ฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษา : กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์น

เชษฐา สมไชย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

HEURISTIC APPROACH TO SOLVE VEHICLE ROUTING PROBLEM: A CASE STUDY IN STUDENT TRANSPORTATION OF THE EASTERN UNIVERSITY OF MANAGEMENT AND TECHNOLOGY

CHETTA SOMCHAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2014

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง ฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษา : กรณีศึกษา มหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอิสเทิร์น

ผู้วิจัย นายเชษฐา สมไชย

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ	ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปีตาคะโส	กรรมการ
ดร.คลอเคลีย วจนะวิชาการ	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปีตาคะโส)

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(ดร.จุฑามาศ หงษ์ทอง)

รักษาราชการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2557

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา คือ รองศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส และคณะกรรมการทุกท่าน อันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชสรา เกรียงกรกฎ รวมไปถึงคำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆ จากท่านกรรมการภายนอก คือ ดร.คลอเคลีย วจนะวิชาการ

ขอขอบคุณคณาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีและเจ้าหน้าที่ของหน่วยสนับสนุนงานวิจัยทุกท่านที่คอยช่วยดำเนินการประสานการทำงานให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า รายงายวิจัยฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจทุกท่าน ในการนำข้อมูลต่างๆไปใช้ให้เกิดประโยชน์ทั้งในทางปฏิบัติและทางวิชาการต่อไป ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์น ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ที่ได้ให้ข้อมูล และสถานที่ในการศึกษาวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณแม่เพชรหงส์ สมไชย ตลอดจนทุกคนในครอบครัว และพี่ๆ น้องๆ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่คอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษาและขอขอบพระคุณคณะบุคคลดังกล่าวเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(นายเชษฐา สมไชย)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : ฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษา : กรณีศึกษามหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์น

โดย : เชษฐา สมไชย

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. ระพีพันธ์ ปิตาคะโส

คำสำคัญ : ฮิวริสติก ฮิวริสติกแบบกวาด การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษาของมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยี อิสเทิร์น จังหวัดอุบลราชธานี การจัดเส้นทางรับ-ส่งนักศึกษา รถรับ-ส่งจำนวนหนึ่งจะเดินทางออกไปรับ-ส่งนักศึกษา ตามเส้นทางที่ได้รับมอบหมาย โดยรถทุกคันจะทำการเริ่มต้นเดินทางจากมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอิสเทิร์น และหลังจากรับ-ส่งนักศึกษาเรียบร้อยแล้วจะเดินทางกลับมาที่เดิม ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาการจัดเส้นทางของยานพาหนะ โดยใช้วิธีการพัฒนาวิธีฮิวริสติก 2 วิธีสำหรับการจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษาของมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอิสเทิร์น จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งทั้งสองวิธีนี้ได้แก่ วิธีฮิวริสติกแบบกวาด และวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง วิธีฮิวริสติกแบบกวาดจะเริ่มจัดกลุ่มของลูกค้าตามตำแหน่งพิกัดของจุดที่จะทำการรับส่ง จากนั้นจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อหาค่าที่ดีที่สุด (Lingo v.11) ในแต่ละกลุ่ม การจัดกลุ่มลูกค้าจะดำเนินการเปลี่ยนไปเรื่อยๆ ตามรอบการคำนวณ วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะทำการสร้างเวคเตอร์เริ่มต้นด้วยการสุ่ม และทำการปรับปรุงคำตอบด้วย การปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด การแลกเปลี่ยนพิกัด และการคัดเลือก ตามกระบวนการดั้งเดิมของวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยอัตโนมัติ จากผลการทดลองพบว่า วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสามารถหาระยะทางที่สั้นกว่าจากเดิม 2,881.50 กิโลเมตร ลดลงเหลือ 2,143.75 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 25.60 และวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างยังสามารถหาระยะทางได้สั้นกว่าวิธีฮิวริสติกแบบกวาด จาก 2,325.95 กิโลเมตร ได้เหลือ 2,143.75 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 7.83 เมื่อใช้เวลา 1 นาทีเท่ากัน

ABSTRACT

TITLE : HEURISTIC APPROACH TO SOLVE VEHICLE ROUTING PROBLEM: A CASE STUDY IN STUDENT TRANSPORTATION OF THE EASTERN UNIVERSITY OF MANAGEMENT AND TECHNOLOGY

BY : CHETTA SOMCHAI

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

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

KEYWORDS : HEURISTIC / SWEEP HEURISTIC / DIFFERENTIAL EVOLUTION

The purpose of this research is to solve the problem of routing a shuttle to the students of the University of management and technology, the torque of Ubon Ratchathani province. Routing transfer students. The shuttle bus will travel out of a transfer student. The path was assigned by all cars will begin the journey from the University of management and technology torque and after transfer students already will travel back to me. Where this problem is the path of the vehicle (vehicle routing problem: VRP) using methods developed methods of heuristic 2 method for routing shuttle to students of the University of management and technology is the turn. Ubon Ratchathani Province, both of which this method including heuristics sweep (Sweep Heuristics) and how to evolve using variance analysis (Differential Evolution: DE) heuristic method sweep will start a group of customers based on the coordinates of points to send. Then use the program to find the best value (Lingo v.11) in each group will perform grouping changed gradually. Based around the calculation. How to evolution using difference (Differential Evolution: DE) will create a vector starting with random. The answer to modify the values of coordinates (Mutation), the exchange of coordinates (Recombination) and selection (Selection). According to the traditional process of how evolution by using difference. But in this research the parameters automatically. The results showed that the evolution method using difference. Can find a shorter distances from the original 2,881.50 kilometers, reduced, 2,143.75 kilometers representing percent have 25.60 percent. And how evolution by using difference can also find a distance shorter than the heuristic method sweep

(Sweep Algorithm), from 2,325.95 kilometers. The rest 2,143.75 kilometers, a percentage 7.83 percent when take 1 minutes equal.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ก

บทคัดย่อภาษาไทย ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค

สารบัญ จ

สารบัญตาราง ช

สารบัญภาพ ญ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย 3

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะ 5

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวของกับปัญหาการขนส่ง 6

2.2 วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ 15

2.3 การค้นหาคำตอบด้วยวิธีการการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง 17

3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 23

3.2 ศึกษาปัญหา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24

3.3 สร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 24

3.4 รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการทดสอบจากกรณีศึกษา 24

3.5 วิธีการสำหรับแก้ปัญหา 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4 วิธีฮิวริสติกแบบกวาด

4.1 ประยุกต์ใช้ฮิวริสติกแบบกวาด (Sweep Heuristics) 32

4.2 วิธีการทดสอบกับปัญหากรณีศึกษา 33

5 วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

5.1 ประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง 39

5.2 วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Search) 53

5.3 ผลการทดลองจากวิธีการการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) กับปัญหากรณีศึกษา 55

5.4 การประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ สำหรับปัญหามาตรฐาน 56

6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย 60

6.2 ข้อเสนอแนะ 63

6.3 ปัญหาและอุปสรรค 64

เอกสารอ้างอิง **65**

ภาคผนวก

ก ระยะทางการเดินรถทั้ง 51 จุด 72

ข ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้มุม 45, 90, 135 และ 180 องศา 80

ค ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง 87

ประวัติผู้วิจัย **96**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะรูปแบบต่างๆ	10
3.1	เส้นทางเดิม 13 เส้นทางที่ใช้ในการเดินทาง	25
3.2	ระยะทางจุดรับ-ส่งนักศึกษาในแต่ละจุด	26
3.3	ตัวอย่าง Distance Matrix ระยะทางโดยใช้วิธีการแบบกวาดในการจัดเส้นทาง	28
3.4	ตัวอย่างการจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดโดยกางมุม 45 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	29
3.5	ตัวอย่าง Distance Matrix ระยะทางโดยใช้โปรแกรม Lingo v.11 ในการจัดเส้นทาง	30
3.6	เส้นทางที่ได้จากโปรแกรม Lingo v.11	30
4.1	การจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดในมุมต่าง ๆ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	33
4.2	การจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดในมุมต่าง ๆ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	33
4.3	ตัวอย่าง Distance Matrix ระยะทางในการสุ่มเลือกเมืองเริ่มต้นโดยวิธีการแบบกวาด	34
4.4	ตัวอย่างการจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดโดยกางมุม 45 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	35
4.5	ตัวอย่างระยะทางโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11	35
4.6	เส้นทางที่ได้จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11	36
4.7	การจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดโดยทำมุม 45 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	36
4.8	การจัดเส้นทางโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11	37
4.9	การจัดเส้นทางสำหรับปัญหา VRP โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo v.11	38
5.1	ตัวอย่างลักษณะของตารางตัวเลขสุ่ม	41
5.2	ตัวอย่างแสดงระยะทาง และจำนวนนักศึกษา	41
5.3	ตัวอย่างแสดงจำนวนนักศึกษาในแต่ละเส้นทาง	41
5.4	ขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initialization) ของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	42
5.5	การจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ	42

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.6	การจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ และจำนวนนักศึกษา	43
5.7	การหาค่า Mutant vector ของอัลกอริทึม โดยกำหนดค่า $F_{บน} = 0.65$ $F_{กลาง} = 0.60$ และ $F_{ล่าง} = 0.55$	45
5.8	การหาค่า Recombination ซึ่งจะได้ค่า Trial vector โดยกำหนดค่า $CR_{บน} = 0.95$ $CR_{กลาง} = 0.90$ และ $CR_{ล่าง} = 0.85$	47
5.9	ค่า Trial vector สำหรับการจัดเส้นทางของค่า $F_{บน}$ และ $CR_{บน}$ $F_{กลาง}$ และ $CR_{กลาง}$ และ$F_{ล่าง}$ และ $CR_{ล่าง}$	49
5.10	การจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะของค่า $F_{บน}$ และ $CR_{บน}$ $F_{กลาง}$ และ $CR_{กลาง}$ และ$F_{ล่าง}$ และ $CR_{ล่าง}$	49
5.11	การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Target vector	50
5.12	การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Trial vector ของค่า $F_{บน}$ และ $CR_{บน}$	50
5.13	การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Target vector	51
5.14	การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Trial vector ของค่า $F_{กลาง}$ และ $CR_{กลาง}$	51
5.15	การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Target vector	52
5.16	การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Trial vector ของค่า $F_{ล่าง}$ และ $CR_{ล่าง}$	52
5.17	ผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง	56
5.18	ผลการวัดประสิทธิภาพสำหรับปัญหา VRP	57
5.19	การเปรียบเทียบการแก้ปัญหาของอัลกอริทึมกับวิธี PSO, ACO และ DE	58
5.20	ผลการแก้ปัญหาทั้ง 7 ปัญหาของอัลกอริทึมกับวิธี PSO, ACO และ DE	59
6.1	ผลการเปรียบเทียบของวิธีฮิวริสติกบบการกวาด และวิธีการการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะของกรณีศึกษา	61
6.2	ผลปัญหามาตรฐานทั้ง 22 ปัญหา	62
ก.1	รายละเอียดระยะทางของเส้นทางทั้ง 51 จุด	73
ข.1	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 45 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	79
ข.2	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 90 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	79
ข.3	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 135 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.4	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 180 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	81
ข.5	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 45 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	82
ข.6	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 90 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	82
ข.7	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 135 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	83
ข.8	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 180 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา	84
ค.1	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 1	86
ค.2	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 2	86
ค.3	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 3	87
ค.4	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 4	88
ค.5	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 5	89
ค.6	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 6	89
ค.7	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 7	90
ค.8	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 8	91
ค.9	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 9	92
ค.10	รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 10	92

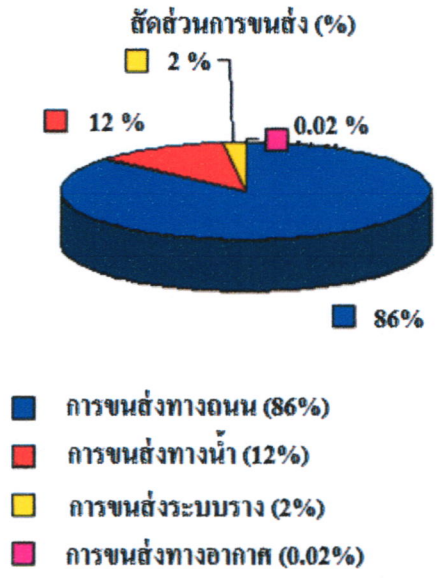
สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	สัดส่วนการขนส่ง	1
2.1	ลักษณะปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย	6
2.2	ลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	9
2.3	วิธีการจัดเส้นทางและลำดับการส่งสินค้าด้วยวิธี Sweep Approach	17
3.1	ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	23
3.2	ตำแหน่งของนักศึกษาทั้งหมด	26
3.3	ตัวอย่างการกวาดที่เริ่มต้นจากมุมศูนย์องศาในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	27
3.4	ตัวอย่างการกวาดโดยกางมุม 45 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	29
4.1	ตัวอย่างการกวาดโดยกางเส้นสมมติทำมุม 45 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา	34
5.1	ขั้นตอนของวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างของการหาคำตอบในงานวิจัย	40
5.2	วิธีการ SWAP เมือง 2 และ เมือง 9	53
5.3	วิธีการ SWAP เมือง 1 และ เมือง 6	54
5.4	วิธีการรบกวนคำตอบ	55
6.1	ผลการเปรียบเทียบระยะทางรวมของปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะของกรณีศึกษา	61
ก.1	ระยะทางของเส้นทางทั้ง 51 จุด	78

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันประเทศไทยประกอบธุรกิจเกี่ยวกับการขนส่งเป็นจำนวนมากเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของประชาคมอาเซียน โดยเฉพาะการขนส่งทางถนนดูได้จากภาพที่ 1.1 และเมื่อก้าวเข้าสู่ประชาคมอาเซียนในปี พ.ศ. 2558 ประเทศไทยจะตั้งอยู่ในจุดกึ่งกลางบนภาคพื้นแผ่นดินใหญ่ของอาเซียน ประเทศไทยย่อมได้รับประโยชน์จากปริมาณการคมนาคมขนส่งที่จะเพิ่มขึ้น ดังนั้นการจัดเส้นทางการขนส่ง จึงเป็นปัญหาที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย แต่ปัญหาวิกฤตราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อภาคธุรกิจการคมนาคมขนส่ง และภาคอุตสาหกรรมที่เป็นปัจจัยหลักในการพัฒนาประเทศเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะองค์กรที่ต้องอาศัยการขนส่งเป็นหลักในการดำเนินธุรกิจซึ่งได้รับผลกระทบต่อเนื่องโดยตรงต่อองค์กรเหล่านี้ที่มีการจัดเส้นทางที่ไม่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการดำเนินงานทางด้านธุรกิจ



ภาพที่ 1.1 สัดส่วนการขนส่ง (Energy Saving, 2014)

ปัจจุบันพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานปรับตัวสูงขึ้นเรื่อยๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการขั้นพื้นฐานในการดำเนินชีวิตของมนุษย์เกือบจะทุกคน ซึ่งแหล่งพลังงานหลักของโลกในปัจจุบันคือ "แหล่งพลังงานน้ำมัน" และนับวันจะมีแนวโน้มปริมาณการใช้ที่สูงขึ้นทั่วโลก ซึ่งประเทศไทยเองมีแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงอย่างจำกัด จึงต้องนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการได้เพื่อความมั่นใจว่าในอนาคตประเทศไทยจะมีน้ำมันเชื้อเพลิงใช้กันอย่างเพียงพอ แนวทางในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ จึงต้องคำนึงถึงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีการใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยจะต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นภาครัฐหรือภาคเอกชนควรตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้น และควรหันมาให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาด้านพลังงาน ปัญหาด้านการจัดการการขนส่งก็เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาด้านพลังงาน สำหรับองค์กรที่มีกิจกรรมการขนส่งเป็นกิจกรรมหลักขององค์กร หากมีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่ไม่เหมาะสม จะทำให้ต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิงจำนวนมาก จึงเป็นการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้นอย่างไม่มีประสิทธิภาพ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดการด้านการขนส่งที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

กรณีศึกษานี้คือมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์นเป็นสถาบันการศึกษาที่มีขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง ตั้งอยู่ในจังหวัดอุบลราชธานี พบว่าทางมหาวิทยาลัยฯ ได้จัดอำนวยความสะดวกให้กับนักศึกษาที่มาเรียนในภาควันเสาร์-อาทิตย์โดยจัดให้มีรถรับ-ส่งจำนวนหนึ่งเดินทางออกไปรับ-ส่งนักศึกษาตามเส้นทางที่ได้รับมอบหมาย โดยรถทุกคันจะเริ่มต้นเดินทางที่มหาวิทยาลัยฯ หลังจากรับ-ส่งนักศึกษาเรียบร้อยแล้วจะเดินทางกลับมาที่เดิมจากการศึกษาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางที่ผ่านมาได้พบกับปัญหากล่าวคือเส้นทางการเดินรถมีจำนวนมากการบรรทุกผู้โดยสารไม่เต็มความจุของรถเส้นทางการเดินรถทับซ้อนกันโดยที่ผ่านมาการจัดเส้นทางการเดินรถอาศัยประสบการณ์เป็นหลักในการจัดเส้นทาง

ด้วยความสำคัญของปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการจัดระบบรถรับ-ส่งนักศึกษาของมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์น อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี เพื่อให้ได้ระยะทางต่ำที่สุดและเกิดประสิทธิภาพสูงสุด ภายใต้ข้อกำหนดและเงื่อนไขต่างๆ อันจะส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ โดยรูปแบบปัญหากรณีศึกษาเป็นรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle routing problem: VRP) คือเป็นปัญหาการการตัดสินใจเลือกทางเลือก หรือระยะทางที่ดีที่สุด โดยการจัดสรรเส้นทางให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งปัญหา VRP เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน และหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างยาก และใช้เวลาในการคำนวณนาน

หรือเป็นไปไม่ได้ที่จะคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นวิธีการเมต้าฮิวริสติกจึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเพราะให้คำตอบอยู่ในระดับที่ดีและเวลาที่ใช้เหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษากรณีศึกษาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อันจะส่งผลให้สามารถช่วยลดต้นทุนกรณีศึกษาได้

1.2.2 วัดประสิทธิภาพของเมต้าฮิวริสติกโดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจัดเส้นทางกับปัญหาขนาดต่างๆ

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

1.3.1 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะของกรณีศึกษาที่มีความแน่นอนของปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละราย

1.3.2 ในงานวิจัยนี้จะศึกษาเฉพาะระยะทางที่ใช้ในการเดินทางเท่านั้น

1.3.3 ศูนย์กลางมีจำนวน 1 แห่ง และมีจุดรับ-ส่งทั้งหมด 51 จุด

1.3.4 รถโดยสารต้องมีความจุผู้โดยสารได้ 50 คน

1.3.5 ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristics) และวิธีเมต้าฮิวริสติก (Meta-Heuristics) ในการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

1.3.6 การทดสอบและเปรียบเทียบอาศัยการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยไม่มีการทดสอบกับสถานที่และยานพาหนะจริง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย เช่น ความต้องการของลูกค้า ความจุของรถบรรทุก ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย และเส้นทางรถรับ-ส่ง ณ ปัจจุบันของมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์นกรณีศึกษา เป็นต้น

1.4.2 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.3 ออกแบบอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา

1.4.4 เขียนและทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประยุกต์ใช้โปรแกรม Bloodshed Dev- C++ 4.9.9.2

1.4.5 ทดลองนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนไว้ไปแก้ปัญหา VRP อื่นๆ แล้วเทียบผลที่ได้จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้กับคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้

1.4.6 วิเคราะห์ความไวพารามิเตอร์ในระดับต่างๆ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของกรณีศึกษา

1.4.7 จัดเส้นทางรถรับ-ส่งของกรณีศึกษา โดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้เขียนตามขั้นตอนของอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้ รวมถึงการใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของกรณีศึกษา

1.4.8 สรุปผลการวิจัยและเรียบเรียงผลงานทั้งหมดพร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษากรณีศึกษาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพนี้จะก่อให้เกิดประโยชน์มากมาย ได้แก่

1.5.1 สามารถลดระยะทางในการรถรับ-ส่งนักศึกษากรณีศึกษาได้ ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายของมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์นกรณีศึกษา

1.5.2 เมื่อระยะทางในการขนส่งลดลงก็จะสามารถให้บริการลูกค้าได้รวดเร็วขึ้นเป็นการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า

1.5.3 ลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นทรัพยากรสิ้นเปลืองลงได้

1.5.4 ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของรถขนส่ง ซึ่งเป็นต้นเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

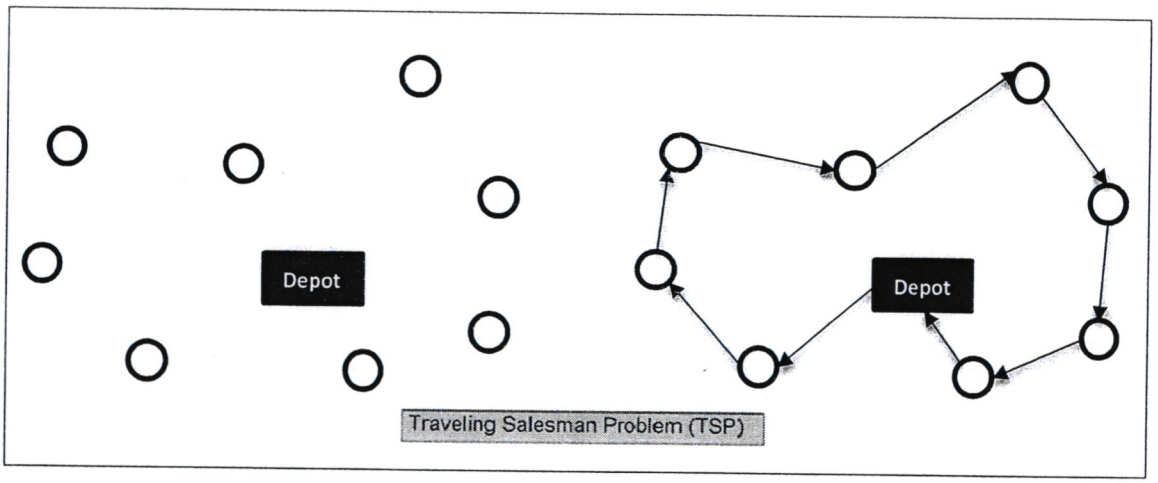
ปัจจุบันปัญหาต่างๆในภาคอุตสาหกรรมและธุรกิจการบริการต่างมีความซับซ้อนของปัญหาและมีเงื่อนไขต่างๆในการปฏิบัติอยู่มาก เช่น ปัญหาด้านการผลิต ปัญหาด้านการบริการและปัญหาด้านการขนส่ง การขนส่งถือเป็นกิจกรรมอย่างหนึ่งของระบบโลจิสติกส์ปัญหาการขนส่งสินค้าจะต้องประกอบไปด้วยเงื่อนไขหรือกิจกรรมต่างๆที่เกิดขึ้นในองค์กร ประกอบด้วยหลักในการวางแผนนโยบายสำหรับการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะซึ่งปัญหาในการตัดสินใจที่เกิดขึ้นจะมีความซับซ้อนและมีเงื่อนไขต่างๆของตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินใจจำนวนมากมาช่วยในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสม และการนำวิธีการฮิวริสติกมาช่วยในการแก้ปัญหาด้านการขนส่งเพื่อให้ได้คำตอบที่รวดเร็วและมีความเหมาะสมของแต่ละเส้นทางที่ตรงตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้

ณกร อินทร์พยุง (2548) ได้ให้ความหมายของการขนส่งว่าเป็นการเคลื่อนย้ายสิ่งของจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง โดยที่สิ่งของนั้นจะเป็นวัตถุดิบหรือสินค้า เป็นต้น และสถานที่ไปอาจจะเป็น โรงงานหรือลูกค้า ซึ่งวัตถุประสงค์ในการจัดการขนส่งสินค้าที่ดีคือ การกระจายสินค้าที่มีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน เช่น ใช้ระยะทางในการขนส่งที่น้อยลง ลดระยะเวลาในการขนส่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง หรือการใช้ยานพาหนะที่น้อยลง โดยการจัดระบบการขนส่งนั้นจะประกอบไปด้วยกลุ่มบุคคลคน 2 กลุ่มได้แก่ ผู้ส่ง (Shipper) เป็นบุคคลที่จะต้องเคลื่อนย้ายสินค้าระหว่างจุดสองจุด และผู้ทำการขนส่ง (Carrier) เป็นตัวกลางที่จะเคลื่อนย้ายหรือขนส่งสินค้า ปัจจัยที่ควรจะพิจารณาขึ้นอยู่กับฐานะของผู้ส่งหรือผู้ประกอบการขนส่ง ตัวผู้ทำการส่งจะใช้วิธีใดๆในการขนส่งสินค้าเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดให้ต่ำที่สุด โดยที่ไม่ทำให้ประสิทธิภาพในการขนส่งลดลงและเป็นการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าในระดับที่เหมาะสม เพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ของผู้ทำการขนส่งก็คือ การตัดสินใจด้านการลงทุนและการวางแผนแนวทางในการลงทุนในสินทรัพย์ต่างๆ เพื่อให้ได้ผลประโยชน์สูงสุด เช่น สายการบิน การรถไฟ บริษัทที่ให้บริการด้านการขนส่งโดยรถบรรทุกหรือทำการขนส่งด้วยตนเอง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวของกับปัญหาการขนส่ง

2.1.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP)

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Optimization) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหานี้คือการลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางให้น้อยที่สุด โดยมีเงื่อนไขว่าต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมืองหรือหาเส้นทางวงปิด (Closed Tour) แต่ละเมืองโดยจะต้องเดินทางผ่านเมืองได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น เมื่อพนักงานขายเดินทางจนครบทุกเมืองแล้วให้เดินทางกลับไปยังเมืองเริ่มต้นดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

ปัญหา TSP สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้ (1) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบสมมาตร (Symmetric TSP) กล่าวคือระยะทางระหว่างเมืองทั้งไปและกลับมีค่าเท่ากัน (2) ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายแบบไม่สมมาตร (Asymmetric TSP) กล่าวคือระยะทางระหว่างเมืองทั้งไปและกลับมีค่าไม่เท่ากัน ทั้งนี้ปัญหา TSP เป็นปัญหาประเภทเอ็นพี-สมบูรณ์ (NP-Complete) ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ค่อนข้างยาก โดยที่จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้จะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโปเนลเชียลตามจำนวนจุดของสถานที่ที่เพิ่มมากขึ้น เมื่อจำนวนสถานที่เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ลักษณะของปัญหา TSP สามารถแสดงได้จากกราฟ $G=(V,A)$ เมื่อ $V=\{1,...,N\}$ คือเซตของโหนด โดยที่ A คือเซตของเส้นเชื่อม แต่ละเส้นเชื่อมจะประกอบไปด้วย C_{ij} เป็นสัญลักษณ์แทนระยะทางที่พนักงานขายเดินทางจากเมือง i ไปยังเมือง j ซึ่ง $(i,j)\in V|i\neq j$ และ S คือ สับเซตที่เป็นไปได้

ทั้งหมด $V : S \subset V$ โดยที่ $S \neq \varnothing, S \neq V$ ซึ่ง $|S|$ คือ จำนวนสมาชิกของเซต S แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงได้ดังนี้

ดัชนี (Indices)

i = ลำดับของเมืองที่ i โดยที่ $i = 1, 2, ..., N$

j = ลำดับของเมืองที่ j โดยที่ $j = 1, 2, ..., N$

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)

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

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

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

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

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ (2.1) คือ ต้องการหาเส้นทางวงปิดที่สั้นที่สุด ที่ได้จากการรวมระยะทางการเดินทางของพนักงานขาย สมการข้อจำกัดที่ (2.2) และ (2.3) คือแต่ละเมืองจะต้อง

ประกอบด้วยเส้นทางเข้าหนึ่งเส้นและเส้นทางออกหนึ่งเส้น สมการ (2.4) คือสมการป้องกันการเกิดเส้นทางพาหนะขนส่งย่อย และสมการ (2.5) เป็นการกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี่

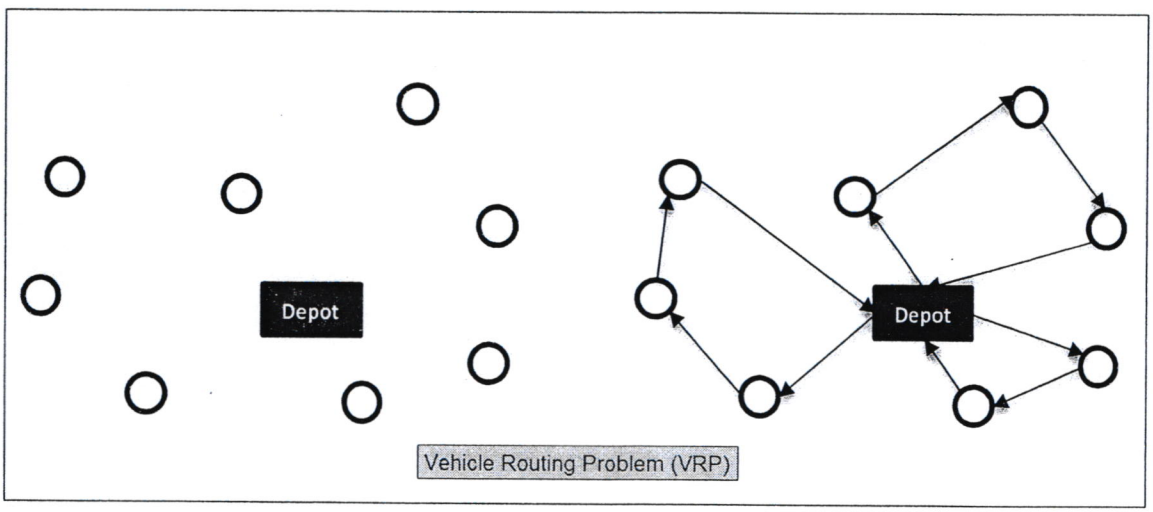
ปัญหา TSP เป็นปัญหาที่ได้รับความนิยมในการศึกษาค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวาง โดยมีการศึกษาค้นคว้าวิจัยมาตั้งแต่ปี ค.ศ.1940 แม้ว่าจะมีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับปัญหานี้มาอย่างยาวนาน แต่ว่ายังไม่มีวิธีการใดที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากปัญหา TSP จัดเป็นปัญหาที่ยากในการหาคำตอบ ในอดีตมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาถึงวิธีการแก้ปัญหา 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 ผลการทดลองปรากฏว่าคำตอบที่ได้เป็นตำตอบที่ดีที่สุด (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

2.1.2 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP)

ปัญหา VRP นั้นเป็นปัญหาส่วนหนึ่งของการจัดการด้านโลจิสติกส์ (Logistic) คือ ปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดในการเคลื่อนย้ายวัตถุ โดยหาวิธีการวางแผนการจัดลำดับและจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด 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 ศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง จำนวนลูกค้ามีเท่ากับ N ราย และพาหนะขนส่งมีจำนวน K คัน ระยะทางระหว่างจุดที่ตั้งของโหนดสองโหนดมีการคำนวณระยะทางแบบเชิงพิกัด (Euclidean distances) การบรรทุกสินค้าในการขนส่งแต่ละครั้งและแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินขีดจำกัดของ Q_k ลูกค้าทุกรายเป็นสมาชิกของ $i = \{1,2,.....N\}$ และมีความต้องการสินค้าในระดับ D_i ลักษณะการแก้ปัญหาหรือการออกแบบเพื่อแบ่งกลุ่มเส้นทางของพาหนะขนส่งออกเป็นจำนวน K เส้นทางเพื่อให้เส้นทางขนส่งสามารถขนส่งสินค้าออกไปให้บริการให้กับลูกค้าอย่างรวดเร็วโดยต้องใช้ต้นทุนในการให้บริการต่ำที่สุด ลักษณะของปัญหา VRP ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ผู้คิดค้นคนแรกคือ Dantzig and Ramser (1959) ถือว่าปัญหาการจัดการด้านโลจิสติกส์(Logistics) เป็นปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดในการหาวิธีวางแผนการจัดลำดับและเส้นทางการขนส่ง

สินค้าไปยังลูกค้าหรือผู้บริโภคให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า และทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจด้วยเหตุนี้ปัญหานี้จึงได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเนื่องจากปัญหา VRP นั้นเป็นปัญหาที่พบได้บ่อยในชีวิตประจำวันและปัญหา VRP เป็นปัญหาที่มีความสนใจในเชิงทฤษฎีที่ไม่ง่ายในการหาคำตอบจึงทำให้มีนักวิจัยสนใจและพัฒนาวิธีการหาคำตอบหลายๆคนและต่อๆ กันมาเรื่อยๆ รวมระยะเวลาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันเกือบ ห้าสิบปีมาแล้ว ในงานวิจัยของ Larsen (2000) ได้แบ่งปัญหา VRP ออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกันคือ (1) ปัญหาแบบ Deterministic ซึ่งทราบข้อมูลที่จำเป็นทั้งหมดก่อนเริ่มทำการจัดเส้นทาง และ (2) ปัญหาแบบ Dynamic ซึ่งข้อมูลที่จำเป็นจะไม่ทราบแน่นอนก่อนการจัดเส้นทาง แต่จะทยอยกันออกมาในระหว่างที่ทำการจัดเส้นทาง โดยปัญหา VRP มีรากฐานมาจากปัญหา TSP ดังที่ได้กล่าวลักษณะของปัญหาไว้ในหัวข้อที่ 2.1.1 ซึ่งจุดเริ่มต้นของปัญหา TSP เกิดขึ้นในช่วงทศวรรษที่ 1920 โดยนักคณิตศาสตร์และนักเศรษฐศาสตร์ที่ชื่อว่า Karl Menger จากนั้นก็มีการศึกษาต่อๆกันมา และปัญหานี้ให้ได้รับความนิยมในงานวิจัยของ Dantzig et al. (1954) ได้เสนอวิธีในการหาคำตอบในการจัดเส้นทางซึ่งสามารถจัดการกับปัญหา TSP ซึ่งมีเมืองที่ต้องผ่านขนาด 49 เมืองได้ จากนั้นก็มีการศึกษาต่อเนื่องกันมาจนกระทั่งในงานวิจัยของ Applegate et al. (2009) สามารถหาเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางผ่านไปยังเมืองต่างๆ 85,900 เมือง สำหรับปัญหา VRP จะมียานพาหนะที่ใช้ในการเดินทางมากกว่า 1 คัน ซึ่งโดยตัวปัญหาจะถูกแบ่งออกเป็นประเภทย่อยๆ อีกหลายประเภทตามลักษณะเฉพาะของตัวปัญหา โดยในงานวิจัยของ Toth and Vigo (2002) ได้แบ่งประเภทของปัญหา VRP ไว้ 9 ปัญหาด้วยกัน แสดงดังตารางที่ 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

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

ดัชนี (Indices)

i = ลำดับของลูกค้าที่ i โดยที่ $i = 1, 2, ..., N$

j = ลำดับของลูกค้าที่ j โดยที่ $j = 1, 2, ..., N$

k = ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าที่ k โดยที่ $k = 1, 2, ..., K$

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 ไปลูกค้าที่ 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)

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

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

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

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

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

$$\sum_{i=2}^{N} X_{j1}^{k} \le 1 \qquad \forall_{k=(1,2,...,K)} \qquad (2.12)$$

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

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

สมการเป้าหมายแสดงวัตถุประสงค์หลัก (2.6) เพื่อให้เกิดระยะทางในการเดินทางต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (2.7) และ (2.8) เป็นการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละจุดสามารถรับการบริการได้จากพาหนะขนส่งเพียงคนละหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น 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) กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นปัญหาด้านการขนส่งและโลจิสติกส์รูปแบบหนึ่งที่มีการศึกษามายาวนานกว่า 40 ปี และมีการค้นคว้าอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ทำให้ปัญหา VRP ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาจนมีความหลากหลายมากขึ้นตามไปด้วย ถึงแม้จะมีการศึกษามาอย่างยาวนานก็ตามที แต่ว่ายังไม่มีวิธีการใดที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากความยากในการหาคำตอบ

ของปัญหา 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

ส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองพฤติกรรมของมด ได้แก่ Dorigo and Gambardella (1997) ได้นำวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมดมาใช้ในการแก้ปัญหา TSP โดยใช้การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ และในงานวิจัยนี้ยังได้ทำการทดลองในการหาคำตอบเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ เช่น วิธี Simulated Annealing, Neural Network, Self Organizing Map, Genetics Algorithm, Evolutionary Programming และวิธีผสมระหว่างวิธี SA และวิธี GA จากการทดลองพบว่ามดจำลองสามารถสร้างเส้นทางคำตอบให้ผลเป็นที่น่าพอใจทั้งในกรณีปัญหา TSP

แบบสมมาตรและไม่สมมาตร โดยมีกลไกในการหาคำตอบที่สำคัญคือ การใช้การสะสมของข้อมูลในรูปแบบของร่องรอยฟีโรโมนที่มดจำลองปล่อยทิ้งไว้ในเส้นทางในขณะที่เดินทางผ่าน Bullnheimer et al. (1999) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ด้วยขั้นตอนวิธีระบบอาณานิคมมดทำการทดสอบปัญหาและเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ของ Chirstofides, Mingozzi and Toth ทั้งหมด 14 ปัญหาลักษณะของปัญหาประกอบด้วย ศูนย์กระจายสินค้ามีเพียงหนึ่งแห่ง ลูกค้ามีหลายรายและชนิดของพาหนะขนส่งเป็นชนิดและรูปแบบที่เท่ากัน ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อทำการหาจำนวนการใช้พาหนะขนส่งรวมถึงการใช้ระยะทางที่สั้นที่สุดและเวลาในการประมวลผลที่เหมาะสม พบว่าคำตอบที่ได้มีค่าความผิดพลาดระหว่าง 0.05% - 3.20% Cheng and Mao (2007) ได้ทำการวิจัยปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่มีขอบเขตของเวลา (Traveling salesman problem with time windows: TSPTW) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการหาต้นทุนในการเดินทางที่ต่ำที่สุดภายใต้ขอบเขตเวลาที่ระบุเอาไว้ วิธีที่นำมาใช้ได้มีการพัฒนาวิธีการขึ้นมาใหม่เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา TSPTW ผลการทดลองพบว่าวิธีที่คิดขึ้นมาใหม่สามารถแก้ปัญหา TSPTW ได้ดี สุพรรณ สุดสนธิ์ และคณะ (2550) นำเสนอวิธี ACO และขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap) การย้าย (Move) 2-Opt และ 3-Opt อัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง (Multi Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) ซึ่งประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดีและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบอย่างเหมาะสม ในงานวิจัยของ ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี และระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2554) ได้ประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดและการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี Crossover Move และ 2-opt เพื่อแก้ปัญหา VRP ให้กับบริษัทกรณีศึกษาผลการทดสอบพบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี โดยที่วิธีอาณานิคมมดปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการ Crossover Move แล้ว 2-Opt ให้ผลเฉลยของระยะทางต่ำที่สุดและใช้เวลาในการประมวลอย่างเหมาะสม ต่อมา สรรเพ็ชญ์ ไชยศิลปะสังข์ และอุดม จันทร์จรัสสุข (2554) นำเสนอวิธี ACO สำหรับการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง โดยทำการทดสอบกับชุดปัญหามาตรฐานจาก OR-Library พบว่าผลคำตอบมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุด และได้คำตอบที่ดีที่สุดจำนวน 4 ชุดปัญหาคิดเป็น 26% ของปัญหาทั้งหมด

2.2 วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

2.2.1 วิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic Optimization)

วิธีฮิวริสติก หมายถึง เป็นวิธีการคิดค้นขึ้นมา เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งไม่มีแบบแผนที่แน่นอนตายตัว โดยการสร้างฮิวริสติกนั้นมักต้องอาศัยความเข้าใจและประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหานั้นๆ เป็นอย่างดี ดังนั้นวิธีฮิวริสติกที่ ใช้ในการแก้ปัญหาหนึ่งอาจไม่สามารถนำไปใช้แก้ไขปัญหาอีกปัญหาหนึ่งได้ และไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เท่ากันทุกครั้ง แต่สามารถได้คำตอบในเวลาที่รวดเร็ว หรือสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนจนไม่สามารถเขียนเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้

วิธีฮิวริสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของวิธีการในการสร้างคำตอบ ได้แก่ ประเภทที่ 1 คือ วิธีฮิวริสติกแบบสร้างคำตอบ วิธีนี้จะเริ่มสร้างคำตอบโดยเริ่มจากการค่อยๆ เพิ่มลูกค้าในเส้นทางทีละรายหรือเพิ่มโหนดทีละโหนด จนประกอบกันเป็นคำตอบที่สมบูรณ์ เช่น วิธี Saving, Matching Based, Nearest Insertion, Nearest Neighbor เป็นต้น และประเภทที่ 2 คือ วิธีฮิวริสติกแบบค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighbourhood Search Heuristic) ตัวอย่างของวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยโลจิสติกส์ เช่น วิธี Saving วิธี Matching Based วิธี Nearest Insertion วิธี Nearest Neighbor และวิธี Local Search เป็นต้น ดังนั้นวิธีฮิวริสติกจึงถูกพัฒนาให้มีความยืดหยุ่น รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เรียกว่า เมตาฮิวริสติก (Meta-Heuristic)

นอกจากนี้ Blum and Roli (2003) ยังได้เสนอการแบ่งเมตาฮิวริสติกไว้ 6 ประเภท ดังนี้ ประเภทที่ 1 เมตาฮิวริสติกที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีระบบมด (Ant System) วิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) และวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบ Particle Swarm Optimization (PSO) เป็นต้น ประเภทที่ 2 เมตาฮิวริสติกที่ไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) เป็นต้น ประเภทที่ 3 เมตาฮิวริสติกแบบใช้ประชากรคือในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) และวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบ Particle Swarm Optimization (PSO) เป็นต้น ประเภทที่ 4 เมตาฮิวริสติกแบบไม่ใช้ประชากร คือในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบออกมาเพียงหนึ่งคำตอบเท่านั้น เช่น วิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) และวิธีการค้นหาในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ในแบบวนซ้ำ (Iterated Local Search) เป็นต้น ประเภทที่ 5 เมตาฮิวริสติกแบบสมการเป้าหมายคงที่ คือในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจมีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ เกิดขึ้น เช่น วิธี Guided Local Search เป็นต้น ประเภทที่ 6 เมตาฮิวริสติกแบบไม่มี

การเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) และวิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) เป็นต้น

Nagy and Salhi (1996) นำเสนอวิธีการทางฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดของขนาดปัญหา โดยวิธีฮิวริสติกที่นำมาใช้เป็นวิธีการประมาณการแบ่งลูกค้าออกเป็นกลุ่มๆ เรียกว่า "Cluster-Based" ในการจัดสรรลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้า และขั้นตอนต่อจากนั้นจะเป็นการสร้างเส้นทางด้วยวิธี Clarke and Wright Saving Heuristic อีก 3 ปีต่อมา Tuzun and Burke (1999) ได้นำเสนอวิธีทาบูเซิร์ช (Tabu Search) แบบสองเฟสเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งที่มีขนาดของปัญหา 200 ลูกค้า โดยเปรียบเทียบคำตอบที่ได้และเวลาที่ใช้กับวิธี ฮิวริสติกแบบ Saving ซึ่งผลที่ได้ปรากฏว่าวิธี Tabu Search ที่ออกแบบมาได้คำตอบที่ดีกว่า วิธี Saving แต่ใช้เวลาในการคำนวณมากกว่า

ณกร อินทร์พยุง (2548) ได้สรุปว่าปัญหาที่เหมาะสำหรับการแก้ด้วยวิธีฮิวริสติกจะมีลักษณะต่างๆ ประกอบด้วย (1) ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ (Ill = Structured Problem) (2) ปัญหาที่ผู้วิจัยพยายามทำให้เป็นปัญหาที่มีโครงสร้างสมบูรณ์แต่ได้ละเลยเงื่อนไขของปัญหาบางอย่างหรือทำให้ง่ายขึ้น (3) ปัญหาที่มีตัวแปรการตัดสินใจและเงื่อนไขของปัญหาที่เป็นจำนวนมาก และ (4) ปัญหาที่ไม่ต้องการคำตอบที่ดีที่สุด (Good Feasible Solution)

ตัวอย่างของวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยด้านโลจิสติกส์ เช่น วิธีในกลุ่มของ Constructive เช่น วิธีละโมบ (Greedy) และวิธีประหยัด (Saving) วิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูด (Neighborhood Search) หรือวิธี Local Search

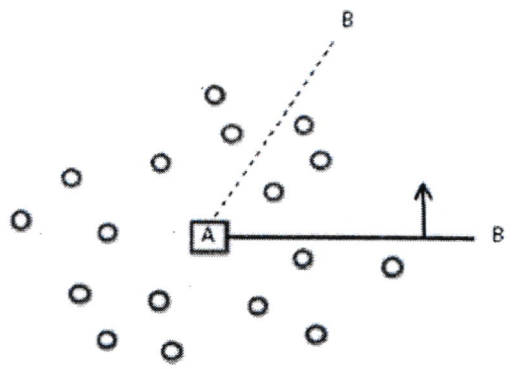
Clarke and Wright (1964) ทำการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีหลายขนาดโดยส่งสินค้าออกจากศูนย์กลางการกระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว โดยใช้วิธีการทางฮิวริสติกจัดเรียงลำดับของค่าประหยัด (Saving) และเชื่อมเส้นทางต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ทราบจำนวนรถบรรทุกที่ต้องการใช้และปริมาณสินค้าในแต่ละคัน จากการคำนวณค่าเวลาหรือระยะทางใช้จ่ายในการขนส่งที่ประหยัดสูงที่สุด นอกจากวิธีฮิวริสติกที่กล่าวมา ในอดีตที่ผ่านมามีการศึกษาหาวิธีหาคำตอบโดยใช้วิธีฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ เช่น วิธีเชิงพันธุกรรม วิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) วิธี Simulated Annealing (SA) เป็นต้น

Christophides and Eilson (1969) เสนอวิธีปรับปรุงเส้นทาง ภายหลังจากได้เส้นทางเบื้องต้น ผู้วิจัยได้เสนอการปรับปรุงเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้ได้ระยะทางใหม่ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าเดิม โดยมีการเริ่มต้นจากการสมมติ เส้นทางเริ่มต้นขึ้นมาแล้วค่อยปรับปรุงจนกระทั่งได้เส้นทางที่ดีที่สุด

จากการศึกษาและผลงานวิจัยข้างต้น การใช้วิธีฮิวริสติก ด้วยวิธีต่างๆ สามารถที่จะแก้ไขปัญหาการเลือกจุดกระจายสินค้าและจัดเส้นทางการขนส่ง วิธีการต่างๆ ล้วนมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน และมีความเหมาะสมกับปัญหาในแต่ละแบบ

2.2.2 วิธีฮิวริสติกแบบการกวาด (Sweep Approach)

วิธี Sweep Approach เป็นการหาจำนวนเส้นทางและลำดับการขนส่งสินค้าโดยการแบ่งเส้นทางเป็นพื้นที่รับผิดชอบด้วยการกำหนดทิศทางในการหมุนด้วยเส้นสมมุติในทิศทางทวนเข็มหรือตามเข็มนาฬิกาและรวมปริมาณสินค้าของลูกค้าแต่ละรายด้วยวิธีการกวาดจนกระทั่งผลรวมของปริมาณสินค้าใกล้ถึงความจุของยานพาหนะจึงเปลี่ยนพาหนะใหม่จนกระทั่งหมุนเส้นครบรอบตามจำนวนสินค้าที่แสดงไว้ตามรูปภาพที่ 2.3 หลังจากนั้นจึงใช้เทคนิคการแก้ปัญหา TSP สำหรับยานพาหนะแต่ละคัน



ภาพที่ 2.3 วิธีการจัดเส้นทางและลำดับการส่งสินค้าด้วยวิธี Sweep Approach

2.3 การค้นหาคำตอบด้วยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE)

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

ในวิธีการค้นหาที่ยึดตามหลักประชากร การวิวัฒนาการจะเริ่มสุ่มประชากรเริ่มต้นในขนาด N ของ เวกเตอร์มิติ D การแก้ไขปัญหาการวิวัฒนาการอัลกอริทึมจะไปแทนที่มิติของเวกเตอร์ D ซึ่งค่าของตัวแปรแต่ละตัวในพื้นที่ของมิติจะถูกแสดงเป็นเลขในระบบจำนวนจริง ลักษณะที่เด่นชัดของกระบวนการ คือ กลไกใหม่สำหรับการสร้างเวกเตอร์ของการทดลองการวิวัฒนาการ จะ

สร้างเวกเตอร์การทดลองโดยการเปลี่ยนแปลงและมองข้ามหลักการดำเนินงาน จากนั้นทดแทนการดำเนินงานเฉพาะรายบุคคลที่เราเรียกว่า การดำเนินการคัดเลือก ที่เกิดขึ้นเมื่อเวกเตอร์การทดลองนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าเวกเตอร์ที่สอดคล้องกัน กระบวนการเหล่านี้จะถูกดำเนินการอีกครั้งจนกว่าจะมีเกณฑ์ยับยั้งให้มีการหยุด ทั้งนี้การวิวัฒนาการของประชากรก็จะถูกดำเนินการ โดยผ่านวิธีการทำซ้ำของ 3 ผู้ประกอบการหลักซึ่งก็คือ การกลายพันธุ์ ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบครอสโอเวอร์ และการคัดเลือก ด้วย กระบวนการทำงานในการวิวัฒนาการแบบคลาสสิค โดย Price et al. (2005) ได้สรุปการแบ่งลำดับขั้นตอนที่สำคัญของการวิวัฒนาการแบบคลาสสิคไว้ดังนี้

2.3.1 Initial population คือขั้นตอนการสุ่มเลือกจำนวนประชากรตั้งต้นภายใต้ขอบเขตข้อจำกัด จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดได้ หรือค่า NP: Number of population เป็น ตัวแปรตัดสินใจ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าคำตอบ Cost Value, Fitness Value หรือ FunctionValue ในความหมายเดียวกัน

2.3.2 Mutation คือ ขั้นตอนการคูณตัวแปรตัดสินใจด้วยปัจจัยตัวคูณ เรียกว่า Weighting Factor: F หรือ เรียกว่า Mutation Factor: F อีกชื่อหนึ่งเช่นกันเพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า กลายพันธุ์ ให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรในข้อแรก

2.3.3 Recombination คือขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ ซึ่งจะได้สายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าและแย่กว่าออกมาอย่างหลากหลาย เพื่อค้นหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ

2.3.4 Selection คือขั้นตอนการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1) โดยคัดเลือกเอาแต่เฉพาะ คำตอบที่ดีกว่า 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

Jarmo et al. (2003) นำเสนอว่า วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการวิวัฒนาการอีกมากที่มีช่องว่างในการค้นหาอย่างต่อเนื่อง DE เพิ่งได้รับการประสบความสำเร็จนำไปใช้กับโลกแห่งความจริง เกี่ยวกับปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ และยังเสนอให้ใช้สำหรับโครงข่ายประสาทเทียมแต่ 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 อาศัยข้อมูลไล่ระดับ ก็อาจมีโอกาสที่จะเข้าหาพื้นที่ ที่เหมาะสม วิธีการเพิ่มประสิทธิภาพที่นิยมเช่น Evolutionary Algorithms (EA) จาก

การศึกษาพบว่า ผลของการใช้ วิธี Evolutionary 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 อัลกอลิทึมที่มีประสิทธิภาพที่ดีด้านเวลาก็คือ 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 อัลกอริทึมพันธุกรรม (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 ครอสโอเวอร์พารามิเตอร์การควบคุมการใช้ตรรกะวิธีการควบคุมฟัซซี่ พารามิเตอร์ของ FADE ตอบสนองต่อข้อมูลประชากรของคือเวกเตอร์พารามิเตอร์ฟังก์ชั่นซึ่งช่วยให้ 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) นำเสนอวิธีการใหม่ในการกลายพันธ์ของ DE โดยหาการจำลองรูปแบบของ DE สองแบบ เพื่อทดสอบการกลายพันธ์ของ 3 ปัจจัย การนำเสนอนี้จะถูกแสดงให้เห็น

ว่านัยสำคัญทางสถิติที่ดีขึ้นกว่า 3 ปัจจัย สายพันธุ์ที่นิยมใน DE โดยใช้หกฟังก์ชั่นการทดสอบ เพื่อหามาตรการประสิทธิภาพเช่น วิธีการแก้ปัญหาที่มีคุณภาพ เวลาที่แก้ปัญหา ความถี่ในการแก้ปัญหา และขนาดของการแก้ปัญหา

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

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

Dexuan zou et al. (2011) ได้ทำการพัฒนาวิธีการDE 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) ในเครือข่ายการกระจายเมื่อมีการพิจารณาปรับโครงสร้างผลพบว่า 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

กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2013) ได้นำเสนอวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง สำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 โดยมีวัตถุประสงค์ในการหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด และทำการเปรียบเทียบผลกับสายงานการประกอบปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะทำหน้าที่ในการสร้างเวคเตอร์เริ่มต้นด้วยการสุ่มจากจำนวนจริงและปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด วิธีการแลกเปลี่ยนพิกัด และการคัดเลือก จากผลการทดลองประยุกต์ใช้สูตรในขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัดทั้ง 3 สูตร พบว่าวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างสามารถลดจำนวนสถานีงานได้จากสายงานการประกอบเย็บปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษาได้ และใช้เวลาประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว

ภาณุภัณฑ์ ภาระเวช และระพีพันธ์ ปิตาคะโส (2013) ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลอิโวลูชั่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพสายการประกอบแบบเส้นตรง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด (m) ซึ่งวิธีการ DE จะทำการสร้างเวกเตอร์เริ่มต้นโดยการสุ่มจำนวนจริง จากนั้นจะทำการปรับปรุงคำตอบโดยการผ่าเหล่า (Mutation), การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) และทำการคัดเลือก (Selection) ซึ่งได้ประยุกต์ใช้วิธี Mutation 3 วิธีคือ “DE/rand”, “DE/Best/1” และ “DE/Rand-to-Best/1” มาใช้ร่วมกับวิธี Crossover 2 วิธีคือ Binomial Crossover และ Exponential Crossover 2 Position ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 ที่มีงาน 7-111 งาน จำนวน 64 ปัญหา จากการทดลองพบว่าการนำวิธี “DE/Best/1” มาใช้ร่วมกับวิธี Exponential Crossover ให้คำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่รวดเร็วที่สุด

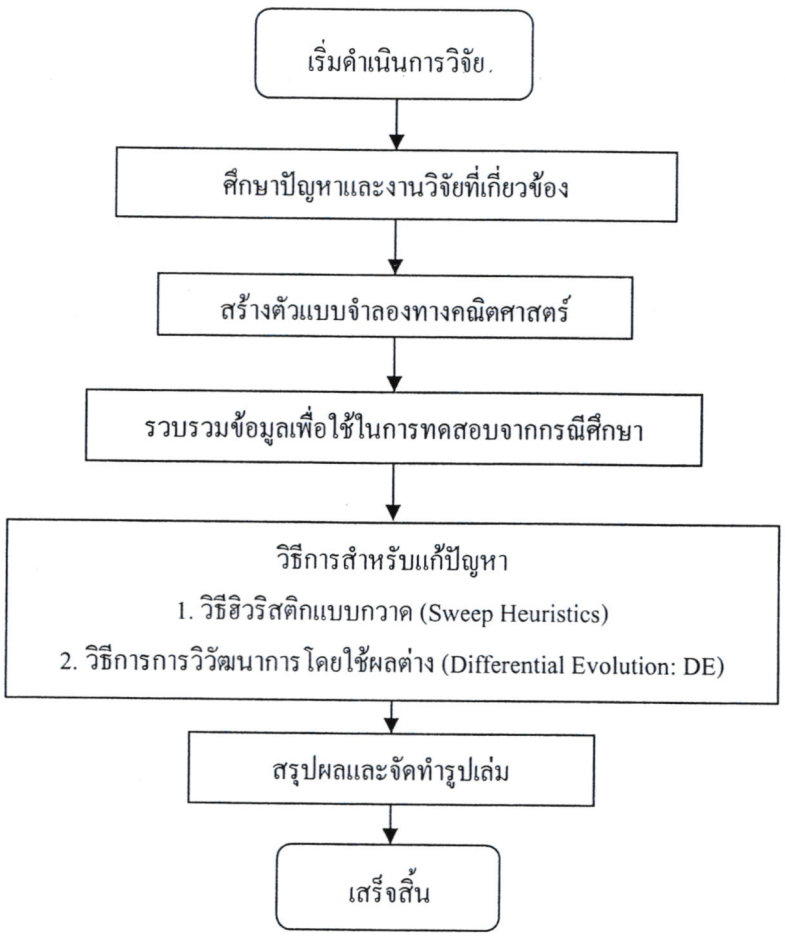
จำนวน 59 ปัญหา ซึ่งถือได้ว่าเป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบที่มีประสิทธิภาพมากวิธีหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้วิธี "DE/Rand" ร่วมกับ Binomial Crossover "DE/Best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover "DE/Rand-to-Best/1" ร่วมกับ Binomial Crossover "DE/Rand" ร่วมกับ Exponential Crossover และ "DE/Rand-to-Best/1" ร่วมกับ Exponential Crossover ที่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่รวดเร็วที่สุดจำนวน 27, 34 , 31, 45 และ 54 ปัญหาตามลำดับ

จากการทบทวน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธี DE เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรม จะเห็นได้ว่าวิธีการหาคำตอบของ DE สามารถให้ค่าของคำตอบที่เหมาะสมและมีระยะเวลาในการหาคำตอบที่เร็วกว่าวิธีการหาคำตอบอื่นๆ และมีขั้นตอนการหาคำตอบที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจึงเลือกและนำหลักการหาคำตอบของวิธี DE มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของงานวิจัย

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทที่ 3 จะกล่าวถึงวิธีการและขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย และวิธีที่นำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะของกรณีศึกษา

3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากภาพที่ 3.1 ผู้วิจัยได้กำหนดขั้นตอนการดำเนินการวิจัยสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะของกรณีศึกษา

3.2 ศึกษาปัญหา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษารูปแบบปัญหาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ ตามเนื้อหาที่เกี่ยวข้องและทำการกำหนดปัญหาที่จะทำการศึกษา (Problem statement) วัตถุประสงค์ (The research objective) และขอบเขตของงานวิจัย (The research scope) ดังบทที่ 2

3.3 สร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (The formulation of mathematical model)

รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นเป็นรูปแบบปัญหาการตัดสินใจสำหรับเลือกระยะทางที่ดีที่สุดในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้า เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดโดยพิจารณาถึงเงื่อนไขต่างๆ เช่นข้อจำกัดด้านเวลา จำนวนยาพาหนะ ระยะทางเป็นต้น ลักษณะการจัดเส้นทางในการขนส่งนี้จัดอยู่ในรูปแบบปัญหาของ VRP (Vehicle Routing Problem)

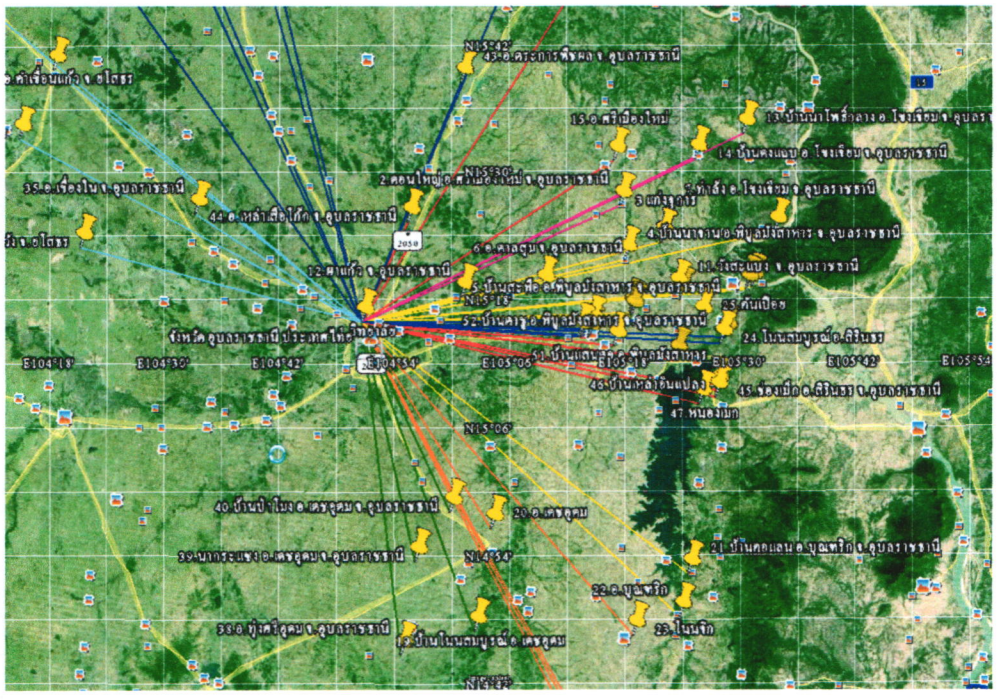
3.4 รวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการทดสอบจากกรณีศึกษา

จากการศึกษามหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์นจังหวัดอุบลราชธานี จากการเก็บรวบรวมข้อมูลพบว่าการจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษามีทั้งหมด 13 เส้นทาง มีจำนวนนักศึกษาทั้งหมด 452 คนจากศึกษารูปแบบกรณีศึกษา ซึ่งทางมหาวิทยาลัยการและเทคโนโลยีอีสเทิร์นได้จัดรถรับ-ส่งจำนวนหนึ่งออกไปรับนักศึกษาตามพิกัดที่กำหนดไว้ตามความความต้องการของนักศึกษาซึ่งจำนวนจุดรับ-ส่งนักศึกษามีทั้งหมด 51 จุด ดังภาคผนวก ก. ซึ่งนักศึกษาบางรายนั้นอยู่ใกล้ๆกัน และมีรถรับ-ส่งจำนวนหลายคันอยู่ในเส้นทางเดียวกันซึ่งผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในระหว่างวันที่ 1-30 พฤศจิกายน 2554 แสดงได้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เส้นทางเดิม 13 เส้นทางที่ใช้ในการเดินทาง

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-2-3-4-6-1	169.8	44
2	1-7-8-9-10-12-1	273.6	50
3	1-13-14-15-1	226	45
4	1-11-16-17-18-19-20-1	307.2	47
5	1-5-21-22-23-1	248.5	42
6	1-24-25-26-27-1	190.3	36
7	1-28-29-30-31-1	286.6	24
8	1-32-33-34-35-1	209.7	30
9	1-36-37-1	239.2	24
10	1-38-39-40-1	144.3	28
11	1-41-42-43-44-1	242.2	45
12	1-45-46-47-48-1	208.2	22
13	1-49-50-51-52-1	135.9	15
	รวม	**2,881.5**	**452**

3.4.1 การหาระยะทางระหว่างจุดรับ-ส่งแต่ละราย (Distance Matrix) บันทึกจุดของนักศึกษาแต่ละรายแล้วกำหนดตำแหน่งลงโปรแกรม Google Earth ดังภาพที่ 3.2 พร้อมทั้งสร้างข้อมูลระยะทางระหว่างนักศึกษาแต่ละราย ดังภาคพนวก ก.



ภาพที่ 3.2 ตำแหน่งของจุดรับ-ส่งนักศึกษาทั้งหมด

3.4.2 ปัจจุบันทางมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์นจัดเส้นทางการขนส่งด้วยประสบการณ์ของตนเอง โดยจัดให้มีรถออกไปรับ-ส่งนักศึกษาตามเส้นทางที่กำหนดเฉพาะในวันเสาร์-อาทิตย์ซึ่งมีระยะทางรวม 2881.5 กิโลเมตร/วัน ดังนั้นทุกๆเสาร์-อาทิตย์จะเดินทางไปกลับทุกวันจะรับนักศึกษาที่จุดเดิมทุกวัน

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างระยะทางจุดรับ-ส่งนักศึกษาในแต่ละจุด

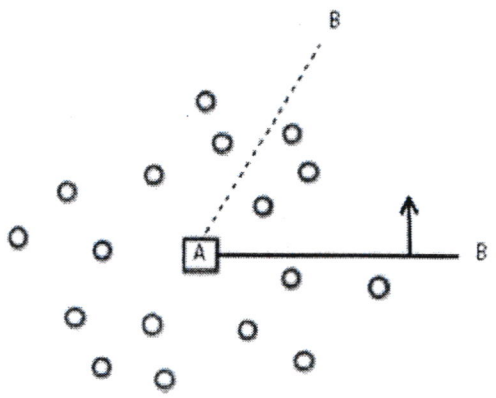
	1	2	3	4	5	....	52	จำนวนนักศึกษา (คน)
1	0	133	135	117	90.5	....	54.8	0
2	133	0	8.9	33.3	36.4	....	106	8
3	135	8.9	0	26.6	46	....	122	8
4	117	33.3	26.6	0	27.6	....	104	7
5	90.5	36.4	46	27.6	0	....	81	18
....	....	....	....	....	....	....	....	....
52	54.8	106	122	104	81	88.3	0	3

3.5 วิธีการสำหรับแก้ปัญหา

3.5.1 วิธีฮิวริสติกแบบกวาด (Sweep Heuristics)

วิธีฮิวริสติกแบบกวาด มีขั้นตอน 2 ประการได้แก่ (1) การจัดกลุ่มลูกค้า ซึ่งสามารถทำได้โดยการเลือกเมืองใดเมืองหนึ่งหรือตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเป็นจุดเริ่มต้น จากนั้นทำกวาดเมืองต่างๆ ที่อยู่ในพิกัดที่อยู่ที่ใกล้เคียงกันให้มาอยู่ในกลุ่มเดียวกันโดยสมาชิกในแต่ละกลุ่มจะต้องมีจำนวนนักศึกษาที่จะต้องรับส่งในแต่ละจุดไม่เกินความสามารถของรถรับส่งแต่ละคัน (2) จัดเส้นทางการขนส่งในแต่ละกลุ่มด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ให้ค่าที่ดีที่สุด (optimization software) ในที่นี้ใช้ Lingo v.11 เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่ม

ขั้นตอนการกวาดนั้นสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 3.3 ซึ่งจะทำการเริ่มต้นจากพิกัดการกวาดที่มุมศูนย์องศา จากนั้นทำการกวาดเมืองที่อยู่ในพิกัดใกล้เคียงในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมืองแต่ละเมืองหรือจุดแต่ละจุดนั้นจะมีจำนวนนักศึกษาที่ต้องไปรับ–ส่งไม่เท่ากัน ขณะที่ทำการกวาดจะต้องพิจารณาถึงจำนวนนักศึกษาที่จะไปรับด้วยการกวาดเมืองต่างๆ เข้ามารวมอยู่ในกลุ่มเดียวกันนั้นจำนวนนักศึกษาจะต้องไม่เกินความจุของรถ เมื่อหยุดการกวาดเมืองเข้ามารวมอยู่ในกลุ่มนั้นๆ แล้วเมืองถัดไปที่อยู่ใกล้รัศมีการกวาดที่สุดจะเป็นจุดเริ่มต้นของการกวาดในกลุ่มถัดไป



ภาพที่ 3.3 ตัวอย่างการกวาดที่เริ่มต้นจากมุมศูนย์องศาในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

Pseudo Code

เริ่มต้น

เวลาในการเริ่มต้นการคำนวณยังไม่ถึงเวลาที่กำหนด *1* นาทีดำเนินการดังนี้

(1) สุ่มเลือกเมืองใดเมืองหนึ่งที่จะใช้เป็นจุดเริ่มต้นของการกวาด

(2) สุ่มเลือกทิศทางในการหมุนในรอบนั้นๆ (ทวนหรือตามเข็มนาฬิกา)

(3) กวาดเมืองต่างๆ ให้อยู่ในกลุ่มของลูกค้าโดยลูกค้าทุกรายจะต้องได้รับการจัดกลุ่ม

(4) หาเส้นทางที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่มด้วยโปรแกรม lingo v.11

(5) รวมระยะทางของการเดินทางรับส่งนักศึกษา

สิ้นสุดการวนซ้ำ

3.5.1.1 วิธีการสุ่มเลือกเมืองเริ่มต้น

วิธีการสุ่มเลือกเมืองที่จะเป็นจุดเริ่มต้นในการจัดกลุ่มนักศึกษา ซึ่งการกำหนดจุดเริ่มต้นโดยให้มหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์นเป็นจุดศูนย์กลางโดยการสร้างเส้นสมมุติขึ้น โดยกาง 180 องศาโดยทำการหมุนทวนเข็มนาฬิกาหลายๆ รอบโดยเลือกเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุดทำการกวาดรับนักศึกษาไปเรื่อยๆจนเต็มความจุของรถจนครบรอบหมุนวน เพื่อทำการจัดกลุ่มนักศึกษาเพื่อจัดเส้นทาง และระยะทางที่ได้จากวิธีการ Sweep ดังภาพที่ 3.3 และข้อมูลดังตารางที่ 3.3 และตารางที่ 3.4

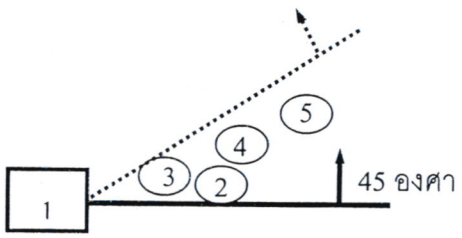
3.5.1.2 ตัวอย่างวิธีการสุ่มเลือกเมืองเริ่มต้นโดยวิธีการแบบกวาด

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่าง Distance Matrix ระยะทางโดยใช้วิธีการแบบกวาดในการจัดเส้นทาง

จุด i\j	1	2	3	4	5	จำนวนนักศึกษา (คน)
1	0	8	17	25	21	0
2	18	0	21	16	18	13
3	16	18	0	19	20	5
4	27	10	20	0	7	10
5	18	14	9	16	0	8

จากตารางที่ 3.3 จะแสดงระยะทางซึ่งผู้วิจัยจะใช้เป็นตัวอย่างในการจัดเส้นทาง โดยใช้วิธีการแบบกวาดในการจัดเส้นทาง โดยกำหนดจุดเริ่มต้นที่เมือง 1 เป็นจุดศูนย์กลางโดยกางเส้นสมมุติขึ้นโดยกางมุม 45 องศา เพื่อทำการหมุนวนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา จะได้

เส้นทางโดยที่เลือกเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุด ทำการกวาดเมืองต่อไปจนไม่เกินความจุของรถเพื่อเติมความจุของรถทำการเปิดเส้นทางใหม่จนครบรอบดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างการกวาดโดยกางมุม 45 องศาในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างการจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดโดยกางมุม 45 องศาในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

เส้นทาง	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**1**
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	8	21	19	7	18
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	13	5	10	8	0
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 8 + 21 + 19 + 7 + 18 = 73					

จากตารางที่ 3.4 แสดงการจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการกวาดโดยที่กำหนดให้เมือง 1 เป็นจุดศูนย์กลาง จะได้เส้นทาง 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 1 จะได้ระยะทางรวมคือ 0 + 8 + 21 + 19 + 7 + 18 = 73 กิโลเมตร และจำนวนนักศึกษาที่อยู่บนรถ 13 + 5 + 10 + 8 = 36 ไม่เกินความจุของรถ ข้อกำหนดไม่เกิน 50 คน แล้วทำการเปิดเส้นทางใหม่

3.5.1.3 ตัวอย่างวิธีการสุ่มเลือกเมืองเริ่มต้นโดยใช้โปรแกรม Lingo v.11 หลังจากทำวิธีการแบบกวาด

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่าง Distance Matrix ระยะทางโดยใช้โปรแกรม Lingo v.11 ในการจัดเส้นทาง

จุด i\j	1	2	3	4	5	จำนวนนักศึกษา (คน)
1	0	(8)	17	25	21	0
2	18	0	21	(16)	18	13
3	(16)	18	0	19	20	5
4	27	10	20	0	(7)	10
5	18	14	(9)	16	0	8

จากตารางที่ 3.5 เป็นการนำโปรแกรม Lingo v.11 มาประมวลผลสำหรับหาระยะทางที่สั้นที่สุด หลังจากผ่านวิธีการแบบกวาดมาแล้ว โดยจะโปรแกรม Lingo v.11 จะเลือกเส้นทางที่มีระยะทางในแต่ละเส้นน้อยที่สุดก่อน และจะต้องเดินทางไม่ซ้ำกับเส้นทางที่ถูกเลือกไปแล้ว จะได้ระยะทางแต่ละเส้นทางดังวงกลมสีแดง และสามารถคำนวณหาเส้นทางได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 เส้นทางที่ได้จากโปรแกรม Lingo v.11

เส้นทาง	1	2	4	5	3	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	8	16	7	9	16
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	13	10	8	5	0
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 8 + 16 + 7 + 9 + 16 = 56					

จากตารางที่ 3.6 แสดงการจัดเส้นทางที่ได้จากการใช้โปรแกรม Lingo v.11 โดยกำหนดให้เมือง 2 เป็นจุดศูนย์กลาง จะได้เส้นทาง 1 - 2 - 4 - 5 - 3 – 1 จะได้ระยะทางรวมคือ 0 + 8 + 16 + 7 + 9 + 16 = 56 กิโลเมตร และจำนวนนักศึกษาที่อยู่บนรถ 13 + 10 + 5 + 8 = 36 ไม่เกินความจุของรถ ข้อกำหนดไม่เกิน 50 คน การจัดเส้นทางหลังการวาดเส้นทางด้วยวิธีการแบบกวาดจะทำให้ระยะทางลดลงจากเดิม ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการอธิบายวิธีฮิวริสติกแบบกวาดในบทที่ 4

3.5.2 วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE)

วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างจะมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 4 วิธีดังนี้

3.5.2.1 Initial population คือขั้นตอนการสุ่มเลือกจำนวนประชากรตั้งต้นภายใต้ขอบเขต ข้อจำกัด จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดได้ หรือค่า NP: Number of population เป็นตัวแปรตัดสินใจ เพื่อนำมาคำนวณหาค่าคำตอบ

3.5.2.2 Mutation คือ เป็นการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด เพื่อให้เกิดคำตอบที่แปลกแตกต่างไปจากคำตอบเริ่มต้นของเวคเตอร์เริ่มต้น เรียกว่า Weighting Factor: F เพื่อจุดประสงค์ของการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด

3.5.2.3 Recombination คือ เป็นการเพิ่มความหลากหลายให้กับคำตอบ ซึ่งจะได้สายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าหรือแย่กว่าออกมา ขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ค่า Trial vector

3.5.2.4 Selection คือ เป็นการเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีเปรียบเทียบค่า Function value ของ Trial vector กับ Target vector ซึ่งในกรณีที่ค่า Function value ของ Trial vector ดีกว่า Target vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial vector ในรุ่นต่อไป

โดยหลักการคำนวณหาเส้นทางด้วยวิธีการการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง ผู้วิจัยได้ทำการอธิบายไว้ในบทที่ 5

บทที่ 4
วิธีฮิวริสติกแบบกวาด

ในบทที่ 4 จะกล่าวถึงวิธีฮิวริสติกแบบกวาด (Sweep Heuristics) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ในการจัดเส้นทางขนส่ง สำหรับยานพาหนะในการจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษา ของมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์น จังหวัดอุบลราชธานี

4.1 ประยุกต์ใช้ฮิวริสติกแบบกวาด (Sweep Heuristics)

งานวิจัยนี้เป็นปัญหาแบบ VRP แต่ผู้วิจัยได้ทำการแยกปัญหา VRP ออกเป็นปัญหา TSP แล้วจึงทำการกวาดเมืองต่างๆ หลังจากนั้นจึงใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ในการจัดเส้นทาง ซึ่งวิธีฮิวริสติกแบบกวาด มีขั้นตอนอยู่ 2 ประการ ได้แก่

4.1.1 การจัดกลุ่มลูกค้าให้เป็นปัญหา TSP โดยการเลือกเมืองใดเมืองหนึ่งหรือตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเป็นจุดเริ่มต้น จากนั้นทำกวาดเมืองต่างๆ ในพิกัดที่อยู่ที่ใกล้เคียงกันให้มาอยู่ในกลุ่มเดียวกัน โดยสมาชิกในแต่ละกลุ่มจะต้องมีจำนวนนักศึกษาที่จะต้องรับส่งในแต่ละจุดไม่เกินความสามารถของรถรับส่งแต่ละคัน

4.1.2 จัดเส้นทางการขนส่งของปัญหา TSP ในแต่ละกลุ่มด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่ให้ค่าที่ดีที่สุด (Optimization Software)

ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo v.11 เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ โดยมีวัตถุประสงค์ในการหาเส้นทางที่ให้ระยะทางที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่ม

ขั้นตอนการกวาดนั้นสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 4.1 ซึ่งจะทำการเริ่มต้นจากพิกัดการกวาดที่มุมศูนย์องศา จากนั้นทำการกวาดเมืองที่อยู่ในพิกัดใกล้เคียงในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เมืองแต่ละเมืองหรือจุดแต่ละจุดนั้นจะมีจำนวนนักศึกษาที่ต้องไปรับ–ส่งไม่เท่ากัน ขณะที่ทำการกวาดจะต้องพิจารณาถึงจำนวนนักศึกษาที่จะไปรับด้วยการกวาดเมืองต่างๆ เข้ามารวมอยู่ในกลุ่มเดียวกันนั้นจำนวนนักศึกษาจะต้องไม่เกินความจุของรถ เมื่อหยุดการกวาดเมืองเข้ามารวมอยู่ในกลุ่มนั้นๆ แล้วเมืองถัดไปที่อยู่ใกล้รัศมีการกวาดที่สุดจะเป็นจุดเริ่มต้นของการกวาดในกลุ่มถัดไป

4.2 วิธีการทดสอบกับปัญหากรณีศึกษา

4.2.1 การจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีฮิวริสติกแบบกวาด

การจัดเส้นทางโดยวิธีการแบบกวาด เริ่มต้นโดยการสุ่มเลือกเมืองที่จะเป็นจุดเริ่มต้นในการจัดกลุ่มนักศึกษาโดยการกำหนดจุดเริ่มต้นโดยให้มหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์นเป็นจุดศูนย์กลางโดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบมุมในการกวาดว่าองศาไหนสามารถหาคำตอบได้ระยะทางที่ดีที่สุด โดยได้กางเส้นสมมุติขึ้นโดยมีมุม 45, 90, 135 และ 180 องศาตามลำดับ ทำการหมุนวนในทิศทางหมุนทวนตามเข็มนาฬิกาหลายๆ รอบ โดยเลือกเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุดที่ทำการกวาดรับนักศึกษาไปเรื่อยๆ จนเต็มความจุของรถจนครบรอบหมุนวนเพื่อทำการจัดกลุ่มนักศึกษาดังภาคผนวก ข. เพื่อจัดเส้นทางและระยะทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาด ตามตารางที่ 4.1 และ4.2

ตารางที่ 4.1 การจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดในมุมต่าง ๆ ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ลำดับ	มุม (องศา)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	45	2,850.85
2	90	3,050.45
3	135	2,877.25
4	180	3,096.15

ตารางที่ 4.2 การจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดในมุมต่าง ๆ ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ลำดับ	มุม (องศา)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	45	2,871.35
2	90	2,917.65
3	135	2,980.55
4	180	3,032.15

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 แสดงวิธีการแบบกวาดในมุมและทิศทางทวนเข็มนาฬิกา และทิศทางตามเข็มนาฬิกาเพื่อจัดเส้นทาง ซึ่งมุมและทิศทางที่ให้ระยะทางต่ำที่สุด คือ

ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาโดยใช้มุม 45 องศา ผู้วิจัยจึงเลือกใช้มุม 45 องศา โดยให้มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกามาใช้ในวิธีการแบบกวาดเพื่อแก้ปัญหาของกรณีศึกษา

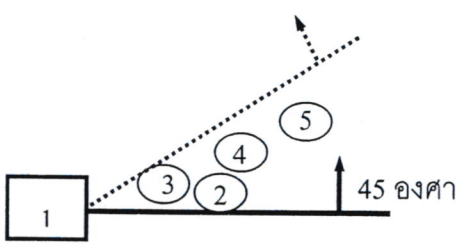
4.2.1.1 การจัดกลุ่มลูกค้าให้เป็นปัญหา TSP

โดยการสุ่มเลือกเมืองที่จะเป็นจุดเริ่มต้นในการจัดกลุ่มนักศึกษา ซึ่งการกำหนดจุดเริ่มต้นโดยให้มหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์นเป็นจุดศูนย์กลางโดยการสร้างเส้นสมมุติขึ้น โดยเลือกเส้นสมมติกางที่มุม 45 องศาโดยทำการหมุนทวนเข็มนาฬิกาหลายๆ รอบ โดยเลือกเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุดทำการกวาดรับนักศึกษาไปเรื่อยๆ จนเต็มความจุของรถจนครบรอบหมุนวน เพื่อทำการจัดกลุ่มนักศึกษาเพื่อจัดเส้นทาง และระยะทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาด ดังภาพที่ 4.1 และข้อมูลดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่าง Distance Matrix ระยะทางในการสุ่มเลือกเมืองเริ่มต้นโดยวิธีการแบบกวาด

จุด i\j	1	2	3	4	5	จำนวนนักศึกษา (คน)
1	0	8	17	25	21	0
2	18	0	21	16	18	13
3	16	18	0	19	20	5
4	27	10	20	0	7	10
5	18	14	9	16	0	8

กำหนดจุดเริ่มต้นที่จุดที่ 1 เป็นจุดศูนย์กลาง โดยกางเส้นสมมุติขึ้นโดยกางทำมุม 45 องศา เพื่อทำการหมุนวนในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา จะได้เส้นทางโดยที่เลือกเมืองที่อยู่ใกล้ที่สุด ทำการกวาดเมืองต่อไปจนไม่เกินความจุของรถเพื่อเติมความจุของรถทำการเปิดเส้นทางใหม่จนครบรอบดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 ตัวอย่างการกวาดโดยกางเส้นสมมติทำมุม 45 องศาในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ตารางที่ 4.4 ตัวอย่างการจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดเพื่อจัดกลุ่มโดยกางมุม 45 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

เส้นทาง	1	2	3	4	5	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	8	21	19	7	18
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	13	5	10	8	0
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 8 + 21 + 19 + 7 + 18 = 73					

จากตารางที่ 4.4 แสดงการจัดเส้นทางที่ได้จากการกวาดเพื่อจัดกลุ่มโดยที่กำหนดให้เมือง 1 เป็นจุดศูนย์กลาง จะได้เส้นทาง 1 - 2 - 3 - 4 - 5 – 1 จะได้ระยะทางรวมคือ 0 + 8 + 21 + 19 + 7 + 18 = 73 กิโลเมตร และจำนวนนักศึกษาที่อยู่บนรถ 13 + 5 + 10 + 8 = 36 ไม่เกินความจุของรถ ข้อกำหนดไม่เกิน 50 คน แล้วทำการเปิดเส้นทางใหม่ หลังจากทำการกวาดเส้นทางแล้ว จึงใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo v.11 มาจัดเส้นทางทุกครั้งเพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุด

4.2.1.2 จัดเส้นทางการขนส่งของปัญหา TSP ในแต่ละกลุ่มด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo v.11 เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ โดยมีวัตถุประสงค์ในการหาเส้นทางที่ให้ระยะทางที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่ม ดังตารางที่ 4.5 และ4.6

ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างระยะทางโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11

จุด i\j	1	2	3	4	5	จำนวนนักศึกษา (คน)
1	0	(8)	17	25	21	0
2	18	0	21	(16)	18	13
3	(16)	18	0	19	20	5
4	27	10	20	0	(7)	10
5	18	14	(9)	16	0	8

จากตารางที่ 4.5 เป็นการนำโปรแกรม Lingo v.11 มาประมวลผลสำหรับหาระยะทางที่สั้นที่สุด หลังจากผ่านวิธีการแบบกวาดมาแล้ว โดยจะโปรแกรม Lingo v.11 จะเลือกเส้นทางที่มีระยะทางในแต่ละเส้นน้อยที่สุด และจะต้องการเดินทางจะต้องไม่ซ้ำเส้นทางกัน จะได้ระยะทางแต่ละเส้นทางดังวงกลมสีแดง และสามารถคำนวณหาเส้นทางได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เส้นทางที่ได้จากการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11

เส้นทาง	1	2	4	5	3	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	8	16	7	9	16
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	13	10	8	5	0
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 8 + 16 + 7 + 9 + 16 = 56					

จากตารางที่ 4.6 แสดงการจัดเส้นทางที่ได้จากการใช้โปรแกรม Lingo v.11 โดยกำหนดให้เมือง 2 เป็นจุดศูนย์กลาง จะได้เส้นทาง 1 - 2 - 4 - 5 - 3 – 1 จะได้ระยะทางรวมคือ 0 + 8 + 16 + 7 + 9 + 16 = 56 กิโลเมตร และจำนวนนักศึกษาที่อยู่บนรถ 13 + 10 + 5 + 8 = 36 ไม่เกินความจุของรถ ข้อกำหนดไม่เกิน 50 คน จากนั้นสามารถนำวิธีฮิวริสติกแบบกวาดมาแก้ปัญหาของกรณีศึกษาได้ดังตารางที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.7 การจัดเส้นทางที่ได้จากวิธีการแบบกวาดโดยทำมุม 45 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-37-34-35-33-32-1	338.1	43
2	1-38-39-19-40-16-1	309.3	48
3	1-17-18-20-23-22-21-1	316.1	45
4	1-47-45-46-26-51-27-52-49-1	207.6	49
5	1-24-48-5-25-9-50-1	263.85	50
6	1-10-8-11-6-1	176.8	49
7	1-7-4-12-3-2-1	338.3	43
8	1-14-13-15-1	226	45
9	1-42-44-1	188.9	30
10	1-41-43-31-30-28-29-36-1	485.9	50
รวม		2,850.85	452

เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการโดยใช้วิธีการกวาดแล้วจะได้กลุ่มของลูกค้าแต่ละราย จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการหาค่าที่ดีที่สุดมาจัดเส้นทาง ในงานวิจัยในครั้งนี้จะใช้โปรแกรม Lingo V.11 มาใช้ในการจัดเส้นทาง โดยในแต่ละเส้นทางจะประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (travelling salesman problem: TSP) มาใช้สำหรับการแก้ปัญหา โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา TSP Applegate David L, and et al. (2009) ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 และข้อมูลการจัดกลุ่มของนักศึกษาที่ได้จากการกวาดแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การจัดเส้นทางโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-32-33-37-34-35-1	252.1	43
2	1-39-38-19-16-40-1	235	48
3	1-23-22-21-17-18-20-1	262.6	45
4	1-52-27-49-46-47-45-26-51-1	196.9	49
5	1-5-25-24-48-9-50-1	190.45	50
6	1-8-10-11-6-1	176.7	49
7	1-7-3-2-4-12-1	218.6	43
8	1-13-14-15-1	226	45
9	1-42-44-1	188.9	30
10	1-41-36-28-29-30-31-43-1	378.7	50
รวม		2,325.95	452

จากตารางที่ 4.8 แสดงผลการหาระยะทางที่ดีที่สุดด้วยวิธีฮิวริสติกแบบกวาด โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ได้ระยะทาง 2,325.95 กิโลเมตรซึ่งได้ระยะทางน้อยกว่าระยะทางเดิม ซึ่งระยะทางเดิมมีระยะทาง 2,881.50 กิโลเมตรซึ่งเป็นวิธีการจัดเส้นทางด้วยประสบการณ์ระยะทางลดลงกว่าเดิม 555.55 กิโลเมตร สรุปได้ว่าวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีการกวาดสามารถทำให้ระยะทางลดลงกว่าเดิมทำให้ระยะทางลดลงจากเดิม 19.28 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 การจัดเส้นทางของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) โดยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo v.11

ผู้วิจัยได้นำปัญหากรณีศึกษามาแก้ปัญหาโดยโปรแกรมสำเร็จรูป Lingo v.11 โดยไม่ได้แตกปัญหา VRP ออกเป็นปัญหา TSP ก่อน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันว่าการที่นำปัญหา VRP มาแก้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo v.11 นั้นสามารถให้คำตอบที่ดีได้หรือไม่ และใช้เวลาประมวลผลเป็นอย่างไร ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การจัดเส้นทางสำหรับปัญหา VRP โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo v.11 เทียบกับวิธีการแบบกวาด

ชม. / objective	1	5	10	24	48	72	sweep
Best Obj.	2,385.5	2,385.5	2,385.5	2,385.5	2,385.5	2,385.5	2,324
Obj. Bound	1,677	1,679.9	1,679.9	1,679.9	1,679.9	1,679.9	2,324

หมายเหตุ : Best Obj. คือ ค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่พบ ณ เวลานั้น

Obj. Bound คือ ค่าขอบเขตล่างของคำตอบ

จากตารางแสดงผลการจัดเส้นทางสำหรับปัญหา VRP โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 ปรากฏว่า ผลที่ได้จากการจัดเส้นทางในปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะจะไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดและใช้เวลานานมาก ซึ่งวิธีการแบบกวาดจะให้คำตอบได้ดีและเร็วกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกวิธีการแบบกวาดมาทดสอบปัญหากรณีศึกษา และนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

บทที่ 5
วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differentrial Evolution: DE)

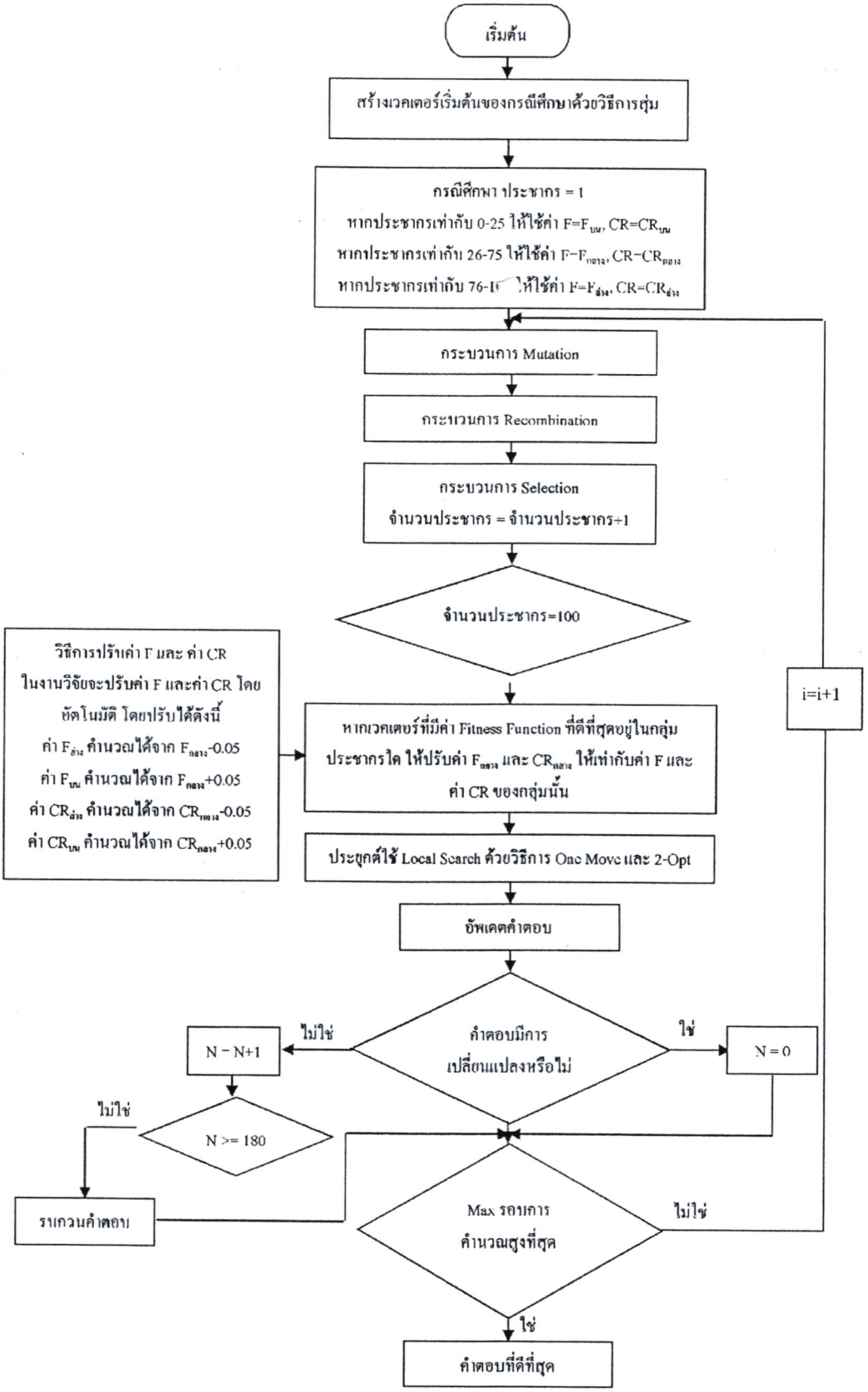
ในบทที่ 5 จะกล่าวถึงวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differentrial Evolution : DE) โดยใช้โปรแกรม Bloodshed Dev. C++ ในการจัดเส้นทางขนส่ง สำหรับยานพาหนะในการจัดเส้นทางรถรับ-ส่งนักศึกษา ของมหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์น จังหวัดอุบลราชธานี และปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง สำหรับยานพาหนะ สำหรับปัญหามาตรฐาน จากเว็บไซต์ http://neo.lcc.uma.es/vrp/

5.1 ประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differentrial Evolution : DE)

งานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาโดยจากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 ซึ่งจะเห็นว่าวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เป็นวิธีการที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน และสามารถหาคำตอบที่ดีในเวลาที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้นำโปรแกรม Bloodshed Dev-C++ V. 4.9.9.2 มาใช้ในการประมวลผลของคำตอบ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการออกแบบขั้นตอนการประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ไว้ดังภาพที่ 5.1

5.1.1 ขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initialization)

การสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยการสุ่มเวคเตอร์เริ่มต้น (Target Vector) และเวคเตอร์เริ่มต้นมาทั้งหมด 52 เวคเตอร์ ตามจุดที่รถจอดรับ-ส่งนักศึกษา เพื่อนำมาเป็นเวคเตอร์เริ่มต้นในการพัฒนาคำตอบ แต่ผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างโดยให้มีจุดรับ-ส่งนักศึกษาขึ้นมาเพียง 5 จุด โดยได้สร้างคำตอบเริ่มต้นโดยได้กำหนดให้มีเวคเตอร์เริ่มต้น 5 เวคเตอร์ ดังภาพที่ 5.2 มาเป็นเวคเตอร์เริ่มต้นในการพัฒนาคำตอบ จากนั้นนำตัวเลขสุ่มซึ่งเป็นจำนวนจริงตั้งแต่ 0-1 ทั้ง 5 เวคเตอร์ มาเรียงค่าจากมากไปหาน้อย แล้วทำการคำนวณเพื่อหาเส้นทางที่มีระยะสั้นที่สุด ดังตารางที่ 5.3



ภาพที่ 5.1 ขั้นตอนของวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ของการหาคำตอบในงานวิจัย

ตารางที่ 5.1 ตัวอย่างลักษณะของตารางตัวเลขสุ่ม

i \ j	1	2	3	4	5
1	0.52	0.60	0.24	0.47	0.19
2	0.29	0.31	0.63	0.30	0.11
3	0.55	0.90	0.08	0.99	0.60
4	0.02	0.01	0.41	0.67	0.07
5	0.15	0.04	0.76	0.27	0.33

ตารางที่ 5.2 ตัวอย่างแสดงระยะทาง และจำนวนนักศึกษา (n = จำนวนนักศึกษา)

i \ j	1	2	3	4	5	n
1	0	1	3	4	2	0
2	1	0	2	2	3	8
3	3	2	0	1	3	8
4	1	5	4	0	3	15
5	5	4	6	3	0	6

ตารางที่ 5.3 ตัวอย่างแสดงจำนวนนักศึกษาในแต่ละเส้นทาง (n = จำนวนนักศึกษา)

i \ j	1	2	3	4	5
1	0	8	8	15	6
2	8	0	8	15	6
3	8	8	0	15	6
4	15	8	8	0	6
5	6	8	8	15	0

ผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างโดยนำเวคเตอร์ที่ 1 จากตารางที่ 5.1 มาแสดงตัวอย่างการทำงานของวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง จากนั้นนำมาแทนจุดแต่ละจุดที่ไว้รับ-ส่งนักศึกษาได้ค่าดังนี้ 0.52, 0.60, 0.24, 0.47และ 0.19 ตามลำดับ แล้วนำมาจัดเส้นทางโดยเรียงค่าตัวเลขสุ่มจาก

ค่ามากไปหาค่าน้อย โดยระยะทาง และจำนวนนักศึกษาในแต่ละเส้นทาง สามารถดูได้จากตารางที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initialization) ของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

เส้นทาง	1	2	3	4	5
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	1	3	4	2
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	8	8	15	6
Target Vector (เวคเตอร์เริ่มต้น)	0.52	0.60	0.24	0.47	0.19

จากนั้นนำมาจัดเส้นทาง โดยนำข้อมูลตัวเลขสุ่มของเวคเตอร์เริ่มต้น ตารางที่ 5.4 มาเรียงจากค่ามากไปหาน้อย โดยต้องไม่ขัดต่อเงื่อนไขความจุของนักศึกษาโดยรถรับ-ส่งนักศึกษาสามารถจุนักศึกษาได้เพียง 50 คนเท่านั้น ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 การจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ

เส้นทาง	2	1	4	3	5
ระยะทาง (กิโลเมตร)	1	0	4	3	2
จำนวนนักศึกษา (คน)	8	0	15	8	6
Target vector (เวคเตอร์เริ่มต้น)	0.60	0.52	0.47	0.24	0.19

จากตารางที่ 5.5 แสดงการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะโดยพิจารณาตัวเลขสุ่มของเวคเตอร์เริ่มต้นที่มีค่ามากที่สุดถูกจัดลงก่อน คือจุดที่ 2 จุดที่ 1 จุดที่ 4 จุดที่ 3 และจุดที่ 5 ตามลำดับแต่เนื่องจากจุดที่ 1 มีข้อจำกัดโดยให้เป็นจุดเริ่มต้น และจุดสุดท้ายเสมอ จึงจะได้เส้นทางดังตารางที่ 5.4 ดังนี้

ตารางที่ 5.6 แสดงการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ และจำนวนนักศึกษา

เส้นทาง	1	2	4	3	5	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	1	4	4	3	5
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	8	15	8	6	0
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 1 + 4 + 4 + 3 + 5 = 17 กิโลเมตร					

จากตารางที่ 5.6 แสดงการจัดเส้นทางโดยกำหนดให้จุดที่ 1 เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย ซึ่งจะได้เส้นทาง 1 - 2 - 4 - 3 - 5 – 1 จะได้ระยะทางรวมคือ 0 + 1 + 4 + 4 + 3 + 5 = 17 กิโลเมตร และจำนวนนักศึกษาที่อยู่บนรถ 8 + 15 + 8 + 6 = 37 คน ซึ่งไม่เกินข้อกำหนดที่ว่ารถโดยสาร 1 คันสามรถจุนักศึกษาได้เพียง 50 คนจากนั้นนำข้อมูลตารางที่ 5.6 มาทำขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด (Mutation) ดังนี้

5.1.2 ขั้นตอนการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด (Mutation)

เป็นการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด เพื่อให้เกิดคำตอบที่แปลกแตกต่างไปจากคำตอบเริ่มต้นของเวคเตอร์เริ่มต้น เรียกว่า Weighting Factor: F เพื่อจุดประสงค์ของการปรับเปลี่ยนค่าในพิกัด โดยมีขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

5.1.2.1 กำหนด Target vector ($X_{i,G}$) โดยที่ i = 1, 2,…,NP

5.1.2.2 สุ่มเลือก Vector ($X_{r_1^i,G}, X_{r_2^i,G}, X_{r_3^i,G}$) จากเวคเตอร์เริ่มต้น (Target Vector) โดยต้องไม่ซ้ำกับเวคเตอร์เริ่มต้นที่ถูกเลือกไปแล้ว

5.1.2.3 ทำการคำนวณหา Mutant vector ($V_{i,G+1}$) จากความสัมพันธ์ของอัลกอริทึม (A. K. Qim และคณะ, 2009) ดังนี้

$$V_{i,G+1} = X_{r_1^i,G} + F.(X_{r_2^i,G} - X_{r_3^i,G}) \qquad (5.1)$$

โดย F = ค่า Weighting Factor เป็นจำนวนจริงที่มีค่าคงที่ระหว่าง 0 ถึง 2 และค่า F ในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้มีการปรับตัวได้ด้วยตัวเองโดยอัตโนมัติ โดยมีการปรับค่า F ให้เป็น 3 ระดับคือ สูง, กลาง และต่ำ หรือ บน, กลาง และล่าง ซึ่งมีการเพิ่มลดระดับทีละ 0.05

$V_{i,G}$ = ค่า Mutant vector

$X_{i,G}$ = ค่า Target vector แล้วคำนวณหาค่า Mutant vector

5.1.2.1 วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างที่ใช้ในการปรับค่า F

วิธีการนี้ใช้สำหรับปรับค่า F เพื่อปรับตัวเองในการหาค่าที่ดีที่สุดในระหว่างกระบวนการหาคำตอบที่พัฒนาขึ้น โดยจะทำการแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกัน คือ กลุ่มกลางซึ่งมีจำนวนมากที่สุดคือ 50% ของประชากรทั้งหมดจะใช้ค่า $F_{กลาง}$ ในการเริ่มต้นวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ผู้วิจัยได้ตั้งค่ากลางโดยให้ค่า F = 0.60 โดย Gämperle ได้กล่าวไว้ว่าค่า F = 0.6 เป็นค่าเริ่มต้นที่ดีที่จะนำมาหาค่าที่เหมาะสมได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่า $F_{กลาง}$= 0.6 ส่วนจำนวนประชากรที่เหลืออีก 50% จะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มบน และกลุ่มล่าง กลุ่มบนจะใช้ค่า $F_{บน}$ ซึ่งหาได้จากค่า $F_{กลาง}$ บวกด้วย 0.05 และค่า $F_{ล่าง}$ ให้ลบออกด้วย 0.05 และผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างการหาค่า Trial vector โดยกำหนดค่ากลางให้เป็น $F_{กลาง}$= 0.60 ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 การหาค่า Mutant vector ของอัลกอริทึม โดยกำหนดค่า $F_{บน} = 0.65$ $F_{กลาง} = 0.60$ และ $F_{ล่าง} = 0.55$

	$F_{บน} = 0.65$					$F_{กลาง} = 0.60$					$F_{ล่าง} = 0.55$				
เส้นทาง	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Target vector ($X_{i,G+1}$)	0.52	0.60	0.24	0.47	0.19	0.52	0.60	0.24	0.47	0.19	0.52	0.60	0.24	0.47	0.19
Mutant vector ($V_{i,G+1}$)	0.63	0.03	0.74	0.67	0.24	0.22	0.35	0.49	0.43	0.67	0.75	0.06	0.29	0.21	0.51

จากตารางที่ 5.7 แสดงการหาค่า Mutant vector โดยการสุ่มเลือกค่า Target vector มา 3 ค่า จากตารางที่ 5.6 โดยแทนค่าลงในสมการที่ 1 แต่ค่า Target vector ที่เลือกมาต้องไม่ซ้ำกับ Target vector ที่ถูกเลือกไปแล้ว เพื่อนำมาคำนวณหาค่า Mutant vector ได้ผลการคำนวณดังนี้คือ 0.60+0.65(0.52-0.47) เท่ากับ 0.63 เป็นต้น จากนั้นนำข้อมูลในตารางที่ 5.7 มาทำขั้นตอนการแลกเปลี่ยนพิกัด (Recombination/Crossover) จนถึงขั้นตอนการคัดเลือก (Selection)

5.1.3 ขั้นตอนแลกเปลี่ยนพิกัด (Recombination)

เป็นการเพิ่มความหลากหลายให้กับคำตอบ ซึ่งจะได้สายพันธุ์ใหม่ของคำตอบที่ดีกว่าหรือแย่กว่าออกมา ขั้นตอนนี้จะทำให้ได้ค่า Trial vector ($U_{i,G}$) ดังสมการที่ 5.2 จุด (A. K. Qim และคณะ, 2009) และจะได้สายพันธุ์ใหม่ดังตารางที่ 5.8 ถึง 5.10

$$U_{i,G} = \begin{cases} V^{j}_{i,G} & \text{if } (rand(j) \le \text{CR}) \\ X^{j}_{i,G} & \text{otherwise} \end{cases} \qquad (5.2)$$

โดย $U_{i,G}$ = Trial vector

$V^{j}_{i,G}$ = Mutant vector

$X^{j}_{i,G}$ = Target vector

$rand(j)$ = การสุ่มตัวเลขจำนวนจริงที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ครั้งที่ j

CR = Crossover Rate มีค่าเป็นเลขจำนวนจริงระหว่าง 0 ถึง 1 และค่า CR ในงานวิจัยนี้ถูกออกแบบให้มีการปรับตัวได้ด้วยตัวเองโดยอัตโนมัติ โดยมีการปรับค่า CR เป็น 3 ระดับคือ สูง, กลาง และต่ำ หรือ บน, กลาง และล่าง ซึ่งมีการเพิ่มลดระดับทีละ 0.05

5.1.3.1 วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ที่ใช้ในการปรับค่า CR

วิธีการนี้ใช้สำหรับปรับค่า CR เพื่อปรับตัวเองในการหาค่าที่ดีที่สุดในที่สุดในระหว่างกระบวนการหาคำตอบที่พัฒนาขึ้น โดยจะทำการแบ่งกลุ่มประชากรออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกันคือ กลุ่มกลางซึ่งมีจำนวนมากที่สุดคือ 50% ของประชากรทั้งหมดจะใช้ค่า $CR_{กลาง}$ ในการเริ่มต้นวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ผู้วิจัยได้ตั้งค่ากลางโดยให้ค่า CR = 0.90 โดย Gämperle ได้กล่าวไว้ว่าการเลือกค่า CR ควรเลือกระหว่างค่า CR = 0.30 และ CR = 0.90 ซึ่งเป็นค่าเริ่มต้นที่ดีเช่นกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่า CR = 0.90 ส่วนจำนวนประชากรที่เหลืออีก 50% จะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มบน และกลุ่มล่าง กลุ่มบนจะใช้ค่า $CR_{บน}$ ซึ่งหาได้จาก $CR_{กลาง}$ บวกด้วย 0.05 หากค่า $CR_{ล่าง}$ ให้ลบออกด้วย 0.05 และผู้วิจัยได้ยกตัวอย่างการหาค่า Trial vector ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 การหาค่า Recombination ซึ่งจะได้ค่า Trial vector โดยกำหนดค่า $CR_{บน} = 0.95$ $CR_{กลาง} = 0.90$ และ $CR_{ล่าง} = 0.85$

	$CR_{บน} = 0.95$					$CR_{กลาง} = 0.90$					$CR_{ล่าง} = 0.85$				
เส้นทาง	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Target vector random	0.47	0.46	1.62	0.38	0.02	0.84	0.97	0.14	1.08	0.51	0.12	0.69	0.28	0.92	0.42
Target vector ($X_{i,G+1}$)	0.52	0.60	0.24	0.47	0.19	0.52	0.60	0.24	0.47	0.19	0.52	0.60	0.24	0.47	0.19
Mutant vector ($V_{i,G+1}$)	0.63	0.03	0.74	0.67	0.24	0.22	0.35	0.49	0.43	0.67	0.75	0.06	0.29	0.21	0.51
Trial vector ($U_{i,G}$)	0.63	0.03	0.24	0.67	0.24	0.22	0.60	0.49	0.47	0.67	0.75	0.06	0.29	0.47	0.51

จากตารางที่ 5.8 แสดงผลของการ Recombination โดยเปรียบเทียบกับค่า CR ดังสมการที่ 5.2 ซึ่งถ้าค่า Target vector random น้อยกว่าหรือเท่ากับค่า CR ให้เลือกค่าของ Mutant vector แต่ถ้าค่า Target vector random มากกว่าค่า CR ให้เลือกค่า Target vector เช่น จุดที่ 1 มีค่า Target vector random เท่ากับ 0.47 ซึ่งน้อยกว่าค่า CR คือ 0.95 ให้เลือกค่าของ Mutant vector เท่ากับ 0.63 แต่ถ้าจุดที่ 3 มีค่า Target vector random เท่ากับ 1.62 ซึ่งมากกว่าค่า CR คือ 0.95 ให้เลือกค่าของ Target vector เท่ากับ 0.24 เป็นต้น จากนั้นนำค่า Trial vector ที่ได้ไปจัดเส้นทางดังตารางที่ 5.9

จากตารางที่ 5.9 แสดงการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ โดยพิจารณาค่า Trial vector ที่มีค่ามากที่สุดถูกจัดเส้นทางก่อนได้ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.9 ค่า Trial vector สำหรับการจัดเส้นทางของค่า $F_{บน}$ และ $CR_{บน}$ $F_{กลาง}$ และ $CR_{กลาง}$ และ$F_{ล่าง}$ และ $CR_{ล่าง}$

	$F_{บน}$ และ $CR_{บน}$					$F_{กลาง}$ และ $CR_{กลาง}$					$F_{ล่าง}$ และ $CR_{ล่าง}$				
เส้นทาง	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
ระยะทาง (กิโลเมตร)	2	1	3	4	2	2	1	3	4	2	2	1	3	4	2
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	8	8	15	6	0	8	8	15	6	0	8	8	15	6
Trial vector	0.63	0.03	0.24	0.67	0.24	0.22	0.60	0.49	0.47	0.67	0.75	0.06	0.29	0.47	0.51

ตารางที่ 5.10 การจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะของค่า $F_{บน}$ และ $CR_{บน}$ $F_{กลาง}$ และ $CR_{กลาง}$ และ$F_{ล่าง}$ และ $CR_{ล่าง}$

	$F_{บน}$ และ $CR_{บน}$						$F_{กลาง}$ และ $CR_{กลาง}$						$F_{ล่าง}$ และ $CR_{ล่าง}$					
เส้นทาง	1	4	5	3	2	1	1	5	2	3	4	1	1	5	4	3	2	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	4	3	6	2	1	0	2	4	2	1	1	0	2	3	4	2	1
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	15	6	8	8	0	0	6	8	8	15	0	0	6	15	8	8	0
Trial vector	0.63	0.67	0.24	0.24	0.03	0.63	0.22	0.67	0.60	0.49	0.47	0.22	0.75	0.51	0.47	0.29	0.06	0.75
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 4 + 3 + 6 + 2 + 1 = 16 กิโลเมตร						0 + 2 + 4 + 2 +1 + 1 = 10 กิโลเมตร						0 + 2 + 3 + 4 +2 + 1 = 12 กิโลเมตร					

จากตารางที่ 5.10 แสดงการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะโดยพิจารณาค่า Trial Vector โดยเลือกจุดที่มีค่ามากที่สุดถูกจัดลงเส้นทางก่อนโดยกำหนดให้จุดที่ 1 เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย ซึ่งจะได้เส้นทางของค่า $F_{บน}$ และ $CR_{บน}$ ได้เส้นทางดังนี้ 1 - 4 - 5 - 3 - 2 – 1 จะได้ระยะทางรวมคือ 0 + 4 + 3 + 6 + 2 + 1 = 16 กิโลเมตร และจำนวนนักศึกษาที่อยู่บนรถ 15 +6 + 8 + 8 = 37 คน ซึ่งไม่เกินข้อกำหนดที่ว่ารถโดยสาร 1 คัน สามรถจุนักศึกษาได้เพียง 50 คนจากนั้นนำข้อมูลตารางที่ 5.10 มาทำต่อขั้นตอนการคัดเลือก (Selection)

5.1.4 ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection)

เป็นการเลือกเอาแต่เฉพาะคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีเปรียบเทียบค่า Function value ของ Trial vector กับ Target vector ซึ่งในกรณีที่ค่า Function value ของ Trial vector ดีกว่า Target vector จะถูกแทนที่ด้วย Trial vector ในรุ่นต่อไป (A. K. Qim และคณะ, 2009) ดังสมการที่ 5.3 ซึ่งจะได้รุ่นถัดไปในการหาคำตอบที่ดีที่สุดดังตารางที่ 5.11 ถึง 5.14

$$X_{i,G+1} = \begin{cases} U_{i,G+1} & \text{if } f(U_{i,G+1}) \le f(X_{i,G}) \\ X_{i,G} & \text{Otherwise} \end{cases} \tag{5.3}$$

ตารางที่ 5.11 การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Target vector

เส้นทาง	1	2	4	3	5	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	1	4	4	3	5
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	8	15	8	6	0
Target vector (เวคเตอร์เริ่มต้น)	0.52	0.60	0.47	0.24	0.19	0.52
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 1 + 4 + 4 + 3 + 5 = 17 กิโลเมตร					

ตารางที่ 5.12 การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Trial vector ของค่า $F_{บน}$ และ $CR_{บน}$

เส้นทาง	1	4	5	3	2	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	4	3	6	2	1
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	15	6	8	8	0
Trial vector	0.63	0.67	0.24	0.24	0.03	0.63
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 4 + 3 + 6 + 2 + 1 = 16 กิโลเมตร					

จากตารางที่ 5.11 และตารางที่ 5.12 นำมาเปรียบเทียบค่า Function value ของ Trial vector กับ Target vector ปรากฏว่าค่า Target vector มีระยะทางรวมมากกว่าค่า Trial vector ดังนั้นจึงเลือกค่า Trial vector มาแล้วเพื่อเป็นรุ่นถัดไปในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5.13 การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Target vector

เส้นทาง	1	2	4	3	5	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	1	4	4	3	5
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	8	15	8	6	0
Target vector (เวคเตอร์เริ่มต้น)	0.52	0.60	0.47	0.24	0.19	0.52
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 1 + 4 + 4 + 3 + 5 = 17 กิโลเมตร					

ตารางที่ 5.14 การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Trial vector ของค่า $F_{กลาง}$ และ $CR_{กลาง}$

เส้นทาง	1	5	2	3	4	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	2	4	2	1	1
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	6	8	8	15	0
Trial vector	0.22	0.67	0.60	0.49	0.47	0.22
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 2 + 4 + 2 +1 + 1 = 10 กิโลเมตร					

จากตารางที่ 5.13 และตารางที่ 5.14 นำมาเปรียบเทียบค่า Function value ของ Trial vector กับ Target vector ปรากฏว่าค่า Target vector มีระยะทางรวมมากกว่าค่า Trial vector ดังนั้นให้จึงเลือกค่า Trial vector มาแล้วเพื่อเป็นรุ่นถัดไปในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 5.15 การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Target vector

เส้นทาง	1	2	4	3	5	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	1	4	4	3	5
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	8	15	8	6	0
Target vector (เวคเตอร์เริ่มต้น)	0.52	0.60	0.47	0.24	0.19	0.52
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 1 + 4 + 4 + 3 + 5 = 17 กิโลเมตร					

ตารางที่ 5.16 การคัดเลือกคำตอบระหว่าง Trial vector ของค่า $F_{ล่าง}$ และ $CR_{ล่าง}$

เส้นทาง	1	5	4	3	2	1
ระยะทาง (กิโลเมตร)	0	2	3	4	2	1
จำนวนนักศึกษา (คน)	0	6	15	8	8	0
Trial vector	0.75	0.51	0.47	0.29	0.06	0.75
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	0 + 2 + 3 + 4 +2 + 1 = 12 กิโลเมตร					

จากตารางที่ 5.15 และตารางที่ 5.16 นำมาเปรียบเทียบค่า Function value ของ Trial vector กับ Target vector ปรากฏว่าค่า Target vector มีระยะทางรวมมากกว่าค่า Trial vector ดังนั้นให้จึงเลือกค่า Trial vector มาแล้วเพื่อเป็นรุ่นถัดไปในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

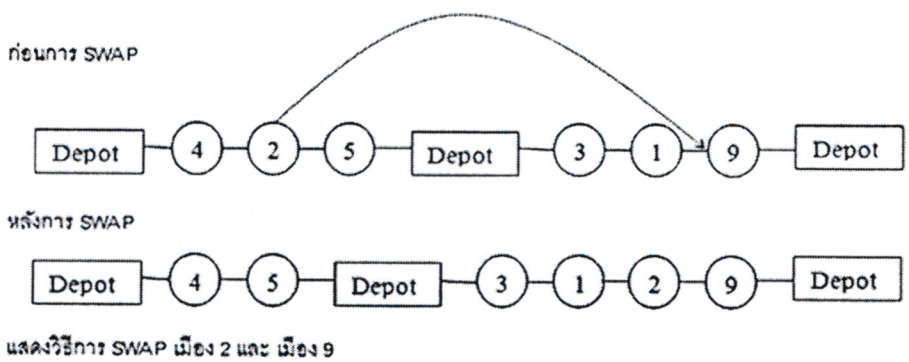
ดังนั้นคำตอบในรุ่นถัดไปจะนำค่าของ Trial vector ของค่า $F_{กลาง}$ และ $CR_{กลาง}$ มาพัฒนาเป็นรุ่นต่อไป โดยค่า F = 0.60 และค่า CR = 0.90 มาเป็นค่ากลางในรุ่นถัดไป

5.1.5 ดำเนินการทำซ้ำจากขั้นตอนที่ 5.1.3 ถึง 5.1.4 โดยเปลี่ยนค่า Target vector จนถึง i = NP

5.2 วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Search)

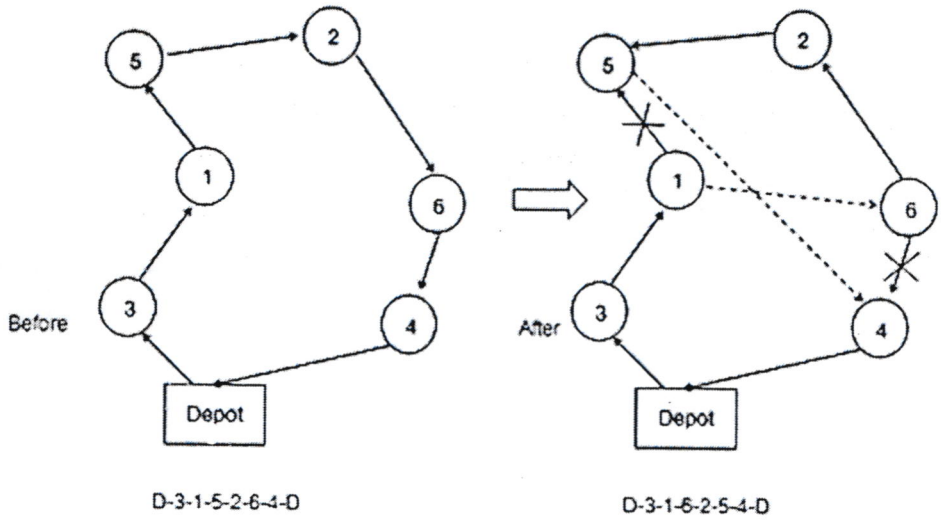
วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Search) เป็นวิธีการรบกวนคำตอบเมื่อได้ทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดจนครบ 180 รอบ แต่ถ้าคำตอบที่ได้ทุกรอบที่ทำการคำนวณได้คำตอบที่เท่ากัน ผู้วิจัยจะทำการรบกวนคำตอบ โดยประยุกต์ใช้ Local Search ด้วยวิธีการ One Move และ 2-Opt ถ้าคำตอบที่ได้จากวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Search) ดีกว่าโครโมโซมตั้งต้น ให้แทนที่ด้วยโครโมโซมใหม่

5.2.1 วิธีการ One Move วิธีการที่ใช้ในวิธีการที่พัฒนาในงานวิจัยในครั้งนี้ได้แก่วิธีการเคลื่อนย้ายครั้งเดียว (One Move) เป็นการย้ายลูกค้าจากเส้นทางใด ๆ ไปอยู่ที่ตำแหน่งก่อนลูกค้าทุกรายที่อยู่ในเส้นทางเดียวกันและเส้นทางอื่นๆ แต่การย้ายจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อจำนวนลูกค้าในเส้นทางใหม่นั้นจะต้องไม่เกินความจุของรถ วิธีการ One Move สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.2



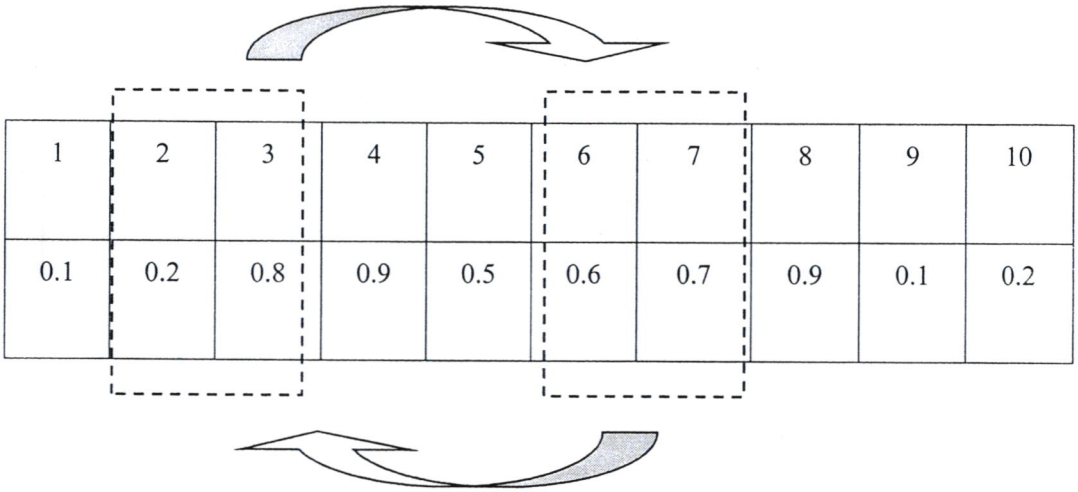
ภาพที่ 5.2 วิธีการ SWAP เมือง 2 และ เมือง 9

5.2.2 วิธี 2-Opt ในรายละเอียด 2-Opt จะทำการสลับเปลี่ยน (Swap) ลูกค้ากันภายในเส้นทางเดียวที่เป็นไปได้ โดยจะทำการสลับเปลี่ยนลูกค้า 2 รายหรือ 2 ด้าน อาจจะเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า 2-Exchanges ซึ่งลำดับลูกค้าภายในเส้นทางขนส่งจะถูกเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 วิธีการ SWAP เมือง 1 และ เมือง 6

5.2.3 การรบกวนคำตอบ คือการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใหม่ด้วยการรบกวนคำตอบเดิม เพื่อให้ได้พื้นที่ใหม่ในการหาคำตอบจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด จึงหยุดการรบกวนคำตอบ ในแต่ละขั้นตอนจะต้องเก็บคำตอบที่ดีที่สุด ถ้าทำตามขั้นตอนในแต่ละรอบคำตอบที่ดีที่สุดไม่ดีขึ้น (ค่าระยะทางไม่ลดลง) ใน 180 รอบ จะทำการรบกวนคำตอบโดยสุ่มจำนวน Vector ที่ต้องการสลับ เช่น สุ่มได้ตำแหน่ง 2 เป็นจุดเริ่มต้นดังภาพที่ 5.4 ก็จะได้



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.1	0.2	0.8	0.9	0.5	0.6	0.7	0.9	0.1	0.2

และสุ่มจุดเริ่มต้น 2 และสุ่มจุดสุดท้ายได้ 6 ก็จะได้ Target Vector ใหม่ดังนี้

1	6	7	4	5	2	3	8	9	10
0.1	0.6	0.7	0.9	0.5	0.2	0.8	0.9	0.1	0.2

ภาพที่ 5.4 วิธีการรบกวนคำตอบ

5.3 ผลการทดลองจากวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) กับปัญหากรณีศึกษา

การพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง มาแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมายในการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะให้มีระยะทางรวมน้อยที่สุด ซึ่งผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 ผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-32-33-34-35-1	209.7	30
2	1-37-36-28-29-30-31-1	334.4	48
3	1-51-25-24-46-45-47-21-1	253.3	50
4	1-5-2-15-4-1	151.3	49
5	1-39-38-19-40-1	157.9	37
6	1-23-22-16-17-18-20-1	245.9	47
7	1-12-6-49-27-52-1	104.8	49
8	1-26-48-8-10-11-9-50-1	191.45	50
9	1-44-41-42-43-1	241.9	45
10	1-3-14-13-7-1	253.1	47
รวม		2,143.75	452

จากตารางที่ 5.17 สามารถสรุปผลจากการประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง พบว่ามีระยะทางรวมเท่ากับ 2,143.75 กิโลเมตร

5.4 การประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ สำหรับปัญหามาตรฐาน

ในงานวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ สำหรับปัญหามาตรฐานจากเว็บไซต์ http://neo.lcc.uma.es/vrp/ เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ ซึ่งมีข้อมูลทั้งหมด 29 ปัญหา ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบ แสดงดังตารางที่ 5.18 โดยกำหนดค่า F = 0.60, CR = 0.90 โดยผู้วิจัยได้แยกปัญหามาตรฐานออกเป็น 2 ชุด คือ 1) ปัญหามาตรฐานสำหรับวัดประสิทธิภาพสำหรับปัญหา VRP ซึ่งมี 22 ปัญหา ได้แบ่งปัญหาออกเป็น 3 หมวด คือ ขนาดเล็ก (ปัญหาที่มีขนาดลูกค้า 32-39) ขนาดกลาง (ปัญหาที่มีขนาดลูกค้า 44-55) และขนาดใหญ่ (ปัญหาที่มีขนาดลูกค้า 60-80) ดังตารางที่ 5.18 และ

2) ปัญหามาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบการแก้ปัญหาของอัลกอริทึมกับวิธี PSO, ACO และ DE ซึ่งมี 7 ปัญหา ดังตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.18 ผลการวัดประสิทธิภาพสำหรับปัญหา VRP

Size Problem	Name Problem	No of Customer	Capacity of Vehicle	Optimal Value of Problem	DE Best Single Solution		
					Objective Value	Time (sec)	% GAP
Small	A-n32-k5	32	100	784	784	1.18	0.00
Small	A-n34-k5	34	100	778	778	5.05	0.00
Small	A-n37-k6	37	100	949	949	29.18	0.00
Small	A-n38-k5	38	100	730	730	17.91	0.00
Small	A-n39-k5	39	100	822	822	14.41	0.00
Medium	A-n44-k7	44	100	937	937	54.81	0.00
Medium	A-n45-k6	45	100	944	944	376.67	0.00
Medium	A-n45-k7	45	100	1146	1146	72.95	0.00
Medium	A-n46-k7	46	100	914	914	100.80	0.00
Medium	A-n48-k7	48	100	1073	1073	81.77	0.00
Medium	A-n53-k7	53	100	1010	1010	559.72	0.00
Medium	A-n54-k7	54	100	1167	1167	118.22	0.00
Medium	A-n55-k9	55	100	1073	1073	207.93	0.00
Large	A-n60-k9	60	100	1354	1358	707.33	0.294
Large	A-n61-k9	61	100	1035	1035	491.65	0.00
Large	A-n62-k8	62	100	1290	1293	895.82	0.232
Large	A-n63-k9	63	100	1616	1629	710.04	0.798
Large	A-n63-k10	63	100	1315	1319	787.92	0.303
Large	A-n64-k9	64	100	1402	1413	780.65	0.778
Large	A-n65-k9	65	100	1177	1177	790.97	0.000
Large	A-n69-k9	69	100	1159	1163	1068.91	0.343
Large	A-n80-k10	80	100	1764	1785	1582.22	1.176
% Total Gap Average							**0.944**

จากตารางที่ 5.18 พบว่าประสิทธิภาพสำหรับปัญหา VRP ของปัญหามาตรฐานทั้ง 22 ปัญหา มีค่าประสิทธิภาพความต่างของคำตอบค่าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 0.944 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกินค่าที่ยอมรับได้คือ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นวิธีการที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นจึงมีประสิทธิภาพเพียงพอต่อการแก้ปัญหาของกรณีศึกษา

ตารางที่ 5.19 เปรียบเทียบการแก้ปัญหาของอัลกอริทึมกับวิธี PSO ACO และ DE

Name Problem	No. of Customer	Capacity of Vehicle	Best Known Solution	PSO	ACO	DE	DE vs PSO	DE vs ACO
				Objective Value	Objective Value	Objective Value		
Vrpnc1	51	160	524.61	524.61	524.61	524.61	Draw	Draw
Vrpnc2	76	140	835.26	845.24	836.53	835.77	Win	Win
Vrpnc3	101	200	826.14	832.91	827.393	827.39	Win	Draw
Vrpnc4	151	200	1028.42	1049.24	1055.73	1052.4	Lose	Win
Vrpnc5	200	200	1291.45	1361.24	1359.82	1354.7	Win	Win
Vrpnc11	121	200	1042.11	1057.01	1042.11	1117.7	Lose	Lose
Vrpnc12	101	200	818.56	827.21	819.56	818.56	Win	Draw

หมายเหตุ : Lose คือ แพ้
Draw คือ เสมอ
Win คือ ชนะ

จากตารางที่ 5.18 พบว่าวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการแก้ปัญหาให้ค่าคำตอบอยู่ในระดับดี เมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา VRP อื่น ๆ เนื่องจากจะเห็นว่าปัญหาที่มีขนาดเล็ก และขนาดกลางสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้ 15 ปัญหาจากทั้งหมด 22 ปัญหา สำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่จะมีเปอร์เซ็นต์ความต่างของคำตอบมากกว่าศูนย์ แต่ก็มีเปอร์เซ็นต์ความต่างของคำตอบสูงสุดเพียง 1.176 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งเปอร์เซ็นต์ความต่างของคำตอบเฉลี่ยในการแก้ปัญหาทุกปัญหา ทุกกรณีมีค่าเพียง 0.944 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งไม่เกินค่าที่ยอมรับได้

จากตารางที่ 5.19 พบว่าวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการแก้ปัญหาของ Christofieds, Mingozzi and Toth จะให้คำตอบอยู่ในระดับที่ดีกว่าวิธี PSO ทั้งหมด 4 ชุดปัญหา เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี ACO จะให้คำตอบที่ดีกว่า 3 ชุดปัญหาและเท่ากัน 3 ชุดปัญหา ดังตารางที่ 5.20

ตารางที่ 5.20 ผลการเปรียบเทียบทั้ง 7 ปัญหาระหว่างวิธี DE กับ PSO และวิธี DE กับ ACO

	DE เทียบกับ PSO	**DE เทียบกับ ACO**
ชนะ (Win)	4 ปัญหา	3 ปัญหา
เสมอ (Draw)	1 ปัญหา	3 ปัญหา
แพ้ (Lose)	2 ปัญหา	1ปัญหา

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดสอบของปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ ของกรณีศึกษา ทั้งวิธีการกวาด (Sweep Approach) และวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) ดังได้กล่าวมา โดยทำการเปรียบเทียบคำตอบจากวิธีการกวาด และการประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง โดยมีเป้าหมายในการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะโดยมีระยะทางรวมน้อยที่สุด และนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบ และการนำปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ สำหรับปัญหามาตรฐานมาทดสอบโดยประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดจากเว็บไซต์ http://neo.lcc.uma.es/vrp/

6.1 สรุปผลการวิจัย

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มีข้อสรุปที่ตรงกันว่า ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะนับเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนปัญหาหนึ่ง และจัดเป็นปัญหาเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard) กล่าวคือ เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหามีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นแบบเอกโปเนนเชียลกับขนาดของปัญหาที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการใช้วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดกับปัญหานั้นจะมีความยุ่งยากซับซ้อน การประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Method) หรือใช้เทคนิค Linear Programming อาจกระทำได้ยากหรือไม่สามารถกระทำได้เลย เมื่อจำนวนตัวแปรตัดสินใจเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว จนบางครั้งอาจไม่สามารถหาขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้ ดังนั้นวิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา VRP จะอยู่ในรูปแบบฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสม ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้พัฒนาฮิวริสติกที่มีชื่อเรียกว่า “การวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differentrial Evolution: DE)” เพื่อแก้ปัญหา VRP ของกรณีศึกษานี้

6.1.1 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับปัญหากรณีศึกษา

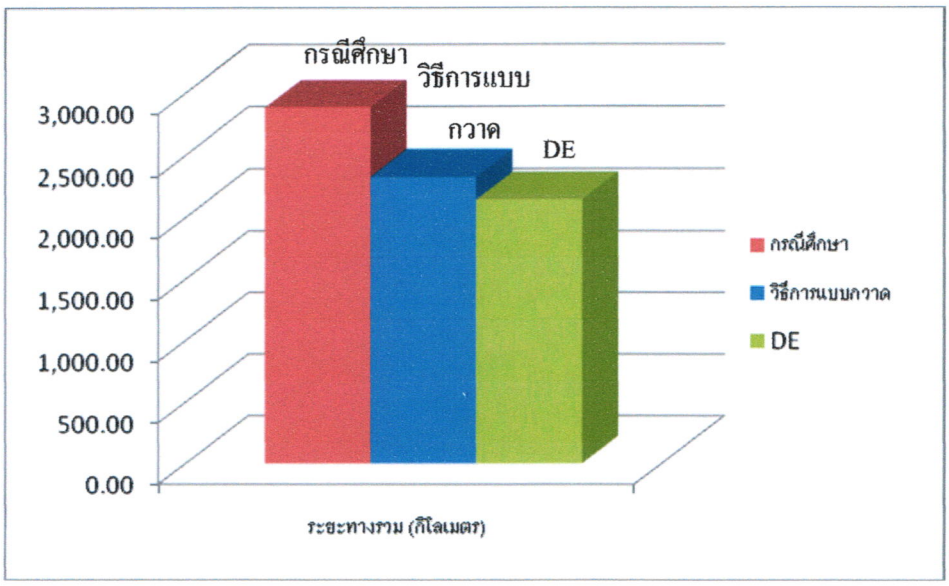
จากผลการทดสอบด้วยวิธีฮิวริสติกแบบการกวาด (Sweep Approach) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 กับวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) โดยใช้ โปรแกรม Bloodshed Dev-C++ V. 4.9.9.2 ในปัญหากรณีเดียวกัน ปรากฏว่าผลโดยวิธีฮิวริสติกแบบการกวาด (Sweep Approach) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Lingo V.11 สามารถหา

ระยะทางรวมเท่ากับ 2,325.95 กิโลเมตร และผลของวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง สามารถหาระยะทางรวมเท่ากับ 2,143.75 กิโลเมตร จากเส้นทางเดิม 2,881.50 กิโลเมตร ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบทั้งวิธีการกวาด และวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบของวิธีฮิวริสติกแบบการกวาด และวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง สำหรับปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะของกรณีศึกษา

	ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ		
	กรณีศึกษา	**วิธีการกวาด**	**DE**
ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	2,881.50	2,325.95	2,143.75
ผลต่างของระยะทางรวม (กิโลเมตร)	-	555.55	737.75
เปอร์เซ็นต์ผลต่างของระยะทาง	-	19.28	25.60

จากตารางที่ 6.1 พบว่าวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ที่ได้ประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ ของกรณีศึกษา สามารถลดระยะทางลดลง 737.75 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 25.60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นวิธีที่ดีวิธีหนึ่งที่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมได้



ภาพที่ 6.1 ผลการเปรียบเทียบระยะทางรวมของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะของกรณีศึกษา

จากภาพที่ 6.1 พบว่าจากการนำวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ ของกรณีศึกษา สามารถระยะทางรวมของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะได้มีระยะทางที่สั้นกว่าวิธีฮิวริสติกแบบการกวาด และระยะทางเดิมของกรณีศึกษา

6.1.2 เปรียบเทียบผลการทดสอบกับปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ สำหรับปัญหามาตรฐาน

จากผลการทดสอบปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับยานพาหนะ สำหรับปัญหามาตรฐานออกเป็น 2 ชุด คือ 1) ปัญหามาตรฐานสำหรับวัดประสิทธิภาพสำหรับปัญหา VRP ซึ่งมี 22 ปัญหา ได้แบ่งปัญหาออกเป็น 3 หมวด คือ ขนาดเล็ก, ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ และ 2) ปัญหามาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบการแก้ปัญหาของอัลกอริทึมกับวิธี PSO, ACO และ DE ซึ่งมี 7 ปัญหา โดยประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ในการหาระยะทางรวมที่น้อยที่สุด เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดนั้นสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

6.1.2.1 ปัญหามาตรฐานสำหรับวัดประสิทธิภาพสำหรับปัญหา VRP ทั้ง 22 ปัญหา

1) ปัญหามาตรฐานแบ่งปัญหาออกเป็น 3 ขนาด คือขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ พบว่าวิธีการการวิวัฒนาการโดยผลต่างมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้ดีอีกวิธีการหนึ่ง

2) วิธีการการวิวัฒนาการโดยผลต่างที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้เพียง 15 ปัญหาจาก 22 ปัญหา ซึ่งวิธีที่ได้ประยุกต์ใช้นี้เหมาะสมกับปัญหาที่มีขนาดเล็ก และขนาดกลาง ซึ่งเป็นปัญหาที่มีขนาดลูกค้าอยู่ระหว่าง 32-55 ราย ดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ผลปัญหามาตรฐานทั้ง 22 ปัญหาโดยใช้วิธี DE

ปัญหามาตรฐาน	DE	เปอร์เซ็นต์ผลต่าง
ขนาดเล็ก (ขนาดลูกค้า 32-39 ราย)	5 ปัญหา	100 เปอร์เซ็นต์
ขนาดกลาง (ขนาดลูกค้า 44-55 ราย)	8ปัญหา	100 เปอร์เซ็นต์
ขนาดใหญ่ (ขนาดลูกค้า 60-80 ราย)	2 ปัญหา	22.28 เปอร์เซ็นต์
รวม	15 ปัญหา	68.18 เปอร์เซ็นต์

6.1.2.2 ปัญหามาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบการแก้ปัญหาของอัลกอริทึมกับวิธี PSO ACO และ DE ซึ่งมี 7 ปัญหา สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างชนะวิธี PSO 4 ปัญหา
2) วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างชนะวิธี ACO 3 ปัญหา
3) วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเสมอกับวิธี PSO 1 ปัญหา
4) วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเสมอกับวิธี ACO 3 ปัญหา
5) วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแพ้วิธี ACO 2 ปัญหา
6) วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างแพ้วิธี ACO 1 ปัญหา

สรุปผลคือ วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างเป็นวิธีอีกวิธีการหนึ่งที่สามารถหาคำตอบได้ดี

6.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้ อาจจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจในปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะและวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอนำเสนอแนวทางในการศึกษาและงานวิจัยที่จะทำในอนาคตเพิ่มเติม ดังนี้

6.2.1 สำหรับวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง มีขั้นตอนอยู่หลายขั้นตอนและมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ แต่ละตัวนั้น ส่งผลต่อการค้นหาคำตอบของแต่ละปัญหา ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหารูปแบบอื่นนั้น จะมีค่าที่แตกต่างกัน จึงควรทดสอบค่าที่เหมาะสมกับปัญหานั้น ๆ เพื่อให้คำตอบที่ได้อยู่ในระดับที่ดีและมีประสิทธิภาพ

6.2.2 ในอนาคตผู้วิจัยจะพัฒนาขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีข้อจำกัดเพิ่มมากขึ้น เช่น มีข้อจำกัดด้านเวลาที่ต้องไปรับ-ส่ง มีข้อจำกัดด้านจำนวนรถที่ให้บริการ เป็นต้น เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่ออกแบบ ซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบและพัฒนาอัลกอริทึมให้ทรงประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6.3 ปัญหาและอุปสรรค

6.3.1 ผู้วิจัยขาดความชำนาญในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เวลาที่เกิด Run-Time Error ต้องเสียเวลาในการค้นหาค่าตัวแปรที่ผิดพลาดหรือเกิด Error ในบรรทัดใด

6.3.2 ในงานวิจัยนี้จะต้องทำการทดลองใช้อัลกอริทึมเพื่อประมวลผลหาคำตอบซ้ำหลายครั้งด้วยกัน แต่เนื่องด้วยความจำกัดของความสามารถเครื่องคอมพิวเตอร์จึงใช้เวลาในการทดลองค่อนข้างนาน

6.3.3 เนื่องจากกรณีศึกษาอาศัยความประสบการณ์ในการจัดเส้นทางการขนส่งมาอย่างยาวนาน จึงยากที่จะเข้าไปปรับเปลี่ยนทัศนคติของกรณีศึกษา ผลที่ได้จากการวิจัย ผู้วิจัยจึงทำได้แค่เสนอแนะให้ผู้ประกอบการรับไว้พิจารณาเท่านั้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กนกกาญจน์ จิรศิริเลิศ และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. "การประยุกต์ใช้วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างในการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบเส้นตรงประเภทที่ 1 : กรณีศึกษาอุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูป", วารสารไทยการวิจัยดาเนินงาน. 1(2) : 39-50, 2556.

ไชยา โฉมเฉลา และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. "การจัดเส้นทางรถขนส่งน้ำดื่มสาหรับบริการกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีฮิวริสติกกรณีศึกษา โรงงานน้ำดื่มเรนโบว์", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.212. อุบลราชธานี : โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์, 2553.

ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี และคณะ. "การพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางการขนส่งกรณี ศึกษา บริษัท เจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด จังหวัดอุบลราชธานี", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.219. อุบลราชธานี : โรงแรมสุนีย์แกรนด์ แอนด์ คอนเวนชั่น เซ็นเตอร์, 2553.

ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. "การประยุกต์วิธีอาณานิคมมดสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ กรณีศึกษาบริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.6-10. ชลบุรี : โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียน, 2554.

ณกร อินทร์พยุง. การแก้ปัญหาการตัดสินใจอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น (มหาชน), 2548.

นิรันดร์ สมมุติ และสมบัติ สินธุเชาวน์. "วิธีฮิวริสติก GRASP สาหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ", วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. 2(1) : 3-13, 2551.

ภาณุภัณฑ์ ภาระเวช และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. "การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลอิโวลูชั่น", Journal of Industrial Technology Ubon Ratchathani Rajabhat University. 3(6) : 13-20, 2013.

สุพรรณ สุดสนธิ์ และคณะ. "วิธีอาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ สำหรับปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดการเส้นทางการขนส่ง", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น. 81. ภูเก็ต : โรงแรมรอยัล ภูเก็ต ซิตี้, 2550.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สรรเพ็ชญ์ ไชยศิลปสังข์ และอุดม จันทร์จรัสสุข. "การประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนอาณานิคมมดในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามสั่ง", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. น.42-48. ชลบุรี : โรงแรมแอมบาสเดอร์ซิตี้ จอมเทียน, 2554.

Applegate David L, and et al. "Certification of an optimal TSP tour through 85,900 cities", Operational Research Letters. 37(1): 11-15, 2009.

Balas E., and Christofides N. "A Restricted Lagrangean Approach to the Traveling Salesman Problem", Mathematical Programming. 21: 19-46, 1981.

Beatrice, O., J. R. Brian and H. Franklin. "Multiobjective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows", Applied Intelligence. 24(1): 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 Roli A. "Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison", ACM Computing Surveys. 35(2): 268-308, 2003.

Bodin, L. D., et al. "Issue on the Routing and Scheduling of Vehicles and Crews", Computer and Operations Research Special. 10(2): 63-211, 1983.

Bullnheiner B., Harte R. F. and Strauss C. "A New Rank Based Version of the Ant System", A Computational Study Central European Journal of Operation Research. 7(1): 25-38, 1999.

Chakraborty, U.K., Das, S., and Konar, A. "Differential evolution with local neighborhood", In IEEE Congress on Evolutionary Computation. New Jerry: IEEE Press, 2006.

Chi-Bin Cheng, Chun-Pin Mao. "A modified ant colony system for solving the travelling salesman problem with time windows", Mathematical and Computer Modelling. 46(7): 1225-1235, 2006.

Christofides, W., and Eilon, S. "An Algorithm for the Vehicle Dispatching Problem", Operational Research Quarterly. 20(2): 309-319, 1969.

Christofides, N. Worst – Case Analysis of a New Heuristic for the Travelling Salesman Problem. USA: Carnegie Mellon University, 1976.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Christofides, N., Mingozzi, A., and Toth, P. The vehicle routing problem", In Christofide, N., Mingozzi, A., Toth, P., and Sandi, C. (Eds), Combinational Optimization. p.315-338. England: Wiley, Chichester, 1979.

Clark, G. and Wright, J. "Scheduling or vehicles from a center depot to a number of delivery point", Operation Research. 12(4): 568-58, 1964.

Dantzig, G. B., Fulkerson, D. R., and Johnson, S. M. "Solution of a large scale traveling salesman problem", Technical Report (RAND Corporation). p.510. USA: California, 1954.

_____. "On a Linear Programming Combinational Approach to the Traveling Salesman Problem", Operation Research. 7(1): 58-66, 1959.

Dervis and Selcuk. "A Simple and Global Optimization Algorithm for Engineering Problems: Differential Evolution Algorithm", Turk J Elec Engin. 12(1): 53-60, 2004.

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

Dorigo, M. and Gambardella,. L. M. "Ant colonies for the traveling salesman problem Bio Systems", Accepted for publication in BioSystems. 43: 73-81, 1997.

Gloden, B. L., Magnanti, T. L., and Nguyen, H. Q. "Implementing Vehicle Routing Algorithm", Networks. 7(2): 113-148, 1977.

Energy Saving. "ความต้องการน้ำมันเชื้อเพลิงในภาคคมนาคมขนส่ง", สถิติพลังงาน. http://www.energysavingmedia.com. January, 2014.

Jarmo, Ilonen and et al. "Differential Evolution Training Algorithm for Feed-Forward Neural Networks", Neural Processing Letters. 17(3): 93-105, 2003.

Jazebi, S., Vahidi, B., Jannati, M. "A novel application of wavelet based SVM to transient phenomena identification of power transformers", Energy Conversion and Management. 52(2): 1354-1363, 2011.

Kaelo, P. and Ali, M.M. "A numerical study of some modified differential evolution algorithms", European Journal of Operational Research. 169(3): 1176-1184, 2006.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Kytojoki, J., and et al. "An efficient variable neighvor-hood search heuristic for very large scale vehicle routing problems", Computer and Operations Research. 34(9): 2743-2757. 2007.

Laporte G. and Nobert Y. "Generalized Travelling Salesman Problem Through n Sets of Nodes: An Integer Programming Approach", INFOR. 21(1): 60-75, 1983.

Larsen A. The Dynamic Vehicle Rputing Problem. Doctor's Thesis: Technical University of Denmark, 2000.

Laporte G., Gendreau M., Potvin J. Y. and Semet F. "Classical and Modern Heuristics for The Vehicle Routing Problem", International Transaction in Operational Research. 7(3): 285-300, 2000.

Lopez, O., and et al. "Nesting success on the emergences of caretta in the island of Boavista, Cape Verde, Western Africa", in Proceeding of the Twenty – Second Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conversation. p.150-152. Malaysia: Kuala Lampur, 2003.

Nagy, G., and Salhi, S. "Nested heuristic methods for the location-routing problem", Journal of Operational Research Society. 47(1): 1184-1174, 1996.

Noon C. E. The Generalized Travelling Salesman Problem. USA: The University of Michigam,1988.

Price, K., Storn, R.M., and Lampinen, J.A. Differential Evolution: A Practical Approach to Global Optimization. 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.

R. Gämperle, S.D. Müller, and P. Koumoutsakos. "A parameter study for differential evolution", WSEAS Int. Conf. on Advances in Intelligent Systems, Fuzzy Systems, Evolutionary Computation. p.293-298. Switzerland: Interlaken, 2002.

Rosenkrantz D. J., and et al. "An Analysis of Several Heuristics for the Travelling Salesman Problem", SIAM Journal on Computing. 6(3): 563-581, 1977.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Storn, R. and Price, K. "Differential evolution – a simple and efficient adaptive scheme for global optimization over continuous spaces", International Computer Science. 11(4): 341-359, 1997.

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 problem", In the Discrete Mathematics and Applications. Philadelphia: SIAM, 2002.

Vehicle Routing Problem. Capacitated VRP Instances. http://neo.lcc.uma.es/vrp/. July, 2013.

Xianhui Zeng, Wai-KeungWong and SunneyYung-SunLeung. "An operator allocation optimization model for balancing control of the hybrid assembly lines using Pareto utility discrete differential evolution algorithm", Computers & Operations Research. 39(5): 1145-1159, 2012.

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. New York: Springer Berlin Heidelberg; 397-414, 2008.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ระยะทางการเดินรถทั้ง 51 จุด

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดระยะทางของเส้นทางทั้ง 51 จุด

จุดที่	ชื่อ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ละติจูด	ลองติจูด
1	มหาวิทยาลัยการจัดการและเทคโนโลยีอีสเทิร์น	0	0	15°15'52.98"น	104°50'36.99" ตะวันออก
2	ดอนใหญ่ อ.ศรีเมืองใหม่ จ.อุบลราชธานี	73	8	15°26'44.79"น	105°17'31.97" ตะวันออก
3	แก่งจุการ อ.ศรีเมืองใหม่ จ.อุบลราชธานี	84.5	8	15°22'48.18"น	105°21'46.75" ตะวันออก
4	บ้านนาจาน อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี	63.1	7	15°21'40.01"น	105°18'1.56" ตะวันออก
5	บ้านสะพือ อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี	51.1	18	15°15'11.17"น	105°14'26.08" ตะวันออก
6	อ.ตาลสุม จ.อุบลราชธานี	38	21	15°18'53.49"น	105° 9'26.77" ตะวันออก
7	ท่าล้ง อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี	100	10	15°24'19.14"น	105°33'41.34" ตะวันออก
8	บ้านห้วยหมาก อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี	87.9	12	15°19'5.87"น	105°31'14.36" ตะวันออก
9	บ้านห้วยไผ่ อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี	59.9	8	15°16'27.38"น	105°18'42.89" ตะวันออก
10	อ.โขงเจียนม จ.อุบลราชธานี	86.8	10	15°18'52.78"น	105°30'40.70" ตะวันออก
11	วังสะแบง จ.อุบลราชธานี	69.2	6	15°18'32.94"น	105°23'17.72" ตะวันออก

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดระยะทางของเส้นทางทั้ง 51 จุด (ต่อ)

จุดที่	ชื่อ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ละติจูด	ลองติจูด
12	ผาแก้ว จ.อุบลราชธานี	22.1	10	15°18'11.47"น	105° 1'2.87" ตะวันออก
13	บ้านนาโพธิ์กลาง อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี	113	15	15°33'32.54"น	105°30'26.17" ตะวันออก
14	บ้านดงแถบ อ.โขงเจียม จ.อุบลราชธานี	98.7	14	15°31'6.33"น	105°25'23.39" ตะวันออก
15	อ.ศรีเมืองใหม่ จ.อุบลราชธานี	80.5	16	15°30'59.56"น	105°16'55.14" ตะวันออก
16	อ.นาจะหลวย จ.อุบลราชธานี	97.8	11	14°33'48.99"น	105°14'41.91" ตะวันออก
17	บ้านตูม อ.นาจะหลวย จ.อุบลราชธานี	93.6	5	14°36'10.47"น	105°14'1.84" ตะวันออก
18	บ้านโนนแดง อ.นาจะหลวย จ.อุบลราชธานี	87.7	14	14°38'2.53"น	105°13'22.40" ตะวันออก
19	บ้านโนนสมบูรณ์ อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี	67.2	9	14°46'54.54"น	105° 2'21.62" ตะวันออก
20	อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี	50.8	2	14°56'31.67"น	105° 4'3.90" ตะวันออก
21	บ้านคอแลน อ.บุณฑริก จ.อุบลราชธานี	106	9	14°52'13.69"น	105°24'34.91" ตะวันออก
22	อ.บุณฑริก จ.อุบลราชธานี	92.4	4	14°48'14.60"น	105°23'40.51" ตะวันออก

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดระยะทางของเส้นทางทั้ง 51 จุด (ต่อ)

จุดที่	ชื่อ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ละติจูด	ลองติจูด
23	โนนจิก จ.อุบลราชธานี	88.1	11	14°46'29.58"น	105°18'48.84" ตะวันออก
24	โนนสมบูรณ์ อ.สิรินธร จ.อุบลราชธานี	87.6	8	15°13'46.77"น	105°27'59.39" ตะวันออก
25	คันเปือย จ.อุบลราชธานี	87.6	11	15°15'55.57"น	105°25'52.02" ตะวันออก
26	นิคม 1 จ.อุบลราชธานี	77.7	9	15°12'14.49"น	105°23'17.05" ตะวันออก
27	อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี	52.8	8	15°14'23.00"น	105°14'13.97" ตะวันออก
28	อ.ไทยเจริญ จ.ยโสธร	133	9	16° 4'34.01"น	104°26'56.41" ตะวันออก
29	บ้านคำเตย อ.ไทยเจริญ จ.ยโสธร	135	5	16° 5'51.39"น	104°24'35.79" ตะวันออก
30	อ.เลิงนกทา จ.ยโสธร	117	3	16°13'23.67"น	104°33'2.53" ตะวันออก
31	อ.เสนางคนิคม จ.ยโสธร	90.5	7	16° 1'33.57"น	104°38'15.03" ตะวันออก
32	อ.ค้อวัง จ.ยโสธร	69.4	8	15°22'53.50"น	104°21'15.56" ตะวันออก
33	อ.มหาชนะชัย จ.ยโสธร	111	10	15°33'8.16"น	104°14'45.00" ตะวันออก
34	อ.คำเขื่อนแก้ว จ.ยโสธร	90.2	4	15°39'45.76"น	104°18'20.06" ตะวันออก

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดระยะทางของเส้นทางทั้ง 51 จุด (ต่อ)

จุดที่	ชื่อ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ละติจูด	ลองติจูด
35	อ.เขื่องใน จ.อุบลราชธานี	42.6	8	15°26'1.77"น	104°33'14.90" ตะวันออก
36	อ.ป่าติ้ว จ.ยโสธร	100	11	15°50'37.62"น	104°23'21.64" ตะวันออก
37	จ.ยโสธร	111	13	15°46'52.57"น	104° 9'47.49" ตะวันออก
38	อ.ทุ่งศรีอุดม จ.อุบลราชธานี	70.8	13	14°44'42.04"น	104°54'40.29" ตะวันออก
39	นากระแซง อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี	51.5	9	14°53'25.36"น	104°56'11.76" ตะวันออก
40	บ้านป่าโมง อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี	39.8	6	14°58'4.81"น	104°59'46.82" ตะวันออก
41	อ.เขมราฐ จ.อุบลราชธานี	104	8	16° 2'31.03"น	105°12'29.38" ตะวันออก
42	อ.โพธิ์ไทร จ.อุบลราชธานี	92.3	25	15°51'15.67"น	105°15'31.09" ตะวันออก
43	อ.ตระการพืชผล จ.อุบลราชธานี	54.8	7	15°38'29.59"น	105° 1'0.97" ตะวันออก
44	อ.เหล่าเสือโก้ก จ.อุบลราชธานี	23.4	5	15°25'14.12"น	104°55'27.27" ตะวันออก
45	ช่องเม็ก อ.สิรินธร จ.อุบลราชธานี	93.9	9	15° 8'49.32"น	105°27'27.94" ตะวันออก
46	บ้านเหล่าอินแปลง จ.อุบลราชธานี	94.1	3	15° 9'24.45"น	105°27'35.96" ตะวันออก

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดระยะทางของเส้นทางทั้ง 51 จุด (ต่อ)

จุดที่	ชื่อ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)	ละติจูด	ลองติจูด
47	หนองเมก จ.อุบลราชธานี	98.5	8	15° 9'24.45"น	105°27'35.96" ตะวันออก
48	นิคม 2 อ.สิรินธร จ.อุบลราชธานี	88.9	2	15° 8'10.17"น	105°25'44.59" ตะวันออก
49	อ.พิบูลมังสาหาร 2 จ.อุบลราชธานี	54	7	15°14'22.25"น	105°28'28.29" ตะวันออก
50	ดั่นไร่ จ.อุบลราชธานี	59.1	3	15°14'28.25"น	105°13'30.31" ตะวันออก
51	บ้านแสนตอ อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี	57.7	2	15°16'41.61"น	105°18'34.01" ตะวันออก
52	บ้านตาชู อ.พิบูลมังสาหาร จ.อุบลราชธานี	46.5	3	15°13'37.38"น	105°16'54.27" ตะวันออก
รวม		4,046.1	452		

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
1	0	73	84.5	63.1	51.1	38	100	87.9	59.9	86.8	69.2	22.1	113	98.7	80.5	97.8	93.6	87.7	67.2	50.8	106	92.4	88.1	87.6	87.6	77.7	52.8	133	135	117	90.5	69.4	111	90.2	42.6	100	111	70.8	51.5	39.8	104	92.3	54.8	23.4	93.9	94.1	98.5	88.9	54	59.1	57.7	46.5
2	73	0	12.3	9.9	9.9	34.9	40.6	31.6	24.1	30.5	23.4	50.8	39	24.7	8.7	133	127	121	110	93.8	88	99.8	96	41.2	45.4	50.6	25.6	142	158	140	114	141	161	140	104	128	149	114	94.5	82.8	92.2	80.7	43.2	63.8	48.9	49.1	53.5	36.9	26.9	23.5	30.5	27.3
3	84.5	12.3	0	21.4	35.4	46.4	33.3	24.3	24.3	23.1	19.7	62.3	45.8	19.8	20.9	125	126	133	122	105	80.6	92.5	105	33.9	38	46.4	31.7	154	170	153	126	153	173	153	116	141	162	125	106	94.1	104	92.9	55.4	76	41.6	41.8	46.2	29.5	38.4	28.7	42	38.8
4	63.1	9.9	21.4	0	14.1	25.1	49.7	32.3	14.3	31.2	13.5	41	48.8	34.5	18.5	121	117	111	100	83.9	83.4	90.4	86.1	36.6	50.6	40.8	15.8	152	168	168	124	132	171	150	114	138	159	104	84.6	73	102	90.5	53	73.6	44.3	44.5	48.9	32.3	17.1	13.7	20.7	17.4
5	51.1	9.9	35.4	14.1	0	13	49.3	36.8	36.8	35.7	18.1	28.9	62.8	48.5	32.5	107	103	97.2	86.3	69.9	81.9	76.4	72.1	36.6	36.6	26.7	1.7	166	182	164	138	120	159	139	92.8	158	159	89.9	70.6	58.9	116	105	67	62.7	42.8	43	47.4	37.9	3	8.1	6.6	3.4
6	38	34.9	46.4	25.1	13	0	62.3	49.9	21.9	48.8	31.1	15.9	61.9	47.6	31.6	120	116	110	100	83.9	94.9	89.4	85.1	49.6	49.6	39.7	14.7	168	170	153	126	107	146	126	79.8	136	146	104	84.6	73	105	93.8	56.3	49.6	55.8	56	60.4	50.9	16	21.1	19.6	16.4
7	100	40.6	33.3	49.7	49.3	62.3	0	29.8	41.3	28.7	32	78	34.5	48.4	49	131	132	139	135	119	86.2	98.1	110	39.4	43.6	52	50.8	182	198	181	154	181	201	181	145	169	190	139	120	108	113	95.7	83.5	104	47.1	47.3	51.7	35.1	52	41	55.7	52.4
8	87.9	31.6	24.3	32.3	36.8	49.9	29.8	0	29.1	1.1	19.8	65.7	42.6	39.1	40.2	108	108	107	116	99.6	63	74.8	87	16.2	20.4	28.8	38.5	174	189	172	145	156	192	172	136	160	181	120	100	88.7	124	104	74.7	95.3	23.9	24.1	28.3	11.9	39.8	28.7	43.4	40.2
9	59.9	24.1	24.3	14.3	36.8	21.9	41.3	29.1	0	28	10.4	37.7	54.1	48.7	32.7	116	112	106	95.1	78.7	80.2	85.2	80.9	33.4	37.6	35.5	10.5	166	182	164	138	128	168	148	102	153	168	98.8	79.4	67.8	116	105	67.2	71.5	41.1	41.3	45.7	29.1	11.8	0.75	15.4	12.2
10	86.8	30.5	23.1	31.2	35.7	48.8	28.7	1.1	28	0	18.6	64.6	41.5	38	39.1	107	107	105	115	98.5	61.9	73.7	85.9	15.1	19.3	27.7	37.4	173	188	171	144	155	191	171	135	159	180	119	99.2	87.6	123	103	73.6	94.2	22.8	23	27.4	10.8	38.7	27.6	42.3	39.1
11	69.2	23.4	19.7	13.5	18.1	31.1	32	19.8	10.4	18.6	0	47	44.8	34.6	32	116	121	115	104	88	70.9	82.7	90.2	24.1	28.3	44.8	19.8	165	181	164	137	138	177	157	111	152	173	108	88.7	77.1	115	106	66.5	80.6	31.8	32	36.4	19.8	21.1	10	24.7	21.5
12	22.1	50.8	62.3	41	28.9	15.9	78	65.7	37.7	64.6	47	0	77.8	63.5	47.5	115	111	105	84.4	68	111	110	105	65.5	65.4	55.6	30.6	152	154	137	110	90.7	130	110	63.9	120	131	88.1	68.7	57.1	114	103	65.2	33.7	71.7	71.9	76.3	66.6	31.9	37	35.5	32.3
13	113	39	45.8	48.8	62.8	61.9	34.5	42.6	54.1	41.5	44.8	77.8	0	14.3	32.5	144	144	143	149	132	99	111	123	52.2	56.4	64.8	64.2	172	194	175	144	171	191	170	134	159	179	152	133	121	78.5	61.5	73.2	93.8	59.9	60.1	64.5	47.9	65.5	53.7	69.1	65.9
14	98.7	24.7	19.8	34.5	48.5	47.6	48.4	39.1	48.7	38	34.6	63.5	14.3	0	18.2	140	151	145	135	118	95.5	107	120	48.7	52.9	74.9	49.9	158	174	156	130	157	177	156	120	144	165	138	119	107	88.5	71.6	58.9	51.2	56.4	56.6	61.1	44.3	51.2	47.8	54.8	51.6
15	80.5	8.7	20.9	18.5	32.5	31.6	49	40.2	32.7	39.1	32	47.5	32.5	18.2	0	141	135	130	119	102	96.5	108	104	49.7	53.9	59	34.1	140	155	138	111	138	158	138	102	126	147	122	103	91.2	89.7	48.9	40.7	61.3	57.4	57.6	62	45.3	35.3	32	39	35.7
16	97.8	133	125	121	107	120	131	108	116	107	116	115	144	140	141	0	6	10.1	46.4	51.5	48.8	40.5	47.4	94.8	102	112	103	235	237	219	193	166	207	177	142	203	198	62.9	75.9	59.7	208	196	159	127	89.8	85.8	84.5	96.1	105	113	106	106
17	93.6	127	126	117	103	116	132	108	112	107	121	111	144	151	135	6	0	5.9	42.2	47.3	49	40.6	47.9	95	102	107	99.2	213	233	215	189	162	203	173	138	198	193	58.7	71.7	55.5	204	192	155	123	90	108	84.7	96.3	100	109	102	102
18	87.7	121	133	111	97.2	110	130	107	106	105	115	105	143	145	130	10.1	5.9	0	37.5	41.4	34.3	46	28.6	111	111	101	93.3	225	227	209	183	156	197	167	132	193	188	54	65.8	49.6	198	186	149	117	95.3	91.3	90	113	94.6	103	96.2	95.6
19	67.2	110	122	100	86.3	100	135	116	95.1	115	104	84.4	149	135	119	46.4	42.2	37.5	0	21.8	72.6	103	55	103	103	93	84.7	204	206	189	162	147	188	147	111	172	167	17.5	31.9	29	177	166	128	96.8	109	109	110	104	86.1	94.4	87.7	87.1
20	50.8	93.8	105	83.9	69.9	83.9	119	99.6	78.7	98.5	88	68	132	118	102	51.5	47.3	41.4	21.8	0	59.4	46.1	41.8	77.9	77.9	68	59.8	188	190	173	146	119	161	130	95.1	156	151	33.5	24.5	12.9	161	150	112	80.7	84.1	84.3	88.7	79.2	61.1	69.4	62.7	62.2
21	106	88	80.6	83.4	81.9	94.9	86.2	63	80.2	61.9	70.9	111	99	95.5	96.5	48.8	49	54.3	72.6	59.4	0	14.2	26.4	49.7	56.5	60.8	80.3	230	146	228	202	174	215	185	150	216	205	84	83.7	67.5	180	160	131	144	44.7	62.9	39.4	51	81.6	79.8	83.2	82.6
22	92.4	99.8	92.5	90.4	76.4	89.4	98.1	74.8	85.2	73.7	82.7	110	111	107	108	40.5	40.6	46	103	46.1	14.2	0	13.2	61.6	68.3	80.6	72.4	229	231	214	187	161	202	172	136	197	192	70.7	70.5	54.2	202	172	153	122	56.5	52.5	51.3	62.9	73.8	82.1	75.4	74.8
23	88.1	96	105	86.1	72.1	85.1	110	87	80.9	85.9	90.2	105	123	120	104	47.4	47.9	28.6	55	41.8	26.4	13.2	0	73.8	86.2	76.3	68.1	225	227	210	183	156	198	167	132	193	188	66.4	66.2	49.9	198	187	149	118	68.7	64.8	63.5	75.1	69.5	77.8	71.1	70.5
24	87.6	41.2	33.9	36.6	36.6	49.6	39.4	16.2	33.4	15.1	24.1	65.5	52.2	48.7	49.7	94.8	95	111	103	77.9	49.7	61.6	73.8	0	9.5	15.6	35	183	199	181	155	156	196	176	129	170	190	106	87.1	75.5	133	113	84.3	99.2	10.7	10.9	15.3	4.3	36.4	33.1	38	37.4
25	87.6	45.4	38	50.6	36.6	49.6	43.6	20.4	37.6	19.3	28.3	65.4	56.4	52.9	53.9	102	102	111	103	77.9	56.5	68.3	86.2	9.5	0	12.4	37.3	188	203	186	159	149	189	168	122	174	195	109	89.4	77.8	137	118	88.5	91.9	17.5	17.6	22.1	8.5	38.7	37.3	22.7	39.7
26	77.7	50.6	46.4	40.8	26.7	39.7	52	28.8	35.5	27.7	44.8	55.6	64.8	74.9	59	112	107	101	93	68	60.8	80.6	76.3	15.6	12.4	0	28	191	25.6	189	163	147	187	166	120	177	187	97.1	77.7	66.1	141	121	91.9	89.8	16.9	17.1	21.5	11.9	27	35.5	17.8	28
27	52.8	25.6	31.7	15.8	1.7	14.7	50.8	38.5	10.5	37.4	19.8	30.6	64.2	49.9	34.1	103	99.2	93.3	84.7	59.8	80.3	72.4	68.1	35	37.3	28	0	168	183	166	139	121	161	141	94.4	154	161	88.5	69.1	57.5	118	106	68.3	64.2	41.4	41.6	46	36.5	1.9	9.7	5.9	2.4
n	0	8	8	7	18	21	10	12	8	10	6	10	15	14	16	11	5	14	9	2	9	4	11	8	11	9	8	9	5	3	7	8	10	4	8	11	13	13	9	6	8	25	7	5	9	3	8	2	7	3	2	3

*หมายเหตุ n = จำนวนนักศึกษา

ภาพที่ ก.1 ระยะทางของเส้นทางทั้ง 51 จุด

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
28	133	142	154	152	166	168	182	174	166	173	165	152	172	158	140	235	213	225	204	188	230	229	225	183	188	191	168	0	8.9	33.3	36.4	110	89	67.7	106	41.6	59.8	203	184	172	116	147	106	131	191	191	195	179	169	165	172	169
29	135	158	170	168	182	170	198	189	182	188	181	154	194	174	155	237	233	227	206	190	146	231	227	199	203	25.6	183	8.9	0	26.6	46	104	83	61.7	100	35.6	53.8	202	183	171	117	147	122	131	206	207	211	194	184	181	188	185
30	117	140	153	168	164	153	181	172	164	171	164	137	175	156	138	219	215	209	189	173	228	214	210	181	186	189	166	33.3	26.6	0	27.6	132	111	90	109	96.6	90.5	187	168	156	97.2	128	104	121	188	188	193	176	166	163	170	166
31	90.5	114	126	124	138	126	154	145	138	144	137	110	144	130	111	193	189	183	162	146	202	187	183	155	159	163	139	36.4	46	27.6	0	119	98.2	76.8	86.3	56.3	77.2	165	145	134	91.1	121	81	98.7	165	166	170	153	143	140	147	144
32	69.4	141	153	132	120	107	181	156	128	155	138	90.7	171	157	138	166	162	156	147	119	174	161	156	156	149	147	121	110	104	132	119	0	34.9	34.9	34.9	75.7	69.9	135	135	109	158	150	106	89.6	161	161	166	156	121	126	125	114
33	111	161	173	171	159	146	201	192	168	191	177	130	191	177	158	207	203	197	188	161	215	202	198	196	189	187	161	89	83	111	98.2	34.9	0	22.6	60.8	49	43.2	176	176	140	145	170	125	109	202	202	207	198	162	167	166	155
34	90.2	140	153	150	139	126	181	172	148	171	157	110	170	156	138	177	173	167	147	130	185	172	167	176	168	166	141	67.7	61.7	90	76.8	49.3	22.6	0	40.2	27.7	21.8	163	131	119	123	154	105	88.9	182	182	186	177	142	147	145	134
35	42.6	104	116	114	92.8	79.8	145	136	102	135	111	63.9	134	120	102	142	138	132	111	95.1	150	136	132	129	122	128	94.4	106	100	109	86.3	38.7	60.8	40.2	0	66.6	60.9	128	95.3	83.9	121	113	68.8	52.9	134	134	139	141	94.4	99.5	98	86.8
36	100	128	141	138	158	136	169	160	153	159	152	120	159	144	126	203	198	193	172	156	216	197	193	170	174	177	154	41.6	35.6	96.6	56.3	75.7	49	27.7	66.6	0	28.2	166	147	135	98.4	129	88.3	94.5	173	173	177	161	151	147	154	151
37	111	149	162	159	159	146	190	181	168	180	173	131	179	165	147	198	193	188	167	151	205	192	188	190	195	187	161	59.8	53.8	90.5	77.2	69.9	43.2	21.8	60.9	28.2	0	184	151	139	124	154	114	109	198	199	203	186	162	167	166	154
38	70.8	114	125	104	89.9	104	139	120	98.8	119	108	88.1	152	138	122	62.9	58.7	54	17.5	33.5	84	70.7	66.4	106	109	97.1	88.5	203	202	187	165	135	176	163	128	166	184	0	20.1	32.7	181	169	132	100	113	113	117	108	89.7	98	91.3	90.7
39	51.5	94.5	106	84.6	70.6	84.6	120	100	79.4	99.2	88.7	68.7	133	119	103	75.9	71.7	65.8	31.9	24.5	83.7	70.5	66.2	87.1	89.4	77.7	69.1	184	183	168	145	135	176	131	95.5	147	151	20.1	0	13.6	162	150	113	81.4	93.7	93.9	98.3	88.8	70.7	79	72.3	71.7
40	39.8	82.8	94.1	73	58.9	73	108	88.7	67.8	87.6	77.1	57.1	121	107	91.2	59.7	55.5	49.6	29	12.9	67.5	54.2	49.9	75.3	77.8	66.1	57.5	172	171	156	134	109	140	119	83.9	135	139	32.7	13.6	0	159	147	110	78.1	77.5	77.7	82.1	72.6	54.5	62.9	56.2	55.6
41	104	92.2	104	102	116	105	113	124	116	123	115	114	78.5	88.5	89.7	208	204	198	177	161	180	202	198	133	137	141	118	116	117	97.2	91.1	158	145	123	121	98.4	124	181	162	159	0	31.1	95.5	84.6	141	141	146	129	119	116	123	119
42	92.3	80.7	92.9	90.5	105	93.8	95.7	104	105	105	106	103	61.5	71.6	48.9	196	192	186	166	150	160	172	187	113	118	121	106	147	147	128	121	150	170	154	113	129	154	169	150	147	31.1	0	48	73.2	122	122	127	110	108	104	111	108
43	54.8	43.2	55.4	53	67	56.3	83.5	74.7	67.2	73.6	66.5	65.2	73.2	58.9	40.7	159	155	149	128	112	131	153	149	84.3	88.5	91.9	68.3	106	122	104	81	106	125	105	68.8	88.3	114	132	113	110	95.5	48	0	35.7	92	92.2	96.6	80	70	66.6	73.6	70.4
44	23.4	63.8	76	73.6	62.7	49.6	104	95.3	71.5	94.2	80.6	33.7	93.8	51.2	61.3	127	123	117	96.8	80.7	144	122	118	99.2	91.9	89.8	64.2	131	131	121	98.7	89.6	109	88.9	52.9	94.5	109	100	81.4	78.1	84.6	73.2	33.7	0	105	106	110	100	65.5	70.6	69.1	58
45	93.9	48.9	41.6	44.3	42.8	55.8	47.1	23.9	41.1	22.8	31.8	71.7	59.9	56.4	57.4	89.8	90	95.3	109	84.1	44.7	56.5	68.7	10.7	17.5	16.9	41.4	191	206	188	165	161	202	182	134	173	198	113	93.7	77.5	141	122	92	105	0	2.5	4.6	12.8	43.4	41.6	45	44.5
46	94.1	49.1	41.8	44.5	43	56	47.3	24.1	41.3	23	32	71.9	60.1	56.6	57.6	83.8	108	91.3	109	84.3	62.9	52.5	64.8	10.9	17.6	17.1	41.6	191	207	188	166	161	202	182	134	173	199	113	93.9	77.7	141	122	92.2	106	2.5	0	6.3	12.2	42.8	41	44.4	43.8
47	98.5	53.5	46.2	48.9	47.4	60.4	51.7	28.5	45.7	27.4	36.4	76.3	64.5	61.1	62	84.5	84.7	90	110	88.7	39.4	51.3	63.5	15.3	22.1	21.5	46	195	211	193	170	166	207	186	139	177	203	117	98.3	82.1	146	127	96.6	110	4.6	6.3	0	16.6	47.1	45.3	48.8	48.2
48	88.9	36.9	29.5	32.3	37.9	50.9	35.1	11.9	29.1	10.8	19.8	66.8	47.9	44.3	45.3	96.1	96.3	113	104	79.2	51	62.9	75.1	4.3	8.5	11.9	36.5	179	194	176	153	156	198	177	141	161	186	108	88.8	72.6	129	110	80	100	12.8	12.2	16.6	0	37.7	28.7	39.3	38.7
49	54	26.9	38.4	17.1	3	16	52	39.8	11.8	38.7	21.1	31.9	65.5	51.2	35.3	105	100	94.6	86.1	61.1	81.6	73.8	69.5	36.4	38.7	27	1.9	169	184	166	143	121	162	142	94.4	151	162	89.7	70.7	54.5	119	108	70	65.5	43.4	42.8	47.1	37.7	0	12.7	9.1	4.8
50	59.1	23.5	28.7	13.7	8.1	21.1	41	28.7	0.75	27.6	10	37	53.7	47.8	32	113	109	103	94.4	69.4	79.8	82.1	77.8	33.1	37.3	35.5	9.7	165	181	163	140	126	167	147	99.5	147	167	98	79	62.9	116	104	66.6	70.6	41.6	41	45.3	28.7	12.7	0	14.7	11.5
51	57.7	30.5	42	20.7	6.6	19.6	55.7	43.4	15.4	42.3	24.7	35.5	69.1	54.8	39	106	102	96.2	87.7	62.7	83.2	75.4	71.1	38	22.7	17.8	5.9	172	188	170	147	125	166	145	98	154	166	91.3	72.3	56.2	123	111	73.6	69.1	45	44.4	48.8	39.3	9.1	14.7	0	8
52	46.5	27.3	38.8	17.4	3.4	16.4	52.4	40.2	12.2	39.1	21.5	32.3	65.9	51.6	35.7	106	102	95.6	87.1	62.2	82.6	74.8	70.5	37.4	39.7	28	2.4	169	185	166	144	114	155	134	86.8	151	154	90.7	71.7	55.6	119	108	70.4	58	44.5	43.8	48.2	38.7	4.8	11.5	8	0
n	0	8	8	7	18	21	10	12	8	10	6	10	15	14	16	11	5	14	9	2	9	4	11	8	11	9	8	9	5	3	7	8	10	4	8	11	13	13	9	6	8	25	7	5	9	3	8	2	7	3	2	3

*หมายเหตุ n = จำนวนนักศึกษา

ภาพที่ ก.1 ระยะทางของเส้นทางทั้ง 51 จุด (ต่อ)

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยใช้มุม 45, 90, 135 และ 180 องศา

ตารางที่ ข.1 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 45 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-37-34-35-33-32-1	338.1	43
2	1-38-39-19-40-16-1	309.3	48
3	1-17-18-20-23-22-21-1	316.1	45
4	1-47-45-46-26-51-27-52-49-1	207.6	49
5	1-24-48-5-25-9-50-1	263.85	50
6	1-10-8-11-6-1	176.8	49
7	1-7-4-12-3-2-1	338.3	43
8	1-14-13-15-1	226	45
9	1-42-44-1	188.9	30
10	1-41-43-31-30-28-29-36-1	485.9	50
รวม		2,850.85	452

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 90 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-31-30-28-29-36-37-1	335.1	48
2	1-34-35-33-32-38-39-1	432.7	43
3	1-39-19-40-16-17-1	271.7	40

ตารางที่ ข.2 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 90 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ต่อ)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
4	1-18-20-23-22-21-47-1	336.2	48
5	1-45-46-26-51-27-52-49-24-1	268.4	49
6	1-5-25-9-50-1	185.15	50
7	1-8-11-6-7-1	301.1	49
8	1-4-12-3-2-14-1	302.1	47
9	1-13-15-44-1	230.2	36
10	1-42-41-43-48-1	390.4	42
รวม		3,050.45	452

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 135 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-42-44-43-31-1	372.7	44
2	1-30-28-29-36-37-34-1	335	45
3	1-35-33-32-38-39-1	344.9	48
4	1-19-40-16-17-18-1	255.5	45
5	1-20-23-22-21-47-45-46-1	260.6	46
6	1-26-51-27-52-49-24-48-25-1	245.4	50
7	1-5-9-50-10-11-1	204.05	45
8	1-8-6-7-4-1	299.8	50

ตารางที่ ข.3 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 135 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ต่อ)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
9	1-12-3-2-14-1	220.1	40
10	1-13-15-41-1	339.2	39
รวม		2,877.25	452

ตารางที่ ข.4 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 180 องศา ในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-27-52-49-24-48-5-1	189.7	46
2	1-25-9-50-10-8-1	242.55	44
3	1-11-6-7-4-1	275.4	44
4	1-12-3-2-14-1	220.1	40
5	1-13-42-1	266.8	40
6	1-15-44-41-43-31-30-1	547.5	46
7	1-28-29-36-37-34-35-1	320.3	50
8	1-33-32-38-39-19-1	400.1	49
9	1-40-16-17-18-20-1	203.6	38
10	1-23-22-21-47-45-1	253.4	41
11	1-46-26-51-1	186.7	14
รวม		3,096.15	452

ตารางที่ ข.5 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 45 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-36-29-28-30-31-43-1	341.2	42
2	1-41-44-42-1	254.1	38
3	1-15-13-14-1	226	45
4	1-2-3-12-4-7-1	338.3	43
5	1-6-11-8-10-1	176.8	49
6	1-50-9-25-5-48-24-1	263.85	50
7	1-49-52-27-51-26-46-45-47-1	207.6	49
8	1-21-22-23-20-18-17-1	316.1	45
9	1-16-40-19-39-38-1	309.3	48
10	1-32-33-35-34-37-1	338.1	43
รวม		2,871.35	452

ตารางที่ ข.6 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 90 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-43-41-44-42-1	400.4	45
2	1-15-13-14-1	226	45
3	1-2-3-12-4-7-1	338.3	43
4	1-6-11-8-10-1	176.8	49
5	1-50-9-25-5-48-24-1	263.85	50

ตารางที่ ข.6 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 90 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา (ต่อ)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
6	1-49-52-27-51-26-46-45-47-1	207.6	49
7	1-21-22-23-20-18-17-1	316.1	45
8	1-16-40-19-39-38-1	309.3	48
9	1-32-33-35-34-37-1	338.1	43
10	1-36-29-28-30-31-43-1	341.2	35
รวม		2,917.65	452

ตารางที่ ข.7 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 135 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-16-15-14-1	355.7	45
2	1-2-3-12-4-7-1	338.3	43
3	1-6-11-8-10-1	176.8	49
4	1-50-9-25-5-48-24-1	263.85	50
5	1-49-52-27-51-26-46-45-47-1	207.6	49
6	1-21-22-23-20-18-17-1	316.1	45
7	1-16-40-19-39-38-1	309.3	48
8	1-32-33-35-34-37-1	338.1	43
9	1-36-29-28-30-31-43-41-1	485.9	50
10	1-44-42-1	188.9	30
รวม		2,980.55	452

ตารางที่ ข.8 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยกางทำมุม 180 องศา ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-25-5-48-24-49-52-1	254.1	49
2	1-27-51-26-46-45-47-21-1	246.1	48
3	1-22-23-20-18-17-16-1	298.5	47
4	1-40-19-39-38-32-1	325.2	45
5	1-33-15-34-37-36-1	557	46
6	1-29-28-30-31-43-41-44-1	489.3	44
7	1-42-15-1	221.7	41
8	1-13-14-2-3-1	248.8	45
9	1-12-4-7-6-1	213.1	48
10	1-11-8-10-50-9-1	178.35	39
รวม		3,032.15	452

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบการจัดเส้นทางโดยประยุกต์ใช้วิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE)

ตารางที่ ค.1 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 1 (โดยใช้ค่า F = 0.55 CR = 0.20 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-16-17-18-23-22-1	243.9	45
2	1-37-36-28-29-30-31-1	334.4	48
3	1-12-6-49-27-52-1	104.8	49
4	1-35-34-33-32-1	209.7	30
5	1-4-15-2-5-1	151.3	49
6	1-3-14-13-7-50-1	253.2	50
7	1-20-21-47-45-46-24-48-26-1	261.5	50
8	1-51-25-8-10-11-9-1	190.8	49
9	1-43-42-41-44-1	241.9	45
10	1-39-38-19-40-1	157.9	37
รวม		2,149.4	452

ตารางที่ ค.2 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 2 (โดยใช้ค่า F = 2.55 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-32-33-34-35-1	209.7	30
2	1-37-36-28-29-30-31-1	334.4	48
3	1-51-25-24-46-45-47-21-1	253.3	50

ตารางที่ ค.2 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 2 (โดยใช้ค่า F = 2.55 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000) (ต่อ)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
4	1-5-2-15-4-1	151.3	49
5	1-39-38-19-40-1	157.9	37
6	1-23-22-16-17-18-20-1	245.9	47
7	1-12-6-49-27-52-1	104.8	49
8	1-26-48-8-10-11-9-50-1	191.45	50
9	1-44-41-42-43-1	241.9	45
10	1-3-14-13-7-1	253.1	47
รวม		2,143.75	452

ตารางที่ ค.3 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 3 (โดยใช้ค่า F = 5 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-35-31-30-28-29-26-49-1	305.3	48
2	1-36-37-34-33-32-1	276.9	46
3	1-9-3-2-15-12-1	174.8	50
4	1-6-5-27-52-1	101.6	50
5	1-51-25-24-8-10-4-1	201.5	50
6	1-43-42-41-1	237.9	40
7	1-44-14-13-7-11-1	224.6	50

ตารางที่ ค.3 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 3 (โดยใช้ค่า F = 5 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000) (ต่อ)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
8	1-39-38-19-40-1	157.9	37
9	1-20-18-17-16-1	201.9	32
10	1-23-22-21-47-45-46-48-50-1	262	49
รวม		2,144.4	452

ตารางที่ ค.4 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 4 (โดยใช้ค่า F = 2.45 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-20-18-17-16-22-23-1	245.9	47
2	1-6-5-27-52-1	101.6	50
3	1-12-10-8-48-26-49-1	192.6	50
4	1-51-25-24-46-45-47-21-1	253.3	50
5	1-50-9-3-2-15-4-1	186.8	50
6	1-32-33-34-35-1	209.7	30
7	1-44-14-13-7-11-1	224.6	50
8	1-37-36-28-29-30-31-1	334.4	48
9	1-39-38-19-40-1	157.9	37
10	1-41-42-43-1	237.9	40
รวม		2,144.7	452

ตารางที่ ค.5 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 5 (โดยใช้ค่า F = 0.85 CR = 0.15 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-26-24-46-45-47-21-22-1	257.3	50
2	1-43-42-41-44-1	241.9	45
3	1-16-17-18-23-20-1	230.9	43
4	1-50-7-13-14-3-1	253.2	50
5	1-12-15-2-4-9-1	162.4	49
6	1-37-36-28-29-30-31-1	334.4	48
7	1-49-51-25-48-8-10-11-1	195.1	50
8	1-32-33-34-35-1	209.7	30
9	1-6-5-27-52-1	101.6	50
10	1-39-38-19-40-1	157.9	37
รวม		2,144.4	452

ตารางที่ ค.6 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 6 (โดยใช้ค่า F = 1.15 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-44-41-42-43-1	241.9	45
2	1-26-24-46-45-47-21-22-1	257.3	50
3	1-37-36-28-29-30-31-1	334.4	48
4	1-6-5-27-52-1	101.6	50

ตารางที่ ค.6 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 6 (โดยใช้ค่า F = 1.15 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000) (ต่อ)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
5	1-12-14-13-7-1	234.4	49
6	1-19-38-39-1	156.3	31
7	1-20-17-16-18-23-40-1	232.5	49
8	1-50-9-3-2-15-4-1	186.8	50
9	1-11-10-8-48-25-51-49-1	195.1	50
10	1-35-34-33-32-1	209.7	30
รวม		2,149.9	452

ตารางที่ ค.7 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 7 (โดยใช้ค่า F = 1.50 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-9-3-2-15-12-1	174.8	50
2	1-49-26-29-28-30-31-35-1	305.3	48
3	1-20-16-17-18-1	201.9	32
4	1-41-42-43-1	237.9	40
5	1-6-5-27-52-1	101.6	50
6	1-4-8-10-24-25-51-1	201.5	50
7	1-44-14-13-7-11-1	224.6	50

ตารางที่ ค.7 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 7 (โดยใช้ค่า F = 1.50 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000) (ต่อ)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
8	1-50-48-46-45-47-21-22-23-1	262	49
9	1-36-37-34-33-32-1	276.9	46
10	1-39-38-19-40-1	157.9	37
รวม		2,144.4	452

ตารางที่ ค.8 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 8 (โดยใช้ค่า F = 4.50 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-35-34-33-32-1	209.7	30
2	1-4-15-2-5-1	151.3	49
3	1-20-18-17-16-22-23-1	245.9	47
4	1-50-9-11-10-8-48-26-1	191.45	50
5	1-21-47-45-46-24-25-51-1	253.3	50
6	1-12-6-49-27-52-1	104.8	49
7	1-43-42-41-44-1	241.9	45
8	1-37-36-28-29-30-31-1	334.4	48
9	1-39-38-19-40-1	157.9	37
10	1-3-14-13-7-1	253.1	47
รวม		2,143.75	452

ตารางที่ ค.9 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 9 (โดยใช้ค่า F = 2.55 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-35-34-33-32-1	209.7	30
2	1-50-9-3-15-2-4-1	186.8	50
3	1-52-27-5-6-1	101.6	50
4	1-51-25-24-46-45-47-21-1	253.3	50
5	1-12-10-8-48-26-49-1	192.6	50
6	1-44-14-13-7-11-1	224.6	50
7	1-37-36-28-29-30-31-1	334.4	48
8	1-20-22-23-18-17-16-1	248.4	47
9	1-41-42-43-1	237.9	40
10	1-39-38-19-40-1	157.9	37
รวม		2,147.2	452

ตารางที่ ค.10 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 10 (โดยใช้ค่า F = 1.90 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
1	1-12-15-2-4-9-1	162.4	49
2	1-3-14-13-7-50-1	253.2	50
3	1-37-36-28-29-30-31-1	334.4	48
4	1-20-16-17-18-23-40-1	232.5	49

ตารางที่ ค.10 รายละเอียดผลการจัดเส้นทางโดยวิธีการการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่างครั้งที่ 10 (โดยใช้ค่า F = 1.90 CR = 0.10 และจำนวนรอบ = 1,000) (ต่อ)

ลำดับ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	จำนวนผู้โดยสาร (คน)
5	1-6-5-27-52-1	101.6	50
6	1-43-42-41-44-1	241.9	45
7	1-19-38-39-1	156.3	31
8	1-11-10-8-48-25-51-49-1	195.1	50
9	1-22-21-47-45-46-24-26-1	257.3	50
10	1-32-33-34-35-1	209.7	30
รวม		2,144.4	452

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายเชษฐา สมไชย
วัน/เดือน/ปี	10 กรกฎาคม พ.ศ. 2515
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2541 ปริญญาคุรุศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมศิลป์)
สถานที่ทำงาน	วิทยาลัยอาชีวศึกษาโปลีเทคนิค ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี
งานวิจัยด้านที่สนใจ	การจัดเส้นทางการขนส่ง เทคนิคการหาคำตอบที่ เหมาะสม