การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์

กนกวรรณ สุภักดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

SOLVING VEHICLE ROUTING PROBLEM FOR MEDICAL EQUIPMENT MAINTENANCE

KANOKWAN SUPAKDEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2013

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์

ผู้วิจัย นางสาวกนกวรรณ สุภักดี

คณะกรรมการสอบ

ดร.ธารชุดา พันธ์นิกุล	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ สุดสนธิ์	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส)

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(ดร.จุฑามาศ หงษ์ทอง)

รักษาราชการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2556

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากท่านรองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่ง กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ให้คำปรึกษา เป็นอย่างดีตลอดมา จึงขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ขอขอบพระคุณท่าน อาจารย์ ดร.นัทธพงศ์ นันทสำเริง ที่ให้คำแนะนำ คำปรึกษา ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ และให้โอกาสเข้ารับการศึกษา ณ สถาบันแห่งนี้

ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่าของท่านมาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ สุดสนธิ์ และอาจารย์ ดร.ธารชุดา พันธ์นิกุล ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำ ขอขอบพระคุณ ทางมหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี ที่สนับสนุนทุนการศึกษาและให้โอกาสในการเข้ารับการศึกษาต่อ รวมทั้งคณาอาจารย์ บุคลากรของทางมหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้ ตลอดจน ท่านนายแพทย์สุรพร ลอยหา คุณนรุตม์ชัย เปนะนาม นายช่างเทคนิคทั้ง 3 ท่าน และเจ้าหน้าที่สถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในจังหวัดอุบลราชธานี ทุกๆท่าน ที่ให้ข้อมูลในการทำวิจัยในครั้งนี้อย่างดียิ่ง

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอขอบพระคุณ คุณพ่อสะอาด-คุณแม่บุญรวม สุภักดี ตลอดจนทุกคนในครอบครัว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณกิตติวุฒิ เด็กหญิงดากานดาและเด็กชายดนณภพ บุตรศรี สามีและลูก ที่คอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และนอกจากนี้ขอขอบคุณพี่อั๋น พี่เล็ก น้องเป๊ปซี่ คุณนุช และบุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่านซึ่งไม่อาจกล่าวนามของท่านในที่นี้ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

(นางสาวกนกวรรณ สุภักดี)

ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์

โดย : กนกวรรณ สุภักดี

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

ศัพท์สำคัญ : การจัดเส้นทาง การเดินทาง ซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ กรณีศึกษาโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี และตัวอย่างปัญหาที่ได้จากการสุ่มอีก 15 ตัวอย่าง ถูกใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการภายใต้จุดประสงค์ในการให้ได้ค่าใช้จ่ายต่ำสุดและใช้เวลาในการคำนวณคำตอบต่ำสุด โดยที่มีรูปแบบการเดินทางของรถ เป็นการเดินรถที่มีการวิ่งอย่างต่อเนื่องโดยสามารถหยุดพักเมื่อครบรอบการทำงานได้ตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดให้และไม่จำเป็นจะต้องกลับมาพักยังจุดเริ่มต้นเสมอ และใช้เวลาในการเดินทางและการซ่อมบำรุงมาเป็นข้อกำหนดความจุของยานพาหนะ โดยได้พัฒนาวิธีเพื่อแก้ปัญหา 3 วิธีด้วยกัน ได้แก่ 1) การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์แล้วแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 2) พัฒนาฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบต่อเนื่อง และ 3) พัฒนาวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียล อีโวลูชั่น

ผลการทดลองพบว่า 1) ในการทดสอบกับการจำลองปัญหาขนาดเล็กด้วย ซอฟท์แวร์สำเร็จรูป Lingo Version 11 และวิธีการ Differential evolution จะให้ค่าต้นทุนที่เท่ากัน 2) ในการทดสอบกับปัญหากรณีศึกษาจริง ด้วยวิธีการฮิวริสติก วิธีที่ให้ค่าคำตอบดีที่สุดคือ วิธี Clark-Wright Saving Heuristic และ 3) ในการทดสอบกับปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธีการ Improve Differential evolution (IDE) ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีการอื่นๆและเมื่อเทียบกับวิธีการ Differential evolution ก็ยังให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำสุดอยู่ที่ 222,448 บาท

ABSTRACT

TITLE : SOLVING VEHICLE ROUTING FOR MEDICAL EQUIPMENT MAINTENANCE

BY : KANOKWAN SUPAKDEE

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

CHAIR : ASSOC. PROF. RAPEEPAN PHITAKHASO, Ph.D.

KEYWORDS : VEHICLE ROUTING PROMBLEM / MAINTENANCE / MEDICAL EQUIPMENT

This research is aimed to solve a vehicle routing problem for medical equipment maintenance of health promoting hospitals in Ubon Ratchathani. Random data 15 sets are used for evaluating a proposed algorithm which is in conditions of minimum cost. Was developed a heuristic for the continuous routing, which allows continuous transportation without limitation of truck operation hours and returning locations. In this system, drivers are allowed to take routine breaks at designated rest areas without having to return back to the hub and considered travel and service time requirements as the capacity of the vehicle (VRP-CTST) which will be solve by three methods which are 1) Formulate the mathematical model and solve it by Lingo V.11. 2) Develop a heuristic for continuous vehicle routing. and 3) Design the differential evolution algorithm (DE).

The results show that 1) In random data sets results from Lingo V.11 and Differential evolution is equal to the cost. 2) In the case study, that way, the heuristic's. The best way to answer is how Clark-Wright Saving Heuristic. and 3) In the case study, Improve Differential evolution (IDE) for the answer better than other methods, and compared to how Differential evolution (DE) is still giving the answer, the better. With the lowest cost is 222,448 baht.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ช**
สารบัญภาพ	**ฎ**
คำอธิบายสัญลักษณ์	**ฌ**
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 แผนการดำเนินการวิจัย	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	7
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ความหลากหลายของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ	9
2.2 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย	11
2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	14
2.4 วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	23
2.5 วิธีเมตาฮิวริสติก	34
2.6 ทฤษฎีการจัดลำดับงาน	40
2.7 วิธีดิฟเฟอเรเชี่ยล อิโวลูชั่น	42
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	52
3.2 ศึกษารูปแบบปัญหา และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	58
3.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 การพัฒนาฮิวริสติกส์	59
3.5 การสรุป	62
3.6 บทสรุป	62
4 กรณีศึกษาและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	
4.1 ศึกษาปัญหากรณีศึกษาโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี	63
4.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล	65
4.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางแบบต่อเนื่องโดยนำเวลาเดินทางและเวลาทำงานมาเป็นความจุ	71
4.4 ทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) ตัวแบบคณิตศาสตร์	73
4.5 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V. 11	75
5 การแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธีฮิวริสติก	
5.1 กรณีศึกษาโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี	97
5.2 วิธี Clark-Wright Saving Heuristic	99
5.3 ดำเนินการหาต้นทุนในการเดินทาง	106
5.4 วิธี Nearest Neighbor Heuristics	107
5.5 วิธี Cluster First Route Second	111
5.6 สรุปผลการการทดลองคำนวณ	117
6 การแก้ปัญหา กรณีศึกษาโดยใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	
6.1 วิธีการหาคำตอบโดยประยุกต์ใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (DE) เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัย	122
6.2 ผลการทดลองจากวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น กับตัวอย่างปัญหาขนาดเล็ก ขนาดใหญ่	132

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.3 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัย	133
6.4 สรุปผลการการทดลองคำนวณโดยใช้ โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	148
7 การแก้ปัญหาการจัดลำดับการเดินทาง กรณีศึกษาโดยใช้ วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	
7.1 วิธีการจัดลำดับการเดินทางโดยประยุกต์ใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	153
7.2 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัย	160
7.3 สรุปผลการการทดลองคำนวณโดยใช้โปรแกรม ดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	161
8 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	
8.1 เปรียบเทียบผลการทดลอง	165
8.2 สรุปผลการวิจัย	168
8.3 ข้อเสนอแนะ	169
เอกสารอ้างอิง	**170**
ภาคผนวก	
ก ข้อมูลเพื่อประกอบการแก้ปัญหา ของกรณีศึกษา	178
ข ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ โปรแกรม Minitab 16 ฟังก์ชั่น Design of Experiment คำสั่ง Factorial	194
ประวัติผู้วิจัย	**197**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินการวิจัย	6
2.1	ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะรูปแบบต่างๆ	16
2.2	ตัวอย่างเมตริกระยะทาง (กม.)	27
2.3	ค่าความประหยัดในแต่ละคู่จุดส่งสินค้า	27
2.4	การจัดลำดับค่าความประหยัด	28
2.5	การรวมจุดส่งสินค้า	28
2.6	การประยุกต์ใช้ Differential evolution (DE) เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรม	50
3.1	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในจังหวัดอุบลราชธานี	52
3.2	ประเภทของเครื่องมือแพทย์	53
3.3	เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง	54
3.4	เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์	56
3.5	ระยะทางการเดินทาง	57
3.6	ต้นทุนในการเดินทาง	58
4.1	ตัวอย่างลำดับเส้นทางจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานีไปสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ	64
4.2	สถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเริมสุขภาพตำบล ในจังหวัดอุบลราชธานี	66
4.3	ระยะทางการเดินทาง	67
4.4	เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง	68
4.5	เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์	69
4.6	ต้นทุนในการเดินทาง	70
4.7	ผลการทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) ตัวแบบคณิตศาสตร์	74
4.8	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1	77
4.9	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1	77
4.10	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.11	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2	80
4.12	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 3	81
4.13	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 3	82
4.14	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 4	83
4.15	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 4	83
4.16	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 5	84
4.17	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 5	84
4.18	การเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 6	85
4.19	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 6	85
4.20	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 7	86
4.21	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 7	87
4.22	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 8	88
4.23	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 8	88
4.24	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 9	89
4.25	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 9	90
4.26	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 10	91
4.27	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 10	91
4.28	ผลการทดลองเปลี่ยนชุดข้อมูลกับปัญหาขนาด 5 เมือง	92
4.29	เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง	95
4.30	การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง	95
4.31	ผลการทดลองเปลี่ยนชุดข้อมูลกับปัญหาขนาด 10 เมือง 5 ชุดข้อมูล	96
5.1	ตัวอย่างลำดับเส้นทางจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานีไป สถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ	98
5.2	ตัวอย่างการคำนวณค่าความประหยัด (Savings)	102
5.3	ตัวอย่างการเรียงค่าความประหยัด (Savings) จากค่ามากสุดไปยังค่าน้อยที่สุด	102

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.4	ตัวอย่างการคำนวณเวลาการเดินทางและเวลาในการซ่อมบำรุง ต้องไม่เกิน 420 นาที	104
5.5	ตัวอย่างการคำนวณเวลาการเดินทางและเวลาในการซ่อมบำรุงที่มีการพักค้างคืน	105
5.6	ตัวอย่างเส้นทางการเดินทางในแต่ละวัน ได้เส้นทางทั้งหมด 34 เส้นทาง หรือใช้เวลาในการเดินทางซ่อมบำรุง 98 วัน	105
5.7	ค่าใช้จ่ายในแต่ละหมวดหมู่	106
5.8	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง วิธี Clark-Wright Saving Heuristic	107
5.9	ตัวอย่างการคำนวณเวลาการเดินทางและเวลาในการซ่อมบำรุงที่มีการพักค้างคืน	110
5.10	ตัวอย่างเส้นทางการเดินทางในแต่ละวัน ได้เส้นทางทั้งหมด 83 เส้นทาง หรือใช้เวลาในการเดินทางซ่อมบำรุง 95 วัน	110
5.11	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง วิธี Nearest Neighbor Heuristic	111
5.12	กลุ่มสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเริมสุขภาพตำบล เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 1	113
5.13	กลุ่มสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเริมสุขภาพตำบล เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 2	113
5.14	กลุ่มสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเริมสุขภาพตำบล เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 3	114
5.15	กลุ่มสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเริมสุขภาพตำบล เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 4	114
5.16	ตัวอย่างเส้นทางการเดินทางในเขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 1 ได้เส้นทางทั้งหมด 27 เส้นทาง	115
5.17	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง วิธี Cluster First – Route Second โดยใช้วิธี Clark-Wright Saving Heuristic	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.18	ตัวอย่างเส้นทางการเดินทางในเขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 1 ได้เส้นทางทั้งหมด 27 เส้นทาง	116
5.19	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง วิธี Cluster First – Route Second โดยใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristic	116
5.20	ค่าใช้จ่ายจากการทดลองใช้ฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ	117
6.1	โครโมโซม Trial Vector ในการหาคำตอบเริ่มต้นของ NP#1- NP#20 316 เมือง	123
6.2	โครโมโซม Trial Vector เริ่มต้นของ NP#1-NP#20 เมื่อมีการจัดเส้นทางการเดินทาง	124
6.3	ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นทางใน NP#1	125
6.4	ค่าใช้จ่ายในแต่ละหมวดหมู่	126
6.5	ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่าย รพ.สต.จำนวน 316 แห่งการสร้างคำตอบเริ่มต้น	126
6.6	ตัวอย่างการคำนวณหาค่าของ Mutant Vector แต่ละค่า จากสูตรของ NP#1	127
6.7	ตัวอย่างกระบวนการ Recombination เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ CR=0.9	128
6.8	โครโมโซม Trial Vector ของ NP#1-NP#20 เมื่อมีการจัดเส้นทางการเดินทาง	128
6.9	ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นทางใน NP#1	129
6.10	ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่าย รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง	131
6.11	ตัวอย่างการคัดเลือกประชากรในปัญหา Minimizeของ NP#1-20	131
6.12	ผลการทดลองเปลี่ยนชุดข้อมูลกับปัญหา 5 เมือง	132
6.13	ผลการทดลองเปลี่ยนชุดข้อมูลกับปัญหา 10 เมือง	133
6.14	ผลการทดลองแบบคลาสสิก F = 0.5 CR = 0.85, F = 2.43 CR = 0.7 และ F = 0.1 CR = 0.9	135
6.15	ผลการทดลองพารามิเตอร์ F และ CR ปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ แบบคลาสสิก	138
6.16	ผลการทดลองพารามิเตอร์ Fix F และ CR	144
6.17	ผลการทดลองกระบวนการ Recombination โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ เซตค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85 เริ่มต้น	145

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
6.18	ผลการทดลองกระบวนการ Recombination โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ เซตค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 CR = 0.7 เริ่มต้น	146
6.19	ผลการทดลองกระบวนการ Recombination โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ เซตค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 เริ่มต้น	147
6.20	ตารางการเดินทางและระยะทางที่ดีที่สุด	150
6.21	ตารางการคำนวณค่าใช้จ่าย รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง	152
7.1	โครโมโซม Trial Vector ในการหาคำตอบเริ่มต้นของ NP#1- NP#10 39 เส้นทาง	154
7.2	โครโมโซม Trial Vector เริ่มต้นของ NP#1-NP#20 เมื่อมีการจัดลำดับการเดินทาง	155
7.3	ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นทางใน NP#1 ในเดือน มีนาคม- กรกฎาคม	155
7.4	ตัวอย่างการถอดรหัสเวกเตอร์	156
7.5	ตัวอย่างกระบวนการ Recombination เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบ ที่ CR=0.9	157
7.6	โครโมโซม Trial Vector ของ NP#1-NP#10 เมื่อมีการลำดับการเดินทาง	157
7.7	ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นทางใน NP#1	158
7.8	ตัวอย่างการถอดรหัสเวกเตอร์	159
7.9	ตัวอย่างการคัดเลือกประชากรในปัญหา Minimizeของ NP#1-10	160
7.10	ผลการทดลองแบบปกติ F = 0.1 CR = 0.9	161
7.11	การจัดลำดับการเดินทางไปซ่อมเครื่องมือแพทย์	162
7.12	ตารางเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหา	163
8.1	สรุปผลการทดลองด้วยวิธี DE และ IDE	167
ก.1	เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์	178

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	รูปแบบการขนส่ง (a) ลักษณะเดิม (b) ลักษณะใหม่	2
1.2	ตำแหน่งสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี	3
2.1	ตัวอย่างอาณาเขตในการส่งจดหมายของบุรุษไปรษณีย์	10
2.2	Seven-bridge problem at Konigsberg	10
2.3	ลักษณะปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย	11
2.4	ลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	15
2.5	(a) เส้นทางแบบปิด VRP (b) เส้นทางแบบเปิด OVRP	21
2.6	แผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้ (Decision Tree)	24
2.7	การจัดส่งสินค้าไป-กลับทุกๆ จุดส่งสินค้า และการรวมจุดส่งสินค้าเข้าด้วยกัน	26
2.8	การค้นหาจุดที่อยู่ใกล้กับจุดอ้างอิง	29
2.9	การเลือกเส้นทางที่มีระยะทางใกล้ที่สุด	29
2.10	การปิดเส้นทางของวิธี Nearest Neighbor	30
2.11	วิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธี Nearest Neighbor	30
2.12	วิธีการจัดเส้นและลำดับการขนส่งสินค้าด้วยวิธี Sweep Approach	31
2.13	การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง	31
2.14	การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี 2-opt	33
2.15	สรุปวิธีการค้นหาคำตอบของปัญหา TSP และ VRP	37
2.16	ธรรมชาติการเดินทางของมด	38
2.17	การค้นหา Mutant Vector ของฟังก์ชัน 2 ตัวแปร	43
2.18	การ Crossover ของ Target Vector และ Mutant Vector ที่มีค่า D=7	44
2.19	ตัวอย่างของ Vector transition process	45
2.20	ตัวอย่างของ Vector exchange process	45
2.21	ตัวอย่างของ Vector insertion process	46
2.22	กระบวนการหาค่าความเหมาะสม โดยวิธี Differential Evolution จากขั้นที่ 1 ถึง 4	46
3.1	ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.2	ตัวอย่างการหาระยะทางระหว่างสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี และ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล	57
3.3	รูปแบบกระบวนการในการพัฒนาฮิวริสติกในงานวิจัย	59
3.4	รูปแบบกระบวนการในการพัฒนาฮิวริสติกโดยใช้การหาคำตอบเฉพาะแบบกระบวนการ Differential evolution (DE)	61
4.1	ตำแหน่งสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี	64
4.2	ตัวอย่างการหาระยะทางระหว่างสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล	66
4.3	สมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดโปรแกรม Lingo ในการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1	75
4.4	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1 โดยใช้โปรแกรม Lingo	76
4.5	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1 โดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยว อีโวลูชั่น	76
4.6	สมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดโปรแกรม Lingo ในการทดสอบปัญหาขนาด 5เมือง ชุดที่ 2	78
4.7	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Lingo	79
4.8	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2 โดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยว อีโวลูชั่น	79
4.9	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 3 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	81
4.10	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 4 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	82
4.11	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 5 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	83
4.12	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 6 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.13	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 7 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	86
4.14	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 8 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	87
4.15	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 9 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	89
4.16	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 10 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	90
4.17	สมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดโปรแกรม Lingo ในการทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง	93
4.18	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง โดยใช้โปรแกรม Lingo	94
4.19	ผลการทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง โดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอเรนเชี่ยล อีโวลูชั่น	94
5.1	ตำแหน่งสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี	97
5.2	วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง	99
5.3	การจัดส่งสินค้าไป-กลับแบบ Clark-Wright Saving Heuristic	100
5.4	การจัดส่งสินค้าไป-กลับแบบ Clark-Wright Saving Heuristic แบบปรับปรุง	101
5.5	การแบ่งเขตพื้นที่สาธารณสุข 4 เขต ปีงบประมาณ 2556	112
5.6	การเปรียบเทียบ จำนวนเที่ยวในการเดินทางฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ	117
5.7	การเปรียบเทียบ จำนวนวันทำงานและจำนวนวันที่พักค้างฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ	118
5.8	การเปรียบเทียบระยะทางรวมฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ	118
5.9	การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ	119
6.1	รูปแบบการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ	121
6.2	Flow Chart แสดงขั้นตอน DE โดยค่า F = 0.5 CR = 0.85, F = 2.43 CR = 0.7 และ F = 0.1 CR = 0.9	134

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
6.3	Flow Chart แสดงขั้นตอน DE โดยการประยุกต์ค่า พารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ แบบคลาสสิก	137
6.4	Flow chartแสดงขั้นตอน IDE โดยการประยุกต์ค่า Recombination ทั้ง 4 แบบ	140
6.5	Flow Chart แสดงขั้นตอน IDE โดยการประยุกต์ค่า Recombination ทั้ง 4 วิธี และพารามิเตอร์ F กับ CR อัตโนมัติ	144
6.6	กราฟแสดงผลการทดลองค่าใช้จ่ายทั้ง 4 รูปแบบ	149

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
รพ.สต.	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
สสจ.	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด
กม.	กิโลเมตร
ชม.	ชั่วโมง
กม./ชม.	กิโลเมตรต่อชั่วโมง
%	เปอร์เซ็นต์

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

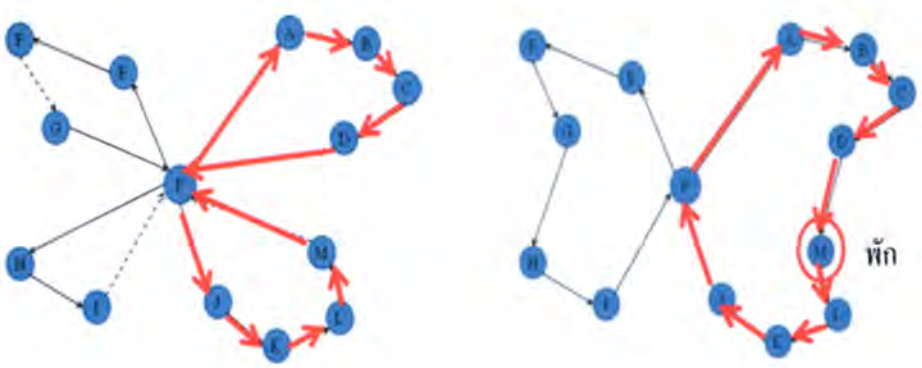
ระบบโลจิสติกส์ในประเทศไทยปัจจุบันมีบทบาทสำคัญอย่างมาก ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของเครือข่ายการขนส่งที่มากขึ้นและทำให้เกิดความซับซ้อนในด้านการจัดเส้นทางเดินทาง ซึ่งส่งผลกระทบต่อภาครัฐและภาคเอกชนต่างๆ เป็นอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์กรที่อาศัยการขนส่งเป็นกิจกรรมหลักจะได้รับผลกระทบโดยตรง เนื่องจากการจัดระบบโลจิสติกส์ที่มีประสิทธิภาพนั้นสามารถลดต้นทุน หรือสร้างผลกำไรในการดำเนินงานให้กับองค์กร

โดยทั่วไปปัญหาการจัดการโลจิสติกส์ เป็นปัญหาการตัดสินใจขนาดใหญ่ มีความซับซ้อนในระดับเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard Problem) การหาผลเฉลยที่เหมาะสมด้วยวิธีแม่นตรง (Exact Method) จึงกระทำได้ยาก อีกทั้งตัวแปรการตัดสินใจมีเป็นจำนวนมาก ซึ่งรวมถึงตัวแปรตัดสินใจเหล่านั้นมีความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน ทั้งในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรการตัดสินใจด้วยกันเอง และระหว่างตัวแปรการตัดสินใจกับเงื่อนไขของปัญหา เมื่อปัญหาการตัดสินใจขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน การหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นมีความเป็นไปได้ยากมาก หรืออาจเป็นไปไม่ได้เลย ปัจจุบันนักวิจัยมีความพยายามในการค้นหาวิธีการในการแก้ปัญหาดังกล่าวซึ่งแต่ละวิธีที่ค้นพบอาจมีความเหมาะสมและใช้งานได้ดีเฉพาะบางปัญหาและอาจมีประสิทธิภาพต่ำลงเมื่อทดลองใช้กับปัญหาอื่นที่มีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าที่กระจายอยู่ตามจุดต่างๆ ซึ่งเป็นปัญหาการจัดลำดับการทำงานของยานพาหนะที่ต้องเดินทางไปยังจุดใดก่อน-หลัง โดยอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดขึ้นเพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานน้อยที่สุด ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะถูกพัฒนามาจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) โดยมีวัตถุประสงค์หลักคือ ให้มีระยะทางในการเดินทางโดยรวมต่ำที่สุดโดยพนักงานขายเดินทางไปยังเมืองต่างๆ ซึ่งจะเริ่มต้นจากเมืองหนึ่งเดินทางไปเมืองใดก่อนก็ได้และเดินทางต่อไปเรื่อยๆ จนครบทุกเมืองแล้วกลับไปเมืองเริ่มต้นโดยมีเงื่อนไขคือ เมืองที่เดินทางผ่านแล้วจะไม่ทำการเดินทางผ่านซ้ำอีก ส่วนปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะจะมีเงื่อนไขข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกโดยมีเป้าหมายสำคัญคือ การพยายามออกแบบ

กลุ่มยานพาหนะทุกคันให้มีการเดินทางโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด โดยจะมีจุดเริ่มต้นจากจุดกระจายสินค้า (Depot) และยานพาหนะก็วิ่งไปตามเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยพิจารณาเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ เช่นเวลาและความจุเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่และมีเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้นการหาผลเฉลยที่เหมาะสมด้วยวิธีแม่นตรงจึงกระทำได้ยากขึ้น

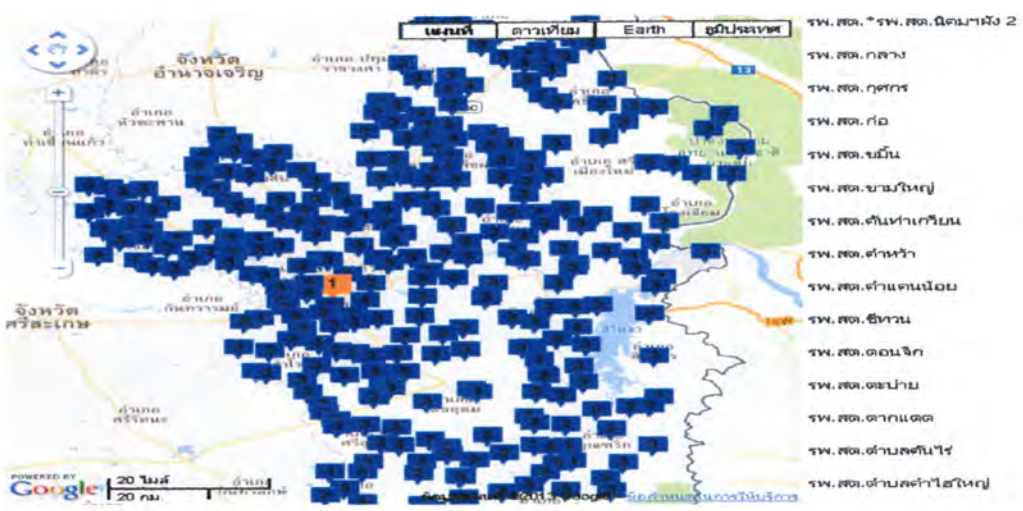
การปรับเปลี่ยนรูปแบบการวิ่งของรถขนส่งเป็นหนึ่งในแนวทางในการลดต้นทุนที่เกิดจากการขนส่ง ซึ่งรูปแบบการวิ่งรถขนส่งโดยทั่วไปมักเป็นการวิ่งแบบที่ต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นเสมอ กล่าวคือ เมื่อหมดรอบเวลาการทำงาน รถขนส่งทุกคันจะกลับมายังจุดเริ่มต้นเมื่อเสร็จการทำงานขนส่ง แสดงดังภาพที่ 1.1 (a) ซึ่งการเดินรถแบบนี้ มักทำให้เกิดความสูญเสียจากการวิ่งรถเที่ยวเปล่ากลับมายังจุดเริ่มต้นเมื่อนำสินค้าไปส่งแล้ว และการวิ่งรถเที่ยวเปล่าไปรับสินค้าจากจุดต่างๆ ในระบบ ปัจจุบันได้มีแนวทางการลดต้นทุนการขนส่งโดยการปรับปรุงวิธีการขนส่งให้มีการจัดการร่วมกันของโซ่อุปทาน (Supply Chain) ซึ่งทำให้เกิดการขนส่งสินค้ารูปแบบใหม่ ซึ่งเป็นการเดินรถที่มีการวิ่งอย่างต่อเนื่องตามคำสั่งการบริหารทรัพยากรแบบรวมศูนย์ การเดินรถลักษณะนี้ จะมีการวางแผนการขนส่งร่วมกันของส่วนต่าง ๆ ในโซ่อุปทาน เช่น ผู้ผลิต ผู้จัดหาวัตถุดิบ ผู้รับจ้างผลิต และลูกค้าต่าง ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีระยะทางการวิ่งของรถขนส่งน้อยลงด้วยการลดการวิ่งเที่ยวเปล่า การเดินรถอย่างต่อเนื่องนี้ รถขนส่งสามารถทำงานรับ-ส่งสินค้าได้โดยไม่ถูกจำกัดด้วยชั่วโมงการทำงานและสถานที่เริ่มต้น-สิ้นสุดการทำงาน เป็นการขนส่งที่พนักงานขับรถสามารถหยุดพักเมื่อครบรอบการทำงานได้ตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดให้และไม่จำเป็นจะต้องกลับมาพักยังจุดเริ่มต้นเสมอ และยังสามารถที่จะทำงานได้อย่างไม่มีข้อจำกัด วิ่งได้ระยะทางไกลขึ้น แสดงดังภาพที่ 1.1 (b)



ภาพที่ 1.1 รูปแบบการขนส่ง (a) ลักษณะเดิม (b) ลักษณะใหม่

จากการศึกษาพบว่าในประเทศไทยมีพัฒนาการด้านสุขภาพมายาวนาน ทำให้คุณภาพชีวิตของคนไทยดีขึ้นมาก เห็นได้จากโรคติดเชื้อสำคัญลดลง อัตราทารกตายและอัตราส่วนมารดาตายลดลงมาก คนไทยมีอายุเฉลี่ยสูงขึ้นมาก และมีความเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ การยกระดับสถานีอนามัยที่มีกว่า 9 พันแห่ง เป็นโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) จึงเป็นจุดเปลี่ยนระบบสาธารณสุขครั้งสำคัญที่จะพัฒนาระบบบริการสุขภาพของประเทศไทย (ศุภกิจ ศิริลักษ, 2553)

สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี (สสจ.อบ.) ซึ่งมีบทบาทในหน้าที่ในการส่งเสริมสนับสนุนให้ประชาชนมีความพร้อมและพฤติกรรมสุขภาพที่ถูกต้อง ดังนั้นการพัฒนาสถานีอนามัยให้มีมาตรฐานในการรักษาแล้ว สิ่งที่ต้องพัฒนาควบคู่ไปด้วยกันคือ เครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง จึงจำเป็นต้องให้มีการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องประจำสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) จำนวน 316 แห่ง ตามตำแหน่งสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี ดังภาพที่ 1.2 ให้ได้มาตรฐาน ซึ่งการไปทำการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องต้องอาศัยการเดินทาง ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเกิดขึ้น หากบุคลากรที่เกี่ยวข้องสามารถจัดการและดำเนินกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะด้านการจัดเส้นทางเพื่อเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องตามสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนในการดำเนินงานได้



ภาพที่ 1.2 ตำแหน่งสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี (กระทรวงสาธารณสุข, 2556)

เพื่อลดต้นทุนในการเดินทางของเจ้าหน้าที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี ในการไปซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องที่สถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำนวน 316 แห่ง จึงทำการเปลี่ยนรูปแบบการจัดเส้นทางการเดินทาง เป็นการเดินทางที่มีการวิ่งอย่างต่อเนื่องตามคำสั่งการบริหารทรัพยากร ที่เจ้าหน้าที่สามารถหยุดพักเมื่อครบรอบการทำงานได้ตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดให้และไม่จำเป็นจะต้องกลับมาพักยังจุดเริ่มต้นเสมอ และยังสามารถที่จะทำงานได้อย่างไม่มีข้อจำกัด และจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า รูปแบบการจัดเส้นทางการเดินทางโดยทั่วไปมักเป็นการเดินทางแบบที่ต้องกลับมายังจุดเริ่มต้นเสมอ เมื่อหมดรอบเวลาการทำงาน รถขนส่งทุกคันจะกลับมายังจุดเริ่มต้นเมื่อเสร็จการทำงานขนส่ง ซึ่งงานวิจัยที่ทำการศึกษามีรูปแบบการจัดเส้นทางการเดินทาง เป็นการเดินทางที่มีการวิ่งอย่างต่อเนื่องโดยสามารถหยุดพักเมื่อครบรอบการทำงานได้ตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดให้และไม่จำเป็นจะต้องกลับมาพักยังจุดเริ่มต้นเสมอ ทำให้งานวิจัยที่ทำการศึกษาแตกต่างจากงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน

จากความยุ่งยากซับซ้อนของตัวปัญหาดังที่ได้กล่าวไปแล้ว ทำให้เป็นการยากที่จะได้มาซึ่งคำตอบที่เหมาะสมโดยที่ใช้เวลาในการคำนวณที่สมเหตุสมผล ดังนั้นเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอฮิวริสติก (Heuristic) และ เมตาฮิวริสติก (Meta-heuristic) ในการปรับปรุงเส้นทางการเดินทางเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในระบบที่ต่ำที่สุด จึงทำการวิเคราะห์และออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจที่กล่าวมาข้างต้น โดยประยุกต์ใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (Differential Evolution: DE) ในการหาผลเฉลย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบต่อเนื่องเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง

1.2.2 เพื่อปรับปรุงขั้นตอนวิธีการฮิวริสติกและวิธีเมตาฮิวริสติกในการหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนในการดำเนินงาน

1.2.3 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึมในการค้นหาผลเฉลยโดยการประยุกต์ใช้วิธีอิมพรูฟ ดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล จำนวน 316 แห่ง ในเขตจังหวัดอุบลราชธานี

1.3.2 ศูนย์ประสานงานมีเพียง 1 แห่ง มีรถตู้ในการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงจำนวน 1 คัน และมีระยะทางไป-กลับของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่งเท่ากัน

1.3.3 เดินทางด้วยรถตู้ TOYOTA เลขทะเบียน 218 อุบลราชธานี จำนวน 12 ที่นั่ง ขนาดเครื่องยนต์ 2446 C.C.

1.3.4 เจ้าหน้าที่ที่เดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์มี 1 ชุด จำนวน 3 คน/ชุด

1.3.5 เจ้าหน้าที่ 3 คน จะทำการสลับสับเปลี่ยนการขับรถในแต่ละวัน โดยเจ้าหน้าที่คนที่ขับรถจะทำการซ่อมบำรุงหรือไม่ซ่อมบำรุงก็ได้ จึงทำการคิดเวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงานเพียง 2 คน โดยไม่นำเจ้าหน้าที่ที่ขับรถมาคิดเวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงาน

1.3.6 การเดินทางไปยังโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลอยู่ในช่วงเวลา 08.00–17.00 น.

1.3.7 ใช้เวลาในการเดินทางและทำการซ่อมบำรุงรวม 480 นาที พัก 60 นาที โดยสามารถพักช่างเวลาใดก็ได้

1.3.8 กำหนดให้สามารถพักค้างคืนได้สูงสุดไม่เกิน คืน 4

1.3.9 ไม่คิดค่าเดินทางในการหาที่พักนอนพักค้างคืน

1.3.10 ความเร็วในการเดินทาง 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง

1.3.11 เวลาในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ทางการแพทย์แต่ละประเภทคิดจากเวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงาน X จำนวนเครื่อง แล้วนำมาคิดค่าเวลาเผื่อส่วนตัว 5 เปอร์เซ็นต์ เผื่อจากความเมื่อยล้า 5 เปอร์เซ็นต์ และเผื่อที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ 5 เปอร์เซ็นต์

1.3.12 ในระยะเวลา 1 ปี ต้องทำการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องอย่างน้อย 1 ครั้ง

1.3.13 ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก และวิธีเมตาฮิวริสติก ในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

1.3.14 การทดสอบและเปรียบเทียบอาศัยการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยไม่มีการทดสอบกับสถานที่และยานพาหนะจริง

1.4 แผนการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ภาคการศึกษา/ปีการศึกษา											
	2551		2552		2553		2554		2555		2556	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1. ทบทวนวรรณกรรมและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องตลอดจนรวบรวมข้อมูลที่จำเป็น	→	→										
2. ศึกษาและพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง			→	→								
3. ศึกษาและพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง					→	→						
4. ทดสอบอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้กับปัญหาจริง							→	→				
5. เปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมและสรุปผล								→	→	→	→	
6. จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์											→	→

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถลดระยะทางในการเดินทางไปซ่อมบำรุงเครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ที่สถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในจังหวัดอุบลราชธานี

1.5.2 สามารถลดต้นทุนในการเดินทางและสร้างรูปแบบการบริหารจัดการการเดินทางอย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.3 เมื่อระยะทางในการการเดินทางลดลงก็จะสามารถเดินทางไปซ่อมบำรุงที่โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลได้รวดเร็วขึ้นเป็นการสร้างความพึงพอใจให้กับผู้ใช้บริการ

1.5.4 ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นทรัพยากรสิ้นเปลืองลงได้

1.5.5 ช่วยก่อให้เกิดองค์ความรู้ใหม่และสามารถนำวิธีการแก้ไขปัญหาไปประยุกต์ใช้กับหน่วยงานหรือผู้สนใจ

1.5.6 ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซน์ ซึ่งเป็นต้นเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 Traveling Salesman Problem หมายถึง ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่น้อยที่สุด ซึ่งมีเงื่อนไขว่าต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมือง แต่ละเมืองสามารถเดินทางผ่านได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น เมื่อพนักงานขายเดินทางจนครบทุกเมืองแล้วให้เดินทางกลับไปยังเมืองเริ่มต้น

1.6.2 Vehicle routing problem หมายถึง ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ โดยหาวิธีการวางแผนจัดลำดับและจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ ด้วย เช่น เวลา จำนวนยานพาหนะ ระยะทาง

1.6.3 Exact Method หมายถึง วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากชุดของคำตอบที่เป็นไปได้

1.6.4 Heuristic หมายถึง วิธีการหาคำตอบซึ่งอาจจะได้หรือไม่ได้คำตอบแต่ใช้ระยะเวลาในการคำนวณสั้นกว่าแบบวิธีการหาคำตอบที่ดี

1.6.5 Meta-Heuristics หมายถึง วิธีการที่ออกแบบมาเพื่อหาคำตอบที่ดี สำหรับปัญหาที่ต้องการค่าที่ดีที่สุดที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ปัญหา โดยอาศัยเทคนิคต่างๆ ในการลดจำนวนครั้งของการหาคำตอบจากปัญหาตั้งต้น

1.6.6 Differential Evolution หมายถึง วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

1.6.7 Supply Chain หมายถึง การใช้ระบบของหน่วยงาน คน เทคโนโลยี กิจกรรม ข้อมูลข่าวสาร และทรัพยากร มาประยุกต์เข้าด้วยกัน เพื่อการเคลื่อนย้ายสินค้าหรือบริการ จากผู้จัดหาไปยังลูกค้า

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ เป็นที่รู้จักกันในชื่อ Vehicle Routing Problem ซึ่งมีงานวิจัยจำนวนมากที่แตกต่างกันในลักษณะของปัญหา รูปแบบและเทคนิคต่างๆในการแก้ปัญหา ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวความหลากหลายของปัญหาการจัดเส้นทางในรูปแบบต่างๆ ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ทฤษฎีการจัดลำดับงาน วิธีเมตาฮิวริสติก รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

2.1 ความหลากหลายของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง

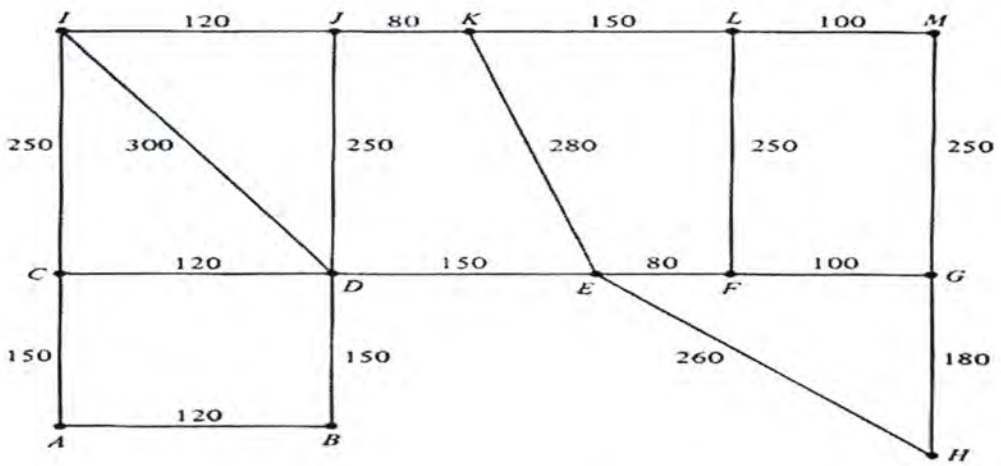
ปัญหาการจัดเส้นทาง (Routing Problems) เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจ และมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางในช่วง 3 ถึง 4 ทศวรรษที่ผ่านมา โดยในช่วงที่ผ่านมานั้นจะให้ความสำคัญกับปัญหาที่ระบบคงที่ (Static) และข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดทราบก่อนเริ่มการวางแผนจัดเส้นทาง (Deterministic) แต่ทว่ารูปแบบของปัญหาที่พบได้บ่อยในทางปฏิบัติตัวระบบมักเป็นแบบพลวัต (Dynamic) ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นในการจัดเส้นทางจะทยอยออกมาหลังจากที่ได้เริ่มจัดเส้นทางไปแล้ว ทำให้ระยะหลังมีการให้ความสำคัญกับปัญหาในรูปแบบหลังเพิ่มมากขึ้น โดยปัญหาการจัดเส้นทางนั้นสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่มหลักคือ ปัญหาแบบ Edge-covering และปัญหาแบบ Node-covering ซึ่งปัญหาทั้ง 2 กลุ่มนั้นก็จะถูกจำแนกออกเป็นปัญหาย่อยอีกตามรูปแบบลักษณะเด่นเฉพาะของตัวปัญหา ดังนี้

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Edge-covering

ปัญหาในกลุ่มนี้จะเป็นปัญหาในการจัดเส้นทางเพื่อให้เดินทางผ่านครบทุก Edge ที่มีอยู่แล้วกลับมายังจุดเริ่มต้น ซึ่งปัญหาที่เป็นที่รู้จักคือ

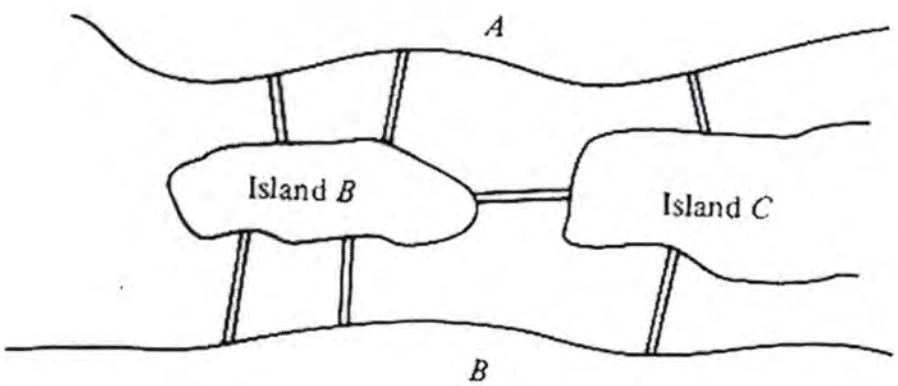
2.1.1.1 ปัญหา The Chinese Postman's Problem (CCP) คือปัญหาในการจัดเส้นทางสำหรับบุรุษไปรษณีย์ในการจัดส่งจดหมายภายในอาณาเขตดังที่กำหนดโดยกำหนดให้ถนนถูกแสดงด้วย edge และจุดตัดของถนนแต่ละเส้นถูกแสดงด้วย node ดังเช่นใน ภาพที่ 2.1 บุรุษไปรษณีย์จะเริ่มออกเดินทางที่ node A ซึ่งกำหนดให้เป็นที่ทำการไปรษณีย์ โดยเขาจะต้อง

เดินทางไปส่งจดหมายโดยผ่านทุกๆถนนในอาณาเขตที่กำหนดให้แล้วเดินทางกลับมายัง node A ตามถนนที่มีอยู่ในภาพ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ให้ระยะทางในการเดินทางน้อยที่สุด



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างอาณาเขตในการส่งจดหมายของบุรุษไปรษณีย์

2.1.1.2 ปัญหา Konigsberg Routing Problem เป็นปัญหาในการหาเส้นทางของขบวนพาเหรดให้มีการข้ามสะพานทั้ง 7 แห่งในเมือง Konigsberg ดังที่แสดงในภาพที่ 2.2 ให้ครบโดยให้มีการข้ามสะพานแต่ละแห่งเพียงครั้งเดียว



ภาพที่ 2.2 Seven-bridge problem at Konigsberg

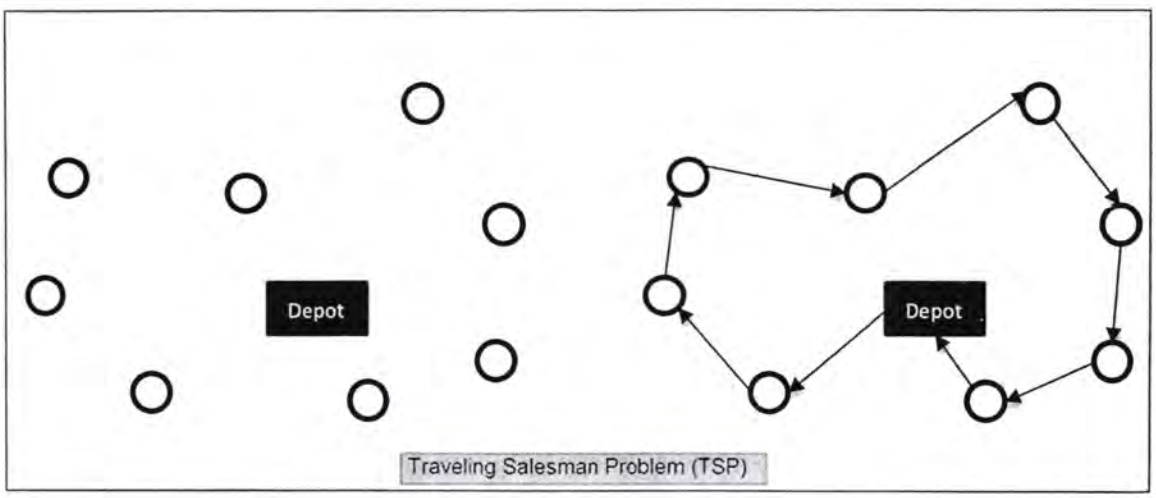
2.1.2 ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Node-covering

ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ Node-covering ที่เป็นที่รู้จักและมีการศึกษากันอย่างกว้างขวางที่สุดคือ ปัญหา Traveling Salesman Problem (TSP) ซึ่งเป็นปัญหาที่พนักงานขาย 1 คน

จะต้องเดินทางจากเมืองเริ่มต้นไปยังเมืองทุกเมืองแล้วย้อนกลับมาที่เมืองเริ่มต้น ซึ่งแต่ละเมืองจะผ่านได้เพียงครั้งเดียว โดยมีจุดประสงค์ที่มีระยะทางรวม ในการเดินทางสั้นที่สุด

2.2 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems: TSP) เป็นรูปแบบหนึ่งของวิธีในการดำเนินการแก้ปัญหาการขนส่ง ที่มีวัตถุประสงค์คือ ต้องการหาเส้นทางที่ทำให้การเดินทางไปยังลูกค้าทุกคนเกิดขึ้นด้วยค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่าต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมืองหรือหาเส้นทางวงปิด (Closed Tour) แต่ละเมืองสามารถเดินทางผ่านได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น เมื่อพนักงานขายเดินทางจนครบทุกเมืองแล้วให้เดินทางกลับไปยังเมืองเริ่มต้นดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลักษณะปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ปัญหา TSP สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้ (1) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบสมมาตร (Symmetric TSP) กล่าวคือ ค่าของระยะทางระหว่างสองตำแหน่งทั้งไป-กลับมีค่าเท่ากัน (2) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบไม่สมมาตร (Asymmetric TSP) กล่าวคือ ระยะทางระหว่างสองตำแหน่งทั้งไป-กลับมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ปัญหา TSP เป็นปัญหาประเภทเอ็นพี-สมบูรณ์ (NP-Complete) ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างยาก โดยที่จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้จะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโปเนลเชียลตามจำนวนจุดของสถานที่ที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อจำนวนสถานที่เพิ่มขึ้นก็จะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ลักษณะของปัญหา TSP สามารถแสดงได้จากกราฟ $G = (V, A)$ เมื่อ $V = \{1, \dots, N\}$ คือเซตของโหนด โดยที่ A คือ

เซตของเส้นเชื่อม แต่ละเส้นเชื่อมจะประกอบไปด้วย C_{ij} เป็นสัญลักษณ์แทนระยะทางที่พนักงานขายเดินทางจากเมือง i ไปยังเมือง j ซึ่ง $(i,j)\,\epsilon\, V | i \neq j$ และ S คือ สับเซตที่เป็นไปได้ทั้งหมด V: $S \subset V$ โดยที่ $S \neq \emptyset, S \neq V$ ซึ่ง $|S|$ คือ จำนวนสมาชิกของเซต S แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงได้ดังนี้

ดัชนี (Indices)

i ลำดับของเมืองที่ i โดยที่ $i = 1,2,\dots,N$

j ลำดับของเมืองที่ j โดยที่ $j = 1,2,\dots,N$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

C_{ij} ระยะทางระหว่างเมืองที่ i ไปยังเมืองที่ j

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$X_{ij} =$ 1, ถ้ามีการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j

0, กรณีอื่นๆ

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Min = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} C_{ij}X_{ij} \tag{2.1}$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ij} = 1 \qquad \forall_{j=1,2,..,N} \tag{2.2}$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{ij} = 1 \qquad \forall_{i=(1,2,...,N)} \tag{2.3}$$

$$\sum_{i\in S}\sum_{j\in S} X_{ij} \leq |S| - 1 \qquad \forall_{S\subset V} \tag{2.4}$$

$$X_{ij}\epsilon\{0,1\} \qquad \forall_{i=(1,2,...,N),j=(1,2,..,N)} \tag{2.5}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ (2.1) คือ ต้องการหาเส้นทางวงปิดที่สั้นที่สุด ที่ได้จากการรวมระยะทางการเดินทางของพนักงานขาย สมการข้อจำกัดที่ (2.2) และ (2.3) คือแต่ละเมืองจะต้องประกอบด้วยเส้นทางเข้าหนึ่งเส้นและเส้นทางออกหนึ่งเส้น สมการ (2.4) คือสมการป้องกันการเกิดเส้นทางพาหนะขนส่งย่อย และสมการ (2.5) เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี่

ปัญหา TSP เป็นปัญหาที่ได้รับความนิยมในการศึกษาค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวาง โดยมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1940 แม้ว่าจะมีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปัญหานี้มาอย่างยาวนาน แต่ทว่ายังไม่มีวิธีการไหนที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากปัญหา TSP จัดเป็นปัญหาที่ยากในการหาคำตอบ ในอดีตมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาถึงวิธีการแก้ปัญหา TSP โดยมี 2 ลักษณะคือ (1) วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) และ (2) วิธีฮิวริสติก (Heuristic Method)

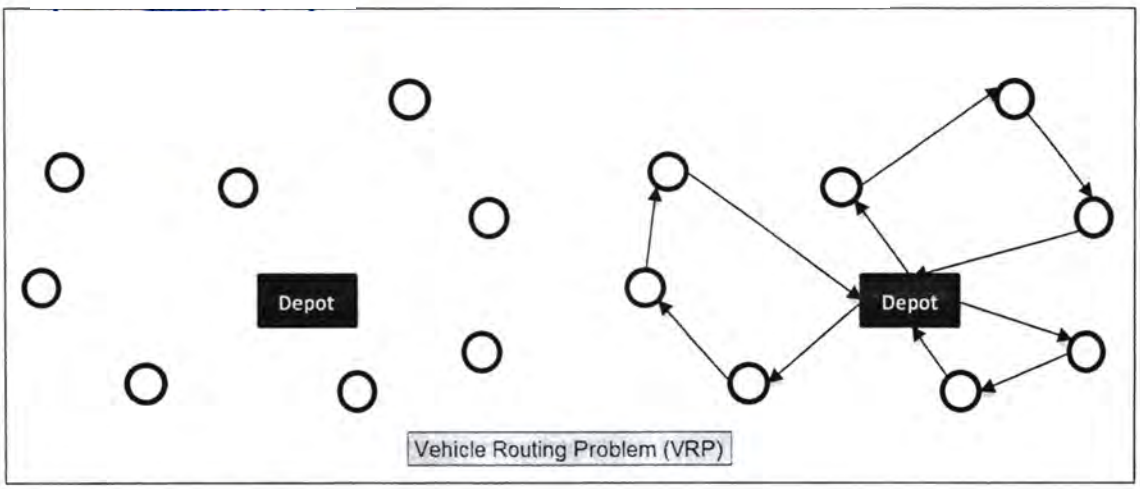
การประยุกต์วิธีการแก้ปัญหาแบบวิธีดีที่สุด ยกตัวอย่างเช่น Balas and Christofides (1981) ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา TSP ที่ไม่สมมาตร โดยใช้วิธี Restricted Lagragean Relaxation ที่ขึ้นอยู่กับปัญหาการมอบหมายงานมีตัวคูณลากรองซ์เป็นเงื่อนไขที่จะยืนยันว่า จะได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบเริ่มต้น และใช้วิธี Polynomials Bounded มาทำการสร้างความไม่เท่ากันและนำเข้ามาในฟังก์ชันลากรองซ์ที่มีตัวคูณเป็นบวกมีการเช็คตามเงื่อนไข ทำให้ขอบเขตล่าง (Lower Bound) อย่างสม่ำเสมอและสามารถหาขอบเขตบนได้จากวิธีการสร้างการ Fast Tour – Building Heuristic Laporte and Nobert (1983) นำเสนอแนวทางการสร้างโปรแกรมอินทีเจอร์ (Integer Programming) นักวิจัยทั้งสองได้ประยุกต์ใช้วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) เพื่อแก้ปัญหา TSP ทั้งแบบขนาดกลางและเล็ก และงานวิจัยของ Noon (1988) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาแบบ Lagrangian relaxation เพื่อแก้ปัญหา TSP แบบไม่สมมาตร (Asymmetric) และมีจุดลูกค้ามากถึง 442 จุด ผลการทดลองปรากฏว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) เป็นต้น

การประยุกต์วิธีการแก้ปัญหา TSP แบบฮิวริสติก ยกตัวอย่างเช่น การสร้างเส้นทางด้วยวิธี Saving ของ Clarke and Wright (1964) ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นที่รู้จักมากที่สุดวิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหา TSP โดยจะทำการหาระยะทางที่ประหยัดที่สุด วิธี Nearest Neighbor ของ Rosenkrantz et al. (1977) เป็นวิธีการค้นหาจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้กับจุดส่งสินค้าจุดสุดท้ายมากที่สุด วิธี Insertion Procedures เป็นเทคนิคการแทรกลูกค้าเข้าไปในแต่ละเส้นทาง ซึ่งวิธีแทรกมีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น Nearest Insertion, Cheapest Insertion, Arbitrary insertion, Quick Insertion, Greatest Angle Insertion และวิธี Minimal Spanning Tree ของ Christofides (1976) เป็นต้น

จากการทบทวนปัญหาการเดินทางของพนักงานขายสรุปว่า ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด วัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหา คือการหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่น้อยที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่าต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมือง โดยแต่ละเมืองสามารถเดินทางผ่านได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น เมื่อพนักงานขายเดินทางจนครบทุกเมืองแล้วให้เดินทางกลับไปยังเมืองเริ่มต้น และวิธีการแก้ปัญหา ที่นิยมใช้มี 2 ลักษณะคือ (1) วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด เช่น วิธี Restricted Lagragean relaxation (2) วิธีฮิวริสติก เช่น วิธี Saving, วิธี Nearest Neighbor

2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem)

ปัญหา VRP นั้นเป็นปัญหาส่วนหนึ่งของการจัดการด้านโลจิสติกส์ (Logistic) คือ ปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดในการเคลื่อนย้ายวัตถุ โดยหาวิธีการวางแผนจัดลำดับและจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ ด้วย เช่น เวลา จำนวนยานพาหนะ ระยะทาง เป็นต้น ปัญหา VRP มีความแตกต่างจากปัญหา TSP ดังนี้ "เรียกชื่อแทนพนักงานขายว่า พาหนะขนส่ง (Vehicle) หรือ สายส่ง (Route) และมีจุดเริ่มต้นในการเดินทางที่เหมือนกันเพียงจุดเดียว คือ จุดศูนย์กระจายสินค้ากลาง (Depot)" ส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา VRP จะประกอบไปด้วย ศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่ง แห่ง จำนวนลูกค้ามีเท่ากับ N ราย และพาหนะขนส่งมีจำนวน K คัน ระยะทางระหว่างจุดที่ตั้งของโหนดสองโหนดมีการคำนวณระยะทางแบบเชิงพิกัด (Euclidean distances) การบรรทุกสินค้าในการขนส่งแต่ละครั้งและแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินขีดจำกัดของ Q_k ลูกค้าทุกรายเป็นสมาชิกของ $i = \{1,2,\dots,N\}$ และมีความต้องการสินค้าในระดับ D_i ลักษณะการแก้ปัญหาหรือการออกแบบเพื่อแบ่งกลุ่มเส้นทางของพาหนะขนส่งออกเป็นจำนวน K สาย เพื่อให้สายส่งสามารถขนส่งสินค้าออกไปให้บริการให้กับลูกค้าอย่างรวดเร็วและต้องใช้ต้นทุนในการให้บริการต่ำที่สุด ลักษณะของปัญหา VRP ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem) เป็นปัญหาของการจัดการเพื่อหาจำนวนเส้นทางและลำดับของการเดินรถที่มีความเหมาะสมไปยังลูกค้าต่าง ๆ ในแต่ละเส้นทางและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายทางธุรกิจ ซึ่งในทางปฏิบัติจะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่สำคัญต่อการจัดเส้นทางเดินรถ (Hall and Partyka, 1997) ได้แก่

(1) ข้อจำกัดในเส้นทาง (Route Capacities) ซึ่งสะท้อนถึงขนาดของรถหรือเงื่อนไขของเวลาในการขับขี่รถบรรทุกที่กฎหมายอนุญาต

(2) กรอบของเวลา (Time Window) เป็นการกำหนดช่วงเวลาของวันที่จะลงสินค้าในแต่ละร้านค้า โดยข้อกำหนดนี้อาจเป็นได้ทั้งข้อกำหนดที่เข้มงวด คือ หลีกเลี่ยงไม่ได้ (Hard Time Window) และข้อกำหนดที่ไม่เข้มงวด (Soft Time Window) คือ สามารถผ่อนปรนได้บ้าง แต่อาจจะต้องเสียค่าปรับ

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) จากบทความของ Dantzig and Ramser (1959) ซึ่งมีการตีพิมพ์ในช่วงทศวรรษ 1950 ด้วยเหตุที่ปัญหานี้ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากปัญหา VRP นั้นเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวัน และปัญหา VRP เป็นปัญหาที่มีความสนใจเชิงทฤษฎีไม่ง่ายในการที่จะหาคำตอบจึงทำให้มีนักวิจัยสนใจและพัฒนาวิธีการหาคำตอบต่อๆ กันมาเรื่อยๆ รวมระยะเวลาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเกือบห้าสิบปีมาแล้ว ในงานวิจัยของ Larsen (2000) ได้แบ่งปัญหา VRP ออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ (1) ปัญหาแบบ Deterministic ซึ่งทราบข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดก่อนเริ่มทำการจัดเส้นทาง และ (2) ปัญหาแบบ Dynamic ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นจะไม่ทราบแน่นอนจะไม่ทราบแน่นอนก่อนการจัดเส้นทาง แต่จะทยอยกันออกมาในระหว่างที่ทำการจัดเส้นทาง โดยปัญหา VRP มีรากฐานมาจาก

ปัญหา TSP ดังที่ได้กล่าวลักษณะของปัญหาไว้ในหัวข้อที่ 2.2 ซึ่งจุดเริ่มต้นของปัญหา TSP เกิดขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1920 โดยนักคณิตศาสตร์และนักเศรษฐศาสตร์ที่ชื่อว่า Karl Menger จากนั้นก็มีการศึกษากันเรื่อยมา และปัญหานี้ถูกทำให้ได้รับความนิยม ในงานวิจัยของ Dantzig et al. (1954) ได้เสนอวิธีในการหาคำตอบในการจัดเส้นทางซึ่งสามารถจัดการกับปัญหา TSP ซึ่งมีเมืองที่ต้องผ่านขนาด 49 เมืองได้ จากนั้นก็มีการศึกษาต่อเนื่องเรื่อยมาจนกระทั่งในงานวิจัยของ Applegate et al. (2009) สามารถหาเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางผ่านไปยังเมือง 85,900 เมือง สำหรับปัญหา VRP จะมียานพาหนะที่ใช้ในการเดินทางมากกว่า 1 คัน ซึ่งโดยตัวปัญหาจะถูกแบ่งออกเป็นประเภทย่อยๆ อีกหลายประเภทตามลักษณะเฉพาะของตัวปัญหา โดยในงานวิจัยของ Toth and Vigo (2002) ได้แบ่งประเภทของปัญหา VRP ไว้ 9 ปัญหาด้วยกันแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะรูปแบบต่างๆ

รูปแบบปัญหา	ชื่อย่อ	ความหมาย
Capacitated VRP	CVRP	VRP แบบมีข้อจำกัดเรื่องความจุของรถบรรทุก
VRP with Time Windows	VRPTW	VRP แบบมีกรอบเวลาในการส่งสินค้า
VRP with Backhaul	VRPB	VRP แบบมีการขนส่งกลับมายังคลังเดิม
VRP with Pickup and Delivery	VRPPD	VRP แบบมีการรับ-ส่งสินค้า
VRPPD with Time Window	VRPPDTW	VRP แบบมีการรับ-ส่งสินค้าและมีกรอบเวลา
VRP with Multiple Depots	MDVRP	VRP แบบมีหลายคลังสินค้า
Periodic VRP	PVRP	VRP แบบมีช่วงเวลา
Split Delivery VRP	SDVRP	VRP แบบมีการแยกสินค้าออกส่งเป็นส่วนๆ
Stochastic VRP	SVRP	VRP แบบมีความไม่แน่นอน

(1) Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)

เป็นรูปแบบปัญหาที่คำนึงถึงปริมาณสินค้าที่รถบรรทุกสามารถบรรทุกได้ โดยมีเงื่อนไขในการแก้ปัญหา คือ ปริมาณบรรทุกรวมในเส้นทางการขนส่งจะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสูงสุดที่รถบรรทุกสามารถบรรทุกได้

(2) Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)

ปัญหา VRPTW จะมีลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่คำนึงถึงช่วงเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ โดยเวลารับสินค้าจะกำหนดเป็นลักษณะช่วงเวลา (Time Windows) การขนส่งสินค้าจะต้องให้บริการภายในเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ

(3) Vehicle Routing Problem with Backhaul (VRPB)

ปัญหา VRPPB เป็นรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่ลูกค้าบางรายสามารถส่งสินค้าบางอย่างกลับสู่จุดกระจายสินค้าได้ โดยมีลักษณะที่สำคัญคือ จะต้องทำการส่งสินค้าไปยังลูกค้าต่างๆ ในเส้นทางการขนส่งให้หมดก่อนที่จะรับสินค้าที่จะบรรทุกกลับมายังจุดเริ่มต้น

(4) Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery (VRPPD)

ปัญหา VRPPD เป็นปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่รถบรรทุกสามารถรับและส่งสินค้าได้ตลอดเส้นทาง โดยที่ปริมาณบรรทุกไม่เกินความสามารถในการบรรทุกของรถ และจะต้องไม่มีการส่งสินค้าจากลูกค้ารายหนึ่งไปยังอีกรายหนึ่ง ลักษณะของ VRPPD แตกต่างจาก VRPB ที่ลักษณะการบรรทุกสินค้าจากลูกค้ากลับมายังจุดกระจายสินค้า VRPB จะต้องส่งสินค้าให้เรียบร้อยก่อนจึงบรรทุกสินค้ากลับ ส่วน VRPPD จะมีการรับ-ส่งสินค้าตลอดทาง แต่ต้องไม่มีการขนส่งสินค้าในระหว่างลูกค้าด้วยกันเอง

(5) Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery with Time Windows (VRPPDTW)

ปัญหา VRPPDTW จะมีลักษณะของปัญหาเหมือนกับ VRPPD แต่จะเพิ่มเงื่อนไขในส่วนของเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ โดยเวลารับสินค้าจะกำหนดเป็นลักษณะช่วงเวลา (Time Windows) การขนส่งสินค้าจะต้องให้บริการภายในเวลารับสินค้าที่ลูกค้าต้องการ

(6) Vehicle Routing Problem with Multiple Depots (MDVRP)

ปัญหา MDVRP จะมีลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่มีจุดกระจายสินค้าหลายๆ จุด โดยแต่ละจุดจะมีฝูงรถที่ประจำอยู่ในจุด เมื่อทำการขนส่งสินค้าเรียบร้อยก็จะกลับมายังจุดกระจายสินค้าที่ประจำอยู่

(7) Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)

ลักษณะปัญหาของ PVRP คือ การขนส่งสินค้าที่เปลี่ยนจากลักษณะการวิเคราะห์การขนส่งในรอบวันให้สามารถวิเคราะห์ถึงการขนส่งที่มีรอบการขนส่งเกิน 1 วัน เช่น การขนส่งไปยังจุดหมายปลายทางที่ไกลได้ ทำให้รอบของการขนส่งมีความแตกต่างกันรูปแบบการขนส่งที่เป็นไปได้จึงมีตัวเลือกจำนวนมาก

(8) Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)

ปัญหา SDVRP เป็นลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่ยอมให้ลูกค้าหนึ่งรายสามารถส่งสินค้าจากรถขนส่งได้หลายคันเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เช่น กรณีที่ปริมาณสินค้าที่ต้องการเกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถบรรทุก 1 คัน

(9) Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP)

ปัญหา SVRP เป็นรูปแบบวิธีการที่คำนึงถึงความไม่แน่นอนขององค์ประกอบต่างๆ ในการขนส่งซึ่งมีอยู่ 3 ส่วนหลักๆ คือ (1) ความไม่แน่นอนของลูกค้า (2) ปริมาณสินค้าที่ต้องการ และ (3) ความไม่แน่นอนในเวลาที่ใช้ในการขนส่ง

แต่เมื่อระบบมีองค์ประกอบตั้งแต่ 1 อย่างขึ้นไปที่มีความไม่แน่นอนปัญหาจะถูกจัดเป็น Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP) ซึ่งสามารถแบ่งตามองค์ประกอบที่มีความไม่แน่นอนได้ดังนี้

(1) Stochastic Customers เมื่อลูกค้าแต่ละรายมีความน่าจะเป็นที่จะปรากฏออกมาอยู่ระหว่าง 0 กับ 1

(2) Stochastic Demands เมื่อปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายเป็นตัวแปรสุ่ม

(3) Stochastic Times เมื่อระยะเวลาในการให้บริการ หรือระยะเวลาในการเดินทางเป็นตัวแปรสุ่ม

โดยหากทำการแบ่งประเภทตามแนวทางของ Gendreau et al. (1996) จะสามารถแบ่งปัญหาแบบ Stochastic ออกเป็น 6 รูปแบบย่อยดังนี้

(1) TSP with Stochastic Customer (TSPSC) เมื่อลูกค้าแต่ละรายมีความน่าจะเป็นที่จะปรากฏออกมาอยู่ ระหว่าง 0 กับ 1ซึ่งปัญหานี้จะเป็นที่รู้จักในอีกชื่อหนึ่งคือ Probabilistic Traveling Salesman Problem (PTSP)

(2) TSP with Stochastic Travel Time (TSPST) เมื่อทราบว่าลูกค้ามีรายใดบ้างแต่ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางหรือค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางเป็นตัวแปรสุ่ม โดยมีวัตถุประสงค์จัดเส้นทางให้มีความน่าจะเป็นมากที่สุดในการเดินทางไปยังจุดรับบริการของลูกค้าให้ครบภายในระยะเวลาที่กำหนด

(3) m-TSP with Stochastic Travel Time (m-TSPST) คือ TSPST ที่มียานพาหนะทั้งหมด m คัน

(4) VRP with Stochastic Demand (VRPSD) เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ เมื่อความต้องการของลูกค้าเป็นตัวแปรสุ่ม

(5) VRP with Stochastic Customer (VRPSC) คือ TSPSC ที่มียานพาหนะทั้งหมด m คัน

(6) VRP with Stochastic Customer and Demand (VRPSCD) เป็นรูปแบบของปัญหาที่มีการผสมผสานกันระหว่างปัญหาแบบ VRPSC กับ VRPSD ซึ่งปัญหานี้จะเป็นที่รู้จักในอีกชื่อหนึ่ง คือ Probabilistic Vehicle Routing Problem (PVRP)

สำหรับระบบที่ระบบไม่คงที่ ไม่ทราบข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดก่อนเริ่มการจัดเส้นทาง แต่ข้อมูลจะทยอยออกมาในระหว่างที่ได้ออกรถไปแล้ว แล้วต้องทำการตัดสินใจจัดเส้นทางในระหว่างที่รถกำลังอยู่ในระหว่างการเดินทาง จะเป็นการแก้ปัญหาแบบเวลาจริง (Real-time) ซึ่งระบบจะเป็นแบบพลวัต (Dynamic) ซึ่งปัญหามีที่มีรูปแบบดังกล่าวนี้ คือ

(1) Dynamic Traveling Salesman Problem (DTSP) ปัญหาพนักงานขายเดินทางแบบไดนามิก

(2) Dynamic Traveling Repairman Problem (DTRP) เป็นปัญหาในการจัดเส้นทางของช่างซ่อมในการเดินทางออกจากบริษัทไปยังบ้านของลูกค้าเพื่อซ่อมบำรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ชำรุด เมื่อซ่อมเสร็จแล้วก็จะเดินทางต่อไปซ่อมยังบ้านของลูกค้ารายอื่น

(3) Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP) ปัญหาการจัดเส้นทางแบบไดนามิก

(4) Dynamic Dial-A-Ride Systems (DARP) เป็นปัญหาการจัดเส้นทางในการบริการรับสินค้าจากจุดหนึ่งไปส่งยังที่หมายอีกจุดหนึ่ง

สำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัต มักจะเป็นปัญหาที่พบได้จริงในชีวิตประจำวัน เช่นงานวิจัยของ Larsen (2000) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่เป็นแบบพลวัต ได้กล่าวถึงความหลากหลายของปัญหาที่มีลักษณะเป็นแบบพลวัต วิธีในการแก้ปัญหา รวมถึงวิธีการแยกปัญหา Static Vehicle Routing Problem กับปัญหาที่เป็นแบบ Dynamic Vehicle Routing Problem โดยอ้างอิงหลักการของ Psaraftis พร้อมยกตัวอย่างของปัญหา เช่น ปัญหาในการจัดเส้นทางของช่างซ่อมในการเดินทางออกจากบริษัทไปยังบ้านของลูกค้าเพื่อซ่อมบำรุงเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ชำรุด เมื่อซ่อมเสร็จแล้วก็จะเดินทางต่อไปซ่อมยังบ้านของลูกค้ารายอื่น (Dynamic Traveling Salesman Problem: DTSP) ปัญหาในการจัดเส้นทางของบริการรับและจัดส่งพัสดุ (Courier Mail Service) ปัญหาการจัดเส้นทางในการบริการรับสินค้าจากจุดหนึ่งไปส่งยังที่หมายอีกจุดหนึ่ง (Dynamic Dial-A-Ride Systems: DARP) ปัญหาการจัดเส้นทางของแท็กซี่ (Taxi Cab Service)

Goel and Gruhn ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับวิธีในการจัดเส้นทางเดินรถในชีวิตจริงที่เป็นแบบพลวัต Dynamic Vehicle Routing Problem ซึ่งมีการเพิ่มความซับซ้อนให้กับตัวปัญหาเช่น มีข้อจำกัดด้านกรอบระยะเวลาในการจัดส่ง ยานพาหนะที่ใช้ในการจัดส่งมีหลายประเภทซึ่งมีค่าใช้จ่ายและระยะเวลาในการเดินทางที่แตกต่างกัน ข้อจำกัดด้านปริมาตรความจุ ข้อจำกัดเรื่องเส้นทางที่เกี่ยวกับพนักงานที่ทำหน้าที่ในการขับขี่ยานพาหนะ เป็นต้น โดยในงานวิจัยได้ใช้วิธีการ

ของ Larch Neighborhood Search ซึ่งมีการตอบสนองที่รวดเร็วเพียงพอที่จะรองรับการเปลี่ยนแปลงตามเวลาของข้อมูลในระบบ

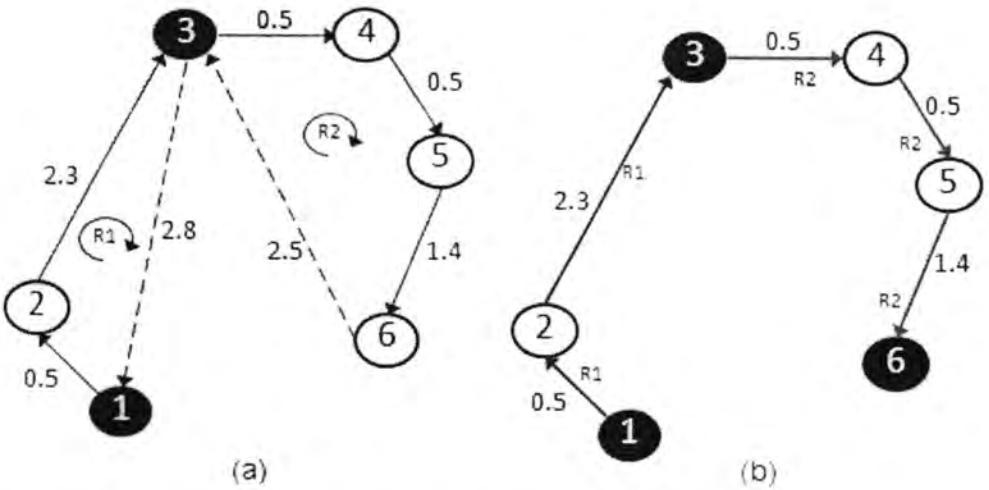
Yang et al. (2002) ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับรถบรรทุกในการบรรทุกสินค้าจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งตามข้อมูลการสั่งของลูกค้าที่ทยอยกันออกมาตามเวลา โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในด้านของการปฏิเสธงาน ค่าใช้จ่ายในการวิ่งรถเปล่า และเวลาที่ล้าช้าในการจัดส่ง และได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้นโยบายในการจัดการที่แตกต่างกัน โดยทำการจำลองแบบ (Simulation) และปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมของระบบ เช่น ในด้านของระยะเวลาระหว่างการเข้ามาของข้อมูลคำสั่งซื้อของลูกค้า ความหนาแน่นของเส้นทางการจัดส่ง เป็นต้น

Montemanni et al. (2005) ได้เสนอวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบพลวัตโดยอาศัยหลักการพื้นฐานมาจาก Ant Colony System Petros Ioannou ได้เสนอวิธีในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในการขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์ในท่าเรือซึ่งมีลักษณะของตัวปัญหาเป็นแบบพลวัต สำหรับปัญหาขนาดเล็กโดยใช้วิธีการที่เป็นลูกผสมระหว่าง Dynamic Programming กับ Genetic Algorithm และสำหรับปัญหาที่มีขนาดกลางและขนาดใหญ่ใหญ่จะใช้การแก้ปัญหาโดยใช้ Insertion Heuristic

Du et al. (2005) ได้ทำการทดลองแก้ปัญหาเป็นปัญหาในการจัดส่งสินค้าจากผู้ประกอบการไปยังลูกค้า Business-to-customer (B2C) ของธุรกิจแบบ E-commerce (Electronic Commerce) ซึ่งมีลักษณะของตัวปัญหาเป็น DVRP โดยทดลองใช้ algorithm หลายอย่างในการแก้ปัญหา โดยแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 3 ส่วนคือ การสร้างเส้นทางเบื้องต้น (Initial-routes Formation) การปรับปรุงคำตอบระหว่างเส้นทาง (Inter-routes Improvement) และการปรับปรุงคำตอบภายในเส้นทาง (Intra-routes Improvement)

นอกจากนี้ยังมีรูปแบบปัญหาอื่นๆ อีก เช่น ในงานวิจัยของ F. Li, F. Gloden, and E. Wasil (2007) แบ่งประเภทของการจัดเส้นทางเดินรถตามลักษณะการเดินทางจะสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ เส้นทางเดินรถแบบปิด (Closed Trips หรือ Vehicle Routing Problem) คือ รถแต่ละคันต้องออกและกลับมาสู่จุดปล่อยรถเดิม ในขณะที่เส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem) คือ รถขนส่งไม่ต้องย้อนกลับมายังจุดปล่อยรถหลังจากส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายสุดท้าย ซึ่งการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งรวม เพราะลดระยะเดินทางย้อนกลับโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้ามีการขนส่งหลายคันจะทาให้ประหยัดระยะทางโดยรวมลงได้มาก เช่นเดียวกับงานวิจัยนี้ที่มีจุดปล่อยรถหลายแห่งที่ตั้งห่างกันไป ตัวอย่างเช่น ภาพที่ 2.5 การส่งสินค้าไปยังจุดต่างๆ ใช้รถ 2 คันออกจากจุดปล่อยรถ 1 และ 3 ซึ่ง (a) เส้นทางแบบปิดได้ระยะทางรวม 10.5 ส่วน (b) เส้นทางแบบเปิดมีระยะทางรวม 5.2 เนื่องจากสามารถหยุดที่จุดสุดท้ายของ

เส้นทาง (R1 จอดที่ 3 และ R2 จอดที่ 6) โดยไม่ต้องเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้น (3 กลับ 1 และ 6 กลับ 3) ซึ่งมีระยะทางไกล



ภาพที่ 2.5 (a) เส้นทางแบบปิด VRP (b) เส้นทางแบบเปิด OVRP

ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยที่มีบทบาทสำคัญในการพัฒนางานทางด้านปัญหา VRP อย่างมากมาย เช่น Golden et al. (1977) Christofides et al. (1979) Bodin et al. (1983) Chistofides (1985) Filipec et al. (1998) Laporte et al. (2000) Toth and Vigo (2002) และ Kytojoki et al. (2007) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ลักษณะของปัญหา VRP ที่ Golden et al. ศึกษา แสดงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานได้ดังนี้

ดัชนี (Indices)

i ลำดับของลูกค้าที่ i โดยที่ $i = 1,2,\dots,N$

j ลำดับของลูกค้าที่ j โดยที่ $j = 1,2,\dots,N$

k ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าที่ k โดยที่ $k = 1,2,\dots,K$

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

D_i ความต้องการสินค้าของลูกค้าที่ i โดยกำหนดให้ $D_1 = 0$

C_{ij} ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ i ไปยังลูกค้าที่ j

Q_k ความสามารถในการขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่งที่ k

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$X_{ij} =$ 1, ถ้ามีการเดินทางจากลูกค้า i ไปลูกค้า j

0, กรณีอื่นๆ

$U_i =$ ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary variable) ที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Min = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} C_{ij}X_{ij}^{k} \tag{2.6}$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall_{j=(2,..,N)} \tag{2.7}$$

$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} = 1 \qquad \forall_{i=(2,..,N)} \tag{2.8}$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ip}^{k} - \sum_{j=1}^{N} X_{pj}^{k} = 0 \qquad \forall_{k=(1,2,..,K),p=(1,2,..,N)} \tag{2.9}$$

$$\sum_{i=1}^{N} D_i\left(\sum_{j=1}^{N} X_{ij}^{k}\right) \le Q_k \qquad \forall_{k=(1,2,...,K)} \tag{2.10}$$

$$\sum_{j=2}^{N} X_{1j}^{k} \le 1 \qquad \forall_{k=(1,2,...,K)} \tag{2.11}$$

$$\sum_{i=2}^{N} X_{i1}^{k} \le 1 \qquad \forall_{k=(1,2,...,K)} \tag{2.12}$$

$$U_i - U_j + N\sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} \le N - 1 \qquad \forall_{i,j=(2,...,N)\ and\ i\neq j} \tag{2.13}$$

$$X_{ij}^{k}\epsilon\{0,1\} \qquad \forall_{i,j=(1,2,...,N),k=(1,2,...,K)} \tag{2.14}$$

สมการเป้าหมายแสดงวัตถุประสงค์หลัก (2.6) เพื่อให้เกิดระยะทางในการเดินทางต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (2.7) และ (2.8) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละจุดสามารถรับการบริการได้

จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการเงื่อนไขที่ (2.9) แสดงความต่อเนื่องของตำแหน่งที่เชื่อมกันอยู่ในแต่ละเส้นทางเมื่อยานพาหนะเข้ามายังจุดใดๆ และออกจากจุดนั้น สมการเงื่อนไขที่ (2.10) แสดงข้อจำกัดทางด้านความจุของยานพาหนะ สมการเงื่อนไขที่ (2.11) และ (2.12) ยืนยันความสามารถในการมียานพาหนะใช้ได้เท่าที่กำหนด สมการเงื่อนไขที่ (2.13) เป็นสมการป้องกันการเกิดซับทัวร์ โดยกำหนดให้ตัวแปรสนับสนุนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และสมการเงื่อนไขสุดท้าย (2.14) กำหนดให้ตัวแปรตัวสินใจมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

จากการทบทวนปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะสรุปว่า ปัญหา VRP ออกเป็น 2 กลุ่มคือ (1) ปัญหาแบบ Deterministic ซึ่งทราบข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดก่อนเริ่มทำการจัดเส้นทาง และ (2) ปัญหาแบบ Dynamic ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นจะไม่ทราบแน่นอนจะไม่ทราบแน่นอนก่อนการจัดเส้นทาง แต่จะทยอยกันออกมาในระหว่างที่ทำการจัดเส้นทาง และประเภทของปัญหา VRP มี 9 ปัญหา

2.4 วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะสามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) และวิธีฮิวริสติก (Heuristic method)

2.4.1 วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method)

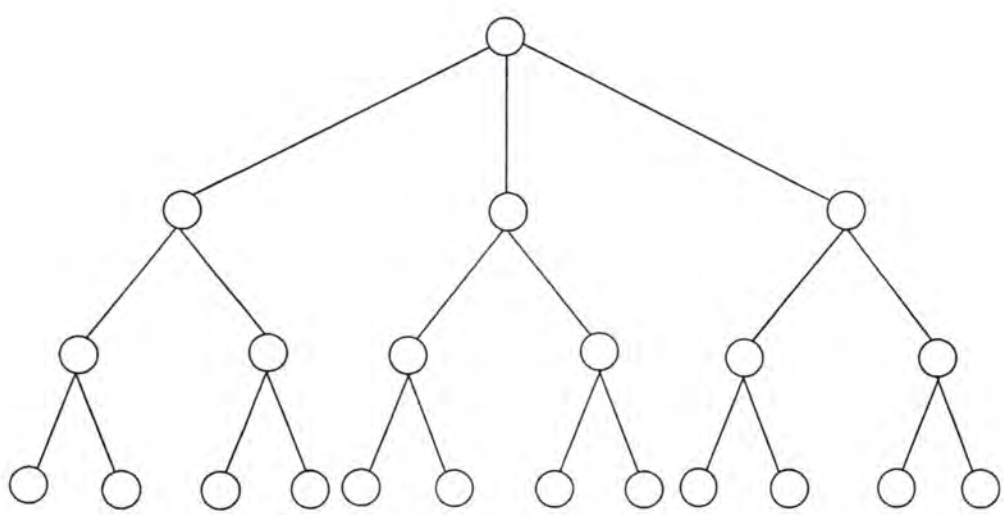
วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดอาจได้คำตอบที่ดีที่สุดจากการใช้วิธีนี้ในการแก้ปัญหา แต่ใช้เวลาในการค้นหาเป็นระยะเวลานาน อาจเป็นวัน เป็นสัปดาห์ ขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาที่นำมาแก้ไข หรือบางครั้งในบางปัญหาที่มีความยุ่งยาก ซับซ้อนมาก วิธีนี้อาจจะไม่สามารถค้นหาคำตอบได้เลย วิธี Exact method มีอยู่ด้วยกันหลากหลายวิธี ได้แก่

2.4.1.1 การโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) เป็นการนำเอาปัญหาที่เกิดขึ้นจริงมาสร้างเป็นสมการแบบจำลองขึ้น โดยจะมีการสร้างแบบจำลองในส่วนของสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด เพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหาซึ่งสามารถใช้คนหรือคอมพิวเตอร์ในการแก้ไขปัญหาได้ แต่ในการใช้คนกรณีที่ปัญหามีตัวแปรมากอาจจะทำให้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีได้ดังนั้นการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยนั้นจะทำให้สามารถรองรับปัญหาที่ใหญ่ได้และใช้เวลาในการหาคำตอบเร็วกว่าการใช้คน ในปัจจุบันมีซอร์ฟแวร์มากมายที่ใช้ในการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นตรง ไม่ว่าจะเป็นโปรแกรม Excel Solver หรือโปรแกรม LINGO ในส่วนของโปรแกรม LINGO ถูกคิดค้นโดยบริษัท LINDO System ประเทศสหรัฐอเมริกา ในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบสามารถเขียนสมการคณิตศาสตร์ของปัญหาเข้าไปได้เลยหรือเขียนในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์

ทั่วไปก็ได้ หากเป็นสมการรูปแบบทั่วไปจะต้องมีการประกาศตัวแปรและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นเขียนสมการเป้าหมายและสมการเงื่อนไขในรูปแบบของโปรแกรม LINGO

2.4.1.2 วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex method) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น ซึ่งเป็นกระบวนการทางพีชคณิตที่ประกอบด้วยการกระทำซ้ำๆ กัน เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ในการใช้วิธี Simplex method ต้องเปลี่ยนปัญหาให้อยู่ในรูปแบบมาตรฐาน (Standard Form) กล่าวคือ การแปลงอสมการให้เป็นสมการ โดยการเพิ่มตัวแปรแบบ Slack, Surplus หรือ Artificial เข้าไป และส่วนที่อยู่ทางด้านขวาของข้อจำกัดแต่ละอย่างต้องไม่ติดลบ ถ้าของเดิมติดลบ ต้องนำลบหนึ่งไปคูณทั้งสองข้าง การทำ Simplex method มีเป้าหมายที่จะหาคำตอบที่เป็นไปได้ที่ดีที่สุดของปัญหากำหนดการเชิงเส้นที่กำหนดให้นั่นเอง

2.4.1.3 วิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) คือวิธีในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) โดยอาศัยการแบ่งหรือแตกกิ่งทางเลือกของปัญหาออกเป็นแผนภูมิต้นไม้ (Decision Tree) ดังภาพที่ 2.6 และการหยุด ขั้นตอนวิธีการจะเริ่มต้นจากปัญหาที่มีขนาดใหญ่และแบ่งปัญหานั้นเป็นปัญหาย่อยๆ (Sub Problem) คำตอบที่ได้จาก Sub Problem นั้นจะต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข จากนั้นกระทำซ้ำกับทุกปัญหาย่อยๆ จนกระทั่งพบปัญหาย่อยที่ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งวิธี Branch and Bound สามารถนำไปแก้ปัญหาอื่นๆ ได้หลายรูปแบบเช่น Integer programming หรือปัญหา Binary integer programming เป็นต้น



ภาพที่ 2.6 แผนภูมิการตัดสินใจแบบต้นไม้ (Decision Tree)

2.4.1.4 วิธี Column Generation เป็นวิธีการที่ใช้ในการช่วยหาผลเฉลยของปัญหารูปแบบกำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ (Large-Scale Linear Programming) ซึ่งมีตัวแปรในการ

ตัดสินใจจำนวนมาก วิธีการของเทคนิคนี้จะเริ่มต้นจากการสร้างเซตของกลุ่มตัวแปรพื้นฐานและหาค่าผลเฉลยภายใต้กลุ่มตัวแปรนั้น จากนั้นคำนวณค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้ (Reduced Costs) ของตัวแปรที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มเซตของตัวแปรพื้นฐาน ถ้ามีตัวแปรใดที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้ (มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงได้เป็นลบ สำหรับกรณีปัญหาค่าต่ำที่สุด) จึงเพิ่มตัวแปรนั้นเข้าไปในเซตของกลุ่มตัวแปรพื้นฐาน และทำการหาค่าผลเฉลยใหม่อีกครั้งจนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้อีก

ในงานวิจัยของ Li et al. (2006) ได้นำเสนอให้เห็นว่าปัญหา VRP เป็นปัญหาที่ต้องใช้วิธีการแก้ปัญหาในเชิงของการจัดหมวดหมู่ที่เหมาะสม (Combinatorial Optimization) และจัดปัญหานี้อยู่ในประเภท Non Polynomial-Hard (NP-hard) กล่าวคือ เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหามีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นแบบเอกโปเนนเชียลกับขนาดของปัญหาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดกับปัญหานี้นั้นจะมีความยุ่งยากซับซ้อน การประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือใช้เทคนิค Linear Programming อาจกระทำได้ยากหรือไม่สามารถกระทำได้เลย เมื่อจำนวนตัวแปรตัดสินใจเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว จนบางครั้งอาจไม่สามารถหาขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้ ดังนั้นวิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา VRP จะอยู่ในรูปแบบของฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสม

2.4.2 วิธีฮิวริสติก (Heuristic method)

วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีพอเพียงภายในเวลาจำกัด ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับปัญหาเอ็นพีฮาร์ด วิธีฮิวริสติกถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของแต่ละปัญหาเท่านั้น ดังนั้นวิธีฮิวริสติกที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีสำหรับปัญหาหนึ่งจึงไม่สามารถนำไปใช้หาผลเฉลยของอีกปัญหาหนึ่งได้ ในกรณีปัญหา VRP จัดเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Optimization) ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ด้วยรูปแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนมาก การสร้างตัวแปรและเงื่อนไขในการตัดสินใจให้อยู่ในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) อาจกระทำได้ยาก จึงไม่สามารถใช้วิธี Exact method หรือ Linear Programmingได้ ในงานวิจัยของ Bodin et al. (1983) กล่าวถึง การจำแนกวิธีเชิงฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหา VRP ว่ามีอยู่ 3 วิธีด้วยกัน คือ

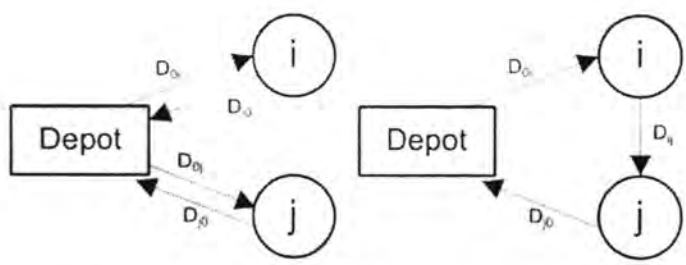
2.4.2.1 การสร้างการเดินทาง (Tour Construction Procedures) การสร้างเส้นทางด้วย

1) วิธี Saving ของ Clarke and Wright (1964) เป็นวิธีที่นิยมและใช้กันแพร่หลายในทางปฏิบัติเพราะเป็นวิธีที่ง่ายและบอกไม่ได้ว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการนี้เป็นการสร้างผลเฉลยทีละขั้นตอน โดยเริ่มจากผลเฉลยเริ่มต้นซึ่งอาจยังมีความเป็นไปไม่ได้ และสร้างผลเฉลยในลำดับถัดมาที่ทำให้ฟังก์ชันของค่าความประหยัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น หรือเลือกแทรก

ลูกค้าเข้ามาในเส้นทางเดิมที่มีอยู่ โดยที่ความต้องการรวมต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง การแทรกจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งได้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุด โดยมีขั้นตอนดังนี้

- กำหนดให้เส้นทางหนึ่งเส้นทางมีลูกค้าเพียง 1 ราย เท่านั้น ดังนั้นจะได้จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวนลูกค้าทั้งหมด

- จับคู่จุดส่งสินค้าเพื่อรวบให้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน จากการรวมจุดส่งสินค้าต่างๆ เข้าไว้ในเส้นทางหลักแทนการจัดส่งสินค้าจากคลังสินค้า (Depot) ไป-กลับยังทุกๆ จุดส่งสินค้า ดังภาพที่ 2.7 ทำให้เกิดความประหยัดในการเดินทางจะได้ค่าความประหยัด $= (D_{0i} + D_{i0} + D_{0j} + D_{j0}) - (D_{0i} + D_{j0} + D_{ij}) = D_{i0} + D_{0j} - D_{ij}$



ภาพที่ 2.7 การจัดส่งสินค้าไป-กลับทุกๆ จุดส่งสินค้า และการรวมจุดส่งสินค้าเข้าด้วยกัน

จะได้สมการในการคำนวณหาค่าความประหยัดดังนี้

$$S_{ij} = D_{i0} + D_{0j} - D_{ij} \tag{2.15}$$

เมื่อ

S_{ij} = ค่าความประหยัดระหว่างคู่จุดส่งสินค้า i และ j

D_{i0} = ระยะทางจากจุดส่งสินค้า i ไปยังคลังสินค้า

D_{0j} = ระยะทางจากคลังสินค้าไปยังจุดส่งสินค้า j

D_{ij} = ระยะทางจากจุดส่งสินค้า i ไปจุดส่งสินค้า j

จากนั้นคำนวณหาค่าความประหยัดของทุกคู่จุดส่งสินค้าที่เป็นไปได้ ตัวอย่างในการคำนวณ ตารางที่ 2.2 แสดงเมตริกระยะทางระหว่างจุดส่งสินค้า 1, 2 และ 3 กับคลังสินค้า 0 หลังจากได้เมตริกระยะทางดังตารางที่ 2.2 แล้ว ให้ทำการคำนวณหาค่าความประหยัดจากสมการ (2.15) ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างเมตริกระยะทาง (กม.)

ลูกค้า	ระยะทาง (กิโลเมตร)			
	0	**1**	**2**	**3**
0	-	78	66	38
1	18	-	20	72
2	60	87	-	3
3	58	12	76	-

ตารางที่ 2.3 ค่าความประหยัดในแต่ละคู่จุดส่งสินค้า

คู่ลำดับ	ค่าความประหยัด
S_{12}	$= D_{10} + D_{02} - D_{12}$ $= 18 + 66 - 20 = 64$
S_{13}	$= D_{10} + D_{03} - D_{13}$ $= 18 + 38 - 72 = -16$
S_{21}	$= D_{20} + D_{01} - D_{21}$ $= 60 + 78 - 87 = 51$
S_{23}	$= D_{20} + D_{03} - D_{23}$ $= 60 + 38 - 3 = 95$
S_{31}	$= D_{30} + D_{01} - D_{31}$ $= 58 + 78 - 12 = 124$
S_{32}	$= D_{30} + D_{02} - D_{32}$ $= 58 + 66 - 76 = 48$

- จัดลำดับค่าความประหยัด (Saving) จากมากไปหาน้อย ดังตารางที่ 2.4 โดยพิจารณาค่า Saving ที่มีเครื่องหมายเป็นบวกเท่านั้น จากนั้นเลือกคู่จุดส่งสินค้าที่มีค่าความประหยัดมากที่สุด เพื่อรวบเข้าสู่เส้นทางหลัก ถ้าคู่จุดส่งสินค้าได้ถูกรวมเข้าเส้นทางแล้ว ให้พิจารณาคู่จุดส่งสินค้าถัดไปที่มีค่าความประหยัดรองลงมา หากจุดส่งสินค้านั้นยังไม่ได้ถูกรวมเข้าเส้นทางทำการคำนวณค่าความต้องการสินค้ารวมของจุดส่งสินค้า ถ้าค่าความต้องการสินค้ารวมมีค่ามากกว่าความจุของรถบรรทุกให้กลับมาพิจารณาคู่จุดส่งสินค้าถัดไปที่มีค่าความประหยัดรองลงมาอีก เมื่อความต้องการสินค้ารวมไม่เกินความจุของรถบรรทุกให้ทำการรวมคู่จุดส่งสินค้า และปรับปรุงค่าความต้องการสินค้ารวมโดยรวมความต้องการของจุดส่งสินค้าทั้งหมดที่รวมเข้ากับเส้นทาง หากยังมีคู่จุดส่งสินค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทางให้พิจารณาคู่จุดส่งสินค้าถัดไป

ตารางที่ 2.4 การจัดลำดับค่าความประหยัด

ลำดับ	คู่ลำดับ	ค่าความประหยัด	ลำดับ	คู่ลำดับ	ค่าความประหยัด
1	S_{31}	124	4	S_{21}	51
2	S_{23}	95	5	S_{32}	48
3	S_{12}	64	6	S_{13}	-16

ตัวอย่างในการรวบเส้นทาง สมมติให้ความต้องการสินค้าของจุดส่งสินค้า 1, 2, 3 เป็น 15, 20, 15 หน่วย ตามลำดับ และความจุของรถ 50 หน่วย จากตารางที่ 2.4 คู่จุดส่งสินค้าที่มีค่าความประหยัดมากที่สุดคือคู่จุดส่งสินค้า 3-1 ซึ่งยังไม่ถูกรวมเข้าสู่เส้นทาง จึงทำการพิจารณาความต้องการสินค้ารวมดังตารางที่ 2.5 ในช่อง Demand ซึ่งปรากฏว่าความต้องการสินค้ารวมของคู่จุดส่งสินค้า 3-1 ไม่เกินความจุของรถบรรทุก ดังนั้นจึงทำการรวมคู่จุดส่งสินค้า 3-1 เข้าสู่เส้นทาง แล้วทำการปรับปรุงค่าความต้องการรวมของเส้นทางดังตารางที่ 2.5 ในช่องหมายเหตุ จากนั้นทำการตรวจสอบพบว่าจุดส่งสินค้า 2 ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ดังนั้นทำการพิจารณาคู่จุดส่งสินค้าของจุดส่งสินค้า 2 ที่มีค่าความประหยัดรองลงมาคือ คู่จุดส่งสินค้า 2-3 เนื่องจากจุดส่งสินค้า 3 อยู่ในเส้นทางหลักแล้ว จึงทำการพิจารณาความต้องการรวมของจุดส่งสินค้า 2 กับเส้นทางหลัก ปรากฏว่าความต้องการรวมไม่เกินความจุของรถบรรทุก ดังนั้นจึงทำการรวบจุดส่งสินค้า 2 เข้ากับเส้นทางหลัก จากการตรวจสอบพบว่าจุดส่งสินค้าทุกจุดได้ถูกจัดเข้าเส้นทางแล้ว ดังนั้นจะได้เส้นทางการส่งสินค้าคือ 0 - 2 - 3 - 1 - 0 ระยะทางรวมเท่ากับ 66 + 3 + 12 + 18 = 99 กม.

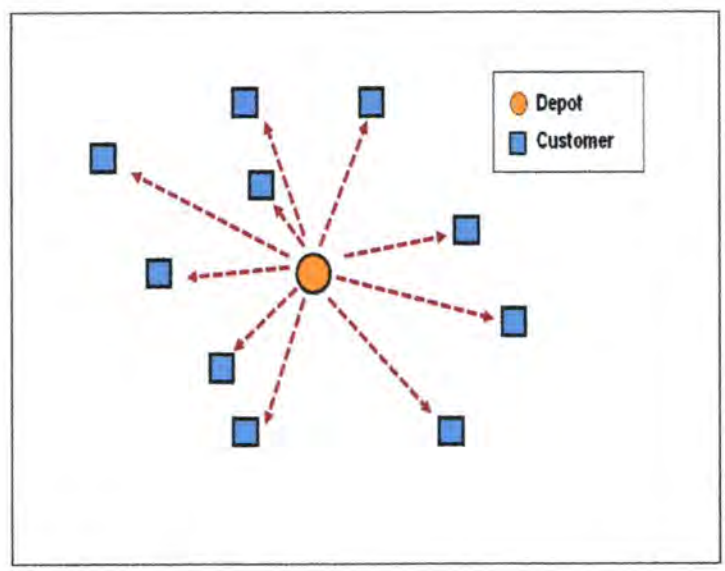
ตารางที่ 2.5 การรวมจุดส่งสินค้า

ลำดับ	คู่ลำดับ	ความต้องการ	หมายเหตุ
1	S_{31}	$15 + 15 = 30 \leq 50$	Link and update (30)
2	S_{23}	$20 + 30 = 50 \leq 50$	Link and update (50)

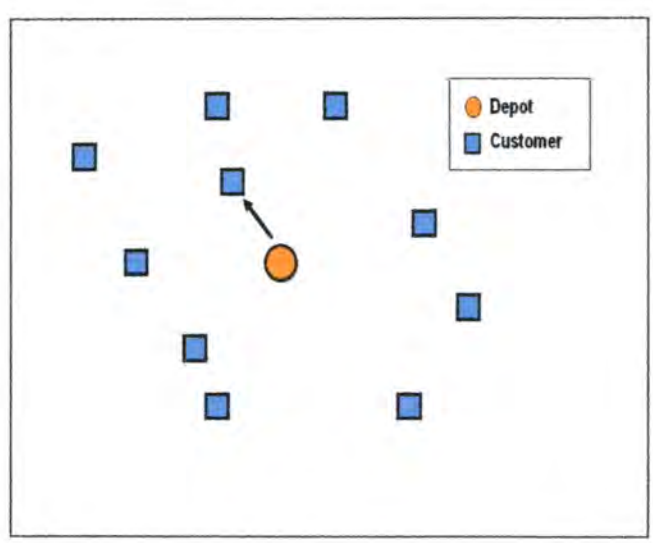
2) การสร้างเส้นทางเดินด้วยวิธี Nearest Neighbor เป็นวิธีการค้นหาจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้กับจุดส่งสินค้าจุดสุดท้ายมากที่สุด โดยมีปริมาณความต้องการสินค้าไม่เกินความจุของรถขนส่งสินค้า ถ้าปริมาณความต้องการสินค้าของจุดส่งสินค้าเกินความจุของรถขนส่งสินค้า ก็จะเริ่มใช้รถขนส่งสินค้าคันใหม่ โดยความใกล้อาจพิจารณาจากระยะทางหรือระยะเวลาในการขนส่งสินค้าได้ตามแต่ความเหมาะสม ขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

- เริ่มจากกำหนดจุดเริ่มต้นหรือคลังสินค้าเป็นจุดอ้างอิงในการค้นหาเส้นทางการขนส่ง จากนั้นค้นหาจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุดดังภาพที่ 2.8

- เลือกจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุด เพื่อทำการรวบเข้าสู่เส้นทางหลัก จากนั้นปรับให้จุดส่งสินค้านั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไปดังภาพที่ 2.9



ภาพที่2.8การค้นหาจุดที่อยู่ใกล้กับจุดอ้างอิง

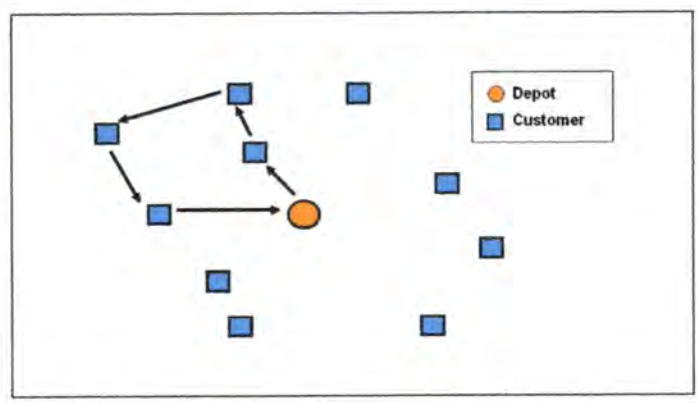


ภาพที่2.9 การเลือกเส้นทางที่มีระยะทางใกล้ที่สุด

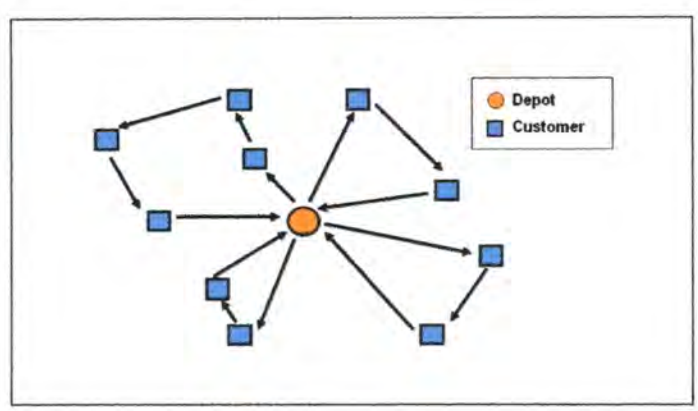
- ค้นหาจุดส่งสินค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ที่อยู่ใกล้กับจุดอ้างอิงสุดท้ายของเส้นทางมากที่สุด แล้วพิจารณาความต้องการสินค้ารวมของเส้นทางกับจุดส่งสินค้าที่ถูก

เลือก ถ้าความต้องการสินค้ารวมไม่เกินความจุของรถบรรทุกให้รวบจุดส่งสินค้าที่ถูกเลือกเข้ากับเส้นทางหลัก แล้วปรับจุดส่งสินค้านั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไป

- หากความต้องการสินค้ารวมเกินความจุของรถบรรทุกให้ทำการปิดเส้นทางหลักนั้นดังภาพที่ 2.10 จากนั้นตรวจสอบว่ายังมีจุดส่งสินค้าใดที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทางหรือไม่ ซึ่งหากยังมีจุดส่งสินค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ทำการวนซ้ำขั้นที่1, 2 และ 3 อีกครั้งจนกว่าจุดส่งสินค้าทุกจุดจะถูกจัดเข้าเส้นทางดังภาพที่ 2.11



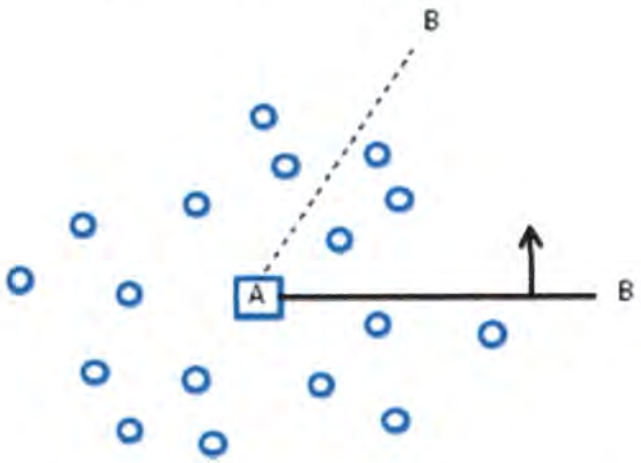
ภาพที่2.10 การปิดเส้นทางของวิธี Nearest Neighbor



ภาพที่2.11 วิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธี Nearest Neighbor

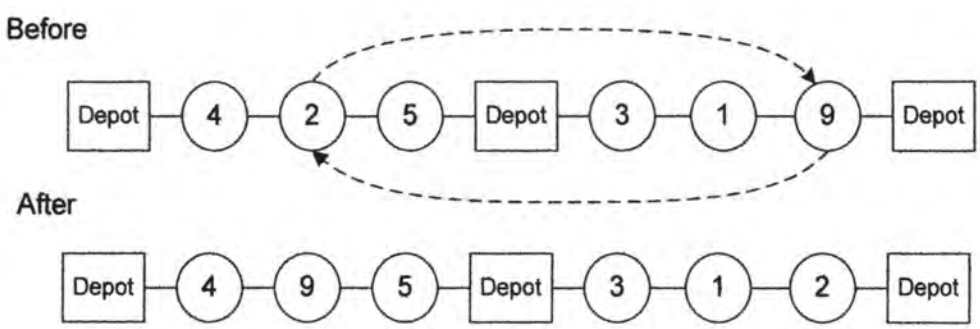
3) วิธีการกวาด(Sweep Approach)เป็นวิธีการหาจำนวนเส้นทางและลำดับการส่งสินค้าโดยการแบ่งเส้นทางเป็นพื้นที่รับผิดชอบด้วยการกำหนดทิศทางด้วยการหมุนด้วยเส้นสมมุติในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและรวมปริมาณสินค้าของลูกค้าแต่ละรายด้วยวิธีการกวาดจนกระทั่งผลรวมของปริมาณสินค้าใกล้ถึงความจุของยานพาหนะจึงเปลี่ยนยานพาหนะใหม่

จนกระทั่งหมุนเส้นครบรอบตามจำนวนลูกค้าที่แสดงตามภาพที่ 2.12หลังจากนั้นจึงใช้เทคนิคการแก้ปัญหา TSP สำหรับยานพาหนะแต่ละคัน



ภาพที่ 2.12 วิธีการจัดเส้นและลำดับการขนส่งสินค้าด้วยวิธี Sweep Approach

4) การย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One Move) เป็นการย้ายลูกค้าหนึ่งรายจากจากสับเซตหนึ่งไปยังอีกสับเซตหนึ่ง โดยไม่มีการย้ายแบบสลับหรือย้ายภายในสับเซตตัวเองดั่งแสดงในภาพที่ 2.13การย้ายต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข ในงานวิจัยนี้ลูกค้าจะถูกเลือกและย้ายไปแทรกในเส้นทางอื่นที่ไม่ใช่เส้นทางเดิมที่ลูกค้ารายนั้นในทุกๆตำแหน่งที่จะเป็นไปได้แล้วบันทึกค่าระยะทางที่เกิดขึ้นไว้เพื่อเลือกตำแหน่งที่ย้ายที่ดีที่สุด จากนั้นทำซ้ำการย้ายลูกค้าจนกว่าจะไม่สามารถลดระยะทางได้



ภาพที่ 2.13 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง

5) Cluster first-route second วิธีการนี้จะแก้ปัญหาเส้นทางโดยทำการสร้างกลุ่มลูกค้าขึ้นก่อนแล้วจึงสร้างเส้นทางเดินรถโดยให้ผ่านจุดของกลุ่มลูกค้าทั้งหมดใน

กระบวนการแรกซึ่งเป็นกระบวนการของการสร้างกลุ่มลูกค้านั้น มีขั้นตอนในการสร้างกลุ่มลูกค้าอยู่ 2 ขั้นตอนคือ

- ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจุดลูกค้า 1 จุดให้เป็น seed point หรือจุดตั้งต้น โดยหลักเกณฑ์ที่ใช้ในการเลือกจุดใดเป็น seed point นั้น ให้ทำการเลือกจากหลักเกณฑ์อย่างใดอย่างหนึ่งดังต่อไปนี้

(1) เป็นจุดที่อยู่ใกล้จากคลังสินค้ามากที่สุด (Nearest from depot)

(2) เป็นจุดที่อยู่ไกลจากคลังสินค้ามากที่สุด (Farthest from depot)

(3) เป็นจุดที่มีสิทธิพิเศษสูงที่สุด (Highest priority)

- ขั้นตอนที่ 2 การเพิ่มจุดลูกค้าอื่น ๆ เข้าสู่กลุ่ม (Cluster) ให้ครบตามความจุของรถบรรทุกสินค้าโดยลูกค้าที่ถูกเพิ่มเข้าสู่กลุ่มลูกค้านั้นจะถูกพิจารณาจาก

(1) ความใกล้ (Nearest Neighbor or Nearest Insertion)

(2) ความประหยัด (Saving)

ในส่วนของขั้นตอนการสร้างเส้นทางเดินรถนั้น ใช้วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพียง 1 เส้นทาง (TSP) เพื่อค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดที่ผ่านจุดลูกค้าทั้งหมดในกลุ่มลูกค้า (Cluster) นั้น ๆ นอกจากใช้หลักการแก้ปัญหาแบบวิธีดังกล่าวแล้ว ยังมีวิธีการอื่น ที่นิยมนำมาใช้ ได้แก่ Fisher and Jaikumar Algorithm, The Sweep Algorithm, Petal Algorithm, Taillard's Algorithm เป็นต้น

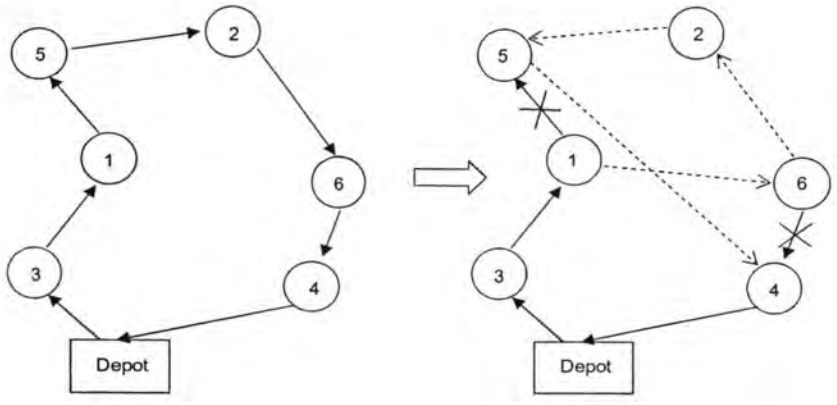
6) Route first-cluster second วิธีการนี้จะหาเส้นทางเดินรถ ก่อนแล้วจึงแบ่งกลุ่มลูกค้า โดยขั้นแรกจะเป็นการหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรถคันเดียวที่สามารถผ่านได้ทุกจุดในโครงข่าย ซึ่งจะเรียกเส้นทางดังกล่าวว่า Giant Tour แต่เนื่องจากรถเพียงคันเดียวไม่สามารถเดินทางได้ครบทุกจุดใน Giant Tour ตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ได้ ดังนั้น ในขั้นตอนที่สองจึงต้องแบ่ง Giant Tour ออกเป็นเส้นทางการขนส่งย่อย ๆ ซึ่งแต่ละเส้นทางย่อยจะใช้รถหนึ่งคัน

2.4.2.2 การปรับปรุงการเดินทาง (Tour Improvement Procedures) เป็นการค้นหาทัวร์ที่ไม่ขัดแย้งกับข้อจำกัด โดยทัวร์เริ่มต้นนี้จะถูกเลือกอย่างอิสระจากเซตของทัวร์ที่เป็นไปได้ วิธีการแก้ปัญหาของกลุ่มนี้ยกตัวอย่างเช่น วิธี 2-opt และ 3-opt ของ Lin (1965) หรือในงานวิจัยของ Lin and Kermighan (1973) ที่ได้นำเสนอวิธี k-opt ($k \geq 3$) มีขั้นตอนดังนี้

1) สร้างทัวร์เริ่มต้นโดยทำการเลือกอย่างอิสระจากทัวร์ที่เป็นไปได้โดยไม่จำเป็นต้องเป็นทัวร์ที่ดีที่สุด

2) ปรับปรุงทัวร์โดยการเลือกใช้ 2-opt, 3-opt หรือ k-opt คือการตัดเส้นทางเชื่อมจุดย่อยๆ ในทัวร์ออกไปจำนวน 2,3 หรือ k เส้นทางแล้วคำนวณค่าเป้าหมาย โดยเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายของเส้นทางเก่าหากพบว่าค่าเป้าหมายของเส้นทางใหม่มีค่าที่ดีกว่าให้พิจารณาเส้นทางใหม่แทนแสดงดังภาพที่ 2.14

3) ทำซ้ำในข้อ 2 จนกว่าค่าเป้าหมายที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง



Before

D-3-1-5-2-6-4-D

After

D-3-1-6-2-5-4-D

ภาพที่ 2.14 การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี 2-opt

2.4.2.3 การใช้วิธีแบบผสมผสาน (Composite Procedures) เป็นการสร้างเส้นทางเริ่มต้นขึ้นมาอีกเส้นทางหนึ่ง จากนั้นพยายามหาเส้นทางที่ดีกว่าเดิมด้วยวิธีปรับปรุงการเดินทางไปพร้อมๆ กัน เช่น งานวิจัย Russell (1995) Baraglia et al. (2000) เป็นต้น มีขั้นตอนดังนี้

1) สร้างทัวร์เริ่มต้นโดยใช้วิธีใดวิธีหนึ่ง

2) ใช้วิธี 2-opt, 3-opt หรือ k-opt ปรับปรุงทัวร์ที่ได้จากในข้อ 1

3) ใช้วิธี 2-opt, 3-opt หรือ k-opt ปรับปรุงทัวร์ที่ได้จากในข้อ 2

วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการตัดสินใจในแต่ละปัญหา วิธีฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของปัญหาหนึ่งอาจไม่สามารถหาผลเฉลยในปัญหาอื่นๆ ได้ หรือแม้กระทั่งนำไปใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาเดิมที่มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของปัญหาเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการพัฒนาวิธีฮิวริสติกให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น และสามารถดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาใดๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีการเมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีฮิวริสติก

จากการทบทวนการใช้วิธีฮิวริสติก ด้วยวิธีต่างๆ สามารถที่จะแก้ไขปัญหาจัดเส้นทางการขนส่ง วิธีการต่างๆ ล้วนมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน และมีความเหมาะสมกับปัญหาในแต่ละแบบ

2.5 วิธีเมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristic method)

เป็นวิธีที่ได้จากการพัฒนาและดัดแปลงวิธีฮิวริสติกให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ผลเฉลยที่ได้อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะสมที่สุดหรือไม่สามารถรับประกันผลเฉลยที่ดีในทุกครั้งที่ทำการประมวลผลได้ แต่ผลเฉลยที่ได้เป็นที่ยอมรับและค้นหาได้ภายในระยะเวลาอันเหมาะสม จึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในงานวิจัยทุกแขนง ในงานวิจัยของ Blum and Roli (2003) ได้สรุปหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติกไว้ว่า (1) เมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ (2) เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงที่ดีที่สุด ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม (3) วิธีเมตาฮิวริสติกอาจมีทั้งแบบซับซ้อนและไม่ซับซ้อน เช่น วิธีการหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่ (Local Search) วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) และวิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) เป็นต้น (4) เมตาฮิวริสติกอาจเกิดจากการรวมหลากหลายวิธีเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ (5) เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอนแต่สามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้ในแต่ละปัญหา (6) เมตาฮิวริสติกบางประเภทมีการใช้ความจำชั่วคราวมากขึ้น ในการจดจำคำตอบเดิมเพื่อให้การค้นหาคำตอบไม่ซ้ำที่เดิม

นอกจากนี้ Blum and Roli (2003) ยังได้เสนอการแบ่งเมตาฮิวริสติกไว้ 6 ประเภทดังนี้ (1) เมตาฮิวริสติกที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) และวิธีการเกาะกลุ่มประชากร (Particle Swarm Optimization) เป็นต้น (2) เมตาฮิวริสติกที่ไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) เป็นต้น (3) เมตาฮิวริสติกแบบใช้ประชากรคือในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) และวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบ PSO (Particle Swarm Optimization) เป็นต้น (4) เมตาฮิวริสติกแบบไม่ใช้ประชากร คือในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบออกมาเพียงหนึ่งคำตอบเท่านั้น เช่น วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) วิธีการค้นหา

ต้องห้าม (Tabu Search) และวิธีการค้นหาในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้แบบวนซ้ำ (Iterated Local Search) เป็นต้น (5) เมตาฮิวริสติกแบบสมการเป้าหมายคงที่ คือในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจมีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เพื่อให้เกิดคำตอบใหม่ๆ เกิดขึ้น เช่น วิธี Guided Local Search เป็นต้น (6) เมตาฮิวริสติกแบบไม่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) และวิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) เป็นต้น ผู้วิจัยขอนำเสนอรายละเอียดวิธีเมตาฮิวริสติกที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหา VRP ดังนี้

2.6.1 วิธีการหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่ (Local Search)

เป็นวิธีการพื้นฐานของเมตาฮิวริสติก ซึ่งมีความจำเป็นค่อนข้างมาก หากการ Local search ไม่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละพื้นที่ย่อยได้ เราก็ไม่สามารถสรุปได้ว่าพื้นที่คำตอบที่ดีที่สุดนั้น อยู่ในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ วิธี Local search มีการค้นหาคำตอบหลายๆ คำตอบและมุ่งหาคำตอบที่ดีที่สุด ในพื้นที่เฉพาะที่กำหนด โดนส่วนใหญ่จะใช้วิธีการ Neighborhood search หลายๆ ครั้งเพื่อให้พบคำตอบที่ดีที่สุด

2.6.2 วิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing)

ในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจ เริ่มต้นครั้งแรกเมื่อประมาณ ค.ศ. 1980 ลักษณะเด่นของวิธีการนี้ คือ มีขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ง่าย และมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถหาผลเฉลยที่ดีได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว แนวคิดพื้นฐานของวิธี SA ได้ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกในวารสารวิชาการโดย Metropolis et al. (1953) ซึ่งเป็นการใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการควบคุมการเย็นตัวลงของวัสดุในอ่างความร้อน (Heat Bath) ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่าการอบอ่อน วัสดุจะถูกให้ความร้อนจนกระทั่งถึงจุดหลอมเหลว ต่อจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของวัสดุจะค่อยๆ ลดลง และทำให้วัสดุมีความแข็งเมื่อเย็นตัวลง โครงสร้างคุณสมบัติของวัสดุที่เย็นตัวลงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการทำให้วัสดุนั้นเย็นตัวลง

2.6.3 วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search)

เป็นวิธีที่ค่อนข้างได้รับความนิยมอย่างมากเพราะมีโครงสร้างของขั้นตอนวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และจากผลการวิจัยจำนวนมากสรุปว่า วิธี TS มีประสิทธิภาพมากกว่า SA ข้อแตกต่างที่เด่นชัดระหว่าง 2 วิธีนี้ คือ วิธี TS แก้ปัญหาการยอมรับค่าเหมาะสุดเฉพาะที่ โดยป้องกันไม่ให้มีการเกิดขึ้น (Pro-Active) แต่วิธี SA เป็นการแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดขึ้นแล้ว (Post-Active) คำว่าทาบู (Tabu หรือ Taboo) หมายถึง การห้ามหรือป้องกันขั้นตอนวิธีการเข้าไปยังผลเฉลยข้างเคียงที่ไม่ต้องการ โดยแนวคิดสำคัญ คือ การเพิ่มความฉลาด ซึ่งใช้ความทรงจำของคอมพิวเตอร์มาเกี่ยวข้อง คอมพิวเตอร์จะเรียนรู้จากรอบการวนซ้ำที่ผ่านมา ในการแนะนำหรือบอกทิศทางของผลเฉลยที่ดี

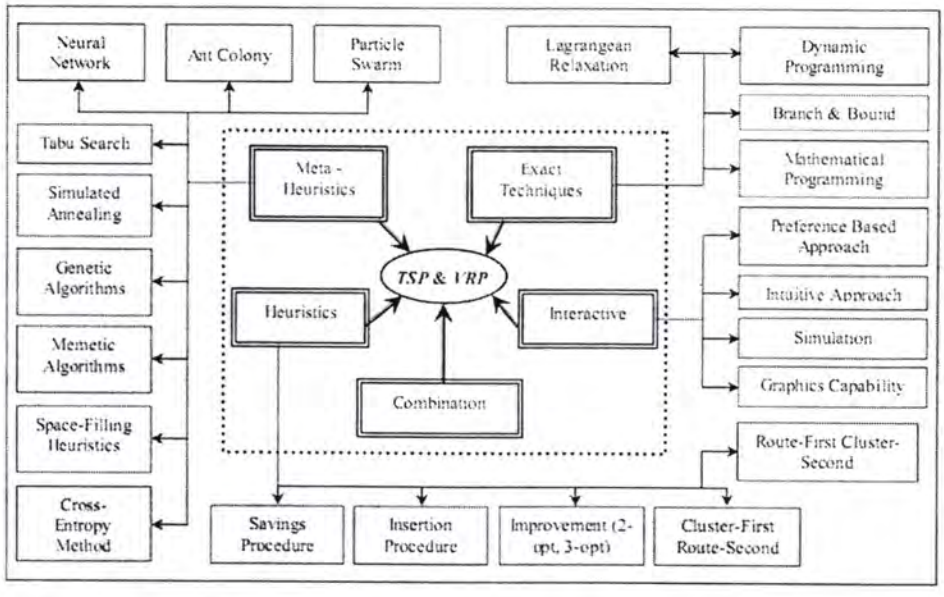
หรือดีที่สุดในรอบกระทำซ้ำถัดไปข้างหน้า Glover (1989) เป็นผู้ริเริ่มขั้นตอนวิธีการ TS ซึ่งเป็นเทคนิคการประมาณค่าสำหรับการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ที่ดี

2.6.4 วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

ถูกคิดค้นโดย Holland (1975) ซึ่งได้รับแรงบันดาลใจมาจากทฤษฎีของ Darwin เกี่ยวกับการวิวัฒนาการ วิธี GA นี้ได้รับความนิยมอย่างมากในแวดวงปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) และได้ถูกประยุกต์ใช้กับปัญหาหลายแขนง ขั้นตอนการทำงานของ GA เริ่มด้วยการสร้างประชากรของคำตอบหรือโครโมโซมขึ้นมา แล้วคำนวณค่าฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ของประชากรแต่ละตัว ซึ่งเป็นขั้นตอนการถอดรหัสโครโมโซม เพื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมตามฟังก์ชันเป้าหมาย หลังจากนั้นจะเลียนแบบพฤติกรรมทางพันธุกรรมในธรรมชาติดังนี้ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมสูง จะแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน เพื่อสร้างโครโมโซมใหม่ที่พัฒนาตัวเองผ่านกระบวนการสลับสายพันธ์ (Crossover) และการกลายพันธ์ (Mutation) โครโมโซมลูกหลานจะถูกตรวจสอบว่าให้คำตอบที่ดีกว่าโครโมโซมตัวที่แย่ที่สุดในประชากรหรือไม่ ถ้าดีกว่ามันจะแทนที่โครโมโซมตัวที่แย่ที่สุด ขั้นตอนการค้นหาดังกล่าวจะถูกทำซ้ำไปซ้ำมาจนกระทั่งหยุดการทำงาน

2.6.5 วิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบ PSO (Particle Swarm Optimization)

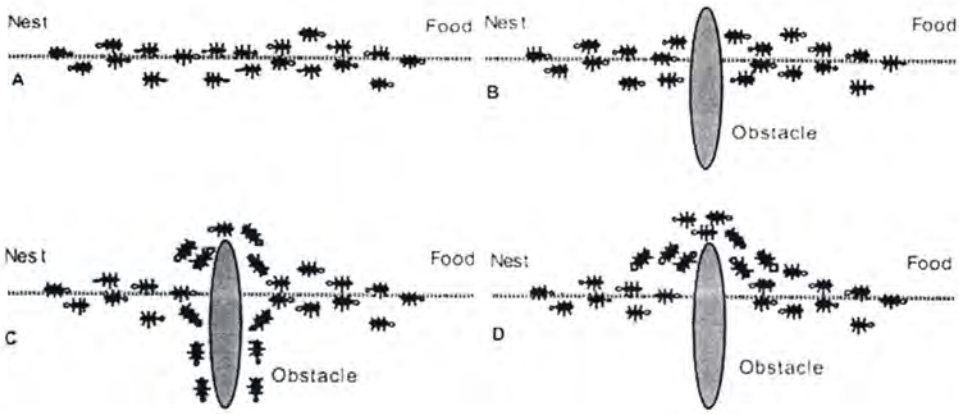
เป็นวิธีหนึ่งที่มีนวัตกรรมจากพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิต เช่น การใช้ชีวิตร่วมกันของฝูงนกหรือกลุ่มปลา โดยอัลกอริทึมนี้ถูกพัฒนาโดย Kennedy and Eberhart (1995) สำหรับวิธี PSO นั้น สมาชิกแต่ละตัวในกลุ่มถูกเรียกว่า Particle ในขณะที่กลุ่มถูกเรียกว่า Swarm สมาชิกในกลุ่มจะมีการกระจายการเคลื่อนที่ออกไปในพื้นที่ต่างๆ สมาชิกแต่ละตัวเปรียบเสมือนตัวแทนในการค้นหาคำตอบเพื่อให้พบคำตอบที่ดีที่สุด ตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของแต่ละ Particle มีแนวโน้มดึงดูดในการค้นหาคำตอบเพื่อให้พบคำตอบที่ดีที่สุด (Best position) ที่ดีที่สุดทั้งจากตัวของมันเองและสมาชิกที่อยู่ใกล้เคียงกัน หลังจากที่สมาชิกทุกตัวในกลุ่มได้ตำแหน่งครบแล้ว สมาชิกที่ได้ตำแหน่งหรือคำตอบที่ดีที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่ม (Global best) ส่วนตำแหน่งที่ดีที่สุดของสมาชิกที่ค้นหาได้ในรอบนั้นๆ จะถูกกำหนดให้เป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของสมาชิก (Particle Best) และในบทความของ Ganesh et al. (2007) ได้สรุปภาพรวมการค้นหาคำอบของปัญหา TSP&VRP ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.15 สรุปวิธีการค้นหาคำตอบของปัญหา TSP และ VRP

2.6.6 วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO)

วิธี ACO มีลักษณะคล้ายกับ Particle Swarm Optimization แต่เป็นวิวัฒนาการของพฤติกรรมทางสังคม (Social Behavior) แทนที่จะเป็นทางด้านพันธุกรรม ACO ถูกคิดค้นโดย Dorigo et al. (1996) ซึ่งเลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของมดในการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหาร โดยใช้ฟีโรโมน (Pheromone) ที่มดวางไว้ระหว่างทางเพื่อใช้ในการสื่อสารทางอ้อมกับมดตัวอื่นในฝูง ในระหว่างการเดินทางหากเจอสิ่งกีดขวางมดแต่ละตัวจะตัดสินใจเลือกเส้นทางเลี่ยงอย่างสุ่ม สมมติว่ามีสองเส้นทางที่เลี่ยงได้ ในช่วงแรกปริมาณของฟีโรโมนบนสองเส้นทางจะมีปริมาณเท่ากัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปเส้นทางที่ใกล้กว่าจะมีปริมาณของฟีโรโมนที่มากกว่า เนื่องจากใช้เวลาเดินทางน้อยกว่าเส้นทางที่ไกล โดยธรรมชาติของมดจะชอบเดินตามกลิ่นฟีโรโมนที่แรงหรือเข้มข้น จึงทำให้มดตัวอื่นที่เดินตามหลังมาเลือกเดินในเส้นทางที่ใกล้กว่านั่นเองแสดงดังภาพที่ 2.16



ภาพที่ 2.16 ธรรมชาติการเดินทางของมด (Dorigo, Di Caro and Gambardella., 1997)

ขั้นตอน ACO เริ่มจากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยที่มดแต่ละตัวแทนผลลัพธ์ หลังจากนั้นในแต่ละช่วงเวลามดจะเดินทางไปยังจุดต่อไปด้วยฟังก์ชันความน่าจะเป็นที่ได้กำหนดไว้ Dorigo et al. (1996) ความน่าจะเป็นนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของฟังก์ชันเป้าหมายและปริมาณของฟีโรโมน แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณฟีโรโมนจะระเหยออกไปเรื่อยๆ เมื่อมดในฝูงเดินทางครบทุกตัวก็จะมีการปรับค่า (Update) ปริมาณของฟีโรโมนสำหรับช่วงเวลาถัดไป เมื่อเวลาผ่านไปกระบวนการดังกล่าวจะทำให้มดทุกตัวเลือกที่จะเดินทางในเส้นทางที่สั้นที่สุด

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นปัญหาด้านการขนส่งและโลจิสติกส์รูปแบบหนึ่งที่มีการศึกษามายาวนานกว่า 40 ปี และมีการค้นคว้าอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ทำให้ปัญหา VRP ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาจนมีความหลากหลายมากขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้จะมีการศึกษามาอย่างยาวนานก็ตามที แต่ทว่ายังไม่มีวิธีการใดที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากความยากในการหาคำตอบของปัญหา จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาหลายท่าน เช่น ในงานวิจัยของต่างประเทศ Thangiah (1999) ได้นำเสนอวิธีการผสมผสานระหว่างการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA), วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) และ การค้นหาต้องห้าม (Tabu Search: TS) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา VRP ที่มีลูกค้าตั้งแต่ 100 - 417 ราย ซึ่งนับเป็นงานวิจัยที่เป็นต้นแบบในการพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบผสมผสาน Beatrice et al. (2006) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับปัญหา VRP แบบมีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Problem) โดยการหาจำนวนรถขนส่งน้อยที่สุดและผลรวมต้นทุนในการเดินทางขนส่งหรือระยะทางสั้นที่สุด โดยใช้วิธี GA และเทคนิคการเรียงลำดับแบบพาเรโต้ (Pareto Ranking) ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ

ส่วนงานวิจัยในประเทศได้แก่ นิรันดร์ สมมุติ และสมบัติ สินธุเชาวน์ (2551) นำเสนอวิธีฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ โดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก Greedy Randomized

Adaptive Search Procedure (GRASP) สำหรับการค้นหาคำตอบมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางรวมต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัดพบว่าวิธีฮิวริสติกที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี และคณะ (2553) ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก Clarke-Wright Saving Heuristic และ Nearest Neighborhood Heuristic สำหรับการค้นหาคำตอบ ภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัด กระบวนการทำงานของฮิวริสติก แบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution Phase) เพื่อพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข โดยวิธี Clarke-Wright Saving Heuristic และ Nearest Neighborhood Heuristic และระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคำตอบ โดยใช้โปรแกรม Lingo Version 11 ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางของผู้ประกอบการพบว่า วิธีฮิวริสติกที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดีและใช้เวลาในการประมวลผลที่เหมาะสม ในงานวิจัยของไชยา โฉมเฉลา และระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2553) นำเสนอวิธีฮิวริสติก Nearest Neighborhood และ Cluster first - route second ร่วมกับ Sweep Approach ในการแก้ปัญหา VRP พบว่า มีระยะทางในการขนส่งดีกว่าระยะทางที่เกิดจากเส้นทางเดิมที่โรงงานกรณีศึกษาใช้อยู่

สรุปแล้วปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะมีการศึกษากันอย่างแพร่หลายและรูปแบบปัญหามีความซับซ้อนในระดับเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard) อีกทั้งเมื่อจำนวนข้อมูลยิ่งมากขึ้น การที่จะดำเนินการจัดเส้นทางจะยิ่งซับซ้อนเพิ่มขึ้น รวมถึง ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในรูปแบบของข้อมูลงานขนส่งพลวัต (Dynamic) ที่มีความไม่แน่นอนของข้อมูลและไม่สามารถคาดการณ์ความต้องการขนส่งที่เกิดขึ้นในอนาคตได้ ที่มีรูปแบบเส้นทางจากวิธีการของการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิด (OVRP) โดยรถขนส่งมีความเป็นอิสระในการเปลี่ยนเส้นทางได้อย่างรวดเร็ว และไม่ต้องให้รถกลับมายังจุดปล่อยรถ ถือได้ว่าเป็นปัญหาระดับยากและซับซ้อน (NP-Hard) ดังนั้นวิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาในลักษณะนี้คือ วิธีฮิวริสติกหรือวิธีเมตาฮิวริสติก เนื่องจากใช้เวลาในการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมและคำตอบที่ได้อาจจะใช่หรือไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่เป็นคำตอบที่ดีเพียงพอ

2.6 ทฤษฎีการจัดลำดับงาน

ปัญหาข้อจำกัดด้านเวลาถือว่าเป็นปัญหาที่สำคัญอีกประเด็นหนึ่งของการจัดเส้นทางเดินรถเนื่องจากจะเห็นได้ว่าในการขนส่งสินค้าแต่ละครั้งมักจะมีการกำหนดเวลา และตารางเวลาในการขนส่งเฉพาะในแต่ละวันซึ่งถือเป็นลำดับงานที่ไม่ซ้ำกัน อันเป็นผลมาจากความต้องการของลูกค้าหรือผู้รับบริการในแต่ละวันที่แตกต่างกัน หากผู้ประกอบการนำข้อจำกัดเหล่านี้มาใช้เป็นหลักในการจัดเส้นทางเดินรถให้กับผู้รับบริการ จะช่วยสร้างความพึงพอใจให้กับผู้รับบริการในด้านความเอาใจใส่ในการบริการได้ การแก้ปัญหาโดยไม่ใช้ข้อจำกัดที่เกิดขึ้นจริงจึงไม่สามารถนำผลมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้น การแก้ปัญหาเส้นทางให้เกิดประสิทธิภาพจำเป็นต้องให้ความสำคัญกับการจัดลำดับงานและตัวแปรด้านเวลาด้วย (Bodin and Levy, 1994)

การจัดลำดับงาน คือ การจัดสรรรถบรรทุกที่ใช้ขนส่งสินค้า ให้ดำเนินการขนส่งสินค้าไปยังชุดของลำดับจุดลูกค้าในช่วงเวลาที่จำกัดให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด โดยการจัดลำดับงานแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

(1) แบบ Stochastic Scheduling เป็นการจัดลำดับงานที่ไม่ทราบจำนวนงานจัดส่งและจำนวนรถที่แน่นอน

(2) แบบ Deterministic Scheduling เป็นการจัดลำดับงานที่ทราบจำนวนงานจัดส่งและจำนวนรถที่แน่นอน

วิธีการจัดลำดับงานในการเดินรถแบบ Deterministic Scheduling แบ่งเป็น 2 วิธีการคือ Procedure base on local search และ Priority dispatching rules

(1) Procedure base on local search กระบวนการค้นหาคำตอบแบบ local search อาศัยวิธีการทำซ้ำเพื่อหาผลเฉลยที่ดีกว่าผลเฉลยที่มีอยู่โดยการค้นหาใน Neighborhood หรือกลุ่มผลเฉลยที่เป็นไปได้ เพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุด วิธีการหาคำตอบแบบ local search ที่นิยมใช้ ในการจัดตารางเวลาเดินรถประกอบด้วย Tabu Search และ Genetic Algorithm

(2) Priority dispatching rules วิธีนี้ใช้หลักการจัดลำดับความสำคัญของงานที่ต้องปฏิบัติก่อนหลังตามเงื่อนไขที่กำหนด เป็นวิธีการที่พิจารณาถึงลักษณะของงาน ระยะเวลาในการดำเนินการ และกำหนดเวลาต่าง ๆ วิธี Priority Dispatching Rules (Barker, Sharon, and Sen, 1974) ประกอบด้วย

(2.1) First Come, First Served (FCFS) เป็น การจัดลำดับงานโดยให้ทำงานที่เข้ามาก่อนเป็นอันดับแรกและทำ งานที่เข้ามาทีหลังเป็นอันดับต่อไป ซึ่งหากพิจารณาจากเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพการผลิตแล้ว วิธี FCFS จะ เป็นวิธีที่ไม่ค่อยดีนัก แต่ถ้าพิจารณาในแง่ของความเป็นธรรมแล้วงานที่เข้าก่อนก็ควรจะได้รับการ ปฏิบัติก่อน ซึ่งข้อเสียที่เด่นชัดของการจัดงานตามวิธีดัง

กล่าวคืองานที่ใช้เวลาทำมากจะ ทำให้งานอื่นๆ ที่ตามมาต้องคอยนานโดยทั่วไปแล้ววิธีการจัดงานแบบ FCFS เหมาะกับงานด้านการให้บริการ

(2.2) Earliest Due Date (EDD) เป็นการจัดลำดับความสำคัญในการทำงานโดยให้ทำงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วที่สุดก่อนแล้ว จึงค่อยทำงานที่มีกำหนดส่งมอบนานกว่าเป็นลำดับถัดไปโดยทั่วไปแล้ว EDD เป็น วิธีที่มุ่งเน้นลดการล่าช้าจากกำหนดการส่งมอบงานถึงแม้ว่าวิธีนี้จะดูสมเหตุ สมผลและเป็นวิธีที่นิยมใช้ปฏิบัติกันโดยทั่วไปก็จริงแต่วิธีการดังกล่าวอาจ ทำให้มีจำนวนงานที่เข้ามาในระบบมากกว่าวิธีการอื่นๆ (หมายถึง พนักงานจะมีงานยุ่งอยู่ตลอดเวลา) และทำให้เกิดสินค้าคงเหลือระหว่างผลิตสูงเนื่องจากในการจัดลำดับการทำ งานตามหลักของ EDD นั้นไม่ได้มีการนำเอาเวลาที่ใช้ในการทำงานมาพิจารณาร่วมด้วย วิธีนี้นิยมใช้ในหน่วยงานด้านการขนส่งสินค้า

(2.3) Shortest Processing Time (SPT) เป็น การจัดลำ ดับความสำคัญของการทำงานโดยให้ทำ งานที่ใช้เวลาสั้นที่สุดก่อนแล้วจึงค่อยทำงานที่ใช้เวลามากเป็นลำดับถัดไป จะเห็นได้ว่า SPT เป็นวิธีที่มุ่งในการลดเวลาแล้วเสร็จของงานแต่ละงานและพยายามทำให้งานต่างๆออกจากระบบการผลิตไปให้เร็วที่สุดข้อดีของการจัดงานแบบ SPT คือ เวลาโดยเฉลี่ยของงานในระบบจะต่ำที่สุดทำให้เกิดสินค้าคงเหลือในระหว่างการ ผลิต (Work-In-Process) น้อยและสามารถประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ แต่ข้อเสียของ SPT คือ งานที่ใช้เวลาในการผลิตนานๆ มักถูกผลักไปอยู่ในอันดับท้ายทำให้มีเกิดการรอคอยโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณี ที่เกิดมีงานใหม่เข้ามาแทรกอยู่เสมอๆ และเป็นงานที่ใช้เวลาน้อยกว่า ซึ่งหากใช้ SPT ในการจัดลำดับงานที่เข้ามาแทรกก็จะได้รับการจัดอันดับให้ทำก่อนทำให้งานที่ใช้เวลาในการผลิตนานๆ เกิดการรอคอยที่นานมากยิ่งขึ้นไปเรื่อยๆ

(2.4) Longest Processing Time (LPT) เป็นการจัดลำดับความสำคัญในการทำงานโดยให้ทำงานที่ใช้เวลามากที่สุดเป็นอันดับแรก แล้วจึงค่อยทำงานที่ใช้เวลาน้อยกว่าเป็นอันดับถัดมาโดยทั่วไปแล้ว LPT มักจะเป็นวิธีที่ส่งผลเสียต่อประสิทธิภาพโดยรวมของการผลิตมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เพราะการจัดงานแบบ LPT มักทำให้เวลาที่ใช้ในการผลิตงานทั้งหมดนานและยังทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานทรัพยากรด้านการผลิตต่ำอีกด้วยแต่ข้อดีของการจัดงานแบบ LPT ประการหนึ่งก็คือสามารถสร้างขวัญและกำลังใจในการทำงานให้แก่พนักงานได้เนื่องจาก เมื่องานยากๆ ที่ใช้เวลานานผ่านไปแล้วก็จะเหลือแต่งานง่ายๆ ที่ใช้เวลาไม่นานทำให้กำลังใจในการทำงานดีขึ้น

(2.5) Weighted shortest processing time rule (WSPT) เป็นวิธีที่ให้ความสำคัญกับงานที่ใช้เวลาในการดำเนินงานน้อยที่สุดแบบถ่วงน้ำหนักแล้วเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปน้อยเพื่อให้งานทั้งหมดเสร็จสิ้นเร็วที่สุด

2.7 วิธีดิฟเฟอเรเชี่ยล อิโวลูชั่น (Differential Evolution: DE)

ขั้นตอนและหลักการในการค้นหาคำตอบด้วยวิธี Differential Evolution (DE) ที่เสนอโดย Storn and Price (1997) ซึ่งได้อธิบายว่า กรอบทฤษฎีของวิธีการเป็นรูปแบบง่ายๆและมีระยะเวลา ในการคำนวณที่น้อย ไม่สิ้นเปลืองพื้นที่เก็บข้อมูลในเครื่องคอมพิวเตอร์ Bin et al. (2008) ได้สรุปว่า การวิวัฒนาการของ DE ถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายและมีการแสดงจุดแข็งในหลายพื้นที่ ที่มีการประยุกต์ใช้

ในวิธีการค้นหาที่ยึดตามหลักประชากร การวิวัฒนาการจะเริ่มสุ่มประชากรเริ่มต้นในขนาด N ของ เวกเตอร์มิติ D การแก้ไขปัญหาการวิวัฒนาการอัลกอริทึ่มจะไปแทนที่มิติของเวกเตอร์ D ซึ่งค่าของตัวแปรแต่ละตัวในพื้นที่ของมิติจะถูกแสดงเป็นเลขในระบบจำนวนจริง ลักษณะที่เด่นชัดของกระบวนการ คือ กลไกใหม่สำหรับการสร้างเวกเตอร์ของการทดลองการวิวัฒนาการ จะสร้างเวกเตอร์การทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงและมองข้ามหลักการดำเนินงาน จากนั้นทดแทนการดำเนินงานเฉพาะรายบุคคลที่เราเรียกว่า การดำเนินการคัดเลือก ที่เกิดขึ้นเมื่อเวกเตอร์การทดลองนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าเวกเตอร์ที่สอดคล้องกัน กระบวนการเหล่านี้จะถูกดำเนินการอีกครั้งจนกว่าจะมีเกณฑ์ยับยั้งให้มีการหยุด ทั้งนี้การวิวัฒนาการของประชากรก็จะถูกดำเนินการโดยผ่านวิธีการทำซ้ำของ 3 ตัวดำเนินการ ซึ่งก็คือ การกลายพันธุ์ ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบครอสโอเวอร์ และการคัดเลือก ด้วย กระบวนการทำงานในการวิวัฒนาการแบบคลาสสิค โดย Price et al. (2005) ได้สรุปการแบ่งลำดับขั้นตอนที่สำคัญของการวิวัฒนาการแบบคลาสสิคไว้ดังนี้

2.7.1 Initial population คือขั้นตอนการสุ่มเลือกจำนวนประชากรตั้งต้นภายใต้ขอบเขต ข้อจำกัด จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดได้ หรือค่า NP: Number of population เป็น ตัวแปรตัดสินใจ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าคำตอบ Cost Value, Fitness Value หรือ FunctionValue ในความหมายเดียวกัน

2.7.2 Mutation คือ ขั้นตอนการคูณตัวแปรตัดสินใจด้วยปัจจัยตัวคูณ เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F อีกชื่อหนึ่งเช่นกันเพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า กลายพันธุ์ ให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรในข้อแรก มีขั้นตอนย่อย ดังนี้

2.7.2.1 ทำการกำหนด Target Vector ($X_{i,G}$) โดยที่ i = 1,2,3, … , NP

2.7.2.2 สุ่มเลือกจำนวน 2 Vector ($X_{r2,G}$, $X_{r3,G}$) จากประชากรตั้งต้นที่ไม่ซ้ำกับ Target Vector

2.7.2.3 ทำการคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) จากความสัมพันธ์

$$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \qquad (2.16)$$

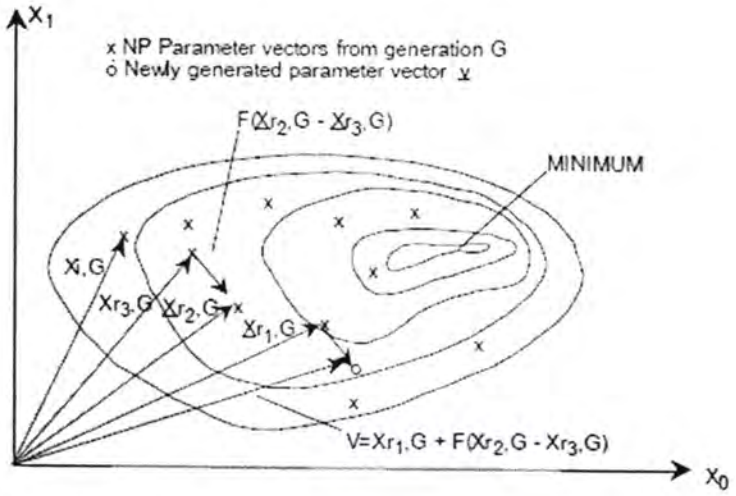
เมื่อ

$V_{i,G+1}$ = Mutant Vector

$X_{r1,G}$ = Target Vector

$X_{r2,G}$, $X_{r3,G}$ = Random Vector

F = Weighting Factor



ภาพที่ 2.17 การค้นหา Mutant Vector ของฟังก์ชัน 2 ตัวแปร (Storn and Price, 1997)

2.7.3 Crossover หรือ Recombination คือขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ ซึ่งจะได้สายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลาย เพื่อเฟ้นหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ โดยมีการสร้าง Trial Vector ($U_{i,G+1}$) ดังแสดงในสมการที่ (2) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบและพิจารณาในการผสมสายพันธุ์ดังสมการ (3) ตัวอย่างการ Crossover สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.16

$$U_{ji,G+1} = (U_{1i,G+1}, U_{2i,G+1}, \cdots, U_{Di,G+1}) \tag{2.17}$$

$$\begin{aligned} V_{ji,G+1} &\quad \text{if (randb (j)} \leq \text{CR) or j = rnbr(i)} \\ X_{ji,G+1} &\quad \text{if (randb (j)} > \text{CR) or j} \neq \text{rnbr(i)} \end{aligned} \tag{2.18}$$

เมื่อ

$U_{ji,G+1}$ = Trial Vector

$V_{ji,G+1}$ = Mutant Vector

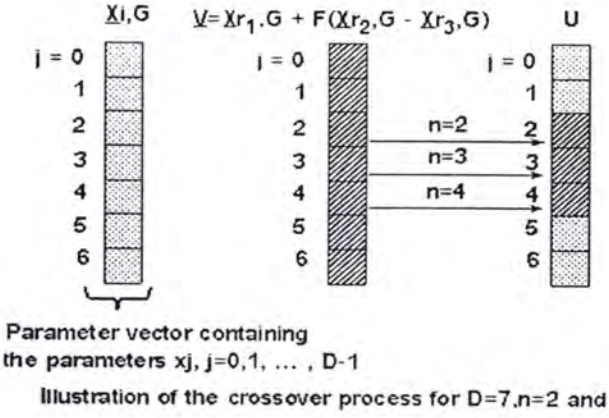
$X_{ji,G+1}$ = Target Vector

randb(j) = การสุ่ม จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1 ครั้งที่ j

CR = Crossover Constant จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1

rnbr(i) = Index จากการสุ่มเลือก จำนวนเต็ม 1,2, … ,D และ

j = 1,2, … ,D



ภาพที่ 2.18 การ Crossover ของ Target Vector และ Mutant Vector ที่มีค่า D=7 (Storn and Price, 1997)

2.7.4 การประยุกต์กระบวนการ Recombination เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัยในขั้นตอนนี้ ทางผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรม Differential Evolution (DE) เข้าสู่กระบวนการ Recombination เพื่อหาค่า Trial Vector โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการ Recombination ซึ่งเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลายเพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ โดยกระบวนการ Recombination จะมีวิธีการประยุกต์กระบวนการด้วยกัน 3 วิธี คือ 1) Vector transition process 2) Vector exchange process 3) Vector insertion process

2.7.4.1 วิธี Vector transition process

กระบวนการ Vector transition process จะเป็นการสุ่มตัวเลขสมมุติขึ้นมาแล้วนำตัวเลขที่ทำการสุ่มไปแทนในตำแหน่งที่ต้องการ ดังตัวอย่างภาพที่ 2.19 ได้ทำการสุ่มตัวเลขสมมุติมา 3 ค่า โดยค่าที่สุ่มจะอยู่ระหว่าง 0-1 จากนั้นนำค่าที่สุ่มได้มาแทนตำแหน่งที่ 1, 2 และ 3

Original vector

1	2	3	4	5	6	7	8
0.92	0.08	0.65	0.05	0.99	0.02	0.68	0.44

Accompany vector

1	2	3	4	5	6	7	8
0.45	0.15	0.65	0.05	0.73	0.02	0.68	0.44

ภาพที่ 2.19 ตัวอย่างของ Vector transition process

2.7.4.2 วิธี Vector exchange process

กระบวนการ Vector exchange process จะเป็นการสลับตำแหน่งของเวคเตอร์ เพื่อรบกวนค่า ดังตัวอย่างภาพที่ 2.20 ได้ทำการสลับค่า 0.08 ที่อยู่ตำแหน่งที่ 2 ไปไว้ที่ตำแหน่งที่ 6 แล้วนำค่าตำแหน่งที่ 6 มาไว้ตำแหน่งที่ 2

Original vector

1	2	3	4	5	6	7	8
0.92	0.08	0.65	0.05	0.99	0.02	0.68	0.44

Accompany vector

1	2	3	4	5	6	7	8
0.92	0.08	0.65	0.05	0.99	0.02	0.68	0.44

ภาพที่ 2.20 ตัวอย่างของ Vector exchange process

2.7.4.3 วิธี Vector insertion process

กระบวนการ Vector insertion process จะเป็นการเคลื่อนย้ายตำแหน่งเพื่อนำมาแทรกไว้ก่อนหน้าในตำแหน่งที่ต้องการ ดังตัวอย่างภาพที่ 2.21 จะเป็นการย้ายค่าจากตำแหน่งที่ 6 มาแทรกตำแหน่งที่ 3 ตำแหน่งที่ 3, 4, 5 เดิมจะถูกขยับเปลี่ยนตำแหน่งเป็น 4, 5, 6 แทน

Original vector

1	2	3	4	5	6	7	8
0.92	0.08	0.65	0.05	0.99	0.02	0.68	0.44

Accompany vector

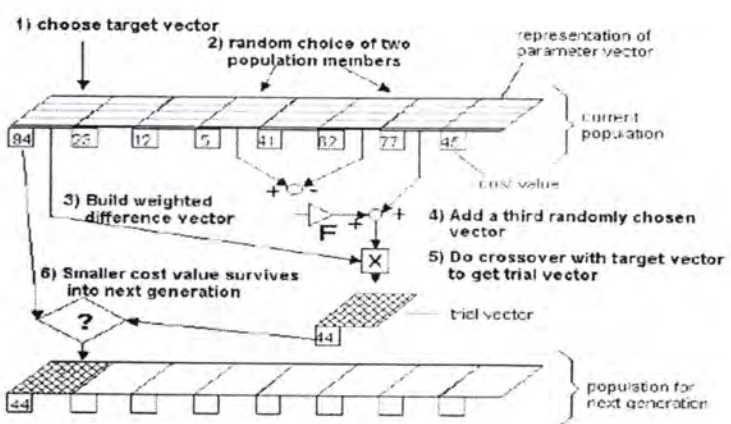
1	2	3	4	5	6	7	8
0.92	0.08	0.02	0.65	0.05	0.99	0.68	0.44

ภาพที่ 2.21 ตัวอย่างของ Vector insertion process

2.7.5 Selection คือขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) โดยคัดเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีกว่า โดยการเปรียบเทียบ Function Value หรือ Cost Value ของ Trial Vector กับ Target Vector ในกรณีที่ค่า Function Value ของ Trial Vector ดีกว่า Target Vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial Vector ในรุ่นต่อไป

2.7.6 Evaluation & Re-Generation ดำเนินการซ้ำจากข้อ 2.7.2 ถึง ข้อ 2.7.4 โดยเปลี่ยน Target Vector จนถึง i = NP

2.7.7 Reach Convergence Tolerance นำ Target Vector ที่ได้จากข้อ 2.7.4 มาทำซ้ำขั้นตอนทั้งหมดจนครบตามความต้องการ โดยแสดงในภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 กระบวนการหาค่าความเหมาะสม โดยวิธี Differential Evolution จากขั้นที่ 1 ถึง 4 (Storn and Price, 1997)

งานวิจัยที่เกี่ยวกับ DE ได้แก่ Jarmo et al. (2003) นำเสนอว่า วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการวิวัฒนาการอีกมากที่มีช่องว่างในการค้นหาอย่างต่อเนื่อง DE เพิ่งได้รับการประสบความสำเร็จนำไปใช้กับโลกแห่งความจริง เกี่ยวกับปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ และยังเสนอให้ใช้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียม แต่ DE ยังไม่ได้รับการศึกษาทั่วถึงในบริบทของโครงข่ายประสาทเทียม เช่นน้ำหนัก ประโยชน์ของ DE สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ เมื่อเทียบกับความเร็วในการหาคำตอบ โดยได้ทำการศึกษา เปรียบเทียบวิธี DE กับวิธี Gradient Based Methods พบว่า DE มีแนวโน้มที่ดีและให้ผลของคำตอบที่เหมาะสม เช่นเดียวกับ Lopez Cruz et al. (2003) ที่นำเสนอประสิทธิภาพของ DE กรณีที่มีปัญหาการควบคุมที่เหมาะสมหลายรูปแบบ โดยได้อธิบายว่ามีวิธีการมากมายในการแก้ปัญหาการควบคุมที่เหมาะสมไม่ว่าจะโดยตรงหรือโดยอ้อม อาศัยข้อมูลไล่ระดับก็อาจมีโอกาสที่จะเข้าหาพื้นที่ ที่เหมาะสม วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพที่นิยมเช่น Evolutionary Algorithms (EA) จากการศึกษาพบว่า ผลของการใช้ วิธีEvolutionary Algorithms (EA) วิธี Differential Evolution Algorithms (DEA) และ วิธีGenetic algorithm (GA) DE จะมีความโดดเด่นในแง่ของประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับ GA และมีค่าที่ต่างจากวิธี EA อาจเป็นเพราะว่า พารามิเตอร์ใน DE โดยมีพารามิเตอร์คือ ขนาดของประชากร ครอสโอเวอร์คงที่ และแปรผันค่าสัมประสิทธิ์ ซึ่งการเลือก ขนาดของประชากร มีบทบาทสำคัญในการแก้ปัญหาการควบคุมที่เหมาะสม การเลือกขนาดของประชากรที่มีขนาดเล็ก เปรียบเสมือนโอกาสที่จะได้ค่าของคำตอบ Global Solution จะมีโอกาสที่น้อยตาม แต่ถ้าหากเพิ่มขนาดประชากรก็เหมือนการเพิ่มโอกาสที่ได้ Global Solution ซึ่งถ้าเปรียบเทียบระยะเวลาคำนวณ อัลกอลิทึ่มที่มีประสิทธิภาพที่ดีด้านเวลาก็คือ DE นั่นเอง

Dervis and Selcuk (2004) ได้อธิบายว่า Differential Evolution Algorithms (DEA) เป็นหนึ่งในวิธีการ Evolutionary Algorithms (EA) ซึ่งเป็นหนึ่งในขั้นตอนวิธีการวิวัฒนาการที่เป็นเทคนิคใหม่ในการเพิ่มประสิทธิภาพ ความสามารถในการจัดการที่เป็นลักษณะของปัญหา Non-Differentiable, Non-Linear และ Multimodal Objective Functions เนื่องจาก DE ต้องใช้เวลาในการทำงานเมื่อมีขนาดของปัญหาขนาดใหญ่ที่ซับซ้อน เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป้าหมาย ในการศึกษาแบบจำลองของ De Jong ก็พบว่าความเร็วในการบรรจบกันของ DE มีนัยสำคัญที่ ดีกว่า อัลกอริทึ่มพันธุกรรม (GA) ดังนั้นอัลกอริทึ่ม DE น่าจะเป็นวิธีการที่มีแนวโน้มในการแก้ปัญหาและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านวิศวกรรม ซึ่งทำให้ Liu and Lampinen (2005) ได้ทำการปรับปรุงวิธี DE โดยการปรับค่าฟัซซี่ Fuzzy Adaptive Differential Evolution Algorithm (FADE) ซึ่งทำการปรับค่า Weighing factor (F) และ Crossover rate (CR) วิธีการนี้จะปรับตัวแปรควบคุมการกลายพันธุ์และ ครอสโอเวอร์พารามิเตอร์การควบคุม การใช้ตรรกะวิธีการควบคุมฟัซซี่ พารามิเตอร์ของ FADE ตอบสนองต่อข้อมูลประชากรของคือ เวกเตอร์

พารามิเตอร์ฟังก์ชั่นซึ่งช่วยให้ DE หาคำตอบได้เร็วขึ้นค่า F และ CR ที่ปรับใหม่สามารถให้คำตอบที่ดีกว่า DE แบบเดิม เช่นเดียวกับ Omran (2005) ที่ทำการปรับเปลี่ยนค่า F ในสูตรการกลายพันธุ์ของ DE ในการทดสอบกับกรณีศึกษา

Qin (2005) ใช้วิธีที่เรียกว่า SADE ทำการปรับปรุงปัจจัยควบคุม F และ CR ไม่จำเป็นต้องกำหนดไว้ล่วงหน้า ในระหว่างการวิวัฒนาการพารามิเตอร์ที่จะค่อยๆปรับตัวเองตามประสบการณ์การเรียนรู้ ประสิทธิภาพการทำงานของ โดยใช้วิธีทางฮิวริสติกที่ชื่อว่า Safe Adaptive Differential Evolution (SADE) มีรายงานเกี่ยวกับชุดของฟังก์ชั่น 25 มาตรฐาน ในกรณีของ CEC2005 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์จริง

Chakraborty (2006) นำเสนอวิธีการใหม่ในการกลายพันธ์ของDE โดยหาการจำลองรูปแบบของ DE สองแบบ เพื่อทดสอบการกลายพันธ์ของ 3 ปัจจัย การนำเสนอนี้จะถูกแสดงให้เห็นว่านัยสำคัญทางสถิติที่ดีขึ้นกว่า 3 ปัจจัย สายพันธุ์ที่นิยมใน DE โดยใช้หกฟังก์ชั่นการทดสอบ เพื่อหามาตรการประสิทธิภาพเช่น วิธีการแก้ปัญหาที่มีคุณภาพ เวลาที่แก้ปัญหา ความถี่ในการแก้ปัญหาและขนาดของการแก้ปัญหา

Kaelo and Ali (2006) ใช้ตัวเลขชุดปัญหาทั้งหมด 50 ชุดในการทดสอบการกลายพันธุ์ของ DE แบบเดิมและแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นพบว่า วิธีใหม่สามารถให้คำตอบที่ดีถึง 20 ชุดปัญหาจากการเปรียบเทียบในส่วนก่อนหน้านั้นค่อนข้างชัดเจนว่าขั้นตอนวิธีการใหม่ที่ดีกว่า DE แบบเดิม

Yang (2008a) ใช้วิธีการที่เรียกว่า การค้นหาพื้นที่ใกล้เคียง (NSDE) จะเสนอขึ้นอยู่กับลักษณะทั่วไปของกลยุทธ์การ NS ข้อดีของกลยุทธ์ NS ใน DE มุ่งเน้นไปที่การเปลี่ยนแปลงของขนาดขั้นตอนการค้นหาและความหลากหลายของประชากรหลังจากที่ใช้ค้นหาพื้นที่ใกล้เคียง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า NSDE สามารถค้นหาคำตอบในพื้นที่คำตอบ มีค่าที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด มากกว่าอัลกอริทึ่มอื่น ๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับความหลากหลายของฟังก์ชั่นของ NSDE มาตรฐานที่แตกต่างกัน ขยายขีดความสามารถของ NSDE โดยนำไปทดสอบกับจำนวนของปัญหามาตรฐานซึ่งมีมิติช่วง 50-200

Shaheen et al. (2009) ได้ทำการนำเสนอวิธีการใหม่บนเงื่อนไขของวิธีการของ DE เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมและการตั้งค่าของพารามิเตอร์ของตัวควบคุมการไหล (UPFC) สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของความปลอดภัยภายใต้กรณีมีเส้นเกิดเหตุฉุกเฉิน โดยเริ่มจากการวิเคราะห์เรื่องฉุกเฉินและการจัดอันดับกระบวนการที่อาจเกิดเหตุฉุกเฉินเพื่อกำหนดเส้นฉุกเฉินในระบบโดยพิจารณาเรื่องของการรับภาระโหลดเกินที่เส้นเหล่านั้นรับได้ ต่อมานำหลักการของ DE มาประยุกต์เพื่อหาตำแหน่งและการตั้งค่าพารามิเตอร์ โดยการจำลองกับระบบกำลัง IEEE 14-bus และ IEEE

30-bus พบว่าวิธีการที่นำมาแก้ปัญหาโดยใช้ DE สามารถให้ค่าคำตอบที่เหมาะสม ตำแหน่งที่จะเกิดการรับภาระโหลดเกิน และการไหลของไฟฟ้าต่ำสุดได้เมื่อนำมาทดสอบอย่างมีนัยสำคัญ

Dexuan zou et al. (2011) ได้ทำการพัฒนาวิธีการ DE สำหรับการแก้ปัญหาการมอบหมายงานโดยได้ทำการปรับปรุง 2 ส่วนที่สำคัญของพารามิเตอร์ในขั้นตอนของ DE คือ Weighting Factor (F) และค่าของ Crossover Rate (CR) โดยใช้วิธีที่เรียกว่า Improve Differential Evolution (IDE) โดยให้ค่าของ F สามารถปรับค่าได้และค่าของ CR มีการเปลี่ยนค่าเป็นลักษณะเป็นขั้นๆ โดยได้เอาตัวอย่างของปัญหามาเปรียบเทียบคำตอบกับวิธี DE สองวิธีได้แก่ ODE และ JADE ผลปรากฏว่า IDE ที่พัฒนาขึ้นให้คำตอบดีกว่าทั้งสองวิธี ไม่ว่าจะเป็นลักษณะการลดต้นทุนและประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นในระบบ

Jazebi et al. (2011) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการระหว่าง Differential Evolution Algorithm (DEA) กับ Particle Swarm Optimization (PSO) เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรร การชดเชยการกระจายของไฟฟ้าสถิต (DSTATCOM) ในเครือข่ายการกระจายเมื่อมีการพิจารณาปรับโครงสร้างผล พบว่า DE ช่วยแก้ปัญหาการปรับโครงสร้างเครือข่ายของระบบการจัดจำหน่าย ในกรณีอื่น ๆ ได้การกระจายตัวของอุปกรณ์ FACTSในการกระจายเครือข่ายระบบที่มีความยืดหยุ่นในการส่งการกระจายกระแสแบบสลับ AC (DFACTS) และ DSTATCOM วิธีการนี้ได้สามารถหาขนาดที่เหมาะสมและที่ตั้งของ DSTATCOM และยังลดการสูญเสียการกระจายของเครือข่ายและแรงดัน จากข้อมูลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า วิธีการใช้ DSTATCOM และการปรับโครงสร้างเพื่อลดความสูญเสียของระบบและปรับปรุงรายละเอียดของแรงดันได้เป็นที่น่าพอใจ อีกทั้ง DE ยังถูกนำไปทดสอบในการศึกษาเครือข่ายการกระจายที่มีประสิทธิภาพสูงในการค้นหา คำนวณการจัดสรร DSTATCOM ในเครือข่ายการกระจายการพิจารณาปรับโครงสร้างซึ่งผลปรากฏว่าวิธี DE ให้ผลเป็นที่น่าพอใจเมื่อเทียบกับ PSO

Xianhui Zeng et al. (2012) ได้นำเสนอวิธี PUDDE หรือ วิธีพาเรโต้วิวัฒนาการแบบไม่ต่อเนื่อง ในการจัดการกับปัญหาการจัดสรรผู้ปฏิบัติงานที่เรียกว่าปัญหา Operator Allocation Problems (OAP) เพื่อการจัดสรรงานที่เหมาะสมกับการควบคุมความสมดุลของสายการประกอบเมื่อมีการสร้างฟังก์ชั่นเป้าหมายหลายวัตถุประสงค์และเงื่อนไข และไม่สามารถตัดสินใจได้ในวัตถุประสงค์เดียวได้ มีขั้นตอนคือใช้ วิธี DES Model ในการจำลองสถานการณ์ทั่วไปและใช้ PUDDE ในการแก้ปัญหา OAP โดยการปรับปรุงผู้ปฏิบัติงานมีสองแบบคือ ลดจำนวนหรือเพิ่มจำนวน ผลการทดลองสรุปได้ว่าวิธีการ PUDDE สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพแต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้เหมาะกับการจัดสรรลดจำนวนผู้ปฏิบัติงาน หากเปรียบเทียบกับวิธีการ DE

แบบเดิมแล้ว วิธีการ PUDDE จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าในกรณีการหาวัตถุประสงค์ที่มีการผสมผสานของสายงานการประกอบในปัญหาเดียวกัน

ตารางที่ 2.6 การประยุกต์ใช้ Differential evolution (DE) เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรม

ปัญหา	นักวิจัย	วิธีการ
Optimal Problem	Emanuel Melachrinoudis (1995)	DE
	B.V.Babu (1997)	DE
	Rainer storn (1997)	DE
	Abbass (2002)	Proposed a novel self-adaptive DE scheme
	Jarmo et al. (2003)	DE and Gradient Based Methods
	Lopez Cruz et al. (2003)	Evolutionary Algorithms (EA), Differential Evolution Algorithms (DEA) and Genetic algorithm (GA)
	Dervis and Selcuk (2004)	Differential Evolution Algorithms (DEA)
	B.V.Babu (2005)	MODE
	Bergey and Ragsdale (2005)	MDE
	Das (2005)	Proposed two modification of the classic
	Liu and Lampinen (2005)	Fuzzy Adaptive Differential Evolution Algorithm (FADE)
	Omran (2005)	Where the value of F is changed during the search. In DE
	Qin (2005)	Provided the first effort to adopt two different mutation schemes in a single DE variant, called SaDE.
	Chakraborty (2006)	Proposed a new DE mutation scheme combining local mutation operation and global mutation operation in order to improve a specific DE scheme.
	Kaelo and Ali (2006)	Modification on the classical DE in generating mutant vectors.
	Rakesh Angira (2006)	MINLP, MDE และ M-SIMPSA
	B.V.Babu (2007)	DE

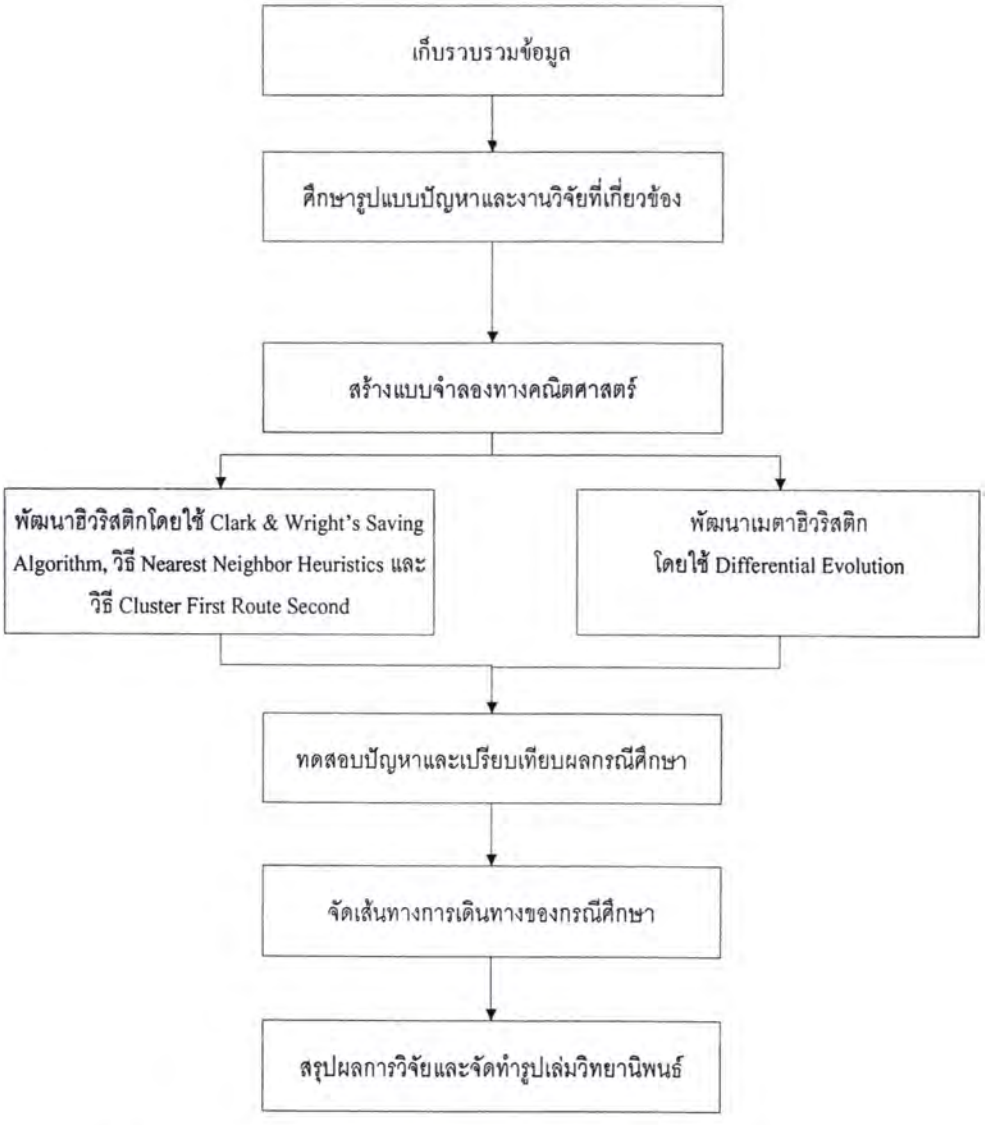
ตารางที่ 2.6 การประยุกต์ใช้ Differential evolution (DE) เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรม (ต่อ)

ปัญหา	นักวิจัย	วิธีการ
Optimal Problem	Bilal Alatas (2008)	MODENAR
	Weiyi Qian (2008)	ADEA
	Yang (2008a)	NSDE
	Yang (2008b)	By forming a new DE scheme, called self-adaptive DE with neighborhood search, SaNSDE.
	Shaheen et al. (2009)	DE
	L.H.Wu (2010)	MINLP, MDE และ M-SIMPSA
	E.Zio (2011)	MODE
	Hongjie Fu (2011)	MODE
	Husam I. Shaheen (2011)	SADE
	Dexuan zou et al. (2011)	ODE and JADE
	Jazebi et al. (2011)	Differential Evolution Algorithm (DEA) and Particle Swarm Optimization (PSO)
	Xianhui Zeng et al. (2012)	PUDDE

จากการทบทวน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธี DE เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรม จะเห็นได้ว่าวิธีการหาคำตอบของ DE สามารถให้ค่าของคำตอบที่เหมาะสมและมีระยะเวลาในการหาคำตอบที่เร็วกว่าวิธีการหาคำตอบอื่นๆ และมีขั้นตอนการหาคำตอบที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกและนำหลักการหาคำตอบของวิธี DE มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของงานวิจัย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 3.1 ซึ่งจะอธิบายตั้งแต่ข้อมูลของกรณีศึกษา สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ คอมพิวเตอร์และโปรแกรมที่ใช้ในการคำนวณผล การวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ และการจัดเส้นทางของกรณีศึกษา



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจากพื้นที่โดยมีข้อพิจารณาในรายละเอียดต่อไปนี้ สถานที่ตั้งของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ระยะทางในการเดินทาง จำนวนอุปกรณ์ทางการแพทย์ เวลาในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ทางการแพทย์ ซึ่งมีจำนวนโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล 316 แห่ง เพื่อจะนำมากำหนดสถานะของปัญหาในการวิจัยโดยกำหนดเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในรูปของกำหนดการเชิงเส้นที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer linear programming) ที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อจัดเส้นทางการเดินทาง ภายใต้วัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่ต่ำที่สุด ซึ่งเก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นได้ดังนี้

3.1.1 ศูนย์ประสานงานมีเพียง 1 แห่ง มีรถตู้ในการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงจำนวน 1 คัน และมีระยะทางไป-กลับของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่งเท่ากัน

3.1.2 เจ้าหน้าที่ต้องเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในเขตพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในจังหวัดอุบลราชธานี (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี, 2555)

ลำดับที่	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
(1) อำเภอเมืองอุบลราชธานี	
1	รพ.สต.ปทุม
2	รพ.สต.ขามใหญ่
3	รพ.สต.หนองแก
4	รพ.สต.ค้ามพร้า
5	รพ.สต.หัวดูน
...	.....
(25) อำเภอสำโรง	
314	รพ.สต.โคกสว่าง
315	รพ.สต.โนนสูง
316	รพ.สต.คำก้าว

3.1.3 เครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง ที่ทำการซ่อมบำรุงจำแนกได้ 17 ชนิด ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ประเภทของเครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

ลำดับ	รายการ
1	เครื่องปั่นเลือด
2	เครื่องโคมไฟส่องสว่าง
3	เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อโรค
4	เครื่องขูดหินปูน
5	เครื่องยูนิตทันตกรรม (เคลื่อนที่)
6	เครื่องยูนิตทันตกรรม (ยูนิต)
7	เครื่องวัดความดันโลหิต (อนาล็อก)
8	เครื่องวัดความดันโลหิต (ดิจิตอล)
9	เครื่องชั่งน้ำหนักเด็ก
10	เครื่องชั่งน้ำหนักผู้ใหญ่
11	หูฟัง
12	ตู้เย็นเก็บวัคซีน
13	เครื่องต้มฆ่าเชื้อ
14	เครื่องวัดระดับน้ำตาล
15	เครื่องตรวจไขมัน
16	เครื่องฟังเสียงหัวใจทารกในครรภ์
17	เครื่องปรับอากาศ

3.1.4 เวลาในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง ซึ่งในแต่ละแห่งมีจำนวนอุปกรณ์ทางการแพทย์แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง

เครื่องมือ		รพ.สต. / เวลา	นิคมฯ ผัง2	กลาง	กุศกร	ก่อ	...	แสงไผ่ตำบลไผ่ใหญ่	โนนยาง	ใหม่พัฒนาตำบลโนนสมบูรณ์	หัวดูน
เครื่องปั่นโลหิต		951	1	1	1	1	...	2	1	1	1
เครื่องโคมไฟ		212	2	1	1	3	...	1	2	1	2
เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ		595	1	2	1	1	...	1	1	1	1
เครื่องขูดหินปูน		1200		1	1	1	...				1
เครื่องยูนิตทันตกรรม	เคลื่อนที่	1800		1	1	1	...				1
	ยูนิต	2700				1	...				
เครื่องวัดความดันโลหิต	analog	235	2	2	3	1	...	2	2		1
	digital	133		1	4	1	...	1	1	1	2
เครื่องชั่งน้ำหนัก	เด็ก	190	1	1	1	1	...	1	1	1	1
	ผู้ใหญ่	100	1	2	2	2	...	2	3	2	2
หูฟัง		105	1	3	2	3	...	3	2	2	1
ตู้เย็นเก็บวัคซีน		156	1	1	1	1	...	1	2	1	1
เครื่องต้มฆ่าเชื้อ		120			1		...				

ตารางที่ 3.3 เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง (ต่อ)

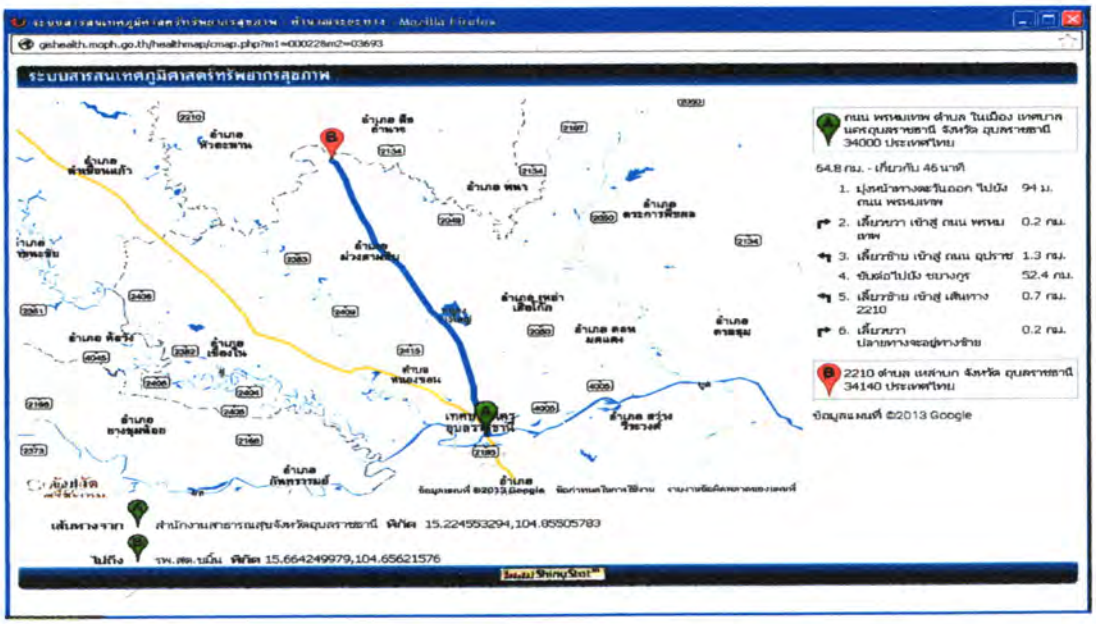
เครื่องมือ / รพ.สต. / เวลา	นิคมฯ ผัง2	กลาง	กุศกร	ก่อ	...	แสงไผ่ ตำบล ไผ่ใหญ่	โนน ยาง	ใหม่ พัฒนา ตำบล โนน สมบูรณ์	หัวดูน
เครื่องวัดระดับน้ำตาล 72		1		1	...	1	3	1	1
เครื่องตรวจไขมัน 85		1		1	...	1	1		
เครื่องฟังเสียงหัวใจทารก 324	1	2	1	1	...	1	1	1	
เครื่องตรวจหู คอ จมูก 460					...				
เครื่องพ่นละอองยา 180					...				
เครื่องพ่นหมอกควัน 750					...				
เครื่องปรับอากาศ 568	1	4	2	5	...		3	4	6
ปรอทวัดไข้ 61					...				
ปรอทวัดไข้ทางหู 209					...				
ตู้เก็บยา 61					...				
โทรศัพท์ เครื่องFax. 1815					...				
หม้อหุงข้าว 1230					...				
ภาระงาน (วินาที)	3883	9894	8331	12432	...	4654	5914	5315	9602
ภาระงาน (นาที)	65	165		207	...		99	89	160

3.1.5 ข้อมูลเวลาการซ่อมเครื่องมือแพทย์ ซึ่งเวลาในการซ่อมบำรุงในแต่ละโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลมีเวลาในการซ่อมบำรุงแตกต่างกันเนื่องจากประเภทของเครื่องมือแพทย์ไม่เท่ากัน และจำนวนของเครื่องมือแพทย์แตกต่างกัน ซึ่งเวลาในการปฏิบัติงาน คิดค่าเวลาเผื่อส่วนตัว 5 เปอร์เซ็นต์ เผื่อจากความเมื่อยล้า 5 เปอร์เซ็นต์ และเผื่อที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์

ลำดับ	รพ.สต.	ภาระงาน (นาที)	กรอกข้อมูล (นาที)	รวม (นาที)	เวลาเผื่อ (นาที)	รวม (นาที)	เวลาเฉลี่ยต่อพนักงาน 2 คน
1	นิคมฯผัง 2	65	20	85	13	97	49
2	กลาง	165	20	185	28	213	106
3	กุศกร	139	20	159	24	183	91
4	ก่อ	207	20	227	34	261	131
....	....	....	....	....	....	....	....
313	แสงไผ่ ตำบลไผ่ ใหญ่	78	20	98	15	112	56
314	โนนยาง	99	20	119	18	136	68
315	ใหม่พัฒนา ตำบลโนน สมบูรณ์	89	20	109	16	125	62
316	หัวดูน	160	20	180	27	207	104

3.1.6 การหาระยะทางระหว่างสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง (Distance Matrix) โดยใช้ข้อมูลที่ตั้งได้จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรสุขภาพ ดังภาพที่ 3.2 แล้วนำมาทำการหาระยะทางทั้งหมดดังตารางที่ 3.5



ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างการหาระยะทางระหว่างสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี และโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (กระทรวงสาธารณสุข, 2556)

ตารางที่ 3.5 ตารางระยะทางการเดินทาง

รพ.สต.	ระยะทาง (กิโลเมตร)								
	1	2	3	4	....	313	314	315	316
1	0	53.7	70.5	58.1	....	116	109	113	111
2	53.7	0	32.4	117	....	146	139	69.7	141
3	70.5	32.4	0	137	....	189	182	48.1	184
4	58.1	117	137	0	....	76.1	69.1	179	71.1
...	....	....	....	....	....	....	....	....	....
313	116	146	189	76.1	....	0	7	180	5
314	109	139	182	69.1	....	7	0	173	2
315	113	69.7	48.1	179	....	180	173	0	175
316	111	141	184	71.1	....	5	2	175	0

3.1.7 ข้อมูลด้านต้นทุนในการเดินทาง

เนื่องจากกรณีศึกษาเป็นปัญหาแบบ Minimize Cost เพื่อหาต้นทุนในการเดินทางที่ต่ำที่สุดประกอบด้วยต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง ต้นทุนค่าซ่อมบำรุง ค่าแรงงานและค่าที่พักเมื่อมีการพักค้างคืนเมื่อไม่มีการกลับมาที่ศูนย์ซ่อมบำรุง ในกรณีศึกษาจะมีเจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุง 3 คน เดินทางไปด้วยกันและมีจำนวนรถตู้ 1 คัน โดยเจ้าหน้าที่จะทำการสลับสับเปลี่ยนกันขับรถในแต่ละวัน ซึ่งเจ้าหน้าที่คนที่ขับรถจะทำการซ่อมบำรุงหรือไม่ซ่อมบำรุงก็ได้ จึงทำการคิดเวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงานเพียง 2 คนโดยไม่นำเจ้าหน้าที่ที่ขับรถมาคิดเวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงาน ในการเดินทางประกอบด้วยค่าน้ำมันที่อัตรา 4 บาทต่อกิโลเมตร ค่าบำรุงรักษาประกอบด้วยค่าสารหล่อลื่นราคา 570 บาทต่อลิตร ทำการเปลี่ยนครั้งละ 6 ลิตร ทุกๆ 10,000 กิโลเมตรคิดเป็น 0.342 บาทต่อกิโลเมตร และค่ายางรถยนต์ราคา 3,700 บาทต่อเส้น มีอายุการใช้งาน 40,000 กิโลเมตรต่อเส้นต้นทุนรวม 0.37 บาทต่อกิโลเมตรคิดเป็น 1.48 บาทต่อกิโลเมตร(4+(0.342+1.48) = 5.822) ค่าแรงงานประกอบด้วยค่าจ้าง 377 บาทต่อวัน ค่าเบี้ยเลี้ยง 240 บาทต่อวัน ((377 + 240)X 3 = 1,851) และ ค่าที่พัก 500 บาทต่อวัน ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ต้นทุนในการเดินทาง

ประเภท	ต้นทุน
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร) + ค่าบำรุงรักษารถ	5.822
ค่าแรง/วัน	1,851
ค่าที่พัก/คืน	500

3.2 ศึกษารูปแบบปัญหา และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

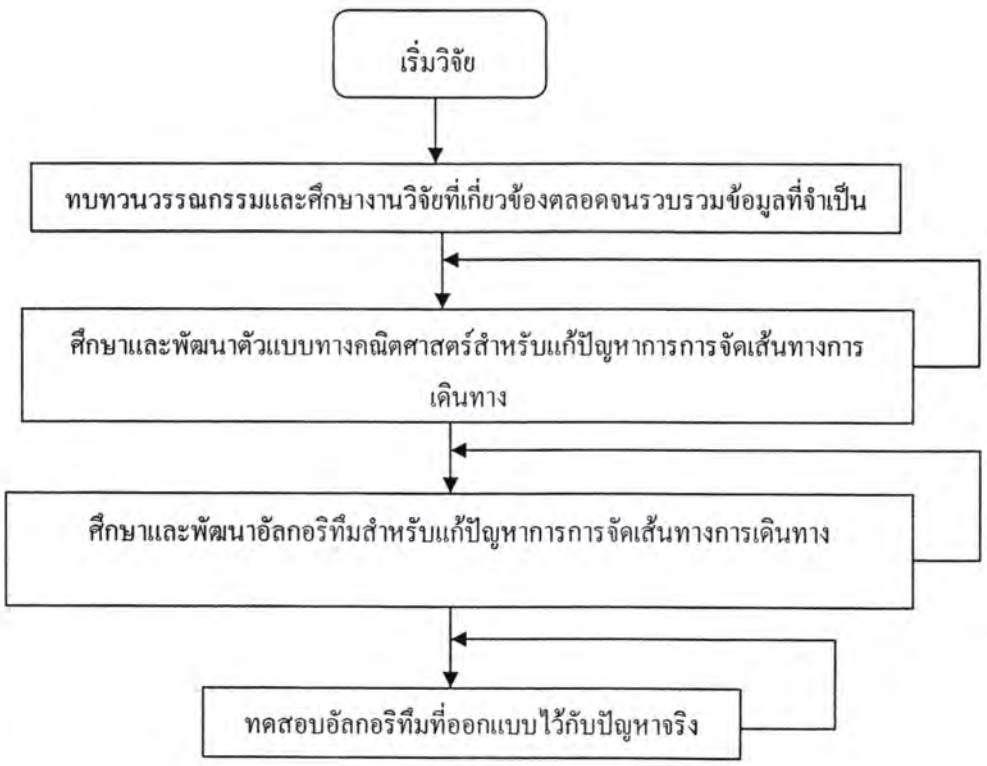
ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง (Vehicle Routing Problem) ตามเนื้อหาที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 และทำการกำหนดสถานะของปัญหาที่จะศึกษา (Problem statement) วัตถุประสงค์ (The research objective) และขอบเขตของงานวิจัย (The research scope)

3.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (The formulation of mathematical model)

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นเป้าหมายและเงื่อนไขต่างๆและครอบคลุมไปถึงนิยามของดัชนีที่ใช้ ตัวแปรต่างๆสมมติฐานที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งคำอธิบายในแต่ละเงื่อนไข เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของระบบการจัดเส้นทางการให้บริการของเจ้าหน้าที่ในการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ ซึ่งจะทำให้สามารถนำตัวแบบที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบได้ต่อไป

3.4 การพัฒนาฮิวริสติก

กระบวนการในการพัฒนาวิธีการคำนวณการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุดโดยผู้วิจัยเสนอวิธีการพัฒนาฮิวริสติกดังนี้



ภาพที่ 3.3 รูปแบบกระบวนการในการพัฒนาฮิวริสติกในงานวิจัย

โดยในการพัฒนาฮิวริสติกผู้วิจัยจะใช้หลักการของการวิวัฒนาการโดยวิธีการคำนวณ Differential evolution (DE) มาหาคำตอบของปัญหาโดยมีขั้นตอนและกระบวนการดังต่อไปนี้

3.4.1 การเริ่มต้นของประชากร

การสุ่มเลือกจำนวนประชากรตั้งต้นภายใต้ขอบเขต ข้อจำกัด จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดได้ หรือค่า NP: Number of population เป็น ตัวแปรตัดสินใจ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าคำตอบ Cost Value

3.4.2 ขบวนการกลายพันธุ์

เริ่มต้นที่การวิวัฒนาการที่ได้กลายพันธุ์ และรวบรวมเวกเตอร์เป้าหมายเพื่อผลิตเวกเตอร์การกลายพันธุ์ ในเวกเตอร์เป้าหมายแต่ละตัวคือ *Xi,g ในรุ่น g,* เวกแตอร์การกลายพันธุ์คือ *Vi,g,* ได้ถูกสร้างขึ้นตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \tag{3.1}$$

มีข้อสังเกตว่า X_{r1}, X_{r2} และ X_{r3} ได้ถูกสุ่มเลือกจากเวกเตอร์ของประชากร ซึ่งแตกต่างจากเวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector) *Xi,g* ส่วน *F* เป็นระดับปัจจัยที่ควบคุมระดับความแตกต่างของเวกเตอร์ระหว่าง X_{r2}, X_{r3} แล้วเพิ่มไปที่เวกเตอร์พื้นฐานซึ่งก็คือ X_{r1}

3.4.3 ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบครอสโอเวอร์

เมื่อทำกระบวนการ Mutation จนหมดทุกค่าของMutant Vector และทุกคำตอบ NP ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลายเพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆโดยกระบวนการ Trial Vector ($U_{i,G+1}$) ตามสมการด้านล่างนี้

$$U_{ji,G+1} = (U_{1i,G+1}, U_{2i,G+1}, \cdots, U_{Di,G+1}) \tag{3.2}$$

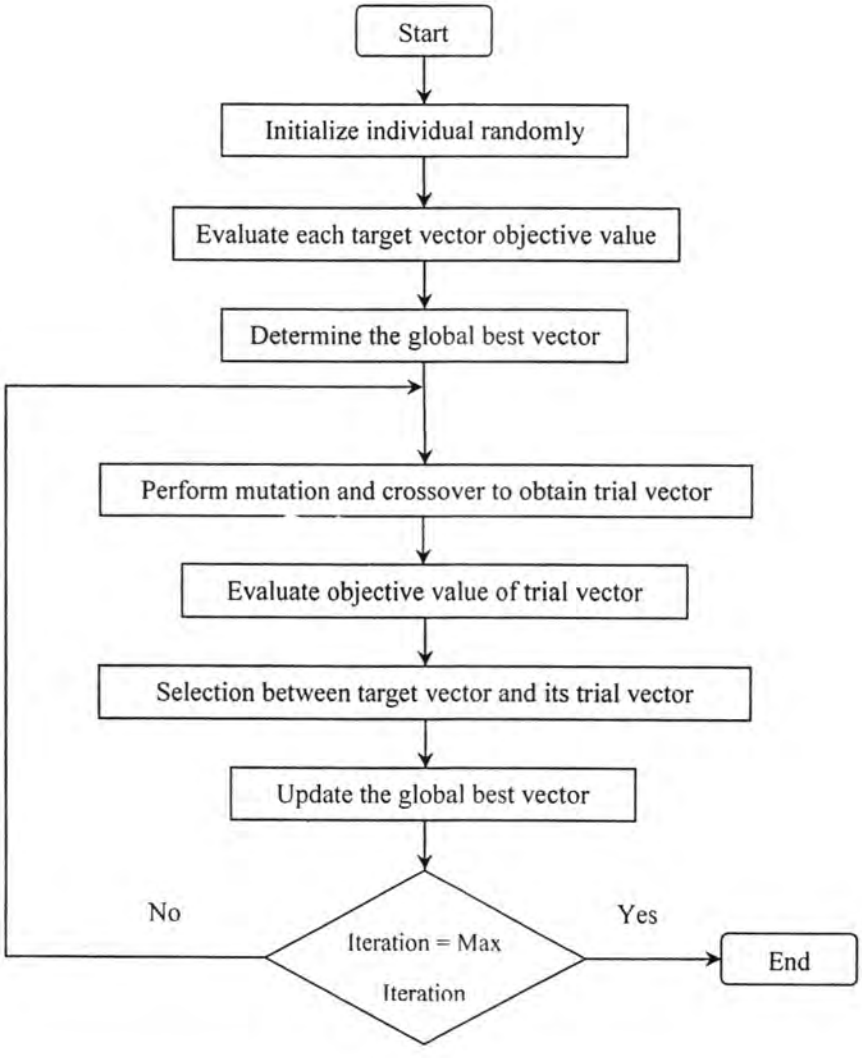
$$V_{ji,G+1} \quad \text{if (randb (j)} \leq \text{CR) or j = rnbr(i)} \tag{3.3}$$

$$X_{ji,G+1} \quad \text{if (randb(j) > CR) or j} \neq \text{rnbr(i)} \tag{3.4}$$

3.4.4 การคัดเลือก

ในกระบวนการขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) โดยในงานวิจัยนี้ใช้เพื่อหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการเดินทางซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์ ในกระบวนการ Selection เราจะเปรียบเทียบต้นทุนที่ต่ำที่สุดในกระบวนการการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Number of Population :NP) และกระบวนการ Recombination เมื่อได้คำตอบทั้งสองกระบวนการแล้วเราจะทำ

การเปรียบเทียบจากผลของคำตอบที่สามารถทำให้สมการวัตถุประสงค์ด้านต่ำที่สุดจะทำการเลือกโครโมโซมนั้นเป็นคำตอบเพื่อจะถูกนำไปหาคำตอบในรุ่นต่อไปดำเนินการซ้ำจากกระบวนการ Mutation, Recombination และ Selection จนครบทุก NP โดยที่ตัวอย่างการคัดเลือกประชากรเพื่อใช้เป็นคำตอบ



ภาพที่ 3.4 รูปแบบกระบวนการในการพัฒนาฮิวริสติกโดยใช้การหาคำตอบเฉพาะแบบกระบวนการ Differential evolution (DE)

3.5 การสรุป

เมื่อกระทำตามกระบวนการที่จัดกรอบการดำเนินการวิจัยทั้งหมด และผลการวิจัยในภาพรวมเป็นที่น่าพึงพอใจ หมายความรวมถึงคำตอบที่ได้จากการนำวิธีการที่พัฒนาขึ้นมา ไปแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง กรณีศึกษาการเดินทางไปซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในจังหวัดอุบลราชธานี มีประสิทธิภาพเพียงพอแล้วผู้วิจัยจึงจะสรุปและจัดทำรูปเล่มการวิจัยต่อไป

3.6 บทสรุป

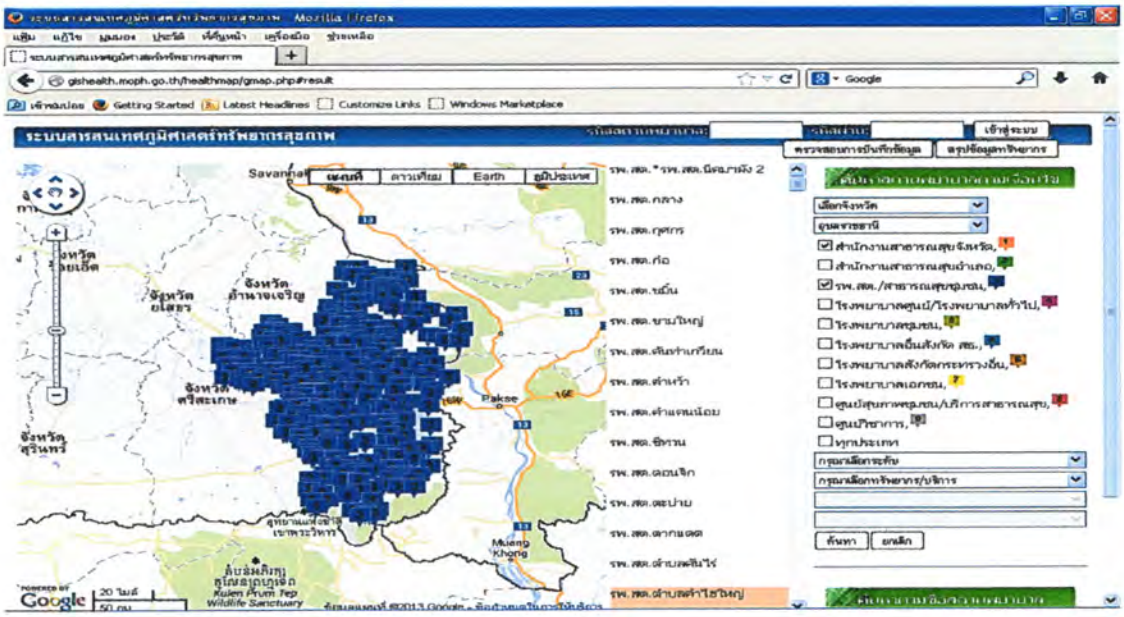
จากขั้นตอนแผนการดำเนินงานการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยยังได้ทำการวางแผนการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือสำหรับการดำเนินการวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ (Computer hardware) และคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (Computer software) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คอมพิวเตอร์ส่วนตัว (Personal computer; PC) หน่วยประมวลผลแบบ Inter (R) Core (TM) i3-3240 CPU 3.40GHz หน่วยความจำ 4 GB ทำงานบนโปรแกรมระบบปฏิบัติการ Windows 7 Ultimate และนอกจากนั้นมีการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่เป็นที่ยอมรับในการวิจัยเกี่ยวกับการหาค่าคำตอบกันเป็นอย่างมาก

บทที่ 4
กรณีศึกษาและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ในบทนี้จะกล่าวถึงกรณีศึกษาโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี และการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกรณีศึกษา รูปแบบปัญหาของการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ไม่ใช่ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบปกติ (VRP) เนื่องจากได้นำเวลาในการเดินทางและเวลาในการทำงานทั้งหมดเป็นตัวกำหนดความจุการทำงาน ผู้วิจัยจึงทำการจัดกระบวนการการศึกษาโดยทำการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดแล้วกำหนดขอบเขตในงานวิจัย จากนั้นนำข้อมูลสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับกรณีศึกษาทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้โปรแกรม Lingo จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับวิธีดิฟเฟอร์เชี่ยล อีโวลูชั่น เพื่อหาความถูกต้องของแบบจำลองคณิตศาสตร์

4.1 ศึกษาปัญหากรณีศึกษาโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี

สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งมีบทบาทในหน้าที่ในการส่งเสริมสนับสนุนให้ประชาชนมีความพร้อมและพฤติกรรมสุขภาพที่ถูกต้อง โดยควบคุมกำกับสถานบริการสุขภาพให้ดำเนินงานที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน เพื่อป้องกันและคุ้มครองสิทธิให้กับประชาชน ดังนั้นการพัฒนาสถานีอนามัยให้มีมาตรฐานในการรักษาแล้ว สิ่งหนึ่งที่ต้องพัฒนาควบคู่ไปด้วยคือเครื่องมือทางการแพทย์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง จึงจำเป็นต้องให้มีการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ประจำสถานีอนามัยทุกแห่งให้ได้มาตรฐาน รวมถึงการให้คำแนะนำในการใช้งานที่ถูกต้อง เพื่อช่วยในการตรวจวินิจฉัยและวิเคราะห์โรคได้อย่างแม่นยำ และให้เกิดความมั่นใจและปลอดภัยแก่ผู้รับบริการรวมทั้งเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติงาน จึงจะเป็นการพัฒนาสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแบบครบวงจรให้สามารถส่งต่อและเชื่อมโยงกับสถานบริการสุขภาพที่สูงกว่าได้ ดังนั้นสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี จึงจำเป็นต้องให้มีการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ประจำสถานีอนามัยและ รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง ดังภาพที่ 4.1 ให้ได้มาตรฐาน



ภาพที่4.1ตำแหน่งสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี (ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรสุขภาพ, 2556)

ในการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในปัจจุบัน ดำเนินการโดยการลำดับเส้นทางขึ้นมาอย่างสุ่ม โดยกำหนดให้เริ่มเดินทางจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานีไปทำการซ่อมบำรุงที่สถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ 2 แห่ง แล้วกลับมาที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้เวลาในการเดินทางและทำการซ่อมบำรุงรวม 480 นาทีดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1ตัวอย่างลำดับเส้นทางจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานีไปสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ

ลำดับ	เส้นทางการเดินทาง	ระยะทาง (กม.)
1	0-1-2-0	163.8
2	0-3-4-0	37.4
3	0-5-6-0	127
4	0-7-8-0	219.3
5	0-9-10-0	137
...	...	...

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างลำดับเส้นทางจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานีไปสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ (ต่อ)

ลำดับ	เส้นทางการเดินทาง	ระยะทาง (กม.)
185	0-309-310-0	120
186	0-311-312-0	97
187	0-313-314-0	35
188	0-315-316-0	160

จากตารางที่ 4.1 เจ้าหน้าที่ต้องเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทั้งหมด 188 เส้นทาง ซึ่งมีระยะทางรวมทั้งหมด 22,945.20 กิโลเมตร และมีต้นทุนรวม 475,150.30 บาท/ปี

จากการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในปัจจุบันพบว่า

(1) จำนวนเส้นทางในการเดินทางมีหลายเส้นทาง

(2) ต้นทุนในการเดินทางสูง

(3) ทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ไม่แล้วเสร็จตามกำหนดของโครงการ

(4) ในการเดินทางต้องเดินทางไป-กลับทุกวัน

(5) มีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัดนัก สามารถให้บริการช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้าง

จากปัญหาข้างต้น ผู้วิจัยจึงหาแนวทางในการตัดสินใจจัดเส้นทางเพื่อเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน

4.2 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี จากนั้นรวบรวมระยะทางในแต่ละจุดจากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรสุขภาพ ปี 2556 ทำการรวบรวมเวลาในการซ่อมบำรุงบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในแต่ละแห่ง รวบรวมการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการเดินทาง ค่าแรง ค่าซ่อมบำรุง และค่าที่พัก เป็นต้น

ข้อมูลต่างๆที่นำมาใช้ในการจัดเส้นทางการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแบ่งออกเป็นส่วนๆได้ดังต่อไปนี้

4.2.1 ข้อมูลของสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเริมสุขภาพตำบล

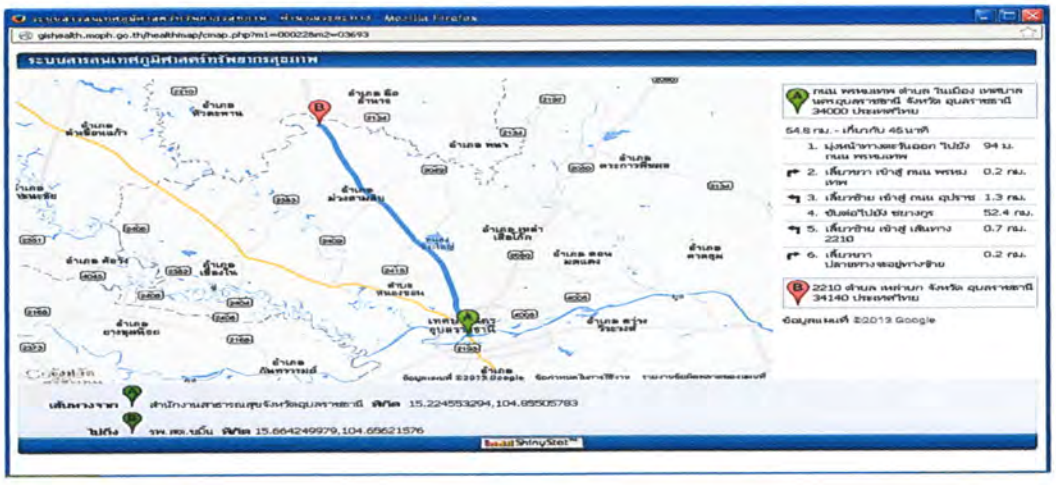
ดังแสดงในตาราง ที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในจังหวัดอุบลราชธานี (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี, 2555)

ลำดับที่	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
(1) อำเภอเมืองอุบลราชธานี	
1	รพ.สต.ปทุม
2	รพ.สต.ขามใหญ่
3	รพ.สต.หนองแก
4	รพ.สต.ค้ามพร้า
...	.....
(25) อำเภอสำโรง	
314	รพ.สต.โคกสว่าง
315	รพ.สต.โนนสูง
316	รพ.สต.คำก้าว

4.2.2 ข้อมูลด้านระยะทาง

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ระยะทางระหว่างสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี และ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล โดยหาข้อมูลที่ตั้งได้จากระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ทรัพยากรสุขภาพ ซึ่งเป็นระยะทางที่ได้เป็นระยะทางจริง ดังภาพที่ 4.2 แล้วนำมาหาระยะทางทั้งหมด ดังตารางที่ 4.3



ภาพที่ 4.2 ตัวอย่างการหาระยะทางระหว่างสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี และ โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล(กระทรวงสาธารณสุข, 2556)

ตารางที่ 4.3ระยะทางการเดินทาง

รพ.สต.	ระยะทาง (กม.)								
	1	**2**	**3**	**4**	**....**	**314**	**315**	**316**	**317**
1	0	53.7	70.5	58.1	....	116	109	113	111
2	53.7	0	32.4	117	....	146	139	69.7	141
3	70.5	32.4	0	137	....	189	182	48.1	184
4	58.1	117	137	0	....	76.1	69.1	179	71.1
...	....	....	....	....	....	....	....	....	....
314	116	146	189	76.1	....	0	7	180	5
315	109	139	182	69.1	....	7	0	173	2
316	113	69.7	48.1	179	....	180	173	0	175
317	111	141	184	71.1	....	5	2	175	0

4.2.3 ข้อมูลด้านเวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์

เป็นการวิเคราะห์เวลาในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง ซึ่งในแต่ละแห่งมีจำนวนอุปกรณ์ทางการแพทย์แตกต่างกัน โดยคิดค่าเวลาเผื่อส่วนตัว 5เปอร์เซ็นต์เผื่อจากความเมื่อยล้า 5เปอร์เซ็นต์และเผื่อที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ 5เปอร์เซ็นต์ดังแสดงในตารางที่ 4.4 – 4.5

ตารางที่ 4.4 เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง

เครื่องมือ		รพ.สต. / เวลา	นิคมฯ ผัง2	กลาง	กุศกร	ก่อ	...	แสงไผ่ตำบลไผ่ใหญ่	โนนยาง	ใหม่พัฒนาตำบลโนนสมบูรณ์	หัวดูน
เครื่องปั่นโลหิต		951	1	1	1	1	...	2	1	1	1
เครื่องโคมไฟ		212	2	1	1	3	...	1	2	1	2
เครื่องนึ่งฆ่าเชื้อ		595	1	2	1	1	...	1	1	1	1
เครื่องขูดหินปูน		1200		1	1	1	...				1
เครื่องยูนิตทันตกรรม	เคลื่อนที่	1800		1	1	1	...				1
	ยูนิต	2700				1	...				
เครื่องวัดความดันโลหิต	analog	235	2	2	3	1	...	2	2		1
	digital	133		1	4	1	...	1	1	1	2
เครื่องชั่งน้ำหนัก	เด็ก	190	1	1	1	1	...	1	1	1	1
	ผู้ใหญ่	100	1	2	2	2	...	2	3	2	2
หูฟัง		105	1	3	2	3	...	3	2	2	1
ตู้เย็นเก็บวัคซีน		156	1	1	1	1	...	1	2	1	1
เครื่องต้มฆ่าเชื้อ		120			1		...				

ตารางที่ 4.4 เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลแต่ละแห่ง (ต่อ)

เครื่องมือ	รพ.สต. / เวลา	นิคมฯ ผัง2	กลาง	กุศกร	ก่อ	...	แสงไผ่ ตำ บล ไผ่ ใหญ่	โนน ยาง	ใหม่ พัฒนา ตำบล โนน สมบูรณ์	หัวดูน
เครื่องวัดระดับน้ำตาล	72		1		1	...	1	3	1	1
เครื่องตรวจไขมัน	85		1		1	...	1	1		
เครื่องฟังเสียงหัวใจทารก	324	1	2	1	1	...	1	1	1	
เครื่องตรวจหู คอ จมูก	460					...				
เครื่องพ่นละอองยา	180					...				
เครื่องพ่นหมอกควัน	750					...				
เครื่องปรับอากาศ	568	1	4	2	5	...		3	4	6
ปรอทวัดไข้	61					...				
ปรอทวัดไข้ทางหู	209					...				
ตู้เก็บยา	61					...				
โทรศัพท์ เครื่องFax.	1815					...				
หม้อหุงข้าว	1230					...				
ภาระงาน (วินาที)		3883	9894	8331	12432	...	4654	5914	5315	9602
ภาระงาน (นาที)		65	165		207	...		99	89	160

ตารางที่ 4.5 เวลาซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์

ลำดับ	รพ.สต.	ภาระงาน (นาที)	กรอกข้อมูล (นาที)	รวม (นาที)	เวลาเผื่อ (นาที)	รวม (นาที)	เวลาเฉลี่ย / พนักงาน 2 คน
1	นิคมฯผัง 2	65	20	85	13	97	49
2	กลาง	165	20	185	28	213	106
3	กุศกร	139	20	159	24	183	91
4	ก่อ	207	20	227	34	261	131
....	....	....	....	....	....	....	....
316	หัวดูน	160	20	180	27	207	104

4.2.4 ข้อมูลด้านต้นทุนในการเดินทาง

เนื่องจากกรณีศึกษาเป็นปัญหาแบบ Minimize Cost เพื่อหาต้นทุนในการเดินทางที่ต่ำที่สุดประกอบด้วยต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง ต้นทุนค่าซ่อมบำรุง ค่าแรงงานและค่าที่พักเมื่อมีการพักค้างคืนเมื่อไม่มีการกลับมาที่ศูนย์ซ่อมบำรุง ในกรณีศึกษาจะมีเจ้าหน้าที่ซ่อมบำรุง 3 คน เดินทางไปด้วยกันและมีจำนวนรถตู้ 1 คัน โดยเจ้าหน้าที่จะทำการสลับสับเปลี่ยนกันขับรถในแต่ละวัน ซึ่งเจ้าหน้าที่คนที่ขับรถจะทำการซ่อมบำรุงหรือไม่ซ่อมบำรุงก็ได้ จึงทำการคิดเวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงานเพียง 2 คนโดยไม่นำเจ้าหน้าที่ที่ขับรถมาคิดเวลาเฉลี่ยในการปฏิบัติงาน ในการเดินทางประกอบด้วยค่าน้ำมันที่อัตรา 4 บาทต่อกิโลเมตร ค่าบำรุงรักษาประกอบด้วยค่าสารหล่อลื่นราคา 570 บาทต่อลิตร ทำการเปลี่ยนครั้งละ 6 ลิตร ทุกๆ 10,000 กิโลเมตรคิดเป็น 0.342 บาทต่อกิโลเมตร และค่ายางรถยนต์ราคา 3,700 บาทต่อเส้น มีอายุการใช้งาน 40,000 กิโลเมตรต่อเส้นต้นทุนรวม 0.37 บาทต่อกิโลเมตรคิดเป็น 1.48 บาทต่อกิโลเมตร (4+(0.342+1.48) = 5.822) ค่าแรงงานประกอบด้วยค่าจ้าง 377 บาทต่อวัน ค่าเบี้ยเลี้ยง 240 บาทต่อวัน ((377 + 240)X 3 = 1,851)และ ค่าที่พัก 500 บาทต่อวัน ดังสมการที่ 4.1 และสรุปต้นทุนในการเดินทางได้ดังตารางที่ 4.6

$$\text{Min } Z = [(C_f + C_m) \times D] + [(C_l \times r)] + [(C_h \times (r-1)] \qquad (4.1)$$

เมื่อ C_f = ค่าน้ำมัน

C_m = ค่าบำรุงรักษารถ

C_l = ค่าแรงงานต่อวัน

C_h = ค่าที่พักต่อวัน

D = ระยะทาง

r = จำนวนเที่ยว

ตารางที่ 4.6 ต้นทุนในการเดินทาง

ประเภท	ต้นทุน
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร) + ค่าบำรุงรักษารถ	5.822
ค่าแรง/วัน	1,851
ค่าที่พัก/คืน	500

4.3 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางแบบต่อเนื่องโดยนำเวลาเดินทางและเวลาทำงานมาเป็นความจุ (VRP-Continuous Travel and Service Time Capacity: VRP-CTSC)

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นเป้าหมายและเงื่อนไขต่างๆและครอบคลุมไปถึงนิยามของดัชนีที่ใช้ ตัวแปรต่างๆสมมติฐานที่เกี่ยวข้องพร้อมทั้งคำอธิบายในแต่ละเงื่อนไข เพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะของการจัดเส้นทางการเดินทาง ซึ่งจะทำให้สามารถนำตัวแบบที่ได้นี้ไปประยุกต์ใช้ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อหาคำตอบได้ต่อไป

4.3.1 ดัชนี

ดัชนี (Indices)

i ลำดับของผู้ใช้บริการที่ i โดยที่ $i = 1,2,\dots,N$

j ลำดับของผู้ใช้บริการที่ j โดยที่ $j = 1,2,\dots,N$

k ยานพาหนะที่ใช้ในการให้บริการที่ k โดยที่ $k = 1,2,\dots,K$

ตัวแปรที่ทราบค่า(Parameter)

C_{ij} ระยะทางในการเดินทางจาก Node i ไป Node j

s_i เวลาในการซ่อมบำรุงที่ Node i

t_{ij} เวลาที่ใช้ในการเดินทางจาก Node i ไป Node j

R_k จำนวนเส้นทางการเดินทางซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์

T_k เวลาสูงสุดในการทำงาน

C_f ค่าน้ำมัน

C_m ค่าบำรุงรักษารถ

C_l ค่าแรงงานต่อวัน

C_h ค่าที่พักต่อวัน

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1, \text{ถ้ามีการเดินทางจากเมือง } i \text{ ไปเมือง } j \text{ ด้วยยานพาหนะ k} \\ 0, \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$Y_{jk} = \begin{cases} 1, \text{ถ้ามีการพักค้างแรมที่เมือง } j \text{ ด้วยยานพาหนะ k} \\ 0, \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

U_i = ตัวแปรสนับสนุน (Auxiliary variable) ที่มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับ 0

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Min = [(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1,j\neq i}^{N}\sum_{k=1}^{K} C_{ij}X_{ijk}) \times (C_f + C_m)] + [(\sum_{k=1}^{N} R_k) \times C_l] + [(\sum_{j=2}^{N} Y_{jk}) \times C_h] \quad (4.2)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} \boldsymbol{X_{ijk} = 1} \qquad \forall_{j=(2,\ldots,N)\ and\ i\neq j} \qquad (4.3)$$

$$\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} \boldsymbol{X_{ijk} = 1} \qquad \forall_{i=(2,\ldots,N)\ and\ i\neq j} \qquad (4.4)$$

$$\sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{X_{ipk}} - \sum_{j=1}^{N} \boldsymbol{X_{pjk} = 0} \qquad \forall_{k=(1,\ldots,K),p=(1,\ldots,N)} \qquad (4.5)$$

$$\sum_{j=2}^{N} \boldsymbol{X_{1jk} \leq 1} \qquad \forall_{k=(1,\ldots,K)} \qquad (4.6)$$

$$\sum_{i=2}^{N} \boldsymbol{X_{i1k} \leq 1} \qquad \forall_{k=(1,\ldots,K)} \qquad (4.7)$$

$$\boldsymbol{U_i - U_j + N\sum_{k=1}^{K} X_{ijk} \leq N - 1} \qquad \forall_{i,j=(2,\ldots,N)\ and\ i\neq j} \qquad (4.8)$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=2}^{N} \boldsymbol{X_{ijk}\,(t_{ij} + s_i) \leq \sum_{j=2}^{N}(Y_{jk} + 1)T_k} \qquad \forall_{j=(2,\ldots,N),i=(1,\ldots,N),k=(1,\ldots,K)\ and\ i\neq j} \qquad (4.9)$$

$$(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=2}^{N} \mathbf{X_{ijk}(t_{ij} + s_i))/T_k \leq R_k} \qquad \forall_{j=(2,\ldots,N),i=(1,\ldots,N),k=(1,\ldots,K)\ and\ i\neq j} \qquad (4.10)$$

$$\boldsymbol{X_{ijk} \leq (1 - Y_{jk})} \qquad \forall_{j=(2,\ldots,N),i=(1,\ldots,N),k=(1,\ldots,K)\ and\ i\neq j} \qquad (4.11)$$

$$\boldsymbol{Y_{ik} \epsilon \{0, 1\}} \qquad \forall_{i,j=(1,\ldots,N),k=(1,\ldots,K)} \qquad (4.12)$$

$$\boldsymbol{X_{ijk} \epsilon \{0, 1\}} \qquad \forall_{i,j=(1,\ldots,N),k=(1,\ldots,K)} \qquad (4.13)$$

สมการ (4.2) Objective Function เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นสมการที่ต้องการหาผลรวมค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด (4.3) และ (4.4) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละจุดสามารถรับการบริการ

ได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น (4.5) แสดงความต่อเนื่องในแต่ละตำแหน่งที่เชื่อมกันอยู่ในแต่ละเส้นทาง เมื่อยานพาหนะเข้ามายังจุดใดๆ และออกจากจุดนั้น (4.6) และ (4.7) การยืนยันความสามารถในการมียานพาหนะใช้ได้เท่าที่กำหนด (4.8) การป้องกันการเกิดซับทัวร์ (4.9) ข้อกำหนดเวลาสูงสุดในการเดินทาง (4.10) เงื่อนไขในการพักค้างคืน (4.11) การบังคับว่าถ้ามีการพักค้างคืนเกิดขึ้นจะมีการเดินทางไปเมืองถัดไป (4.12) และ (4.13) หมายถึงการกำหนดให้ตัวแปรตัวสินใจมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

หลังจากที่ได้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แล้ว สิ่งที่สำคัญคือการพิสูจน์ว่าตัวแบบนั้นถูกต้องหรือไม่ โดยในงานวิจัยนี้มีการพิสูจน์ คือ การทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) โดยผลการทดลองทั้งหมดนั้นทดลองในโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ซึ่งผลที่ได้นั้น โปรแกรมสามารถรันผลออกมาได้โดยไม่มีปัญหาข้อบกพร่องใดๆ เลย รายละเอียดทั้งหมดแสดงในตารางที่ 4.7 โดยผลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดนั้นพบว่าตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถนำไปใช้งานได้

4.4 ทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) ตัวแบบคณิตศาสตร์

ทำการทดลองโดยที่กำหนดให้แต่ละพจน์ในสมการเป้าหมายแต่ละตัวมีค่าน้ำหนักเท่ากัน ผลการทดสอบ แสดงรายละเอียดได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการตอบสนอง (Sensitivity Test) ตัวแบบคณิตศาสตร์

สมการ	สิ่งที่ควรจะเป็น	การทดสอบ	ผลการทดสอบ	บทสรุป
(4.2)	ผลลัพธ์ของเป้าหมายแปรเปลี่ยนไปตามระยะทาง	สลับสับเปลี่ยนตำแหน่งของ รพ.สต. ให้ระยะทางที่ใกล้-ไกล กับ สสจ.อบ.	สมการเป้าหมายมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงเมื่อระยะทางใกล้และสูงขึ้นเมื่อระยะทางไกล	ถูกต้อง
(4.2)	ผลลัพธ์ของเป้าหมายแปรเปลี่ยนไปตาม ค่าน้ำมันและค่าซ่อมบำรุง	เปลี่ยนค่าน้ำมันและค่าซ่อมบำรุง	- ค่าน้ำมันและค่าซ่อมบำรุงเพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น - ค่าน้ำมันและค่าซ่อมบำรุงลดลง ค่าใช้จ่ายลดลง	ถูกต้อง
(4.2)	ผลลัพธ์ของเป้าหมายแปรเปลี่ยนไปตามค่าที่พัก	เปลี่ยนค่าที่พักต่ำและสูงกว่าเดิม	- ค่าที่พักต่ำ และสูงไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจาก ปัญหาที่ทดลองไม่มีการพักค้างคืน	สรุปไม่ได้
(4.9) (4.10)	– T_k < 420 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะเพิ่มขึ้น – T_k > 420 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดจะลดขึ้น	เปลี่ยนค่า T_k เป็นค่าที่น้อยกว่าและมากกว่า 420	– T_k < 420 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดเพิ่มขึ้น – T_k > 420 ค่าใช้จ่ายทั้งหมดลดขึ้น	ถูกต้อง

4.5 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V. 11

วิธีการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์จะทำการประมวลผลผ่านคอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผลกลาง Inter (R) Core (TM) i3-3240 CPU 3.40 GHz หน่วยความจำ 4 GB โดยการทดสอบตัวแบบคณิตศาสตร์ที่ได้สร้างขึ้นกับข้อมูล รพ.สต. เพียง 10 แห่ง โดยทำการทดสอบกับปัญหาขนาดเล็ก และขนาดกลาง โดยทำการทดสอบปัญหาขนาด 5 (10 ชุดข้อมูล) และปัญหาขนาด 10 (5 ชุดข้อมูล) เมื่อทำการทดลองประมวลผลโดยซอฟท์แวร์สำเร็จรูปและหาคำตอบจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นด้วย Lingo V.11 พบว่า

4.4.1 การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง

โดยใช้ผลการคำนวณของโปรแกรม Lingo V.11 เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยลอีโวลูชั่น (DE) การเขียนโปรแกรม Lingo

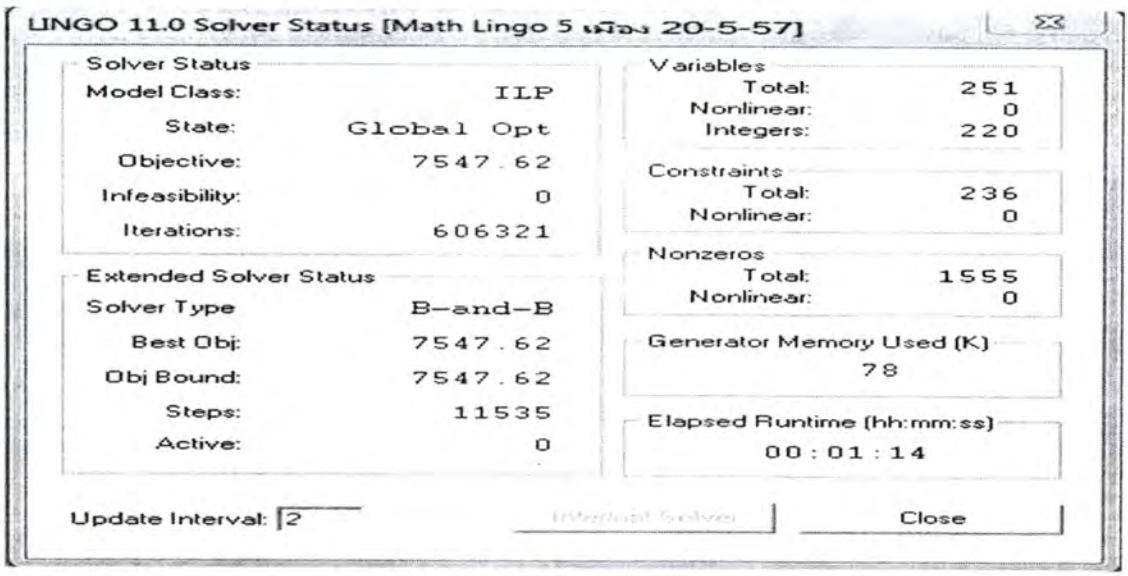
4.4.1.1 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1 ดังภาพที่ 4.3

File Edit LINGO Window Help

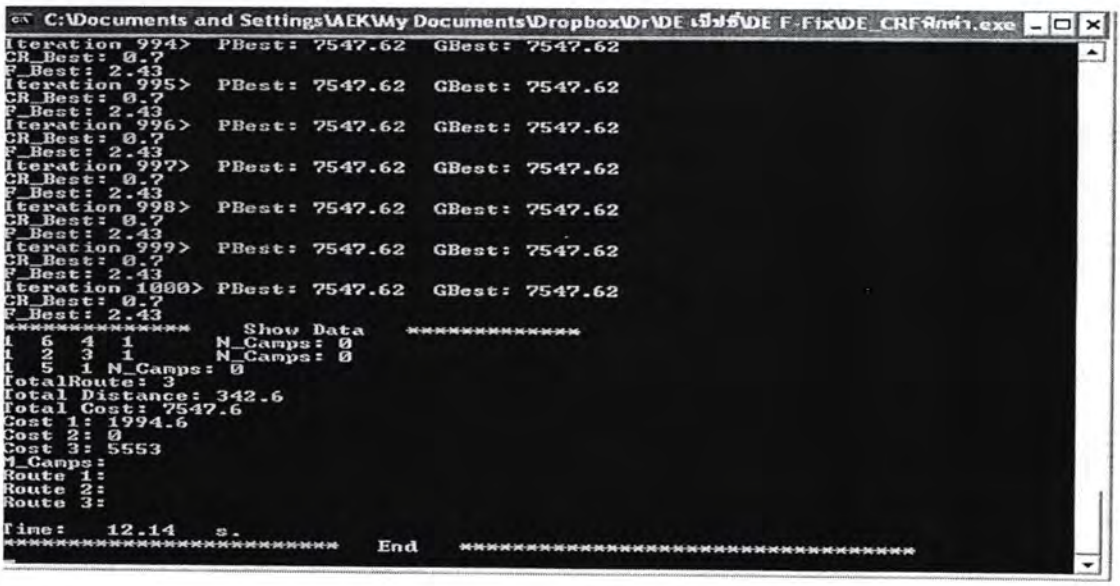
```
MODEL:
SETS:
        !CITY/1..11/:Q,U;
        !CXC(CITY,CITY):X,D;
        CITY/1..6/:Q,U;
        SUBK/1..5/;
        VEHICLE/1..5/:T,R,B;
        CXC(CITY,CITY):D;
        KXC(CITY,VEHICLE):Y;
        KXX(VEHICLE,SUBK):C;
        KXCC(CITY,CITY,VEHICLE):X;


ENDSETS
DATA:

D =
0     53.7  70.5  58.1  9.3   54.5
53.7  0     32.4  117   47.5  112
70.5  32.4  0     137   64.3  129
58.1  117   137   0     71.3  54.8
9.3   47.5  64.3  71.3  0     66.6
54.5  112   129   54.8  66.6  0
;

Q = 0 49    106   91    131   55;
T = 420;
C1=4;
C2=1.822;
C3=1851;
C4=500;

ENDDATA

N = @SIZE(CITY);
MIN=(@SUM(KXCC(I,J,K)|I#NE#J:D(I,J)*X(I,J,K))*(C1+C2))+(@SUM(KXC(J,K):Y(J,K)*C4))+(@SUM(VEHICLE(K):R(K))*C3);

@FOR(CITY(J)|J#GT#1:@SUM(KXC(I,K)|I#NE#J:X(I,J,K))=1);
@FOR(CITY(I)|I#GT#1:@SUM(KXC(J,K)|I#NE#J:X(I,J,K))=1);
@FOR(KXC(P,K):(@SUM(CITY(I):X(I,P,K))-@SUM(CITY(J):X(P,J,K)))=0);
@FOR(VEHICLE(K):@SUM(CITY(J)|J#GT#1:X(1,J,K))<=1);
@FOR(VEHICLE(K):@SUM(CITY(I)|I#GT#1:X(I,1,K))<=1);
@FOR(CXC(I,J)|J#NE#1#AND#I#NE#1:U(I)-U(J)+N*@SUM(VEHICLE(K)|I#NE#J:X(I,J,K))<=N-1);

@FOR(VEHICLE(K):@SUM(CXC(I,J)|I#NE#J:X(I,J,K)*(D(I,J)+Q(I)))<=(@SUM(CITY(J)|J#GT#1:Y(J,K))+1)*T(K));
@FOR(VEHICLE(K):((@SUM(CXC(I,J)|I#NE#J:(X(I,J,K)*(D(I,J)+Q(I))))/T(K)))<=(R(K)));
@FOR(KXCC(I,J,K)|J#GT#1:X(I,J,K)<=(1-Y(J,K))));
```

ภาพที่ 4.3 สมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดโปรแกรม Lingo ในการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1

เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางดังภาพที่ 4.4 และการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1 โดยใช้โปรแกรม Lingo



ภาพที่ 4.5 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1 โดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 7,547.6 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้เวลาในการคำนวณ 1.14 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 12.14 วินาที มีการเดินทาง 3 เส้นทาง

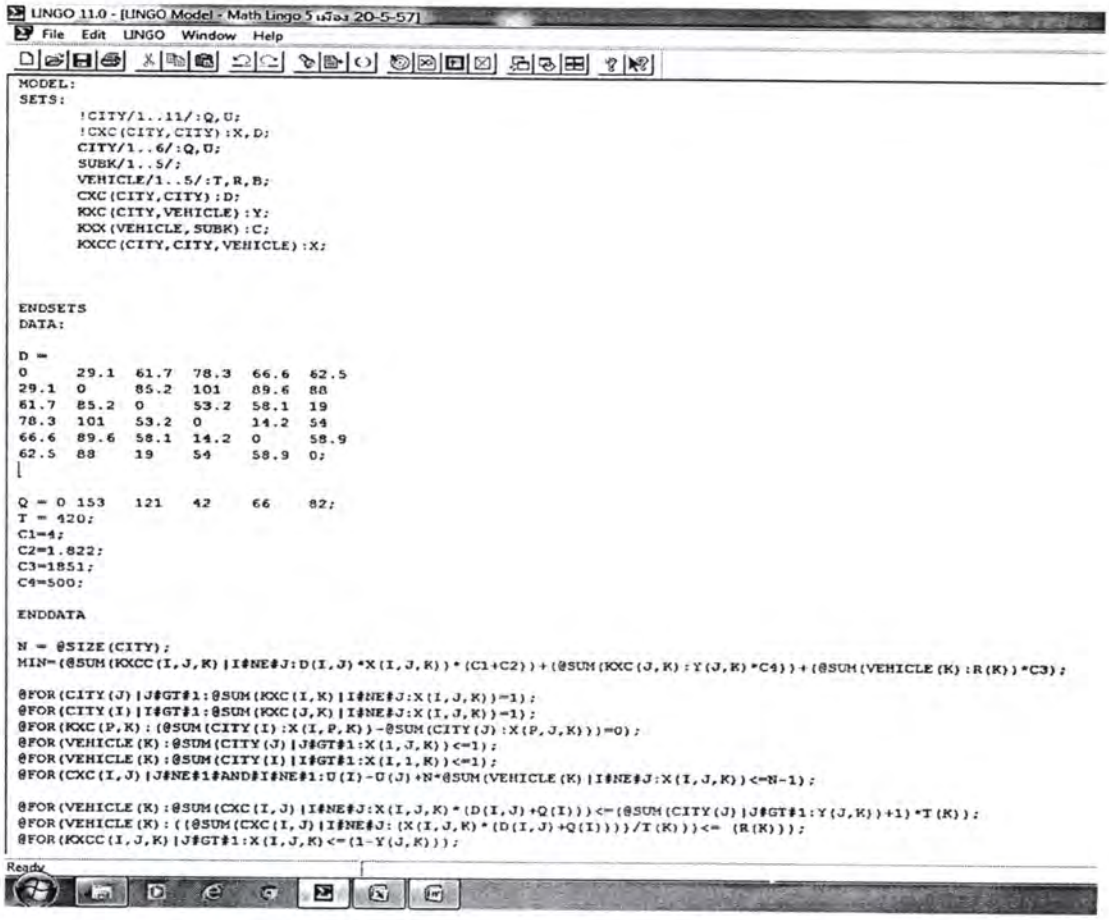
ตารางที่ 4.8 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-6-4-1	167.4
2	1-2-3-1	156.6
3	1-5-1	18.6
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		342.6

ตารางที่ 4.9 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 1

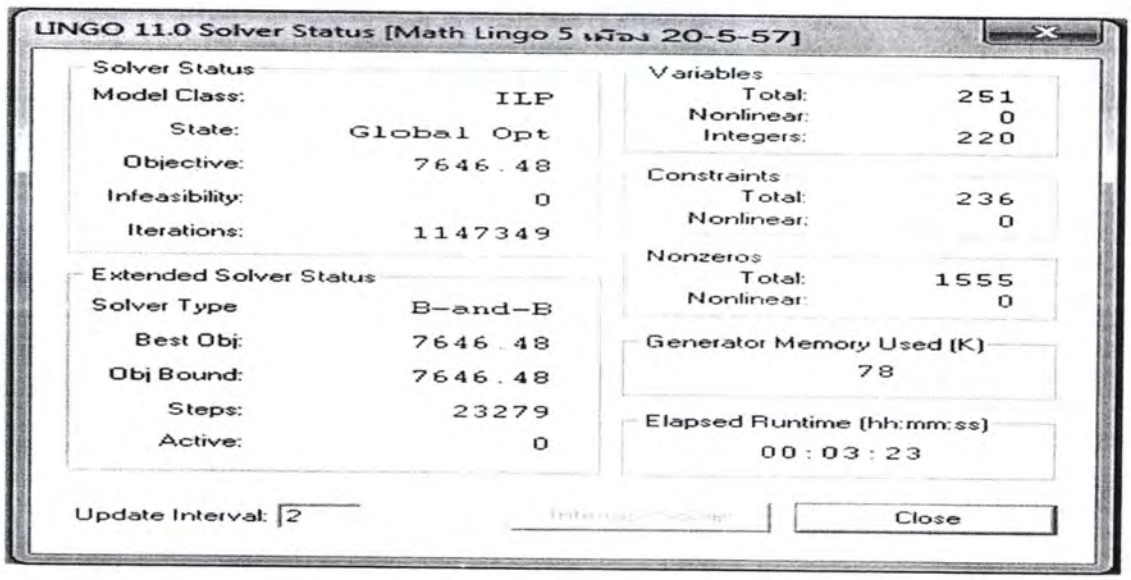
ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	892	1,994.62
ค่าแรง/วัน	1,851	3	5,553
ค่าที่พัก/คืน	500	-	-
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			7,547.6

4.4.1.2 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2 ดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 สมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดโปรแกรม Lingo ในการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2

เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางดังภาพที่ 4.7 และการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.8



ภาพที่ 4.7 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2 โดยใช้โปรแกรม Lingo

ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2 โดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 7,646.5 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้เวลาในการคำนวณ 3.23 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 8.15 วินาที มีการเดินทาง 2 เส้นทาง และมีการพักค้างคืน 1 คืน

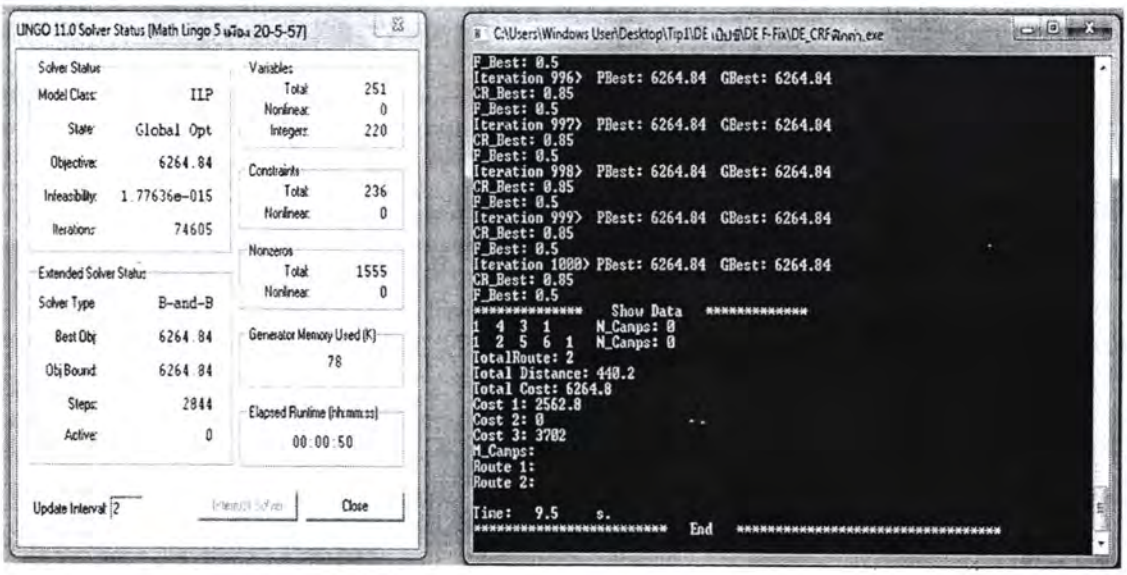
ตารางที่ 4.10 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-3-6-4-5-1	215.5
2	1-2-1	58.2
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		273.7

ตารางที่ 4.11 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 2

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	892	1,994.62
ค่าแรง/วัน	1,851	3	5,553
ค่าที่พัก/คืน	500	-	-
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			7,547.6

4.4.1.3 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 3 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางและการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 3 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 6,264.8 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้เวลาในการคำนวณ 0.50 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 9.5วินาที มีการเดินทาง 2 เส้นทาง

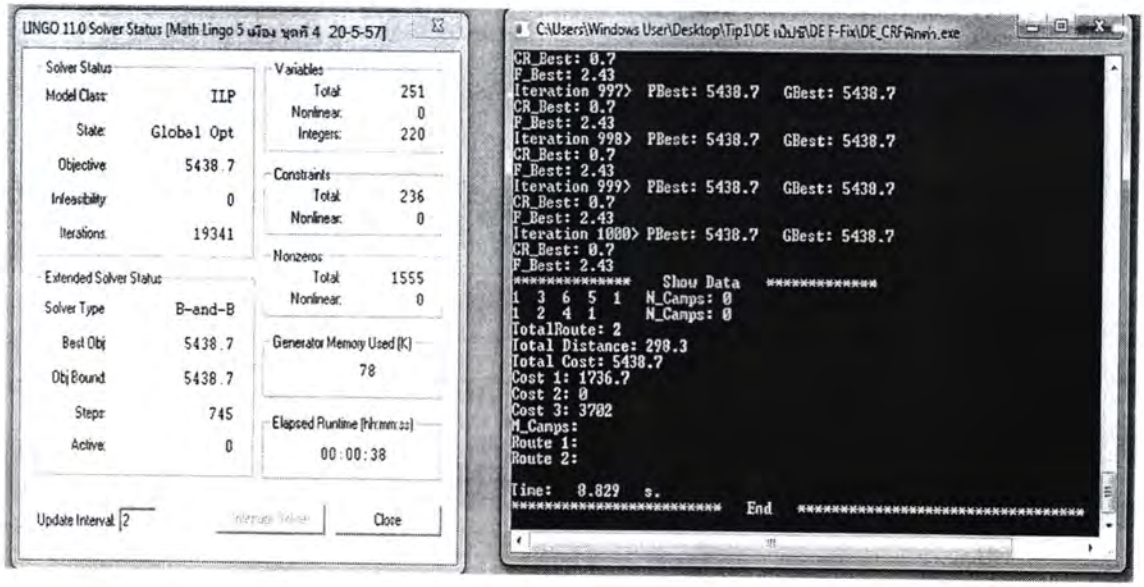
ตารางที่ 4.12 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 3

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-3-4-1	243.8
2	1-6-5-2-1	196.4
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		440.2

ตารางที่ 4.13 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 3

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวน เที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	440.2	2,563.43
ค่าแรง/วัน	1,851	2	3,702
ค่าที่พัก/คืน	500	-	-
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			6,264.8

4.4.1.4 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 4 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางและการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 4 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 5,438.7 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้เวลาในการคำนวณ 0.38 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 8.29วินาที มีการเดินทาง 2 เส้นทาง

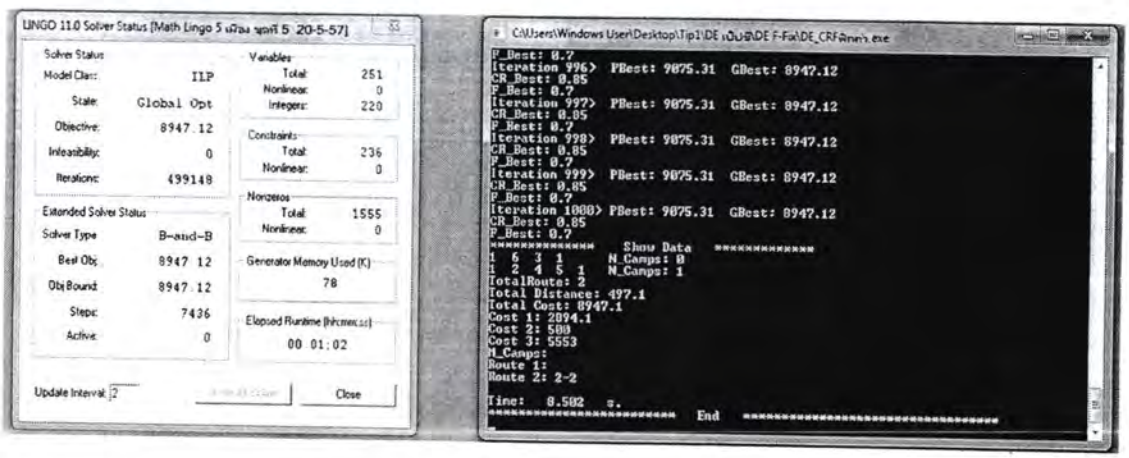
ตารางที่ 4.14 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 4

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-2-4-1	124.1
2	1-3-6-5-1	174.2
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		298.3

ตารางที่ 4.15 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 4

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	298.3	1,736.7
ค่าแรง/วัน	1,851	2	3,702
ค่าที่พัก/คืน	500	-	-
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			5,438.7

4.4.1.5 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 5 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางและการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 5 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 8,947.12 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้เวลาในการคำนวณ 1.02 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 8.50วินาที มีการเดินทาง 2 เส้นทาง และมีการพักค้างคืน 1 คืน

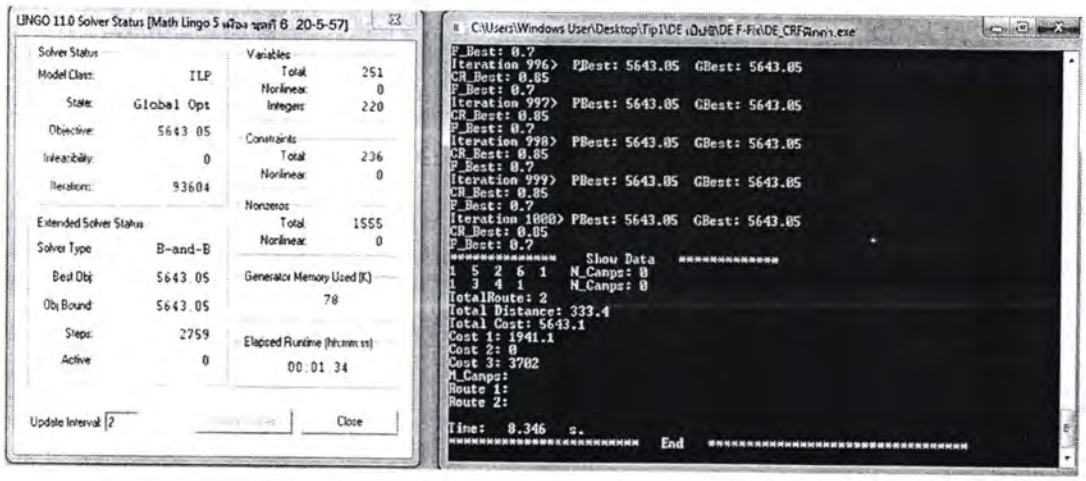
ตารางที่ 4.16 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 5

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-3-6-1	216.7
2	1-5-4-2-1	280.4
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		497.1

ตารางที่ 4.17 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 5

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	497.1	2,894.11
ค่าแรง/วัน	1,851	3	5,553
ค่าที่พัก/คืน	500	1	500
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			8,947.12

4.4.1.6 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 6 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางและการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 6 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 5,643.05 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้เวลาในการคำนวณ 1.34 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 8.34 วินาที มีการเดินทาง 2 เส้นทาง

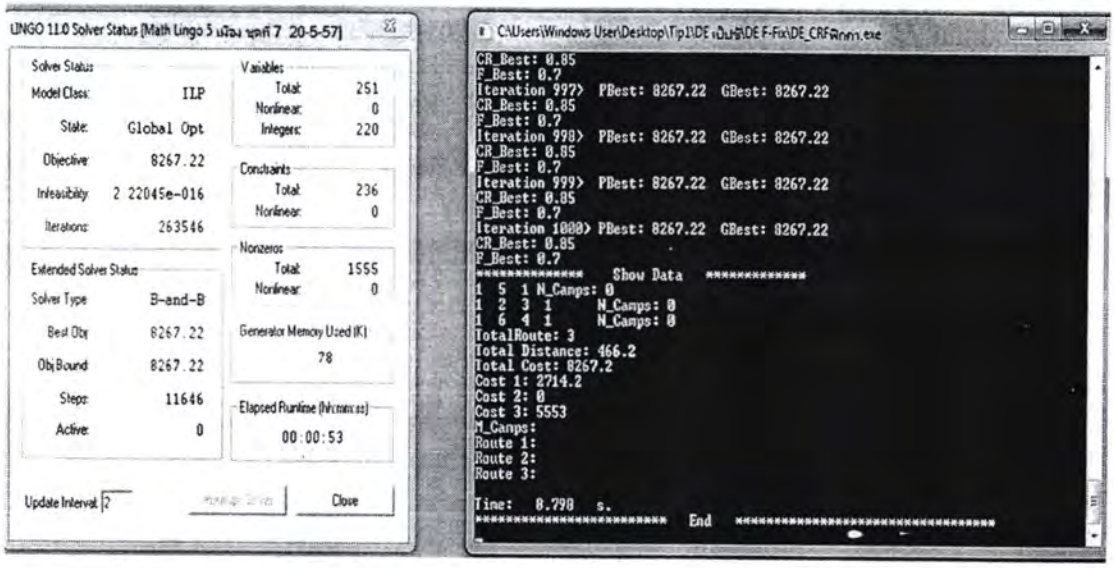
ตารางที่ 4.18 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 6

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-3-4-1	151.9
2	1-6-2-5-1	181.5
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		333.4

ตารางที่ 4.19 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 6

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าซ่อมบำรุง	5.822	333.4	1,941.05
ค่าแรง/วัน	1,851	2	3,702
ค่าที่พัก/คืน	500	-	-
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			5,643.05

4.4.1.7 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 7 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางและการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.13 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 7 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 8,267.22 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้เวลาในการคำนวณ 0.53 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 8.79 วินาที มีการเดินทาง 3 เส้นทาง

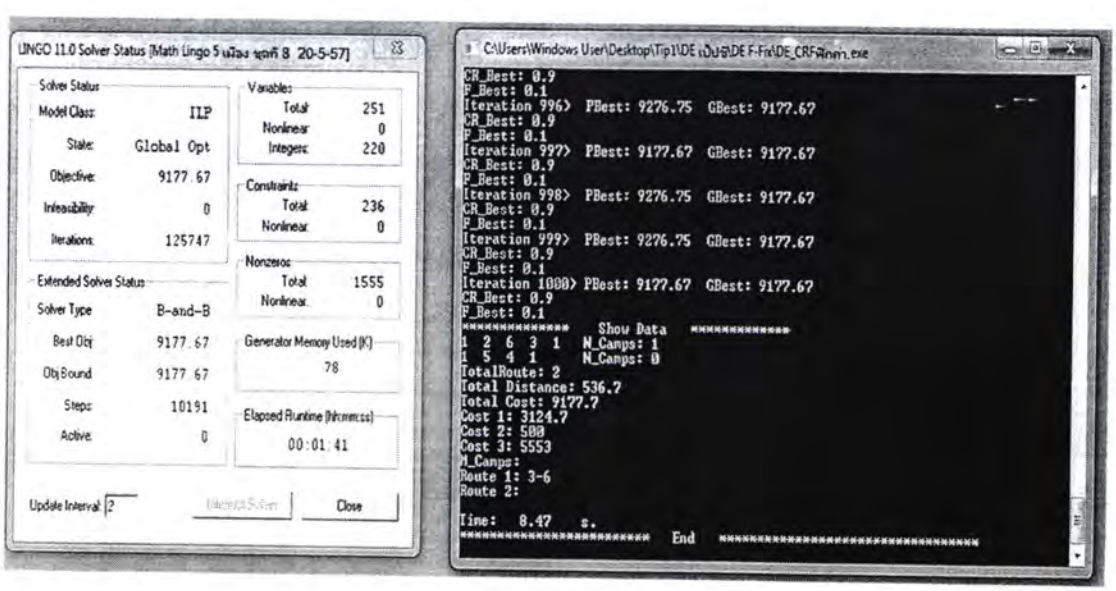
ตารางที่ 4.20 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 7

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-2-3-1	246
2	1-4-6-1	193.4
3	1-5-1	26.8
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		466.2

ตารางที่ 4.21 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 7

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	466.2	2,714.22
ค่าแรง/วัน	1,851	3	5,553
ค่าที่พัก/คืน	500	-	-
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			8,267.22

4.4.1.8 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 8 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางและการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.14 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 8 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 9,177.67 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้

เวลาในการคำนวณ 1.41 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 8.47 วินาที มีการเดินทาง 2 เส้นทาง และมีการพักค้างคืน 1 คืน

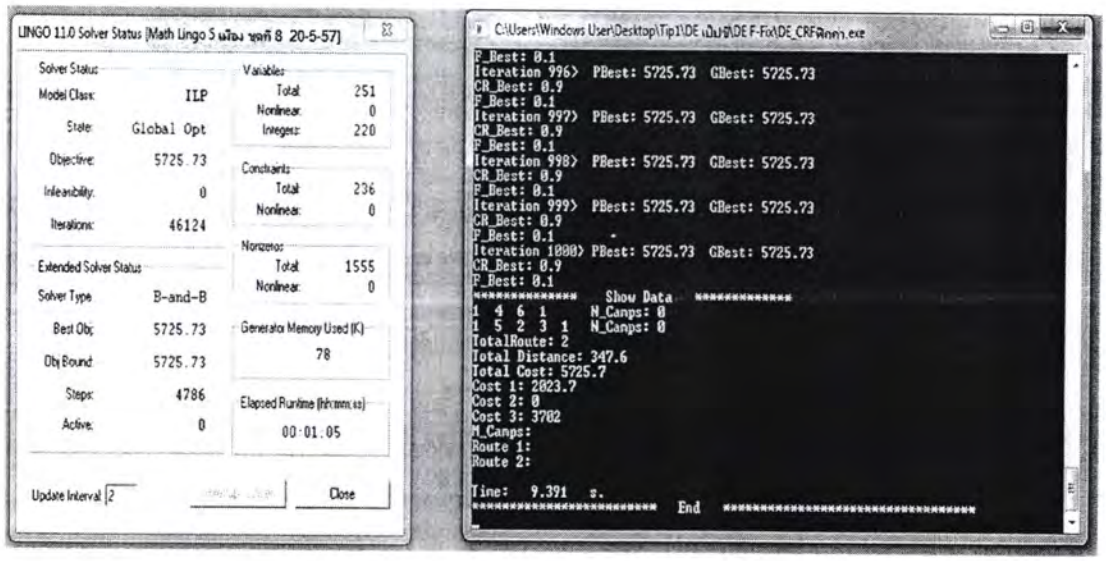
ตารางที่ 4.22 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 8

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-2-6-3-1	313
2	1-5-4-1	223.7
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		536.7

ตารางที่ 4.23 ตารางการคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 8

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	536.7	3,124.66
ค่าแรง/วัน	1,851	3	5,553
ค่าที่พัก/คืน	500	1	500
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			9,177.67

4.4.1.9 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 9 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางและการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.15 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 9 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 5,725.73 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้เวลาในการคำนวณ 1.05 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 9.39 วินาที มีการเดินทาง 2 เส้นทาง

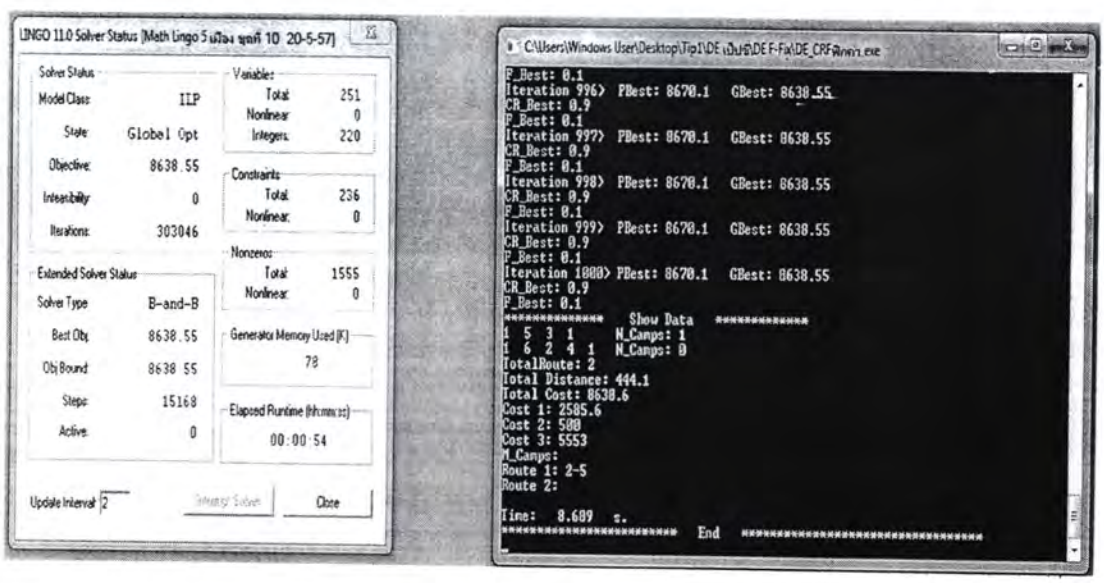
ตารางที่ 4.24 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 9

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-4-6-1	93
2	1-5-2-3-1	254.6
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		347.6

ตารางที่ 4.25 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 9

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	347.6	2,023.73
ค่าแรง/วัน	1,851	2	3,702
ค่าที่พัก/คืน	500	-	-
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			5,725.73

4.4.1.10 ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 10 เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทางและการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น ดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 10 โดยใช้โปรแกรม Lingo และโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบที่ดีที่สุดของโปรแกรม Lingo และ DE ได้ค่าใช้จ่ายรวม 8,738.55 บาท ซึ่งทั้งสองโปรแกรมคำนวณได้ค่าใช้จ่ายเท่ากัน โปรแกรม Lingo ใช้

เวลาในการคำนวณ 0.54 นาที และโปรแกรม DE ใช้เวลาคำนวณได้ 8.69 วินาที มีการเดินทาง 2 เส้นทาง และมีการพักค้างคืน 1 คืน

ตารางที่ 4.26 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 10

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-4-2-6-1	212.6
2	1-5-3-1	231.5
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		444.1

ตารางที่ 4.27 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 5 เมือง ชุดที่ 10

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	444.1	2,585.55
ค่าแรง/วัน	1,851	3	5,553
ค่าที่พัก/คืน	500	1	500
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			8,738.55

ในการใช้โปรแกรม Lingo เพื่อคำนวณวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ในการแก้ปัญหาขนาด 5 เมือง จำนวน 10 ชุดข้อมูล สรุปได้ดังตารางที่ 4.28 และสามารถหาค่าความแตกต่าง จากสมการ 4.14

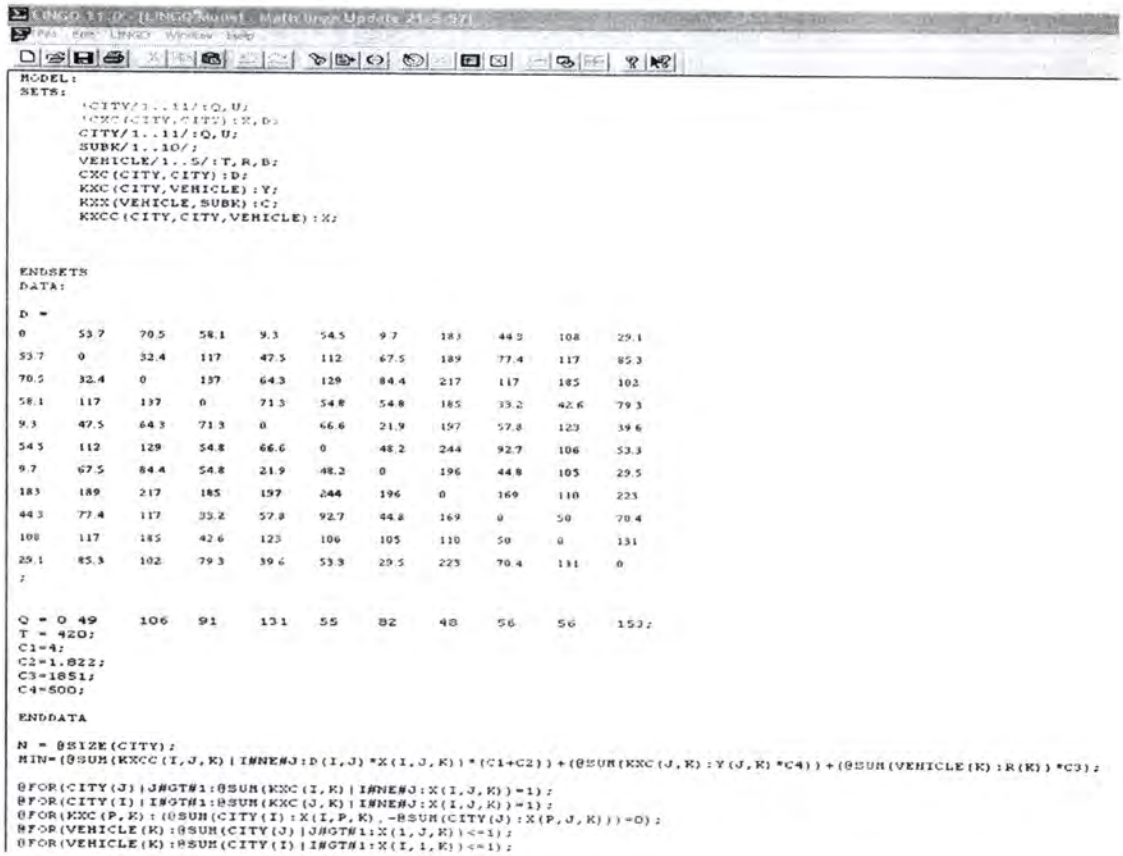
$$\%\text{GAP} = \frac{LINGO-DE}{LINGO} \times 100 \qquad (4.14)$$

ตารางที่ 4.28 ผลการทดลองเปลี่ยนชุดข้อมูลกับปัญหาขนาด 5 เมือง

กรณี	LINGO		DE		%Gap
	Objective Value (Baht)	เวลาในการรันโปรแกรม (วินาที)	Objective Value (Baht)	เวลาในการรันโปรแกรม (วินาที)	
1	7,547.6	74	7,547.6	12	0
2	7,646.5	203	7,646.5	8	0
3	6,264.8	50	6,264.8	9	0
4	5,438.7	38	5,438.7	8	0
5	8,947.12	62	8,947.12	8	0
6	5,643.05	94	5,643.05	8	0
7	8,267.22	53	8,267.22	8	0
8	9,177.67	101	9,177.67	8	0
9	5,725.73	65	5,725.73	9	0
10	8,738.55	54	8,738.55	8	0

4.4.2 การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 10 เมือง

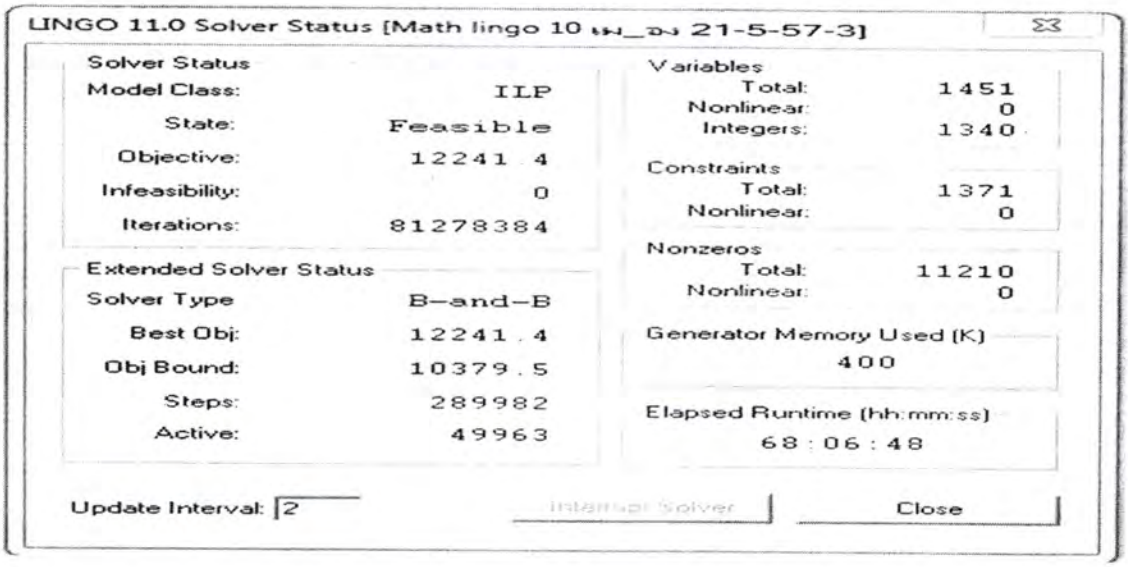
โดยใช้ผลการคำนวณของโปรแกรม Lingo เปรียบเทียบกับผลการคำนวณโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (DE) การเขียนโปรแกรม Lingo ดังภาพที่ 4.17



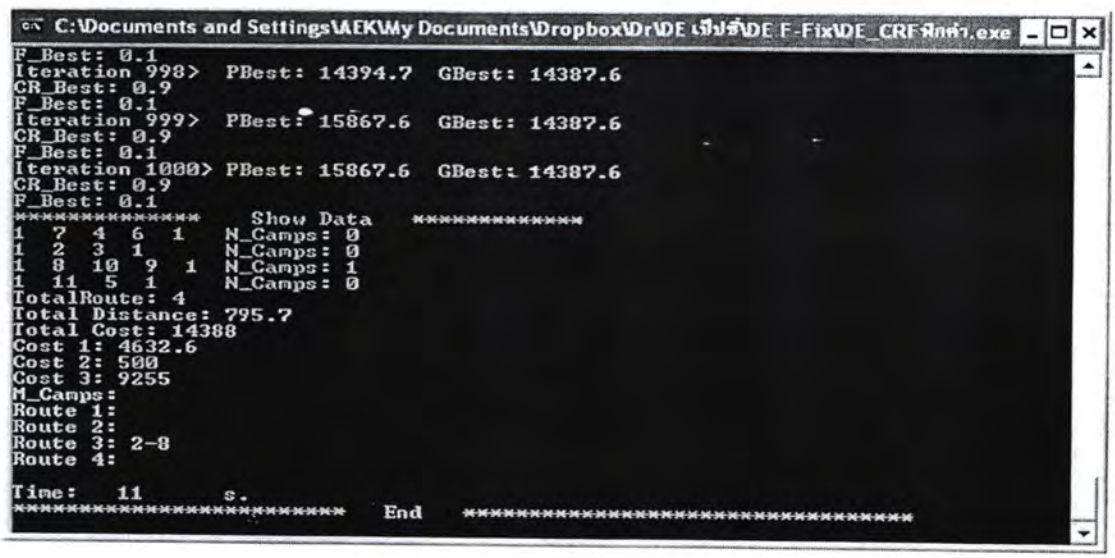
```
MODEL:
SETS:
        !CITY/1..11/:Q,U;
        !CXC(CITY,CITY):X,D;
        CITY/1..11/:Q,U;
        SUBK/1..10/;
        VEHICLE/1..5/:T,R,B;
        CXC(CITY,CITY):D;
        KXC(CITY,VEHICLE):Y;
        KXK(VEHICLE,SUBK):C;
        KXCC(CITY,CITY,VEHICLE):X;


ENDSETS
DATA:

D =
0       53.7    70.5    58.1    9.3     54.5    9.7     183     44.8    108     29.1
53.7    0       32.4    117     47.5    112     67.5    189     77.4    117     85.3
70.5    32.4    0       137     64.3    129     84.4    217     117     185     102
58.1    117     137     0       71.3    54.8    54.8    185     33.2    42.6    79.3
9.3     47.5    64.3    71.3    0       66.6    21.9    157     57.8    123     39.6
54.5    112     129     54.8    66.6    0       48.2    244     92.7    106     53.3
9.7     67.5    84.4    54.8    21.9    48.2    0       196     44.8    105     29.5
183     189     217     185     157     244     196     0       169     110     223
44.8    77.4    117     33.2    57.8    92.7    44.8    169     0       50      70.4
108     117     185     42.6    123     106     105     110     50      0       131
29.1    85.3    102     79.3    39.6    53.3    29.5    223     70.4    131     0
;


Q = 0 49    106     91      131     55      82      48      56      56      153;
T = 420;
C1=4;
C2=1.822;
C3=1851;
C4=500;

ENDDATA

N = @SIZE(CITY);
MIN=@SUM(KXCC(I,J,K)|I#NE#J:D(I,J)*X(I,J,K))*(C1+C2))+(@SUM(KXC(J,K):Y(J,K)*C4))+(@SUM(VEHICLE(K):R(K))*C3);

@FOR(CITY(J)|J#GT#1:@SUM(KXC(I,K)|I#NE#J:X(I,J,K))=1);
@FOR(CITY(I)|I#GT#1:@SUM(KXC(J,K)|I#NE#J:X(I,J,K))=1);
@FOR(KXC(P,K):(@SUM(CITY(I):X(I,P,K),-@SUM(CITY(J):X(P,J,K)))=0);
@FOR(VEHICLE(K):@SUM(CITY(J)|J#GT#1:X(1,J,K))<=1);
@FOR(VEHICLE(K):@SUM(CITY(I)|I#GT#1:X(I,1,K))<=1);
```

ภาพที่ 4.17 สมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัดโปรแกรม Lingo ในการทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง

เมื่อทำการเขียนโปรแกรมตามรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์และสมการข้อจำกัด ในการควบคุมการจัดเส้นทางกรณีศึกษาเสร็จก็ทำการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าที่ต่ำที่สุดในการเดินทาง ดังภาพที่ 4.17 และการทดสอบโปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่นดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง โดยใช้โปรแกรม Lingo



ภาพที่ 4.19 ผลการทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง โดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดสอบจะได้คำตอบของโปรแกรม Lingo โดยมีค่าใช้จ่าย 12,241.4 บาท ใช้เวลาในการคำนวณ 68.06 ชั่วโมง แต่ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ส่วนโปรแกรม DE สามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ 14,388 บาท ใช้เวลาในการคำนวณ 11 วินาที มีเส้นทางการเดินทาง 4 เส้นทาง

ตารางที่ 4.29 เส้นทางการเดินทางของการทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง
1	1-7-4-6-1	173.8
2	1-2-3-1	156.6
3	1-8-10-9-1	387.3
4	1-11-5-1	78
ผลรวมระยะทาง(กิโลเมตร)		795.7

ตารางที่ 4.30 การคำนวณค่าใช้จ่าย การทดสอบปัญหาขนาด 10 เมือง

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	759.7	4,632.6
ค่าแรง/วัน	1,851	5	9,255
ค่าที่พัก/คืน	500	1	500
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			14,388

ในการใช้โปรแกรม Lingo เพื่อคำนวณวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และโปรแกรม Dev C++ (Version 4.9.9.2) เพื่อทำการคำนวณเมตาฮิวริสติก โดยใช้วิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อิโวลูชั่น ในการแก้ปัญหาขนาด 10 เมือง พบว่า โปรแกรม Lingo ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ จึงทำการหาค่า Objective Value โดยทำการรันโปรแกรมด้วยเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนโปรแกรม Dev C++ โดยใช้วิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อิโวลูชั่น สามารถแก้ปัญหาได้ดีและรวดเร็วกว่า ดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ผลการทดลองเปลี่ยนชุดข้อมูลกับปัญหาขนาด 10 เมือง 5 ชุดข้อมูล

กรณี	LINGO		DE		%Gap
	Objective Value (Baht)	เวลาในการรันโปรแกรม (วินาที)	Objective Value (Baht)	เวลาในการรันโปรแกรม (วินาที)	
1	12,173.3	864,000	12,095	3.95	0.64
2	10,896.4	864,000	10,896	5.02	0.00
3	11,163.6	864,000	11,250	4.01	0.77
4	9,608.5	864,000	9,459	4.25	1.56
5	11,910.7	864,000	11,915	4.16	0.04

4.4.3 สรุปผลการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 และ10 เมือง

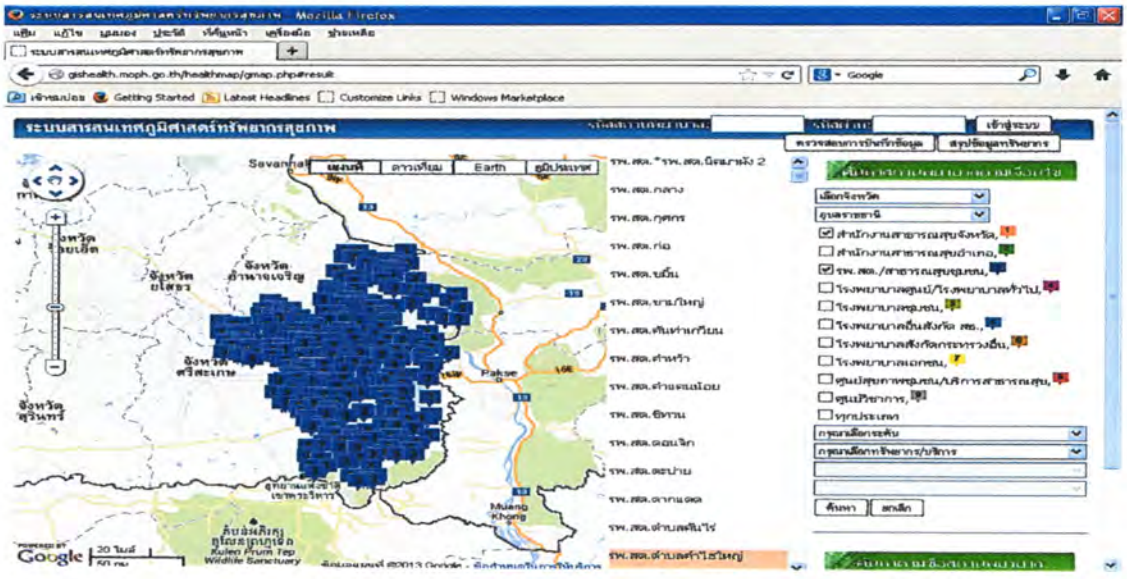
จากการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กรณีปัญหาขนาด 5 เมือง และ 10 เมือง ด้วยโปรแกรม Lingo เพื่อคำนวณวิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และโปรแกรม Dev C++ (Version 4.9.9.2) เพื่อทำการคำนวณเมตาฮิวริสติก โดยใช้วิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อิโวลูชั่น ในการแก้ปัญหาขนาด 5 เมือง และ 10 เมือง พบว่า ปัญหาขนาด 5 เมือง ทั้ง Lingo และ DE ให้ค่าคำตอบเท่ากัน โดย Lingo ใช้เวลาในการรันนานถึง 101 วินาที ในขณะที่ DE ใช้เวลารันโปรแกรมเพียง 12 วินาที ส่วนปัญหาขนาด 10 เมือง โปรแกรม Lingo ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ จึงทำการหาค่า Objective Value โดยทำการรันโปรแกรมด้วยเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนโปรแกรม Dev C++ โดยใช้วิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อิโวลูชั่น สามารถแก้ปัญหาได้ดีและรวดเร็วกว่า ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาเมตาฮิวริสติก ด้วยวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อิโวลูชั่น เพื่อแก้ปัญหากรณีศึกษาต่อไป

บทที่ 5
การแก้ปัญหากรณีศึกษาด้วยวิธีฮิวริสติก

ในบทนี้จะกล่าวถึงกรณีศึกษาโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี และการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางด้วยฮิวริสติกรูปแบบปัญหาของการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ จะประกอบด้วยสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งเป็นศูนย์กลางในการกระจายการให้บริการ และเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล

5.1กรณีศึกษาโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี

สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี มีบทบาทในหน้าที่ในการส่งเสริมสนับสนุนให้ประชาชนมีความพร้อมและพฤติกรรมสุขภาพที่ถูกต้อง ดังนั้นการพัฒนาสถานีอนามัยให้มีมาตรฐานในการรักษาแล้วสิ่งที่ต้องพัฒนาควบคู่ไปด้วยกันคือเครื่องมือทางการแพทย์พร้อมอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง จึงจำเป็นต้องให้มีการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ประจำสถานีอนามัยและ รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง ดังภาพที่ 5.1 ให้ได้มาตรฐาน



ภาพที่ 5.1 ตำแหน่งสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี (กระทรวงสาธารณสุข, 2556)

ในการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในปัจจุบัน ดำเนินการโดยการลำดับเส้นทางขึ้นมาอย่างสุ่ม โดยกำหนดให้เริ่มเดินทางจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานีไปทำการซ่อมบำรุงที่สถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ 2 แห่ง แล้วกลับมาที่สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี โดยใช้เวลาในการเดินทางและทำการซ่อมบำรุงรวม 480 นาที ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างลำดับเส้นทางจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานีไปสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพ

Lap	Sequent	Distance (km)
1	0-1-2-0	163.8
2	0-3-4-0	37.4
3	0-5-6-0	127
4	0-7-8-0	219.3
5	0-9-10-0	137
...	...	...
185	0-309-310-0	120
186	0-311-312-0	97
187	0-313-314-0	35
188	0-315-316-0	160

จากตารางที่ 5.1 เจ้าหน้าที่ต้องเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลทั้งหมด 188 เส้นทาง ซึ่งมีระยะทางรวมทั้งหมด 22,945.20 กิโลเมตร และมีต้นทุนรวม 475,150.30 บาท โดยคำนวณจากค่าน้ำมัน ค่าซ่อมบำรุง 5.822 บาท ค่าแรง 1,851 บาท และค่าที่พัก 500 บาท

จากการเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ทางการแพทย์ตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในปัจจุบันพบว่า

(1) จำนวนเส้นทางในการเดินทางมีหลายเส้นทาง

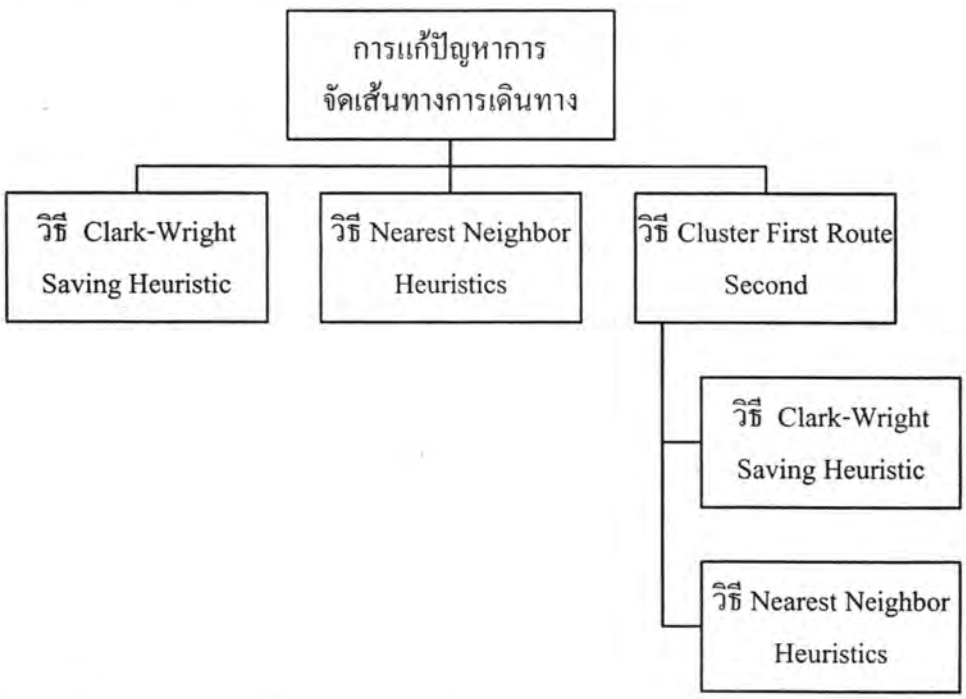
(2) ต้นทุนในการเดินทางสูง

(3) ทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ไม่แล้วเสร็จตามกำหนดของโครงการ

(4) ในการเดินทางต้องเดินทางไป-กลับทุกวัน

(5) มีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัดนัก สามารถให้บริการช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้าง

จากปัญหาที่พบข้างต้นผู้วิจัยจึงทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางด้วยวิธีฮิวริสติก ซึ่งประกอบไปด้วย วิธี Clark-Wright Saving Heuristic วิธี Nearest Neighbor Heuristics และ วิธี Cluster First Route Second ดังแสดงในภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง

5.2 วิธี Clark-Wright Saving Heuristic

การดำเนินการคำนวณค่าของ Saving value ซึ่งเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงการประหยัดทรัพยากร (ในที่นี้หมายถึงระยะทางในการเดินรถ) จากนั้นจึงทำการจัดเรียงเส้นทางที่เป็นไปได้โดยความต้องการในแต่ละเส้นทางที่เลือกต้องไม่เกินความสามารถของรถบรรทุกที่มีอยู่

5.2.1 วิธี Clark-Wright Saving Heuristic แบบดั้งเดิม

วิธี Saving เป็นวิธี Constructive ชนิดหนึ่งที่ถูกนำเสนอโดย Clarke และ Wright ในปี ค.ศ.1964 วิธี Saving เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในทางปฏิบัติ เพราะเป็นวิธีที่ง่ายให้คำตอบที่ตรงไปตรงมาแม้ว่าวิธีนี้จะไม่ประกันถึงการได้คำตอบที่ดีที่สุดก็ตาม สำหรับปัญหาการ

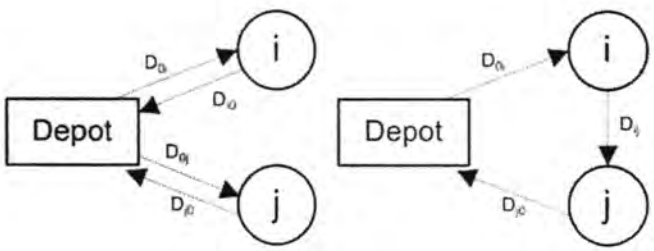
ตัดสินใจที่มีขนาดไม่ใหญ่นักวิธี Saving ยังคงเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง ซึ่งเราสามารถคำนวณหาคำตอบได้โดยปราศจากการใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หรือเพียงแค่อาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ในการประมวลผลเพียงเล็กน้อยซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

Step 1 สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) โดยการกำหนดให้เส้นทางหนึ่งเส้นทางมีรพ.สต.เพียงจำนวน 1 แห่งเท่านั้น ดังนั้นเราจะได้จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวน รพ.สต. ทั้งหมด

Step 2 คำนวณค่าความประหยัด (Savings) ซึ่งเขียนแทนด้วย S_{ij} ระหว่าง รพ.สต. 2 คน นั่นคือ รพ.สต. i และรพ.สต. j ดังสมการที่ 5.1

$$S_{ij} = C_{Di} + C_{jD} - C_{ij} \qquad (5.1)$$

Step 3 ขั้นตอนคือการจัดลำดับค่าความประหยัด (Savings) จากค่า S_{ij} ที่มากสุดไปยังค่า S_{ij} น้อยที่สุด



ภาพที่ 5.3 การจัดส่งสินค้าไป-กลับแบบ Clark-Wright Saving Heuristic

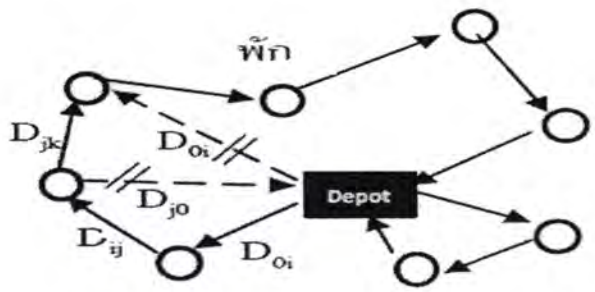
5.2.2 วิธี Clark-Wright Saving Heuristic แบบปรับปรุง

Step 1 สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) โดยการกำหนดให้เส้นทางหนึ่งเส้นทางมีรพ.สต.เพียงจำนวน 1 แห่งเท่านั้น ดังนั้นเราจะได้จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวน รพ.สต. ทั้งหมด

Step 2 คำนวณค่าความประหยัด (Savings) ซึ่งเขียนแทนด้วย S_{ij} ระหว่าง รพ.สต. 2 คน นั่นคือ รพ.สต. i และรพ.สต. j ดังสมการที่ 5.1

Step 3 ขั้นตอนคือการจัดลำดับค่าความประหยัด (Savings) จากค่า S_{ij} ที่มากสุดไปยังค่า S_{ij} น้อยที่สุด

Step 4 ขั้นตอนต่อไปคือการรวม รพ.สต. i และรพ.สต. j ให้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน โดยนำระยะทางขาไป, เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ และระยะทางขากลับ มารวมกัน ต้องไม่เกิน 480 นาที นำมาคำนวณค่าใช้จ่าย โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ เปรียบเทียบกับค่าที่พักค้างคืน เมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่า ค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ มากกว่าค่าที่พักค้างคืนจะทำการนอนพักค้างคืน (กรณีพัก $D_{j0}+ D_{0\text{เรอบใหม่}} >$ ค่าที่พัก) แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าที่พักค้างคืนจะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น (กรณีไม่พัก $D_{j0}+ D_{0\text{เรอบใหม่}} <$ ค่าที่พัก) ดังภาพที่ 5.4 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางไปซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ของโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในจังหวัดอุบลราชธานี



ภาพที่ 5.4 การจัดส่งสินค้าไป-กลับแบบ Clark-Wright Saving Heuristic แบบปรับปรุง

5.2.3 ดำเนินการคำนวณค่าของ Saving value

Step 1 สร้างคำตอบเริ่มต้น(Initial solution) โดยการกำหนดให้เส้นทางหนึ่งเส้นทางมีรพ.สต.เพียงจำนวน 1 แห่งเท่านั้น ดังนั้นเราจะได้จำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวนรพ.สต.ทั้งหมด

Step 2 คำนวณค่าความประหยัด (Savings) ซึ่งเขียนแทนด้วย S_{ij} ระหว่าง รพ.สต. 2 คน นั่นคือ รพ.สต. i และรพ.สต. j ดังสมการที่ 5.1

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างการคำนวณค่าความประหยัด (Savings)

	เมือง	เมือง	C_{Di}	C_{jD}	C_{ij}	S_{ij}
Saving	20	111	127.00	129	8.2	247.8
Saving	111	20	129.00	127	8.2	247.8
Saving	20	148	127.00	123	3.9	246.1
Saving	148	20	123.00	127	3.9	246.1
Saving	111	148	129.00	123	6.8	245.2
Saving	148	111	123.00	129	6.8	245.2
Saving	71	111	120.00	129	4.2	244.8

โดยที่ C_{ij} เป็นค่าใช้จ่าย , เวลา หรือระยะทางระหว่างรพ.สต. i และรพ.สต. j ในตารางที่ 5.2 (เราใช้ระยะทางแทนค่าใช้จ่าย) , D แทนสัญลักษณ์ของ Depot เช่น C_{Di} หมายถึงระยะทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ระหว่างศูนย์ซ่อมบำรุง(Depot) และรพ.สต. i

Step 3 ขั้นตอนคือการจัดลำดับค่าความประหยัด(Savings) จากค่า S_{ij} ที่มากสุดไปยังค่า S_{ij} น้อยที่สุด ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการเรียงค่าความประหยัด (Savings) จากค่ามากสุดไปยังค่าน้อยที่สุด

	เมือง	เมือง	C_{Di}	C_{jD}	C_{ij}	S_{ij}
Saving	20	111	126	129	8.2	246.8
Saving	111	20	129	126	8.2	246.8
Saving	111	148	129	123	6.8	245.2
Saving	148	111	123	129	6.8	245.2
Saving	20	148	126	123	3.9	245.1
Saving	148	20	123	126	3.9	245.1
Saving	71	111	120	129	4.2	244.8
Saving	111	71	129	120	4.2	244.8
Saving	8	148	200	123	84.6	238.4
Saving	148	8	123	200	84.6	238.4

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างการเรียงค่าความประหยัด (Savings) จากค่ามากสุดไปยังค่าน้อยที่สุด (ต่อ)

	เมือง	เมือง	C_{Di}	C_{jD}	C_{ij}	S_{ij}
Saving	8	20	200	126	88.5	237.5
Saving	8	111	200	129	91.5	237.5
Saving	20	8	126	200	88.5	237.5
Saving	111	8	129	200	91.5	237.5
Saving	20	71	126	120	12.4	233.6
Saving	71	20	120	126	12.4	233.6
Saving	111	200	129	113	9.6	232.4
Saving	200	111	113	129	9.6	232.4

Step 4 ขั้นตอนต่อไปคือการรวม รพ.สต. i และ รพ.สต. j ให้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน โดยนำระยะทางขาไป, เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ และระยะทางขากลับ มารวมกัน ต้องไม่เกิน 420 นาที นำมาคำนวณค่าใช้จ่าย โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ (4 บาท x ระยะทาง) เปรียบเทียบกับค่าที่พักค้างคืน 500 บาท หากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ มากกว่า 500 บาท จะทำการนอนพักค้างคืน แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ 500 บาท จะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น วิธีการคำนวณแสดงในตารางที่ 5.4 ได้เส้นทางในการเดินทางซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ทั้งหมด 98 เส้นทาง รวมระยะทางที่ได้ 12,357.40 กิโลเมตร โดยมีข้อกำหนดในเรื่องความเร็วที่ 60 กม./ชม. นั้นก็คือ 60 นาที สามารถเดินทางได้ 60 กิโลเมตร ในการเดินทางจากเมืองหนึ่งไปยังอีกเมืองหนึ่งจะคิดเวลาในการเดินทางและเวลาในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ (Service Time) ในแต่ละเมืองรวมเข้าด้วยกัน ในแต่ละวันเวลาที่ใช้ต้องไม่เกิน 480 นาที (Vcap) เนื่องจากเวลาทำงานของพนักงานต่อ 1 วันเท่ากับ 7 ชม. โดยเวลาพักกลางวันจะพักเวลาใดก็ได้ จะสามารถคำนวณเวลาได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างการคำนวณเวลาการเดินทางและเวลาในการซ่อมบำรุงต้องไม่เกิน 420 นาที

เส้นทาง		ลำดับการเดินทางของยานพาหนะ					เวลารวม
1	Node	1	20	111	314	1	264.70
	ระยะทาง		127.00	8.2	13.5	116	
	ST		58.34	56.98	11.5		
	Vcap	420	234.66	169.47	144.47	28.47	
2	Node	1	71	148	1		254.10
	ระยะทาง		120.00	11.1	123		
	ST		46.82	76.98			
	Vcap	420	253.18	165.09	42.09		

คิดค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางเส้นทางถัดไป จาก 314 กลับ 1 มีระยะทาง 116 กิโลเมตร และ จาก 1 ไป 71 มีระยะทาง 120 กิโลเมตร

ค่าใช้จ่าย = อัตราค่าน้ำมัน x (ระยะทางขากลับ + ขาไป)

= 4 x (116 + 120)

= 944 บาท

ซึ่งมีค่ามากกว่า ค่าที่พัก 500 บาท จึงทำการพักค้างคืนและจะทำเดินทางต่อไปในวันรุ่งขึ้น โดยในวันที่ตัดสินใจพัก จะยังเดินทางและทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ต่อไปแต่ต้องไม่เกิน 420 นาทีในแต่ละวัน สามารถคำนวณเวลาได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.5 ตัวอย่างการคำนวณเวลาการเดินทางและเวลาในการซ่อมบำรุงที่มีการพักค้างคืน

เส้นทาง		ลำดับการเดินทางของยานพาหนะ								เวลารวม
1	Node	1	20	111	314	148	71	พัก	157	427.70
	ระยะทาง		127.00	8.2	13.5	9.2	11.1		11.4	
	ST		58.34	56.98	11.50	76.98	46.82		39.92	
	Vcap	420.00	234.66	169.47	144.47	58.29	0.37	420.00	368.68	
1	Node	10	260	286	97	พัก	200	184	130	
	ระยะทาง	2.4	4.9	6.8	6.8		18.8	12.5	17.6	
	ST	56.32	117.65	58.40	56.03		52.24	108	58.99	
	Vcap	309.95	187.40	122.20	59.37		348.96	228.46	151.88	
1	Node	149	35	พัก	45	17	172	156	234	
	ระยะทาง	3.8	13.5		13.5	10.7	5.3	6.7	5.5	
	ST	59.70	67.23		89.34	85.90	67.23	71.65	51.41	
	Vcap	88.37	7.64	420.00	317.16	220.57	148.04	69.70	12.79	
1	Node	พัก	19	96	186	155	1			
	ระยะทาง		7.3	0.9	11.4	8.4	90.5			
	ST		63.56	53.13	81.34	92.72				
	Vcap	420.00	349.14	295.11	202.37	101.25	10.75			

ตารางที่ 5.6 ตัวอย่างเส้นทางการเดินทางในแต่ละวัน ได้เส้นทางทั้งหมด 34 เส้นทาง หรือใช้เวลาในการเดินทางซ่อมบำรุง 98 วัน

เส้นทาง	ลำดับ	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	1-20-111-314-148-71-พัก-157-10-260-286-97-พัก-200-184-130-149-35-พัก-45-17-172-156-234-พัก-19-96-186-155-1	427.70
2	1-75-313-249-316-273-245-พัก-52-101-193-265-พัก-255-93-128-187-240-พัก-102-201-132-217-211-109-พัก-54-60-242-1	486.60
3	1-315-317-224-127-116-พัก-118-199-23-238-38-พัก-61-63-223-227-95-พัก-81-170-73-231-77-พัก-168-68-104-13-133-1	465.60

5.3 ดำเนินการหาต้นทุนในการเดินทาง

เนื่องจากกรณีศึกษาเป็นปัญหาแบบ Minimize Cost เพื่อหาต้นทุนในการเดินทางที่ต่ำที่สุดประกอบด้วยต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงต้นทุนค่าซ่อมบำรุงค่าแรงงานและค่าที่พักเมื่อมีการพักค้างคืนเมื่อไม่มีการกลับมาที่ศูนย์ซ่อมบำรุง ในกรณีศึกษาจะมีพนักงานซ่อมบำรุง 3 คน เดินทางไปด้วยกันและมีจำนวนรถ 1 คันในการเดินทาง ดังสมการที่

$$\text{Min } Z = [(C_f + C_m) \times D] + [(C_l \times r)] + [(C_h \times (r-1)] \quad (5.2)$$

เมื่อ C_f = ค่าน้ำมัน

C_m = ค่าบำรุงรักษารถ

C_l = ค่าแรงงานต่อวัน

C_h = ค่าที่พักต่อวัน

D = ระยะทาง

r = จำนวนเที่ยว

โดยข้อมูลในการคำนวณคิดจากค่าน้ำมันที่อัตรา 4 บาทต่อกิโลเมตร ค่าบำรุงรักษาประกอบด้วยค่าสารหล่อลื่นราคา 570 บาทต่อลิตร ทำการเปลี่ยนครั้งละ 6 ลิตร ทุกๆ 10,000 กิโลเมตรคิดเป็น 0.342 บาทต่อกิโลเมตร และค่ายางรถยนต์ราคา 3,700 บาทต่อเส้น มีอายุการใช้งาน 40,000 กิโลเมตรต่อเส้นต้นทุนรวม 0.37 บาทต่อกิโลเมตรคิดเป็น 1.48 บาทต่อกิโลเมตร (4+(0.342+1.48) = 5.822) ค่าแรงงานประกอบด้วยค่าจ้าง 377 บาทต่อวัน ค่าเบี้ยเลี้ยง 240 บาทต่อวัน ((377 + 240)X 3 = 1,851)และ ค่าที่พัก 500 บาทต่อวัน เมื่อสรุปค่าใช้จ่ายแล้วจะได้ข้อมูลตามตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ค่าใช้จ่ายในแต่ละหมวดหมู่

ประเภท	ต้นทุน
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822
ค่าแรง/วัน	1,851
ค่าที่พัก/คืน	500

เมื่อหาค่าใช้จ่ายในแต่ละหมวดหมู่ได้แล้วก็จะนำไปคำนวณหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดในการเดินทาง โดยเส้นทางที่นำมาใช้ในการคำนวณได้จากวิธี Clark-Wright Saving Heuristic ระยะทางซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง ได้เส้นทางทั้งหมด 83 เส้นทาง รวมระยะทางที่ได้ 13,543 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทางซ่อมบำรุง 95 วัน พักค้างคืน 12 คืน คำนวณค่าใช้จ่ายได้ตามตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง วิธี Clark-Wright Saving Heuristic

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	13,543	78847.346
ค่าแรง/วัน	1,851	95 (83 เส้นทาง)	175845
ค่าที่พัก/คืน	500	12	6000
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			260,692.35

5.4 วิธี Nearest Neighbor Heuristics

5.4.1 วิธี Nearest Neighbor Heuristics แบบดั้งเดิม

ทำการค้นหาจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้กับจุดส่งสินค้าจุดสุดท้ายมากที่สุด โดยมีปริมาณความต้องการสินค้าไม่เกินความจุของรถขนส่งสินค้า ถ้าปริมาณความต้องการสินค้าของจุดส่งสินค้าเกินความจุของรถขนส่งสินค้า ก็จะเริ่มใช้รถขนส่งสินค้าคันใหม่ โดยความใกล้อาจพิจารณาจากระยะทางหรือระยะเวลาในการขนส่งสินค้าได้ตามแต่ความเหมาะสม ขั้นตอนการทำงานมีดังนี้

Step 1 เริ่มจากกำหนดจุดเริ่มต้นหรือคลังสินค้าเป็นจุดอ้างอิงในการค้นหาเส้นทางการขนส่ง จากนั้นค้นหาจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุด

Step 2 เลือกจุดส่งสินค้าที่อยู่ใกล้จุดอ้างอิงมากที่สุด เพื่อทำการรวบเข้าสู่เส้นทางหลัก จากนั้นปรับให้จุดส่งสินค้านั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไป

Step 3 ค้นหาจุดส่งสินค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ที่อยู่ใกล้กับจุดอ้างอิงสุดท้ายของเส้นทางมากที่สุด แล้วพิจารณาความต้องการสินค้ารวมของเส้นทางกับจุดส่งสินค้าที่ถูกเลือก ถ้า

ความต้องการสินค้ารวมไม่เกินความจุของรถบรรทุกให้รวบจุดส่งสินค้าที่ถูกเลือกเข้ากับเส้นทางหลัก แล้วปรับจุดส่งสินค้านั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไป

หากความต้องการสินค้ารวมเกินความจุของรถบรรทุกให้ทำการปิดเส้นทางหลักนั้น จากนั้นตรวจสอบว่ายังมีจุดส่งสินค้าใดที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทางหรือไม่ ซึ่งหากยังมีจุดส่งสินค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ทำการวนซ้ำ Step 1, 2 และ 3 อีกครั้งจนกว่าจุดส่งสินค้าทุกจุดจะถูกจัดเข้าเส้นทาง

5.4.2 วิธี Nearest Neighbor Heuristics แบบปรับปรุง

Step 1 เริ่มจากกำหนดจุดเริ่มต้นที่ สสจ. เป็นจุดอ้างอิงในการค้นหาเส้นทางการเดินทาง จากนั้นค้นหา รพ.สต.ที่อยู่ใกล้ สสจ. มากที่สุด

Step 2 เลือก รพ.สต. แห่งใหม่ ที่อยู่ใกล้ รพ.สต.อ้างอิง มากที่สุด เพื่อทำการรวบเข้าสู่เส้นทางหลัก จากนั้นปรับให้ รพ.สต. นั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไป

Step 3 ค้นหา รพ.สต. ที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ที่อยู่ใกล้กับ รพ.สต. สุดท้ายของเส้นทางมากที่สุด แล้วพิจารณาเวลาที่ใช้รวมของเส้นทางกับ เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงของ รพ.สต. ที่ถูกเลือก ถ้าเวลารวมไม่เกิน 480 นาที ให้รวบ รพ.สต. ที่ถูกเลือกเข้ากับเส้นทางหลัก แล้วปรับ รพ.สต. นั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไป จากนั้นนำระยะทางขาไป, เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ และระยะทางขากลับ มารวมกัน ต้องไม่เกิน 420 นาที นำมาคำนวณค่าใช้จ่าย โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ (4 บาท x ระยะทาง) เปรียบเทียบกับค่าที่พักค้างคืน 500 บาท หากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ มากกว่า 500 บาท จะทำการนอนพักค้างคืน แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ 500 บาท จะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น

5.4.3 ดำเนินการวิธี Nearest Neighbor Heuristics

Step 1 เริ่มจากกำหนดจุดเริ่มต้นที่ สสจ. เป็นจุดอ้างอิงในการค้นหาเส้นทางการเดินทาง จากนั้นค้นหา รพ.สต.ที่อยู่ใกล้ สสจ. มากที่สุด ซึ่ง รพ.สต.ที่อยู่ใกล้ที่สุดคือ เมือง 141 มีระยะทาง 5.7 กิโลเมตร และมีเวลาในการซ่อมบำรุง 171 นาที

Step 2 เลือก รพ.สต. ใหม่ ที่อยู่ใกล้ รพ.สต. อ้างอิง มากที่สุด เพื่อทำการรวบเข้าสู่เส้นทางหลัก จากนั้นปรับให้ รพ.สต. นั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไป ซึ่ง รพ.สต. ที่อยู่ใกล้เมือง 141 ที่สุด คือ เมือง 147 มีระยะทาง 9.9 กิโลเมตร และมีเวลาในการซ่อมบำรุง 76 นาที ซึ่งรวมเวลาทำงานแล้วยังไม่เกิน 480 นาที จึงทำการหา รพ.สต. แห่งใหม่ที่อยู่ใกล้เมือง 147 นั่นคือ เมือง 153 มีระยะทาง 5.1 กิโลเมตร และมีเวลาในการซ่อมบำรุง 75 นาที ซึ่งรวมเวลาทำงานแล้วยังไม่เกิน 480 นาที จึงหา รพ.สต.ที่อยู่ใกล้ถัดไป

Step 3 ค้นหา รพ.สต. ที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ที่อยู่ใกล้กับ รพ.สต. สุดท้ายของเส้นทางมากที่สุด แล้วพิจารณาเวลาที่ใช้รวมของเส้นทางกับ เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงของ รพ.สต. ที่ถูกเลือก ถ้าเวลารวมไม่เกิน 480 นาที ให้รวบ รพ.สต. ที่ถูกเลือกเข้ากับเส้นทางหลัก แล้วปรับ รพ.สต. นั้นเป็นจุดอ้างอิงถัดไป จากนั้นนำระยะทางขาไป, เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์และระยะทางขากลับ มารวมกัน ต้องไม่เกิน 420 นาที นำมาคำนวณค่าใช้จ่าย โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ (4 บาท x ระยะทาง) เปรียบเทียบกับค่าที่พักค้างคืน 500 บาท หากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ มากกว่า 500 บาท จะทำการนอนพักค้างคืน แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ 500 บาท จะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น

คิดค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางเส้นทางถัดไป

จาก 153 กลับ 1 มีระยะทาง 19.9 กิโลเมตร และ จาก 1 ไป 236 มีระยะทาง 7.7 กิโลเมตร

ค่าใช้จ่าย = อัตราค่าน้ำมัน x (ระยะทางขากลับ + ขาไป)

= 4 x (19.9 + 7.7)

= 110 บาท

ซึ่งมีค่าน้อยกว่า ค่าที่พัก 500 บาท จึงทำการเดินทางกลับมาที่ สสจ. เพื่อเริ่มเดินทางใหม่ในวันรุ่งขึ้น ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.9 ตัวอย่างการคำนวณเวลาการเดินทางและเวลาในการซ่อมบำรุงที่มีการพักค้างคืน

เส้นทาง		ลำดับการเดินทางของยานพาหนะ						เวลารวม
1	Node	1	144	147	153	1		40.60
	ระยะทาง		5.7	9.9	5.1	19.9		
	ST		171	76	75			
	Vcap	420	243.30	157.40	77.30	54.40		
2	Node	1	236	263	292	293	1	74.60
	ระยะทาง		7.70	8	8.3	15.7	34.9	
	ST		113	79	64	57.00		
	Vcap	420	299.30	212.30	140.00	67.30	32.40	
3	Node	1	27	214	312	1		34.00
	ระยะทาง		7.90	7.6	7.5	11		
	ST		67	164	104			
	Vcap	420	345.10	173.50	62.00	51.00		
4	Node	1	90	228	307	1		52.60
	ระยะทาง		9.20	11.7	9.6	22.1		
	ST		181	106	68			
	Vcap	420	229.80	112.10	34.50	12.40		

ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างเส้นทางการเดินทางในแต่ละวัน ได้เส้นทางทั้งหมด 81 เส้นทาง หรือใช้เวลาในการเดินทางซ่อมบำรุง 95 วัน

เส้นทาง	ลำดับ	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	1-144-147-153-1	40.60
2	1-236-263-292-293-1	74.60
3	1-27-214-312-1	34.00
4	1-90-228-307-1	52.60

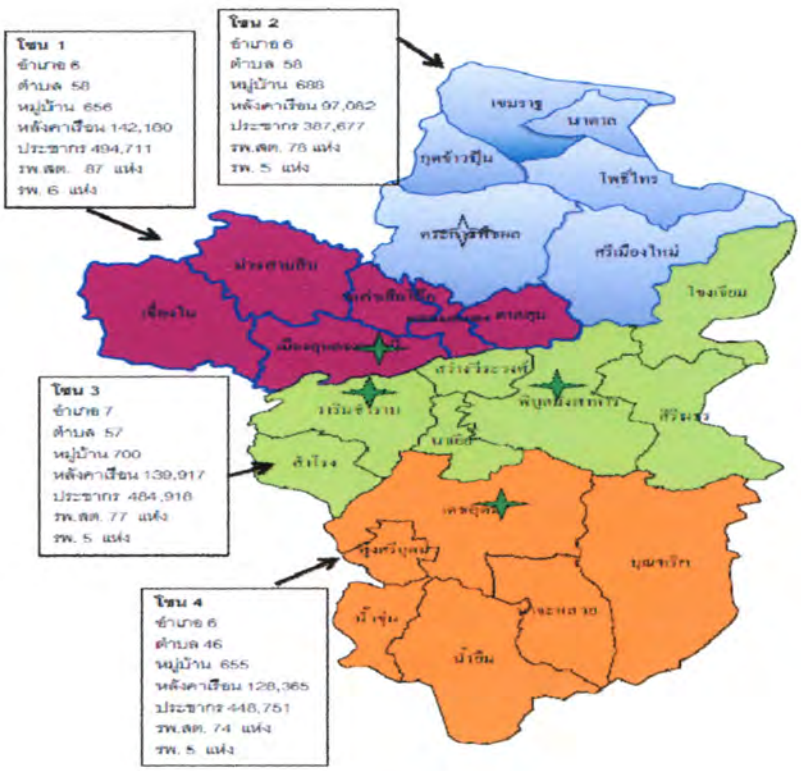
ตารางที่ 5.11 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง วิธี Nearest Neighbor Heuristic

ประเภท	ต้นทุน(บาท)	ผลจาก NNH	ค่าใช้จ่าย(บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	13,653.00	79487.766
ค่าแรง/วัน	1,851	95 (81 เส้นทาง)	175845
ค่าที่พัก/คืน	500	14	7000
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			262,332.77

5.5 วิธี Cluster First Route Second

วิธีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นกลุ่ม (Cluster First – Route Second) แล้วทำการจัดเส้นทางเดินรถโดยใช้วิธี Clark-Wright Saving Heuristic และวิธี Nearest Neighbor Heuristic โดยมีขั้นตอนดังนี้

Step 1 แบ่งกลุ่มพื้นที่ในการเดินทางตามโซนที่ตั้งของสถานที่ โดยเขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 1 มีพื้นที่ 6 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอเมือง เขื่องใน ม่วงสามสิบ ดอนมดแดง เหล่าเสือโก้กและตาลสุม เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 2 มีพื้นที่ 6 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอตระการพืชผล ศรีเมืองใหม่ กุดข้าวปุ้น เขมราฐ นาตาลและโพธิ์ไทร เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 3 มีพื้นที่ 7 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอวารินชำราบ พิบูลมังสาหาร สิรินธร สว่างวีระวงศ์ นาเยีย สำโรงและโขงเจียม เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 4 มีพื้นที่ 6 อำเภอ ประกอบด้วย อำเภอเดชอุดม ทุ่งศรีอุดม นาจะหลวย บุณฑริก น้ำยืน และน้ำขุ่น



ภาพที่ 5.5การแบ่งเขตพื้นที่สาธารณสุข 4 เขต ปีงบประมาณ 2556

(สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี, 2556)

Step 2 เลือกกลุ่มเส้นทางที่ต้องการโดยการกำหนดจุดเริ่มต้นและสถานที่ในการให้บริการ

Step 3สถานที่ในการเดินทางของพื้นที่นั้นๆ ควรมีระยะทางที่ใกล้กัน อยู่ในบริเวณเดียวกัน หรือสามารถใช้เส้นทางในการขนส่งร่วมกันได้

5.5.1วิธีCluster First – Route Secondโดยใช้วิธี Clark-Wright Saving Heuristic

Step 1 แบ่งกลุ่มพื้นที่ในการเดินทางตามโซนที่ตั้งของสถานที่โดยเขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 1 พื้นที่ 6 อำเภอมี รพ.สต.87 แห่ง เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 2 พื้นที่ 6 อำเภอมี รพ.สต. 78 แห่ง เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 3 พื้นที่ 7 อำเภอมี รพ.สต 77 แห่ง และเขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 4 พื้นที่ 6 อำเภอ มี รพ.สต. 74 แห่ง

ตารางที่ 5.12 กลุ่มสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 1 (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี, 2555)

ลำดับที่	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
(1) อ.เมืองอุบลราชธานี	
1	รพ.สต.ปทุม
2	รพ.สต.ขามใหญ่
3	รพ.สต.หนองแก
4	รพ.สต.ค้ามพร้า
...	.....
(6) อ.ตาลสุม	
85	รพ.สต.นาคาย
86	รพ.สต.บ้านคำหนามแท่ง ตำบลนาคาย
87	รพ.สต.คำหว้า

ตารางที่ 5.13 กลุ่มสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 2 (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี, 2555)

ลำดับที่	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
(1) อ.ตระการพืชผล	
1	รพ.สต.บ้านกระเดียน
2	รพ.สต.บ้านเวียง ตำบลกระเดียน
3	รพ.สต.บ้านคำสมิง ตำบลเกษม
4	รพ.สต.บ้านเกษม ตำบลเกษม
...	.....
(6) อ.โพธิ์ไทร	
76	รพ.สต.บ้านปากห้วยม่วง ตำบลเหล่างาม
77	รพ.สต.บ้านหนองฟานยืน ตำบลเหล่างาม
78	รพ.สต.บ้านโสกชัน ตำบลสารภี

ตารางที่ 5.14 กลุ่มสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเริมสุขภาพตำบล เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 3 (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี, 2555)

ลำดับที่	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
(1) อ.วารินชำราบ	
1	รพ.สต.บัววัด
2	รพ.สต.ราษฎร์สำราญ
3	รพ.สต.นาโหนนน้อย ตำบลโนนโหนน
4	รพ.สต.บ้านคูเมืองกลาง
...	.....
(7) อ.โขงเจียม	
75	รพ.สต.บ้านหนองผือน้อย ตำบลห้วยไผ่
76	รพ.สต.บ้านเวินบึก ตำบลโขงเจียม
77	รพ.สต. ปากลา

ตารางที่ 5.15 กลุ่มสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเริมสุขภาพตำบล เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 4 (สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี, 2555)

ลำดับที่	โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล
(1) อ.เดชอุดม	
1	รพ.สต.นาส่วง
2	รพ.สต.บ้านนาเจริญ
3	รพ.สต.ทุ่งเทิง
4	รพ.สต.บ้านบัวเจริญ ตำบลทุ่งเทิง
...	.....
(7) อ.น้ำขุ่น	
72	รพ.สต.บ้านขี้เหล็ก
73	รพ.สต.บ้านโคกสะอาด ตำบลโคกสะอาด
74	รพ.สต.บ้านวังเสือ ไพบูลย์

Step 2 เลือกกลุ่มเส้นทางที่ต้องการโดยการกำหนดจุดเริ่มต้นและสถานที่ในการให้บริการ โดยใช้หลักการเดียวกันกับวิธี Clark-Wright Saving Heuristic แบบปรับปรุง คือ สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution) คำนวณค่าความประหยัด (Savings) จัดลำดับค่าความประหยัด (Savings) จากค่า S_{ij} ที่มากสุดไปยังค่า S_{ij} น้อยที่สุด

Step 3 รวม รพ.สต. i และรพ.สต. j ให้อยู่ในเส้นทางเดียวกัน โดยนำระยะทางขาไป, เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ และระยะทางขากลับ มารวมกัน ต้องไม่เกิน 420 นาที นำมาคำนวณค่าใช้จ่าย โดยทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่ (4 บาท x ระยะทาง) เปรียบเทียบกับค่าที่พักค้างคืน 500 บาท หากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าใช้จ่ายในการเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้นและเดินทางไปเส้นทางใหม่มากกว่า 500 บาท จะทำการนอนพักค้างคืน แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ 500 บาท จะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น ซึ่งสามารถจัดเส้นทางแต่ละเขตพื้นที่สาธารณสุข ดังตารางที่ 5.16 และค่าใช้จ่ายรวมทั้ง 4 เขตพื้นที่สาธารณสุข ดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.16 ตัวอย่างเส้นทางการเดินทางในเขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 1 ได้เส้นทางทั้งหมด 27 เส้นทาง

เส้นทาง	ลำดับ	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	1-15-79-75-1	34.00
2	1-35-71-32-52-1	52.60
3	1-40-38-11-2-1	40.8
4	1-3-55-72-1	70.7

ตารางที่ 5.17 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง วิธี Cluster First – Route Second โดยใช้วิธี Clark-Wright Saving Heuristic

ประเภท	ต้นทุน(บาท)	ผลจาก Sav.	ค่าใช้จ่าย(บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	14,042.00	81,752.524
ค่าแรง/วัน	1,851	95 (83 เส้นทาง)	17,5845
ค่าที่พัก/คืน	500	12	6,000
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			263,597.52

5.5.2 วิธี Cluster First – Route Second โดยใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristic

Step 1 แบ่งกลุ่มพื้นที่ในการเดินทางตามโซนที่ตั้งของสถานที่ โดยเขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 1 พื้นที่ 6 อำเภอ มี รพ.สต. 87 แห่ง เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 2 พื้นที่ 6 อำเภอ มี รพ.สต. 78 แห่ง เขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 3 พื้นที่ 7 อำเภอ มี รพ.สต 77 แห่ง และเขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 4 พื้นที่ 6 อำเภอ มี รพ.สต. 74 แห่ง

Step 2 เลือกกลุ่มเส้นทางที่ต้องการ โดยการกำหนดจุดเริ่มต้นและสถานที่ในการให้บริการ โดยใช้หลักการเดียวกันกับวิธี Nearest Neighbor Heuristic แบบปรับปรุง

Step 3 ค้นหา รพ.สต. ที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทาง ที่อยู่ใกล้กับ รพ.สต. สุดท้ายของเส้นทางมากที่สุด แล้วพิจารณาเวลาที่ใช้รวมของเส้นทางกับ เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงของ รพ.สต. ที่ถูกเลือกซึ่งสามารถจัดเส้นทางแต่ละเขตพื้นที่สาธารณสุข ดังตารางที่ 5.17 และค่าใช้จ่ายรวมทั้ง 4 เขตพื้นที่สาธารณสุข ดังตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 ตัวอย่างเส้นทางการเดินทางในเขตพื้นที่สาธารณสุขที่ 1 ได้เส้นทางทั้งหมด 27 เส้นทาง

เส้นทาง	ลำดับ	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	1-3-18-75-1	30
2	1-52-73-30-44-1	42.60
3	1-41-38-14-19-1	51.8
4	1-87-35-64-1	66.7

ตารางที่ 5.19 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลในเขตจังหวัดอุบลราชธานี รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง วิธี Cluster First – Route Second โดยใช้วิธี Nearest Neighbor Heuristic

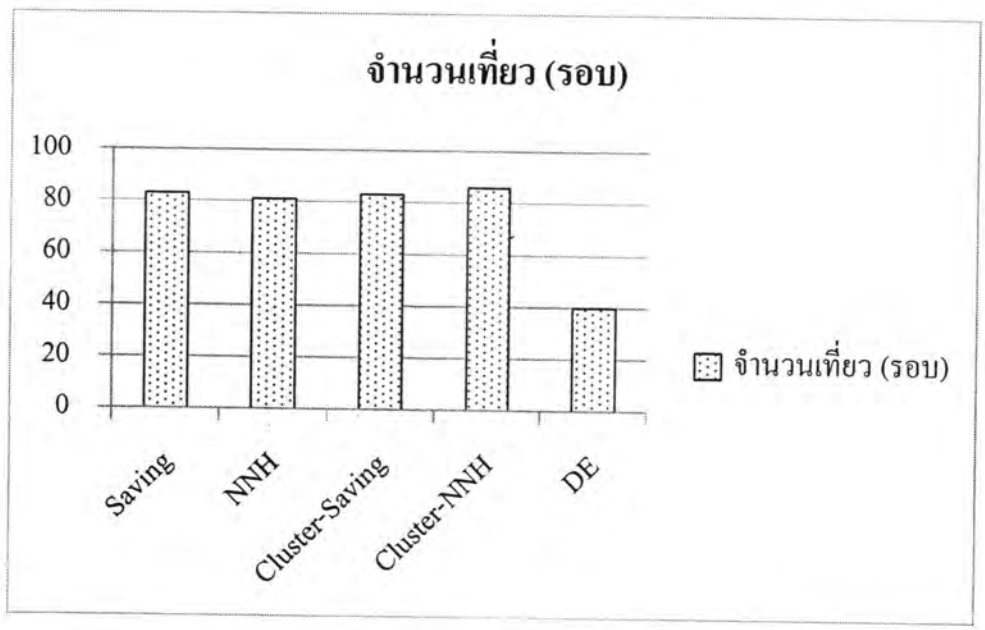
ประเภท	ต้นทุน(บาท)	ผลจาก NNH	ค่าใช้จ่าย(บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	14,119.00	82,200.82
ค่าแรง/วัน	1,851	96 (86 เส้นทาง)	177,696.00
ค่าที่พัก/คืน	500	10	5,000.00
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			264,896.82

5.6 สรุปผลการการทดลองคำนวณ

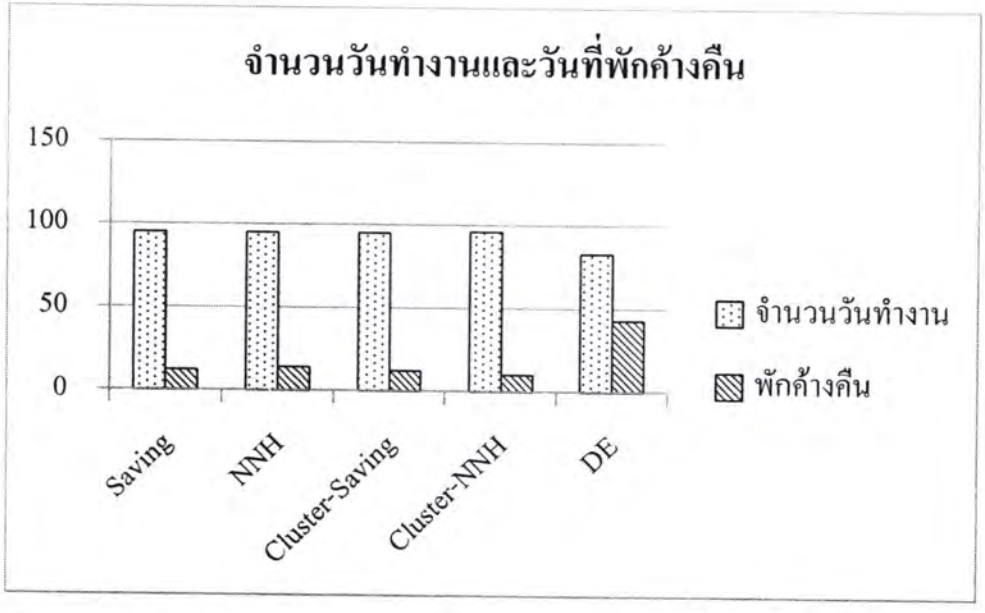
จากการทดลองโดยการใช้ฮิวริสติกในการแก้ปัญหางานซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในจังหวัดอุบลราชธานีในรูปแบบต่างๆ ทางผู้วิจัยจะสรุปผลการทดลองที่ได้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ สามารถสรุปได้ว่าการทดลอง ดังตารางที่ 5.20 และเปรียบเทียบประเด็นต่างๆ ดังภาพที่ 5.6 – 5.9

ตารางที่ 5.20 ค่าใช้จ่ายจากการทดลองใช้ฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ

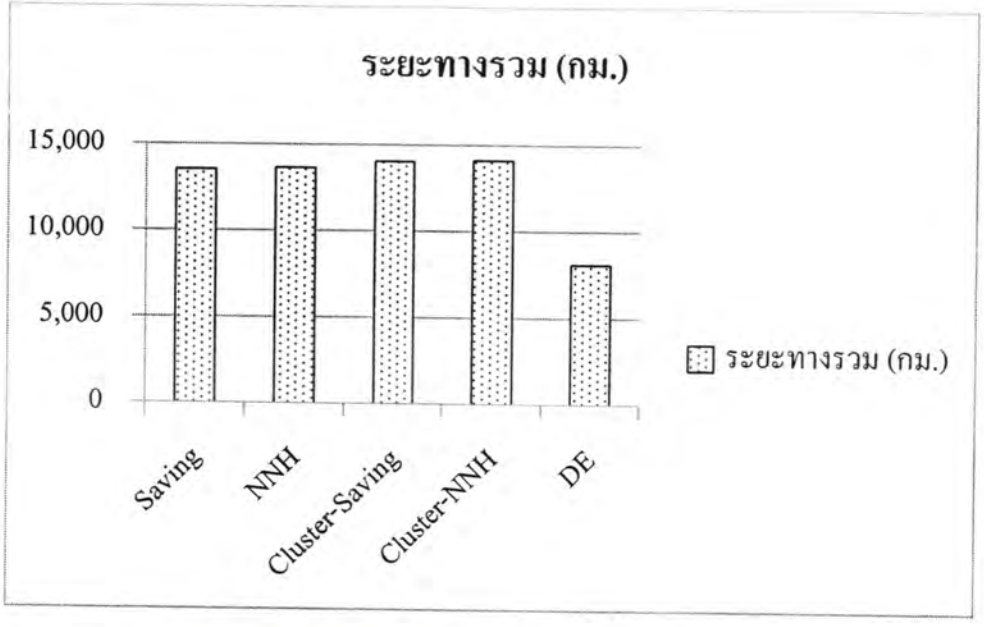
วิธี	Saving	NNH	Cluster-Saving	Cluster-NNH	DE
จำนวนเที่ยว (รอบ)	83	81	83	86	40
จำนวนวันทำงาน	95	95	95	96	83
พักค้างคืน	12	14	12	10	43
ระยะทางรวม (กม.)	13,543.00	13,653.00	14,042.00	14,119.00	8094.70
ค่าใช้จ่ายรวม(บาท)	260,692.35	262,332.77	263,597.52	264,896.82	222,260



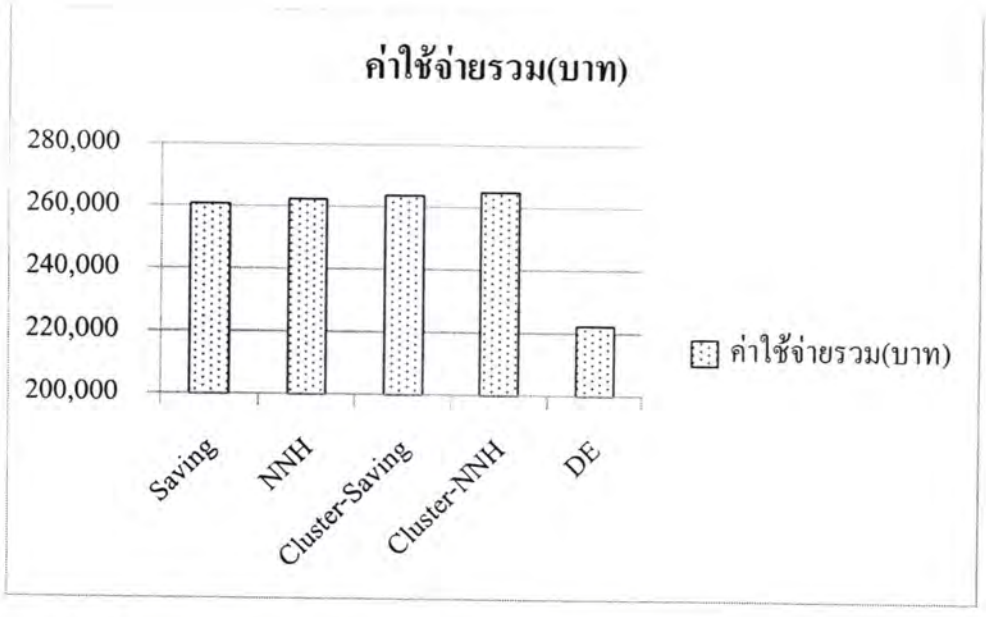
ภาพที่ 5.6 การเปรียบเทียบ จำนวนเที่ยวในการเดินทางด้วยวิธีฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 5.7 การเปรียบเทียบ จำนวนวันทำงานและจำนวนวันที่พักค้างคืนฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 5.8 การเปรียบเทียบระยะทางรวมฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมฮิวริสติกรูปแบบต่างๆ

จากการทดลองโดยการใช้ฮิวริสติกในการแก้ปัญหางานซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในจังหวัดอุบลราชธานีในรูปแบบต่างๆ เทียบกับวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อิโวลูชั่น พบว่าวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อิโวลูชั่น สามารถแก้ปัญหาได้ดีและรวดเร็วกว่า ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาเมตาฮิวริสติก ด้วยวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อิโวลูชั่น เพื่อแก้ปัญหากรณีศึกษาต่อไป

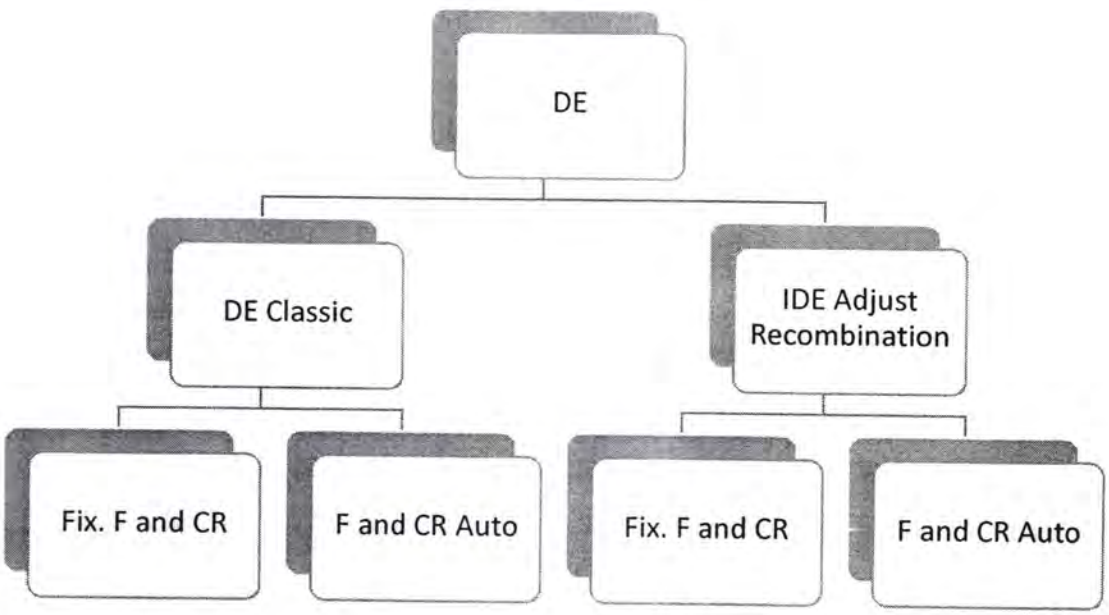
บทที่ 6
การแก้ปัญหา กรณีศึกษาโดยใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

ในบทนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอเกี่ยวกับการทดลองของวิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (Differential Evolution: DE)โดยใช้โปรแกรม Visual studio C++ ในการประมวลผล ของการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางในงานซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในจังหวัดอุบลราชธานี โดยจะทำการทดสอบกับปัญหาจริงในกรณีศึกษาขั้นตอนของกระบวนการนำวิธี DE มาประยุกต์ใช้ในงานผู้วิจัยได้ทำการการทดลองใน DE แบบคลาสสิกและ Improve Differential Evolution (IDE) แบบปรับปรุงกระบวนการในขั้นตอน Recombination โดยทำการปรับค่า Weighting Factor (F) และค่าของ Crossover Rate (CR) ทั้งแบบกำหนดค่าตายตัวและแบบปรับอัตโนมัติ และในขั้นตอน Recombination มีวิธีในการปรับเปลี่ยน 4 วิธี โดยวิธีที่ 1 เป็นกระบวนการ Vector transition process วิธีที่ 2 เป็นกระบวนการ Vector exchange process วิธีที่ 3 เป็นกระบวนการ Vector insertion process และวิธีที่ 4 เป็นการผสมผสานกันทั้งสามวิธี จากนั้นใช้กระบวนการ Local Search โดยใช้วิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง One Move และ วิธีการ 2-opt ปรับปรุงคำตอบทั้งสองแบบและทำการทดลองกระบวนการ Recombination ทั้ง 4 วิธี เพื่อมาเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุด โดยผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Visual studio C++ มาช่วยในการประมวลผลหาคำตอบ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางของรถ เป็นการเดินรถที่มีการวิ่งอย่างต่อเนื่องโดยสามารถหยุดพักเมื่อครบรอบการทำงานได้ตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดให้ไม่จำเป็นจะต้องกลับมาพักยังจุดเริ่มต้นเสมอ และใช้เวลาในการเดินทางและการซ่อมบำรุงมาเป็นข้อกำหนดความจุของยานพาหนะ ซึ่งไม่ตรงในปัญหามาตรฐานที่มีอยู่ ผู้วิจัยจึงกำหนดการหยุดพักค้างคืน ด้วยการวัดจากระยะห่างของตัวเลขสุ่ม โดยนำเลขสุ่มค่าสุดท้าย มาลบกับเลขสุ่มค่าถัดไป หากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะห่างของเลขสุ่มที่กำหนดไว้ จะทำการนอนพักค้างคืน แต่ถ้ามีค่ามากกว่าระยะห่างของเลขสุ่มที่กำหนดไว้ จะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (DE) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัย โดยทำการปรับปรุงค่า Weighting Factor (F) และค่าของ Crossover Rate (CR) เป็นทั้งค่าคงที่ และปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ และปรับปรุงในกระบวนการ Recombination โดยการประยุกต์กระบวนการ Recombination แบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ จาก ระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2554) คือ 1) วิธี Vector transition process 2) วิธี Vector exchange process 3)วิธี Vector insertion process และ

4) ผสมทั้ง 3 วิธี ผู้วิจัยออกแบบการทำการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุด และในขั้นตอนนี้มีการใช้วิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One Move) และ วิธี 2-opt เพื่อปรับปรุงคำตอบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ถ้าโครโมโซมใหม่ดีกว่าโครโมโซมต้นแบบให้เลือกโครโมโซมใหม่เป็นประชากรเริ่มต้นในรุ่นถัดไป เพื่อนำค่าที่ได้ผลดีที่สุดมาเป็นคำตอบของกรณีศึกษา ดังภาพที่ 6.1



ภาพที่ 6.1 รูปแบบการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ

ในขั้นตอนนี้ทางผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรม Differential Evolution (DE) โดยใช้โปรแกรม visual studio C++ ในการพัฒนา เพื่อการหาคำตอบที่รวดเร็วและแม่นยำ การทดลองจะเป็นไปตามกระบวนการ DE ทุกประการ เริ่มต้นโดยการสุ่ม NP มาจำนวน 20 และทำการกำหนดค่า F และ CR ดังนี้

(1) ค่า F = 0.5 และ CR = 0.85 เป็นค่าพารามิเตอร์จากงานวิจัยของ De-xuan Zou et al. (2011) ซึ่งทำการปรับปรุงค่า Weighting Factor (F) และค่าของ Crossover Rate (CR) โดยใช้วิธี Improve Differential Evolution (IDE)

(2) ค่า F = 2.34 และ CR = 0.7 เป็นค่าพารามิเตอร์จากงานวิจัยของ ระพีพันธ์ (2554) โดยทดสอบค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธี Response Surface Method ร่วมกับวิธีการ Steepest Descent

(3) ค่า F = 0.1 และ CR = 0.9 และระยะห่างของเลขสุ่ม = 0.75 เป็นพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดลอง โดยทำการสร้างค่า F , CR และระยะห่างของเลขสุ่ม เพิ่มเติมเพื่อหาค่าของ F, CR และ

ระยะห่างของเลขสุ่ม ที่เหมาะสมกับงานวิจัย โดยทำการทดสอบกับปัญหาขนาด 5 เมือง 10 เมือง และปัญหาจริงในกรณีศึกษา โดยใช้รอบคำนวณ 100 รอบ ทำการรันโปรแกรม 3 ครั้งในแต่ละคู่ของค่า F, CR และระยะห่างของเลขสุ่ม แล้วนำคำตอบไปประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab ฟังก์ชั่น Design of Experiment คำสั่ง Factorial แล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุดในการรันทั้งหมด มาเป็นผลคำตอบ (ภาคผนวก ข)

ผู้วิจัยจะทำการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุด และในขั้นตอนนี้มีการใช้วิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One Move) และ วิธี 2-opt เพื่อปรับปรุงคำตอบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ถ้าโครโมโซมใหม่ดีกว่าโครโมโซมต้นแบบให้เลือกโครโมโซมใหม่เป็นประชากรเริ่มต้นในรุ่นถัดไป โดยกำหนดรอบคำนวณ 1,000 รอบ และทำการทดลอง 5 ครั้ง

6.1 วิธีการหาคำตอบโดยประยุกต์ใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (DE) เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัย

ในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (DE) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัย ซึ่งจะเห็นว่าวิธี วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (DE) เป็นวิธีการที่สามารถให้คำตอบที่ดีและเวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสมและเป็นวิธีที่นักวิจัยกำลังให้ความสนใจ ซึ่งผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนการประยุกต์ไว้ดังแสดงในภาพที่ 6.1 โดยในกระบวนการนำวิธี Differential evolution DE มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย ผู้วิจัยได้นำโปรแกรม Visual Basic C++ มาใช้ในการประมวลผลของคำตอบเพื่อใช้ในการเปรียบผลการหาคำตอบ กับการจำลองปัญหาขึ้นขนาด 100 และ 200 และจากข้อมูลจริงในกรณีศึกษาโดยใช้คอมพิวเตอร์ หน่วยประมวลผล Inter (R) Core (TM) i3-3240 CPU 3.40 GHz หน่วยความจำ 4 GB

6.1.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Number of Population (NP))

การสร้างคำตอบเริ่มต้นของวิธี DE ในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างคำตอบใหม่โดยใช้ค่าที่ได้จากการสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยใช้โครโมโซมเริ่มต้น NP เท่ากับ 20 แล้วจะเลือกโครโมโซมมาเพียง 1 โครโมโซมจากจำนวน 20 โครโมโซม ซึ่งได้ผ่านการพิจารณาจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์แล้วว่าเป็นโครโมโซมที่ดีที่สุด มาเป็นโครโมโซมเริ่มต้นในการพัฒนาคำตอบใน DE ซึ่งค่าทั้งหมดจะถูกเรียกว่า Trial Vector และตัวเลขสุ่มแต่ละตำแหน่งใน Trial Vector จะถูกเรียกว่า Target Vector โดยกำหนดค่า NP ของ DE มีจำนวนเท่ากับ 20 เช่นเดียวกับการสร้างคำตอบเริ่มต้น หมายความว่าทุกค่าของ NP จะเริ่มต้นด้วย Trial Vector ชุดเดียวกันสามารถแสดงตัวอย่างลักษณะของตารางตัวเลขสุ่ม (0.0-1.0) Trial Vector ได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 โครโมโซม Trial Vector ในการหาคำตอบเริ่มต้นของ NP#1- NP#20 316 เมือง

NP / Trial Vector	Target Vector										
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**...**	**312**	**313**	**314**	**315**	**316**
1	0.89	0.96	0.45	0.13	0.90	...	0.43	0.90	0.56	0.30	0.43
2	0.90	0.69	0.21	0.95	0.38	...	0.56	0.38	0.74	0.80	0.56
3	0.38	0.14	0.44	0.52	0.37	...	0.99	0.37	0.26	0.30	0.46
4	0.37	0.80	0.09	0.50	0.46	...	0.85	0.46	0.21	0.43	0.96
5	0.46	0.58	0.93	0.55	0.39	...	0.30	0.39	0.21	0.56	0.80
6	0.39	0.61	0.53	0.56	0.56	...	0.80	0.56	0.13	0.46	0.58
7	0.56	0.96	0.90	0.13	0.74	...	0.30	0.74	0.95	0.99	0.61
8	0.74	0.79	0.38	0.95	0.13	...	0.45	0.11	0.52	0.85	0.96
9	0.26	0.37	0.37	0.52	0.95	...	0.52	0.02	0.50	0.30	0.79
10	0.28	0.10	0.46	0.50	0.52	...	0.50	0.86	0.55	0.80	0.37
11	0.64	0.43	0.39	0.55	0.50	...	0.55	0.47	0.56	0.30	0.10
12	0.74	0.31	0.56	0.56	0.55	...	0.56	0.09	0.21	0.45	0.43
13	0.35	0.93	0.74	0.44	0.56	...	0.30	0.61	0.30	0.37	0.56
14	0.64	0.61	0.80	0.80	0.11	...	0.80	0.56	0.80	0.46	0.74
15	0.43	0.82	0.58	0.58	0.02	...	0.30	0.74	0.30	0.39	0.26
16	0.56	0.64	0.61	0.61	0.86	...	0.11	0.26	0.10	0.56	0.46
17	0.80	0.59	0.96	0.96	0.47	...	0.02	0.96	0.11	0.74	0.11
18	0.18	0.71	0.79	0.79	0.09	...	0.86	0.11	0.02	0.10	0.02
19	0.54	0.44	0.37	0.37	0.61	...	0.47	0.02	0.37	0.30	0.86
20	0.39	0.69	0.10	0.10	0.21	...	0.09	0.86	0.37	0.80	0.37

ทำการสุ่ม NP ของ DE มาได้แล้วก็ทำการเรียงจำนวนจากมากไปหาน้อยเพื่อทำการจัดเส้นทางการเดินทางจากเมืองหนึ่งไปสู่อีกเมืองหนึ่งดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 โครโมโซม Trial Vector เริ่มต้นของ NP#1-NP#20 เมื่อมีการจัดเส้นทางการเดินทาง

NP_1 เดิม		NP_1 จากมากไปน้อย	
เมือง	เลขสุ่ม	เมือง	เลขสุ่ม
2	0.32	78	1.00
3	0.58	48	0.99
4	0.36	84	0.99
5	0.36	228	0.99
6	0.81	264	0.97
7	0.45	242	0.96
8	0.79	208	0.93
...	...	...	...
313	0.87	58	0.15
314	0.67	116	0.11
315	0.52	127	0.09
316	0.99	299	0.01

เมื่อได้เส้นทางการเดินทางของแต่ละเมืองแล้ว นำมาทำการคำนวณปริมาณการดำเนินการ โดยที่ระยะทางขาไป เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ และระยะทางขากลับมารวมกันต้องไม่เกิน 480 นาที (โดยมีเวลาพักกลางวัน 60 นาที จะพักเวลาใดก็ได้) ดังแสดงในตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นทางใน NP#1

เส้นทาง	ลำดับการเดินทางของยานพาหนะ							เวลารวม
1	Node	1	78	48	84	228	1	97.4
	ระยะทาง		38.6	4.9	22.4	31.5	19.4	
	ST		60	57	62	106		
	Vcap	420	321.4	259.5	175.1	37.6	18.2	
2	Node	1	264	242	1			224.9
	ระยะทาง		84.8	35.1	105			
	ST		58	113				
	Vcap	420	277.2	129.1	24.1			
...								
98	Node	1	116	127	299	1		186.9
	ระยะทาง		91.8	10.1	6.7	78.3		
	ST		53	79	78			
	Vcap	420	275.2	186.1	101.4	23.1		
ระยะทางรวมทั้งสิ้น								15,361

เมื่อทำการคำนวณค่า NP#1-20 จะได้คำตอบเส้นทางการเดินทางเริ่มต้นทั้งหมด 98 เส้นทาง นำคำตอบที่ได้ไปคำนวณค่าใช้จ่ายโดยข้อมูลในการคำนวณดังตารางที่ 6.4 คิดจากค่าน้ำมันที่อัตรา 4 บาทต่อกิโลเมตร ค่าบำรุงรักษาประกอบด้วยค่าสารหล่อลื่นราคา 570 บาทต่อลิตร ทำการเปลี่ยนครั้งละ 6 ลิตร ทุกๆ 10,000 กิโลเมตรคิดเป็น 0.342 บาทต่อกิโลเมตร และค่ายางรถยนต์ราคา 3,700 บาทต่อเส้น มีอายุการใช้งาน 40,000 กิโลเมตรต่อเส้นต้นทุนรวม 0.37 บาทต่อกิโลเมตรคิดเป็น 1.48 บาทต่อกิโลเมตร (4+(0.342+1.48) = 5.822) ค่าแรงงานประกอบด้วยค่าจ้าง 377 บาทต่อวัน ค่าเบี้ยเลี้ยง 240 บาทต่อวัน ((377 + 240)X 3 = 1,851)และ ค่าที่พัก 500 บาทต่อวัน ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางการเดินทางไป รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง ในการสร้างคำตอบเริ่มต้น ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.4 ค่าใช้จ่ายในแต่ละหมวดหมู่

ประเภท	ต้นทุน
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822
ค่าแรง/วัน	1,851
ค่าที่พัก/คืน	500

ตารางที่ 6.5 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่าย รพ.สต.จำนวน 316 แห่งการสร้างคำตอบเริ่มต้น

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	15,361	89,431.74
ค่าแรง/วัน	1,851	98	181,398.00
ค่าที่พัก/คืน	500	-	-
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			**270,829.74**

6.1.2 กระบวนการ Mutation

หลังจากที่ได้ทำการสร้าง Trial Vector แล้วนำค่าของ Target Vector ทำการคำนวณหา Mutant Vector ($V_{i,G+1}$) ทีละค่า โดยได้ถูกสร้างขึ้นตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \quad (6.1)$$

เมื่อ

$X_{r1,G}$ = Target Vector

$V_{i,G+1}$ = Mutant Vector

$X_{r2,G}, X_{r3,G}$ = Random Vector

F = Weighting Factor

เมื่อสังเกตว่า X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} ได้ถูกสุ่มเลือกจากเวกเตอร์ของประชากร ซึ่งแตกต่างจากเวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector) Xi,g ส่วน F เป็นระดับปัจจัยที่ควบคุมระดับความแตกต่างของเวกเตอร์ระหว่าง X_{r2}, X_{r3} แล้วเพิ่มไปที่เวกเตอร์พื้นฐานซึ่งก็คือ X_{r1}

สมการ 6.1 เป็นสมการที่จะนำไปใช้ในการกลายพันธ์ของ Vector ที่ได้จากการกำหนดคำตอบเริ่มต้น ซึ่งเมื่อคำตอบเริ่มต้นนั้นได้ผ่านขั้นตอนนี้แล้วจะทำให้เราได้ค่าของ Vector ใหม่เกิดขึ้น ซึ่งต่อไปจะถูกเรียกว่า Mutant Vector โดยที่ Mutant Vector นั้นจะเกิดจากการสุ่มค่าของ Vector X_{r1}, X_{r2}, X_{r3} ที่อยู่ในแต่ละแถวแนวนอนเดียวกัน โดยที่ลักษณะการสุ่มในแต่ละแถวนั้นจะแตกต่างกันไป ตำแหน่งจะไม่ซ้ำกันกับตำแหน่งที่ทำการ Mutation และเป็นอิสระต่อกัน หลังจากนั้นก็จะแทนค่าในสมการ 5.1 ดังนี้

$$V_{1,G+1} = 0.36 + 0.1*(0.55 - 0.82) = 0.33$$

โดยจะต้องทำการคำนวณเปลี่ยนค่าของ Target Vector ให้เป็นค่าMutant Vector ทุกค่า จากสมการที่ 5.1 ซึ่งจะได้คำตอบใหม่ดังแสดงในตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 ตัวอย่างการคำนวณหาค่าของ Mutant Vector แต่ละค่า จากสูตรของ NP#1

	$X_{r1,G}$	$X_{r2,G}$	$X_{r3,G}$	**Mutant Vector** $V_{1,G+1}$
1	0.36	0.55	0.82	0.33
2	0.58	0.25	0.57	0.55
3	0.02	0.01	0.69	-0.05
4	0.19	0.27	0.23	0.11
5	0.44	0.68	0.55	0.45

6.1.3 กระบวนการ Recombination

เมื่อทำกระบวนการ Mutation จนหมดทุกค่าของMutant Vector และทุกคำตอบ NP ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลายเพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ โดยกระบวนการ Trial Vector ($U_{i,G+1}$) เพื่อมาใช้ในการตัดสินใจจากสมการที่ (6.2)และ (6.3)

$$V_{ji,G+1} \quad \text{if (randb (j)} \leq \text{CR) or j = rnbr(i)} \tag{6.2}$$

$$X_{ji,G+1} \quad \text{if (randb(j) > CR or j} \neq \text{rnbr(i)} \tag{6.3}$$

โดยหากทำการเปรียบเทียบค่าของ Trial Vector กับค่า CR (Crossover Rate) โดยการเปรียบเทียบทุกตำแหน่งที่อยู่ใน Target Vector ของแต่ละค่าของ NP โดยที่ค่าของTrial Vector

เป็นตารางตัวเลขสุ่ม 0 - 1 โดยหากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าของTrial Vector มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ CR จะทำให้การเลือกในตำแหน่งนั้นๆ เป็นค่าของ Mutant Vector ตามเงื่อนไขในสมการที่(6.2) หากมีค่ามากว่าค่าของ CR ให้ใช้ค่า Target Vector ค่าเดิมสมการที่ (6.3) จากตารางที่ 6.7 จะทำการสุ่มตัวเลข 0 - 1 แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่า CR= 0.90 ถ้าค่าสุ่มน้อยกว่า 0.90 Trial Vector จะมาจากค่า Mutant Vector แต่ถ้าตัวเลขสุ่มมีค่ามากกว่า CR = 0.90 ค่า Trial Vector จะมาจากค่า Target Vector ตามเงื่อนไขในสมการ

ตารางที่ 6.7 ตัวอย่างกระบวนการ Recombination เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ CR=0.9

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**...**	**315**	**316**
Target Vector	0.79	0.84	0.50	0.40	0.04	...	1.15	0.39
Mutant Vector	0.33	0.55	0.77	0.11	0.45	...	-0.05	0.30
CR = 0.9	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	...	0.90	0.90
rand(0-1)	0.41	0.58	0.92	0.78	0.98	...	0.22	0.99
Trial Vector	0.33	0.55	0.50	0.11	0.04	...	-0.05	0.39

เมื่อเราได้ Trial Vector ครบทุกจำนวนแล้ว จะทำการเรียงค่า Trial Vector จากมากไปหาน้อย จะได้เส้นทางการเดินทางจากเมืองหนึ่งไปสู่อีกเมืองจนครบทั้งหมดดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 โครโมโซม Trial Vector ของ NP#1-NP#20 เมื่อมีการจัดเส้นทางการเดินทาง

NP_1 เดิม		**NP_1 เรียงมากไปน้อย**	
เมือง	**เลขสุ่ม**	**เมือง**	**เลขสุ่ม**
2	0.33	143	1.08
3	0.55	46	0.99
4	0.75	120	0.88
5	0.19	184	0.85
6	0.04	241	0.81
...	...	...	...
314	-0.01	213	-0.03
315	1.15	212	-0.05
316	0.20	227	-0.09

เมื่อได้เส้นทางการเดินทางของแต่ละเมืองแล้ว นำมาทำการคำนวณปริมาณการดำเนินการ โดยที่ระยะทางขาไป เวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ และระยะทางขากลับมารวมกันต้องไม่เกิน 480 นาที (โดยมีเวลาพักกลางวัน 60 นาที จะพักเวลาใดก็ได้) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการปรับเปลี่ยนรูปแบบการเดินทางของรถ เป็นการเดินรถที่มีการวิ่งอย่างต่อเนื่องโดยสามารถหยุดพักเมื่อครบรอบการทำงานได้ตามจุดต่าง ๆ ที่กำหนดให้ ไม่จำเป็นจะต้องกลับมาพักยังจุดเริ่มต้นเสมอ และใช้เวลาในการเดินทางและการซ่อมบำรุงมาเป็นข้อกำหนดความจุของยานพาหนะ ซึ่งไม่ตรงในปัญหามาตรฐานที่มีอยู่ ผู้วิจัยจึงกำหนดการหยุดพักค้างคืน ด้วยการวัดจากระยะห่างของตัวเลขสุ่ม โดยนำเลขสุ่มค่าสุดท้าย มาลบกับเลขสุ่มค่าถัดไป หากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระยะห่างของเลขสุ่มที่กำหนดไว้ จะทำการนอนพักค้างคืน ณ จุดสุดท้ายที่ปฏิบัติงาน แต่ถ้ามีค่ามากกว่าระยะห่างของเลขสุ่มที่กำหนดไว้ จะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น ในการวิจัยนี้กำหนดระยะห่างของเลขสุ่มไว้ที่ 0.75 และกำหนดให้สามารถพักค้างคืนได้สูงสุดไม่เกิน 4 คืน เนื่องจากเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน 5 วัน/สัปดาห์ (หยุดเสาร์-อาทิตย์) ดังแสดงในตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นทางใน NP#1

1	**Node**	1	143	46	120	194	241	114.5
	ระยะทาง		52.8	20.8	33.3	7.6	7.2	
	ST		63	67	108	50	42	
	Vcap	420	304.2	216.4	75.1	17.5	370.8	
1	**Node**	149	184	10	157	68	14	85.9
	ระยะทาง	28.7	13.8	25.6	2.4	15.4	11.8	
	ST	60	108	56	40	69	66	
	Vcap	282.1	160.3	78.7	36.3	335.6	257.8	
1	**Node**	41	119	1				68.5
	ระยะทาง	10.5	6.9	51.1				
	ST	124	56					
	Vcap	123.3	60.4	9.3				

ตารางที่ 6.9 ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นทางใน NP#1 (ต่อ)

2	**Node**	1	7	307	33	209	136	56.1
	ระยะทาง		9.7	13.2	4.3	28.9	4.6	
	ST		82	68	65	54	54	
	Vcap	420	328.3	247.1	177.8	94.9	36.3	
2	**Node**	216	90	1				49.3
	ระยะทาง	2.2	37.9	9.2				
	ST	143.9	181					
	Vcap	273.9	55	45.8				
...								
40	**Node**	1	173	160	294	206	285	74.8
	ระยะทาง		45.3	5.4	8.3	15.8	8	
	ST		63	78	109	53	69	
	Vcap	420	311.7	228.3	111	42.2	343	
40	**Node**	86	213	212	277	1		61.1
	ระยะทาง	2.5	4.4	13.7	7.9	32.6		
	ST	74	67	77	41			
	Vcap	266.5	195.1	104.4	55.5	22.9		
ระยะทางรวมทั้งสิ้น								8094.7

จากตาราง 6.3 พบว่าเส้นทางที่ 1 ณ เมืองที่ 194 การดำเนินงานใกล้เต็มตามที่กำหนดไว้ จึงทำการตรวจสอบการเดินทางว่าจะพักค้างคืน หรือกลับมาที่จุดเริ่มต้น โดยนำค่าเลขสุ่ม ณ เมืองที่ 194 มาลบกับเลขสุ่ม ณ เมืองที่ 214 หากมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.75 จะทำการนอนพักค้างคืน แต่ถ้ามีค่ามากกว่า 0.75 จะเดินทางกลับมาที่จุดเริ่มต้น โดยทำการพักค้างคืน ณ เมืองที่ 194 และเมือง 157 จำนวน 2 คืน ส่วน ณ เมืองที่ 119 กับเมืองที่ 7 ระยะห่างของเลขสุ่มมีค่ามากกว่า 0.75 จึงกลับไปที่จุดเริ่มต้น แล้วจัดเส้นทางใหม่

ตารางที่ 6.10 ตัวอย่างการคำนวณค่าใช้จ่าย รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	8094.7	47,127.34
ค่าแรง/วัน	1,851	83 (40 เส้นทาง)	153,633.00
ค่าที่พัก/คืน	500	43	21,500.00
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			**222,260.34**

6.1.4 กระบวนการ Selection

ในกระบวนการขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) โดยในงานวิจัยนี้ใช้เพื่อหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการเดินทางซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์ ในกระบวนการ Selection เราจะเปรียบเทียบต้นทุนที่ต่ำที่สุดในกระบวนการการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Number of Population: NP) และกระบวนการ Recombination เมื่อได้คำตอบทั้งสองกระบวนการแล้วเราจะทำการเปรียบเทียบจากผลของคำตอบที่สามารถทำให้สมการวัตถุประสงค์ด้านต่ำที่สุดจะทำการเลือกโครโมโซมนั้นเป็นคำตอบเพื่อจะถูกนำไปหาคำตอบในรุ่นต่อไปดำเนินการซ้ำจากกระบวนการ Mutation, Recombination และ Selection จนครบทุก NP โดยที่ตัวอย่างการคัดเลือกประชากรเพื่อใช้เป็นคำตอบ

ตารางที่ 6.11 ตัวอย่างการคัดเลือกประชากรในปัญหา Minimizeของ NP#1-20

NP#	Target Vector	Trial Vector	Selection
1	270,829	222,260	222,260
2	230,160	225,050	225,050
3	224,350	231,050	224,350
...	...	...	...
18	242,340	251,340	242,340
19	249,450	254,990	249,450
20	253,230	233,640	233,640

จากตารางที่ 6.11 ต้นทุนในการเดินทางในแต่ละ NP จะสามารถหาได้จาก Target Vector และ Trial Vector เมื่อเราทราบค่าทั้งสองกระบวนการแล้วก็ทำการเปรียบเทียบต้นทุนที่มีค่าน้อยที่สุด จากนั้นก็ทำการเลือก (Selection) ต้นทุนที่มีค่าน้อยที่สุดในแต่ละ NP#1-20 เลือกโครโมโซมนั้นเป็นคำตอบเพื่อจะถูกนำไปใช้หาคำตอบในรุ่นต่อไป โดยดำเนินการซ้ำจากกระบวนการ Mutation, Recombination และ Selection จนครบทุก NPและเก็บค่าที่น้อยที่สุดในไว้เป็น Global optimal หรือคำตอบที่ดีที่สุด ในตารางคือค่า 222,260 บาท

6.2 ผลการทดลองจากวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น กับตัวอย่างปัญหาขนาดเล็ก ขนาดใหญ่

การใช้วิธีฮิวริสติก Differential Evolution (DE) มาประยุกต์ใช้เข้ากับปัญหาเพื่อหาค่าเหมาะสมของคำตอบ โดยได้พิจารณากับ ตัวอย่างปัญหาขนาด 5 เมือง 10 ชุด และ 10 เมือง 5 ชุด ซึ่งผลจากการประยุกต์ใช้ DE สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.12 – 6.13

ตารางที่ 6.12 ผลการทดลองเปลี่ยนชุดข้อมูลกับปัญหา 5 เมือง

กรณี	LINGO		DE		% Gap
	Objective Value (Baht)	เวลาในการรันโปรแกรม (วินาที)	Objective Value (Baht)	เวลาในการรันโปรแกรม (วินาที)	
1	7,547.6	74	7,547.6	12	0
2	7,646.5	203	7,646.5	8	0
3	6,264.8	50	6,264.8	9	0
4	5,438.7	38	5,438.7	8	0
5	8,947.12	62	8,947.12	8	0
6	5,643.05	94	5,643.05	8	0
7	8,267.22	53	8,267.22	8	0
8	9,177.67	101	9,177.67	8	0
9	5,725.73	65	5,725.73	9	0
10	8,738.55	54	8,738.55	8	0

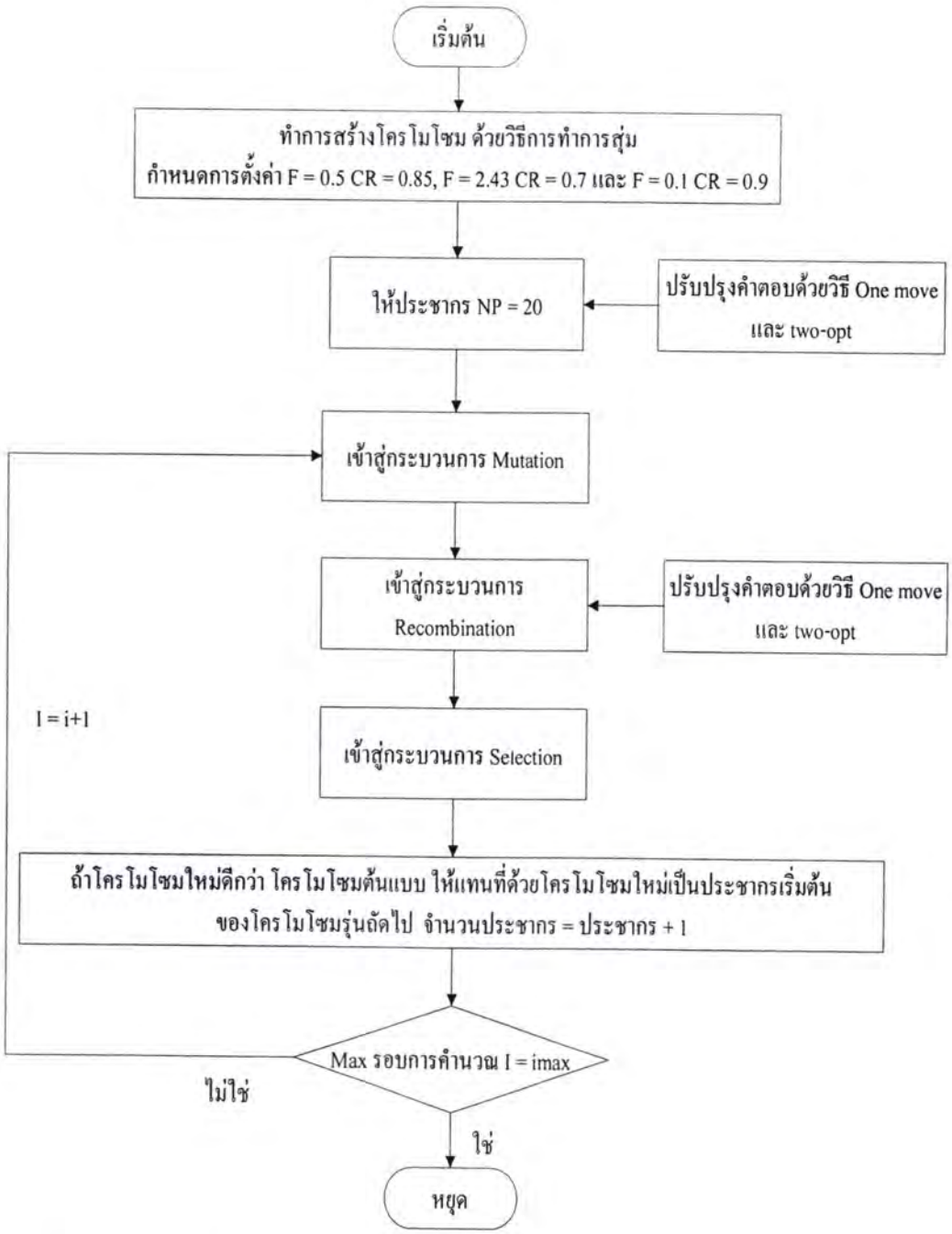
ตารางที่ 6.13 ผลการทดลองเปลี่ยนชุดข้อมูลกับปัญหา 10 เมือง

กรณี	LINGO		DE		% Gap
	Objective Value (Baht)	เวลาในการรันโปรแกรม (วินาที)	Objective Value (Baht)	เวลาในการรันโปรแกรม (วินาที)	
1	12,173.3	864,000	12,095	3.95	0.64
2	10,896.4	864,000	10,896	5.02	0.00
3	11,163.6	864,000	11,250	4.01	0.77
4	9,608.5	864,000	9,459	4.25	1.56
5	11,910.7	864,000	11,915	4.16	0.04

6.3 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัย

6.3.1 Differential Evolution (DE) แบบคลาสสิก โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ F และ CR คงที่

ในขั้นตอนนี้ทางผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรม Differential Evolution (DE) โดยใช้ visual studio C++ ในการพัฒนา เพื่อการหาคำตอบที่รวดเร็วและเม่นยำ การทดลองจะเป็นไปตามกระบวนการ DE ทุกประการ เริ่มต้นโดยการสุ่ม NP มาจำนวน 20 ค่า ซึ่งในปัญหาแบบ VRP เมื่อกำหนดพารามิเตอร์แล้วจะเข้าสู่กระบวนการ Mutation เพื่อหาค่า Mutant Vector และเข้าสู่กระบวนการ Recombination เพื่อหาค่า Trial Vector ในขั้นตอนนี้ได้นำวิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One Move) และ วิธี 2-opt เพื่อปรับปรุงคำตอบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น หากโครโมโซมใหม่ดีกว่าโครโมโซมต้นแบบให้ทำการเลือกโครโมโซมใหม่เป็นประชากรเริ่มต้นในรุ่นถัดไป ผู้วิจัยจึงทำการทดลองโดยกำหนดรอบในการทดลอง 1,000 รอบ และทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดที่ใช้ในการลดต้นทุนการดำเนินงานซ่อมบำรุงอุปกรณ์แลเครื่องมือแพทย์ดัง Flow Chart การทำงานในภาพที่ 6.2



ภาพที่ 6.2 Flow Chart ขั้นตอน DE โดยค่า F = 0.5 CR = 0.85, F = 2.43 CR = 0.7 และ F = 0.1 CR = 0.9 แบบคลาสสิก

ตารางที่ 6.14 ผลการทดลองคลาสสิก F = 0.5 CR = 0.85, F = 2.43 CR = 0.7 และ F = 0.1 CR = 0.9

จำนวนการทดลอง	ค่าใช้จ่าย (รอบคำนวณ 1,000 รอบ)		
	F = 0.5 CR = 0.85	**F = 2.43 CR = 0.7**	**F = 0.1 CR = 0.9**
1	233,398	233,273	222,260
2	229,197	233,736	225,892
3	231,037	235,653	228,573
4	228,481	232,825	223,274
5	229,959	230,221	226,677
เฉลี่ย	230,414	233,142	225,335

จากตารางที่ 6.15 พบว่าการทดลองรอบคำนวณ 1,000 รอบ โดยใช้โปรแกรม DE แบบดั้งเดิมแล้วปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี One Move และ วิธี 2-opt ในการแก้ปัญหากรณีศึกษาการซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์เพื่อทำการหาต้นทุนการเดินทางที่ต่ำที่สุด พบว่า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85 มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 228,481 บาท กำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 CR = 0.7 มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 230,221 บาท, กำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 222,260 บาท และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเฉลี่ย 225,335 บาท ที่ค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9

6.3.2 Differential Evolution แบบคลาสสิก โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ

ในขั้นตอนนี้ทางผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรม Differential Evolution (DE) โดยจะทำการปรับพารามิเตอร์ F และค่า CR ให้ปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ โดยโปรแกรมจะทำการสุ่มค่า NP มาจำนวนทั้งหมด 20 โดยแบ่งกลุ่มประชากร NP 1-10 เป็นกลุ่มที่หนึ่งหรือกลุ่มประชากรกลาง NP 11-15 เป็นกลุ่มที่สองหรือกลุ่มประชากรบน และ NP 16-20 เป็นกลุ่มที่สามหรือกลุ่มประชากรล่าง ถ้าจำนวนที่สุ่มตรงกับข้อกำหนดใดก็ให้ทำการปรับค่าตามเงื่อนไขนั้น โดยเงื่อนไขในการปรับค่าพารามิเตอร์จะมีด้วยกันสามระดับ

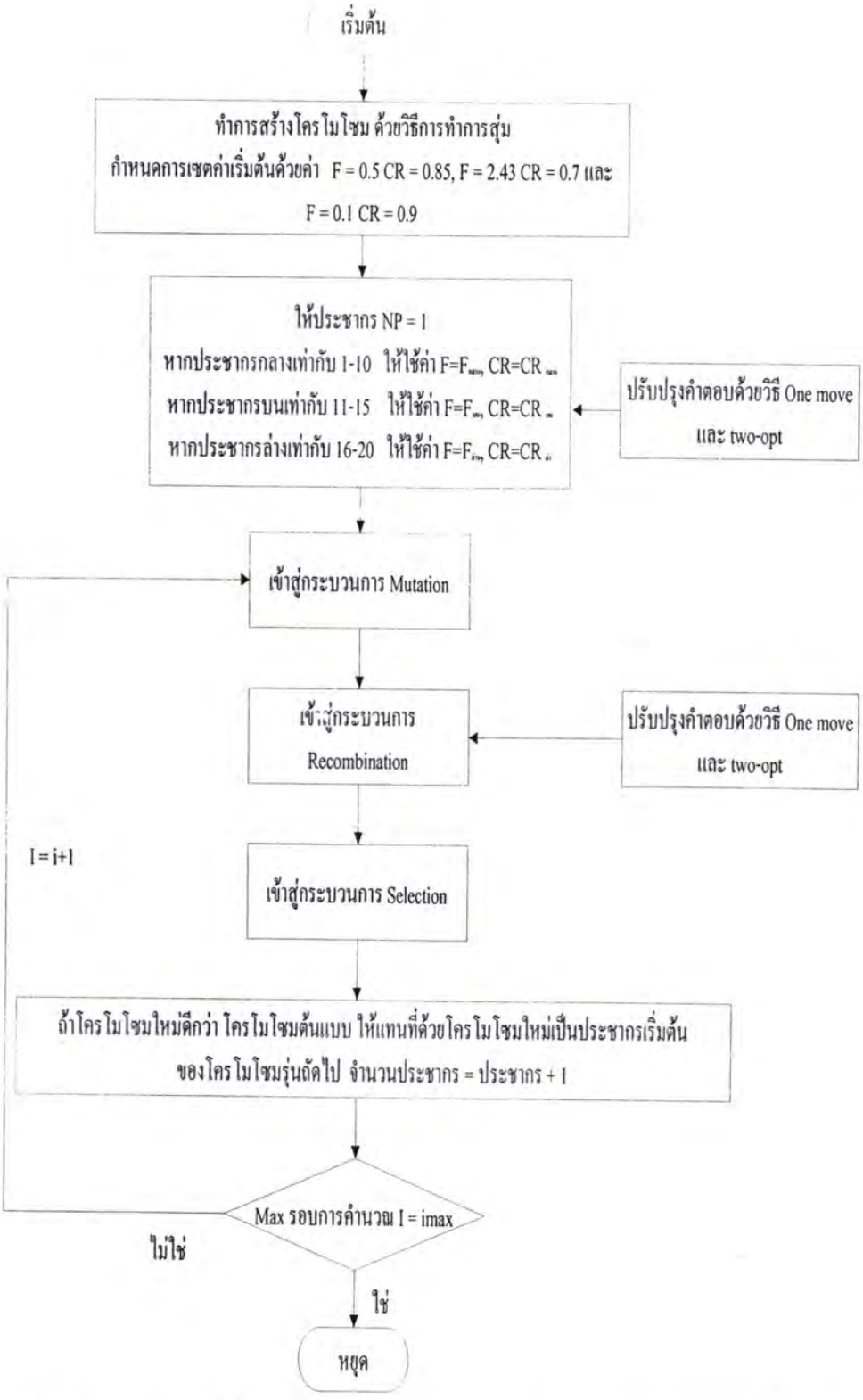
(1) กลุ่มประชากรกลางเท่ากับ 1-10 ให้ใช้ค่า $F=F_{กลาง}$, $CR=CR_{กลาง}$

(2) กลุ่มประชากรบนเท่ากับ 11-15 ให้ใช้ค่า $F=F_{บน}$, $CR=CR_{บน}$

(3) กลุ่มประชากรล่างเท่ากับ 16-20 ให้ใช้ค่า $F=F_{ล่าง}$, $CR=CR_{ล่าง}$

พอจัดกลุ่มของประชากรได้ ก็เข้าสู่กระบวนการ Mutation เพื่อหาค่า Mutant จากนั้นเข้าสู่กระบวนการ Recombination เพื่อหาค่า Trial Vector ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้วิธีการย้าย

หนึ่งตำแหน่ง (One Move) และ วิธี 2-opt เพื่อปรับปรุงคำตอบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น หากโครโมโซมใดที่มีค่า fitness function ที่ดีที่สุดอยู่ในกลุ่มประชากรใด ให้ทำการปรับค่า CR และ F ของประชากรตามกลุ่มนั้น โดยการปรับค่า F และ CR กำหนดให้เพิ่มลดได้ทีละ 0.05 แต่ถ้าโครโมโซมที่ดีที่สุดไปตกที่กลุ่มประชากรกลาง ค่า F และ CR จะไม่เปลี่ยนแปลงในรอบนั้น ผู้วิจัยจะทำการทดลองโดยทำการเซตค่าเริ่มต้นที่ F = 0.5 CR = 0.85, F = 2.43 CR = 0.7 และ F = 0.1 CR = 0.9 แล้วให้โปรแกรมทำการปรับค่าอัตโนมัติ ผู้วิจัยจะทำการทดลองโดยกำหนดรอบในการทดลอง 1,000 รอบ และทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง เพื่อหาคำตอบที่ใช้ต้นทุนในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ต่ำที่สุด จะได้ผลการทดลองดังตารางที่ 6.15 Flow chart กระบวนการการทำงานในภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 Flow Chart ขั้นตอน DE โดยการประยุกต์ค่า พารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ แบบคลาสสิก

ตารางที่ 6.15 ผลการทดลองพารามิเตอร์ F และ CR ปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ แบบคลาสสิก

จำนวนการทดลอง	รอบคำนวณ 1,000 รอบ								
	F = 0.5 CR = 0.85			F = 2.43 CR = 0.7			F = 0.1 CR = 0.9		
	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย
1	0.5	0.85	226,225	4.8	0.9	236,183	0.5	0.9	224,372
2	0.5	0.9	229,163	4.9	0.85	231,534	0.5	0.9	230,265
3	0.5	0.9	229,163	3.73	0.9	237,565	0.5	0.9	227,164
4	0.5	0.85	229,503	4.08	0.9	232,106	0.5	0.9	223,524
5	0.5	0.9	231,853	4.9	0.9	235,655	0.5	0.9	226,736
เฉลี่ย	229,181.40			234,608.60			226,412.20		

จากตารางที่ 6.15 การทดลองรอบคำนวณ 1,000 รอบ โดยใช้โปรแกรม DE แบบปรับเปลี่ยนอัตโนมัติเพื่อสุ่มหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด แล้วปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี One Move และ วิธี 2-opt ในการแก้ปัญหากรณีศึกษาการซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์เพื่อทำการหาต้นทุนการเดินทางที่ต่ำที่สุด พบว่า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85 เริ่มต้น มีค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 226,225 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.85 กำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 CR = 0.7 เริ่มต้น มีค่าใช้จ่าย ต่ำสุด คือ 231,534 บาท และมีค่า F = 4.9 Cr = 0.85 กำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 เริ่มต้น มีค่าใช้จ่าย ต่ำสุด คือ 223,524 บาทและมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9 และมีค่าใช้จ่ายต่ำสุดเฉลี่ย 226,412.20 บาท

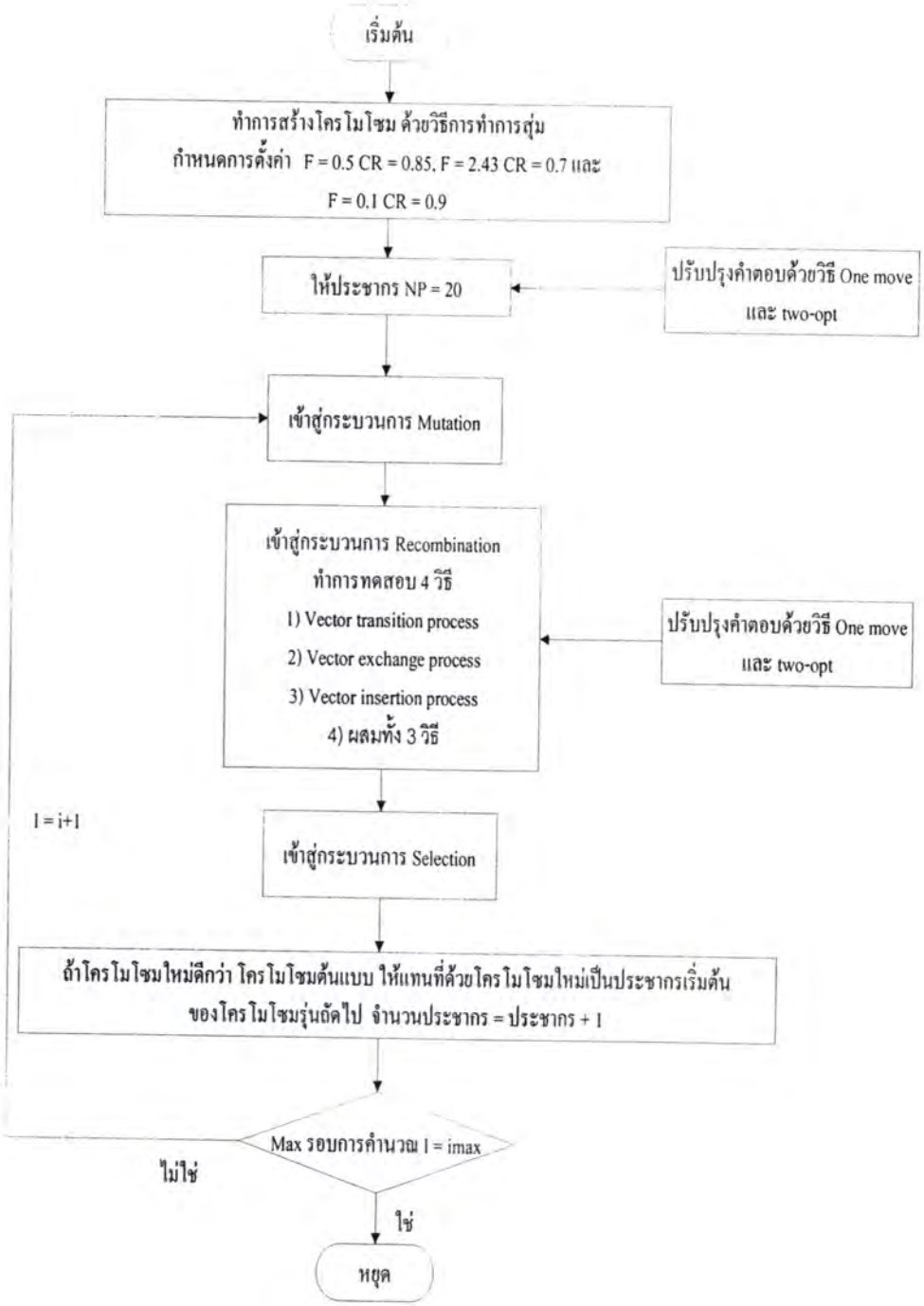
6.3.3 Improve Differential Evolution (IDE) โดยการประยุกต์กระบวนการ Recombination โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ F และ CR คงที่

ในกระบวนการ Recombination ซึ่งเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลายเพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ โดยในกระบวนการ Recombination แบบคลาสสิก จะทำการสร้าง Trial Vector เพียง 1 เวคเตอร์ แล้วทำการเปรียบเทียบค่าของ Trial Vector กับค่า CR (Crossover Rate) โดยหากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าของ Trial Vector มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ CR จะทำให้การเลือกในตำแหน่งนั้นๆ เป็นค่าของ Mutant Vector หากมีค่ามากกว่าค่าของ CR ให้ใช้ค่า Target Vector ค่าเดิม ส่วนการประยุกต์ Differential Evolution (DE) โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการ Recombination จะทำการสร้าง Trial Vector เพิ่มอีก 1 เวกเตอร์เป็น 2 เวกเตอร์ แล้วนำ Trial Vector เก่า กับ Trial

Vector ที่สร้างเพิ่มขึ้น มาทำการเปรียบเทียบกับค่า CR แล้วทำการเลือกเวกเตอร์ที่ดีที่สุดก่อน แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการ Selection เพื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่ต่ำที่สุดจากกระบวนการการสร้างคำตอบเริ่มต้น และกระบวนการ Recombination ต่อไป

กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดลอง F = 0.5 CR = 0.85, F = 2.43 CR = 0.7 และ F = 0.1 CR = 0.9 เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการ Recombination โดยทำการประยุกต์กระบวนการ Recombination 4 รูปแบบ คือ 1) วิธี Vector transition process 2) วิธี Vector exchange process 3) วิธี Vector insertion process และ 4) ผสมทั้ง 3 วิธี

ผู้วิจัยจะทำการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุด และในขั้นตอนนี้มีการใช้วิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One Move) และ วิธี 2-opt เพื่อปรับปรุงคำตอบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ถ้าโครโมโซมใหม่ดีกว่าโครโมโซมต้นแบบให้เลือกโครโมโซมใหม่เป็นประชากรเริ่มต้นในรุ่นถัดไป โดยกำหนดรอบคำนวณ 1,000 รอบ และทำการทดลอง 5 ครั้ง ผลการทดลองดังตารางที่ 6.16 และภาพที่ 6.4 Flow Chart กระบวนการทำงาน



ภาพที่ 6.4 Flow chart ขั้นตอน IDE โดยการประยุกต์ค่า Recombination ทั้ง 4 แบบ

ตารางที่ 6.16 ผลการทดลองพารามิเตอร์ Fix F และ CR

จำนวนการทดลอง	รอบคำนวณ 1,000 รอบ											
	F = 0.5, CR = 0.85				F = 2.34 , CR = 0.7				F = 0.1 , CR = 0.9			
	transition	**exchange**	**insertion**	**Mix**	**transition**	**exchange**	**insertion**	**Mix**	**transition**	**exchange**	**insertion**	**Mix**
1	231,098	225,309	231,260	232,411	233,833	235,215	234,886	234,533	224,199	227,710	222,448	227,274
2	230,883	226,748	227,641	228,715	236,487	235,386	233,269	233,480	226,697	224,821	224,085	226,997
3	229,278	233,429	229,740	228,133	230,829	237,186	233,826	235,623	223,217	227,141	226,265	224,748
4	228,213	229,304	232,285	235,557	237,013	236,911	229,075	230,443	226,143	225,674	224,813	225,569
5	230,063	224,840	228,464	228,909	232,831	235,758	234,113	233,392	226,659	225,259	223,388	228,858
เฉลี่ย	229,907	227,926	229,878	230,745	234,199	236,091	233,034	233,494	225,383	226,121	224,200	226,689

จากตาราง 6.16 ทำการทดลองรอบคำนวณ 1,000 รอบ โดยใช้โปรแกรม IDE โดยการประยุกต์กระบวนการ Recombination ด้วยวิธี Vector transition process วิธี Vector exchange process วิธี Vector insertion process และ ผสมทั้ง 3 วิธี แล้วทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี One Move และ วิธี 2-opt ให้พารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85, F = 2.43 CR = 0.7 และ F = 0.1 CR = 0.9 และปรับเปลี่ยนกระบวนการ Recombination ทั้ง 4 รูปแบบ และปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี One Move และ วิธี 2-opt ในการแก้ปัญหากรณีศึกษาการซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์เพื่อทำการหาต้นทุนการเดินทางที่ต่ำที่สุด พบว่า

(1) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85 พบว่า วิธี Vector transition process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 229,907 บาท วิธี Vector exchange process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 227,926 บาท วิธี Vector insertion process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 229,878 บาท และผสมทั้ง 3 วิธี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 230,745 บาท และวิธี Vector exchange process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด

(2) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 CR = 0.7 พบว่า วิธี Vector transition process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 234,199 บาท วิธี Vector exchange process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 236,091 บาท วิธี Vector insertion process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 233,034 บาท และผสมทั้ง 3 วิธี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 233,494 บาท และวิธี Vector insertion process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด

(3) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 พบว่า วิธี Vector transition process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 225,383 บาท วิธี Vector exchange process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 226,121 บาท วิธี Vector insertion process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 224,200 บาท และผสมทั้ง 3 วิธี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 226,689 บาท และวิธี Vector insertion process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด

(4) จากทั้ง 3 ค่าพารามิเตอร์ พบว่า ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด คือ ค่าพารามิเตอร์ F = 0.1, CR = 0.9 วิธี Vector insertion process ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 224,200 บาท

6.3.4 Improve Differential Evolution (IDE) โดยการประยุกต์กระบวนการ Recombination โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ

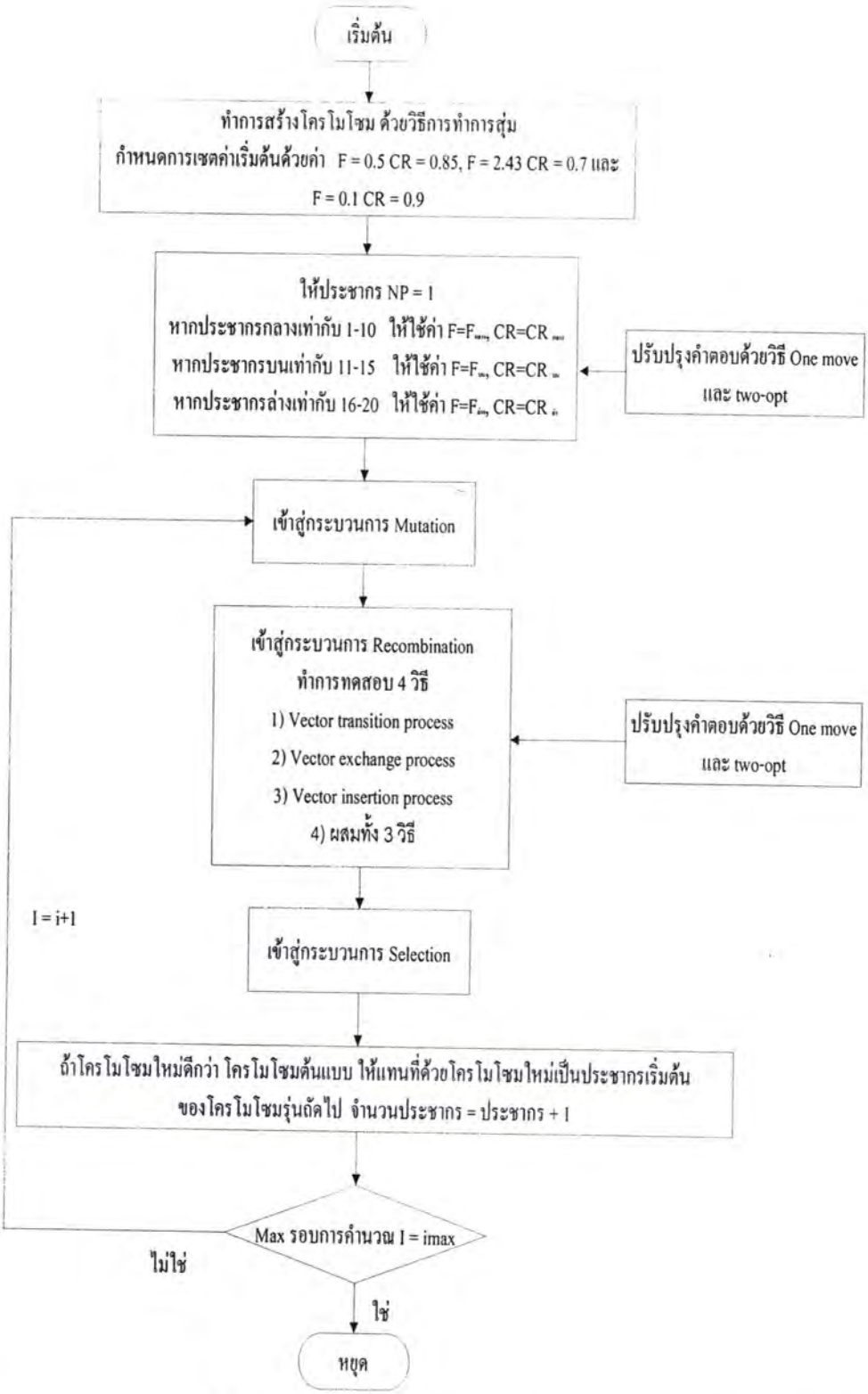
การประยุกต์ Differential Evolution (DE) โดยทำการปรับพารามิเตอร์ F และค่า CR ให้ปรับเปลี่ยนอัตโนมัติ โดยโปรแกรมจะทำการสุ่มค่า NP มาจำนวนทั้งหมด 20 โดยแบ่งกลุ่มประชากร NP 1-10 เป็นกลุ่มที่หนึ่งหรือกลุ่มประชากรกลาง NP 11-15 เป็นกลุ่มที่สองหรือกลุ่มประชากรบน และ NP 16-20 เป็นกลุ่มที่สามหรือกลุ่มประชากรล่าง ถ้าจำนวนที่สุ่มตรงกับข้อกำหนดใดก็ให้ทำการปรับค่าตามเงื่อนไขนั้น

(1) กลุ่มประชากรกลางเท่ากับ 1-10 ให้ใช้ค่า $F=F_{กลาง}$, $CR=CR_{กลาง}$

(2) กลุ่มประชากรบนเท่ากับ 11-15ให้ใช้ค่า $F=F_{บน}$, $CR=CR_{บน}$

(3) กลุ่มประชากรล่างเท่ากับ 16-20 ให้ใช้ค่า $F=F_{ล่าง}$, $CR=CR_{ล่าง}$

พอจัดกลุ่มของประชากรได้ ก็เข้าสู่กระบวนการ Mutation เพื่อหา เพื่อหาค่า Mutantจากนั้นเข้าสู่กระบวนการ Recombinationเพื่อหาค่า Trial Vector โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการ Recombination ซึ่งเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลายเพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ โดยทำการเซตค่าเริ่มต้นที่ F = 0.5 CR = 0.85, F = 2.43 CR = 0.7 และ F = 0.1 CR = 0.9 แล้วให้โปรแกรมทำการปรับค่าอัตโนมัติ เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์แล้วจึงเข้าสู่กระบวนการ Recombination โดยทำการประยุกต์กระบวนการ Recombination 4 รูปแบบ คือ 1) วิธี Vector transition process 2) วิธี Vector exchange process 3)วิธี Vector insertion process และ 4) ผสมทั้ง 3 วิธีผู้วิจัยจะทำการทดลองทั้ง 4 รูปแบบ เพื่อนำมาเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุด และในขั้นตอนนี้มีการใช้วิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One Move) และ วิธี 2-opt เพื่อปรับปรุงคำตอบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ถ้าโครโมโซมใหม่ดีกว่าโครโมโซมต้นแบบให้เลือกโครโมโซมใหม่เป็นประชากรเริ่มต้นในรุ่นถัดไป โดยกำหนดรอบคำนวณ 1,000 รอบ และทำการทดลอง 5 ครั้ง ผลการทดลองดังตารางที่ 6.17 และภาพที่ 6.5 แสดง Flow Chart กระบวนการทำงาน



ภาพที่ 6.5 Flow Chart ขั้นตอน IDE โดยการประยุกต์ค่า Recombination ทั้ง 4 วิธี และพารามิเตอร์ F กับ CR อัตโนมัติ

ตารางที่ 6.17 ผลการทดลองกระบวนการ Recombination โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ เซตค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85 เริ่มต้น

จำนวนการทดลอง	รอบคำนวณ 1,000 รอบ											
	F = 0.5 CR = 0.85											
	transition			exchange			insertion			Mix		
	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย
1	0.5	0.9	230,171	0.5	0.85	227,137	0.5	0.85	227,675	0.5	0.9	226,005
2	0.5	0.85	230,562	0.5	0.8	229,810	0.5	0.85	232,237	0.5	0.85	232,524
3	0.5	0.85	232,101	0.5	0.9	228,254	0.5	0.85	230,282	0.5	0.85	227,877
4	0.5	0.85	233,669	0.5	0.85	227,949	0.5	0.85	233,246	0.5	0.8	230,978
5	0.5	0.9	228,834	0.5	0.85	229,592	0.5	0.85	231,501	0.5	0.9	228,880
เฉลี่ย			231,067			228,548			230,988			229,253

ตารางที่ 6.18 ผลการทดลองกระบวนการ Recombination โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ เซตค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 CR = 0.7 เริ่มต้น

จำนวนการทดลอง	รอบคำนวณ 1,000 รอบ											
	F = 2.43 CR = 0.7											
	transition			exchange			insertion			Mix		
	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย
1	3.78	0.9	235,574	3.48	0.85	236,434	4.43	0.9	234,791	4.5	0.9	232,677
2	4.43	0.9	232,656	3.13	0.9	233,216	3.58	0.9	236,076	4.8	0.9	237,888
3	3.23	0.9	234,877	4.53	0.9	237,161	4.8	0.9	233,447	4.75	0.9	235,511
4	3.83	0.9	230,489	3.18	0.85	233,995	4.85	0.9	234,466	4.55	0.9	233,127
5	3.28	0.9	237,643	3.03	0.9	237,445	4.43	0.85	235,427	3.43	0.9	236,347
เฉลี่ย			234,247.8			235,650.2			234,841.4			235,110

ตารางที่ 6.19 ผลการทดลองกระบวนการ Recombination โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ เซตค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 เริ่มต้น

จำนวนการทดลอง	รอบคำนวณ 1,000 รอบ											
	F = 0.1 CR = 0.9											
	transition			exchange			insertion			Mix		
	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย	F	CR	ค่าใช้จ่าย
1	0.5	0.9	231,766	0.5	0.9	226,400	0.5	0.9	227,354	0.5	0.9	227,704
2	0.5	0.9	227,176	0.5	0.9	228,298	0.5	0.9	227,308	0.5	0.9	230,762
3	0.5	0.9	228,747	0.5	0.9	227,514	0.5	0.9	224,190	0.5	0.9	230,352
4	0.5	0.9	226,024	0.5	0.9	229,124	0.5	0.8	229,879	0.5	0.9	228,806
5	0.5	0.9	230,463	0.5	0.9	229,085	0.5	0.9	225,810	0.5	0.7	229,847
เฉลี่ย			228,835.2			228,084.2			226,908.2			229,494.2

จากตาราง 6.16 – 6.19 ทำการทดลองรอบคำนวณ 1,000 รอบ โดยใช้โปรแกรม DE โดยการประยุกต์กระบวนการ Recombination ด้วยวิธี Vector transition process วิธี Vector exchange process วิธี Vector insertion process และผสมทั้ง 3 วิธี แล้วทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี One Move และ วิธี 2-opt ให้เซตค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85, F = 2.43 CR = 0.7 และ F = 0.1 CR = 0.9 เริ่มต้นแล้วปรับอัตโนมัติ และปรับเปลี่ยนกระบวนการ Recombination ทั้ง 4 รูปแบบ และปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี One Move และ วิธี 2-opt ในการแก้ปัญหากรณีศึกษาการซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์เพื่อทำการหาต้นทุนการเดินทางที่ต่ำที่สุด พบว่า

(1) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85 เริ่มต้น พบว่า วิธี Vector transition process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 231,067 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9 วิธี Vector exchange process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 228,548 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.85 วิธี Vector insertion process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 230,988 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.85 และผสมทั้ง 3 วิธี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 229,253 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9และวิธี Vector exchange process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด

(2) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 CR = 0.7 เริ่มต้น พบว่า วิธี Vector transition process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 234,247 บาท และมีค่า F = 3.83 Cr = 0.9 วิธี Vector exchange process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 235,650 บาท และมีค่า F = 3.13 Cr = 0.9 วิธี Vector insertion process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 234,841 บาท และมีค่า F = 4.8 Cr = 0.9 และผสมทั้ง 3 วิธี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 235,110 บาท และมีค่า F = 4.5 Cr = 0.9 และ วิธี Vector transition process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด

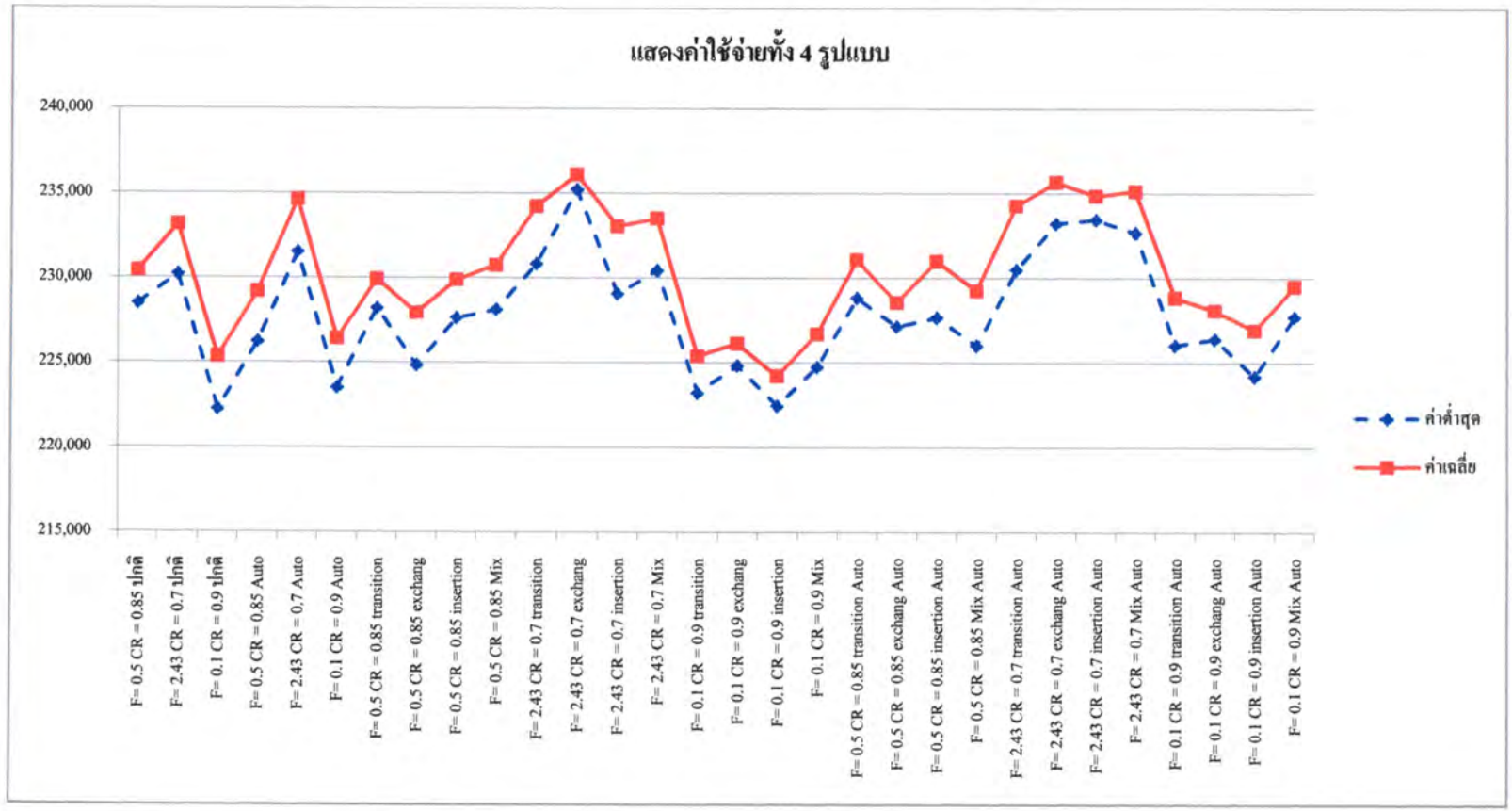
(3) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 เริ่มต้น พบว่า วิธี Vector transition process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 228,835 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9 วิธี Vector exchange process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 228,084 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9 วิธี Vector insertion process มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 226,908 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9 และผสมทั้ง 3 วิธี มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 229,494 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9และวิธี Vector insertion process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด

(4) จากทั้ง 3 ค่าพารามิเตอร์ พบว่า ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด คือ วิธี Vector insertion process ซึ่งมีค่าใช้จ่าย 228,835 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9

6.4 สรุปผลการการทดลองคำนวณโดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดลองโดยการประยุกต์ใช้วิธี Differential Evolution (DE) ในการแก้ปัญหางานซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในจังหวัดอุบลราชธานีในรูปแบบต่างๆ ทางผู้วิจัยจะสรุปผลการทดลองที่ได้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ สามารถสรุปได้ว่าการลดลองโดยใช้การประยุกต์กระบวนการ Recombination และ พารามิเตอร์ F กับ CR ปรับเปลี่ยนค่าอัตโนมัติได้ผลดี

ที่สุด ดังภาพที่ 6.6



ภาพที่ 6.6กราฟแสดงผลการทดลองค่าใช้จ่ายทั้ง 4 รูปแบบ

จากภาพที่ 6.6 พบว่า ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในการเดินทางไปซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์คือ 224,200 บาท ที่ค่าพารามิเตอร์ F= 0.1 CR = 0.9 ด้วยวิธี Vector insertion process แต่จากค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด พบว่า ที่ค่าพารามิเตอร์ F= 0.1 CR = 0.9 แบบปกติ มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดอยู่ที่ 222,260 บาท ผู้วิจัยจึงเลือกรูปแบบการทดลอง Improve Differential Evolution (IDE) โดยการประยุกต์กระบวนการ Recombination ด้วยวิธี Vector insertion process ที่ค่าพารามิเตอร์ F= 0.1 CR = 0.9 มาเป็นคำตอบในงานวิจัยเนื่องจากเป็นวิธีการที่ให้คำตอบเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยเลือกค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด คือ 222,448 บาท มีเส้นทางในการเดินทางทั้งหมด 39 เส้นทาง ระยะทาง 8,041 กิโลเมตร วันทำงาน 83 วัน พักค้างคืน 44 คืน ดังตารางที่ 6.20

ตารางที่ 6.20 ตารางการเดินทางและระยะทางที่ดีที่สุด

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	พักค้างคืน (คืน)	เมืองที่พัก
1	1-282-178-209-216-136-204-6-298-22-1	145.2	1	136
2	1-123-130-149-35-246-268-94-303-47-291-195-304-1	282.2	2	35, 303
3	1-146-191-243-111-184-17-157-238-38-232-183-142-1	391.4	2	111, 238
4	1-295-168-97-10-68-13 133-185-92-1	214.7	1	10
5	1-24-105-283-296-80-18-112-34-1	185	1	80
6	1-250-59-155-234-45-156-153-1	223.7	1	155
7	1-293-98-102-132-1	191.2	-	-
8	1-108-107-50-294-31-190-1	147.4	1	249
9	1-249-273-210-300-264-135-1	270.2	1	210
10	1-125-116-200-8-227-49-219-1	398	1	8
11	1-266-258-301-1	171.7	-	-
12	1-239-193-313-75-316-245-52-101-141-276-278-310-40-1	213.7	2	316, 141

ตารางที่ 6.20 ตารางการเดินทางและระยะทางที่ดีที่สุด (ต่อ)

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	พักค้างคืน (คืน)	เมืองที่พัก
13	1-206-99-179-19-96-61-23-231-88-33-90-1	279.4	2	179, 231
14	1-164-213-86-285-192-290-309-281-32-225-1	185.3	1	192
15	1-235-233-51-166-57-159-138-198-244-39-208-187-128-53-121-110-182-1	341.2	3	57, 244 , 128
16	1-218-95-170-220-103-79-16-307-7-1	191.7	1	103
17	1-9-85-167-26-181-302-169-1	152	1	26
18	1-212-288-43-289-1	141.7	-	-
19	1-203-2-202-1	143.8	-	-
20	1-119-41-37-134-1	124.4	-	-
21	1-158-3-275-269-180-60-109-242-223-81-297-77-254-1	304.8	3	275, 109, 81
22	1-199-186-194-56-197-82-1	223	1	194
23	1-36-205-196-272-201-222-284-5-1	184.7	1	196
24	1-274-292-229-263-28-189-236-27-1	72.7	1	263
25	1-217-54-211-63-15-67-72-1	251.1	1	63
26	1-76-176-29-137-122-62-25-256-252-1	136.6	1	137
27	1-89-230-71-172-55-241-120-131-46-69-143-58-1	288.4	2	172, 131
28	1-44-267-152-160-1	111.1	-	-
29	1-150-106-311-145-306-144-1	109.6	1	145
30	1-259-113-117-66-271-308-299-127-104-154-129-261-163-215-228-312-1	315.4	3	271, 104 , 163
31	1-247-84-161-277-11-1	74.1	1	161

ตารางที่ 6.20 ตารางการเดินทางและระยะทางที่ดีที่สุด (ต่อ)

เส้นทาง	การเดินทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	พักค้างคืน (คืน)	เมืองที่พัก
32	1-147-305-260-151-139-251-48-78-30-221-214-1	230.3	2	260, 78
33	1-64-171-255-265-93-87-207-174-1	231	1	93
34	1-173-226-188-177-1	114.2	-	-
35	1-140-165-237-124-114-279-1	216.8	1	237
36	1-91-280-240-287-262-175-270-257-1	206	1	287
37	1-100-74-286-148-20-314-317-315-224-118-73-21-12-65-1	244.9	2	148, 73
38	1-115-248-126-1	172.6	-	-
39	1-162-253-14-4-70-83-42-1	159.8	1	4

ตารางที่ 6.21 ตารางการคำนวณค่าใช้จ่าย รพ.สต.จำนวน 316 แห่ง

ประเภท	ต้นทุน	ระยะทาง/จำนวนเที่ยว/จำนวนคืนที่พัก	รวม (บาท)
ค่าน้ำมัน(กิโลเมตร)+ค่าบำรุงรักษารถ	5.822	8,041	46,814.702
ค่าแรง/วัน	1,851	83 (39 เส้นทาง)	153,633
ค่าที่พัก/คืน	500	44	22,000
ค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด			222,448

บทที่ 7
การแก้ปัญหาการจัดลำดับการเดินทาง กรณีศึกษาโดยใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

ในบทนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอเกี่ยวกับการทดลองของวิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (Differential Evolution: DE) โดยใช้โปรแกรม Visual studio C++ ในการประมวลผล ของการแก้ปัญหาการจัดลำดับการเดินทางในงานซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในจังหวัดอุบลราชธานี โดยจะทำการทดสอบกับปัญหาจริงในกรณีศึกษา ขั้นตอนของกระบวนการนำวิธี DE มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

7.1 วิธีการจัดลำดับการเดินทางโดยประยุกต์ใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (Differential Evolution: DE) เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัย

จากการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ พบประเด็นปัญหาเกี่ยวกับการจัดลำดับงานและเส้นทางการเดินทางในการเดินทางไปให้บริการตามโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบลยังไม่มีรูปแบบการวิเคราะห์ที่แน่นอน โดยการเลือกเส้นทางและลำดับงานในการให้บริการใช้วิธีการคำนวณด้วยมือซึ่งเป็นรูปแบบและวิธีการที่ขึ้นอยู่กับทักษะและความชำนาญของพนักงาน

จากการจัดเส้นทางการเดินทาง ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 6 ตารางที่ 6.20 พบว่า มีเส้นทางในการเดินทางทั้งหมด 39 เส้นทาง ระยะทาง 8,041 กิโลเมตร วันทำงาน 83 วัน พักค้างคืน 44 คืน ผู้วิจัยจึงนำหลักการของวิธีวิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (Differential Evolution: DE) มาทำการจัดลำดับการเดินทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้จำนวนสัปดาห์ในการเดินทางน้อยที่สุด

7.1.1 การให้รหัสเวคเตอร์

การสร้างคำตอบเริ่มต้นของวิธี DE ในงานวิจัยนี้เป็นการสร้างคำตอบใหม่โดยใช้ค่าที่ได้จากการสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยใช้โครโมโซมเริ่มต้น NP เท่ากับ 10 แล้วจะเลือกโครโมโซมมาเพียง 1 โครโมโซมจากจำนวน 10 โครโมโซม ซึ่งได้ผ่านการพิจารณาจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์แล้วว่าเป็นโครโมโซมที่ดีที่สุด มาเป็นโครโมโซมเริ่มต้นในการพัฒนาคำตอบใน DE ซึ่งค่าทั้งหมดจะถูกเรียกว่า Trial Vector และตัวเลขสุ่มแต่ละตำแหน่งใน Trial Vector จะถูกเรียกว่า Target Vector โดยกำหนดค่า NP ของ DE มีจำนวนเท่ากับ 10 เช่นเดียวกับการสร้างคำตอบเริ่มต้น หมายความว่า

ทุกค่าของ NP จะเริ่มต้นด้วย Trial Vector ชุดเดียวกันสามารถแสดงตัวอย่างลักษณะของตาราง ตัวเลขสุ่ม (0.0-1.0) Trial Vector ได้ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 โครโมโซม Trial Vector ในการหาคำตอบเริ่มต้นของ NP#1- NP#10 39 เส้นทาง

NP / Trial Vector	Target Vector										
	1	**2**	**3**	**4**	**5**		**35**	**36**	**37**	**38**	**39**
1	0.30	0.21	0.45	0.13	0.90	...	0.89	0.90	0.56	0.30	0.43
2	0.80	0.21	0.21	0.95	0.38	...	0.90	0.38	0.74	0.80	0.56
3	0.30	0.13	0.44	0.52	0.37	...	0.38	0.37	0.26	0.58	0.46
4	0.45	0.43	0.90	0.56	0.46	...	0.37	0.46	0.21	0.61	0.80
5	0.52	0.56	0.38	0.74	0.39	...	0.30	0.39	0.21	0.96	0.30
6	0.39	0.99	0.37	0.26	0.56	...	0.46	0.21	0.46	0.79	0.43
7	0.56	0.85	0.46	0.21	0.74	...	0.30	0.74	0.95	0.37	0.56
8	0.90	0.13	0.74	0.90	0.13	...	0.45	0.11	0.52	0.85	0.46
9	0.38	0.95	0.13	0.38	0.95	...	0.79	0.38	0.95	0.30	0.80
10	0.37	0.52	0.95	0.37	0.52	...	0.37	0.37	0.52	0.80	0.30

7.1.2 กระบวนการถอดรหัสเวคเตอร์

ทำการสุ่ม NP ของ DE มาได้แล้วก็ทำการเรียงจำนวนจากมากไปหาน้อยเพื่อทำการจัดลำดับการเดินทางก่อน-หลัง ดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 โครโมโซม Trial Vector เริ่มต้นของ NP#1-NP#20 เมื่อมีการจัดลำดับการเดินทาง

NP_1 เดิม		NP_1 จากมากไปน้อย	
เส้นทาง	เลขสุ่ม	เส้นทาง	เลขสุ่ม
1	0.32	21	1.00
2	0.58	11	0.99
3	0.36	30	0.99
...	...	...	...
38	0.52	1	0.08
39	0.99	35	0.03

เมื่อได้ลำดับการเดินทางแล้ว นำมาทำการคำนวณจำนวนวันในการดำเนินการ โดยที่พนักงานสามารถปฏิบัติงานได้ 5 วัน/สัปดาห์ หยุดวันเสาร์และวันอาทิตย์ ดังแสดงในตารางที่ 7.3

ตารางที่ 7.3 ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นทางใน NP#1 ในเดือน มีนาคม- กรกฎาคม

สัปดาห์		วัน						
		จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
1	วันที่						1	2
	เส้นทาง							
2	วันที่	3	4	5	6	7	8	9
	เส้นทาง	21	21	21	21	7		
3	วันที่	10	11	12	13	14	15	16
	เส้นทาง	30	30	30	30	ว่าง		
4	วันที่	17	18	19	20	21	22	23
	เส้นทาง	15	15	15	15	7		
22	วันที่	20	21	22	23	24	25	26
	เส้นทาง	13	13	13	14	14		
23	วันที่	27	28	29	30	31	1	2
	เส้นทาง	1	1	35	35	ว่าง		

เมื่อทำการคำนวณค่า NP#1-10 จะได้คำตอบลำดับเดินทางเริ่มต้นทั้งหมด 23 สัปดาห์

ตารางที่ 7.4 ตัวอย่างการถอดรหัสเวกเตอร์

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0

7.1.3 กระบวนการ Recombination (การปรับเปลี่ยนเวกเตอร์)

เมื่อทำกระบวนการ Mutation จนหมดทุกค่าของ Mutant Vector และทุกคำตอบ NP ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ เพื่อหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ โดยกระบวนการ Trial Vector ($U_{i,G+1}$) เพื่อมาใช้ในการตัดสินใจจากสมการที่ (7.2) และ (7.3)

$$V_{ji,G+1} \quad \text{if (randb (j)} \leq \text{CR) or j = rnbr(i)} \tag{7.2}$$

$$X_{ji,G+1} \quad \text{if (randb(j)} > \text{CR or j} \neq \text{rnbr(i)} \tag{7.3}$$

โดยหากทำการเปรียบเทียบค่าของ Trial Vectorกับค่า CR (Crossover Rate) โดยการเปรียบเทียบทุกตำแหน่งที่อยู่ใน Target Vector ของแต่ละค่าของ NP โดยที่ค่าของTrial Vector

เป็นตารางตัวเลขสุ่ม 0 – 1 โดยหากเปรียบเทียบแล้ว พบว่า ค่าของ Trial Vector มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าของ CR จะทำให้การเลือกในตำแหน่งนั้นๆ เป็นค่าของ Mutant Vector ตามเงื่อนไขในสมการที่ (7.2) หากมีค่ามากว่าค่าของ CR ให้ใช้ค่า Target Vector ค่าเดิมสมการที่ (7.3) จากตารางที่ 7.7 จะทำการสุ่มตัวเลข 0 - 1 แล้วทำการเปรียบเทียบกับค่า CR= 0.90 ถ้าค่าสุ่มน้อยกว่า 0.90 Trial Vector จะมาจากค่า Mutant Vector แต่ถ้าตัวเลขสุ่มมีค่ามากกว่า CR = 0.90 ค่า Trial Vector จะมาจากค่า Target Vector ตามเงื่อนไขในสมการ

ตารางที่ 7.5 ตัวอย่างกระบวนการ Recombination เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ CR=0.9

	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**...**	**315**	**316**
Target Vector	1.15	0.04	0.39	0.79	0.40	...	0.84	0.04
Mutant Vector	-0.05	0.45	0.30	0.33	0.11	...	0.55	0.45
CR = 0.9	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	...	0.90	0.90
rand (0-1)	0.22	0.98	0.99	0.41	0.78	...	0.58	0.98
Trial Vector	-0.05	0.04	0.39	0.33	0.11	...	0.55	0.04

เมื่อเราได้ Trial Vector ครบทุกจำนวนแล้ว จะทำการเรียงค่า Trial Vector จากมากไปหาน้อย จะได้ลำดับการเดินทางก่อน-หลัง ดังตารางที่ 7.8

ตารางที่ 7.6 โครโมโซม Trial Vector ของ NP#1-NP#10 เมื่อมีการลำดับการเดินทาง

NP_1 เดิม		**NP_1 เรียงมากไปน้อย**	
ลำดับ	**เลขสุ่ม**	**ลำดับ**	**เลขสุ่ม**
1	0.33	15	1.08
2	0.55	7	0.99
3	0.75	21	0.88
...	...	...	...
37	-0.01	12	-0.03
38	1.15	1	-0.05
39	0.20	35	-0.09

เมื่อได้ลำดับการเดินทางของแต่ละเส้นทางแล้ว นำมาทำการคำนวณจำนวนวันในการดำเนินการ โดยที่พนักงานดำเนินการ 5 วัน/สัปดาห์ หยุดวันเสาร์และวันอาทิตย์

ตารางที่ 7.7 ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นทางใน NP#1

สัปดาห์		วัน						
		จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
1	วันที่						1	2
	เส้นทาง							
2	วันที่	3	4	5	6	7	8	9
	เส้นทาง	15	15	15	15	7		
3	วันที่	10	11	12	13	14	15	16
	เส้นทาง	21	21	21	21	11		
4	วันที่	17	18	19	20	21	22	23
	เส้นทาง	1	1	14	14			
19	วันที่	20	21	22	23	24	25	26
	เส้นทาง	13	13	13	35	35		
20	วันที่	27	28	29	30	31	1	2
	เส้นทาง	32	32	32	ว่าง	ว่าง		

จากตารางที่ 7.7 พบว่าการจัดลำดับการเดินทาง สามารถจัดลำดับได้ทั้งหมด 20 เส้นทาง วันทำงานทั้งสิ้น 83 วัน

ตารางที่ 7.8 ตัวอย่างการถอดรหัสเวกเตอร์

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.1.4 กระบวนการ Selection

ในกระบวนการขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) โดยในงานวิจัยนี้ใช้เพื่อจำนวนสัปดาห์ที่สุดในการเดินทางซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์ ในกระบวนการ Selection เราจะเปรียบเทียบจำนวนสัปดาห์ที่ต่ำที่สุดในกระบวนการการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Number of Population: NP) และกระบวนการ Recombination เมื่อได้คำตอบทั้งสองกระบวนการแล้วเราจะทำการเปรียบเทียบจากผลของคำตอบที่สามารถทำให้สมการวัตถุประสงค์ด้านต่ำที่สุดจะทำการเลือกโครโมโซมนั้นเป็นคำตอบเพื่อจะถูกนำไปหาคำตอบในรุ่นต่อไปดำเนินการซ้ำจากกระบวนการ Mutation, Recombination และ Selection จนครบทุก NP โดยที่ตัวอย่างการคัดเลือกประชากรเพื่อใช้เป็นคำตอบ

ตารางที่ 7.9 ตัวอย่างการคัดเลือกประชากรในปัญหา Minimizeของ NP#1-10

NP#	Target Vector	Trial Vector	Selection
1	23	20	20
2	22	17	17
3	18	19	18
...	...	...	...
8	19	18	18
9	20	20	20
10	20	21	20

จากตารางที่ 7.9 จำนวนสัปดาห์ในการเดินทางในแต่ละ NP จะสามารถหาได้จาก Target Vector และ Trial Vector เมื่อเราทราบค่าทั้งสองกระบวนการแล้วก็ทำการเปรียบเทียบจำนวนสัปดาห์ที่มีค่าน้อยที่สุด จากนั้นก็ทำการเลือก (Selection) จำนวนสัปดาห์ที่มีค่าน้อยที่สุดในแต่ละ NP#1-100 เลือกโครโมโซมนั้นเป็นคำตอบเพื่อจะถูกนำไปใช้หาคำตอบในรุ่นต่อไป โดยดำเนินการซ้ำจากกระบวนการ Mutation, Recombination และ Selection จนครบทุก NP และเก็บค่าที่น้อยที่สุดในไว้เป็น Global optimal หรือคำตอบที่ดีที่สุดในตารางคือค่า 17 สัปดาห์

7.2 ผลการคำนวณโดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น เพื่อแก้ปัญหาในงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น (DE) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัย โดยทำการปรับปรุงค่า Weighting Factor (F) และค่าของ Crossover Rate (CR) เป็นทั้งค่าคงที่ เพื่อนำมาเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุด

ในขั้นตอนนี้ทางผู้วิจัยได้พัฒนาโปรแกรม Differential Evolution (DE) โดยใช้โปรแกรม visual studio C++ ในการพัฒนา เพื่อการหาคำตอบที่รวดเร็วและแม่นยำ การทดลองจะเป็นไปตามกระบวนการ DE ทุกประการ เริ่มต้นโดยการสุ่ม NP มาจำนวน 10 ค่า และทำการกำหนดค่า F และ CR โดยใช้ค่า F = 0.1 และ CR = 0.9 เมื่อกำหนดพารามิเตอร์แล้วจะเข้าสู่กระบวนการ Mutation เพื่อหาค่า Mutant Vector และเข้าสู่กระบวนการ Recombination เพื่อหาค่า Trial Vector ในขั้นตอนนี้ได้นำวิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One Move) และ วิธี 2-opt เพื่อปรับปรุงคำตอบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น หากโครโมโซมใหม่ดีกว่าโครโมโซมต้นแบบให้ทำการเลือกโครโมโซมใหม่เป็นประชากรเริ่มต้นในรุ่นถัดไป ผู้วิจัยจึงทำการทดลองโดยกำหนดรอบในการ

ทดลอง 1,000 รอบ และทำการทดลองซ้ำ 10 ครั้ง เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดที่ใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเดินทางไปซ่อมบำรุงอุปกรณ์และเครื่องมือแพทย์

ตารางที่ 7.10 ผลการทดลองแบบปกติ F = 0.1 CR = 0.9

จำนวนการทดลอง	จำนวนสัปดาห์ (รอบคำนวณ 1,000 รอบ)	
	F = 0.1 CR = 0.9	**Run Time (ss)**
1	18	11.2
2	21	10.1
3	19	10.8
4	19	12.4
5	17	10.4
6	18	12.0
7	18	11.4
8	19	12.4
9	20	11.2
10	20	13.1

7.3 สรุปผลการการทดลองคำนวณโดยใช้โปรแกรมดิฟเฟอร์เรนเชี่ยล อีโวลูชั่น

จากการทดลองโดยการประยุกต์ใช้วิธี Differential Evolution (DE) ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในจังหวัดอุบลราชธานี โดยไม่ได้นำวันหยุดประจำปีมาใช้ในการทดลอง จำนวน 39 เส้นทาง สามารถสรุปได้ดังนี้ เส้นทางในการเดินทางทั้งหมด 39 เส้นทาง ระยะทาง 8,041 กิโลเมตร วันทำงาน 83 วัน พักค้างคืน 44 คืน จัดลำดับการเดินทางได้ทั้งหมด 17 ลำดับ หรือ ใช้เวลาในการเดินทางไปซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ จำนวน 17 สัปดาห์ ดังแสดงในตารางที่ 7.11

ตารางที่ 7.11 การจัดลำดับการเดินทางไปซ่อมเครื่องมือแพทย์

สัปดาห์		วัน						
		จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
1	วันที่						1	2
	เส้นทาง							
2	วันที่	3	4	5	6	7	8	9
	เส้นทาง	21	21	21	21	11		
3	วันที่	10	11	12	13	14	15	16
	เส้นทาง	30	30	30	30	ว่าง		
4	วันที่	17	18	19	20	21	22	23
	เส้นทาง	38	5	5	10	10		
5	วันที่	24	25	26	27	28	29	30
	เส้นทาง	17	17	25	25	18		
6	วันที่	31	1	2	3	4	5	6
	เส้นทาง	1	1	35	35	34		
7	วันที่	7	8	9	10	11	12	13
	เส้นทาง	14	14	13	13	13		
8	วันที่	14	15	16	17	18	19	20
	เส้นทาง	27	27	27	6	6		
9	วันที่	21	22	23	24	25	26	27
	เส้นทาง	3	3	3	22	22		
10	วันที่	28	29	30	1	2	3	4
	เส้นทาง	33	33	32	32	32		
11	วันที่	5	6	7	8	9	10	11
	เส้นทาง	31	31	37	37	37		
12	วันที่	12	13	14	15	16	17	18
	เส้นทาง	29	29	26	26	19		

ตารางที่ 7.11 การจัดลำดับการเดินทางไปซ่อมเครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

สัปดาห์		วัน						
		จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์	อาทิตย์
13	วันที่	19	20	21	22	23	24	25
	เส้นทาง	8	8	4	4	28		
14	วันที่	26	27	28	29	30	31	1
	เส้นทาง	39	39	9	9	ว่าง		
15	วันที่	2	3	4	5	6	7	8
	เส้นทาง	12	12	12	24	24		
16	วันที่	9	10	11	12	13	14	16
	เส้นทาง	2	2	2	16	16		
17	วันที่	16	17	18	19	20	21	22
	เส้นทาง	23	23	36	36	20		

จากผลการทดลองผู้วิจัยนำผลมาเปรียบเทียบกับวิธีการดำเนินการในปัจจุบัน ซึ่งในปัจจุบันพนักงานเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์วันละ 2 แห่ง จึงใช้เวลาในการดำเนินการ 48 สัปดาห์/ปี ดังตารางที่ 7.12

ตารางที่ 7.12 ตารางเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหา

ผล / วิธี	ปัจจุบัน	DE	%Gap
สัปดาห์	48	17	64.58

จากตารางที่ 7.12 พบว่า วิธีการดำเนินการในปัจจุบันที่พนักงานเดินทางไปทำการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์วันละ 2 แห่ง ใช้เวลาในการดำเนินการ 48 สัปดาห์/ปี แต่จากการทดลองโดยการประยุกต์ใช้วิธี Differential Evolution (DE) ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ในจังหวัดอุบลราชธานี จัดลำดับการเดินทางได้ทั้งหมด 17 ลำดับ หรือใช้เวลาในการเดินทางไปซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ จำนวน 17 สัปดาห์

บทที่ 8
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษารูปแบบปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินรถแบบต่อเนื่องในการเดินไปซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมือแพทย์ มีวัตถุประสงค์ คือ ค่าใช้จ่ายรวมในการเดินทางและปฏิบัติงานงานน้อยที่สุด ซึ่งปัญหามีความซับซ้อนในรายละเอียดของการทำงานในชีวิตจริง และเป็นรูปแบบปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดของโครงข่าย ที่มีความซับซ้อนของการคำนวณในระดับ NP-Hard โดยในเบื้องต้นได้ทำการสำรวจทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเพื่อศึกษารูปแบบ ลักษณะและแนวทางแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในภาพรวม ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถได้รับความสนใจศึกษาแยกย่อยออกไปอย่างหลากหลายตามแง่มุมเฉพาะของระบบงาน ก่อให้เกิดรูปแบบที่แตกต่างกันของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถที่ได้รับความสนใจมากที่สุดคือ Traveling Salesman Problem และ Vehicle Routing Problem สำหรับวิธีการแก้ไขปัญหา ของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 แนวทางหลัก คือ วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก และวิธีการหาคำตอบแบบเมตาฮิวริสติก

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์และศึกษารูปแบบปัญหาภายใต้ระบบที่เป็นแบบต่อเนื่อง ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการหาคำตอบจะแตกต่างจากรูปแบบมาตรฐาน กล่าวคือ จะนำเวลาในการเดินทางและเวลาในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์มากำหนดเป็นความจุแทน และต้องทำการตัดสินใจในเวลาจริง เพื่อกำหนดเส้นทางการเดินทางให้สอดคล้องกับเงื่อนไขความจุของรถที่ใช้ในการเดินทาง โดยแนวทางแก้ปัญหาได้ออกแบบกระบวนการทำงานของฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติกที่นำเสนอ คือ กระบวนการจัดเส้นทาง โดยในกระบวนการจัดเส้นทางนั้นจะนำเอาหลักการประยุกต์กระบวนการ Recombination ด้วยวิธี Vector transition process วิธี Vector exchange process วิธี Vector insertion process และผสมทั้ง 3 วิธี มาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อให้สามารถตอบสนองกับการเปลี่ยนแปลงของปัญหาที่รวดเร็ว และสามารถให้คุณภาพของคำตอบที่ดี ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้วิธีเมตาฮิวริสติกที่มีชื่อเรียกว่า "Differential Evolution (DE)" เพื่อแก้ปัญหาของกรณีศึกษานี้

งานวิจัยนี้ได้มีการประยุกต์ใช้ตัวแบบคณิตศาสตร์ (math model) เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมือแพทย์ โดยในกรณีศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลจาก

แหล่งข้อมูลปฐมภูมิ คือ จากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี และสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ในเขตพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี และใช้ข้อมูลจากแหล่งข้อมูลทุติยภูมิอื่นๆ ประกอบ โดยการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างแบบจำลองปัญหาและปัญหาจริงจากกรณีศึกษาที่พัฒนาขึ้นในการแก้ปัญหาแล้วประมวลผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V. 11 กับวิธีฮิวริสติก กับ วิธีการ Differential Evolution (DE) และวิธีการ Improve Differential evolution (IDE) โดยใช้โปรแกรม Visual Basic C++ ในการประมวลผล

ในบทนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการทดลอง จากการวิเคราะห์ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ ทั้ง 3 วิธี ซึ่งจะประกอบด้วย 1) การหาคำตอบโดยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป Lingo Version 11 กับการจำลองปัญหาขนาดเล็ก 5, 10 กับ วิธีการ Differential evolution (DE) กับการจำลองปัญหาขนาดเล็ก 5, 10 2) วิธีการฮิวริสติก และ 3) วิธีการ Differential evolution (DE) กับ วิธีการ Improve Differential evolution (IDE) กับข้อมูลจริงในกรณีศึกษาโดยทำการ เปรียบเทียบกันคำตอบแล้วพบว่า

8.1 เปรียบเทียบผลการทดลอง

จากการทดลองจะทำการจากการเปรียบเทียบผลการทดลอง ดังนี้

8.1.1 ซอฟท์แวร์สำเร็จรูป Lingo Version 11 กับการจำลองปัญหาขนาดเล็ก 5, 10 กับวิธีการ Differential evolution (DE) กับการจำลองปัญหาขนาดเล็ก 5, 10

จากการจำลองปัญหาขนาดเล็ก 5 จำนวน 10 ชุดข้อมูล เมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนในการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์กับปัญหาที่ได้จำลองขึ้นก็จะเห็นได้ว่าทั้ง 10 ชุดข้อมูล จะให้ค่าต้นทุนที่เท่ากัน ทั้งการประมวลผลโดยใช้ซอฟท์แวร์สำเร็จรูป Lingo Version 11 และวิธีการ Differential evolution (DE) โดยปัญหาขนาดเล็ก 5 ชุดที่ 1 - ชุดที่ 10 มีค่าใช้จ่ายดังนี้ 7,547.6, 7,646.5, 6,264.8, 5,438.7, 8,947.12, 5,643.05, 8,267.22, 9,177.67, 5,725.73 และ 8,738.55 บาท ตามลำดับ

ปัญหาขนาด 10 จำนวน 5 ชุดข้อมูล เมื่อพิจารณาในด้านต้นทุนในการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์กับปัญหาที่ได้จำลองขึ้นก็จะเห็นว่าปัญหาขนาด 10 เมือง ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ จึงทำการหาค่า Objective Value แทน โดยทำการรันโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo Version 11 ด้วยเวลา 24 ชั่วโมง ทำให้มีเปอร์เซ็นความแตกต่างกันดังนี้ 0.64, 0.00, 0.77, 1.56 และ 0.04 ตามลำดับ

ถ้าพิจารณาในด้านเวลากับการจำลองปัญหาขนาดเล็กจะเห็นได้ว่าวิธีการ Differential evolution ใช้เวลาน้อยสุด เมื่อเทียบกับวิธีการค้นหาคำตอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป Lingo Version 11

จากผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผลกับปัญหาขนาดเล็กขนาด 5, 10 พอจะสรุปได้ว่าคำตอบจากวิธีการค้นหาคำตอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป Lingo Version 11 จะใช้เวลาในการคำนวณหาคำตอบมากและคำตอบที่ได้ในทุกกรณีการจำลองชุดคำตอบจะให้ค่าคำตอบเป็น Local Optimization ส่วนวิธีการ Differential evolution (DE) ที่ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีการค้นหาคำตอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป Lingo Version 11

8.1.2 วิธีการฮิวริสติก

ในการประมวลผลกับปัญหาจริงจากกรณีศึกษาการแก้ปัญหาการการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ ที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ โดยใช้วิธีการฮิวริสติกประกอบด้วย วิธี Clark-Wright Saving Heuristic วิธี Nearest Neighbor Heuristics และวิธี Cluster First Route Second มาทำการเปรียบเทียบคำตอบโดยพบว่าวิธีการ Clark-Wright Saving Heuristic

จากผลการทดลองพบว่า วิธี Clark-Wright Saving Heuristic มีจำนวนเที่ยวในการเดินทาง 83 รอบ จำนวนวันทำงาน 95 วัน จำนวนวันพักค้างคืน 44 คืน ระยะทางรวม 13,543 กิโลเมตร และมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ต่ำสุด 260,692.35 บาท

8.1.3 วิธีการ Differential evolution (DE) กับวิธีการ Improve Differential evolution (IDE)

ในการประมวลผลกับปัญหาจริงจากกรณีศึกษาการแก้ปัญหาการการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ ที่เป็นปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งจะทำการวนรอบซ้ำในการประมวลผลในการหาคำตอบที่ 1,000 รอบ โดยใช้วิธีการ Differential evolution (DE) กับวิธีการ Improve Differential evolution (IDE) ที่ประยุกต์กระบวนการ Recombination ด้วยวิธี Vector transition process วิธี Vector exchange process วิธี Vector insertion process และผสมทั้ง 3 วิธี ดังตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 สรุปผลการทดลองด้วยวิธี DE และ IDE

วิธี	Differential Evolution (DE)		Improve Differential Evolution		
	พารามิเตอร์	เฉลี่ย	พารามิเตอร์	เฉลี่ย	วิธี
F และ CR คงที่	F = 0.5 CR = 0.85	230,414	F = 0.5 CR = 0.85	227,926	Vector exchange process
	F = 2.43 CR = 0.7	233,142	F = 2.43 CR = 0.7	233,034	Vector insertion process
	F = 0.1 CR = 0.9	225,335	F = 0.1 CR = 0.9	224,200	Vector insertion process
ปรับ F และ CR อัตโนมัติ	F = 0.5 Cr = 0.85	229,181	F = 0.5 Cr = 0.85	228,548	Vector exchange process
	F = 4.9 Cr = 0.85	234,608	F = 4.5 Cr = 0.9	234,248	Vector transition process
	F = 0.5 Cr = 0.9	226,412	F = 0.5 Cr = 0.9	226,908	Vector insertion process

จากตารางที่ 8.1 สามารถสรุปได้ดังนี้

8.1.3.1 วิธี Differential Evolution (DE) แบบคลาสสิก โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ F และ CR คงที่ พบว่า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85 มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด คือ 230,414 บาท กำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 CR = 0.7 มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด คือ 233,142 บาท กำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด คือ 225,335 บาท และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเฉลี่ย 225,335 บาท ที่ค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9

8.1.3.2 วิธี Differential Evolution (DE) แบบคลาสสิก โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ พบว่า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85 เริ่มต้น มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด คือ 229,181 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.85 กำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 CR = 0.7 เริ่มต้น มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด คือ 234,608 บาท และมีค่า F = 4.9 Cr = 0.85 กำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 เริ่มต้น มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด คือ 226,412 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9 และมีค่าใช้จ่ายต่ำสุดเฉลี่ย 226,412.20 บาท

8.1.3.3 วิธี Improve Differential Evolution (IDE) โดยการประยุกต์กระบวนการ Recombination โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ F และ CR คงที่ พบว่า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.5 CR = 0.85 วิธี Vector exchange process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 227,926 บาท การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 , CR = 0.7 วิธี Vector insertion process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 233,034 บาท การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 วิธี Vector insertion process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 224,200 บาท

8.1.3.4 วิธี Improve Differential Evolution (IDE) โดยการประยุกต์กระบวนการ Recombination โดยปรับพารามิเตอร์ F และ CR อัตโนมัติ พบว่า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.5

CR = 0.85 เริ่มต้น วิธี Vector exchange process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 228,548 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.85 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 2.43 CR = 0.7 เริ่มต้น วิธี Vector transition process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 234,248 บาท และมีค่า F = 4.5 Cr = 0.9 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ F = 0.1 CR = 0.9 เริ่มต้น วิธี Vector insertion process เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด โดยมีค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 226,908 บาท และมีค่า F = 0.5 Cr = 0.9

8.1.3.5 วิธีการ Improve Differential evolution (IDE) ด้วยวิธี Vector insertion process ที่ค่าพารามิเตอร์ F= 0.1 CR = 0.9 เป็นวิธีการที่ให้คำตอบเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด จึงเลือกค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด คือ 222,448 บาท มีเส้นทางในการเดินทางทั้งหมด 39 เส้นทาง ระยะทาง 8,041 กิโลเมตร วันทำงาน 83 วัน พักค้างคืน 44 คืน

8.1.3.6 การจัดลำดับเส้นทางการเดินทางด้วยวิธี วิธี Differential Evolution จากทั้งหมด 39 เส้นทาง สามารถจัดลำดับการเดินทางได้ 17 ลำดับหรือใช้เวลาในการเดินทางไปซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ 17 สัปดาห์ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับวิธีในปัจจุบันพบว่าสามารถลดจำนวนสัปดาห์ในการเดินทางลง 64.58 %

8.2 สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองพบว่า

8.2.1 เมื่อทำการคำนวณด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V. 11 จากผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผลกับปัญหาขนาดเล็กขนาด 5, 10 พอจะสรุปได้ว่าคำตอบจากวิธีการค้นหาคำตอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป Lingo Version 11จะใช้เวลาในการคำนวณหาคำตอบมากและคำตอบที่ได้ในกรณีการจำลองชุดคำตอบขนาดปัญหา 5 จะให้ค่าคำตอบเป็น Local Optimization ปัญหาขนาด 10 ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ จึงทำการหาค่า Objective Value โดยทำการรันโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo Version 11 ด้วยเวลา 24 ชั่วโมง ส่วนวิธีการ Differential evolution (DE) ที่ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีการค้นหาคำตอบด้วยซอฟท์แวร์สำเร็จรูป Lingo Version 11

8.2.2 วิธีการฮิวริสติก วิธีที่ให้ค่าคำตอบดีที่สุดคือ วิธี Clark-Wright Saving Heuristic

8.2.3 วิธีการ Improve Differential evolution (IDE) ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีการอื่นๆ และเมื่อเทียบกับวิธีการ Differential evolution (DE) ก็ยังให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า

8.2.4 จำนวนสัปดาห์ในการทำงาน ใช้เวลาเพียง 17 สัปดาห์ หรือ 83 วันในการปฏิบัติงาน

จะเห็นได้ว่าผลของคำตอบที่ให้ค่าที่ดีที่สุดอยู่ในช่วงการวนซ้ำที่ 1,000 รอบ โดยวิธีการ Improve Differential evolution (IDE) ที่ประยุกต์กระบวนการ Recombination ด้วยวิธี Vector insertion process จะให้ค่าสมการเป้าหมายดีกว่า Differential evolution (DE) ร้อยละ 0.50

สรุปได้ว่า วิธีการ Improve Differential evolution (IDE) ที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นมาแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องมือแพทย์ มีประสิทธิภาพที่ดีทั้งในเรื่องของคุณภาพของคำตอบ และระยะเวลาในการคำนวณ

8.3 ข้อเสนอแนะ

แนวทางการพัฒนาและทำการศึกษา การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางในการซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์ ในอนาคตควรจะมุ่งเน้นทำการศึกษาดังนี้

8.3.1 ในงานวิจัยนี้มีสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดเป็นจุดให้บริการเพียงแห่งเดียว แต่ในบางกรณีอาจจะมีการกระจายจุดให้บริการหลายแห่ง ซึ่งการเดินทางสามารถทำได้จากจุดกระจายการให้บริการเพื่อหาเส้นทางการเดินทางจากหลายๆ แห่ง

8.3.2 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพของคำตอบ ในงานวิจัยนี้ใช้ต้นทุนที่คำนวณจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษา ค่าแรงพนักงานและค่าที่พัก ซึ่งอ้างอิงมาจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี ประเด็นที่น่าสนใจ ไม่ได้นำค่าสึกหรอของการใช้รถในการเดินทาง ซึ่งในอนาคตอาจจะมีงานวิจัยที่คำนวณค่าสึกหรอ ค่าบำรุงรักษาที่ละเอียดและแม่นยำกว่านี้มาใช้ในงานวิจัยนี้ได้

8.3.3 ในงานวิจัยนี้มีรูปแบบที่ข้อจำกัดด้านกรอบเวลาแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Window Constraint) เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริงมากขึ้นควรมีการทดสอบถึงปัญหาในรูปแบบที่ข้อจำกัดด้านกรอบเวลาในการจัดส่งเคร่งครัด (Hard Time Window Constraint)

8.3.4 เพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ฮิวริสติก Differential Evolution ในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้ผลลัพธ์ของคำตอบดีขึ้น โดยควรปรับปรุงในขั้นตอนของการสร้างคำตอบเริ่มต้น Mutation และ Recombination ให้มีการเปรียบเทียบหลายๆ แบบเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของคำตอบให้กับ Differential Evolution

8.3.5 ศึกษาฮิวริสติกหลายๆ วิธีเพื่อนำมาแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทาง เป็นลักษณะการผสมผสานวิธีการหรือเปรียบเทียบเพื่อหาฮิวริสติกที่ดี มีประสิทธิภาพเหมาะกับการแก้ปัญหา

8.3.6 งานวิจัยนี้จะไม่เกิดประโยชน์หาก หน่วยงาน และผู้ที่เกี่ยวข้อง ไม่นำไปใช้กับการแก้ไขปัญหาจริง ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอแนะให้ผู้ที่เกี่ยวข้องรับไว้พิจารณา

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กนกวรรณ สุภักดี, นัทธพงศ์ นันทสำเริง และระพีพันธ์ ปีตาคะโส. "การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางสำหรับหน่วยซ่อมบำรุงเครื่องมือแพทย์", ใน การประชุมวิชาการด้านการพัฒนาการดำเนินงานทางอุตสาหกรรมแห่งชาติครั้งที่ 4 ประจำปี 2556. น.300. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2556.

กระทรวงสาธารณสุข. ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ทรัพยากรสุขภาพ. http://gishealth.moph.go.th/healthmap/gmap.php accessed. 3 มิถุนายน, 2556.

ตันติกร พิชญ์พิบูล และเรืองศักดิ์ แก้วธรรมชัย. "การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการขนส่งแบบไปกลับของการขนส่งสินค้า", ใน การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการประจำปีด้านการจัดการโซ่อุปทานและโลจิตติกส์ ครั้งที่ 7. น.99-111. กรุงเทพมหานคร : โรงแรมเจ้าพระยาปาร์ค, 2550.

ไชยา โฉมเฉลา และระพีพันธ์ ปีตาคะโส. "การจัดเส้นทางรถขนส่งน้ำดื่มสำหรับบริการกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีฮิวริสติก กรณีศึกษา โรงงานน้ำดื่มเรนโบว์", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2553 (IE-Network 2010). น.212. อุบลราชธานี : โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์, 2553.

ญาณิภา ชินสุวรรณ และ นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี. "การจัดเส้นทางเดินรถแบบต่อเนื่องที่มีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าและพักสินค้า". วารสารวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 4(3) : 15-36, 2556.

ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี และคณะ. "การพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด จังหวัดอุบลราชธานี", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ 2553 (IE-Network 2010). น.219. อุบลราชธานี : โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่นเซ็นเตอร์ :, 2553.

ณกร อินทร์พยุง. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์ (Discrete Optimization in Transport and Logistics). กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2548.

นภัสวรรณ มั่งมี และนระเกณฑ์ พุ่มชูศรี. " การมอบหมายงานให้กับพนักงานขับรถที่มีรูปแบบการเดินรถแบบต่อเนื่อง", วารสารวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 4(3) : 37-55, 2556

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

นิรันดร์ สมมุติ และสมบัติ สินธุเชาวน์. "วิธีฮิวริสติก GRASP สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ", วารสาร มทร. อีสาน. 2(1) : 3-13, 2551.

ระพีพันธ์ ปีตาคะโส. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2554.

_____. เอกสารประกอบการสอน รายวิชา 1302476 หัวข้อเฉพาะทางด้านการจัดการดำเนินงาน. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2557.

วรางคณา อดทน. การพัฒนาระบบจัดลำดับงาน-เส้นทางสำหรับการกระจายสินค้าด้วยการบูรณาการวิธีฮิวริสติกส์แบบ multi-seed points กับการวิเคราะห์โครงข่ายกรณีศึกษา: ศูนย์กระจายสินค้าบางนา. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2554.

ศุภกิจ ศิริลักษณ์. "นโยบายโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.)", นโยบายโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) : เรื่องดีๆที่ต้องอธิบาย. http://phmahidol-bhusita.blogspot.com/2010/02/blog-post.html. 19 กุมภาพันธ์, 2553.

สุพรรณ สุดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. "การประยุกต์วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ศูนย์กระจายสินค้าในภาคธุรกิจการขนส่งและลอจิสติกส์", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.101. กรุงเทพมหานคร : โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล, 2549.

สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดอุบลราชธานี. โครงการตรวจสอบบำรุงรักษาเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ ในสถานีอนามัยและโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล เขตจังหวัดอุบลราชธานี ปี 2555. http://www.phoubon.in.th/. 10 ตุลาคม, 2555.

สุพรรณ สุดสนธิ์ และคณะ. "วิธีอาณานิคมและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบสำหรับปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.81. ภูเก็ต : โรงแรม Royal Phuket City, 2550.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

อภิชิต มณีงาม, กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ และอภินันทนา อุดมศักดิกุล. "การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถโดยมีการจำกัดเวลาการเดินรถบรรทุกขนาดใหญ่ด้วยวิธีฮิวริสติกส์ กรณีศึกษา: การขนส่งอิฐบล็อกในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล", วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี. 3(6) : 73-85, 2557.

Balas, E. and Christofides, N. "A restricted lagrangean approach to the traveling saleman problem", Mathematical Programming. 21(1): 19-46, 1981.

Baker, K.R. Introduction to Sequencing and Scheduling. New York: John Wiley & Sons 1974.

Baraglia, R., Laforenza, D. and Laganà, A. "A Web-Based Metacomputing Problem-Solving Environment for Complex Applications", Lecture Notes in Computer Science. 25(6): 235-252, 2000.

Beatrice, O., J. R. Brian and H. Franklin. "Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows", Applied Intelligence. 24(5): 17-30, 2006.

Bin Q., Ling W., De-Xian H., and Xiong W. "Scheduling multi-objective job shop using a memetic algorithm based on differential evolution", International Journal of Advanced Manufacturing and Technology. 35(6): 1014-1027, 2008.

Blum, C. and Fouldm L. R. "Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison", ACM Computing Surveys. 35(2): 268-308, 2003.

Bodin and Golden B. "Classification in vehicle routing and scheduling", Computer & Operations Research. 10(3): 67-211, 1983.

Bodin, L., and Levy, L. "Visualization in vehicle routing and scheduling problems". ORSA Journal on Computing. 6(3): 261-269, 1994.

Christofides, N. "Worst-case analysis of a new heuristic for the traveling salesman Problem", Technical report. University: Carnegie-Mellon, 1976.

Clarke, G. and Wright, J.W. "Scheduling of vehicle from a central depot to a number of delivery points", Operations Research. 12(4): 568-581, 1964.

Dantzig, G., Fulkerson, R. and Johnson, S. "Solution of a large-scale traveling-salesman problem", Journal of the operations research society of America. 2(4): 393-410, 1954.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Dantzig, G.B. and Ramser, J.H. "The truck dispatching problem", Management Science. 6(1): 80-91, 1959.

Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A. "Ant system: optimization by a colony of cooperating agents", IEEE Trans SystMan Cybern. 26(1): 29-41, 1996.

Gendreau, Laporte, and S´eguin. "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with stochastic demands and customers", Operations Research. 44(2):469–477, 1996.

Golden, B., T. Magnanti and H. Nguyen. "Implementing vehicle routing algorithms", Network. 7(2): 113-148, 1977.

Glover, F. "Tabu Search-Part I", ORSA Journal on Computing. 1(3): 190-206, 1989.

Gronalt, M., R. F. Hartl and M. Reimann. "New savings based algorithms for time constrained pickup and delivery of full truckloads", European Journal of Operational Research. 151(3): 520-535, 2003.

Hall, R.W. and Partyka, J.KG. "On the road to efficiency", OR/MS Today. 24(3): 38-47, 1997.

Holland, J. Adaptation in natural and artificial systems. USA: University of Michigan, 1975.

Kennedy, J. and Eberhart, R. "Particle swarm optimization", in Proceedings of the IEEE international conference on neural networks. p.1942-1948. Australia: IEEE, 1995.

Larsen A. The dynamic vehicle routing problem. Doctor's Thesis: Technical University of Denmark, 2000.

Laporte, G. and Nobert, Y. "Generalized traveling salesman problem through n sets of nodes: an integer programming approach", Informatik. 21(1): 61-75, 1983.

Li, Y., Hu, X. and Jun, L. "A heuristic search algorithm for vehicle routing problems and the gis-based vehicle routing system onboard", Management Science and Engineering. 17(6): 94-99, 2006.

Lin, S. "Computer solutions of the traveling salesman problem", Bell System Technical Journal. 44(1): 2245-2269, 1965.

Liu, J. & Lampinen, J. "A fuzzy adaptive differential evolution algorithm", Soft Computing-A Fusion of Foundations, Methodologies, and Applications. 9(6) : 448–462, 2005.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Lin, S. and Kemighan, B. "An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem", Operation Research. 21: 498-516, 1973.

Metopolis, N. and et al. "Equations of state calculations by fast computing machine", Journal of Chemical Physic. 6(3): 1087-1092, 1953.

Omran, M. G.H, Salmon, A., Engelbrecht, A. P. Self-adaptive differential evolution. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2005.

Price, K., Storn, R.M., and Lampinen, J.A. Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization (Natural Computing Series). New York: Springer, 2005.

Qin, A.K. and Suganthan, P.N. "Self-adaptive differential evolution algorithm for numerical optimization", Proceedings of the 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation. 38(10): 1785–1791, 2005.

Rosenkrantz, D., Sterns, R.E. and Lewis, P.M. "An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem", SIAM Journal and Computing. 6(2): 563-581, 1977.

Russell, R.A. "Hybrid heuristic for the vehicle routing problem with time windows", Transportation Science. 29(1): 156-166, 1995.

Storn, R. and Price, K. Differential evolution – a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces. California: University of California, 1995.

Supakdee, K., Nanthasamroeng N. and Pitakaso,R. "Clustering-Location-Routing Algorithm for Vehicle Routing Problem: An Application in Medical Equipment Maintenance", in Proceedings of the Institute of Industrial Engineer Asian Conference 2013. p.965-973. Taiwan: National Taiwan University of Science and Technology, 2013.

Thangiah, S.R. A Hybird Genetic Algorithms, Simulated Annealing and Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows. USA: CRC Press LLC., 1999.

Toth, P. and Vigo, D. An overview of vehicle routing problems. in The Vehicle Routing Problem. Philadelphia: SIAM, 2002.

Yang, Q., H.N. Koutsopoulos, and M. E. Ben-Akiva. "Simulation laboratory forevaluating dynamic traffic management systems", Transportation Research Record:Journal of the Transportation Research Board. 10(1): 122-130, 2000.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Yang, Z., He, J. and Yao, X. "Making a difference to differential evolution". In Z. Michalewicz & P. Siarry (Eds), Advances in Metaheuristics for Hard Optimization: Springer. New York: Springer Berlin Heidelberg; 397-414, 2008a.

Yang, Z., He, J. and Yao, X. "Self-adaptive differential evolution with neighborhood search", in proceedings of the 2008 Congress on Evolutionary Computation. p.1110-1116. Hong Kong: ASTRI, 2008b.

Zou, D.X., et al. 2011. "An improveddifferential evolution algorithm for the task assignment problem", Engineering Applications of Artificial Intelligence. 24(4): 616-624, 2011.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลเพื่อประกอบการแก้ปัญหา ของกรณีศึกษา

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
1	สำนักงานสาธารณสุขจังหวัด	-	-	-	-	-	
2	สต.*รพ.สต.นิคมฯผัง 2	64.72	20	84.72	12.71	97.42	49
3	รพ.สต.กลาง	164.90	20	184.90	27.74	212.64	106
4	รพ.สต.กุศกร	138.85	20	158.85	23.83	182.68	91
5	รพ.สต.ก่อ	207.20	20	227.20	34.08	261.28	131
6	รพ.สต.ขมิ้น	75.62	20	95.62	14.34	109.96	55
7	รพ.สต.ขามใหญ่	122.72	20	142.72	21.41	164.12	82
8	รพ.สต.คันท่าเกวียน	64.18	20	84.18	12.63	96.81	48
9	รพ.สต.คำหว้า	76.78	20	96.78	14.52	111.30	56
10	รพ.สต.คำแคนน้อย	77.95	20	97.95	14.69	112.64	56
11	รพ.สต.ชีทวน	246.23	20	266.23	39.94	306.17	153
12	รพ.สต.ดอนจิก	189.75	20	209.75	31.46	241.21	121
13	รพ.สต.ตะบ่าย	52.57	20	72.57	10.89	83.45	42
14	รพ.สต.ตากแดด	94.65	20	114.65	17.20	131.85	66
15	รพ.สต.ตำบลคันไร่	122.52	20	142.52	21.38	163.89	82
16	รพ.สต.ตำบลคำไฮใหญ่	85.65	20	105.65	15.85	121.50	61
17	รพ.สต.ตำบลนาตาล	129.38	20	149.38	22.41	171.79	86
18	รพ.สต.ตำบลนาเยีย	170.72	20	190.72	28.61	219.32	110
19	รพ.สต.ตำบลม่วงใหญ่	90.53	20	110.53	16.58	127.11	64
20	รพ.สต.ตำบลสำโรง	81.47	20	101.47	15.22	116.69	58
21	รพ.สต.ตำบลหนองบัวฮี	134.12	20	154.12	23.12	177.23	89
22	รพ.สต.ตำบลหนองไข่นก	84.30	20	104.30	15.65	119.95	60
23	รพ.สต.ตำบลห้วยไผ่	49.82	20	69.82	10.47	80.29	40
24	รพ.สต.ตำบลเหล่าแดง	70.08	20	90.08	13.51	103.60	52

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
25	รพ.สต.ตำบลโคกสว่าง	72.40	20	92.40	13.86	106.26	53
26	รพ.สต.ทรายมูล	233.58	20	253.58	38.04	291.62	146
27	รพ.สต.ทัพไทย ตำบลแจระแม	96.15	20	116.15	17.42	133.57	67
28	รพ.สต.ทุ่งบอน	118.93	20	138.93	20.84	159.77	80
29	รพ.สต.ทุ่งเทิง	169.90	20	189.90	28.49	218.39	109
30	รพ.สต.ท่าไห	209.90	20	229.90	34.49	264.39	132
31	รพ.สต.นาคาย	92.08	20	112.08	16.81	128.90	64
32	รพ.สต.นาคำใหญ่	99.33	20	119.33	17.90	137.23	69
33	รพ.สต.นาดี ตำบลยางสักกระโพหลุ่ม	93.52	20	113.52	17.03	130.54	65
34	รพ.สต.นาส่วง	215.83	20	235.83	35.38	271.21	136
35	รพ.สต.นาแวง	168.07	20	188.07	28.21	216.28	108
36	รพ.สต.นาโพธิ์	152.92	20	172.92	25.94	198.85	99
37	รพ.สต.นาโหนนน้อย ตำบลโนนโหนน	88.05	20	108.05	16.21	124.26	62
38	รพ.สต.นิคม ตำบลคำเขื่อนแก้ว	60.18	20	80.18	12.03	92.21	46
39	รพ.สต.น้ำคำ	88.90	20	108.90	16.34	125.24	63
40	รพ.สต.บัววัด	152.53	20	172.53	25.88	198.41	99
41	รพ.สต.บ้านกระเดียน	195.27	20	215.27	32.29	247.56	124
42	รพ.สต.บ้านกระโสบ	156.00	20	176.00	26.40	202.40	101
43	รพ.สต.บ้านกลางใหญ่ ตำบลกลางใหญ่	139.92	20	159.92	23.99	183.90	92
44	รพ.สต.บ้านกอก ตำบลบ้านกอก	180.03	20	200.03	30.01	230.04	115
45	รพ.สต.บ้านกองโพน	135.37	20	155.37	23.31	178.67	89
46	รพ.สต.บ้านกาบิน ตำบลกาบิน	96.52	20	116.52	17.48	133.99	67
47	รพ.สต.บ้านกุง ตำบลคำเจริญ	81.32	20	101.32	15.20	116.51	58
48	รพ.สต.บ้านกุดกระเสียน ตำบลเขื่องใน	78.33	20	98.33	14.75	113.08	57

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
49	รพ.สต.บ้านกุดชมภู	196.72	20	216.72	32.51	249.22	125
50	รพ.สต.บ้านกุดตากล้า ตำบลสร้างถ่อ	60.98	20	80.98	12.15	93.13	47
51	รพ.สต.บ้านกุดยาลวน ตำบลกุดยาลวน	143.07	20	163.07	24.46	187.53	94
52	รพ.สต.บ้านกุดเชียงมุน ตำบลโคมประดิษฐ์	233.48	20	253.48	38.02	291.51	146
53	รพ.สต.บ้านกุดเรือ ตำบลกุดเรือ	61.15	20	81.15	12.17	93.32	47
54	รพ.สต.บ้านขอนแป้น ตำบลคอแลน	134.63	20	154.63	23.20	177.83	89
55	รพ.สต.บ้านขามป้อม ตำบลขามป้อม	114.45	20	134.45	20.17	154.62	77
56	รพ.สต.บ้านขี้เหล็ก	165.78	20	185.78	27.87	213.65	107
57	รพ.สต.บ้านขุนคำ ตำบลแก่งเค็ง	53.72	20	73.72	11.06	84.77	42
58	รพ.สต.บ้านข้ามเปี้ย	213.72	20	233.72	35.06	268.77	134
59	รพ.สต.บ้านคอนสาย ตำบลคอนสาย	213.15	20	233.15	34.97	268.12	134
60	รพ.สต.บ้านคอแลน ตำบลคอแลน	76.95	20	96.95	14.54	111.49	56
61	รพ.สต.บ้านคันเปือย ตำบลคำเขื่อนแก้ว	76.55	20	96.55	14.48	111.03	56
62	รพ.สต.บ้านคำกลาง ตำบลป่าโมง	53.60	20	73.60	11.04	84.64	42
63	รพ.สต.บ้านคำก้อม ตำบลฝางคำ	78.27	20	98.27	14.74	113.01	57
64	รพ.สต.บ้านคำก้าว ตำบลขามป้อม	85.85	20	105.85	15.88	121.73	61
65	รพ.สต.บ้านคำขวาง ตำบลคำขวาง	122.48	20	142.48	21.37	163.86	82
66	รพ.สต.บ้านคำครั่ง ตำบลคำครั่ง	159.22	20	179.22	26.88	206.10	103
67	รพ.สต.บ้านคำนกเปล้า	206.47	20	226.47	33.97	260.44	130
68	รพ.สต.บ้านคำบง ตำบลสงยาง	100.80	20	120.80	18.12	138.92	69
69	รพ.สต.บ้านคำสมิง ตำบลเกษม	126.35	20	146.35	21.95	168.30	84
70	รพ.สต.บ้านคำหนามแท่ง ตำบลนาคาย	230.72	20	250.72	37.61	288.32	144
71	รพ.สต.บ้านคำหมาไน ตำบลนาเลิน	61.43	20	81.43	12.22	93.65	47

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
72	รพ.สต.บ้านคำโพธิ์ ตำบลท่าช้าง	98.75	20	118.75	17.81	136.56	68
73	รพ.สต.บ้านคำไหล ตำบลคำไหล	58.75	20	78.75	11.81	90.56	45
74	รพ.สต.บ้านคูเมืองกลาง	153.05	20	173.05	25.96	199.01	100
75	รพ.สต.บ้านค้อ ตำบลโดมประดิษฐ์	58.58	20	78.58	11.79	90.37	45
76	รพ.สต.บ้านค้อน้อย ตำบลค้อน้อย	209.00	20	229.00	34.35	263.35	132
77	รพ.สต.บ้านจันทัย ตำบลวาริน	49.60	20	69.60	10.44	80.04	40
78	รพ.สต.บ้านจานเขื่อง ตำบลเขื่องใน	83.82	20	103.82	15.57	119.39	60
79	รพ.สต.บ้านจิกเทิง ตำบลจิกเทิง	137.10	20	157.10	23.57	180.67	90
80	รพ.สต.บ้านชาดฮี	66.77	20	86.77	13.02	99.78	50
81	รพ.สต.บ้านช่องเม็ก ตำบลช่องเม็ก	169.15	20	189.15	28.37	217.52	109
82	รพ.สต.บ้านดงบัง	90.63	20	110.63	16.60	127.23	64
83	รพ.สต.บ้านดงบัง ตำบลดอนมดแดง	90.63	20	110.63	16.60	127.23	64
84	รพ.สต.บ้านดงยาง ตำบลก่อเอ้	88.32	20	108.32	16.25	124.56	62
85	รพ.สต.บ้านดอนพันชาด	54.08	20	74.08	11.11	85.20	43
86	รพ.สต.บ้านดอนแดงใหญ่ ตำบลหนองเหล่า	108.15	20	128.15	19.22	147.37	74
87	รพ.สต.บ้านดอนโมกข์	167.92	20	187.92	28.19	216.10	108
88	รพ.สต.บ้านดอนใหญ่ ตำบลดอนใหญ่	167.90	20	187.90	28.19	216.09	108
89	รพ.สต.บ้านดูน	79.37	20	99.37	14.91	114.27	57
90	รพ.สต.บ้านด้ามพร้า	295.37	20	315.37	47.31	362.67	181
91	รพ.สต.บ้านตบหู ตำบลโนนสวรรค์	104.13	20	124.13	18.62	142.75	71
92	รพ.สต.บ้านตระการ ตำบลตระการ	55.25	20	75.25	11.29	86.54	43
93	รพ.สต.บ้านตาโม ตำบลโซง	107.13	20	127.13	19.07	146.20	73
94	รพ.สต.บ้านตุ ตำบลกาบิน	90.43	20	110.43	16.57	127.00	63

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
95	รพ.สต.บ้านตุงลุง ตำบลโขงเจียม	70.23	20	90.23	13.54	103.77	52
96	รพ.สต.บ้านตูม ตำบลม่วงใหญ่	72.40	20	92.40	13.86	106.26	53
97	รพ.สต.บ้านถ้ำแข้ ตำบลถ้ำแข้	77.45	20	97.45	14.62	112.07	56
98	รพ.สต.บ้านทุ่งช้าง ตำบลกุดเรือ	60.23	20	80.23	12.04	92.27	46
99	รพ.สต.บ้านทุ่งมณี ตำบลนาเลิง	114.27	20	134.27	20.14	154.41	77
100	รพ.สต.บ้านทุ่งเกษม ตำบลโนนผึ้ง	162.47	20	182.47	27.37	209.84	105
101	รพ.สต.บ้านทุ่งเงิน ตำบลบ้านตูม	91.92	20	111.92	16.79	128.70	64
102	รพ.สต.บ้านทุ่งเพียง ตำบลโสกแสง	70.50	20	90.50	13.58	104.08	52
103	รพ.สต.บ้านท่าช้าง ตำบลโพธิ์ไทร	79.53	20	99.53	14.93	114.46	57
104	รพ.สต.บ้านท่าหลวง	69.60	20	89.60	13.44	103.04	52
105	รพ.สต.บ้านท่าเมืองเหนือ ตำบลท่าเมือง	115.42	20	135.42	20.31	155.73	78
106	รพ.สต.บ้านท่าโพธิ์ศรี ตำบลท่าโพธิ์ศรี	63.80	20	83.80	12.57	96.37	48
107	รพ.สต.บ้านธาตุกลาง ตำบลสหธาตุ	73.27	20	93.27	13.99	107.26	54
108	รพ.สต.บ้านธาตุน้อย ตำบลธาตุน้อย	87.22	20	107.22	16.08	123.30	62
109	รพ.สต.บ้านนกเต็น ตำบลโนนกลาง	66.78	20	86.78	13.02	99.80	50
110	รพ.สต.บ้านนากระแชง ตำบลนากระแชง	74.98	20	94.98	14.25	109.23	55
111	รพ.สต.บ้านนาขาม ตำบลสำโรง	79.10	20	99.10	14.87	113.97	57
112	รพ.สต.บ้านนาจาน ตำบลนาเยีย	132.43	20	152.43	22.87	175.30	88
113	รพ.สต.บ้านนาชุม	55.75	20	75.75	11.36	87.11	44
114	รพ.สต.บ้านนาดี ตำบลนาเยีย	84.73	20	104.73	15.71	120.44	60
115	รพ.สต.บ้านนาดู่ ตำบลนาดี	143.15	20	163.15	24.47	187.62	94
116	รพ.สต.บ้านนาทอย	72.65	20	92.65	13.90	106.55	53
117	รพ.สต.บ้านนาทุ่ง	50.72	20	70.72	10.61	81.32	41

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
118	รพ.สต.บ้านนาบัว ตำบลห้วยยาง	164.73	20	184.73	27.71	212.44	106
119	รพ.สต.บ้านนาพิน ตำบลนาพิน	77.08	20	97.08	14.56	111.65	56
120	รพ.สต.บ้านนาหว้า ตำบลหนองสิม	167.83	20	187.83	28.18	216.01	108
121	รพ.สต.บ้านนาเกษม ตำบลนาเกษม	96.12	20	116.12	17.42	133.53	67
122	รพ.สต.บ้านนาเจริญ	76.85	20	96.85	14.53	111.38	56
123	รพ.สต.บ้านนาเดื่อ ตำบลเซเป็ด	69.77	20	89.77	13.47	103.23	52
124	รพ.สต.บ้านนาเรือง ตำบลนาเรือง	172.25	20	192.25	28.84	221.09	111
125	รพ.สต.บ้านนาแค	64.32	20	84.32	12.65	96.96	48
126	รพ.สต.บ้านนาโพธิ์ ตำบลนาโพธิ์	140.73	20	160.73	24.11	184.84	92
127	รพ.สต.บ้านนาโพธิ์ใต้ ตำบลนาโพธิ์กลาง	116.93	20	136.93	20.54	157.47	79
128	รพ.สต.บ้านน้ำขุ่น ตำบลตาเกา	115.47	20	135.47	20.32	155.79	78
129	รพ.สต.บ้านน้ำคำแดง ตำบลเตย	112.08	20	132.08	19.81	151.90	76
130	รพ.สต.บ้านบก ตำบลพะลาน	82.58	20	102.58	15.39	117.97	59
131	รพ.สต.บ้านบก ตำบลหนองทันน้ำ	86.62	20	106.62	15.99	122.61	61
132	รพ.สต.บ้านบก ตำบลห้วยข่า	55.20	20	75.20	11.28	86.48	43
133	รพ.สต.บ้านบก ตำบลเอือดใหญ่	55.20	20	75.20	11.28	86.48	43
134	รพ.สต.บ้านบอน ตำบลบอน	60.22	20	80.22	12.03	92.25	46
135	รพ.สต.บ้านบัวงาม ตำบลบัวงาม	216.98	20	236.98	35.55	272.53	136
136	รพ.สต.บ้านบัวยาง ตำบลดุมใหญ่	73.32	20	93.32	14.00	107.31	54
137	รพ.สต.บ้านบัวเจริญ ตำบลทุ่งเทิง	81.35	20	101.35	15.20	116.55	58
138	รพ.สต.บ้านบาก ตำบลหนองผือ	81.15	20	101.15	15.17	116.32	58
139	รพ.สต.บ้านบุตร ตำบลแดงหม้อ	54.78	20	74.78	11.22	86.00	43
140	รพ.สต.บ้านบุเปือย ตำบลบุเปือย	187.57	20	207.57	31.14	238.70	119

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
141	รพ.สต.บ้านบุ่งคำ ตำบลพรสวรรค์	146.55	20	166.55	24.98	191.53	96
142	รพ.สต.บ้านบุ่งมะแลงใต้ ตำบลบุ่งมะแลง	74.98	20	94.98	14.25	109.23	55
143	รพ.สต.บ้านบ่อหิน ตำบลไหล่ทุ่ง	88.72	20	108.72	16.31	125.02	63
144	รพ.สต.บ้านปทุม	277.35	20	297.35	44.60	341.95	171
121	รพ.สต.บ้านนาเกษม ตำบลนาเกษม	96.12	20	116.12	17.42	133.53	67
122	รพ.สต.บ้านนาเจริญ	76.85	20	96.85	14.53	111.38	56
123	รพ.สต.บ้านนาเดื่อ ตำบลเชเปือด	69.77	20	89.77	13.47	103.23	52
124	รพ.สต.บ้านนาเรือง ตำบลนาเรือง	172.25	20	192.25	28.84	221.09	111
125	รพ.สต.บ้านนาแค	64.32	20	84.32	12.65	96.96	48
126	รพ.สต.บ้านนาโพธิ์ ตำบลนาโพธิ์	140.73	20	160.73	24.11	184.84	92
127	รพ.สต.บ้านนาโพธิ์ใต้ ตำบลนาโพธิ์กลาง	116.93	20	136.93	20.54	157.47	79
128	รพ.สต.บ้านน้ำขุ่น ตำบลตาเกา	115.47	20	135.47	20.32	155.79	78
129	รพ.สต.บ้านน้ำคำแดง ตำบลเตย	112.08	20	132.08	19.81	151.90	76
130	รพ.สต.บ้านบก ตำบลพะลาน	82.58	20	102.58	15.39	117.97	59
131	รพ.สต.บ้านบก ตำบลหนองทันน้ำ	86.62	20	106.62	15.99	122.61	61
132	รพ.สต.บ้านบก ตำบลห้วยข่า	55.20	20	75.20	11.28	86.48	43
133	รพ.สต.บ้านบก ตำบลเอือดใหญ่	55.20	20	75.20	11.28	86.48	43
134	รพ.สต.บ้านบอน ตำบลบอน	60.22	20	80.22	12.03	92.25	46
135	รพ.สต.บ้านบัวงาม ตำบลบัวงาม	216.98	20	236.98	35.55	272.53	136
136	รพ.สต.บ้านบัวยาง ตำบลดุมใหญ่	73.32	20	93.32	14.00	107.31	54
137	รพ.สต.บ้านบัวเจริญ ตำบลทุ่งเทิง	81.35	20	101.35	15.20	116.55	58
138	รพ.สต.บ้านบาก ตำบลหนองผือ	81.15	20	101.15	15.17	116.32	58

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
139	รพ.สต.บ้านบุตร ตำบลแดงหม้อ	54.78	20	74.78	11.22	86.00	43
140	รพ.สต.บ้านบุเปือย ตำบลบุเปือย	187.57	20	207.57	31.14	238.70	119
141	รพ.สต.บ้านบุ่งคำ ตำบลพรสวรรค์	146.55	20	166.55	24.98	191.53	96
142	รพ.สต.บ้านบุ่งมะแลงใต้ ตำบลบุ่งมะแลง	74.98	20	94.98	14.25	109.23	55
143	รพ.สต.บ้านบ่อหิน ตำบลไหล่ทุ่ง	88.72	20	108.72	16.31	125.02	63
144	รพ.สต.บ้านปทุม	277.35	20	297.35	44.60	341.95	171
145	รพ.สต.บ้านปลาขาว ตำบลยาง	149.78	20	169.78	25.47	195.25	98
146	รพ.สต.บ้านปะอาว	114.95	20	134.95	20.24	155.19	78
147	รพ.สต.บ้านปากน้ำ	112.62	20	132.62	19.89	152.51	76
148	รพ.สต.บ้านปากห้วยม่วง ตำบลเหล่างาม	113.88	20	133.88	20.08	153.97	77
149	รพ.สต.บ้านปากแซง ตำบลพะลาน	83.83	20	103.83	15.58	119.41	60
150	รพ.สต.บ้านป่าโม่ง ตำบลป่าโมง	88.23	20	108.23	16.24	124.47	62
151	รพ.สต.บ้านผักระย่า ตำบลยางโยภาพ	127.62	20	147.62	22.14	169.76	85
152	รพ.สต.บ้านผักแว่น ตำบลยางขี้นก	82.57	20	102.57	15.39	117.95	59
153	รพ.สต.บ้านผาแก้ว	110.68	20	130.68	19.60	150.29	75
154	รพ.สต.บ้านพระโรจน์ ตำบลหนองช้างใหญ่	147.28	20	167.28	25.09	192.38	96
155	รพ.สต.บ้านพะไล ตำบลโพธิ์ไทร	141.25	20	161.25	24.19	185.44	93
156	รพ.สต.บ้านพังเคน ตำบลพังเคน	104.60	20	124.60	18.69	143.29	72
157	รพ.สต.บ้านภูหล่น ตำบลสงยาง	49.43	20	69.43	10.42	79.85	40
158	รพ.สต.บ้านม่วง ตำบลสมสะอาด	111.93	20	131.93	19.79	151.72	76
159	รพ.สต.บ้านม่วงเฒ่า ตำบลหัวนา	195.47	20	215.47	32.32	247.79	124
160	รพ.สต.บ้านยางขี้นก ตำบลยางขี้นก	115.85	20	135.85	20.38	156.23	78

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
161	รพ.สต.บ้านยางน้อย ตำบลก่อเอ้	240.03	20	260.03	39.01	299.04	150
162	รพ.สต.บ้านยางลุ่ม ไร่น้อย	135.27	20	155.27	23.29	178.56	89
163	รพ.สต.บ้านยางสักกระโพหลุ่ม	171.95	20	191.95	28.79	220.74	110
164	รพ.สต.บ้านยางเครือ ตำบลยางสักกระโพหลุ่ม	67.68	20	87.68	13.15	100.84	50
165	รพ.สต.บ้านยางใหญ่ ตำบลยางใหญ่	144.98	20	164.98	24.75	189.73	95
166	รพ.สต.บ้านรวมไทย ตำบลหนองทันน้ำ	60.07	20	80.07	12.01	92.08	46
167	รพ.สต.บ้านระเว	130.22	20	150.22	22.53	172.75	86
168	รพ.สต.บ้านลาดควาย ตำบลลาดควาย	143.77	20	163.77	24.57	188.33	94
169	รพ.สต.บ้านวังกางฮุง ตำบลบุ่งไหม	106.52	20	126.52	18.98	145.49	73
170	รพ.สต.บ้านวังอ่าง ตำบลหนองแสงใหญ่	62.92	20	82.92	12.44	95.35	48
171	รพ.สต.บ้านวังเสือ ไพบูลย์	78.73	20	98.73	14.81	113.54	57
172	รพ.สต.บ้านศรีคูณ ตำบลพังเคน	96.92	20	116.92	17.54	134.45	67
173	รพ.สต.บ้านศรีบัว ตำบลสร้างถ่อ	88.75	20	108.75	16.31	125.06	63
174	รพ.สต.บ้านศรีไค	173.97	20	193.97	29.10	223.06	112
175	รพ.สต.บ้านสมพรรัตน์ ตำบลหนองสะโน	137.02	20	157.02	23.55	180.57	90
176	รพ.สต.บ้านสระดอกเกษ ตำบลโคกสว่าง	73.72	20	93.72	14.06	107.77	54
177	รพ.สต.บ้านสร้างถ่อ ตำบลสร้างถ่อ	83.87	20	103.87	15.58	119.45	60
178	รพ.สต.บ้านสร้างถ่อ ตำบลโพนเมือง	57.38	20	77.38	11.61	88.99	44
179	รพ.สต.บ้านสร้างมิ่ง ตำบลหนองเมือง	117.07	20	137.07	20.56	157.63	79
180	รพ.สต.บ้านสร้างม่วง ตำบลหนองสะโน	71.55	20	91.55	13.73	105.28	53
181	รพ.สต.บ้านสร้างแก้ว ตำบลโพธิ์ไทร	116.82	20	136.82	20.52	157.34	79
182	รพ.สต.บ้านสวนฝ้าย ตำบลสมสะอาด	163.30	20	183.30	27.50	210.80	105
183	รพ.สต.บ้านสว่างตก	97.98	20	117.98	17.70	135.68	68

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
184	รพ.สต.บ้านสองคอน ตำบลสองคอน	167.83	20	187.83	28.18	216.01	108
185	รพ.สต.บ้านสะพือ	184.53	20	204.53	30.68	235.21	118
186	รพ.สต.บ้านสารภี	121.47	20	141.47	21.22	162.69	81
187	รพ.สต.บ้านสุขวัฒนา ตำบลเก่าขาม	117.82	20	137.82	20.67	158.49	79
188	รพ.สต.บ้านส้มป่อย ตำบลค้อทอง	101.23	20	121.23	18.19	139.42	70
189	รพ.สต.บ้านหนองกินเพล ตำบลหนองกินเพล	101.20	20	121.20	18.18	139.38	70
190	รพ.สต.บ้านหนองขอน	207.32	20	227.32	34.10	261.41	131
191	รพ.สต.บ้านหนองขาม ตำบลโคกก่อง	59.97	20	79.97	12.00	91.96	46
192	รพ.สต.บ้านหนองขุ่น ตำบลยางโยภาพ	91.80	20	111.80	16.77	128.57	64
193	รพ.สต.บ้านหนองคก-ตาขอย	98.02	20	118.02	17.70	135.72	68
194	รพ.สต.บ้านหนองนกทา ตำบลหนองนกทา	67.57	20	87.57	13.14	100.70	50
195	รพ.สต.บ้านหนองบก ตำบลหนองบก	142.42	20	162.42	24.36	186.78	93
196	รพ.สต.บ้านหนองบัวอารี ตำบลนาห่อม	121.30	20	141.30	21.20	162.50	81
197	รพ.สต.บ้านหนองบ่อ	149.75	20	169.75	25.46	195.21	98
198	รพ.สต.บ้านหนองผือ ตำบลหนองผือ	74.53	20	94.53	14.18	108.71	54
199	รพ.สต.บ้านหนองผือน้อย ตำบลห้วยไผ่	160.17	20	180.17	27.03	207.19	104
200	รพ.สต.บ้านหนองฟานยืน ตำบลเหล่างาม	70.85	20	90.85	13.63	104.48	52
201	รพ.สต.บ้านหนองมัง ตำบลโนนกลาง	58.07	20	78.07	11.71	89.78	45
202	รพ.สต.บ้านหนองยาว ตำบลโพนงาม	144.43	20	164.43	24.67	189.10	95
203	รพ.สต.บ้านหนองสนม ตำบลบัวงาม	190.13	20	210.13	31.52	241.65	121
204	รพ.สต.บ้านหนองหลัก	188.70	20	208.70	31.31	240.01	120
205	รพ.สต.บ้านหนองอ้ม ตำบลหนองอ้ม	161.05	20	181.05	27.16	208.21	104

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
206	รพ.สต.บ้านหนองฮาง ตำบลหนองฮาง	125.15	20	145.15	21.77	166.92	83
207	รพ.สต.บ้านหนองเงินฮ้อย ตำบลนากระแซง	72.73	20	92.73	13.91	106.64	53
208	รพ.สต.บ้านหนองเต่า	76.83	20	96.83	14.53	111.36	56
209	รพ.สต.บ้านหนองเมือง ตำบลหนองเมือง	74.33	20	94.33	14.15	108.48	54
210	รพ.สต.บ้านหนองเม็ก ตำบลห้วยข่า	71.73	20	91.73	13.76	105.49	53
211	รพ.สต.บ้านหนองเรือ ตำบลคอแลน	90.63	20	110.63	16.60	127.23	64
212	รพ.สต.บ้านหนองเหล่า ตำบลหนองเหล่า	113.63	20	133.63	20.05	153.68	77
213	รพ.สต.บ้านหนองเหล่า ตำบลหนองเหล่า	96.12	20	116.12	17.42	133.53	67
214	รพ.สต.บ้านหนองแก ตำบลแจระแม	264.93	20	284.93	42.74	327.67	164
215	รพ.สต.บ้านหนองแต้	135.18	20	155.18	23.28	178.46	89
216	รพ.สต.บ้านหนองแสง ตำบลดุมใหญ่	79.73	20	99.73	14.96	114.69	57
217	รพ.สต.บ้านหนองแสง ตำบลโพนงาม	67.85	20	87.85	13.18	101.03	51
218	รพ.สต.บ้านหนองแสงใหญ่ ตำบลหนองแสงใหญ่	63.47	20	83.47	12.52	95.99	48
219	รพ.สต.บ้านหนองโน	72.93	20	92.93	13.94	106.87	53
220	รพ.สต.บ้านหนองโพธิ์ ตำบลโพธิ์ศรี	147.13	20	167.13	25.07	192.20	96
221	รพ.สต.บ้านหนองไหล	75.27	20	95.27	14.29	109.56	55
222	รพ.สต.บ้านหนองไฮ ตำบลหนองไฮ	49.58	20	69.58	10.44	80.02	40
223	รพ.สต.บ้านหนองไฮ ตำบลโนนกลาง	195.47	20	215.47	32.32	247.79	124
224	รพ.สต.บ้านหนามแท่ง	52.28	20	72.28	10.84	83.13	42
225	รพ.สต.บ้านหัวดอน ตำบลหัวดอน	67.52	20	87.52	13.13	100.64	50
226	รพ.สต.บ้านหัวทุ่ง ตำบลค้อทอง	65.85	20	85.85	12.88	98.73	49
227	รพ.สต.บ้านหัวสะพาน ตำบลคำเขื่อนแก้ว	51.30	20	71.30	10.70	82.00	41

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
228	รพ.สต.บ้านหัวเรือ	164.68	20	184.68	27.70	212.39	106
229	รพ.สต.บ้านห้วยขะยูง ตำบลห้วยขะยูง	229.00	20	249.00	37.35	286.35	143
230	รพ.สต.บ้านห้วยฝ้ายพัฒนา ตำบลห้วยฝ้ายพัฒนา	56.27	20	76.27	11.44	87.71	44
231	รพ.สต.บ้านห้วยหมากน้อย	61.63	20	81.63	12.25	93.88	47
232	รพ.สต.บ้านห้วยแดง ตำบลดอนจิก	122.82	20	142.82	21.42	164.24	82
233	รพ.สต.บ้านเกษม ตำบลเกษม	63.52	20	83.52	12.53	96.04	48
234	รพ.สต.บ้านเจียด ตำบลเจียด	69.40	20	89.40	13.41	102.81	51
235	รพ.สต.บ้านเซเปือด ตำบลเซเปือด	126.57	20	146.57	21.99	168.55	84
236	รพ.สต.บ้านเพียเก้า ตำบลคำน้ำแซบ	176.27	20	196.27	29.44	225.71	113
237	รพ.สต.บ้านแม็กน้อย ตำบลกลาง	91.48	20	111.48	16.72	128.21	64
238	รพ.สต.บ้านเวินบึก ตำบลโขงเจียม	59.35	20	79.35	11.90	91.25	46
239	รพ.สต.บ้านเวียง ตำบลกระเดียน	107.23	20	127.23	19.09	146.32	73
240	รพ.สต.บ้านเสาเล้า	64.47	20	84.47	12.67	97.14	49
241	รพ.สต.บ้านเหมือดแอ่ ตำบลขามป้อม	53.33	20	73.33	11.00	84.33	42
242	รพ.สต.บ้านแก่งศรีโคตร ตำบลโนนก่อ	177.18	20	197.18	29.58	226.76	113
243	รพ.สต.บ้านแก่งโดม	53.98	20	73.98	11.10	85.08	43
244	รพ.สต.บ้านแก้งลิง ตำบลโนนสวาง	60.03	20	80.03	12.01	92.04	46
245	รพ.สต.บ้านแก้งเรือง ตำบลนาจะหลวย	67.63	20	87.63	13.15	100.78	50
246	รพ.สต.บ้านแก้งเหนือ	98.88	20	118.88	17.83	136.72	68
247	รพ.สต.บ้านแขม ตำบลหัวดอน	199.12	20	219.12	32.87	251.98	126
248	รพ.สต.บ้านแขมใต้ ตำบลบ้านแขม	84.37	20	104.37	15.66	120.02	60
249	รพ.สต.บ้านแข้ด่อน ตำบลโดมประดิษฐ์	92.02	20	112.02	16.80	128.82	64
250	รพ.สต.บ้านแดง ตำบลแดง	79.82	20	99.82	14.97	114.79	57

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
251	รพ.สต.บ้านแดงหม้อ	83.37	20	103.37	15.51	118.87	59
252	รพ.สต.บ้านโคกก่อง ตำบลโคกก่อง	121.92	20	141.92	21.29	163.20	82
253	รพ.สต.บ้านโคกน้อย ตำบลโคกจาน	67.68	20	87.68	13.15	100.84	50
254	รพ.สต.บ้านโคกสมบูรณ์	182.73	20	202.73	30.41	233.14	117
255	รพ.สต.บ้านโคกสะอาด ตำบลโคกสะอาด	60.58	20	80.58	12.09	92.67	46
256	รพ.สต.บ้านโคกเซบูรณ์ ตำบลสระสมิง	80.80	20	100.80	15.12	115.92	58
257	รพ.สต.บ้านโคกเทียม ตำบลโนนสมบูรณ์	123.62	20	143.62	21.54	165.16	83
258	รพ.สต.บ้านโนนกอย ตำบลกุดประทาย	71.55	20	91.55	13.73	105.28	53
259	รพ.สต.บ้านโนนกาหลง ตำบลโนนกาหลง	65.30	20	85.30	12.80	98.10	49
260	รพ.สต.บ้านโนนกุง ตำบลโนนกุง	184.62	20	204.62	30.69	235.31	118
261	รพ.สต.บ้านโนนขวาว ตำบลเตย	56.60	20	76.60	11.49	88.09	44
262	รพ.สต.บ้านโนนค้อ ตำบลโนนค้อ	130.35	20	150.35	22.55	172.90	86
263	รพ.สต.บ้านโนนน้อย ตำบลบุ่งหวาย	116.58	20	136.58	20.49	157.07	79
264	รพ.สต.บ้านโนนบาก ตำบลบัวงาม	81.15	20	101.15	15.17	116.32	58
265	รพ.สต.บ้านโนนยาง	65.40	20	85.40	12.81	98.21	49
266	รพ.สต.บ้านโนนยานาง ตำบลหนองบัวฮี	73.02	20	93.02	13.95	106.97	53
267	รพ.สต.บ้านโนนรัง ตำบลโนนรัง	75.42	20	95.42	14.31	109.73	55
268	รพ.สต.บ้านโนนสวาง	118.97	20	138.97	20.85	159.81	80
269	รพ.สต.บ้านโนนสว่าง ตำบลโนนค้อ	141.32	20	161.32	24.20	185.51	93
270	รพ.สต.บ้านโนนสว่าง ตำบลโสกแสง	51.45	20	71.45	10.72	82.17	41
271	รพ.สต.บ้านโนนสำราญ ตำบลคอแลน	86.73	20	106.73	16.01	122.74	61
272	รพ.สต.บ้านโนนสูง ตำบลค้อน้อย	70.57	20	90.57	13.59	104.15	52
273	รพ.สต.บ้านโนนสูง ตำบลโคมประดิษฐ์	50.07	20	70.07	10.51	80.58	40

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
274	รพ.สต.บ้านโนนเกษม ตำบลท่าลาด	86.10	20	106.10	15.92	122.02	61
275	รพ.สต.บ้านโนนแคน ตำบลตบหู	183.92	20	203.92	30.59	234.50	117
276	รพ.สต.บ้านโนนแดง ตำบลบ้านตูม	190.07	20	210.07	31.51	241.58	121
277	รพ.สต.บ้านโนนใหญ่ ตำบลก่อเอ้	73.65	20	93.65	14.05	107.70	54
278	รพ.สต.บ้านโนนใหญ่ ตำบลนาเกษม	78.03	20	98.03	14.71	112.74	56
279	รพ.สต.บ้านโพธิ์ใหญ่ ตำบลโพธิ์ใหญ่	199.75	20	219.75	32.96	252.71	126
280	รพ.สต.บ้านโพนดวน ตำบลตบหู	114.50	20	134.50	20.18	154.68	77
281	รพ.สต.บ้านโพนทอง ตำบลบ้านไทย	52.10	20	72.10	10.82	82.92	41
282	รพ.สต.บ้านโพนเมือง	189.82	20	209.82	31.47	241.29	121
283	รพ.สต.บ้านโพนเมือง ตำบลตระการ	76.43	20	96.43	14.47	110.90	55
284	รพ.สต.บ้านโพนเมือง ตำบลโนนกาเล็น	81.98	20	101.98	15.30	117.28	59
285	รพ.สต.บ้านโพนแพง ตำบลโพนแพง	99.70	20	119.70	17.96	137.66	69
286	รพ.สต.บ้านโสกชัน ตำบลสารภี	81.57	20	101.57	15.24	116.80	58
287	รพ.สต.บ้านโสกแสง ตำบลโสกแสง	129.02	20	149.02	22.35	171.37	86
288	รพ.สต.บ้านไทย ตำบลบ้านไทย	49.02	20	69.02	10.35	79.37	40
289	รพ.สต.บ้านไผ่ ตำบลกลางใหญ่	63.15	20	83.15	12.47	95.62	48
290	รพ.สต.บ้านไผ่ใหญ่ ตำบลไผ่ใหญ่	117.18	20	137.18	20.58	157.76	79
291	รพ.สต.บ้านไหล่ทุ่ง ตำบลไหล่ทุ่ง	131.85	20	151.85	22.78	174.63	87
292	รพ.สต.ราษฎร์สำราญ	91.98	20	111.98	16.80	128.78	64
293	รพ.สต.ศรีมงคล (บ้านเปือย) ตำบลโนนกาเล็น	78.65	20	98.65	14.80	113.45	57
294	รพ.สต.ศรีสุข	170.37	20	190.37	28.56	218.92	109
295	รพ.สต.สำโรง	91.03	20	111.03	16.66	127.69	64
296	รพ.สต.หนองกุง	76.92	20	96.92	14.54	111.45	56

ตารางที่ ก.1 เวลารวมในการซ่อมบำรุงอุปกรณ์เครื่องมือแพทย์ (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ รพ.สต.	load (min)	เอกสาร	รวม	เวลาเผื่อ	รวมทั้งหมด (min)	เฉลี่ย 2 คน
297	รพ.สต.หนองขุ่น	172.07	20	192.07	28.81	220.88	110
298	รพ.สต.หนองสองห้อง	78.82	20	98.82	14.82	113.64	57
299	รพ.สต.หนองสะโน	115.92	20	135.92	20.39	156.30	78
300	รพ.สต.ห้วยข่า	193.43	20	213.43	32.02	245.45	123
301	รพ.สต.อ่างศิลา	211.07	20	231.07	34.66	265.73	133
302	รพ.สต.เฉลิมพระเกียรติ 60 พรรษา นวมินทราชินี	215.60	20	235.60	35.34	270.94	135
303	รพ.สต.เป้า	191.80	20	211.80	31.77	243.57	122
304	รพ.สต.เหล่าเสือโก้ก	110.42	20	130.42	19.56	149.98	75
305	รพ.สต.แก่งเค็ง	102.47	20	122.47	18.37	140.84	70
306	รพ.สต.แก้ง	212.60	20	232.60	34.89	267.49	134
307	รพ.สต.แพงใหญ่	97.73	20	117.73	17.66	135.39	68
308	รพ.สต.แมด	134.53	20	154.53	23.18	177.71	89
309	รพ.สต.แสงไผ่ ตำบลไผ่ใหญ่	77.57	20	97.57	14.64	112.20	56
310	รพ.สต.โนนยาง	98.57	20	118.57	17.79	136.35	68
311	รพ.สต.ใหม่พัฒนา ตำบลโนนสมบูรณ์	88.58	20	108.58	16.29	124.87	62
312	รพ.สต.หัวดูน	160.03	20	180.03	27.01	207.04	104
313	สถานบริการสาธารณสุขชุมชนบ้านจันลา	55.83	20	75.83	11.38	87.21	44
314	สถานบริการสาธารณสุขชุมชนบ้านดงนา	0.00	20	20.00	3.00	23.00	12
315	สถานบริการสาธารณสุขชุมชนบ้านปากลา	39.93	20	59.93	8.99	68.92	34
316	สถานบริการสาธารณสุขชุมชนบ้านแปดอุ้ม	39.20	20	59.20	8.88	68.08	34
317	สถานบริการสาธารณสุขชุมชนบ้านโหง่นขาม	0.00	20	20.00	3.00	23.00	12

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ โปรแกรม Minitab 16 ฟังก์ชั่น Design of Experiment คำสั่ง Factorial

การทดสอบค่า Factor

General Linear Model: ANS versus F, NP, SPACE, CR

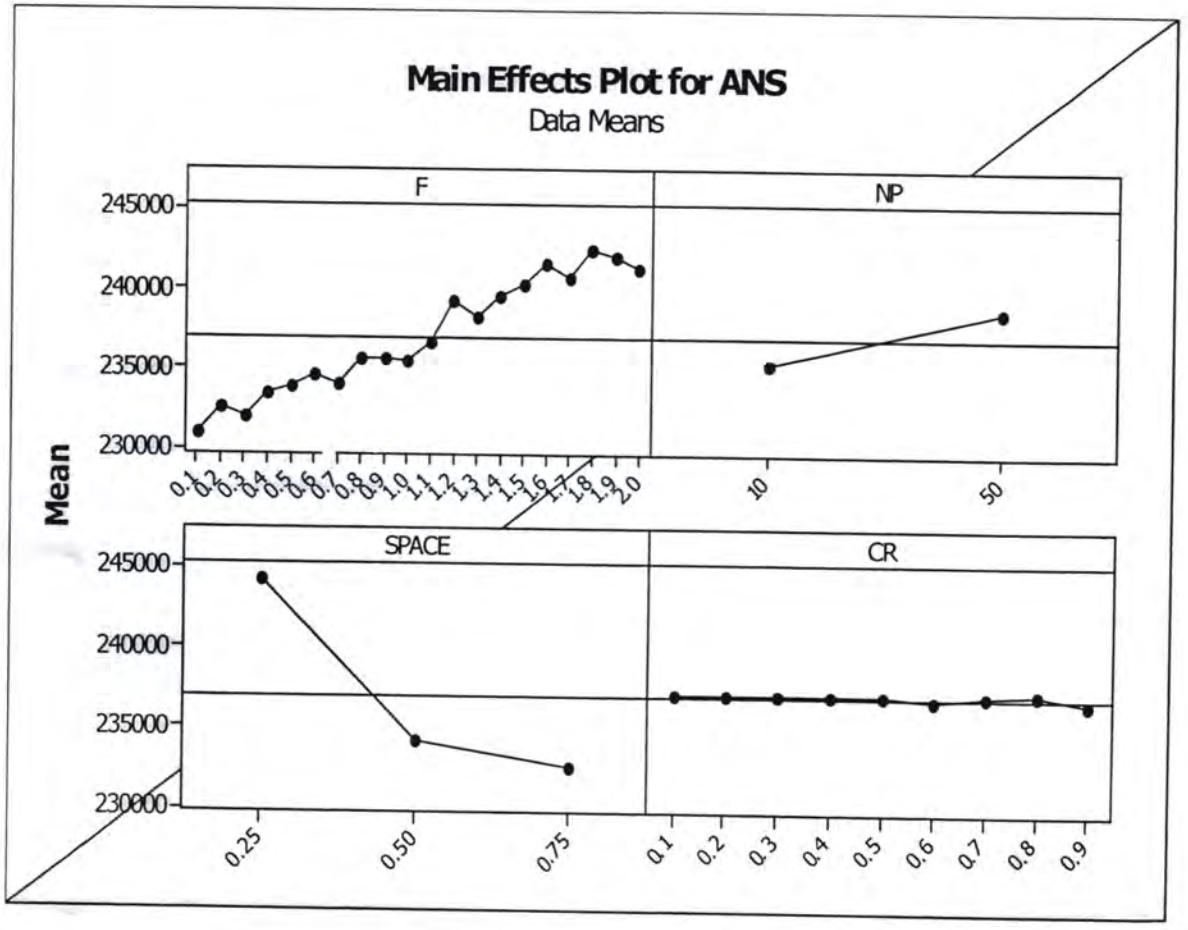
Factor	Type	Levels	Values
F	fixed	20	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0
NP	fixed	2	10, 50
SPACE	fixed	3	0.25, 0.50, 0.75
CR	fixed	9	0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9

Analysis of Variance for ANS, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
F	19	28272938410	28272938410	1488049390	112.64	0.000
NP	1	6468539781	6468539781	6468539781	489.64	0.000
SPACE	2	56945094060	56945094060	28472547030	2155.26	0.000
CR	8	65548449	65548449	8193556	0.62	0.761
F*NP	19	146477469	146477469	7709340	0.58	0.920
F*SPACE	38	7267381043	7267381043	191246870	14.48	0.000
F*CR	152	1864570772	1864570772	12266913	0.93	0.715
NP*SPACE	2	13938323	13938323	6969161	0.53	0.590
NP*CR	8	149111993	149111993	18638999	1.41	0.187
SPACE*CR	16	196173061	196173061	12260816	0.93	0.536
F*NP*SPACE	38	547116322	547116322	14397798	1.09	0.328
F*NP*CR	152	1813356591	1813356591	11929978	0.90	0.785
F*SPACE*CR	304	3915533485	3915533485	12880044	0.97	0.602
NP*SPACE*CR	16	205688689	205688689	12855543	0.97	0.484
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P

F*NP*SPACE*CR	304	5010250683	5010250683	16481088	1.25	0.007
Error	1080	14267606000	14267606000	13210746		
Total	2159	1.27149E+11				

S = 3634.66 R-Sq = 88.78% R-Sq(adj) = 77.57%



จากผลการทดสอบพบว่า

1. ค่า F, NP, SPACE มีค่า P < 0.05 ผลต่อการทดลอง จึงเลือกค่าที่ให้ผลต่ำที่สุด ซึ่งได้ค่า F = 0.01, NP = 10 และ SPACE = 0.75

2. ค่า CR มีค่า P > 0.05 ซึ่งไม่มีผลต่อการทดลอง ผู้วิจัยเลือกใช้ค่า CR = 0.9

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสาวกนกวรรณ สุภักดี
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2539 - 2543
	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)
	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
	พ.ศ.2545 – 2549
	บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต (บธ.ม.)
	สาขาวิชาการจัดการทั่วไป
	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี,
	พ.ศ.2551 - 2557
	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.)
	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ประวัติการวิจัย	ได้รับทุนการสนับสนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัย
	ราชภัฏอุบลราชธานี
ประวัติการทำงาน	พ.ศ. 2544 – ปัจจุบัน
	อาจารย์
	สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม
	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	พนักงานในสถาบันอุดมศึกษา (วิชาการ)
	สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม
	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
	มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี