยะทางที่เหลือน้อยที่สุด

**4. วิเคราะห์หาคำตอบแบบอรรถวิสัย**

**4.1 หน้าที่การหาคำตอบแบบอรรถวิสัย**

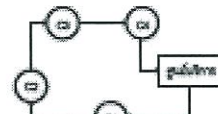
ผู้วิจัยจัดเส้นทางจากการจัดลำดับเส้นทาง การเดินทางของแต่ละ 3 เขต โดยมีลักษณะจากทั้งหมด 4 เขต โดยมีลักษณะในการเดินทาง โดยมีศูนย์บริการที่มองเห็น เดียว พบว่าปัญหาจึงกล่าวถึงมีความคล้ายคลึงกับปัญหา การเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem, TSP)

ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลลูกค้าในเขตบริการ

สถานีฐาน	ที่ตั้ง
PWT1	ปทุมธานี
BKUM	มีนบุรี
SUK2	ถนนสุขุมวิท 2
MCHN	หมู่บ้านเกษตรนคร
RGS8	สาทรรังสิต บางนา
TBKP	โรงเรียนเทคโนโลยีอินทสุโขทัย
LZ9C	โรงเรียนสาธิต
MTRN	หมู่บ้านตราตร
ANRK	ซอย ย่านสุขุมวิท

**4.2 การพัฒนาการจัดเส้นทาง**

การพัฒนาการจัดเส้นทางแบบเดิมมีลักษณะ ข้อคล้องกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินทางเพียง 1 เส้นทาง รูปที่ 1



รูปที่ 1 การเดินทางแบบเดิม TSP

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทาง คณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในรูปแบบการ แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) เพื่อให้ได้เส้นทางที่แตกต่างกันหลายรูปแบบ และ คำนึงถึงระยะทางการเดินทางด้วย โดยจะเลือกเส้นทาง ที่สั้นที่สุด สำหรับการเดินทางในแต่ละวัน

การเดินทางเริ่มต้นจากศูนย์บริการ ไปสู่สถานี ฐานที่ทราบจำนวน ตำแหน่งที่ตั้ง และเวลาในการซ่อม บำรุงแต่ละสถานีฐานที่แน่นอนล่วงหน้า เป็นการหา จำนวนเส้นทางเดินทางที่น้อยที่สุดสำหรับการเดินทางไปยังจุด ต่างๆ รูปที่ 2 โดยคำนึงถึงผลรวมของระยะทางในการ เดินทางของพนักงานมีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด

ซึ่งแตกต่างจากปัญหา TSP เนื่องจากเป็นปัญหา การจัดเส้นทางเดินทางเพียง 1 เส้นทาง



รูปที่ 2 การเดินทางแบบใหม่ TSP

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในรูปแบบการแก้ปัญหาการจัด เส้นทางการเดินทางของรถขนส่งสินค้า (Vehicle Routing Problem, VRP) เพื่อให้ได้เส้นทางที่แตกต่างกันหลาย รูปแบบและคำนึงถึงระยะทางการเดินทางในการเดินทาง ด้วย

<p><b>4.3 ตัวแบบคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดเส้นทาง</b></p> <p><math>i, j</math> แทนลำดับของลูกข่าย กำหนดให้ ลูกข่ายบริการที่ตำแหน่ง <math>i, j = 0</math> ลูกข่ายตำแหน่งอื่นๆ <math>i, j = 1, 2, \dots, n</math></p> <p><math>k</math> แทนพนักงานคนที่ที่ <math>1, 2, \dots, k</math></p> <p><b>ตัวแปร</b></p> <p><math>n</math> จำนวนลูกข่ายทั้งหมด</p> <p><math>q_k</math> ความสำคัญการให้บริการลำดับ <math>k</math></p> <p><math>q_i</math> ความสำคัญการให้บริการที่ตำแหน่ง <math>i</math></p> <p><math>C_{ij}</math> ค่าใช้จ่ายจากตำแหน่ง <math>i</math> ไปตำแหน่ง <math>j</math></p> <p><math>T</math> เวลาเดินทางของพนักงาน</p> <p><math>t_{ij}</math> เวลาออกจากศูนย์บริการ <math>i</math> ไปยังตำแหน่ง <math>j</math></p> <p><math>W_j</math> เวลารอคอยหากมาถึงตำแหน่ง <math>j</math> ก่อนกำหนด</p> <p><math>f_j</math> เวลาที่ใช้ขนถ่ายอุปกรณ์ที่ตำแหน่ง <math>j</math></p> <p><math>r_k</math> จำกัดเวลาการเดินทางของพนักงาน <math>k</math> แต่ละทาง</p> <p><math>X_{ijk}</math> = 1 ถ้าพนักงาน <math>k</math> วิ่งจากตำแหน่ง <math>i</math> ไปตำแหน่ง <math>j</math> = 0 ในกรณีอื่นๆ</p> <p><b>สมการเป้าหมาย</b></p> <p>Minimize <math>z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0, j \neq i}^n \sum_{k=1}^k C_{ij} X_{ijk}</math> (1)</p> <p><b>โดยมีข้อจำกัด</b></p> <p><math>\sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^k X_{ijk} = 1</math> (2)</p> <p><math>\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^k X_{ijk} = 1</math> (3)</p> <p><math>\sum_{i=0}^n q_i - q_k \leq I_k</math> (4)</p> <p><math>\sum_{i=1}^n \sum_{j=0, j \neq i}^n X_{ijk} (t_{ij} + f_j) \leq r_k</math> (5)</p> <p><math>f_j \leq I_{j(i \neq 0)}</math> (6)</p> <p><math>T = T_1, T_2, \dots, T_n</math> (7)</p> <p>สมการข้างต้นสามารถสรุปความหมาย ได้ดังนี้</p> <p>สมการที่ 1 สมการเป้าหมาย เพื่อหาต้นทุนการ</p>	<p>เดินทางน้อยที่สุด</p> <p>สมการที่ 2 พนักงานทุกคนต้องเริ่มออกจาก ศูนย์บริการเสมอ</p> <p>สมการที่ 3 พนักงานทุกคนสามารถวนได้ที่จุดหนึ่ง เดียวได้ครั้งเดียวเท่านั้น</p> <p>สมการที่ 4 การให้บริการของลูกข่ายที่มีการตรง ต้องไม่เกินเวลาที่กำหนดของพนักงาน</p> <p>สมการที่ 5 ระยะเวลาของลูกข่ายแต่ละทางต้องไม่ เกิน <math>r_k</math></p> <p>สมการที่ 6, 7 ข้อจำกัดของเงื่อนไขด้านเวลา</p> <p><b>5. ผลกแบบการทดลองและผลการทดลอง</b></p> <p><b>5.1 ผลกแบบการทดลอง</b></p> <p>การออกแบบโปรแกรมวิจัยครั้งนี้ออกเป็นส่วนตัว มี ตัวแปรที่มีข้อมูลพื้นฐานคือ ข้อมูลระดับบริหารระหว่างข้อดี จุด เพื่อสร้างตารางเมตริกซ์วิจัยทาง เนื่องจากปัญหา การจัดเส้นทางการเดินทางไปแต่ละวันโดยที่เลือกเข้า ซ่อมบำรุงก่อนหน้าจึงเป็นค่าบนแผนที่ใกล้กับศูนย์บริการ ของเขตรับผิดชอบมากที่สุดก่อนจากนั้นจึงเลือกตำแหน่ง ลูกข่ายต่อไปที่ใกล้จากจุดเดิมเป็นลำดับถัดไป ดังนี้</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. การกำหนดค่าเส้นทางเริ่มต้น <math>k=1</math> จุดเริ่มต้น <math>i=1</math> และ <math>j=i+1</math></li> <li>2. เมื่อมีความต้องการลูกข่ายในวัน <math>q_i</math> โดยที่ <math>i \neq N</math> กำหนด <math>Set\ q = \{q_1, q_2, q_3, \dots, q_N\}</math></li> <li>3. เรียงสมาชิกของ <math>Set\ q</math> จากเวลาเข้าซ่อมบำรุง ก่อนไปหาเวลาเข้าซ่อมบำรุงสุดท้าย</li> <li>4. จัดเส้นทางจากตำแหน่ง <math>j</math> ไป <math>Set\ q</math> ค่ารวม เวลาเริ่มออกจากศูนย์บริการที่สามารถไปทันเวลาซ่อม บำรุง ณ จุด <math>j</math> ของเที่ยว <math>k</math> และเช็คความต้องการกับ ตำแหน่งที่วิ่งเข้าซ่อมบำรุงโดยมี 2 เงื่อนไข</li> </ol> <ol style="list-style-type: none"> <li>4.1 ถ้า <math>q_i</math> เวลาการทำงานน้อยกว่าเวลา ทำงานของพนักงานข้ามไปข้อ 5.1</li> <li>4.2 ถ้า <math>q_i</math> มากกว่าหรือเท่ากับเวลาทำงาน ของพนักงาน ข้ามไปข้อ 5.2</li> </ol> <p>5. จัดเส้นทางเดินทาง</p> <p>5.1 จัดความต้องการทั้งหมดใส่เที่ยวการ เดินทางที่ <math>k</math> บันทึกเส้นทาง จากนี้ตรวจสอบเวลาที่วิ่ง สามารถตรงงานถ้าสุดได้เป็น <math>q'_k - q_k - q_k</math> ปรับเปลี่ยนตำแหน่งจุดต่อไปตามข้อ 5.</p>
---	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ตัวแบบคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดเส้นทาง	สมการที่ 2	เส้นทางน้อยที่สุด
i, j แทนลำดับของลูกค้า กำหนดให้ ศูนย์บริการอยู่ตำแหน่ง i, j = 0 ลูกค้าตำแหน่งอื่นๆ i, j = 1, 2, ..., n	สมการที่ 3	พนักงานทุกคนต้องเริ่มออกจาก ศูนย์บริการพร้อม พนักงานทุกคนสามารถแฉงไว้ที่จุดแต่ เดียวได้ครั้งเดียวเท่านั้น
k แทนพนักงานคนที่ 1, 2, ..., k	สมการที่ 4	การให้บริการของลูกค้าที่มีการคั่ง ค้าง ไม่เกินเวลาที่งานของพนักงาน
ตัวแปร	สมการที่ 5	ระยะเวลาของลูกค้าเดินทางต้องไม่ เกิน $t_k$
n จำนวนลูกค้าทั้งหมด	สมการที่ 6, 7	ข้อกำหนดของเงื่อนไขด้านเวลา
d <sub>k</sub> ความสำคัญการให้บริการลำดับ k		
d <sub>i</sub> ความสำคัญการให้บริการที่ตำแหน่ง i		
C <sub>ij</sub> ค่าใช้จ่ายจากตำแหน่ง i ไปที่ตำแหน่ง j		
T เวลาเดินทางของพนักงาน		5. ผลกแบบการหาค่าผลเฉลยผลกาหาค่าผลเฉลย
t <sub>k</sub> เวลาออกจากศูนย์บริการ d ไปยังตำแหน่ง i		5.1 ผลกแบบการหาค่าผลเฉลย
W <sub>j</sub> เวลาครอบคลุมจากมาถึงตำแหน่ง j ก่อนกำหนด		การออกแบบโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์เป็นส่วนใหญ่ มี ส่วนที่เป็นข้อมูลพื้นฐานคือ ข้อมูลทรัพยากรพื้นฐานและข้อ จำกัด เพื่อสร้างตารางคณิตศาสตร์เชิงคณิตศาสตร์ เนื่องจากปัญหา การจัดเส้นทางการเดินทางในข้อจำกัดโดยที่เลือกเข้า ร่วมบ้างก่อนนั้นจะเป็นตำแหน่งที่ใกล้กับศูนย์บริการ ของเขตรับผิดชอบมากที่สุดก่อนจากนั้นจึงเลือกตำแหน่ง ลูกค้าต่อไปที่ใกล้จากรัฐเดิมเป็นลำดับถัดไป ดังนี้
f <sub>i</sub> เวลาที่ใช้บนตัวอุปการณที่ตำแหน่ง i		1. การกำหนดค่าเดินทางเริ่มต้น k = 1 จุดเริ่มต้น i = 1 และ j = i + 1
r <sub>k</sub> จำกัดเวลาการเดินทางของพนักงาน เส้นทาง		2. ป้อนความต้องการลูกค้าในวัฏจักร g <sub>i</sub> โดยที่ r ≠ N กำหนด Set g = {g <sub>1</sub> , g <sub>2</sub> , g <sub>3</sub> , ..., g <sub>n</sub> }
X <sub>ij</sub> = 1 ถ้ารถพนักงาน k วิ่งจากตำแหน่ง i ไปตำแหน่ง j = 0 ในกรณีอื่นๆ		3. เริ่มสมาชิกของ Set g จากเวลาที่พร้อมบ้าง ก่อนไปหาเวลาที่พร้อมบ้างสุดท้าย
สมการเป้าหมาย		4. จัดเส้นทางจากตำแหน่ง j ไป Set g กำหนด เวลาเริ่มออกจากศูนย์บริการที่สามารถไปที่เวลาพร้อม บ้าง ณ จุด j ของแถว k และเช็คความต้องการกับ ตำแหน่งที่เริ่มพร้อมบ้างโดยมี 2 เงื่อนไข
Minimize z = $\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ij}$ (1)		4.1 ถ้า g <sub>i</sub> เวลาการทำงานน้อยกว่าเวลา ทำงานของพนักงานข้ามไปข้อ 5.1
โดยมีข้อจำกัด		4.2 ถ้า g <sub>i</sub> มากกว่าหรือเท่ากับเวลาทำงาน ของพนักงาน ข้ามไปข้อ 5.2
$\sum_{j=0}^N X_{ij} = 1$ (2)		5. จัดเส้นทางเดินทาง
$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N X_{ij} = 1$ (3)		5.1 จัดความต้องการทั้งหมดให้ด้วยการ เดินทางที่ k บันทึกเส้นทาง จากนั้นตรวจสอบเวลาที่ซึ่ง สามารถบรรทุกงานลูกค้าได้เป็น g' <sub>i</sub> = g <sub>i</sub> - g <sub>i</sub> ปรับแก้ตำแหน่งลูกค้าต่อไปตามข้อ 5.
$\sum_{i=0}^N g_i - g_i \leq T_k$ (4)		
$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N X_{ij} (t_{ij} + f_j) \leq r_k$ (5)		
$t_{ij} \leq r_{i(j+i)}$ (6)		
$T = T_1, T_2, \dots, T_n$ (7)		
สมการข้างต้นสามารถสรุปความหมาย ได้ดังนี้		
สมการที่ 1 สมการเป้าหมาย เพื่อหาต้นทุนการ		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 3 ดังแสดงว่าในช่วงเวลา 16 วันที่ทดสอบระบบมีผลชดเชยพื้นที่การใช้พนักงานภายในรวม 55 เทียบกับใช้พนักงานภายนอกชดเชยอีก 34 เทียบ หรือคิดเป็นอัตราการใช้พนักงานภายในเขตบริษัทมีผลชดเชย 62% ของจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมด เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการใช้พนักงานภายนอกชดเชยบริษัทมีผลชดเชย ผู้วิจัยได้วางแผนการจัดเส้นทางเบื้องต้นมีจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมดของเที่ยว 57 เทียบโดยใช้พนักงานภายในเขตบริษัทมีผลชดเชยเพิ่มเป็น 43 เทียบ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ ๖ แสดงผลในขั้นตอนการวิจัยด้วยวิธีวิจัย

ชุดวิธีคิด	จำนวนเที่ยว	จำนวนเที่ยว	
		พนักงานภายใน	พนักงานภายนอก
1	5	4	1
2	3	2	1
3	5	2	3
4	3	3	0
5	3	2	0
6	4	3	1
7	5	4	1
8	4	3	1
9	4	2	1
10	3	2	1
11	5	3	2
12	3	2	1
13	3	3	0
14	4	3	1
15	3	2	1
16	3	2	0
ผลรวม	57	42	14

จากตารางที่ 3 คิดเป็นอัตราการใช้พนักงานภายในเขตบริษัทมีผลชดเชย 75% ของจำนวนเที่ยวการเดินทางทั้งหมด ซึ่งถือว่าวิธีการนี้มีประโยชน์และมีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางได้

6. สรุปผลการศึกษาทดลอง

การใช้พนักงานภายนอกชดเชยบริษัทมีผลชดเชยเป็นผลที่เกิดจากการจัดเส้นทางที่ขาดประสิทธิภาพ เพราะเมื่อได้รับการทบทวนและวิเคราะห์การจัดเส้นทางโดยผู้

ศึกษาก็สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้ การลดของจำนวนเที่ยวการเดินทางของพนักงานภายนอกชดเชยบริษัทมีผลชดเชยโดยคงกับค่าใช้จ่าย สามารถสรุปได้ว่า ค่าใช้จ่ายโดยรวมที่เกิดจากการเดินทาง ซึ่งในการทดลองนี้ให้รวมค่าน้ำมันเข้ามาไม่ในต้นทุนที่เกิดจากพนักงานภายในเขตบริษัทมีผลชดเชยแล้ว นอกจากนี้ยังรวมถึงค่าใช้จ่ายของพนักงานภายนอกชดเชยบริษัทมีผลชดเชย แต่ใช้พนักงานช่วงเวลาของพนักงาน พบว่าการใช้พนักงานจัดเส้นทางตนเองทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมด 26,710 บาท แต่วิธีวิธีวิจัย จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดเป็น 25,627 บาท ลดร้อยละของค่า 16 วัน

เอกสารอ้างอิง

- [1] รัชต์พันธ์ ปีศาจโคโธ. 2554. วิธีการคมนาคมวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร.
- [2] Clark, G. and J.W. Wright. 1964. Scheduling of vehicle from a central depot to a number of delivery points, *Operations Res*, 12: 568-581.
- [3] Laporte, G., Gendreau, M., Potvin J.Y., Semet, F., 2000. Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem, *International Transactions in Operational Research*, 7: 2000: 285-300.
- [4] Agarwal, Y., K. Mehur and H.M. Salkin. 1999. A set-partitioning-based exact algorithm for the vehicle routing problem, *Networks*, 19 (7): 731-749.
- [5] Christofides N. 1985. In *The traveling salesman problem*, Lawler, Lenstra, R. Kan and Shmoys, eds. *A Guided Tour of Combinatorial Optimization*, John Wiley, 1985: 431-448.
- [6] Laporte G., Louveaux F.V. and Meunier, H., 1992. The vehicle routing problem with stochastic travel times, *Transportation Science*, 26: 181-170

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นางสาวจุฑามาส สานตะ  
วัน เดือน ปีเกิด 18 ธันวาคม 2530  
ที่อยู่ 888/51 ถนนวิภาวดีรังสิต แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900  
ประวัติการศึกษา 2552 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ประสบการณ์การทำงานและผลงานวิจัย

พ.ศ.2553-2554 บริษัท ลีอกซ์เลย์ จำกัด (มหาชน)

พ.ศ.2555-2556 บริษัท อิตาเลียน-ไทย ดีเวลล็อปเมนต์ จำกัด (มหาชน)

พ.ศ.2557 จุฑามาส สานตะ รศ.ดร.ฤดี มาสุจินท์, 2557. “แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางของพนักงานดำเนินงานซ่อมบำรุง”. การประชุมวิชาการช่างงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี พ.ศ. 2557. ตุลาคม 2557

ปัจจุบัน วิศวกรปฏิบัติการ กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม