

อิวิริสตติกสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง
กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยที่มีเงื่อนไข
ขนาดการบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัด

สุพรรณ สุตสนธิ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2551

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**HEURISTIC FOR MULTI-DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEMS WITH
VEHICLE CAPACITY AND ROUTE LENGTH CONSTRAINTS**

SUPHAN SODSOON

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RAJATANEE UNIVERSITY
YEAR 2008**

COPYRIGHT OF UBONRAJATHANEE UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง อภิวัตติการสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลาง
มีมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยที่มีเงื่อนไขขนาดการบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัด

ผู้วิจัย นายสุพรรณ สุตสนธิ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สิ้นธุเชาวน์)
..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ระพีพันธ์ ปิตาตะโส)
..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุกัญญา ปทุมนาถ)
..... คณบดี
(รองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โกคา)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

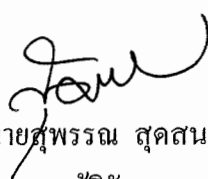
ปีการศึกษา 2551

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือเป็นดียิ่งจากท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ สีนุชเชาวน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในระหว่างการศึกษา เช่น สืบค้นรายงานการวิจัย การวางกรอบปัญหา การสร้างและการใช้วิธีเชิงฮิวริสติก ภาษาทางคอมพิวเตอร์ที่สำคัญๆ ตลอดจนให้คำแนะนำในการเขียนรายงานการวิจัยเพื่อนำออกไปเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการต่าง ๆ มาโดยตลอดระยะเวลา 3 ปีกับอีก 1 ภาคการศึกษา ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ณ มหาวิทยาลัยแห่งนี้ ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ระพีพันธ์ ปิตาคะโส ที่ท่านกรุณานำหลักการวิธีการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด เข้ามาสอนในหลักสูตรระดับบัณฑิตศึกษา วิศวกรรมอุตสาหการ ผู้วิจัยเกิดความสนใจและพัฒนาวิธีการมาใช้กับงานวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ระหว่างทำการศึกษาได้รับคำแนะนำต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องจากท่านมาโดยตลอด อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือในการติดต่อประสานงานกับผู้เชี่ยวชาญจากต่างประเทศ ด้านวิธีการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด จนในที่สุดทำให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสเดินทางไปเพื่อศึกษารายละเอียดเพิ่มเติม ณ ประเทศออสเตรเลีย เป็นระยะเวลา 2 เดือน และผู้เชี่ยวชาญอีกท่านหนึ่งที่ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ คือ รองศาสตราจารย์ ดร. สุภชัย ปทุมนากุล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งเป็นผู้ที่เชี่ยวชาญวิธีเชิงฮิวริสติกอีกท่านหนึ่งที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่ามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ตลอดทั้งการให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงและผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ทุนการศึกษาต่อภายในประเทศ ระดับปริญญาเอก ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548-2551 และทุนวิจัยในต่างประเทศ เป็นเวลา 2 เดือน

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อไพบูลย์-คุณแม่หวัน สุดสนธิ์ ตลอดจนทุกคนในครอบครัว สุดสนธิ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง คุณนคร เด็กชายนครินทร์และเด็กชายนครเศ สุดสนธิ์ ที่เป็นภรรยาและลูก ๆ ที่คอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษาและนอกจากนี้ยังมีบุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่านซึ่งไม่อาจกล่าวนามของท่านในที่นี้ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย


(นายสุพรรณ สุดสนธิ์)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : อัลกอริทึมสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยที่มีเงื่อนไขขนาดการบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัด

โดย : สุพรรณ สุคนธ์

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สันธุเชาวน์

คำสำคัญ : ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง วิธีระบบคแบบแม็ก-มิน การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย

งานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยทำการพัฒนาขั้นตอนการจำลองพฤติกรรมการทำงานของมดที่เรียกว่า ระบบคแบบแม็ก-มิน (Max-Min Ant System: MMAS) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem; MDVRP) ให้สามารถค้นหาผลเฉลยที่ดีอย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาประมวลผลที่เหมาะสม ขั้นตอนของวิธีระบบคแบบแม็ก-มินที่ทำการพัฒนาแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะการจัดสรรลูกค้าแต่ละรายให้กับศูนย์กระจายสินค้ากลางพร้อมกับการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งเริ่มต้นและระยะการปรับปรุงเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยการย้ายตำแหน่งลูกค้าแบบสลับเปลี่ยนตำแหน่งและการผสมผสานการย้ายตำแหน่งลูกค้าแบบสองรายหรือสามราย เพื่อพยายามหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบ ณ เวลาปัจจุบันที่มีอยู่เดิม

สำหรับขั้นตอนการวิเคราะห์การสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งเริ่มต้นของวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน ผู้วิจัยทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ของวิธีระบบคแบบแม็ก-มินที่มีผลกระทบต่อกรแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยใช้กระบวนการทางสถิติทดสอบความเชื่อมั่นที่ระดับ 95 เปอร์เซ็นต์ กับปัจจัยการทดลองที่สำคัญ 3 ปัจจัย คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟีโรโมน อัตราการระเหยของฟีโรโมนและจำนวนรอบกระทำซ้ำ พบว่าวิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นแบบวิธีคูขนานมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีลำดับชั้น ฉะนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นแบบคูขนาน สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่งทุกปัญหาการทดลอง

และนอกจากนั้นยังพบค่าระดับการใช้ของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาแต่ละขนาด คือ ปัญหาขนาดเล็กค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟิโรโมนเท่ากับ 2.0 อัตราการระเหยของฟิโรโมนเท่ากับ 0.545 และจำนวนรอบกระทำซ้ำเท่ากับ 300 รอบกระทำซ้ำ สำหรับปัญหาขนาดกลางค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟิโรโมนเท่ากับ 3.50 อัตราการระเหยของฟิโรโมนเท่ากับ 0.10 และจำนวนรอบกระทำซ้ำเท่ากับ 300 รอบกระทำซ้ำ และปัญหาขนาดใหญ่ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณ ฟิโรโมนเท่ากับ 3.5 อัตราการระเหยของฟิโรโมนเท่ากับ 0.545 และจำนวนรอบกระทำซ้ำเท่ากับ 500 รอบกระทำซ้ำ

ผลการทดลองสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP ทั้งหมด 33 ปัญหา พบว่าวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินสามารถให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหาเป็นที่น่าพอใจ โดยที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปใน OR-Library เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 0.179 เปอร์เซนต์ นอกจากนั้นก็ยังสามารถให้คุณภาพผลเฉลยที่ดีถึง 15 ปัญหา โดยที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0.00 เปอร์เซนต์ และให้คุณภาพผลเฉลยในระดับที่ดีกว่า 8 ปัญหา ปัญหาทั้งหมดที่วิธีระบบมดระบบแม็ก-มิน สามารถให้คุณภาพผลเฉลยที่ดีและที่ดีกว่า จำนวน 23 ปัญหา คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประสบผลสำเร็จ อยู่ที่ระดับ 69.69 เปอร์เซนต์ ดังนั้นผู้วิจัยสรุปได้ว่าวิธีระบบมดระบบแม็ก-มิน ที่ผู้วิจัยทำการพัฒนาสามารถให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหา MDVRP ได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาประมวลผลที่เหมาะสม โดยมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 3 เปอร์เซนต์ และใช้เวลาประมวลผลโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 587.41 วินาที หรือ 0.16 ชั่วโมงต่อหนึ่งปัญหา

ABSTRACT

TITLE : HEURISTIC FOR MULTI-DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEMS
 WITH VEHICLE CAPACITY AND ROUTES LENGTH CONSTRAINTS
NAME : SUPHAN SODSOON
DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING
CHAIR : ASST.PROF.SOMBAT SINDHUCHARO, Ph.D.

KEYWORDS : MULTI-DEPOT VEHICLE ROUTING PROBLEMS / MAX-MIN ANT
 SYSTEM / IMPROVEMENT SOLUTION

In this paper, we develop an algorithm based on the seeking food behaviors of an ant called Max-Min Ant System (MMAS) to solve multi-depot vehicles routing problems (MDVRP) by efficiently searching for good quality solutions with reasonable computation time. The MMAS constructive procedure has 2 steps. In the first step, we propose the heuristic to assign customers to each depot and construct vehicle routes simultaneously and finally, after an ant has constructed its solution, we apply local search algorithms to improve the solution quality by applying the Move-Swap operations and 2-opt Hybrid 2-opt*/3-opt exchange to search for better solutions.

For an analysis of the constructive procedure of the initial solution construction in the MMAS, we apply statistical methods according to the experimental goal of our case study to discover which factors actually influence the performance of the Max-Min Ant System (MMAS) applied to MDVRP. A 95 percent confidence level is used for statistical testing on these factors: the influence of heuristic value, the evaporation of pheromone and a number of iterations. For the computational efficiency, we find that the parallel method can find very good solutions and it is more effective than the sequential method. Therefore, we choose the parallel method for solving MDVRP of all problems and in addition, we find that a good combination of the appropriate levels of the factors for each size of problems in our case study is as follows: for small-size problems, the relative influence of the pheromone level is 2.0, the evaporation rate is 0.545 and the maximum number of iterations is 300. For medium-size problems, the relative influence of the pheromone

level is 3.5, the evaporation rate is 0.10 and the maximum number of iterations is 300. For large-size problems, the relative influence of the pheromone level is 3.5, the evaporation rate is 0.545 and the maximum number of iterations is 500.

From computational experiment on 33 problems, the Max-Min ant system (MMAS) can give a good result with satisfaction. Compared with the best known solution in the OR-Library, our solutions have an average percentage error of 0.179 percent. There are 15 problems with 0.00 percent of error and there are 8 problems with better solutions. As a result, Max-Min ant system (MMAS) can solve 23 problems or 69.96 percent of all problems with good or better quality. It can be summarized that the proposed heuristic can solve the multi-depot vehicle routing problem (MDVRP) efficiently with less than 3 percent of error and average computational time of 587.41 seconds or 0.16 hour

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ฅ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 สมมติฐานการวิจัย	2
1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย	3
1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น	3
1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับ	3
1.7 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	4

2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง	6
2.2 ลักษณะพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง	8
2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลาง เพียงแห่งเดียว	11
2.4 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่มีเงื่อนไขทางด้านเวลาในการขนส่ง	16
2.5 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง	19
2.6 การจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด	23
2.7 บทสรุป	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
3.2 กำหนดกรอบการวิจัย	28
3.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	30
3.4 การจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลาง มีมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน	32
3.5 การทดสอบวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินกับปัญหา MDVRP	61
3.6 การวัดคุณภาพผลเฉลยได้จากวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน	62
3.7 ประเมินประสิทธิภาพคุณภาพผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบมด แบบแม็ก-มิน	63
3.8 การปรับปรุงแก้ไข	64
3.9 สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม	64
3.10 บทสรุป	64
4 ผลการวิจัย	
4.1 การเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม	65
4.2 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบถู่ขนาน โดยที่ไม่มีขั้นตอน การปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย	76
4.3 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบถู่ขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย	79
4.4 ผลการทดลองขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยเชิงลึก	83
4.5 การเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้รับจากขั้นตอนต่าง ๆ ของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน	86
4.6 การเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	89
5 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	104
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางของการวิจัยในอนาคต	105

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	109
ภาคผนวก	
ก โปรแกรมลินโก (Lingo) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง	121
ข โปรแกรมลินโก (Lingo) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง	124
ค ผลการทดสอบการสร้างคำตอบเริ่มต้นและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	127
ง รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุด	131
จ ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ร่วมกับขั้นตอน การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย	143
ประวัติผู้วิจัย	168

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง	7
2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา MDVRP	22
2.3 การประยุกต์ใช้การจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดเพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม	24
3.1 ระยะทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากลางที่ 1 กับลูกค้า 8 ราย	46
3.2 ระยะทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากลางที่ 2 กับลูกค้า 8 ราย	46
3.3 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 1 สายส่งที่ 1	48
3.4 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 1 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1	48
3.5 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 2 สายส่งที่ 1	49
3.6 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 2 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1	49
3.7 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 3 สายส่งที่ 1	50
3.8 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 3 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1	50
3.9 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 4 สายส่งที่ 1	51
3.10 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 4 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1	51
3.11 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 5 สายส่งที่ 1	51
3.12 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 5 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1	52
3.13 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 5 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่	52
3.14 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 6 สายส่งที่ 1	53
3.15 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 6 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1	53
3.16 เส้นทางพาหนะขนส่งของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 ที่สมบูรณ์	53
3.17 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 1 สายส่งที่ 2	54
3.18 เส้นทางพาหนะขนส่งของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 2 ที่สมบูรณ์	54
3.19 เส้นทางพาหนะขนส่งของศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 และศูนย์กระจายสินค้าที่ 2	55
3.20 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยการย้ายตำแหน่งลูกค้าภายในเส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1	56
3.21 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยการย้ายตำแหน่งลูกค้าภายในเส้นทางพาหนะขนส่งที่ 2	56
3.22 ผลเฉลยหลังจากการใช้ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยโดยการย้ายตำแหน่งลูกค้าภายในเส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1 และเส้นทางที่ 2	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.23	คุณภาพผลเฉลยโดยการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่งด้วยตัวดำเนินการ (1,1) กรณีย้ายสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าเมือง E	57
3.24	คุณภาพผลเฉลยโดยการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่งด้วยตัวดำเนินการ (1,1) กรณีย้ายสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าเมือง D	58
3.25	คุณภาพผลเฉลยด้วยวิธี 2-Opt อัลกอริทึมกับเส้นทางพาหนะขนส่ง 2	59
3.26	ผลเฉลยหลังจากการใช้ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของผลเฉลยด้วยวิธี 2-Opt	59
3.27	คำนวณหาค่าฟีโรโมนใหม่ให้กับเส้นทางที่ดีที่สุด	60
3.28	ลักษณะของปัญหามาตรฐาน MDVRP	60
3.29	ลักษณะของปัญหามาตรฐาน MDVRP (ต่อ)	61
3.30	ระดับของการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง	62
4.1	ช่วงการตั้งค่าของระดับปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยการใช้วิธีระบบคแบบแม็ก-มิน	66
4.2	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหขนาดเล็ก (Small-Problem)	70
4.3	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหขนาดเล็กสร้างคำตอบเริ่มต้น Type P.	70
4.4	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหขนาดเล็กสร้างคำตอบเริ่มต้น Type S.	71
4.5	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหขนาดกลาง (Medium-Problem)	72
4.6	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหขนาดกลางสร้างคำตอบเริ่มต้น Type P.	72
4.7	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหขนาดกลางสร้างคำตอบเริ่มต้น Type S.	73
4.8	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหขนาดใหญ่ (Large-Problem)	74
4.9	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหขนาดกลางสร้างคำตอบเริ่มต้น Type P.	74
4.10	ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหขนาดกลางสร้างคำตอบเริ่มต้น Type S.	75
4.11	สรุปผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนานโดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบรวมด้วย	78
4.12	สรุปผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนานโดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบรวมด้วย	82
4.13	สรุปผลการทดลองขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยเชิงลึก	85
4.14	สรุปการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้รับจากขั้นตอนต่าง ๆ ของวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 สรุปการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	91
4.16 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS และ Chao, et al. (1993)	93
4.17 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบคแบบแม็ก-มินและ Renaud, et al. (1996)	95
4.18 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS และ Cordeau, et al. (1997)	97
4.19 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS และ Salhi S. (1997)	99
4.20 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS และ David P. (2007)	101
4.21 สรุปผลการการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	104

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แนวคิดเชิงระบบของการจัดการ โลจิสติกส์	5
2.2 ลักษณะปัญหา VRP โดยมีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง	6
2.3 ลักษณะปัญหาของการจัดเส้นทางเดินสำหรับพนักงานขาย	9
2.4 ข่ายงานการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยมีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง	11
2.5 การคำนวณการขนส่งที่ประหยัด	15
2.6 เงื่อนไขทางด้านเวลาในการขนส่ง	17
3.1 ลำดับขั้นตอนแผนการการดำเนินงานการวิจัย	29
3.2 ข่ายงานของปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง	30
3.3 รหัสเทียมของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน	33
3.4 วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีศูนย์กระจายสินค้ามีมากกว่าหนึ่งแห่ง	35
3.5 รหัสเทียมวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีศูนย์กระจายสินค้ามีมากกว่าหนึ่งแห่ง	36
3.6 กำหนดค่าเข้าประจำการที่ศูนย์กระจายสินค้ากลาง	37
3.7 ขั้นตอนมดสร้างผลเฉลยเริ่มต้นที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข	37
3.8 แบบวิธีคู่ขนาน (Parallel method)	38
3.9 แบบวิธีลำดับขั้น (Sequential method)	38
3.10 รหัสเทียมของกลไกมดสร้างคำตอบเริ่มต้น	39
3.11 การใช้วิธีอินเซิร์ช (Insertion algorithm)	39
3.12 รหัสเทียมวิธีอินเซิร์ช (Insertion algorithm)	40
3.13 เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย (Improvement solutions)	41
3.14 รหัสเทียมขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย	42
3.15 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแบบ Swap และ Move Operators	43
3.16 ตัวดำเนินการย้ายลูกค้าแบบ Move (1, 0)	43
3.17 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแบบวิธี 2-Opt*/Or-Opt Algorithm	44
3.18 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบแบบวิธี 2-opt อัลกอริทึม	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.19 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบแบบวิธี Or-opt อัลกอริทึม	44
4.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลเฉลยจากวิธีสร้างคำตอบเริ่มต้น ระหว่างวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหาขนาดเล็ก	70
4.2 ระดับการใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องระหว่างการสร้างคำตอบเริ่มต้น แบบวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหาขนาดเล็ก	71
4.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลเฉลยจากวิธีสร้างคำตอบเริ่มต้น ระหว่างวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหขนาดกลาง	72
4.4 ระดับการใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องระหว่างการสร้างคำตอบเริ่มต้น แบบวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหขนาดกลาง	73
4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลเฉลยจากวิธีสร้างคำตอบเริ่มต้น ระหว่างวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหขนาดใหญ่	74
4.6 ระดับการใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องระหว่างการสร้างคำตอบเริ่มต้น แบบวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหขนาดใหญ่	75
4.7 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนานโดยที่ไม่มีขั้นตอน การปรับปรุงคุณภาพคำตอบพร้อมด้วย สำหรับปัญหาขนาดเล็ก (Type S)	76
4.8 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนานโดยที่ไม่มีขั้นตอน การปรับปรุงคุณภาพคำตอบพร้อมด้วย สำหรับปัญหขนาดกลาง (Type M)	77
4.9 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนานโดยที่ไม่มีขั้นตอน การปรับปรุงคุณภาพคำตอบพร้อมด้วย สำหรับปัญหขนาดใหญ่ (Type L)	77
4.10 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุง คุณภาพคำตอบพร้อมด้วย สำหรับปัญหาขนาดเล็ก (Type S)	80
4.11 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุง คุณภาพคำตอบพร้อมด้วย สำหรับปัญหขนาดกลาง (Type M)	80
4.12 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุง คุณภาพคำตอบพร้อมด้วย สำหรับปัญหขนาดใหญ่ (Type L)	80
4.13 การเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบและระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด จากวิธี MMAS	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.14 คุณภาพผลเฉลยจากการค้นหาเชิงลึกกับเวลาประมวลผล	81
4.15 คุณภาพผลเฉลยจากการค้นหาเชิงลึกเปรียบเทียบค่าคำตอบมาตรฐาน	84
4.16 คุณภาพผลเฉลยจากการค้นหาเชิงลึกกับเวลาประมวลผล	84
4.17 การเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้รับจากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน	86
4.18 คุณภาพผลเฉลยจากวิธีระบบคแบบแม็ก-มินกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไป	86
4.19 ผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	89
4.20 ผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน และคำตอบที่ทราบโดยทั่วไป	90
4.21 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ Chao, et al (1993) วิธีระบบคแบบแม็ก-มิน	92
4.22 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบคแบบแม็ก-มินและ Chao I-M. (1993)	93
4.23 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ Renaud, et.al (1996) กับวิธี MMAS	94
4.24 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบคแบบแม็ก-มินและ Renaud Y. (1996)	95
4.25 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ Cordeau J.(1997) กับวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน	96
4.26 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบคแบบแม็ก-มินและ Cordeau J.-F.(1997)	97
4.27 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ Salhi S. (1997) กับวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน	98
4.28 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบคแบบแม็ก-มินและ Salhi S.M.(1997)	99
4.29 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ David P. and Stefan R-MMAS	100
4.30 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS and David P. (2007)	101

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สภาพเศรษฐกิจปัจจุบันมีความเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็ว อันเนื่องมาจากการเปิดเสรีทางการค้า ยังผลให้ทวีความรุนแรงในการแข่งขันสูงขึ้นอยู่เรื่อย ๆ ศูนย์กระจายสินค้าถือได้ว่าเป็นหัวใจสำคัญของระบบการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน เป็นสถานที่จัดเก็บสินค้าและช่องทางการกระจายสินค้าในการดำเนินธุรกิจ ใช้เป็นเครื่องมือชี้วัดความพร้อมและความสามารถในการแข่งขันด้วยความเร็วในการส่งมอบสินค้า ตั้งแต่ต้นน้ำไปจนถึงปลายน้ำ โดยมองถึงความสัมพันธ์ของความต้องการของผู้บริโภค ผู้ผลิตและผู้จัดหาวัตถุดิบ ซึ่งต้องสอดคล้องกับต้นทุนที่เกิดขึ้นด้วยความเหมาะสม คำนึงถึงกำไรสูงสุด และต้นทุนการผลิตต่ำสุด การขนส่งสินค้าในภาคธุรกิจโลจิสติกส์เป็นปัญหาที่มีนัยสำคัญต่อต้นทุนดำเนินการ (Operation cost) และรู้จักกันในชื่อของปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง (Vehicle routing problem: VRP) ซึ่งปัญหาดังกล่าวมีวิวัฒนาการมาจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินพนักงานขาย (Traveling salesman problem: TSP) กล่าวคือ การหาเส้นทางวงปิดที่สั้นที่สุดที่ได้จากการรวมระยะทางของพนักงานขายที่ต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมืองและให้แต่ละเมืองพนักงานขายสามารถทำการเดินทางได้เพียงครั้งเดียว เมื่อพนักงานขายเดินทางจนครบทุกเมืองแล้วให้พนักงานขายเดินทางกลับไปยังเมืองเริ่มต้น ส่วนปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่งนั้นคือ การที่พนักงานขายแบ่งออกเป็นสายในการทำงาน เรียกว่า “สายส่ง (Routes)” นั้นเองและจำนวนของสายส่งมีจำนวนเท่ากับ m สาย และการแบ่งจำนวนของสายส่งอาศัยความจุสูงสุดของพาหนะขนส่งเป็นตัวชี้วัด ปัญหานี้จัดตั้งขึ้นมาครั้งแรกเมื่อปี 1959 โดย Dantzig and Ramser จุดประสงค์เพื่อให้ออกแบบการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยคำนึงถึงต้นทุนโดยรวมของการใช้พาหนะขนส่งทุกคันหรือสายส่งทุกสายส่งที่ต่ำที่สุด (Dantzig and Ramser 1959)

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยทำการศึกษารูปแบบของปัญหาและพัฒนาวิธีฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง (Multi-depot vehicle routing problem: MDVRP) ให้สามารถค้นหาคำตอบที่ดีเพียงพอภายในเวลาที่จำกัด ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้นี้ต่อจากนี้ไปผู้วิจัยจะเรียกว่า “ปัญหา MDVRP” และเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนอย่างมากในการแก้ปัญหา จัดอยู่ในประเภทของ เอ็นพี-ฮาร์ด ซึ่งยากแก่การแก้ปัญหาด้วยวิธีการการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) รายละเอียดในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท ประกอบด้วย

บทที่ 1 ความเป็นมาและความสำคัญในการวิจัย บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล และบทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษารูปแบบปัญหาและศึกษาหลักทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่งในระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

1.2.2 พัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยที่มีเงื่อนไขขนาดการบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัด

1.2.3 ทำการวัดคุณภาพคำตอบที่ได้จากวิธีเชิงฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาและทำการเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบกับคำตอบใน Or-Library และวิธีการอื่น ๆ ที่ได้จากรายงานวิจัยในอดีต

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 สมมติฐานการพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP

1.3.1.1 สมมติฐานหลัก $H_0 : \mu_A = \mu_B$

เมื่อ μ_A = ค่าเฉลี่ยของวิธีการ MMAS

μ_B = ค่าเฉลี่ยของวิธีการอื่น ๆ จากรายงานการวิจัยในอดีต

1.3.1.2 สมมติฐานรอง $H_a : \mu_A \neq \mu_B$

สมมติฐานรอง มีความเป็นไปได้ มี 2 กรณี คือ

$H_a : \mu_A > \mu_B$ (วิธี MMAS ให้ผลเฉลยที่ด้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ)

$H_a : \mu_A < \mu_B$ (วิธี MMAS ให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีการอื่น ๆ)

1.3.2 สมมติฐานโจทย์วิจัย

1.3.2.1 กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง

1.3.2.2 กรณีลูกค้ามีความต้องการสินค้าชนิดเดียว

1.3.2.3 กรณีปริมาณการขนส่งสินค้าเต็มจำนวน

1.3.2.4 กรณีจำนวนความต้องการสินค้าทราบเป็นที่แน่นอน

1.3.2.5 จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดทุกเส้นทางคือศูนย์กระจายสินค้า

1.3.2.6 กรณีลูกค้าแต่ละรายจะใช้พาหนะขนส่งเพียงคันเดียว

- 1.3.2.7 กรณีจำนวนสินค้ารวมในเส้นทางไม่เกินเงื่อนไขควบคุม
- 1.3.2.8 กรณีระยะทางรวมในเส้นทางไม่เกินเงื่อนไขควบคุม
- 1.3.2.9 กรณีที่ใช้พาหนะขนส่งที่มีขนาดหรือชนิดที่เหมือนกัน
- 1.3.2.10 กรณีที่ไม่มีเงื่อนไขทางด้านเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง

1.4 กรอบแนวคิดการวิจัย

พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหา MDVRP มี 2 ลำดับ คือ ลำดับแรกการมอบหมายลูกค้าแต่ละรายให้แก่ศูนย์กระจายสินค้ากลางแต่ละแห่งไปพร้อม ๆ กับการสร้างเส้นทางพาหนะ (Assignment-Route Construction Procedures) โดยใช้วิธีการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดเป็นการหาระยะทางของพาหนะขนส่งในการแก้ปัญหา MDVRP โดยใช้เงื่อนไขขนาดการบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัดและลำดับสุดท้ายคือ ทำการปรับปรุงเส้นทางพาหนะ โดยใช้เทคนิคการ Move-Swap และ 2-Opt อัลกอริทึม เพื่อที่จะให้ผลเฉลยของการแก้ปัญหา MDVRP อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

1.5 ข้อตกลงเบื้องต้น

สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหา MDVRP โดยใช้เงื่อนไขขนาดการบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัดและพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติกโดยทำออกแบบและการประยุกต์ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหา MDVRP พร้อมทั้งทำการหาระดับการใช้งานของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการใช้วิธีการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดและนำผลเฉลยที่ได้จากวิธีเชิงฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมาไปวัดประสิทธิภาพของคุณภาพคำตอบ โดยทำการเปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบจาก Or-Library และวิธีการอื่นๆ ที่ได้จากรายงานวิจัยในอดีต

1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1.6.1 ทราบรูปแบบของปัญหาและความเข้าใจหลักทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่งในระบบโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน

1.6.2 ได้วิธีเชิงฮิวริสติกและขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ปัญหา MDVRP โดยที่มีเงื่อนไขขนาดการบรรทุกและระยะทางการขนส่งที่จำกัด

1.6.3 ได้วิธีเชิงฮิวริสติกและขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ปัญหา MDVRP ที่ให้คุณภาพของคำตอบอยู่ในระดับเกณฑ์คุณภาพที่ดี

1.7 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

1.7.1 Multi-Depot Vehicle Routing Problems หมายถึง ปัญหาการจัดเส้นทาง สำหรับ พาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง

1.7.2 Vehicle routing problem หมายถึง ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง

1.7.3 Vehicle Routing Problem with Time Windows หมายถึง ปัญหาการจัดเส้นทาง พาหนะขนส่งที่มีเงื่อนไขทางด้านเวลาในการขนส่ง

1.7.4 Traveling Salesman Problem หมายถึง ปัญหาการจัดเส้นทางเดินพนักงานขาย

1.7.5 Artificial Intelligence Method หมายถึง วิธีการหาคำตอบด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์

1.7.6 Simulated Annealing: SA หมายถึง วิธีการอบอ่อนคำตอบ

1.7.7 Tabu Search หมายถึง วิธีตามูเสริจซ์

1.7.8 Artificial Neural Networks หมายถึง วิธีโครงข่ายประสาทเทียม

1.7.9 Heuristic Search Approaches หมายถึง วิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก

1.7.10 Ant system หมายถึง วิธีระบบมด

1.7.11 Elitist ant system หมายถึง วิธีระบบมดที่ดีที่สุด

1.7.12 Max-min ant system หมายถึง วิธีระบบมดแบบแมกซ์-มิน

1.7.13 Rank-base ant system หมายถึง วิธีการจัดลำดับความสำคัญระบบมด

1.7.14 Ant colony system หมายถึง วิธีระบบอาณานิคมมด

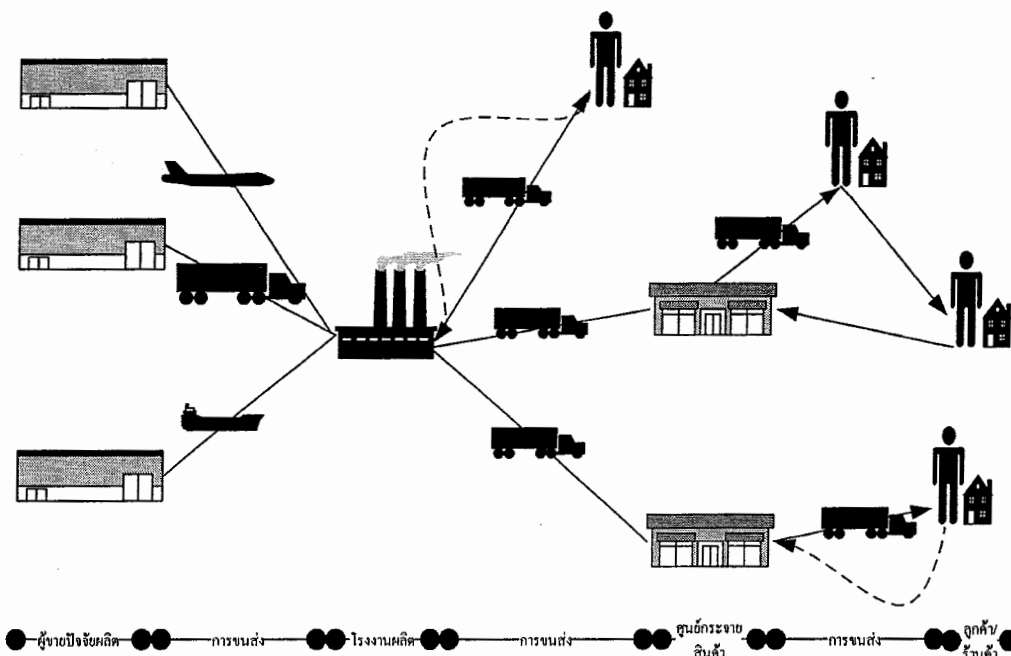
บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 ผู้วิจัยจะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสำคัญ ๆ กับงานวิจัยนี้ เช่น ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการแก้ปัญหาการขนส่ง จะเน้นไปที่ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) ซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ มีวิธีการที่นำมาแก้ปัญหาที่หลากหลาย ดังจะกล่าวถึงในลำดับต่อไป

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP)

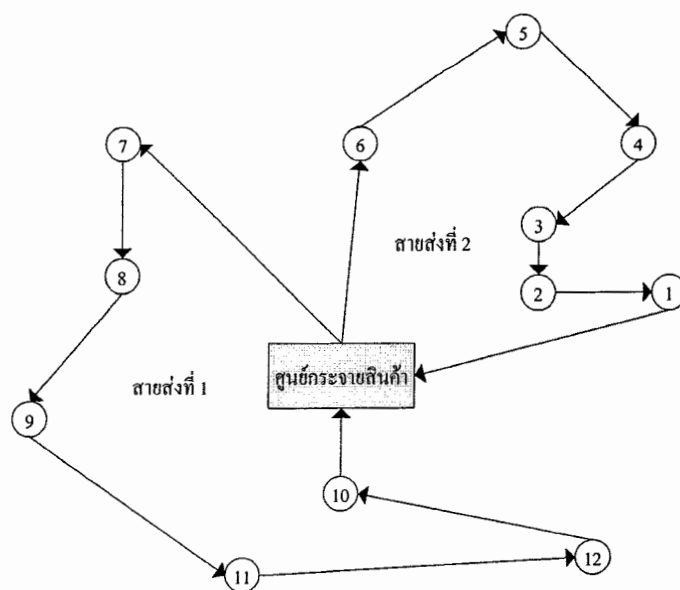
การจัดการโลจิสติกส์ ถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการโซ่อุปทาน รวมถึงตั้งแต่กระบวนการวางแผน การดำเนินการ การควบคุมประสิทธิภาพและประสิทธิผล การเคลื่อนย้าย การจัดเก็บสินค้า การบริการและสารสนเทศจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดที่มีการใช้งาน โดยที่สอดคล้องกับความต้องการของผู้บริโภค ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ภาพรวมแนวคิดเชิงระบบของการจัดการ โลจิสติกส์

กมลชนก สุทธิวิาทพุดิ และคณะ (2540) ให้ความหมายของโลจิสติกส์ว่า “โลจิสติกส์ (Logistics) หมายถึง การจัดการลำเลียงสินค้าเพื่อให้เกิดต้นทุนโดยรวมในการกระจายสินค้าต่ำที่สุด เกี่ยวข้องตั้งแต่กระบวนการจัดหาวัตถุดิบไปสิ้นสุด ณ จุดที่มีการบริโภคหรือเป็นกระบวนการในการจัดการวางแผน จัดสายงานและควบคุมกิจกรรมทั้งในส่วนที่มีการเคลื่อนย้ายและไม่มีการเคลื่อนย้าย การอำนวยความสะดวกในกระบวนการไหลสินค้า ตั้งแต่จัดหาวัตถุดิบไปจนถึงจุดที่มีการบริโภค”

งานโลจิสติกส์ประกอบด้วย 2 กิจกรรม คือ กิจกรรมหลักและกิจกรรมสนับสนุน กิจกรรมหลัก ต้นทุนกิจกรรมที่มีความสำคัญและมีผลกระทบต่อค่าบริการลูกค้า ซึ่งประกอบด้วย 3 ต้นทุนได้แก่ ต้นทุนการขนส่ง ต้นทุนการคลังสินค้า ต้นทุนกระบวนการสั่งซื้อ ในส่วนต้นทุนกิจกรรมที่มีผลกระทบต่อค่าบริการมากที่สุดในระบบโลจิสติกส์ คือ ต้นทุนการขนส่ง ดังนั้นวิธีบริหารจัดการเกี่ยวกับต้นทุนการขนส่งที่ดีที่สุดก็คือ การจัดการกับปัญหา VRP นั่นเอง อาจจะกล่าวโดยสรุปได้ว่า การแก้ปัญหา VRP คือ การคิดค้นวิธีการออกแบบเพื่อแบ่งกลุ่มของพาหนะขนส่งออกเป็นจำนวนเส้นทางหลายๆเส้นทาง โดยสมมติให้มีจำนวนเท่ากับ m เส้นทาง หรือเรียกการแบ่งเส้นทางเหล่านั้นว่า “สายส่ง (Routes)” เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการตอบสนองและการให้บริการสินค้าแก่ลูกค้า โดยเป้าประสงค์หลักจะคำนึงถึงการใช้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด ของพาหนะขนส่งที่วิ่งไปตามเส้นทางต่าง ๆ ในการขนส่งสินค้าจากจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด คือ ศูนย์กระจายสินค้ากลาง โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น เวลา จำนวนของพาหนะขนส่งและระยะทาง เหล่านี้เป็นต้น เป็นองค์ประกอบในการพิจารณาด้วย



ภาพที่ 2.2 ลักษณะปัญหา VRP โดยมีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง

ลักษณะข่ายงานปัญหา VRP สามารถแสดงและอธิบายด้วยลักษณะของกราฟซึ่งอยู่ในรูปของ กราฟ $G(V, A)$ โดยที่ $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ คือ กลุ่มของโหนด (Vertices) ทั้งหมด ที่รวมทั้งโหนดศูนย์กระจายสินค้ากลางและโหนดลูกค้า ส่วนกลุ่มของ A คือ กลุ่มของด้านเชื่อม (arcs) ของโหนดต่างๆ โดยที่ $A = \{(v_i, v_j) : i \neq j, v_i, v_j \in V\}$ ในฟังก์ชันดังกล่าว v_i คือ คลังสินค้ากลาง ซึ่งเป็นที่เก็บพาหนะขนส่งจำนวน m คัน และที่มีความจุสินค้า คือ Q ส่วนโหนดที่เหลือ คือ ลูกค้าแต่ละราย จะมีพาหนะขนส่งออกไปส่งสินค้าตามความต้องการที่ไม่ติดลบด้วยจำนวน d_j ต้นทุนเดินทางในการขนส่งเขียนอยู่ในรูปของเมตริกซ์ $C = (c_{ij})$ จะระบุอยู่บนเซต A แต่ละจุด (v_i, v_j) จะเชื่อมด้วยระยะทาง (Distances) หรือต้นทุนการขนส่ง (Cost) ซึ่งเท่ากับ c_{ij} จากรายงานการวิจัยในอดีตเมื่อปี 1981 Bodin และ Golden ได้นำเสนอถึงข้อแตกต่างหรือข้อลักษณะเฉพาะของปัญหา VRP ที่ทำให้มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Bodin and Golden, 1981)

ลักษณะเฉพาะ (Characteristics)	ทางเลือกที่เป็นไปได้ (Possible Options)
1. ขนาดของยานพาหนะที่มีให้ (Size of available vehicle)	1) ขนาดเดียว (One vehicle) 2) หลายขนาด (Multiple vehicle)
2. ประเภทของยานพาหนะที่มีให้ (Type of available fleet)	1) เหมือนกัน (มียานพาหนะแบบเดียว) (Homogeneous) 2) ต่างกัน (มียานพาหนะหลายแบบ) (Heterogeneous) 3) ไม่เจาะจง (Special vehicle types)
3. ที่จอดยานพาหนะ (Housing of vehicle)	1) คลังสินค้ากลาง 1 แห่ง (Single depot) 2) คลังสินค้ากลางมากกว่า 1 แห่ง (Multiple depots)
4. รูปแบบของความต้องการ (Nature of demand)	1) ความต้องการแบบดีเทอร์มินิสติกส์ 2) ความต้องการแบบสโตแคสติก (Stochastic demand) 3) ขึ้นกับความเหมาะสม (Partial satisfaction of demand)
5. ตำแหน่งของความต้องการ (Location of demand)	1) ที่โหนด (At nodes) 2) ที่ด้านเชื่อม (At arcs) 3) ผสมผสาน (Mixed)
6. ความจุของพาหนะมีที่ขีดจำกัด (Vehicle capacity restrictions)	1) กำหนด (เท่ากันทุกเส้นทาง) 2) กำหนด (ต่างกันตามเส้นทาง) 3) ไม่กำหนด (ไม่จำกัดความจุ)

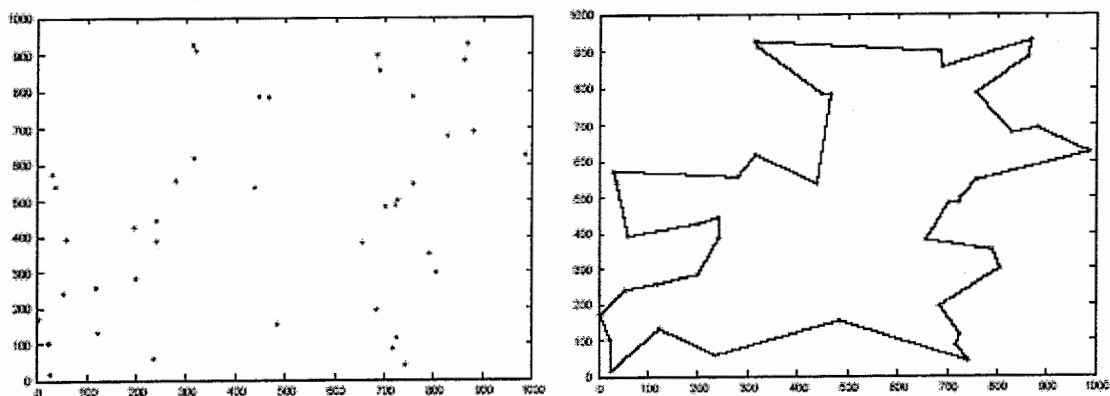
ตารางที่ 2.1 ลักษณะเฉพาะของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (ต่อ) (Bodin and Golden, 1981)

ลักษณะเฉพาะ (Characteristics)	ทางเลือกที่เป็นไปได้ (Possible Options)
7. โครงข่ายพื้นฐาน (Underlying network)	1) ทางอ้อม (Undirected) 2) ทางตรง (Directed) 3) ผสมผสาน (Mixed) 4) ประมาณการระยะทางจากพิกัด x และ y (Euclidean)
8. เวลาสูงสุดในเส้นทาง (Maximum route times)	1) กำหนด (เท่ากันทุกเส้นทาง) 2) กำหนด (ต่างกันตามเส้นทาง) 3) ไม่กำหนด (Not imposed)
9. การปฏิบัติงาน (Operation)	1) บรรทุกอย่างเดียว (Pick-up only) 2) ส่งอย่างเดียว (Drop-offs (delivery) only) 3) ผสมผสาน (ทั้งบรรทุกและส่ง)
10. ต้นทุน (Cost)	1) ต้นทุนคันแปรหรือต้นทุนเส้นทาง 2) ต้นทุนคงที่หรือต้นทุนยานพาหนะ 3) ต้นทุนขนส่งรวม (Common carrier cost)
11. วัตถุประสงค์ (Objective)	1) ลดต้นทุนรวมของเส้นทาง 2) ลดต้นทุนที่ต้องการของยานพาหนะ 3) ลดฟังก์ชันที่จะใช้ที่ขึ้นกับการบริการหรือ ความน่าเชื่อถือ 4) ลดฟังก์ชันที่จะใช้ที่ขึ้นกับลำดับความสำคัญของลูกค้า

2.2 ลักษณะพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง (Basic Vehicle Routing Problem)

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) กล่าวโดยสรุปแล้ว คือ ปัญหาพื้นฐานของการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่ปัญหา TSP มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การที่จะหาเส้นทางวงปิด (Closed tour) ที่สั้นที่สุด ที่ได้จากการรวมระยะทางการเดินทางของพนักงานขาย ลักษณะของปัญหา TSP มีเงื่อนไขอยู่ว่า “พนักงานขายต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมืองและให้แต่ละเมืองพนักงานขายสามารถทำการเดินทางผ่านได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น เมื่อพนักงานขายเดินทางจนครบทุกเมืองแล้วให้พนักงานขายเดินทางกลับไปยังเมืองเริ่มต้น” หลักในการพิจารณาต้นทุนของการเดินทาง (Cost function) หรือระยะทางที่ใช้จะคำนวณต้นทุนจากการ

เดินทางระหว่าง 2 ตำแหน่งโดยไม่ขึ้นกับทิศทางในการเดินทางและค่าของระยะทางระหว่างสองตำแหน่งทั้งไปและกลับมีค่าเท่ากัน การคำนวณต้นทุนการเดินทางแบบนี้ จะเรียกว่า “TSP แบบสมมาตร” แต่ถ้าระยะทางระหว่าง 2 ตำแหน่งนี้ การเดินทางไปและกลับไม่เท่ากันจะเรียกว่า “TSP แบบไม่สมมาตร” ซึ่งปัญหา TSP นี้ นับได้ว่าเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนอย่างมากอีกปัญหาหนึ่ง นักวิจัยหลายท่านลงความเห็นกันว่า ปัญหา TSP จัดเป็นแบบ NP-hard ลักษณะของปัญหา TSP สามารถแสดงได้ดังในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลักษณะปัญหาของการจัดเส้นทางเดินสำหรับพนักงานขาย

ปัญหา TSP อธิบายได้จากกราฟ $G = (V, A)$ เป็นกราฟที่ไม่มีหัวลูกศรชี้ทิศทาง เรียกว่า “อันไดเร็กเทดกราฟ (Undirected graph)” เมื่อ $V = \{1, \dots, N\}$ คือ เซตของโหนด โดยที่ A คือ เซตเส้นเชื่อมที่เรียกว่า “อาร์ค (Arc)” แต่ละอาร์คจะประกอบไปด้วย c_{ij} เป็นสัญลักษณ์แทนระยะทางที่พนักงานขายเดินทางจากเมือง i ไปยังเมือง j ซึ่ง $(i, j) \in A$ โดยที่ $(i, j) \in V \mid i \neq j$ ลักษณะของปัญหา TSP แสดงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานได้ดังนี้

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

$x_{ij} = 1$ หมายถึง ให้อาร์คของ (i, j) ที่เชื่อมกัน โดยที่ $i, j \in \{1, 2, \dots, N\}$

$x_{ij} = 0$ อื่น ๆ จะเท่ากับศูนย์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

$$\text{Min} Z = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (\text{A1})$$

สมการข้อบ่งชี้ (Subject to)

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{2, \dots, N\} \quad (A2)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1 \quad \forall i \in \{2, \dots, N\} \quad (A3)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subset V \quad (A4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in \{2, \dots, N\} \quad (A5)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ (A.1) คือ ต้องการหาเส้นทางวงปิดที่สั้นที่สุด ที่ได้จากการรวมระยะทางการเดินทางของพนักงานขาย สมการข้อบ่งชี้ที่ (A.2) และ (A.3) คือ แต่ละโหนดจะต้องประกอบด้วยเส้นทางเข้าหนึ่งเส้นและเส้นทางออกอีกหนึ่งเส้น สมการข้อบ่งชี้ที่ (A.4) คือ สมการป้องกันการเกิดเส้นทางพาหนะขนส่งย่อยสมการข้อบ่งชี้ที่ (A.5) คือสมการข้อบ่งชี้สุดท้ายคือ ตัวแปรตัดสินใจ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา TSP ในอดีตมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาถึงวิธีการแก้ปัญหา TSP โดยมีอยู่ 2 ลักษณะคือ วิธีการแก้ปัญหาแบบวิธีที่ดัด (Exact method) และวิธีเชิงฮิวริสติก (Heuristic method) การประยุกต์วิธีการแก้ปัญหา TSP แบบวิธีที่ดัด ยกตัวอย่าง เช่น Balas and Christofides, (1981) ได้นำเสนอวิธีแก้ปัญหา TSP ที่ไม่สมมาตร โดยใช้วิธี Restricted Lagrangean relaxation ที่ขึ้นอยู่กับปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment Problem: AP) มีตัวคุณลักษณะเป็นเงื่อนไขที่จะยืนยันว่าจะได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบเริ่มต้น ซึ่งทำให้สามารถลดรอบ การคำนวณการมอบหมายงานได้และใช้วิธี Polynomials Bounded ในการสร้างความไม่เท่ากันและนำเข้ามาในฟังก์ชันการกรองที่มีตัวคุณเป็นบวกมีการเช็คตามเงื่อนไข ทำให้ได้ขอบเขตล่าง (Lower bound) อย่างสม่ำเสมอและสามารถหาขอบเขตบนได้ จากวิธี Fast tour-Building heuristic และการประยุกต์วิธีการแก้ปัญหา TSP แบบวิธีเชิงฮิวริสติก ยกตัวอย่างเช่น Bodin, et al. (1983) กล่าวถึง การจำแนกวิธีเชิงฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหา TSP ว่ามีอยู่ 3 ลำดับคั่นด้วยกัน คือ ลำดับที่หนึ่งคือ การสร้างการเดินทาง (Tour Construction Procedures) ลำดับที่สองคือการปรับปรุงการเดินทาง (Tour Improvement Procedures) และลำดับสุดท้ายคือ การใช้วิธีแบบผสมผสาน (Composite Procedures)

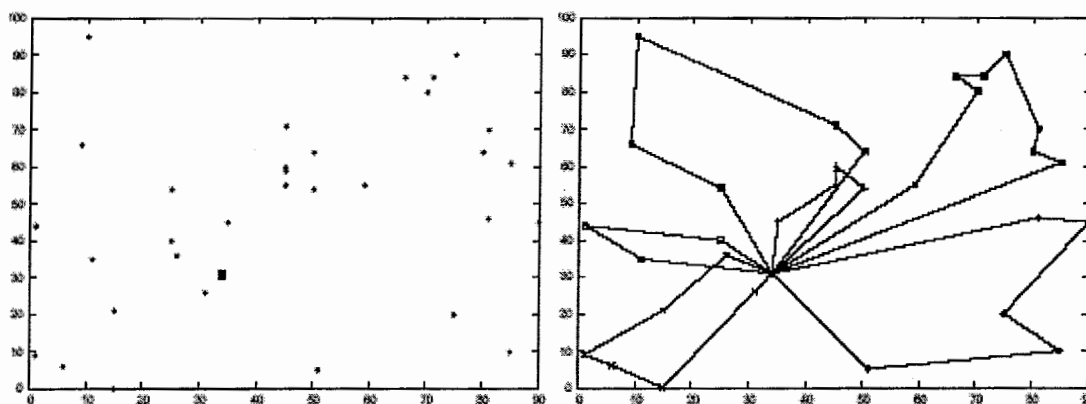
ในลำดับที่หนึ่งนี้ การสร้างการเดินทางอาจจะใช้วิธีสร้างเส้นทางที่เหมาะสมจากเมตริกซ์ระยะทาง ซึ่งประกอบไปด้วยวิธีต่าง ๆ มากมาย เช่น สร้างด้วยวิธี Nearest neighbor ของ Rosenkrantz, et al. (1977) วิธีแบบประหยัดของ Clarke and Wright, (1964) วิธี Insertion Procedures

ของ Rosenkrantz (1996) และของ Sterns and Lewis (1999) วิธี Minimal spanning tree ของ Kim (1975) และวิธีฮิวริสติกของ Christofides (1976) เหล่านี้เป็นต้น ส่วนลำดับที่สองวิธีปรับปรุงการเดินทางนั้นหมายถึง ความพยายามที่จะหาเส้นทางที่ดีกว่าเดิมจากคำตอบเริ่มต้นในลำดับที่หนึ่ง ที่นิยมกันอย่างมากรวมวิธีหนึ่งคือการใช้วิธี Branch-Exchange ซึ่งจะค่อนข้างยากมากถ้าปัญหามีขนาดใหญ่จริงๆ แต่ให้คุณภาพคำตอบที่ดี หรืออีกวิธีหนึ่งที่นิยมไม่แพ้กันเลยคือ วิธีฮิวริสติก 2-opt และ 3-opt ดังแสดงในงานวิจัยของ Lin (1965) หรือในงานวิจัยของ Lin and Kernighan (1973) ที่ได้เสนอวิธี k -opt ($k > 3$) สำหรับการปรับปรุงคุณภาพคำตอบและในลำดับสุดท้าย คือ การใช้วิธีแบบผสมผสานระหว่างทำการสร้างเส้นทางเริ่มต้นจากเส้นทางหนึ่ง โดยวิธีสร้างการเดินทาง จากนั้นพยายามหาเส้นทางที่ดีกว่าเดิมด้วยวิธีปรับปรุงการเดินทางไปพร้อม ๆ กัน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณเร็วขึ้นและได้ผลเฉลยเป็นที่น่าพอใจ

2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางเพียงแห่งเดียว

(The Single-Depot Vehicle Routing Problem: SDVRP)

ปัญหา VRP มีรากฐานมาจากปัญหา TSP ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1 มาแล้วและมีความแตกต่างจากปัญหา TSP ดังนี้ “เรียกชื่อแทนพนักงานขายว่า พาหนะขนส่ง (Vehicle) หรือ สายส่ง (Route) และมีจุดเริ่มต้นในการเดินทางที่เหมือนกันเพียงจุดเดียว คือ จุดศูนย์กระจายสินค้ากลาง (Depot)” ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา VRP จะประกอบไปด้วย ศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง จำนวนลูกค้ามีเท่ากับ n ราย และพาหนะขนส่งมีจำนวน m คัน ระยะทางประมาณการระหว่างจุดที่ตั้งของโหนดสองโหนดในระบบเครือข่าย มีการคำนวณระยะทางประมาณการ แบบระยะทางเชิงพิคัด (Euclidean distances)



ภาพที่ 2.4 ข่ายงานการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยมีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง

การบรรทุกสินค้าในการขนส่งแต่ละครั้งและแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินขีดจำกัดของ Q ลูกค้าทุกรายเป็นสมาชิกของ $i \in \{1, \dots, n\}$ และมีความต้องการสินค้าในระดับของ q_i ลักษณะการแก้ปัญหาหรือการออกแบบเพื่อแบ่งกลุ่มเส้นทางของพาหนะขนส่งนั้นจะแบ่งออกเป็นจำนวน m สายส่ง เพื่อให้สายส่งสามารถขนส่งสินค้าออกไปให้บริการให้กับลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งต้องใช้ต้นทุนการให้บริการที่ต่ำที่สุด ลักษณะข้างานของปัญหา VRP ดังแสดงในภาพที่ 2.4

Dantzig and Ramser (1959) เป็นนักวิจัยที่คิดค้น ปัญหา VRP เริ่มแรกและมึนักวิจัยอีกเป็นจำนวนหนึ่งที่พัฒนาต่อๆ กันมาเรื่อยๆ รวมระยะเวลาตั้งแต่อดีตจนปัจจุบันเกือบ 45 ปีมาแล้ว ยกตัวอย่างนักวิจัยที่มีบทบาทสำคัญการในพัฒนางานทางด้านปัญหา VRP เช่น Christofides., et al. (1979); Laporte and Semet (1996) และ Toth and Vego (2002) จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะพบว่า มีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานของปัญหา VRP ไว้ได้ดังนี้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

- N จำนวนของลูกค้าทั้งหมด
- K จำนวนของพาหนะขนส่งทั้งหมด
- Q ความจุของพาหนะขนส่ง (k)
- t_i ข้อจำกัดด้านเวลาสูงสุดของพาหนะขนส่ง k ที่ให้บริการลูกค้าในแต่ละเส้นทาง
- q_i ปริมาณความต้องการของลูกค้าโหนดที่ i (จุดส่งสินค้าที่ i)
- t_{ij}^k เวลาในการเดินทางสำหรับพาหนะขนส่ง k จากโหนด i ไปยังโหนด j ($t_{ij}^k = \infty$)
- c_{ij} ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากโหนด i ไปยังโหนด j

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

- $x_{ij}^k = 1$ ถ้าให้พาหนะขนส่ง k ทำการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ i ไปยังลูกค้ารายที่ j โดยที่ลูกค้า $i, j \in \{1, 2, \dots, N\} | i \neq j$ และ $k \in \{1, 2, \dots, K\}$ ในกรณีอื่นๆ ให้ $x_{ij}^k = 0$
- $x =$ เมตริกซ์ของ $x_{ij}^k = \sum_{k=1}^K x_{ij}^k$ แสดงการเชื่อมโยงกันของโหนดเป็นเส้นทางของพาหนะขนส่งแต่ละคัน ซึ่งไม่รวมจุดเริ่มต้นจนถึงสินค้ากลาง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

$$MinZ = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ij}^k \quad (B1)$$

สมการข้อบ่งชี้ (Subject To)

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, N\} \quad (B2)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, N\} \quad (B3)$$

$$\sum_{i=0}^N x_{ip}^k - \sum_{j=0}^N x_{pj}^k = 0 \quad \forall p \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (B4)$$

$$\sum_{j=0}^N q_j \left(\sum_{i=0}^N x_{ij}^k \right) \leq Q \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (B5)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N t_{ij} x_{ij}^k \leq D \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (B6)$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (B7)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (B8)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (B9)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (B1) คือ การหาระยะทางโดยรวมของพาหนะขนส่งทุกคันรวมกัน ที่สั้นที่สุด สมการข้อบ่งชี้ (B2), (B3) ประกันว่าลูกค้าแต่ละรายต้องรับบริการจากพาหนะขนส่งเพียงคันเดียวเท่านั้น สมการข้อบ่งชี้ (B4) ประกันว่า ถ้าหากพาหนะขนส่งใดเข้าไปที่จุดใดก็ตาม ต้องออกมาจากจุดนั้นด้วย สมการข้อบ่งชี้ (B5) ประกันว่าพาหนะขนส่งสินค้าทุกคันจะต้องบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัดที่กำหนด สมการข้อบ่งชี้ (B6) ข้อกำหนดด้านเวลาหรือระยะทางสูงสุดที่พาหนะขนส่งที่ k สามารถใช้ในการเดินทางเพื่อการขนส่งสินค้าได้ สมการข้อบ่งชี้ (B7)-(B8) ประกันว่าพาหนะขนส่งแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางเส้นหนึ่งเท่านั้น สมการข้อบ่งชี้ (B9) สมการไบนารี (Binary)

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาเมื่อปี 1981 นักวิจัยชื่อ Lenstra and Rinnooy ได้นำเสนอให้เห็นว่าปัญหา VRP เป็นปัญหาที่ต้องใช้วิธีการแก้ปัญหาในเชิงของการจัดหมวดหมู่ที่เหมาะสม (Combinatorial optimization) และจัดปัญหานี้อยู่ในประเภท NP-hard การใช้วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดกับการปัญหานี้จะมีความยุ่งยากอย่างมากในการแก้ปัญหาเพราะว่าปัญหาประเภทนี้มีความซับซ้อนในเชิงของควมมีปฏิสัมพันธ์กันระหว่างสองสับเซตในเชิงการจัดหมวดหมู่ คือ เซตของลูกค้าและเซตของศูนย์กระจายสินค้ากลาง ดังนั้นการใช้วิธีเชิงฮิวริสติกจึงน่าจะมีความเหมาะสม

มากกว่าวิธีการหาคำตอบแบบที่ดีที่สุด สำหรับงานวิจัยของ Fishser (1999) เขาได้กล่าวถึงวิธีการจัดหมวดหมู่สำหรับการแก้ปัญหา VRP ไว้ 3 ประเภท ด้วยกันคือ

2.3.1 วิธีฮิวริสติกอย่างง่าย (Simple heuristic) คือ การอาศัยหลักพื้นฐานฮิวริสติกอย่างง่าย ๆ ในการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งและต่อจากนั้นค่อยทำการปรับปรุงคุณภาพคำตอบซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งวิธีการสร้างเส้นทางให้กับสายส่งนี้ อันได้แก่ วิธี Sweep ซึ่งเป็นวิธีที่เก่าแก่และมีการใช้งานมานานกว่า 60-70 ปีมาแล้ว

2.3.2 วิธีการใช้หลักทางคณิตศาสตร์ คือ วิธีการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับการประมาณค่าในการแก้ปัญหาอย่างมีขั้นตอน (Step-by-Step) เช่น วิธีมอบหมายงาน (General assignment) การแบ่งกลุ่มเซต (Set partitioning) วิธีของ Clark and Wright (1964) วิธี Hierarchical Approach วิธีของ Fisher and Jaikumar (1981) วิธี Multi-Route Improvement Heuristics และวิธีของ Kinderwater and Savelbergh (1997) เหล่านี้เป็นต้น

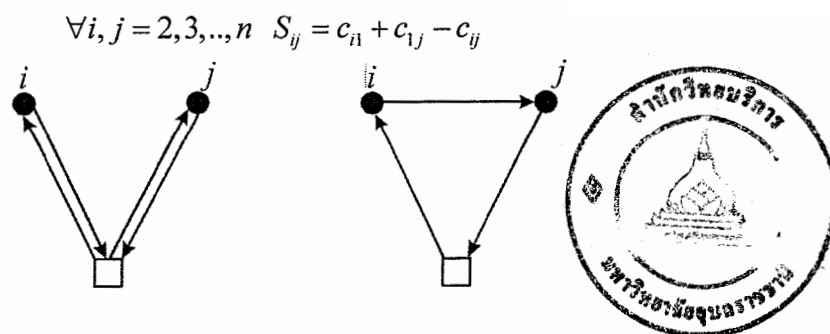
2.3.3 วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact Solutions) และวิธีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence Method: AIM) ยกตัวอย่างสำหรับวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด เช่น วิธี K-tree และ Lagrangean Relaxation ในส่วนวิธีปัญญาประดิษฐ์หรืออาจจะเรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่าวิธีเชิงฮิวริสติกก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น วิธี Simulated Annealing: SA วิธี Tabu Search: TS วิธี Ant System: AS และ วิธี Genetic algorithm: GA เหล่านี้เป็นต้น

สำหรับวิธีเชิงฮิวริสติกที่นักวิจัยที่ผ่านมาได้สนใจและพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา VRP นั้น สามารถที่จะสรุปได้พอสังเขปดังนี้ การใช้วิธี Tabu Search ของ Rochat and Taillard (1995) การใช้วิธี Constraints Programming ของ Shown (1998) การปรับปรุงวิธีของ Rochat and Taillard (1995) โดยการใช้วิธี Tabu Search ของ Kelly and Xu (1998) การใช้วิธี Granular Tabu ของ Toth and Vigo (1998) และการใช้วิธีการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดของ Gambardella, et al. (1999) เหล่านี้เป็นต้น และนักวิจัยอีกสองท่านที่ถือได้ว่าเป็นบุคคลที่มีสำคัญและมีส่วนพัฒนางานทางด้านแก้ปัญหา VRP เป็นอย่างมาก นั่นก็คือ Laporte G. and Nobert เมื่อปี 1981 บุคคลทั้งสองได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา VRP ขึ้นมา โดยใช้วิธี Branch-and-Bound Algorithm

ต่อมา Laporte, et al. (1983) ก็ได้ทำการปรับปรุงปัญหาเพิ่มเติมต่อจากปัญหา VRP ปกติ คือ โดยมีพิจารณาการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้ากลางจากหลาย ๆ คู่แข่งขันที่สามารถตั้งเป็นศูนย์กระจายสินค้ากลางได้ แบบมีต้นทุนคงที่ในการเปิดดำเนินการและต่อจากนั้นก็พิจารณาจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง วิธีการที่นำเสนอมาแก้ปัญหานี้ ด้วยวิธี Gomory Cuts ต่อมาเมื่อ Laporte, et al. ก็ได้ทำการประยุกต์วิธี Branch-bound แก้ปัญหานี้อีกครั้งหนึ่ง ในปี 1988 Laporte, et al. (1988) ก็ได้

พัฒนาวิธี Graph Transformation มาแก้ซ้ำอีกในภายหลัง โดยจัดแยกปัญหา VRP ให้เป็นปัญหา TSP และใช้วิธี Branch-and-Bound การแก้ปัญหา

รายงานการวิจัยของ Ghiani and Laporte (1999) ได้นำเสนอรูปแบบวิธีแก้ปัญหา VRP รูปแบบของ Eulerian Location Problem กับปัญหาของ Lavy and Bodin (1989) โดยนำวิธีการแบ่งกลุ่มสายส่ง (Routes) จากการใช้ขนาดการบรรทุกสินค้าสูงสุด (Maximum Capacity) และระยะทางการขนส่ง (Route Length) เป็นข้อกำหนดและนำเสนอวิธี Branch-and-Cut กับปัญหาที่มีลูกค้าและศูนย์กระจายสินค้ากลางไม่เกิน 80 ราย คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการประมวลผลที่ช้ากว่าวิธีที่ใช้เวลานาน อย่างไรก็ตามวิธีการแก้ปัญหา VRP นั้นยังมีอีกวิธีสองวิธีที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา VRP นั่นก็คือ “วิธีต้นทุนประหยัด (Saving Cost)” ของ Clarke and Wright (1964) และวิธี “Sweep Approach” ของ Gillett and Miller ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวต่อไป สำหรับวิธีต้นทุนประหยัด (Saving Cost) โดยทฤษฎีของ Clarke and Wright (1964) ในการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งให้กับลูกค้า โดยพาหนะขนส่งจะมีความจุในการบรรทุกสินค้าที่กำหนด และมีคลังสินค้ากลางเพียงแห่งเดียว วิธีการของ Clarke and Wright จะเริ่มต้นด้วยการเลือกจุดเริ่มต้นจากคลังสินค้ากลางขึ้นมาหนึ่งโหนดให้เป็นโหนดลำดับที่หนึ่ง จากนั้นคำนวณค่าของระยะเวลาหรือระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่ประหยัด (Saving Cost) สูงสุด ลักษณะการคำนวณ ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การคำนวณการขนส่งที่ประหยัด (Saving Cost)

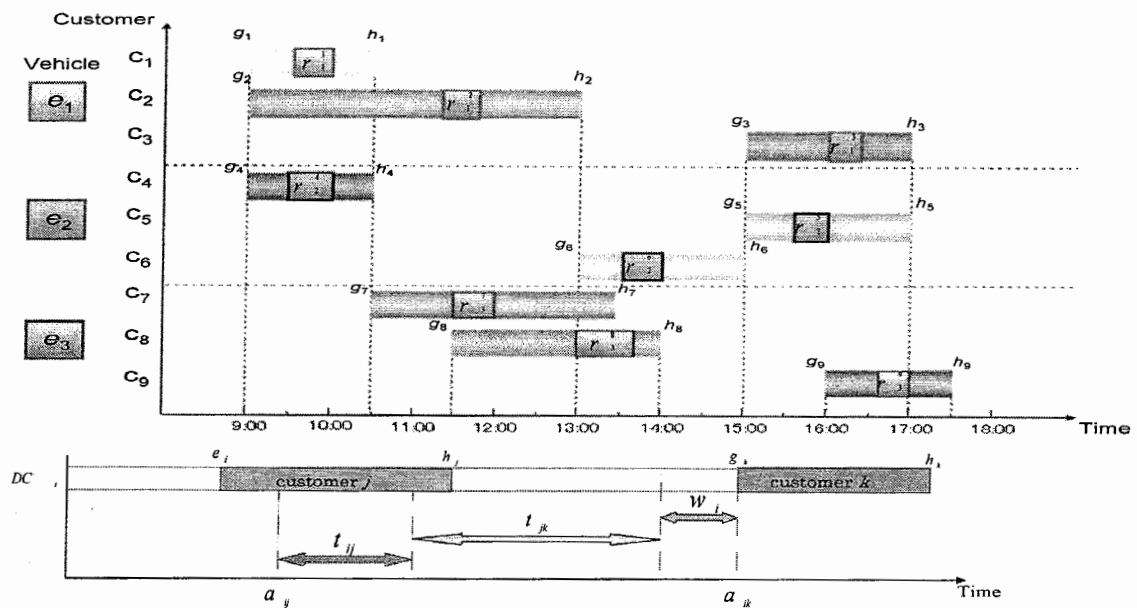
ต่อจากนั้นเรียงลำดับค่า S_{ij} จากมากไปหาน้อย เพื่อสร้างเส้นทางของพาหนะขนส่ง โดยเชื่อมโหนด i ไปยังโหนด j ที่มีค่า S_{ij} มากที่สุด ทำซ้ำจนกว่าจะจัดเส้นทางได้ครบ โดยมีเงื่อนไขว่าพาหนะขนส่งแต่ละคันจะต้องมีสินค้าไม่เกินความจุของพาหนะขนส่งและต้องใช้เวลาในการเดินทางไม่เกินระยะเวลาที่กำหนดวิธีที่สอง คือ วิธี Sweep Approach ของ Gillett and Miller (1974) เทคนิคฮิวริสติกของวิธีนี้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพสูงอีกวิธีการหนึ่งและไม่ได้มีความซับซ้อนอะไร

มากมาย วิธีการสามารถกระทำได้นี้ โครงสร้างในการหาคำตอบของ Sweep Approach มีหลักขั้นตอนอยู่ 2 ลำดับ คือ ลำดับแรกจะจัดโหนดให้กับพาหนะขนส่งและลำดับสุดท้ายจะให้ลำดับการส่งของโหนดต่างๆ แก่พาหนะขนส่ง ซึ่งมีวิธีการดังนี้ ทำการสุ่มโหนดเริ่มต้นให้เป็นโหนด A หมุนเส้นตรง AB ทวนเข็มนาฬิกาไปจนได้ปริมาณสินค้าครบความจุของพาหนะขนส่ง ใช้วิธีการแก้ปัญหา TSP เพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดและลำดับสุดท้าย คำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ถ้าระยะเวลาที่ได้มีค่ามากกว่าข้อจำกัด ให้หมุนเส้นตรง AB กลับ ลดจำนวนโหนดลงแล้วแก้ปัญหา TSP หาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดใหม่ แล้วคำนวณระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางทำซ้ำจนกระทั่งจัดเส้นทางยานพาหนะได้ครบ

2.4 ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่มีเงื่อนไขทางด้านเวลาในการขนส่ง (Vehicle Routing Problem with Time Windows: VRPTW)

ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่มีเงื่อนไขทางด้านเวลา Bodin., et al. (1983) กล่าวว่าไว้ว่า มีความคล้ายคลึงกันกับปัญหา VRP แต่มีเงื่อนไขของเวลาในแต่ละกิจกรรมเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น การไปส่งสินค้าแต่ละแห่งจะใช้เวลาไม่เท่ากัน การจัดลำดับของกิจกรรมเป็นสิ่งสำคัญในการจัดตารางเวลาการขนส่งและถ้าหากนำไปประยุกต์ใช้งานจริงๆ ก็จะมีเงื่อนไขต่างๆ เข้ามาเกี่ยวข้องอีกเป็นจำนวนมาก ก็จะส่งผลให้เกิดความซับซ้อนในตัวปัญหา ไม่ว่าจะเป็นด้านการจัดตารางเวลาการขนส่งก็จะซับซ้อนมากยิ่งขึ้นไปอีก ลักษณะของข่ายงานปัญหา VRPTW นี้ ประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ มีศูนย์กระจายสินค้ากลางเพียงแห่งเดียว ใช้พาหนะขนส่งที่มีขนาดหรือชนิดที่เหมือนกันทุกประการ (Identical vehicles) สำหรับการแก้ปัญหา VRPTW เป็นการหาค่าที่เหมาะสมของเชิงการจัดหมวดหมู่ระหว่างสองสับเซต คือ เซตของการใช้พาหนะขนส่งสินค้าแทนด้วยเซต V และเซต C คือ เซตของลูกค้าที่พาหนะขนส่งจะต้องออกไปให้บริการ โดยสมมติว่าพาหนะขนส่งทั้งหมดที่ใช้ทั้งหมด แทนด้วยเซต K โดยที่ $V = \{0, 1, 2, \dots, K-1\}$ และกลุ่มลูกค้าที่พาหนะขนส่งออกไปให้บริการคือ $N \setminus \{0\}$

ดังนั้นเซตของลูกค้า $C = \{0, 1, 2, \dots, N\}$ ตัวแปรตัดสินใจในปัญหานี้ จะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ x_{ijk} โดยที่ $i, j = 0, 1, 2, \dots, N; i \neq j$ และ $k = 0, 1, 2, \dots, K$ และถ้าให้ $x_{ijk} = 1$ นั้น จะหมายถึงว่าให้พาหนะขนส่งคันที่ k ทำการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ i ไปยังลูกค้ารายที่ j อื่น ๆ กำหนดให้ค่า $x_{ijk} = 0$ ในส่วนของ t_i คือ เวลาเริ่มต้นของพาหนะขนส่งแต่ละคันให้บริการลูกค้าที่ i โดยที่ $c_{ij} \leq c_{ih} + c_{hj}$ และ $t_{ij} \leq t_{ih} + t_{hj}$, $\forall h, i, j \in N$ ลักษณะปัญหา VRPTW ดังแสดงในภาพที่ 2.6 สำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 2.6 เส้นไทม์ทางด้านการขนส่ง

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง (Parameters)

- K = จำนวนพาหนะขนส่งทั้งหมด
- N = จำนวนลูกค้าทั้งหมด
- C_i = ลูกค้าที่ i โดยที่ $i = 0, 1, 2, \dots, N$
- C_0 = ศูนย์กระจายสินค้า (Depot)
- c_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการขนส่งระหว่างลูกค้าที่ i และลูกค้าที่ j
- t_{ij} = ระยะเวลาในการขนส่งระหว่างลูกค้าที่ i และลูกค้าที่ j
- m_i = ความต้องการสินค้าในการขนส่งของลูกค้า i
- q_k = ความสามารถในการบรรทุกของพาหนะขนส่ง k
- t_i = เวลาที่พาหนะขนส่งมาถึง (Arrival time) ที่ลูกค้า i
- e_j = เวลาที่พาหนะขนส่งสามารถมาถึงลูกค้าที่ i ได้เร็วที่สุด (Earliest arrival time)
- f_i = ระยะเวลาในการลำเลียงสินค้าที่ลูกค้า i
- w_i = ระยะเวลาที่ใช้ในการรอคอย การรับ-ส่งสินค้า (Waiting time) ที่ลูกค้า i
- r_k = เวลาทั้งหมดที่อนุญาตให้พาหนะขนส่ง k ทำการขนส่งสินค้า (Maximum route time)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

- $x_{ijk} = 1$ ถ้าให้พาหนะขนส่ง k ทำการขนส่งสินค้าของลูกค้า i ไปยังลูกค้า j
- $x_{ijk} = 0$ กรณีอื่นๆ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model)

$$MinZ = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^{K-1} c_{ij} x_{ij} \quad (C1)$$

สมการข้อบ่งชี้ (Subject To)

$$\sum_{k=0}^{K-1} \sum_{j=1}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall i = 0 \quad (C2)$$

$$\sum_{k=0}^K \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N x_{ijk} = 1 \quad \forall i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (C3)$$

$$\sum_{\substack{i=0 \\ i \neq h}}^N x_{ihk} - \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq h}}^N x_{ijk} = 0 \quad \forall h \in [1, \dots, N]; k \in [0, K-1] \quad (C4)$$

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N-1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, N; i \neq j \quad (C5)$$

$$\sum_{i=0}^N m_i \left(\sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N x_{ijk} \right) \leq q_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K-1\} \quad (C6)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^N x_{ijk} (t_{ij} + f_i + w_i) \leq r_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K-1\} \quad (C7)$$

$$t_0 = 0 \quad (C8)$$

$$t_i + x_{ijk} (t_{ij} + f_i + w_i) \leq t_j \quad i, j \in [1, N]; i \neq j; k \in [0, K-1] \quad (C9)$$

$$e_i \leq t_i \leq l_i \quad k \in [0, K-1] \quad (C10)$$

สมการข้อบ่งชี้ (C2) ประกันว่า จำนวนเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับ K เส้นทาง สมการข้อบ่งชี้ (C3) และ (C4) ประกันว่า มีพาหนะขนส่งจำนวนเพียง 1 คันเท่านั้นไปรับสินค้าที่ลูกค้า สมการข้อบ่งชี้ (C5) ประกันว่าไม่มี Sub-tour เกิดขึ้นในคำตอบ สมการข้อบ่งชี้ (C6) พาหนะขนส่งต้องบรรทุกสินค้าไม่เกินความสามารถที่กำหนด สมการข้อบ่งชี้ (C7) ประกันว่า เวลาที่ใช้ของพาหนะขนส่งแต่ละคันต้องไม่เกินเวลาอนุญาต (Maximum route time) สมการข้อบ่งชี้ (C8), (C9) และ (C10) ประกันว่า การขนส่งสินค้าของพาหนะขนส่งต้องไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไขทางด้านเวลา (Time windows)

ปัญหา VRPTW มีความสำคัญในอุตสาหกรรมปัจจุบัน โดยเฉพาะแก่ผู้ส่งมอบสินค้าให้โรงงานลูกค้าที่อิงระบบการ ผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just in Time: JIT) ปัญหาการจัดส่งสินค้าที่มี

ข้อจำกัดของเวลา เป็นการเขียนเงื่อนไขเพิ่มเติมขยายจากปัญหา VRP โดยทั่วไป นักวิจัยชื่อ Savelsbergh (1984) กล่าวว่า ปัญหา VRPTW มีความยากมากกว่าปัญหา VRP โดยจุดประสงค์ของปัญหา VRPTW คือ การลดจำนวนรถขนส่งหรือการลดค่าขนส่งโดยรวมและมักจะมีสมมติฐานประการหนึ่งว่ามีจำนวนรถไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติแล้วบริษัทต่างๆ มีจำนวนรถขนส่งจำกัด ในรายงานการวิจัยของ Lau, et al. (2003) ได้คำนึงถึงข้อจำกัดด้านจำนวนรถในการแก้ปัญหา VRPTW แต่ในการศึกษาครั้งนั้นอนุญาตให้ข้อจำกัดเรื่องเวลาเป็นข้อจำกัดที่ยืดหยุ่นได้ (Soft Constraint) กล่าวคือ หากไม่สามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขของกรอบเวลาได้จะไปเพิ่มโทษ (Penalty) ในสมการเป้าหมายแทน Sam (1995) ประยุกต์รูปแบบปัญหา VRPTW เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง โดยคำนวณเฉพาะเวลาเดินทางจากลูกค้าหนึ่งไปยังอีกลูกค้าถัดไปในที่ขบวนส่งหนึ่งๆ เท่านั้น และแยกเวลารอคอยกับเวลาให้บริการแต่ละลูกค้าเป็นเวลาพบปะลูกค้า โดยไม่ได้นำมาคิดเป็นต้นทุน นอกจากนี้ยังยอมให้ส่งสินค้าได้ก่อนและหลังเวลาที่กำหนดได้ แต่เพิ่มโทษในสมการเป้าหมายแทน รายงานการวิจัยของ Landrieu, et al. (2001) ได้ประยุกต์รูปแบบปัญหา VRPTW เพื่อลดต้นทุนการขนส่งแบบ Pickup and Deliver Time Windows แต่ไม่ยอมให้รถไปถึงช้ากว่ากรอบเวลาสูงสุดที่สามารถส่งสินค้าได้ แต่ถ้ามาถึงก่อนเวลาต้องรอจนกว่าถึงเวลาที่จะส่งมอบเท่านั้น ตัวอย่างของงานวิจัยที่คำนึงถึงกรอบเวลาเป็นข้อจำกัดที่ยืดหยุ่นไม่ได้คือ Tan, et al. (1999) โดยมีการกำหนดระยะเวลาที่รถสามารถวิ่งได้สูงสุดต่อหนึ่งเส้นทางทุกๆ คัน เป็นเงื่อนไขเพิ่มเติมนอกเหนือไปจากการที่รถแต่ละคันมีความจุจำกัด เพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสมที่จะทำให้ค่าใช้จ่ายการขนส่งต่ำลง รายงานการวิจัยของ Solomon (1987) กล่าวว่า ปัญหา VRPTW เป็นปัญหา NP-hard และในอดีตที่ผ่านมา มีการศึกษาหาวิธีหาคำตอบโดยใช้วิธีฮิวริสติกต่าง ๆ เช่น อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetics Algorithm: GA) ของ Homberger and Gehring (1999) ขบวนการ Greedy Randomized Adaptive Search Procedure หรือ GRASP ของ Kontoravdis and Bard (1995) วิธี Simulated Annealing หรือ SA ของ Chiang and Russel (1996) วิธี Multi-Start Local Search ของ Bräysy, et al. (2004) Branch and Bound โดย Kolen, et al. (1987) และวิธี ฮิวริสติกอื่นๆ ซึ่งรวบรวมไว้ใน Bräysy (2005) และ Tan (2001) เหล่านี้เป็นต้น

2.5 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง (The Multi-Depot Multiple Vehicle Routing Problems: MDVRP)

ปัญหา VRP กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้าศูนย์กลางมากกว่าหนึ่งแห่ง หมายถึง กรณีองค์กรธุรกิจมีศูนย์กระจายสินค้ากลางที่ใช้ดำเนินงานมากกว่าหนึ่งแห่ง พร้อมทั้งมีการวางแผนการใช้เส้นทางพาหนะขนส่งเพื่อออกไปให้บริการลูกค้า รับหรือส่งสินค้า (Pick-up or Deliveries) เรียก

ปัญหานี้ว่า “ปัญหา MDVRP” ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การหาต้นทุนโดยรวมของการใช้เวลาหรือระยะทางที่ต่ำที่สุดของพาหนะขนส่งทุกคันรวมกัน ปัญหานี้จึงมีความสลับซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นกว่าปัญหา VRP โดยทั่วไปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา MDVRP ในอดีตที่ผ่านมา มีนักวิจัยนำเสนอวิธีการสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP นี้ ด้วยความหลากหลาย ทั้งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดและวิธีเชิงฮิวริสติก ซึ่งพอที่จะสรุปโดยรวมได้ดังในตารางที่ 2.2 และปัจจุบันนักวิจัยส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะใช้วิธีเชิงฮิวริสติก สำหรับการแก้ปัญหา MDVRP มากยิ่งขึ้น โดยที่วิธีเชิงฮิวริสติก นั้นหมายถึงวิธีการใด ๆ ก็ตามที่ใช้วิทยาสำนึก (Heuristics) ในการค้นหาคำตอบหรือหาความรวมถึงวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์ด้วย (Artificial Intelligence Method: AIM) วิธีปัญญาประดิษฐ์ อันได้แก่ วิธีการอบอ่อนคำตอบ (Simulated Annealing: SA) วิธีตามูเสริจซ์ (Tabu Search: TS) วิธีการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมด (Ant System: AS) และวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm: GA) เหล่านี้เป็นต้น

วิธีเชิงฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP พอจะสรุปได้ดังนี้ วิธีเชิงพันธุกรรมประกอบไปด้วยงานวิจัยของ Potvin and Bengio (1996) งานวิจัยของ Berger., et al.(2001) งานวิจัยของ Chen., et al. (2001) งานวิจัยของ Tan., et.al. (2001) และงานวิจัยของ Ting and Huang (2004) งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีตามูเสริจซ์ (TS) ประกอบไปด้วยงานวิจัยของ Potvin., et al. (1996) งานวิจัยของ Chiang and Russell (1997) และงานวิจัยของ Taillard., et al. (1997) และวิธีการจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมด (ACS) ดังรายงานวิจัยของ Gambardella., et al. (1999) และนอกจากวิธีเชิงฮิวริสติกที่รู้จักในชื่อข้างต้นที่ได้กล่าวไปแล้วยังวิธีการอื่น ๆ ที่เรียกว่าเป็นฮิวริสติกเช่นกัน เช่น งานวิจัยของ Gillet and Johnson (1976) นำเสนอวิธีการแบ่งกลุ่มลูกค้า ออกเป็นกลุ่มๆตามจำนวนศูนย์กระจายสินค้า โดยเรียกว่า “Disjoint-Clusters” จากนั้นทำการแก้ปัญหา VRP ที่อิสระต่อกันของแต่ละกลุ่ม (Independent VRPS) โดยเริ่มต้นจากกำหนดลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้ากลางของแต่ละแห่งใช้วิธีการ Sweep Method เมื่อลูกค้าถูกกำหนดให้กับศูนย์กระจายสินค้าเสร็จเป็นที่เรียบร้อย ต่อจากนั้นก็ทำการปรับปรุงคำตอบ โดยการเลือกลูกค้าที่เป็นไปได้เพื่อทำการปรับปรุงกลุ่ม (Reassignments) ระหว่างศูนย์กระจายสินค้า 2 แห่ง ทำไปจนกว่าไม่สามารถปรับต้นทุนที่ดีกว่าเดิม ก็ไปขั้นตอนสุดท้าย คือ การสร้างเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง เนื่องจากปัญหา MDVRP จะประกอบด้วยสองปัญหายู่ในตัวปัญหาเดียวจึงมีความยุ่งยากในการคิดค้นวิธีการสำหรับการค้นหาคำตอบ

ดังนั้นในงานวิจัยของ Rand (1976) จึงได้ตั้งข้อสังเกตไว้ว่า มีนักวิจัยเป็นจำนวนมากที่พยายามหลีกเลี่ยง การแก้ปัญหการกำหนดลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้าที่มากกว่าหนึ่งแห่งและจัดเส้นทางพาหนะขนส่งไปพร้อม ๆ กัน แต่จะใช้วิธีการแบบแยกหาคำตอบกัน (Sub optimizing)

ค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามนักวิจัยไม่ควรละเลยต่อคำตอบที่ได้ในขั้นสุดท้าย คือ จะมีความสัมพันธ์กันระหว่างการแก้ปัญหาการกำหนดลูกค้าและการจัดเส้นทางของพาหนะขนส่ง ที่ให้ค่าโดยรวมที่ต่ำที่สุด ยกตัวอย่างงานวิจัยที่แยกปัญหาออกจากกันและทำการแก้ปัญหาทีละปัญหา เช่น งานวิจัยของ Bednar and Strohmeier (1979) ได้นำเสนอวิธีการหาคำตอบกับปัญหาการกำหนดลูกค้าให้แก่ศูนย์กระจายสินค้าที่มากกว่าหนึ่งแห่งและจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง ด้วยวิธีการแบ่งลูกค้าออกเป็นกลุ่ม ๆ ประมาณ 2-3 กลุ่ม ใช้วิธีเชิงฮิวริสติกในการประมาณค่าของระยะทางระหว่างลูกค้า (Customer) กับศูนย์กระจายสินค้า (Depot) โดยการใช้เกณฑ์ของน้ำหนัก (Weighted) หรือความต้องการสินค้า (Demand) ของลูกค้าแต่ละรายเป็นเกณฑ์พิจารณา และวิธี Saving Method สำหรับสร้างเส้นทางพาหนะขนส่ง

งานวิจัยของ Balakrishnan, et al (1987) นำเสนอวิธีการจัดแยกปัญหาออกเป็น 2 ปัญหาย่อยๆ กล่าว คือ ปัญหาการกำหนดลูกค้าให้แก่ศูนย์กระจายสินค้าที่มากกว่าหนึ่งแห่ง จัดให้เป็นปัญหาหลัก (Master Problem) และจัดเส้นทางพาหนะขนส่งเป็นปัญหารอง (Sub Problem) แล้วบูรณาการคำตอบเข้าด้วยกันในภายหลัง และในปี 1985, Kolen ก็ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ชนิดที่ศูนย์กระจายสินค้าที่มีศักยภาพเปิดดำเนินการได้มากกว่าหนึ่งแห่ง สร้างคำตอบเริ่มต้นแบบมีขั้นมีตอน (Constructive Algorithm) และพัฒนาวิธี Tree Network แก้ปัญหา คำตอบที่ได้ใช้เวลาในการประมวลผลอย่างเหมาะสม ต่อมา Srivastava และ Benton (1990) และ Srivastava (1993) นำวิธี Cluster-Routing กรณีที่ค่า $p > 1$ โดยทำการเปิดศูนย์กระจายสินค้ากลางเพียงหนึ่งแห่งสำหรับลูกค้า 1 กลุ่ม วิธีการนี้เรียกว่า “การสร้างกลุ่มในลำดับแรกและสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งในลำดับที่สอง (Cluster-first and Route-second)” ใช้วิธี Sweep Method สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง งานวิจัยของ Pathumnakul (1996) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา MDVRP กับ กรณีศึกษาโรงงานรีไซเคิลกระดาษของไอโอวา แบ่งขั้นตอนการแก้ปัญหา คือ จัดแยกลูกค้าออกเป็นกลุ่ม ๆ โดยใช้หลักการเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest neighborhood) สร้างเส้นทางขนส่งด้วยวิธี Clarke and Wright algorithm และปรับปรุงคุณภาพคำตอบโดยวิธีตามูเสริงซ์ (TS) คำตอบที่ได้รับจากวิธีการนี้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ในส่วนงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยการกำหนดลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้าไปพร้อม ๆ ในการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่ง เช่น Sodsoon and Sindhuchao (2007) นำเสนอวิธี MMAS โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การจัดสรรลูกค้าพร้อมกับการสร้างเส้นทางขนส่งในเวลาเดียวกันจากนั้นก็ทำการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วย 2-opt อัลกอริทึม วิธีการพบว่าสามารถค้นหาคำตอบได้ที่น่าพอใจและใช้เวลาประมวลผลเหมาะสม

ตารางที่ 2.2 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา MDVRP (Salhi., et al. 1997)

ผู้วิจัย (ปีที่น่าสนใจ)	วิธีการ	การประยุกต์ใช้งาน
Wren and Holilyday (W-H) (1972)	Saving in each depot and refinements	N/A
Cassidy and Bennett (1972)	Similar to W-H	School meal delivery
Tillman and Cain (1972)	Saving with modified distance formula	N/A
Gillett and Johnson (1976)	Cluster procedure and sweep heuristics	N/A
Golden., et.al (1977)	Borderline customer and a modified saving	Newspaper delivery
Raft (1982)	Multi-phase approach/additional refinement	N/A
Ball., et.al (1983)	Saving concepts/route-first cluster second	Chemical product.USA / Canada
Perl (1987)	T-C/variant of saving	N/A
Perl and Daskin (1984,1985)	(P) location/routing formulation	Manufacturing product., USA
Benton (1986)	Saving combined/B-B based algorithm	Retail-outlets (bakery) in Indiana
Laporte., et.al (1988)	Mixed integer linear/LP relaxation	N/A
Klot, Gal and Harpaz (1992)	Combination of LP/ Heuristics	Dairy products in the Haifa
Min, Current and Schilling (1992)	exact methods/heuristic backhauls	Hardware products in the USA
Chao., et.al (1993)	Composite heuristics/refinements	N/A
Renaud., et.al (1994)	TS/intensification-diversification	N/A

2.6 การจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด

วิธีค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติก (Heuristic Search Approaches) เป็นการค้นหาคำตอบด้วยวิธีใด ๆ ก็ตาม ที่พยายามหาหลักเกณฑ์เพื่อนำมาใช้ในขบวนการค้นหาและลดปริมาณของรอบการคำนวณให้น้อยลง จนกระทั่งพบทางแก้ปัญหานั้นที่น่าพอใจ ปัจจุบันวิธีเชิงฮิวริสติกแบบกลุ่ม Artificial Intelligence (AI) กำลังได้รับความนิยมกันอย่างมากในกลุ่มนักวิจัย ซึ่งวิธีเชิงฮิวริสติกชนิดนี้เป็นการแก้ปัญหาแบบศึกษาสำนึกแบบความฉลาดแบบกลุ่มหรือเรียกกันว่า แบบความฉลาดแบบกลุ่ม (Swarm Intelligence) ซึ่งเป็นศาสตร์แขนงหนึ่งในกลุ่มของปัญญาประดิษฐ์และเป็นแขนงหนึ่งในสาขา Biologically-inspired computing เป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการเลียนแบบวิธีการทางธรรมชาติ เช่น วิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Networks) และวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) วิธีตามูเสิจซ์ (Tabu search: TS) และวิธีการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด (Ant colony optimization: ACO)

การแก้ปัญหาด้วยกลุ่ม AI นับว่ามีข้อดี คือ สามารถนำใช้กับแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ๆ และซับซ้อนแทนการแก้ปัญหาแบบ Conventional Approach ซึ่งยากแก่การหาคำตอบได้ กลุ่มของความฉลาดแบบกลุ่ม จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ ความฉลาดแบบกลุ่มที่เป็นการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของผึ้งและความฉลาดแบบกลุ่มที่เป็นการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด สำหรับความฉลาดแบบกลุ่มที่เป็นการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมดนั้น M. Dorigo., et al. (1991) เป็นผู้คิดค้นขึ้นครั้งแรก โดยเขาทำการศึกษาการจำลองพฤติกรรมหาอาหารของมดขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหา TSP แทนการแก้ปัญหาแบบ Conventional Approach และในปัจจุบันได้รับความนิยมกันอย่างมากในหมู่นักวิจัยและได้คิดค้น พัฒนาวิธีการอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงพอสรุปวิธีการคิดเลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของมด ออกได้ 5 แบบ ดังนี้

2.6.1 วิธีระบบมด (Ant system; AS)

2.6.2 วิธีระบบมดที่ดีที่สุด (Elitist ant system; ES)

2.6.3 วิธีระบบมดแบบแมก-มิน (Max-min ant system; MMAS)

2.6.4 วิธีจัดลำดับความสำคัญระบบมด (Rank-base ant system; RBS)

2.6.5 วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant colony system; ACS)

ในช่วงแรก ๆ ระบบมด มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ คือ Ant-density Ant-quantity และ Ant-cycle วิธีระบบ Ant-density และระบบ Ant-quantity นั้น จะมีการอัปเดตสารฟีโรโมนทันทีขณะที่เดินทางจากโหนดหนึ่งไปยังเมืองใด ๆ ในขณะที่ระบบ Ant-cycle นั้น จะอัปเดตสารฟีโรโมนหลังจากที่มดเดินทางครบทุกเมืองแล้ว โดยที่ปริมาณของสารฟีโรโมนที่จะอัปเดตนั้นขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างค่าคงที่ต่อระยะทาง (Distances) หรือคุณภาพของผลเฉลยที่ได้ (Quality solutions)

ท้ายที่สุดแล้วระบบ Ant-density และระบบ Ant-quantity ก็ไม่ได้รับการปรับปรุงและพัฒนาต่อไปอีก เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยหรือเส้นทางที่แย่กว่าเมื่อเทียบกับระบบ Ant-cycle ดังนั้นในปัจจุบัน เมื่อกล่าวถึงระบบมด ก็คือ ระบบ Ant-cycle นั่นเอง (Dorigo., et al. (1991); Dorigo and Stutzle (2004)) การประยุกต์ใช้การจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมดเพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม สามารถสรุปได้ดังในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การประยุกต์ใช้การจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมดเพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม

วิธี	ชื่อนักวิจัย	ปี	ชื่อของปัญหา
Ant system	Dorigo., et al.	1991	Traveling salesman problem
	Forsyth and Wren	1997	Bus driver scheduling
	Nahas and Nourelfath	2005	Reliability optimization of a series system
AS-QAP	Maniezzo., et al.	1994	Quadratic assignment problem
AS-JSP	Colormi., et al.	1994	Job shop scheduling problem
Ant-Q	Dorigo, Gambardella	1997	Traveling salesman problem
ACS-3opt	Dorigo, Gambardella	1997	Traveling salesman problem
ABC	Schoonderwoerd., et al.	1996	Telecommunications networks
AS-VRP	Bullnheimer., et al.	1997	Vehicle routing problem
MMAS	Socha., et al.	2003	University course timetabling problem
HAS QAP	Gambardella., et al.	1999	Quadratic assignment problem
HAS SOP	Gambardella and	2000	Sequential ordering problem
AS-ATP	Dorigo		
ANTCOL	Costa and Hertz	1997	Graph coloring
AntNet	Costa and Hertz	1997	Graph coloring
AntNet-FA	Di Caro and Dorigo	1997	Connectionless network routing
Regular ants	Subramanian., et al.	1977	Routing in dynamic network
MMAS-QAP	Stutzle and Hoos	2000	Quadratic assignment problem
AS-QAP	Maniezzo and Colormi	1999	Quadratic assignment problem

ตารางที่ 2.3 การประยุกต์ใช้การจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดเพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม (ต่อ)

วิธี	ชื่อนักวิจัย	ปี	ชื่อของปัญหา
ANTS-QAP	Maniezzo	1999	Quadratic assignment problem
	Solimanpur., et al.	2004	Intercell layout problem in cellular manufacturing
AS-SCS	Michel and Middendorf	1999	Shortest super sequence problem
ASGA	White., et al.	1998	Connection management
AntNet-FS	Di Caro and Dorigo	1998	Connection-oriented network routing
ABC-smart	Bonabeau., et al.	1988	Connection-oriented network routing
ants	Heusse., et al.	1998	Routing networks
CAF	Van der Put	1998	Routing in the fax-factory
ABC-backward	Stutzle	1998	Flow shop problem
	Bland	1999	Space-planning
	Doerner., et al.	2003	Full truckload transportation
	Doerner., et al.	2000	Pickup and delivery
	Jayaraman., et al.	2001	Bioreactors optimization
	Bland	2001	Structural design problem
	Gravel., et al.	2002	Scheduling continuous casting
ACO	Roli., et al.	2001	Constraint satisfaction
	Gamez and Puerta	2002	Best elimination sequence
	Eggers., et al.	2003	Keyboard arrangement problem
	Shelokar., et al.	2004	Clustering
	Gandibleux., et al.	2004	Set packing problem
	Reimann and Laumanns	2005	Capacitated minimum spanning tree problem
	Lim., et al.	2005	Bandwidth minimization

ตารางที่ 2.3 การประยุกต์ใช้การจำลองพฤติกรรมกรหาอาหารของมดเพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม (ต่อ)

วิธี	ชื่อนักวิจัย	ปี	ชื่อของปัญหา
AS(TS)	Bland	1999	Layout of facilities
Intelligent ant	Zhou and Liu	1998	Dynamic routing of telecommunication
MACS-VRPTW	Gambardella., et al.	1999	networks
ACS	Bianchi., et al.	2004	Vehicle routing problem
API	Monmarch'e., et al.	2000	Probabilistic traveling salesman problem
BWAS	Cordon., et al.	2000	Numeric optimization Traveling salesman problem
Painter ants	Tzafestas	2000	Digital art
CACO	Jayaraman., et al.	2000	Design and scheduling of batch plants
	Vijayakumar., et al.	2003	Multi-pass turning operations
Cognitive map	Ramos and Almeida	2000	Image segmentation-pattern reorganization
ANTS	Maniezzo and	2000	Frequency assignment problem
	Carbonaro	2001	Data warehouse Minimum-span
	Maniezzo., et al.		
AS-VRPB	Wade and Salhi	2004	Vehicle routing problem
ACSA	Yu and Song	2001	Short-term schedule of thermal units
AntNet routing	Baran and Sosa	2001	networks routing
Data	Cicirello	2001	Shop floor routing
AC	Baboglu., et al.	2001	Peer-to-peer (P2P) networks
Multiple Ant	Jong and Wiering	2001	Bus stop allocation problem

ตารางที่ 2.3 การประยุกต์ใช้การจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมดเพื่อแก้ปัญหาวิศวกรรม (ต่อ)

วิธี	ชื่อนักวิจัย	ปี	ชื่อของปัญหา
Parallel ant colonies	Talbi., et al.	2001	Quadratic assignment problem
Ant heuristic	McMullen	2001	JIT sequencing problem
Ant-TDVRP	Rizzoli., et al.	2002	Vehicle routing problem
ACS-DVRP	Montemanni., et al.	2002	Dynamic vehicle routing problem
ACO-B	De Campos., et al.	2002	Learning Bayesian networks
Multilevel ant colony	Korosec., et al.	2004	Mesh-partitioning problem
Pareto ACO	Doerner., et al.	2005	Project portfolio selection
Population-based	Scheuermann.,et al.	2004	Field-programmable gate arrays
CIAC	Dreo and Siarry	2004	Optimization of multi minima functions
RPACO Unit	Shi et., al.	2004	Probabilistic spinning reserve
	Solimanpur., et al.	2005	Open shop scheduling
	Blum	2005	Layout problem in flexible manufacturing systems

2.7 บทสรุป

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีข้อสรุปที่ตรงกันว่า “ปัญหา VRP” และ “ปัญหา MDVRP” จัดเป็นปัญหา NP-hard เป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่และมีวิธีการที่นำมาแก้ปัญหาที่หลากหลาย ทั้งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact methods) และวิธีเชิงฮิวริสติก (Heuristic methods) แต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน การเลือกวิธีที่จะนำมาแก้ปัญหาจึงจำเป็นที่จะต้องเลือกให้มีความเหมาะสมกับการนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาจริง ๆ โดยพิจารณาปัจจัยที่สำคัญคือ เวลาที่ใช้ในการคำนวณเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่เหมาะสมมากที่สุดและความยากง่ายหรือความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานขนส่งจริง ๆ ควบคู่ไปด้วย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

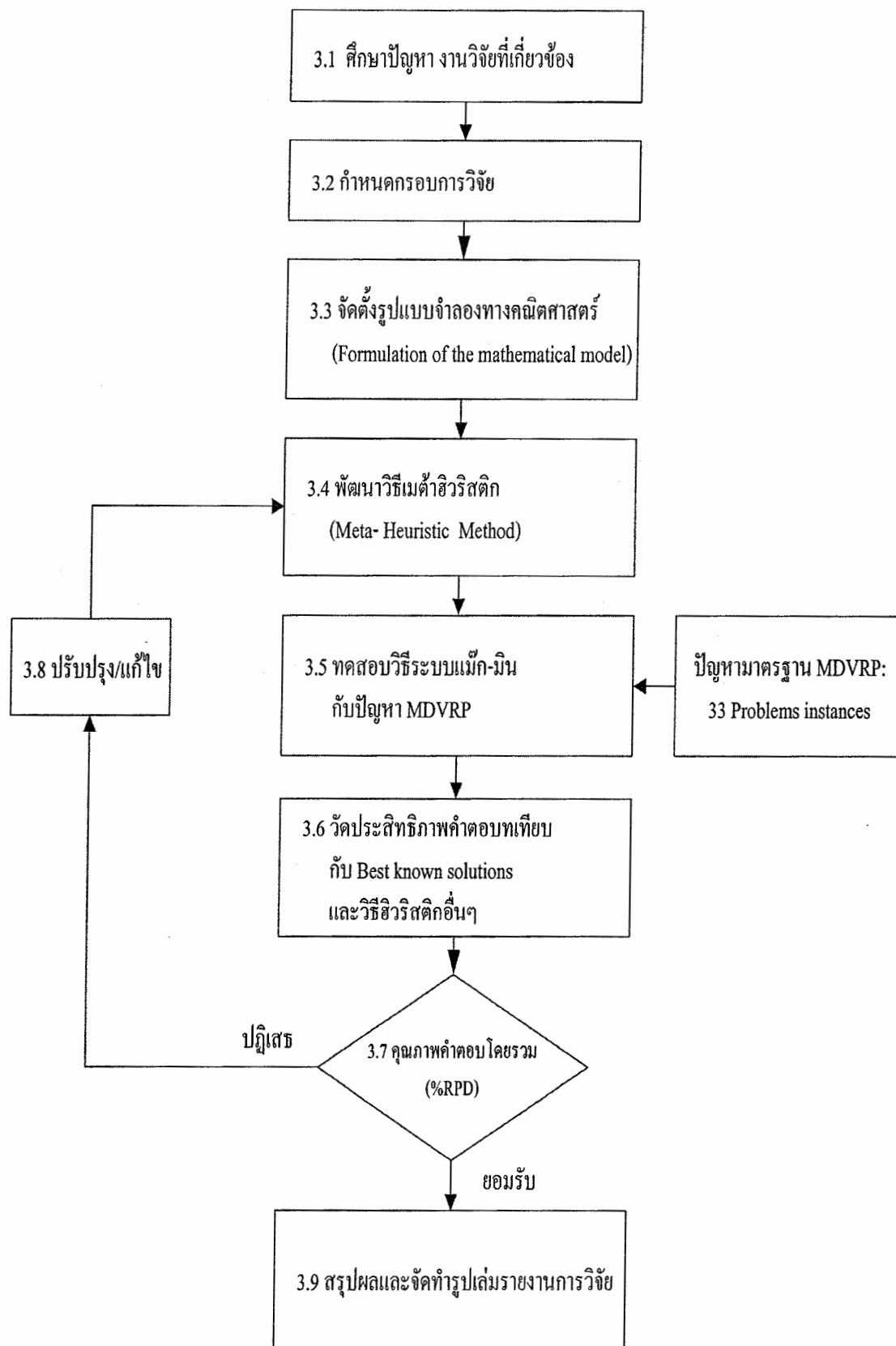
บทที่ 3 ผู้วิจัยจะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งได้ทำการแผนขั้นตอนการพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติก สำหรับการแก้ปัญหา MDVRP ไว้ทั้งหมด 9 ขั้นตอน รายละเอียดจะกล่าวในลำดับต่อไป ขั้นตอนแผนการดำเนินงานโดยรวมของการพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติก สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง แสดงได้ดังภาพที่ 3.1 ผู้วิจัยกำหนดส่วนงานย่อยออกมาได้ด้วยกัน 9 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งและทำความเข้าใจหลักทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น ปัญหาการขนส่ง (Transportation Problem) ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews) ศึกษาวิธีการค้นหาผลเฉลยแบบวิธีที่ดีที่สุด และวิธีเชิงฮิวริสติก (Exact-Heuristic Algorithm) จากเอกสารงานวิจัยทั้งในและต่างประเทศ รายละเอียดที่ปรากฏในบทที่ 2

3.2 กำหนดกรอบ การวิจัย

หลังจากที่ผู้วิจัยทำการสำรวจ ทบทวนเอกสารงานวิจัยในหัวข้อที่ 3.1 ผู้วิจัยก็ทำการกำหนดสถานะของปัญหาที่จะทำการศึกษา กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย และสมมติฐานการวิจัย ดังรายละเอียดที่ปรากฏในหัวข้อที่ 1.4 และ 1.5 ในบทที่ 1

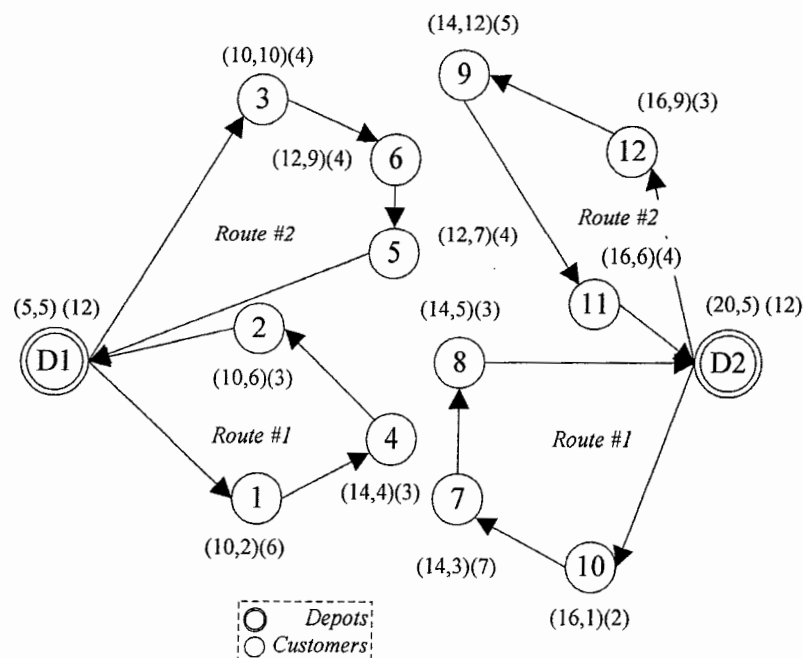


ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนแผนการการดำเนินงานการวิจัย

3.3 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (The Formulation of Mathematical Model)

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) สามารถอธิบายในรูปแบบโครงสร้างของกราฟ $G=(V,E)$ ได้ดังนี้ จุดต่าง ๆ ที่แสดงอยู่บนกราฟ เรียกว่า Vertex set ประกอบด้วยเซต V และส่วนเส้นเชื่อมระหว่าง Vertex set กับด้านที่อยู่บนกราฟ เรียกว่า Edges คือ เซต E ซึ่งเป็นเซตของ Vertex set จะแบ่งเซตออกเป็น 2 สับเซตย่อย ๆ คือ เซตของลูกค้า V_c โดยที่ $V_c = \{v_1, \dots, v_n\}$ เป็นเซตของลูกค้าและอีกเซตหนึ่ง คือ เซตของศูนย์กระจายสินค้า ประกอบด้วย เซต V_d โดยที่ $V_d = \{v_{n+1}, \dots, v_{n+p}\}$

ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายในเซต v_i โดยที่ $v_i \in V_c$ ความต้องการสินค้าที่ไม่ติดลบแทนด้วยจำนวนสินค้าเท่ากับ q_i และในส่วนของการคำนวณระยะทางระหว่างโหนด i ไปยังโหนด j จะคำนวณต้นทุนที่เกิดจากระยะทางการขนส่ง แทนด้วยสัญลักษณ์ เมตริกซ์ $C=(c_{ij})$ จะเชื่อมด้วยระยะทางหรือต้นทุนการขนส่ง คือ ค่า c_{ij} จำนวนพาหนะขนส่งที่ใช้มีจำนวนเท่ากับ m_k คัน และมีชนิดหรือขนาดความจุสูงสุดที่เท่ากัน คือ Q_k และระยะทางการขนส่งแต่ละเที่ยวไม่เกินค่าของ D_k ลักษณะข่ายงานของปัญหา MDVRP ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ข่ายงานของปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง

การจัดตั้งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหา MDVRP มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การหา ระยะทางรวมของพาหนะขนส่งทุกคันรวมกันมีค่าที่ต่ำที่สุด การกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ เกี่ยวข้อง (Parameters) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ได้ดังนี้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง (Parameters)

M	คือ จำนวนศูนย์กระจายสินค้า
N	คือ จำนวนของลูกค้า
$1, 2, \dots, N, N+1, \dots, M$	คือ จำนวนโหนดทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ
c_{ij}	คือ ระยะทางระหว่างโหนดที่ i กับโหนดที่ j
d_j	คือ ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้ารายที่ j
t_{ij}	คือ ระยะเวลาหรือระยะทางระหว่างโหนดที่ i กับโหนดที่ j
Q_k	คือ ขนาดความจุสูงสุดในการบรรทุกสินค้าของพาหนะขนส่ง k
D_k	คือ ระยะทางสูงสุดที่พาหนะขนส่ง k สามารถใช้ในการเดินทาง

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{ถ้าให้พาหนะขนส่งคันที่ } k \text{ ขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ } i \text{ ไปยังลูกค้ารายที่ } j \\ 0, & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

$$\text{Min}Z = \sum_{i=0}^{N+M} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{N+M} \sum_{k=1}^K c_{ij} x_{ij}^k \quad (\text{D1})$$

สมการข้อบ่งชี้ (Subject to)

$$\sum_{i=0}^{N+M} \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, N+M\} \quad (\text{D2})$$

$$\sum_{j=0}^{N+M} \sum_{k=1}^K x_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N+M\} \quad (\text{D3})$$

$$\sum_{i=0}^{N+M} x_{ip}^k - \sum_{j=0}^{N+M} x_{pj}^k = 0 \quad \forall p \in \{1, \dots, N+M\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (D4)$$

$$\sum_{j=0}^{N+M} d_j \left(\sum_{i=0}^{N+M} x_{ij}^k \right) \leq Q_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (D5)$$

$$\sum_{i=0}^{N+M} \sum_{j=0}^{N+M} t_{ij} x_{ij}^k \leq D_k \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (D6)$$

$$\sum_{j=1}^{N+M} x_{ij}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (D7)$$

$$\sum_{i=1}^{N+M} x_{ij}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (D8)$$

$$x_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in \{1, \dots, N+M\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (D9)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (D1) คือ การหาระยะทางโดยรวมของพาหนะขนส่งทุกคันรวมกันที่สั้นที่สุด
 สมการข้อบ่งชี้ (D2), (D3) ประกันว่าลูกค้าแต่ละรายรับบริการจากพาหนะเพียงคันเดียว
 สมการข้อบ่งชี้ (D4) ประกันว่า ถ้าหากพาหนะขนส่งใดเข้าไปที่จุดก็จะต้องออกมาจากจุดนั้น
 สมการข้อบ่งชี้ (D5) ประกันว่าพาหนะขนส่งทุกคันบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัด
 สมการข้อบ่งชี้ (D6) ระยะทางสูงสุดที่พาหนะขนส่งสามารถใช้ในการขนส่งสินค้า
 สมการข้อบ่งชี้ (D7), (D8) ประกันว่าพาหนะขนส่งแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางเดียว
 และ สมการข้อบ่งชี้ (D9) สมการไบนารี (Binary)

3.4 การจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยใช้วิธีระบบ มดแบบแม็ก-มิน (MAX-MIN Ant System; MMAS)

3.4.1 ระบบมดแบบแม็ก-มิน (MAX-MIN Ant System; MMAS)

Stutzle and Hoos (1997) คือ ผู้ที่นำเสนอวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน (MMAS) เป็นท่านแรก ลักษณะโครงสร้างของวิธีการจะคล้ายคลึงกับวิธีระบบมด (Ant System; AS) มีขั้นตอนในการค้นหาผลเฉลย ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน ดังแสดงด้วยรหัสเทียมในภาพที่ 3.3

```

/* Procedure MMAS */
ขั้นตอนที่ 1: Set parameters, initialize pheromone trails
    While(termination condition not met)
        ขั้นตอนที่2: Construct_Solutions
        ขั้นตอนที่ 3: :Update_Trails
    end
end MMAS
/* End Procedure */

```

ภาพที่ 3.3 รหัสเทียมของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน (Max-Min Ant System) จะมีลักษณะที่แตกต่างจากวิธีระบบมด (Ant System) อยู่ 4 ประการด้วยกัน ดังนี้

- 3.4.1.1 ค่าของพจน์จะเพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเป็นรอบที่ดีที่สุด
- 3.4.1.2 ส่วนที่ไม่ใช่เส้นทางที่ดีที่สุดของรอบ พจน์นั้นจะมีค่าเป็นศูนย์
- 3.4.1.3 เส้นทางที่ดีที่สุดจะมีพจน์เพิ่มลงไปในการ
- 3.4.1.4 การปรับปรุงสมการเส้นทางฟีโรโมน (Update pheromone trail)

วิธีการของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน กล่าวโดยสรุปแล้วจะมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1) กำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง อันได้แก่ ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น (Initial pheromone; τ_0) ค่าฟีโรโมนสูงสุด ($\tau_{\max}$; $\tau_{\max}$) ค่าฟีโรโมนต่ำสุด ($\tau_{\min}$; $\tau_{\min}$) ค่าพารามิเตอร์ที่ให้น้ำหนักความสำคัญระหว่างค่าระยะทางกับฟีโรโมนซึ่ง (β) โดยที่ $\beta > 0$ ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน (Evaporating rate; ρ) ซึ่ง $0 < \rho < 1$ และจำนวนของรอบกระทำซ้ำในการค้นหาคำตอบ (Iterations; I^{Max})

2) มดสร้างผลเฉลย (Ant construct solutions) สำหรับการสร้างผลเฉลยนั้นมดจะใช้กฎเปลี่ยนสถานะ ที่มีชื่อเรียกว่า “Random-proportional rule” ตามสมการที่ (3.1) ซึ่งจะให้ความน่าจะเป็นที่มดตัวที่ k อยู่ในเมือง r เลือกที่จะเดินทางไปยังเมือง s

$$p_k(r, s) = \begin{cases} \frac{[\tau(r, s)]^\beta [\eta(r, s)]^\beta}{\sum_{s \in J_k} [\tau(r, s)]^\beta [\eta(r, s)]^\beta} & \text{if } s \in J_k(r) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

โดยที่ : τ คือ ค่าฟีโรโมน

$\eta(r,s) = 1/\delta(r,s)$ คือ ส่วนกลับของระยะทาง $\delta(r,s)$

$J_k(r)$ คือ เซตของเมืองที่มดตัวที่ k บนเมือง r ยังไม่เคยเดินทางไป

β คือ พารามิเตอร์ที่ให้น้ำหนักความสำคัญระหว่างค่าระยะทางกับค่าฟีโรโมน

สมการที่ (3.1) จะเห็นได้ว่ามดตัวที่ k ที่อยู่บนเมือง r กำลังพิจารณาเมืองที่เหลืออยู่ทั้งหมดที่ตัวมันยังไม่ได้เคยเดินทางไป โดยที่ค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเมืองที่เหลืออยู่ทั้งหมดนี้มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างค่าฟีโรโมนกับค่าส่วนกลับระยะทางยกกำลังเบต้าระหว่างเมือง r กับเมืองที่สนใจจะหาค่าผลหารด้วยผลรวมของผลคูณระหว่างค่าฟีโรโมนกับค่าส่วนกลับระยะทางยกกำลังเบต้าระหว่างเมือง r กับเมืองที่ยังไม่ได้เดินทางไปทั้งหมด

3) การใช้กฎปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง (Global pheromone updating rule) เมื่อมดทุกตัวในระบบสร้างเส้นทางเดินของมันเองเสร็จแล้ว มดตัวที่ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดจะใช้กฎปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้างกับผลเฉลยที่ดีที่สุดนั้นตามสมการที่ (3.2)

$$\tau(r,s) \rightarrow (1-\alpha) \cdot \tau(r,s) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_k(r,s) \quad (3.2)$$

$$\text{โดยที่: } \tau(r,s) \rightarrow (1-\alpha) \cdot \tau(r,s) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_k(r,s)$$

$$\alpha = \text{ค่าพารามิเตอร์ } (0 \leq \alpha \leq 1)$$

$$\Delta \tau_k(r,s) = \begin{cases} (L_k)^{-1} & \text{if } (r,s) \in \text{global-best-tour} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$L_k = \text{ระยะทางของเส้นทางวงปิด (Closed tours) ที่สั้นที่สุด}$$

$$m = \text{จำนวนมด}$$

สมการที่ (3.2) คือสมการเพิ่มค่าฟีโรโมนให้กับเส้นทางที่สั้นให้มีค่าที่สูงขึ้น เหมือนกับว่ากำลังเสริมการเรียนรู้ให้แก่มด โดยมดสามารถหาค่าระยะทางที่สั้นที่สุดได้จากการพิจารณาปริมาณของค่าฟีโรโมน ดังนั้นฟีโรโมนนี้จึงเปรียบได้ว่าเป็นหน่วยความจำของระบบ

3.4.2 โครงสร้างของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กลางกระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง

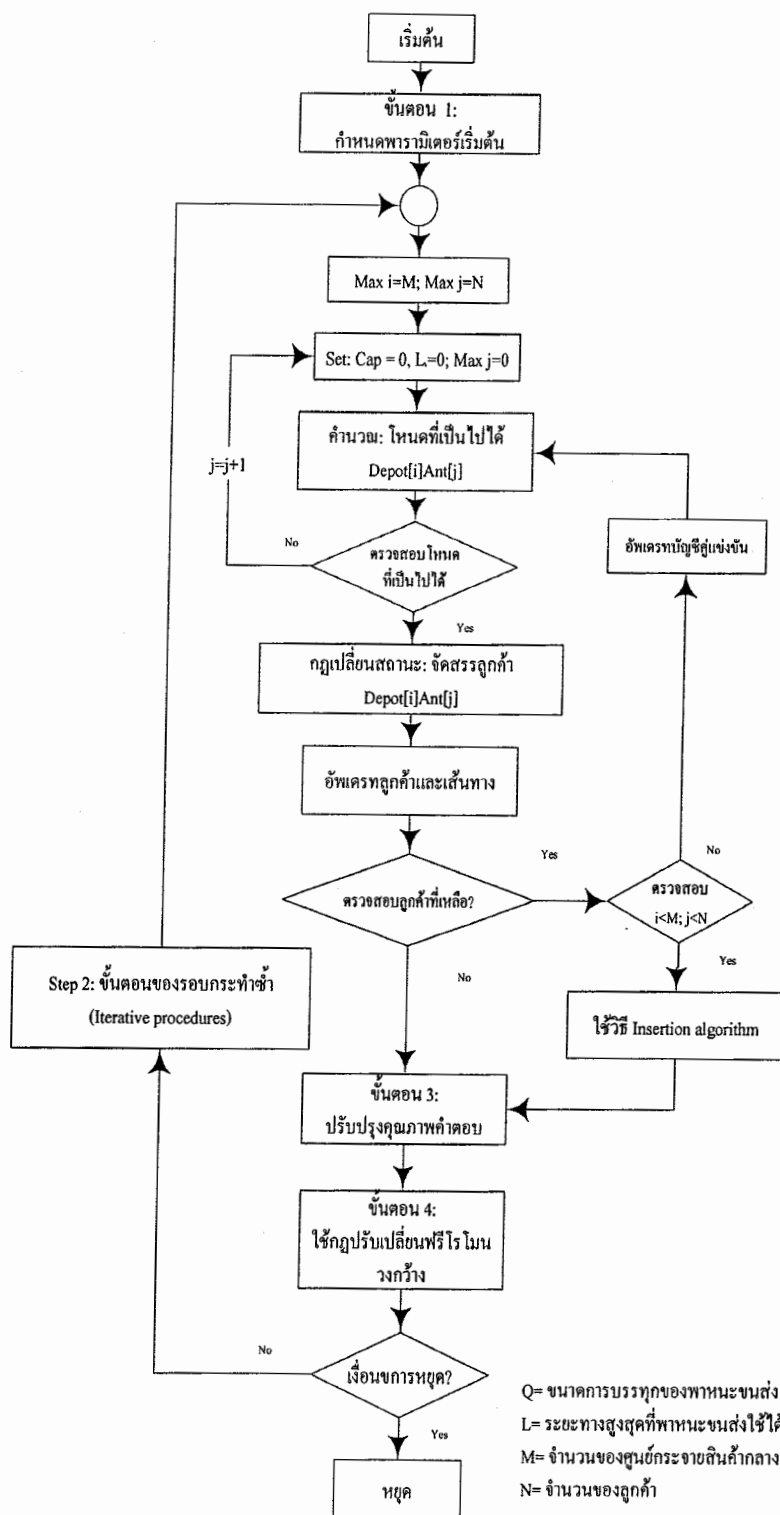
ผู้วิจัยพัฒนาวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน สำหรับปัญหา MDVRP ไว้ 3 ระยะคือ

3.4.2.1 การสร้างผลเฉลยเริ่มต้นด้วยวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

3.4.2.2 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยด้วยวิธีโลโลเอสริช

3.4.2.3 การปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง

การพัฒนาชีวิตติคแสดงโดยภาพรวมดังแสดงในภาพที่ 3.4 และ 3.5



ภาพที่ 3.4 วิธีระบบดแบบแม็ก-มิน สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง
กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ามากกว่าหนึ่งแห่ง

```

/*Initialization phase*/
[1]   Initialize data structures.
[2]   Obtain a feasible solution  $\omega^{nn}$  with the nearest neighbor heuristic.
[3]    $\omega^{gb} = \omega^{nn}$ , where  $\omega^{gb}$  is the best global solution
[5]    $L_{gb}$  = Route length that belongs to the best solution.
[6]   Initially  $L_{gb} = L_{nn}$ .
[7]   Initialize pheromone level: For each pair  $(r, s) : \tau_{(r,s)} = \tau_0$ ,
[8]   where  $\tau_0 \leftarrow 1/(N * Z_0)$ ;  $\tau_{max} \leftarrow \tau_0$ 
[9]    $\therefore \tau_{min} = \tau_{max} (1 - \sqrt[3]{0.005}) / ((avg - 1) \cdot \sqrt[3]{0.005})$ 

/*Iterations */
[10]  Do Until stopping criterion = True
[11]  For each Hormiga ( $\omega$ )  $k$ 
[12]  Construct a solution  $\omega^k$  using Active_ant ( $k$ , Local Search Local).  $\forall$  customer  $j \notin \omega^k$ 
[13]  Compute  $L_{gb}$ 
[14]  If  $L_k \leq L_{gb}$  Then
[14]   $L_{gb} = L_k : \omega^{gb} = \omega^k$ 
[15]  End if
[16]  End for
[17]  Loop

/*Global updating*/
[18]  Perform a global updating according to:  $\tau(i, j) = (1 - \alpha) \cdot \tau(i, j) + \alpha / L_{gb}$ ;  $\forall i, j \in \omega^{gb}$ 

```

ภาพที่ 3.5 รหัสเทียมวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง
กรณีศูนย์กระจายสินค้ามีมากกว่าหนึ่งแห่ง

3.4.2.1 การสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Initial Solutions)

1) ขั้นตอนการตั้งค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง คือ กำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องอื่นๆ อันได้แก่ β , ρ และ I^{Max} และนอกจากนั้นยังการคำนวณหาปริมาณสารฟีโรโมนเริ่มต้น โดยใช้กฎเพื่อนบ้านใกล้เคียง ดังสมการคำนวณที่ (3.3) ดังนี้

$$\begin{aligned}\tau_0 &\leftarrow 1/(N * Z_0) \\ \tau_0 &\leftarrow \tau_{max}\end{aligned}\tag{3.3}$$

ดังนั้น $\tau_{min} = \tau_{max} (1 - \sqrt[3]{0.005}) / ((avg - 1) \cdot \sqrt[3]{0.005})$ โดยที่ค่า $avg = Z_0$

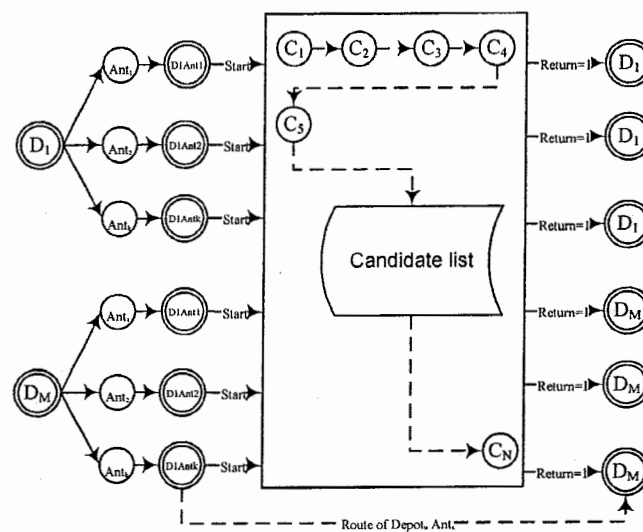
2) คำนวณหาจำนวนมดหรือจำนวนของพาหนะขนส่งที่ใช้ โดยที่วิธีการคำนวณหาจากผลรวมของปริมาณความต้องการสินค้าแต่ละราย แล้วทำการหารด้วยความจุสินค้าสูงสุดของพาหนะขนส่งที่กำหนด ดังสมการที่ (3.4) จำนวนของพาหนะส่งที่จะนำมาใช้งานหรือจำนวนของมดเท่ากับ $(n_v + 1)$

$$\text{จำนวนพาหนะขนส่ง } (n_v) = \left\lfloor \frac{TD}{\max Q_v} \right\rfloor \quad (3.4)$$

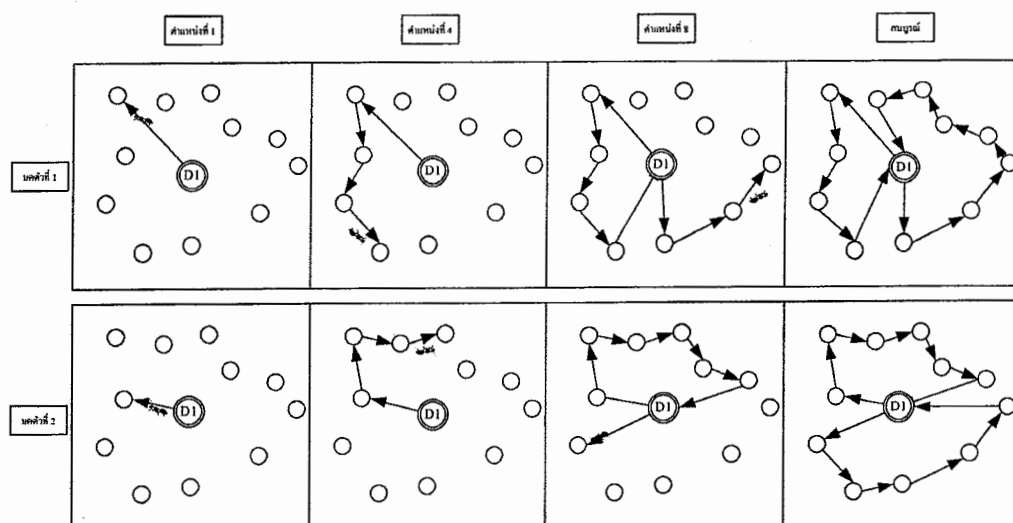
เมื่อ TD คือ ผลรวมของจำนวนสินค้าในระบบ

$\max Q_v$ คือ ขนาดการบรรทุกสินค้าสูงสุดของพาหนะขนส่ง

ขั้นตอนการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Solutions generation) หลังจากกำหนดจำนวนรถ เข้าไปในแต่ละศูนย์กระจายสินค้า ดังแสดงในภาพที่ 3.6 จากนั้นให้แต่ละตัวทำการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.7



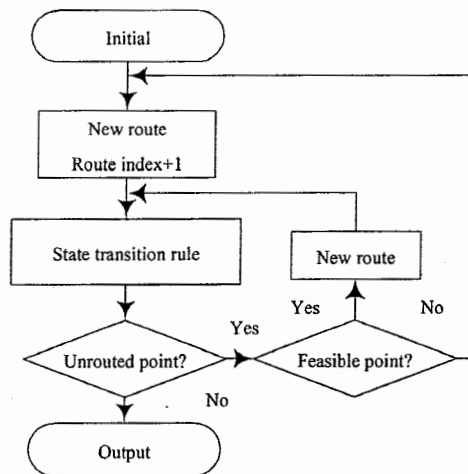
ภาพที่ 3.6 กำหนดรถเข้าประจำการที่ศูนย์กระจายสินค้ากลาง



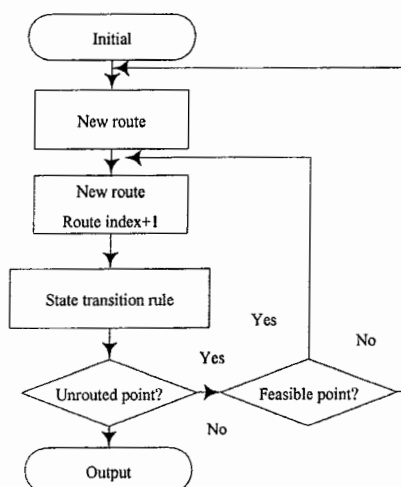
ภาพที่ 3.7 ขั้นตอนการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข

วิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข โดยการใช้วิธี MMAS มดจะทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของลูกค่าทุกรายที่อยู่ในบัญชีคู่แข่งกันที่มดยังไม่ได้เดินทางไปพบด้วยสมการที่ (3.1) จากนั้นมดจะทำการสุ่มเลือกลูกค่าแล้วคำนวณหาความจุสินค้าและระยะทางปัจจุบัน เพื่อมิให้การสร้างเส้นทางไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข

วิธีการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งจะมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี คือ แบบวิธีคู่ขนาน (Parallel method) หมายถึง การสร้างเส้นทาง โดยที่ใช้การสลับเปลี่ยนมดที่ประจำอยู่ที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางแต่ละแห่ง เมื่อสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งเสร็จสิ้นในหนึ่งเส้นทาง และอีกวิธีหนึ่งคือ แบบวิธีลำดับชั้น (Sequential method) หมายถึง การสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งของศูนย์กระจายสินค้ากลางแต่ละแห่งจนกว่าพาหนะขนส่งจะหมดลงแล้วจึงจะให้มดที่อยู่ศูนย์กระจายสินค้ากลางถัดไปสร้างเส้นทางได้ ดังในภาพที่ 3.8 3.9 และภาพที่ 3.10 แสดงรหัสเทียมการทำงานของมด



ภาพที่ 3.8 แบบวิธีคู่ขนาน (Parallel method)



ภาพที่ 3.9 แบบวิธีลำดับชั้น (Sequential method)

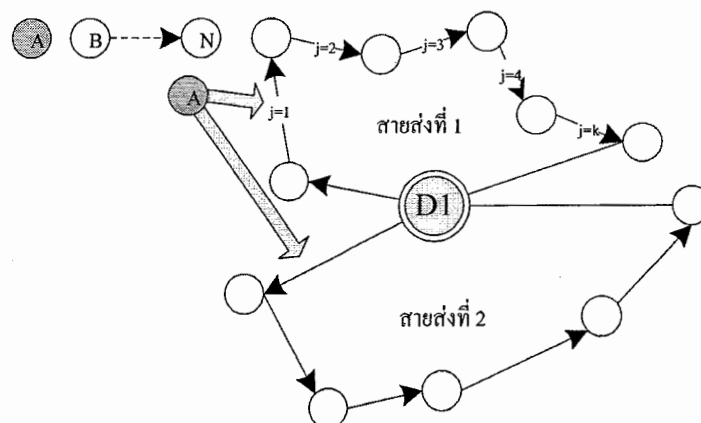
```

Procedure Active_ant.
/*Initialization*/
[1] Put ant  $k$  in the depot  $i$ ,  $Load_{v,k} = 0$ ,  $v = 0$ 
/*This is the step in which ant  $k$  builds its tour*/
/*Starting from node  $i$  compute the set  $N_i^k$  of feasible nodes (i.e., all the nodes  $j$  still to be visited and
such that  $Current\_Ant_{v,k}$  and  $Load_{v,k}$  are compatible and delivery quantity  $d_j$  */
[2] For each  $i \in N_i^k$ 
[3] Compute the attractiveness as follows:  $\eta_{ij} = 1/Dist_{ij}$ 
[4] Choose probabilistically the next node  $j$  using  $\eta_{ij}$  in exploration Eq.(3.1)
[6] If Capacity feasibility = True Then
[7] Current node:  $\omega^k \leftarrow \omega^k + \langle j \rangle$ 
[8] Route Length:  $L_k = L_k + d_j$ 
[9] If Selected_Node  $\langle j \rangle$  Depot Then
[10]  $Current\_Ant_{v,k} = Delivery\_demand_j$ 
[11]  $Load_{v,k} = Load_{v,k} + d_j$ 
[12] Return to the depot:  $v \leftarrow v + 1$ 
[13]  $Current\_Ant_{v,k} = 0, Load_{v,k} = 0$ 
[14] End if
[15] Else Return to the depot:  $v \leftarrow v + 1$ 
[16]  $Tempo\_actual_{v,k} = 0$ 
[17]  $Load_{v,k} = 0$ 
[18] End if
[19] End for
/*In this step path  $\omega^k$  is extended by tentatively inserting non visited customers*/
[20] Insertion_procedure( $\omega^k$ )
/*In this step feasible paths are optimized by a local search procedure */
[21] LocalSearch_procedure( $\omega^k$ )

```

ภาพที่ 3.10 รหัสเทียมของกลไกมดสร้างคำตอบเริ่มต้น

ถ้าหากขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์ตรวจสอบได้ว่าจำนวนของมดที่กำหนดใช้งานของแต่ละศูนย์กระจายสินค้าแต่ละแห่งถูกใช้งานไปจนหมดแล้ว แต่ยังมีลูกค้าหลงเหลืออยู่ในบัญชีคู่แข่ง ผู้วิจัยทำการประยุกต์วิธีการของ Toth และ Vigo (2002) สำหรับวิธีการแทรกลูกค้าไปในเส้นทางต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3.11 และภาพที่ 3.12 แสดงรหัสเทียมขั้นตอนของวิธีการแทรกลูกค้า



ภาพที่ 3.11 การใช้วิธีอินเสิร์จ (Insertion algorithm)

Efficient Insertion Heuristic procedure

```

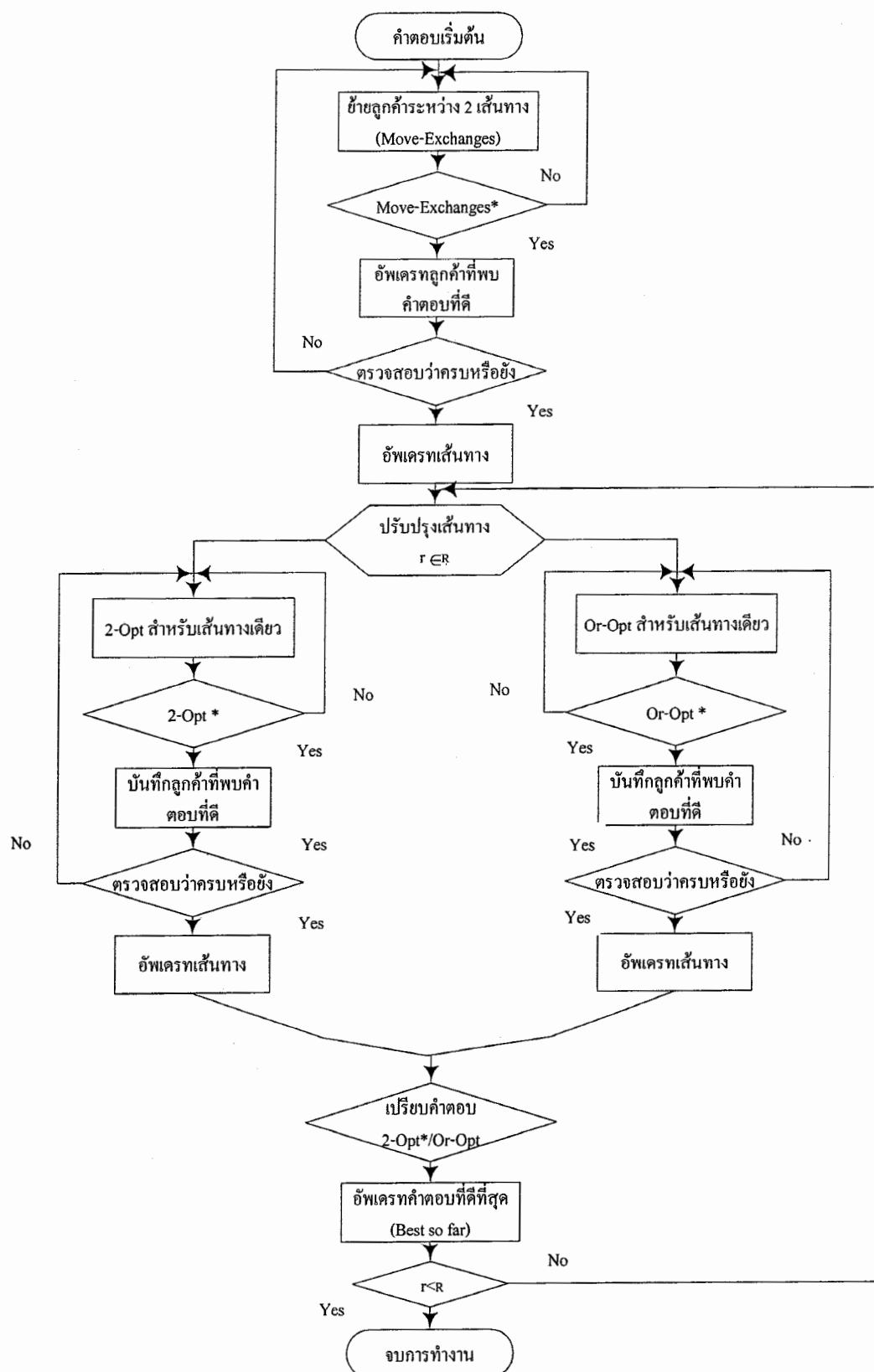
[1]   $N$  = Set of unassigned customers
[2]   $R$  = Set of routes that belong to  $\psi^k$ 
[3]  While  $N \neq \emptyset$  do
[4]     $Best\_Cost = \infty$ ;  $Route\_Updating = False$ 
[5]    For each  $j \in N$  do
[6]      For each  $r \in R$  do
[7]        If  $d_j \leq Q - Load_r$ , then
[8]          For each  $(i-1, i) \in r$ 
[9]            If  $C(i-1(j), j, i(j)) < Best\_Cost$  then
[10]              If  $e_j \leq l_j$  then
[11]                 $r^* \leftarrow r$ ;  $i^* \leftarrow i$ ;  $j^* \leftarrow j$ ;
[12]                 $Best\_Cost = C(i-1(j), j, i(j))$ 
[13]                 $Route\_Updating = True$ 
[14]              End if
[15]            End if
[16]          End for
[17]        End if
[18]      End for
[19]    If  $Route\_Updating = True$  then
[20]      Insert  $(i^*, j^*)$ :
[21]      Update  $r^*, Load_r, e_i, y_{ii} \forall i \in r^*$ 
[22]    Else
[23]      Add a new route:  $R \in R+1$ 
[24]      Insert  $j$  in the new route and update  $Load_r, e_j, y_{jj}$ 
[25]    End if
[26]  End for
[27] End while

```

ภาพที่ 3.12 รหัสเทียมวิธีอินเสิร์จ (Insertion algorithm)

3.4.2.2 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยด้วยวิธีโลคอลเสิร์จ

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยหรืออาจเรียกว่าเป็นวิธีหาคำตอบแบบ เนเบอร์ฮูด (Neighborhood search) หรือวิธีโลคอลเสิร์จ (Local Search) วิธีการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยจะเริ่มต้นจากผลเฉลยที่เป็นไปได้หรือผลเฉลยที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขแล้วใช้ขั้นตอนการกระทำซ้ำ (Iterative improvement) เพื่อพยายามหาผลเฉลยที่ดีกว่าผลเฉลย ณ เวลาปัจจุบันที่มีอยู่ ผู้วิจัยทำการประยุกต์การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยด้วยวิธีเทคนิคฮิวริสติกการค้นหา (Search algorithm) ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น วิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า (Move Exchanges) วิธี 2-Opt หรือวิธี Or-Opt ฮิวริสติกเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยโดยการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าในเส้นทางพาหนะขนส่งเดียวกันและระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่งหลังจากที่สร้างผลเฉลยเริ่มต้นจากวิธีระบบคดแบบแม็ก-มิน ขั้นตอนต่าง ๆ แสดงดังภาพที่ 3.13 และรหัสเทียมแสดงขั้นตอนการทำงานในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.13 เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย (Improvement solutions)

Local Search Procedure

```

[1]   For each Solution  $\psi^k$  : If  $L_k \leq L_{gb}$  Then
[2]       Do Until no more improvements can be found in  $L_k$ 
[3]           Initialize  $Best\_Saving = 0$ ,
[4]           Update False
[5]           Do Until stopping criterion = True
[6]               Construct a neighbor solution  $\omega_v^k$ 
[7]               Choose 2 routes that belong to  $\omega^k$  and use (Move-exchange)
[8]               Evaluate Capacity feasibility after having used Move-exchange
[9]               If Capacity feasibility = True Then
[10]                  Determine Saving: If  $Saving < Best\_Saving$  Then
[11]                      Check route length feasibility
[12]                      If route length feasibility = True Then
[13]                           $Best\_Saving = Saving$ ;
[14]                          Update = True End if
[15]                      End if
[16]                  End if
[17]              EndLoopDo
[18]          If Update = True Then
[19]              Update routes and load truck
[20]              Update current solution  $\omega^k \leftarrow \omega_v^k$ 
[21]          End if
[22]      EndLoopDo
[23]  End for

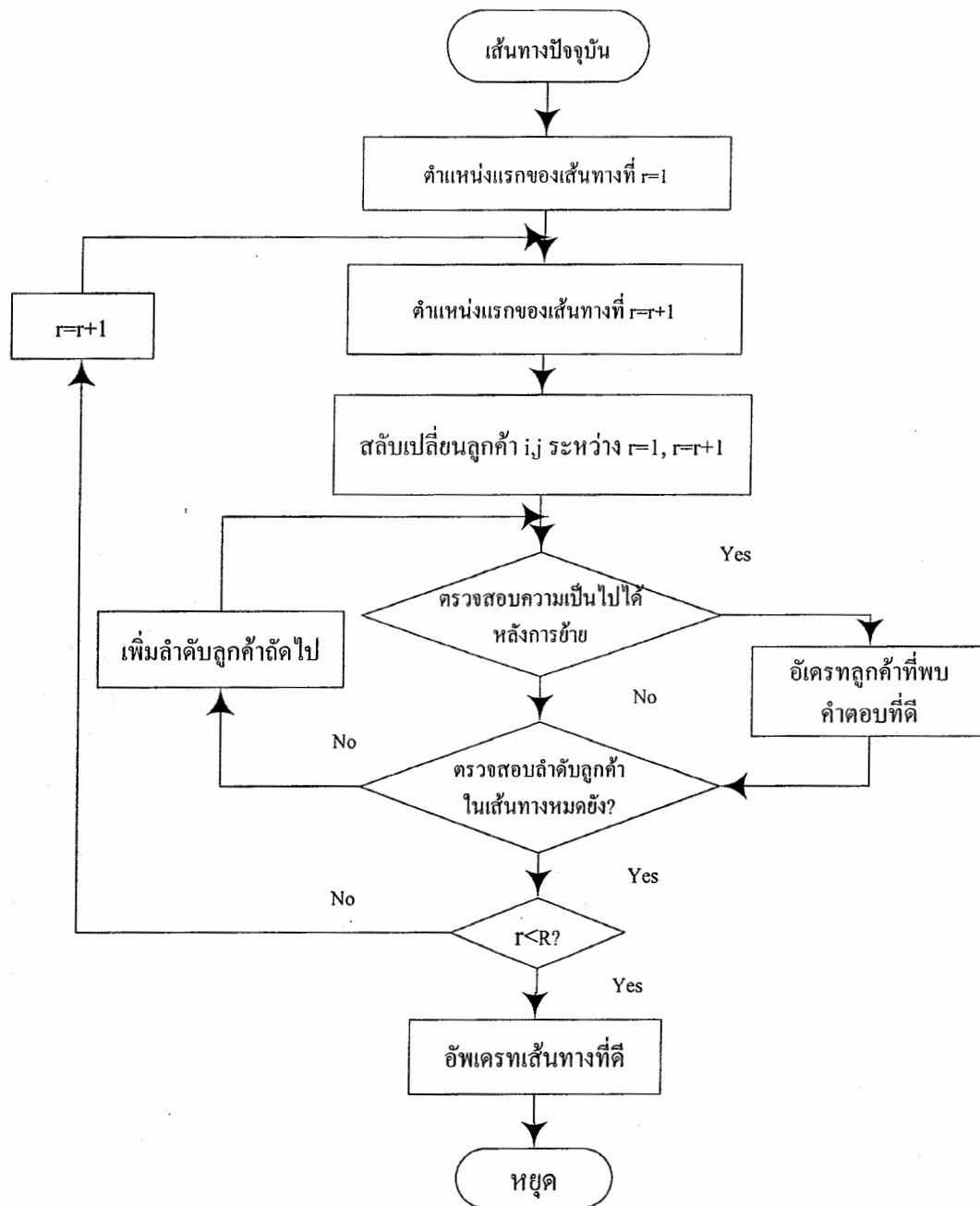
```

ภาพที่ 3.14 รหัสเทียมขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย

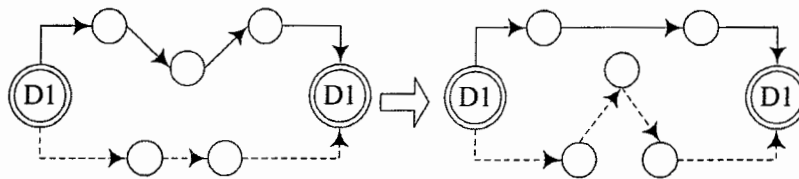
รายละเอียดของฮิวริสติกต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) วิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า (Move Exchanges) วิธีการการย้ายลูกค้า แสดงขั้นตอนของวิธีการในภาพที่ 3.15 โดยใช้ตัวดำเนินการการย้ายตำแหน่งลูกค้าแบบ (1, 0) หมายถึงการย้ายตำแหน่งลูกค้า 1 ราย จากเส้นทางพาหนะขนส่งหนึ่งไปยังอีกเส้นทางพาหนะขนส่งหนึ่ง โดยที่มีการย้ายแบบสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าภายในเส้นทางพาหนะขนส่งตัวเอง และระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่ง ดังแสดงในภาพที่ 3.16 เพื่อทำการเปลี่ยนแปลงผลเฉลยหนึ่งไปยังอีกผลเฉลยหนึ่งภายในเนเบอร์ฮูดเดียวกัน เพื่อให้สามารถค้นหาผลเฉลยที่ดีขึ้นกว่าผลเฉลยที่มีในปัจจุบัน

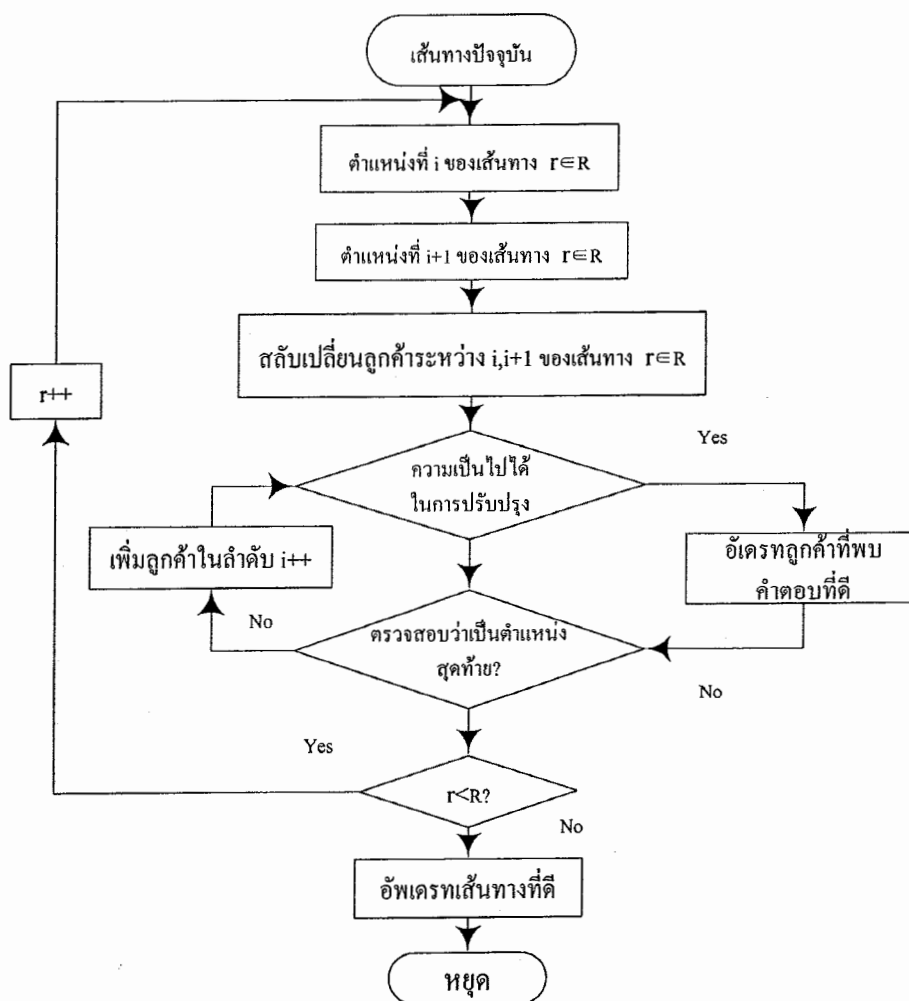
2) วิธี 2-Opt และวิธี Or-Opt ฮิวริสติก รายละเอียดของ 2-Opt และ Or-Opt อัลกอริทึมนี้จะทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า (Swap) ภายในเส้นทางพาหนะขนส่งเดียวกันและระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่งอื่นๆ ที่เป็นไปได้ โดยจะทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง ลูกค้า 2 ราย หรือ 2 ด้าน อาจจะเรียกชื่ออีกอย่างหนึ่งว่าแบบวิธี 2-Exchanges และ 3-Exchanges ขั้นตอนการทำงานของวิธีการ ดังแสดงในภาพที่ 3.17 3.18 และภาพที่ 3.19



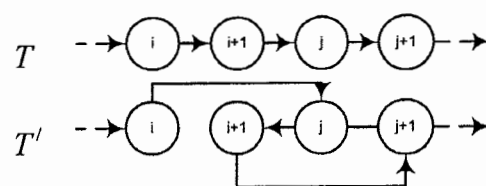
ภาพที่ 3.15 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแบบ Swap และ Move Operators



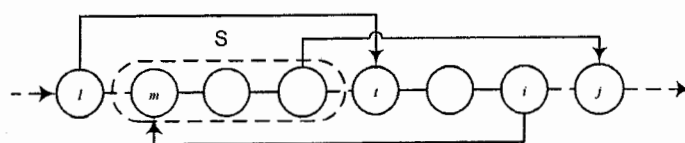
ภาพที่ 3.16 ตัวดำเนินการย้ายลูกค่าแบบ Move (1, 0)



ภาพที่ 3.17 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแบบวิธี 2-Opt */ Or-Opt Algorithm



ภาพที่ 3.18 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบแบบวิธี 2-opt อัลกอริทึม



$$\text{MoveCost} = d(l, t) + d(k, j) + d(i, m) - d(l, m) - d(k, t) - d(i, j)$$

(3.5)

ภาพที่ 3.19 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบแบบวิธี Or-opt อัลกอริทึม

3.4.2.3 การปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง (Global Update Rule)

รอบกระทำซ้ำหนึ่งๆ ผู้วิจัยได้นิยามให้อัลกอริทึมสร้างรอบกระทำซ้ำภายใน (Max internal loop) ขึ้นมาจำนวนหนึ่งที่ไม่มากเกินไปเพื่อให้มันจะสร้างชุดคู่แข่งชั้นผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Candidate solutions) ออกมา 1 ชุด โดยใช้หลักการเดียวกันกับวิธีของ Elitist ant เพื่อหาผลเฉลยที่ดีและนำไปสู่การหาค่าผลเฉลยที่ดีที่เหมาะสมยิ่งขึ้น ในที่นี้ผู้วิจัยนิยามให้อัลกอริทึมสร้างผลเฉลย ออกมา 10 ชุด อัลกอริทึมจะทำการค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุดจากชุดผลเฉลยทั้ง 10 ชุด โดยการเรียงลำดับของค่าฟิตเนสจากค่าฟิตเนสต่ำที่สุดไปจนกระทั่งค่าฟิตเนสที่มากที่สุด ค่าฟิตเนสที่ดีที่สุด คือ ผลเฉลยที่ให้ค่าฟิตเนสที่ต่ำที่สุดจะอยู่ในลำดับที่หนึ่งและเรียกคำตอบอันนี้ว่า “Iteration-Best” ซึ่งก็คือผลเฉลยที่ดีที่สุดของรอบการคำนวณและทำการค้นหาคำตอบที่ดีกว่า “Iteration-Best” เรียกว่า “Global-Best” ฉะนั้นในการปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง ในรอบกระทำซ้ำหนึ่งๆ จะทำการเพิ่มปริมาณฟีโรโมนให้แก่เส้นทางที่ดีที่สุดเท่านั้น โดยสมการเพิ่มปริมาณฟีโรโมนตามสมการที่ (3.6)

$$\tau(r,s) \rightarrow (1-\rho)\tau(r,s) + \rho\Delta\tau_k(r,s) \quad (3.6)$$

โดยที่

$$\Delta\tau(r,s) = \begin{cases} L_{gb} & \text{if } (r,s) \in \text{global-best-tour} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

ρ เป็นค่าพารามิเตอร์ ($0 \leq \rho \leq 1$)

นอกจากนั้นแล้วในการปรับฟีโรโมนแต่ละครั้งกับเส้นทางที่ดีที่สุด ค่า $\tau(r,s)$ จะต้องอยู่ในพิสัยที่ควบคุมไว้ดังนี้ ถ้า $\tau(r,s) > \tau_{Max}$ กำหนดให้ $\tau(r,s) = \tau_{Max}$ ถ้า $\tau(r,s) < \tau_{Min}$ กำหนดให้ $\tau(r,s) = \tau_{Min}$ โดยที่ค่าของ L_{gb} เป็นค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Iteration-Best และ Global-Best ที่ให้ระยะทางของเส้นทางวงปิดที่ดีที่สุด (Globally Best Tour) นั้นก็หมายความว่า ตั้งแต่เริ่มต้นเส้นทางใดที่ให้ค่าระยะทางที่สั้นที่สุดเท่าที่หาได้ ค่านี้จะให้เป็น L_{gb} และถ้าค้นพบค่าใหม่ที่ให้ค่าระยะทางที่สั้นกว่าก็จะทำการเปลี่ยนค่าที่พบใหม่นี้แทนใน L_{gb} ทันที

3.4.3 ตัวอย่างขั้นตอนการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง โดยใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน (MAX-MIN Ant System; MMAS)

ตัวอย่างขั้นตอน โดยใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มินเพื่อความเข้าใจในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง เช่น องค์การธุรกิจมีศูนย์กระจายสินค้ากลางอยู่ 2 แห่ง ลูกค้านี้จำนวน 8 ราย กำหนดให้โหนดที่ 1 ถึงโหนดที่ 8 คือ

โหนดของลูกค้า (A,B,...,H) และโหนดของศูนย์กระจายสินค้ากลางมีสองโหนด คือโหนดที่ D1 และโหนดที่ D2 กำหนดให้ขนาดการบรรทุกสินค้าของพาหนะขนส่งสูงสุดเท่ากับ $Q_k = 50$ หน่วย ข้อมูลต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 ระยะทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากลางที่ 1 กับลูกค้า 8 ราย

ศูนย์กระจายสินค้า		ชื่อลูกค้าหรือเมือง								ความต้องการสินค้า (d_i)
ระยะทาง	D1	A	B	C	D	E	F	G	H	
D1	0									∞
A	1.2	0								10
B	0.6	0.7	0							7
C	0.6	0.7	0.2	0						13
D	1.1	0.5	0.4	0.5	0					19
E	1.2	0.6	0.6	0.6	0.3	0				26
F	0.5	0.7	0.5	0.5	0.6	0.7	0			3
G	1.1	1.6	1.2	1.2	1.4	1.4	0.9	0		5
H	0.5	1.4	1.0	1.0	1.1	1.3	0.6	0.7	0	9

ตารางที่ 3.2 ระยะทางระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากลางที่ 2 กับลูกค้า 8 ราย

ศูนย์กระจายสินค้า		ชื่อลูกค้าหรือเมือง								ความต้องการสินค้า (d_i)
ระยะทาง	D2	A	B	C	D	E	F	G	H	
D2	0									∞
A	0.5	0								10
B	0.4	0.7	0							7
C	0.5	0.7	0.2	0						13
D	0.5	0.5	0.4	0.5	0					19
E	0.3	0.6	0.6	0.6	0.3	0				26
F	0.6	0.7	0.5	0.5	0.6	0.7	0			3
G	1.4	1.6	1.2	1.2	1.4	1.4	0.9	0		5
H	1.1	1.4	1.0	1.0	1.1	1.3	0.6	0.7	0	9

3.4.3.1 วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน (MAX-MIN Ant System: MMAS)

วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน (MMAS) เมื่อนำมาใช้ประโยชน์ต่อการแก้ปัญหา MDVRP กำหนดให้ตัวแปรที่ใช้บนแต่ละเส้นเชื่อม (r, s) ดังนี้

$\delta(r, s)$ คือ ระยะทางที่เดินจากเมือง r ไปยังเมือง s

$\tau(r, s)$ คือ ฟิโรโมนบนเส้นทางที่เดินจากเมือง r ไปยังเมือง s

η คือ ค่าส่วนกลับระยะทาง โดยคำนวณจากค่า $1/\delta$

$p_k(s)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นของเมือง s

$p_k(s) / \sum p_k(s)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นสะสมของแต่ละเมือง

ที่โอกาสของมดตัวที่ k จะเดินจากเมือง r ไปยังเมือง s

เมื่อใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มินแก้ปัญหา MDVRP แบบระยะทางสมมาตร เท่ากับ $\delta(r, s) = \delta(s, r)$ และ $\tau(r, s) = \tau(s, r)$ ซึ่งอธิบายโดยย่อได้ว่า วิธีระบบมดแบบแม็ก-มินมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ คือ มดแต่ละตัวจะทำการเลือกเมืองที่จะเดินทางต่อไปตามกฎเปลี่ยนสถานะ ซึ่งกฎนี้จะให้ค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเมืองว่าน่าจะมีค่าเท่าใด แน่นอนว่าเมืองทั้งหมดที่มดจะทำการเลือกนี้ย่อมมีความน่าจะเป็นมากน้อยแตกต่างกันออกไป เมืองใดที่มีค่าความน่าจะเป็นสูงย่อมมีโอกาสในการถูกเลือกสูงกว่าเมืองที่มีค่าความน่าจะเป็นต่ำ

3.4.3.2 การสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Generation Initial Solutions)

การสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของปัญหา MDVRP โดยจะใช้กฎเปลี่ยนสถานะของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ซึ่งกฎเปลี่ยนสถานะนี้มีชื่อเรียกว่า “Random-Proportional Rule” กำหนดไว้ตามสมการที่ (3.1) การสร้างผลเฉลยเริ่มต้นสำหรับสถานการณ์ปัญหา MDVRP สมมติว่าให้มดเริ่มสร้างผลเฉลย (เส้นทางพาหนะขนส่งหรือสายส่ง) แบบลำดับขั้น (Sequential method) โดยที่มดจะเริ่มสร้างเส้นทางสำหรับสายส่งให้กับศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 ก่อนเป็นลำดับแรก ดังนั้นจะกำหนดให้มดตัวที่ 1 อยู่ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 คือที่โหนด D_1 และสมมติว่าใช้ฟิโรโมนเริ่มต้น $\tau(r, s)$ เท่ากับ 0.5 ในทุก ๆ เส้นเชื่อมและกำหนดให้ใช้มดจำนวน 2 ตัว

ฉะนั้นมดตัวที่ 1 จะทำการพิจารณาเมืองที่เหลืออยู่ทั้งหมดที่อยู่ในบัญชีคู่แข่งที่มดมันยังไม่เคยเดินทางไป กล่าวคือ $J_k(D_1) = \{A, B, C, D, E, F, G, H\}$ จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเมืองทั้งหมดนี้ จากผลคูณระหว่างค่าฟิโรโมนกับค่าส่วนกลับระยะทางยกกำลังเบต้าระหว่างศูนย์กระจายสินค้า D_1 กับเมืองที่สนใจจะหาค่าหารด้วยผลรวมของผลคูณระหว่างค่าฟิโรโมนกับค่าส่วนกลับระยะทางยกกำลังเบต้าระหว่างเมือง D_1 กับเมืองที่ยังไม่ได้เดินทางไปทั้งหมด การคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในขั้นตอนปรก แสดงได้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมคในรอบที่ 1 ของสายส่งที่ 1

เมือง	$(r(r,s))$	$(\delta(r,s))$	$(\eta = 1/\delta)$	$(p_k(s))$	$(p_k(s)/\sum p_k(s))$
A	0.5	1.20	0.83	0.35	0.04
B	0.5	0.60	1.67	1.39	0.17
C	0.5	0.60	1.67	1.39	0.17
D	0.5	1.10	0.91	0.41	0.05
E	0.5	1.20	0.83	0.35	0.04
F	0.5	0.50	2.00	2.00	0.24
G	0.5	1.10	0.91	0.41	0.05
H	0.5	0.50	2.00	2.00	0.24
				$\sum p_k(s) = 8.30$	$\sum p_k(r,s) = 1.00$

จากตารางที่ 3.3 การคำนวณในรอบที่ 1 ของมคตัวที่ 1 พบว่าโอกาสที่มค จะทำการเลือกเมืองที่จะเดินทางต่อไปตามกฎเปลี่ยนสถานะ คือ เมือง F และเมือง H เนื่องจากว่ามีค่า ความน่าจะเป็นสูงและย่อมมีโอกาสในการถูกเลือกสูงกว่าเมืองอื่นๆ และสมมติว่าในครั้งแรกของการสุ่มเลือก มคเลือกได้เมือง F ฉะนั้นเส้นทางของพาหนะขนส่งในรอบการคำนวณนี้ จะได้ดัง ตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 1 ของมคตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1

สายส่งที่: 1	D ₁ -	F-	-	-	-	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	-	-	-	0.5
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	3	-	-	-	3

จากนั้นตรวจสอบดูว่ามคยังสามารถเดินทางต่อไปยังเมืองอื่น ๆ ได้อีกหรือไม่ โดยดูจากจำนวนสะสมของสินค้าที่บรรจุในพาหนะขนส่ง ว่าเกินข้อกำหนดหรือไม่ ในกรณีนี้จำนวนสะสมสินค้าของสายส่งที่ 1 มีเพียง 3 หน่วย เท่านั้น ซึ่งยังไม่เกินข้อกำหนด แสดงว่ามคตัวที่ 1 สามารถเดินทางต่อไปได้อีก ฉะนั้นจึงเริ่มทำการคำนวณหาค่าความจะเป็นใหม่ โดยที่ตัดลูกค้าที่อยู่เมือง F ออก จะเหลือลูกค้าเพียง 7 ราย และคำนวณใหม่ได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมคในรอบที่ 2 ของสายส่งที่ 1

เมือง	$(r(s))$	$(\delta(r,s))$	$(\eta = 1/\delta)$	$(p_k(s))$	$(p_k(s)/\sum p_k(s))$
A	0.5	1.2	0.833	0.347	0.055
B	0.5	0.6	1.667	1.389	0.221
C	0.5	0.6	1.667	1.389	0.221
D	0.5	1.1	0.909	0.413	0.066
E	0.5	1.2	0.833	0.347	0.055
G	0.5	1.1	0.909	0.413	0.066
H	0.5	0.5	2.000	2.000	0.318
				$\sum p_k(s) = 6.299$	$\sum p_k(r,s) = 1.000$

จากตารางที่ 3.5 การคำนวณในรอบที่ 2 ของมคตัวที่ 1 พบว่าโอกาสที่มค จะทำการเลือกเมืองที่จะเดินทางต่อไปตามกฎเปลี่ยนสถานะ คือ เมือง H เนื่องจากว่ามีค่าความน่าจะเป็นสูงกว่าเมืองอื่น ๆ และสมมติว่าในรอบการคำนวณครั้งที่สองนี้ มคสุ่มเลือกได้เมือง H ฉะนั้น เส้นทางพาหนะขนส่งที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 2 ของมคตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1

สายส่งที่ 1	D ₁ -	F-	H-	-	-	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.6	-	-	1.1
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	3	9	-	-	12

จากนั้นทำการตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อดูว่ามคยังสามารถต่อไปยังเมืองอื่น ๆ ได้อีกหรือไม่ โดยดูจากจำนวนสะสมของสินค้าที่บรรจุในพาหนะขนส่ง ในกรณีนี้จำนวนสะสมสินค้าของสายส่งเพิ่มขึ้นเป็น 12 หน่วย และยังไม่เกินข้อกำหนด แสดงว่ามคตัวที่ 1 สามารถเดินทางต่อไปได้จากนั้นก็ทำการสามารถคำนวณหาค่าความจะเป็นใหม่ โดยตัดลูกค้าที่อยู่เมือง H ออก จะเหลือลูกค้าเพียง 6 ราย และการคำนวณในรอบใหม่ ได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 3 ของสายส่งที่ 1

เมือง	$(\tau(r, s))$	$(\delta(r, s))$	$(\eta = 1/\delta)$	$(p_k(s))$	$(p_k(s)/\sum p_k(s))$
A	0.5	1.2	0.833	0.347	0.081
B	0.5	0.6	1.667	1.389	0.323
C	0.5	0.6	1.667	1.389	0.323
D	0.5	1.1	0.909	0.413	0.096
E	0.5	1.2	0.833	0.347	0.081
G	0.5	1.1	0.909	0.413	0.096
				$\sum p_k(s) = 4.299$	$\sum p_k(r, s) = 1.000$

จากตารางในตารางที่ 3.7 ข้อมูลการคำนวณ พบว่าโอกาสที่มดจะทำการสุ่มเลือกเมืองที่จะเดินทางต่อไป คือ เมือง B และเมือง C เนื่องจากมีค่าความน่าจะเป็นสูงทั้งคู่และย่อมมีโอกาสในการถูกเลือกสูงกว่าเมืองอื่น ๆ และสมมติว่าในรอบการคำนวณครั้งที่สามนี้ มดสุ่มเลือกได้เมือง C ฉะนั้นเส้นทางพาหนะขนส่ง ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 3 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1

สายส่งที่ 1	D ₁ -	F-	H-	C-	-	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.6	1.0	-	1.1
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	3	9	-	-	25

จากนั้นตรวจสอบดูว่ามดยังสามารถต่อไปยังเมืองอื่น ๆ ได้อีกหรือไม่ ในกรณีนี้จำนวนสะสมสินค้าของสายส่งเพิ่มขึ้นอีกเป็น 25 หน่วย และยังไม่เกินข้อกำหนด แสดงว่ามดตัวที่ 1 สามารถเดินทางต่อไปได้จากนั้นทำการคำนวณในรอบใหม่ ได้ดังตารางที่ 3.9 โดยตัดลูกค้าที่อยู่เมือง C ออกไป

ตารางที่ 3.9 คำนวณค่าความน่าจะเป็นในสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมคในรอบที่ 4 ของสายส่งที่ 1

เมือง	$(\tau(r,s))$	$(\delta(r,s))$	$(\eta=1/\delta)$	$(p_k(s))$	$(p_k(s)/\sum p_k(s))$
A	0.5	1.2	0.833	0.347	0.119
B	0.5	0.6	1.667	1.389	0.477
D	0.5	1.1	0.909	0.413	0.142
E	0.5	1.2	0.833	0.347	0.119
G	0.5	1.1	0.909	0.413	0.142
				$\sum p_k(s)=2.910$	$\sum p_k(r,s)=1.000$

จากตารางที่ 3.9 ข้อมูลการคำนวณ พบว่าโอกาสที่มคจะทำการสุ่มเลือกเมืองที่จะเดินทางต่อไป คือ เมือง B เนื่องจากว่ามีค่าความน่าจะเป็นสูงและสมมติว่าในรอบการคำนวณครั้งที่สี่นี้ มคสุ่มเลือกได้เมือง B เส้นทางพาหนะขนส่ง ที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 4 ของมคตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1

สายส่งที่ 1	D ₁ -	F-	H-	C-	B-	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.6	1.0	0.2	1.3
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	3	9	13	7	32

จากนั้นตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งเพื่อดูว่ามคยังสามารถต่อไปยังเมืองอื่น ๆ ได้อีกหรือไม่ ในกรณีนี้จำนวนสะสมสินค้าของสายส่งเพิ่มขึ้นเป็น 32 หน่วย ซึ่งยังไม่เกินข้อกำหนด แสดงว่ามคตัวที่ 1 สามารถเดินทางต่อไปได้การคำนวณในรอบที่ 5 ได้ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 คำนวณค่าความน่าจะเป็นสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมคในรอบที่ 5 ของสายส่งที่ 1

เมือง	$(\tau(r,s))$	$(\delta(r,s))$	$(\eta=1/\delta)$	$(p_k(s))$	$(p_k(s)/\sum p_k(s))$
A	0.5	1.2	0.833	0.347	0.228
D	0.5	1.1	0.909	0.413	0.272
E	0.5	1.2	0.833	0.347	0.228
G	0.5	1.1	0.909	0.413	0.272
				$\sum p_k(s)=1.521$	$\sum p_k(r,s)=1.000$

จากตารางที่ 3.5 ข้อมูลการคำนวณ พบว่าโอกาสที่มดจะทำการเลือกเมือง D และเมือง G เนื่องจากว่ามีค่าความน่าจะเป็นสูงและสมมติว่าในรอบการคำนวณครั้งที่ห้านี้ มดสุ่มเลือกได้เมือง D เส้นทางพาหนะขนส่งที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 5 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1

สายส่งที่ 1	D ₁ -	F-	H-	C-	B-	D-	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.6	1.0	0.2	1.4	3.7
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	3	9	13	7	19	51

จากข้อมูลของสายส่งในตารางที่ 3.12 พบว่าจำนวนสะสมของสินค้าที่บรรจุในพาหนะขนส่งเกินข้อกำหนด ในกรณีนี้จำนวนสะสมสินค้าของสายส่งเพิ่มขึ้นเป็น 51 หน่วย แต่พาหนะขนส่งสามารถบรรจุสินค้าได้สูงสุดในแต่ละเส้นทางเพียง 50 หน่วยเท่านั้น ฉะนั้นเมืองที่สามารถเดินทางต่อจากเมือง B ได้นั้นจะต้องมีจำนวนสินค้าไม่เกิน 18 หน่วยเท่านั้น จึงจะถือว่าไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข ดังนั้นในรอบการคำนวณครั้งนี้ ถ้ามดจะต้องทำการสุ่มเลือกได้เมือง D จะถือว่าขัดแย้งกับเงื่อนไข ฉะนั้นมดจะต้องทำการสุ่มเลือกเมืองอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะต้องไม่ใช่เมือง D และโอกาสที่มดจะสุ่มเลือกได้เมือง G ก็ย่อมมีโอกาสที่สูงเพราะมีค่าความน่าจะเป็นที่สูงรองจากเมือง D และสมมติให้การสุ่มเลือกในครั้งนี้อัดเลือกได้เมือง G ที่มีจำนวนสินค้าเพียง 5 หน่วยและไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข ฉะนั้นเส้นทางของสายส่งที่ได้ ดังในตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 5 ของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1

สายส่งที่ 1	D ₁ -	F-	H-	C-	B-	G-	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.6	1.0	0.2	1.2	3.5
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	3	9	13	7	5	37

จากนั้นตรวจสอบดูว่ามดยังสามารถต่อไปยังเมืองอื่น ๆ ได้อีกหรือไม่ ในกรณีนี้จำนวนสะสมสินค้าของสายส่งที่ 1 เท่ากับ 37 หน่วย ซึ่งยังไม่เกินข้อกำหนด แต่พื้นที่ว่างสำหรับการบรรจุสินค้าที่เหลือเพียง 13 หน่วย และจำนวนของเมืองที่เหลือที่มดยังไม่ได้เดินทางไปพบ คือ $J_k(G) = \{A, D, E\}$ จำนวนสินค้าของแต่ละเมืองต้องการสินค้า คือ 10, 19 และ 26 หน่วย ตามลำดับ แสดงว่ามดยังสามารถเดินทางต่อไปได้สำหรับสายส่งที่ 1 จำนวนในรอบที่ 6 จำนวนได้ ดังตารางที่ 3.14

ตารางที่ 3.14 จำนวนค่าความน่าจะเป็นสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมคในรอบที่ 6 ของสายส่งที่ 1

เมือง	$(r(r,s))$	$(\delta(r,s))$	$(\eta = 1/\delta)$	$(p_k(s))$	$(p_k(s)/\sum p_k(s))$
A	0.5	1.2	0.833	0.347	0.313
D	0.5	1.1	0.909	0.413	0.373
E	0.5	1.2	0.833	0.347	0.313
				$\sum p_k(s) = 1.108$	$\sum p_k(r,s) = 1.000$

จากตารางที่ 3.14 ข้อมูลของสายส่งที่ผ่านมา พบว่าจำนวนสะสมของสินค้าที่จะบรรจุสินค้าในพาหนะขนส่งได้และไม่เกินข้อกำหนดนั้นจะต้องมีจำนวนสินค้าเพียง 18 หน่วยเท่านั้น จึงจะถือว่าไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข ดังนั้นในครั้งนี้นักจะมีโอกาสที่จะเลือกเมือง A เท่านั้นจึงจะถือว่าไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข และสมมติให้การสุ่มเมืองของมคสุ่มเลือกได้เมือง A ฉะนั้นเส้นทางของสายส่งที่ได้ ดังในตารางที่ 3.15

ตารางที่ 3.15 เส้นทางพาหนะขนส่งในรอบที่ 6 ของมคตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1

สายส่งที่ 1	D ₁ -	F-	H-	C-	B-	G-	A-	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.6	1.0	0.2	1.2	1.6	5.1
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	3	9	13	7	5	10	47

จากตารางที่ 3.16 แน่นอนว่าการแสดงสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมคในรอบที่ 6 ของสายส่งที่ 1 จำนวนของเมืองที่เหลือที่มคยังไม่ได้เดินทางไปพบ คือ $J_k(A) = \{D, E\}$ จำนวนสินค้าที่แต่ละเมืองต้องการ คือ 19 และ 26 หน่วย ตามลำดับ แสดงว่ามคไม่สามารถเดินทางต่อไปยังเมืองต่าง ๆ เหล่านั้นได้อีกแล้ว เนื่องจากว่าจะขัดแย้งกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ สำหรับสายส่งที่ 1 ดังนั้นจะต้องให้มคตัวถัดไป คือ มคตัวที่ 1 ประจำอยู่ศูนย์กระจายสินค้าที่ D₂ มาทำงานแทน ฉะนั้นเส้นทางของสายส่งของศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 ที่สมบูรณ์แสดงได้ดังตารางที่ 3.16

ตารางที่ 3.16 เส้นทางพาหนะขนส่งของมคตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 ที่สมบูรณ์

สายส่งที่ 1	D ₁ -	F-	H-	C-	B-	G-	A-	D ₁	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.6	1.0	0.2	1.2	1.6	1.2	6.3
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	3	9	13	7	5	10	0	47

สำหรับเส้นทางพาหนะขนส่งสินค้าที่ 1 ของศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 นั้น จะใช้ระยะทางการขนส่งเท่ากับ 6.3 หน่วย และมีสินค้าที่จะต้องลำเลียงในพาหนะขนส่งเท่ากับ 47 หน่วย ต่อจากนั้นก็จะให้หาค่าที่อยู่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 2 ที่อยู่ถัดไปทำการคำนวณเพื่อสร้างผลเฉลยเริ่มต้น ดังการแสดงผลสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 1 ของสายส่งที่ 2 คำนวณได้ดังตารางที่ 3.17

ตารางที่ 3.17 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นสร้างผลเฉลยเริ่มต้นของมดในรอบที่ 1 ของสายส่งที่ 2

เมือง	$(\tau(r, s))$	$(\delta(r, s))$	$(\eta = 1/\delta)$	$(p_k(s))$	$(p_k(s) / \sum p_k(s))$
D	0.5	0.5	2.000	2.000	0.265
E	0.5	0.3	3.333	5.556	0.735
				$\sum p_k(s) = 7.556$	$\sum p_k(r, s) = 1.000$

จากตารางที่ 3.17 ข้อมูลการคำนวณพบว่าโอกาสที่มดจะทำการสุ่มเลือกเมืองที่จะเดินทางต่อไปตามกฎเปลี่ยนสถานะ คือ เมือง E เนื่องจากว่ามีค่าความน่าจะเป็นสูงย่อมมีโอกาสในการถูกเลือกสูงกว่าเมือง D และสมมติให้มดเลือกได้เมือง D และตามด้วยเมือง E ฉะนั้นเส้นทางพาหนะขนส่งที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.18 เส้นทางพาหนะขนส่งของมดตัวที่ 1 ที่ศูนย์กระจายสินค้าที่ 2 ที่สมบูรณ์

สายส่งที่ 1	D ₂ -	D-	E-	D ₁	-	-	-	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.3	0.3	-	-	-	1.1
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	19	26	0	-	-	-	45

ดังนั้นสำหรับเส้นทางพาหนะขนส่งสินค้าที่ 1 ของศูนย์กระจายสินค้าที่ 2 นั้น จะเห็นได้ว่าลูกค้าทุกเมืองถูกจัดสรรให้กับศูนย์กระจายสินค้ากลางทั้งสองจนหมดโดยที่ไม่เหลือลูกค้าอยู่ในบัญชีคู่แข่ง ฉะนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการแทรกหรือหากจะใช้วิธีการแทรกได้ในกรณีที่มีลูกค้าเหลืออยู่และจำนวนของมดที่ใช้งานหมดลงแล้วเท่านั้น จากวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้นเป็นการแสดงวิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นโดยวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ผลเฉลยเริ่มต้นที่ได้จะใช้ระยะทางการขนส่งโดยรวม เท่ากับ 8.2 หน่วยระยะทาง และมีสินค้าที่จะต้องลำเลียงในพาหนะขนส่งเท่ากับ 92 หน่วย และโดยที่มีสายส่งจำนวนสองเส้นทางพาหนะขนส่ง ดังในตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 เส้นทางพาหนะขนส่งของศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 และศูนย์กระจายสินค้าที่ 2

สายส่งที่ 1	D ₁ -	F-	H-	C-	B-	G-	A-	D ₁	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.6	1.0	0.2	1.2	1.6	1.2	6.3
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	3	9	13	7	5	10	0	47
สายส่งที่ 2	D ₂ -	D-	E-	D ₂	-	-	-	-	รวม
ระยะทาง (หน่วยระยะทาง)	0	0.5	0.3	0.3	-	-	-	-	1.1
จำนวนสินค้า (หน่วยสินค้า)	0	19	26	0	-	-	-	-	45

หลังจากมคอทุกตัวสร้างผลเฉลยเริ่มต้นเสร็จสิ้น ผู้วิจัยทำการประยุกต์ใช้ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย ด้วยการใช้เทคนิคฮิวริสติกการค้นหา (Search algorithm) ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น วิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า (Move Exchanges) และวิธี 2-Opt หรือวิธี Or-Opt ฮิวริสติก สำหรับในแต่ละเส้นทางพาหนะขนส่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย

3.4.3.3 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของผลเฉลย

ขั้นตอนการย้ายตำแหน่งลูกค้า (Move Exchanges) วิธีการการย้ายตำแหน่งลูกค้านี้ กระทำได้โดยใช้ตัวดำเนินการการย้ายตำแหน่งลูกค้าแบบ (1,0) ซึ่งหมายถึง การย้ายตำแหน่งลูกค้าแบบ 1 ราย จากเส้นทางพาหนะขนส่งเดียวกันและระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่ไม่มีการย้ายแบบสลับกัน มีการย้ายออกจากตำแหน่งเดิมเพื่อไปหาที่แทรกในตำแหน่งที่ดีที่สุด กรณีที่มีลำดับการย้ายได้ คำนวณได้จากสมการที่ (3.7)

$$n_c = \frac{n(n-1)}{2} \quad (3.7)$$

n_c = จำนวนของกรณีที่สามารถย้ายลูกค้าได้

n = จำนวนโหนดลูกค้าที่อยู่ในเส้นทางพาหนะขนส่ง

สำหรับเส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1 มีลูกค้า 6 ราย กรณีที่จะการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยเริ่มต้นแบบการย้ายลูกค้าด้วยตัวดำเนินการแบบ (1,0) คำนวณได้ดังนี้

$$n_c = \frac{6(6-1)}{2} \quad \therefore n_c = 15 \text{ กรณี}$$

รายละเอียดของขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยเริ่มต้นของสายส่งที่ 1 และสายส่งที่ 2 ดังแสดงในตารางที่ 3.20 และตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.20 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยการย้ายตำแหน่งลูกค้าภายในเส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1

ลำดับ		เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1	ระยะทาง	ระยะทาง รวม
	เส้นทางปัจจุบัน	$D_1-F-H-C-B-G-A-D_1$	$0.5+0.6+1.0+0.2+1.2+1.6+1.2$	6.3
1	กรณีที่ย้ายลูกค้า F	$D_1-H-\underline{F}-C-B-G-A-D_1$	$0.5+0.6+0.5+0.2+1.2+1.6+1.2$	5.8
2		$D_1-H-C-\underline{F}-B-G-A-D_1$	$0.5+1.0+0.5+0.5+1.2+1.6+1.2$	6.5
3		$D_1-H-C-B-\underline{F}-G-A-D_1$	$0.5+1.0+0.2+0.5+0.9+1.6+1.2$	5.9
4		$D_1-H-C-B-G-\underline{F}-A-D_1$	$0.5+1.0+0.2+1.2+0.9+0.7+1.2$	5.7
5		$D_1-H-C-B-G-A-\underline{F}-D_1$	$0.5+1.0+0.2+1.2+0.9+0.7+0.5$	5.0
6	กรณีที่ย้ายลูกค้า H	$D_1-F-C-\underline{H}-B-G-A-D_1$	$0.5+0.5+1.0+1.0+1.2+1.6+1.2$	7.0
7		$D_1-F-C-B-\underline{H}-G-A-D_1$	$0.5+0.5+0.2+1.0+0.7+1.6+1.2$	5.7
8		$D_1-F-C-B-G-\underline{H}-A-D_1$	$0.5+0.5+0.2+1.0+0.7+1.4+1.2$	5.5
9		$D_1-F-C-B-G-A-\underline{H}-D_1$	$0.5+0.5+0.2+1.0+0.7+1.4+0.5$	4.8**
10	กรณีที่ย้ายลูกค้า C	$D_1-F-H-B-C-G-A-D_1$	$0.5+0.6+1.0+0.2+1.2+1.6+1.2$	6.3
11		$D_1-F-H-B-G-\underline{C}-A-D_1$	$0.5+0.6+1.0+1.2+1.2+0.7+1.2$	6.4
12		$D_1-F-H-B-G-A-\underline{C}-D_1$	$0.5+0.6+1.0+1.2+1.6+0.7+0.6$	6.2
13	กรณีที่ย้ายลูกค้า B	$D_1-F-H-C-G-\underline{B}-A-D_1$	$0.5+0.6+1.0+1.2+1.2+0.7+1.2$	6.4
14		$D_1-F-H-C-G-A-\underline{B}-D_1$	$0.5+0.6+1.0+1.2+1.6+0.7+0.6$	6.2
15	กรณีที่ย้ายลูกค้า G	$D_1-F-H-C-B-A-\underline{G}-D_1$	$0.5+0.6+1.0+0.2+0.7+1.6+1.1$	5.7

ตารางที่ 3.21 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยการย้ายตำแหน่งลูกค้าภายในเส้นทางพาหนะขนส่งที่ 2

ลำดับ		เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1	ระยะทาง	ระยะทาง รวม
	เส้นทางปัจจุบัน	$D_2-D-E-D_2$	$0.5+0.3+0.3$	1.1
1	กรณีที่ย้ายลูกค้า D	$D_2-E-\underline{D}-D_2$	$0.3+0.3+0.5$	1.1

จากตารางที่ 3.20 และตารางที่ 3.21 พบว่าเส้นทางพาหนะขนส่งอันใหม่สามารถให้ผลเฉลยได้ดีกว่าผลเฉลย ณ ปัจจุบันที่ได้จากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน ฉะนั้นจะแทนผลเฉลยอันใหม่แทนอันใหม่ กล่าวคือ เส้นทางพาหนะขนส่ง จะได้ดังตารางที่ 3.22

ตารางที่ 3.22 ผลเฉลยหลังจากการใช้ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย โดยการย้ายตำแหน่ง ลูกค้ำภายในเส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1 และเส้นทางที่ 2

ลำดับของเส้นทางพาหนะขนส่ง	ลำดับลูกค้ำ	ระยะทาง	ระยะทางรวม
เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1	D_1 -F-C-B-G-A-H- D_1	$0.5+0.5+0.2+1.0+0.7+1.4+0.5$	4.8
เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 2	D_2 -E-D- D_2	$0.3+0.3+0.5$	1.1
ระยะทางโดยรวม			5.9

หลังจากการผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยการย้ายตำแหน่ง ลูกค้ำภายในเส้นทางพาหนะขนส่งแล้วยังสามารถนำผลเฉลยที่ดีไปทำการปรับปรุงแบบการย้ายตำแหน่งลูกค้ำระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่ง ดังในตารางที่ 3.23 และ 3.24

ตารางที่ 3.23 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย โดยการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้ำระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่งด้วยตัวดำเนินการ (1,1) กรณีย้ายสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้ำเมือง E

ลำดับ		เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1	ระยะทาง	ระยะทางรวม
		สายส่งที่ 2		
ลำดับ	สายส่งที่ 2	D_2 -E-D- D_2	$0.3+1.1+0.5=1.9$	5.9
	สายส่งที่ 1	D_1 -F-C-B-G-A-H- D_1	$0.5+0.5+0.2+1.0+0.7+1.4+0.5=4.8$	
1	E-F	D_2 -F-D- D_2	$0.6+0.6+0.5=1.7$	8.2
		D_1 -E-C-B-G-A-H- D_1	$1.2+0.6+0.2+1.2+1.6+1.4+0.5=6.5$	
2	E-C	D_2 -C-D- D_2	$0.5+0.5+0.5=1.5$	8.0
		D_1 -F-E-B-G-A-H- D_1	$0.5+0.7+0.6+1.2+1.6+1.4+0.5=6.5$	
3	E-B	D_2 -B-D- D_2	$0.4+0.4+0.5=1.3$	7.9
		D_1 -F-C-E-G-A-H- D_1	$0.5+0.5+0.6+1.4+1.6+1.4+0.5=6.6$	
4	E-G	D_2 -G-D- D_2	$1.4+1.4+0.5=3.3$	7.6
		D_1 -F-C-B-E-A-H- D_1	$0.5+0.5+0.2+0.6+0.6+1.4+0.5=4.3$	
5	E-A	D_2 -A-D- D_2	$0.5+0.5+0.5=1.5$	7.1
		D_1 -F-C-B-G-E-H- D_1	$0.5+0.5+0.2+1.2+1.4+1.3+0.5=5.6$	
6	E-H	D_2 -H-D- D_2	$1.1+1.1+0.5=2.7$	8.5
		D_1 -F-C-B-G-A-E- D_1	$0.5+0.5+0.2+1.2+1.6+0.6+1.2=5.8$	

ตารางที่ 3.24 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย โดยการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้ำระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่งด้วยตัวดำเนินการ (1,1) กรณีย้ายสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้ำเมือง D

ลำดับ	เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1		ระยะทาง	ระยะทาง
	สายส่งที่ 2	$D_2-E-D-D_2$	$0.3+1.1+0.5=1.9$	รวม
	สายส่งที่ 1	$D_1-F-C-B-G-A-H-D_1$	$0.5+0.5+0.2+1.0+0.7+1.4+0.5=4.8$	
1	D-F	$D_2-E-F-D_2$	$0.3+0.7+0.6=1.6$	8.1
		$D_1-D-C-B-G-A-H-D_1$	$1.1+0.5+0.2+1.2+1.6+1.4+0.5=6.5$	
2	D-C	$D_2-E-C-D_2$	$0.3+0.6+0.5=1.4$	7.6
		$D_1-F-D-B-G-A-H-D_1$	$0.5+0.6+0.4+1.2+1.6+1.4+0.5=6.2$	
3	D-B	$D_2-E-B-D_2$	$0.3+0.6+0.4=1.3$	7.7
		$D_1-F-C-D-G-A-H-D_1$	$0.5+0.5+0.5+1.4+1.6+1.4+0.5=6.4$	
4	D-G	$D_2-E-G-D_2$	$0.3+1.4+1.4=3.1$	7.1
		$D_1-F-C-B-D-A-H-D_1$	$0.5+0.5+0.2+0.4+0.5+1.4+0.5=4.0$	
5	D-A	$D_2-E-A-D_2$	$0.3+0.7+0.5=1.5$	6.9
		$D_1-F-C-B-G-D-H-D_1$	$0.5+0.5+0.2+1.2+1.4+1.1+0.5=5.4$	
6	D-H	$D_2-E-H-D_2$	$0.3+1.3+1.1=2.7$	8.3
		$D_1-F-C-B-G-A-D-D_1$	$0.5+0.5+0.2+1.2+1.6+0.5+1.1=5.6$	

จากตารางที่ 3.23 และ 3.24 พบว่าขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย โดยการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้ำระหว่างเส้นทางพาหนะขนส่งด้วยตัวดำเนินการ (1,1) กรณีย้ายสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้ำเมือง E และกรณีย้ายสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้ำเมือง D ไม่ทำให้ผลเฉลยหลังการปรับปรุงดีขึ้นในขั้นตอนนี้ ฉะนั้นผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหานี้ยังคงเป็นผลเฉลยจากการย้ายตำแหน่งลูกค้ำภายในเส้นทางพาหนะขนส่ง จากนั้นก็นำผลเฉลยที่ดีที่สุดไปปรับปรุงคุณภาพด้วยการใช้ 2-Opt รายละเอียดแสดงได้ดังในตารางที่ 3.25 และ 3.26

ตารางที่ 3.25 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยด้วยวิธี 2-Opt อัลกอริทึมกับเส้นทางพาหนะขนส่งที่ 2

ลำดับ	สายส่งที่ 1	เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1	ระยะทาง	ระยะทางรวม
		D_1 -F-C-B-G-A-H- D_1	0.5+0.5+0.2+1.0+0.7+1.4+0.5	4.8
1	F-C	D_1 - <u>C</u> -F-B-G-A-H- D_1	0.6+0.5+0.5+1.2+1.6+1.4+0.5	6.3
2	F-B	D_1 - <u>B</u> -C-F-G-A-H- D_1	0.6+0.2+0.5+0.9+1.6+1.4+0.5	5.7
3	F-G	D_1 - <u>G</u> -C-B-F-A-H- D_1	1.1+1.2+0.2+0.5+0.7+1.4+0.5	5.6
4	F-A	D_1 - <u>A</u> -C-B-G-F-H- D_1	1.2+0.7+0.2+1.2+0.9+0.6+0.5	5.3
5	F-H	D_1 - <u>H</u> -C-B-G-A-F- D_1	0.5+1.0+0.2+1.2+1.6+0.7+0.5	5.7
6	C-B	D_1 -F- <u>B</u> -C-G-A-H- D_1	0.5+0.5+0.2+1.2+1.6+1.4+0.5	5.9
7	C-G	D_1 -F- <u>G</u> -B-C-A-H- D_1	0.5+0.9+1.2+0.2+0.7+1.4+0.5	5.4
8	C-A	D_1 -F- <u>A</u> -B-G-C-H- D_1	0.5+0.7+0.7+1.2+1.2+1.0+0.5	5.8
9	C-H	D_1 -F- <u>H</u> -B-G-A-C- D_1	0.5+0.6+1.0+1.2+1.6+0.7+0.6	6.2
10	B-G	D_1 -F-C- <u>G</u> -B-A-H- D_1	0.5+0.5+1.2+1.2+0.7+1.4+0.5	6.0
11	B-A	D_1 -F-C- <u>A</u> -G-B-H- D_1	0.5+0.5+0.7+1.6+1.2+1.0+0.5	6.0
12	B-H	D_1 -F-C- <u>H</u> -G-A-B- D_1	0.5+0.5+1.0+0.7+1.6+0.7+0.6	5.6
13	G-A	D_1 -F-C-B- <u>A</u> -G-H- D_1	0.5+0.5+0.2+0.7+1.6+0.7+0.5	4.7*
14	G-H	D_1 -F-C-B- <u>H</u> -A-G- D_1	0.5+0.5+0.2+1.0+1.4+1.6+1.1	6.3
15	A-H	D_1 -F-C-B-G- <u>H</u> -A- D_1	0.5+0.5+0.2+1.2+0.7+1.4+1.2	5.7

ตารางที่ 3.26 การปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยด้วยวิธี 2-Opt อัลกอริทึมกับเส้นทางพาหนะขนส่งที่ 2

ลำดับ	สายส่งที่ 2	เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1	ระยะทาง	ระยะทางรวม
		D_2 -E-D- D_2	0.3+1.1+0.5	19
1	E-D	D_2 - <u>D</u> -E- D_2	0.3+0.5+1.1	19

จากตารางที่ 3.25 และ 3.26 พบว่าขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของผลเฉลยขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยด้วยวิธี 2-Opt อัลกอริทึมพบผลเฉลยอันใหม่ที่ดีกว่าเดิม ดังแสดงในตารางที่ 3.27

ตารางที่ 3.27 ผลเฉลยหลังจากการใช้ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของผลเฉลยด้วยวิธี 2-Opt อัลกอริทึม

	ลำดับลูกค้า	ระยะทาง	ระยะทางรวม
เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 1	D_1 -F-C-B-A-G-H- D_1	$0.5+0.5+0.2+0.7+1.6+0.7+0.5$	4.7
เส้นทางพาหนะขนส่งที่ 2	D_2 -E-D- D_2	$0.3+0.3+0.5$	1.1
ระยะทางโดยรวม			5.8

3.4.3.4 กฎปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้าง

วิธีระบบมด กฎปรับเปลี่ยนฟีโรโมนวงกว้างจะใช้ก็ต่อเมื่อมดทุกตัวในระบบสร้างเส้นทางเดินของมันเองเสร็จแล้ว โดยค่าฟีโรโมนนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงทุกเส้นเชื่อมตามสมการที่ (3.2) ดังแสดงการคำนวณปริมาณของสารฟีโรโมนที่เพิ่มขึ้นเพื่อการเสริมการเรียนรู้ให้แก่เส้นทางที่ดี ในตารางที่ 3.28

ตารางที่ 3.28 คำนวณค่าฟีโรโมนใหม่ให้กับเส้นทางที่ดีที่สุด

ด้านของเส้นเชื่อมที่ต้องปรับปรุงฟีโรโมน	การคำนวณหาอัตราการเพิ่มฟีโรโมน $(1-\rho) \cdot \tau(r,s) + \rho \cdot \Delta \tau_k(r,s)$	ฟีโรโมนใหม่
τ_{D1-F}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
τ_{D2-E}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
τ_{A-G}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
τ_{B-A}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
τ_{C-B}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
τ_{D-D2}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
τ_{E-D}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
τ_{F-C}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
τ_{G-H}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
τ_{H-D2}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0.545 \times 0.17 =$	0.3125
ด้านเชื่อมอื่นๆ เช่น τ_{D1-C}	$(1-0.545) \times 0.5 + 0$	0.228

ซึ่งรอบของรอบกระทำซ้ำถัดไปจะใช้ค่าฟีโรโมนที่ได้มาใช้ในการคำนวณแทนค่าฟีโรโมนเดิมในการปรับค่าของฟีโรโมนใหม่นี้ในแต่ละรอบการกระทำซ้ำจะต้องมีการควบคุมให้อยู่ในช่วงระหว่าง $[\tau_{Max}, \tau_{Min}]$ ตามค่าที่กำหนดไว้ในช่วงเริ่มต้น ซึ่งจะมีการกำหนดไว้ที่

$\tau_{Min}=0.0001$ และ $\tau_{Max}=1.00$ ฉะนั้นในการค้นหาผลเฉลยในแต่ละรอบกระทำซ้ำและพบผลเฉลยที่ดีขึ้นเป็นลำดับจะต้องมีการปรับสาร์พโรโมนใหม่ทุกครั้ง แต่ต้องไม่เกินค่าที่ควบคุมและทำไปจนกระทั่งครบเงื่อนไขของจำนวนรอบกระทำซ้ำสูงสุด อัลกอริทึมจึงหยุดและคืนผลเฉลยที่ดีที่สุดออกมาเป็นตัวแทนของการค้นหาผลเฉลยของวิธีการ

3.5 การทดสอบวิธีระบบแม็ก-มิน กับปัญหา MDVRP

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับวิธีการที่พัฒนาขึ้นมานี้ใช้ปัญหาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและปัญหาจาก Operation-Research Library (OR- Library) ของ Beasley., (2006) รวมทั้งสิ้น 33 ปัญหาคือ ตั้งแต่ปัญหา P01-Pr10 มีจำนวนลูกค้าตั้งแต่ 50-360 รายและจำนวนศูนย์กระจายสินค้าตั้งแต่ 2-9 แห่ง ดังรายละเอียดต่าง ๆ ดังในตารางที่ 3.29

ตารางที่ 3.29 ลักษณะของปัญหามาตรฐานของ MDVRP (CGW-Choa., et al.(1993); RLB-Renaud., et al. (1996); CGL-Cordeau., et al. (1997))

ลำดับ	ชื่อ	จำนวนศูนย์กระจายสินค้า	จำนวนลูกค้า	โหนดรวม	ความยาวเส้นทางสูงสุด	ความจุสินค้าสูงสุด	ค่าตอบแทน	อ้างอิง
1	P01	4	50	54	∞	80	576.87	CGW
2	P02	4	50	54	∞	160	473.53	RLB
3	P03	5	75	80	∞	140	641.19	CGW
4	P04	2	100	102	∞	100	1001.59	CGL
5	P05	2	100	102	∞	200	750.03	CGL
6	P06	3	100	103	∞	100	876.50	RLB
7	P07	4	100	104	∞	100	885.80	CGL
8	P08	2	249	251	310	500	4437.68	CGL
9	P09	3	249	252	310	500	3900.22	CGL
10	P10	4	249	253	310	500	3663.02	CGL
11	P11	5	249	254	310	500	3554.18	CGL
12	P12	2	80	82	∞	60	1318.95	RLB
13	P13	2	80	82	200	60	1318.95	RLB
14	P14	2	80	82	180	60	1360.12	CGL
15	P15	4	160	164	∞	60	2505.42	CGL
16	P16	4	160	164	200	60	2572.23	RLB
17	P17	4	160	164	180	60	2709.09	CGL
18	P18	6	240	246	∞	60	3702.85	CGL
19	P19	6	240	246	200	60	3827.06	RLB
20	P20	6	240	246	180	60	4058.07	CGL
21	P21	9	360	369	∞	60	5474.84	CGL
22	P22	9	360	369	200	60	5702.16	CGL
23	P23	9	360	369	180	60	6095.46	CGL

ตารางที่ 3.29 ลักษณะของปัญหามาตรฐานของ MDVRP (CGW-Choa., et al.(1993);
RLB-Renaud., et al. (1996); CGL-Cordeau., et al. (1997)) (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	จำนวนศูนย์ กระจายสินค้า	จำนวนลูกค้า	โหนดรวม	ความยาว เส้นทางสูงสุด	ความจุสินค้า สูงสุด	ค่าตอบแทน	อ้างอิง
24	Pr01	4	48	52	500	200	861.32	CGL
25	Pr02	4	96	100	480	195	1307.61	CGL
26	Pr03	4	144	148	460	190	1806.60	CGL
27	Pr04	4	192	196	440	440	2072.52	CGL
28	Pr05	4	240	244	420	420	2385.77	CGL
29	Pr06	4	288	292	400	175	2723.27	CGL
30	Pr07	6	72	78	500	200	1081.71	CGL
31	Pr08	6	144	150	475	190	1666.60	CGL
32	Pr09	6	216	222	450	180	2153.10	CGL
33	Pr10	6	288	294	425	170	2921.85	CGL

3.6 การวัดคุณภาพของผลเฉลยได้จากวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน (MMAS)

หลังจากสร้างขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์สำหรับการแก้ปัญหาเสร็จสิ้น ก็เข้าสู่กระบวนการตรวจสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพผลเฉลยที่ได้จากวิธีวิธีการ การทดสอบวิธีการเพื่อทำการค้นหาระดับการใช้งานของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาโดยใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน MMAS อันได้แก่ β , ρ และ I^{Max} ซึ่งต่างๆเหล่านี้มีผลโดยตรงต่อคุณภาพผลเฉลย จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีการจำลองพฤติกรรมกรรมการหาอาหารของมดมาแก้ปัญหาทางวิศวกรรม มีการใช้ระดับของพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหาโดยไม่ปรากฏในรายละเอียดถึงความชัดเจนในการกำหนดค่าที่แน่นอนที่นำมาใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องทำการค้นหาระดับของพารามิเตอร์ที่ใช้งานใหม่ทั้ง 3 ปัจจัย เพื่อให้วิธีการที่ออกแบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ขั้นตอนและวิธีการของกระบวนการตรวจสอบหาประสิทธิภาพของพารามิเตอร์เหล่านี้ จะอาศัยกระบวนการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) รายละเอียดดังตารางที่ 3.30

ตารางที่ 3.30 ระดับของการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

พารามิเตอร์	ระดับต่ำ (-)	ระดับสูง (+)
β (A)	1	5
ρ (B)	0.01	0.99
I^{Max} (C)	100	500

จากข้อมูลในตารางที่ 3.30 จำนวนของทรีตเมนต์ ประกอบด้วย พารามิเตอร์ 3 ปัจจัย (พารามิเตอร์) แบ่งออกเป็น 2 ระดับ ($2^k, k=3$) กำหนดระดับการทดลองได้ดังนี้ (-) แทนเงื่อนไขของปัจจัยที่ระดับต่ำและ (+) แทนเงื่อนไขของปัจจัยที่ระดับสูง และใช้วิธีการออกแบบแบบ Box-Behnken แบบ Unblocked ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 (ระดับความเชื่อมั่น 95%)

3.7 ประเมินประสิทธิภาพคุณภาพผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบลดแบบแม็ก-มิน (MMAS)

หลังจากทำการทดลองในหัวข้อที่ 3.6 จากนั้นก็ทำการวัดถึงประสิทธิภาพผลเฉลยจากวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นซึ่งมีสองรูปแบบ คือ แบบคู่ขนาน (Parallel Method) และลำดับชั้น (Sequential Method) โดยการตรวจสอบทางกระบวนการทางสถิติเพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้ว่ามีประสิทธิภาพอย่างแท้จริงหรือไม่ ซึ่งผู้วิจัยจะได้ตั้งสมมติฐานการทดลองไว้ทั้งสมมติฐานหลักและสมมติฐานรอง ตามข้อที่ 3.7.1 และ 3.7.2

3.7.1 สมมติฐานหลัก

$$H_0 : \mu_A = \mu_B \quad (\text{วิธีแบบคู่ขนานให้ค่าเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างจากวิธีลำดับชั้น})$$

$$\mu_A = \text{ค่าเฉลี่ยผลเฉลยจากวิธีแบบคู่ขนาน (Parallel Method)}$$

$$\mu_B = \text{ค่าเฉลี่ยผลเฉลยจากวิธีลำดับชั้น (Sequential Method)}$$

3.7.2 สมมติฐานรอง

$$H_a : \mu_A \neq \mu_B \quad \text{สมมติฐานรอง มีความเป็นไปได้มี 2 กรณี คือ}$$

$$H_a : \mu_A > \mu_B \quad (\text{วิธีแบบคู่ขนานให้ค่าเฉลี่ยดีกว่าวิธีลำดับชั้น})$$

$$H_a : \mu_A < \mu_B \quad (\text{วิธีแบบคู่ขนานให้ค่าเฉลี่ยแย่กว่าวิธีลำดับชั้น})$$

เมื่อได้วิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นที่ดีและระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยคำตอบอยู่ในระดับที่ดี ก็จะนำวิธีการสร้างคำตอบนั้นๆ และชุดของพารามิเตอร์เหล่านั้นไปทำการทดสอบจริงกับการแก้ปัญหามาตรฐานทั้งหมด เพื่อการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการทำงานของฮิวริสติกนี้ จะทำการทดลองปัญหาละ 5 ครั้งและนำผลลัพธ์ที่ดีที่สุดไปเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ดีที่สุดจากวิธีการอื่น ๆ เช่น คำตอบที่ทราบจาก Or-Library วิธี TS วิธี SA และวิธี ALNS เหล่านี้เป็นต้น

3.8 การปรับปรุงแก้ไข

กรณีที่ทำการวัดประสิทธิภาพผลเฉลยที่ได้แล้วยังมีความด้อยเชิงคุณภาพของผลเฉลย ผู้วิจัยจะกลับไปทบทวนและทำการปรับปรุงวิธีการใหม่ หากจุดบกพร่องที่ทำให้ผลเฉลยที่ได้ด้อยคุณภาพ โดยการตรวจสอบกระบวนการใหม่ทั้งหมด ทำการแก้ไขและปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ดียิ่ง ๆ ขึ้นไป

3.9 สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม

เมื่อดำเนินการตามกระบวนการที่จัดเตรียมแผนการดำเนินงานการวิจัยทั้งหมดแล้ว ผู้วิจัยจะรวบรวมงานทั้งหมด พิมพ์และจัดรูปเล่ม ตามรูปแบบวิทยานิพนธ์และนำผลงานการวิจัยบางส่วนออกเผยแพร่ในวารสารวิชาการ

3.10 บทสรุป

จากแผนการดำเนินการการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นทั้ง 9 ขั้นตอน ผู้วิจัยยังได้วางแผนการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานวิจัยอื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ (Computer Hardware) และคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (Computer Software) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คอมพิวเตอร์ส่วนตัว (Personal Computer: PC) หน่วยประมวลผลกลาง Pentium 4 CPU 1.8 GHz หน่วยความจำ 256 MB และมีความจุของ Hard Disk Drive 40 GB และนอกจากนั้นยังมีโปรแกรม Lingo 4.0 เป็นโปรแกรมที่นำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาคำหนดการเชิงเส้น (Linear Programming) และโปรแกรมสำเร็จรูป Visualize C++ V.6.0 ที่ใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ในลักษณะ Visualize มีคอมพิวเตอร์ที่สมบูรณ์ในตัว

บทที่ 4

ผลการวิจัย

บทที่ 4 ผู้วิจัยนำเสนอผลการทดลองจากวิธีเชิงฮิวริสติกที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา ในการแก้ปัญหา MDVRP ขั้นตอนต่างๆ ของวิธีการดังรายละเอียดในบทที่ 3 และผู้วิจัยได้นำขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลยไปทำการเขียนชุดคำสั่ง ด้วยโปรแกรม Visual C++ เวอร์ชัน 6.0 โดยทำการทดสอบวิธีการกับคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium 4 CPU 3.06 GHz Ram 224 MB และนอกจากนั้นผู้วิจัยนำผลการทดลองบางส่วนไปวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของวิธีการ โดยการใช้โปรแกรม Minitab R14 สรุปได้ดังนี้

4.1 การเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสม (Parameters selection)

การแก้ปัญหา MDVRP โดยการใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มินสำหรับการผลเฉลยในการแก้ปัญหาจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้องในการใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน เช่น ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟีโรโมน อัตราการระเหยของฟีโรโมนและจำนวนรอบกระทำซ้ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับการใช้พารามิเตอร์ที่จะสามารถให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด ผู้วิจัยทำการแบ่งปัญหาออกเป็น 3 รูปแบบการทดลอง โดยอาศัยจำนวนของโหนดจำนวนลูกค้าเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มการทดลอง ปัญหาที่มีจำนวนโหนดลูกค้า ตั้งแต่ 2-100 โหนด เรียกว่า “ปัญหา Type S” ปัญหา Type M ปัญหาที่มีจำนวนโหนดตั้งแต่ 101-200 โหนด เรียกว่า “ปัญหา Type M” และปัญหาที่มีจำนวนโหนดตั้งแต่ 201 โหนดขึ้นไป เรียกว่า “ปัญหา Type L” ซึ่งจำนวนปัญหาการทดลองมีทั้งหมด 33 ปัญหา สามารถแสดงได้ดังนี้

ปัญหา Type S ได้แก่ P01 P02 P03 P12 P13 P14 Pr01 Pr02 และ Pr07

ปัญหา Type M ได้แก่ P04 P05 P06 P07 P15 P16 P17 Pr03 Pr04 และ Pr08

และปัญหา Type L ได้แก่ P08 P09 P10 P11 P18 P19 P20 P21 P22 P23 Pr05 Pr06 Pr09 และ Pr10

การออกแบบการทดลองในขั้นแรกผู้วิจัยทำการกำหนดช่วงค่าตั้งพารามิเตอร์ก่อน หลังจากนั้นจะนำพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการแก้ปัญหาแต่ละรูปแบบ วิธีการออกแบบการทดลอง ผู้วิจัยกำหนดปัจจัยการทดลอง (Factors) ไว้ทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ทำการศึกษาแต่ละปัจจัยมี 2 ระดับ คือ ค่าต่ำ (Low) และค่าสูง (High) ช่วงของการตั้งค่าของปัจจัยการทดลองมีดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ค่าถ่วงน้ำหนักของพารามิเตอร์ที่ให้น้ำหนักความสำคัญระหว่างค่าระยะทางกับค่าฟีโรโมน (β) ใช้ค่าพารามิเตอร์อยู่ระหว่าง 2-5 (Dorigo and Stutzle., 2004)

ปัจจัยที่ 2 อัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) ก็เช่นเดียวกัน ได้ใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกันกับการทดลองของ Dorigo และคณะ คือ ระหว่าง 0.10 ถึง 0.99 (Dorigo and Stutzle., 2004)

ปัจจัยที่ 3 จำนวนรอบกระทำซ้ำในการค้นหาคำตอบ (I^{max}) สำหรับปัจจัยการทดลองนี้ ผู้วิจัยกำหนดขึ้นมาเองเพื่อความเหมาะสมของระยะเวลาที่ใช้ประมวลผล โดยการกำหนดช่วงของจำนวนรอบกระทำซ้ำหลักขั้นต่ำที่ 100 รอบ และสูงสุด คือ 500 รอบกระทำซ้ำ ในทุก ๆ รอบกระทำซ้ำหลักจะใช้รอบกระทำซ้ำภายใน (Internal loop) อีก 10 รอบกระทำซ้ำ

การกำหนดปัจจัยและรายละเอียดของช่วงการตั้งค่าระดับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง แสดงดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ช่วงการตั้งค่าของระดับปัจจัยที่เกี่ยวข้องโดยการใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

ปัจจัย (Factor)	ระดับของปัจจัย (Levels)	
	ต่ำ (-)	สูง (+)
1. ค่าถ่วงน้ำหนักของการสุ่มอย่างมีเหตุผล (β)	2	5
2. อัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ)	0.10	0.99
3. จำนวนรอบกระทำซ้ำในการค้นหาคำตอบ (I^{max})	100	500
4. วิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Parallel & Sequential Method)	-	-

หลังจากการกำหนดช่วงของปัจจัยการทดลอง ผู้วิจัยทำการออกแบบการทดลอง โดยใช้การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken กับจำนวน 3 ปัจจัยการทดลอง โดยเลือกจากตารางการทดลองในโปรแกรม Minitab R14 แบบ Unblocked จะได้จำนวนการทดลองทั้งหมด 15 การทดลอง และในแต่ละการทดลอง กำหนดจำนวนกระทำซ้ำ (Replicate) อีก 5 ครั้งต่อหนึ่งการทดลอง ดังนั้นจำนวนครั้งในการประมวลผลรวมทั้งสิ้นเท่ากับ 75 ครั้งการทดลอง (Montgomery, 2001) ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก.

การใช้กระบวนการทางสถิติ (Statistical process) เข้ามายืนยันผลการทดลอง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นแบบวิธีการแบบคู่ขนานกับวิธีแบบลำดับขั้น และหาระดับการใช้งานของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1.1 สมมติฐานการออกแบบการทดลอง

- 1) n_A คือ จำนวนครั้งในการทดลองเพื่อทำการหาผลเฉลี่ยโดยใช้วิธีกลุ่มขนาน
- 2) n_B คือ จำนวนครั้งในการทดลองเพื่อทำการหาผลเฉลี่ยโดยใช้วิธีลำดับชั้น
- 3) ผลเฉลี่ยที่ได้จากการใช้วิธีลำดับชั้นและแบบกลุ่มขนานมีอิสระต่อกัน
- 4) สมมติให้ข้อมูลทั้งสองมีการแจกแจงแบบปกติ
- 5) ความแปรปรวนผลเฉลี่ยของกลุ่มประชากรทั้งสองให้มีความเท่ากัน

4.1.2 การทดสอบสมมติฐานหลัก

การตั้งสมมติฐานหลักจะสมมติว่าค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีลำดับชั้นและกลุ่มขนานมีความเท่ากัน (ไม่มีความแตกต่างกัน) กำหนดได้ดังนี้

$$H_0 : \mu_A = \mu_B$$

เมื่อ y_A คือ ค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีลำดับชั้น (Sequential Method)

y_B คือ ค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีกลุ่มขนาน (Parallel Method)

ดังนั้นจะต้องมีการวัดผลวิธีการที่ใช้วัดค่าความแตกต่างกันผลเฉลี่ยทั้งสองวิธีการมีระดับนัยสำคัญของการทดสอบทางสถิติ ดังในสมการที่ 4.1

$$t = \frac{(y_B - y_A) - (\mu_B - \mu_A)}{s_p \sqrt{\frac{1}{n_B} + \frac{1}{n_A}}} \quad (4.1)$$

$$\text{โดยที่องศาอิสระคำนวณจากค่าของ } v = n_A + n_B - 2 \quad (4.2)$$

สำหรับการตั้งสมมติฐานรองหรือทางเลือกอื่น ๆ ที่เป็นไปได้จะสมมติค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีลำดับชั้นและกลุ่มขนานมีความไม่เท่ากัน (มีความแตกต่างกัน) กำหนดได้ดังนี้

(1) สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis): $H_a : \mu_A \neq \mu_B$

$$1) H_a : \mu_A > \mu_B$$

$$2) H_a : \mu_A < \mu_B$$

(2) ทดสอบสมมติฐานรอง (H_a)

สมมติฐานรอง (H_a) ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ α

$$H_a : \mu_A < \mu_B$$

$$t \leq -t_{v,\alpha}$$

หรือ สมมติฐานรอง (H_a) ปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ α

$$H_a: \mu_A > \mu_B \quad t \geq -t_{v,\alpha}$$

คำนวณหาค่าความแปรปรวนกลุ่มตัวอย่างประชากรคำตอบจากแบบวิธีคู่ขนาน
คำนวณจากสมการดังนี้

$$S_A^2 = \frac{\sum y_A^2 - \frac{\sum y_A^2}{n_A}}{n_A - 1} \quad (4.3)$$

และคำนวณหาค่าความแปรปรวนของกลุ่มตัวอย่างประชากรคำตอบแบบวิธี
ลำดับชั้นคำนวณจากสมการดังนี้

$$S_B^2 = \frac{\sum y_B^2 - \frac{\sum y_B^2}{n_B}}{n_B - 1} \quad (4.4)$$

จากนั้นทำการหาค่าความแปรปรวนร่วมระหว่างวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นได้
ดังนี้

$$S_{Pool}^2 = \frac{v_A S_A^2 + v_B S_B^2}{v_A + v_B} \quad (4.5)$$

ในส่วนของการแปลผลจากกระบวนการทดสอบทางสถิติกับค่าต่าง ๆ ที่
เกี่ยวข้องนั้น ผู้วิจัยสามารถแปลผลได้ดังนี้

4.1.3 ทดสอบสมมติฐานรอง กรณีที่ $H_a: \mu_A < \mu_B$

ให้หมายถึงว่า ค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีคู่ขนานมีค่าผลเฉลี่ยที่ให้ค่าน้อยกว่าผล
เฉลี่ยที่ได้จากวิธีลำดับชั้นหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าคุณภาพผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีคู่ขนานมีประสิทธิภาพ
มากกว่าวิธีลำดับชั้น กรณีที่เป็นจริงจะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ เมื่อ $t \leq -t_{v,\alpha}$
โดยสามารถเปิดตารางหาค่า $t_{v,\alpha}$ จากตารางมาตรฐานที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และ $v = n_A + n_B - 2$ ดังนั้น
จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักที่นัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ จึงจะสามารถสรุปผลได้ว่าค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยจาก
วิธีการใดมีประสิทธิภาพมากกว่ากัน

4.1.4 ทดสอบสมมติฐานรอง กรณีที่ $H_a : \mu_A > \mu_B$

ให้หมายถึงว่า ค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีคู่ขนานมีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีลำดับชั้นหรือวิธีแบบลำดับชั้นและวิธีคู่ขนานมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน โดยปฏิเสธสมมติฐานหลัก $\alpha = 0.05$ เมื่อ $t \geq t_{v,\alpha}$ โดยสามารถเปิดตารางหาค่า $t_{v,\alpha}$ จากตารางมาตรฐาน ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ และ $v = n_A + n_B - 2$ ดังนั้นถ้าเป็นจริงตามเงื่อนไขการทดสอบจะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่นัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ และสรุปผลว่าค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยจากวิธีการใดให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าหรือแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

กระบวนการการวิเคราะห์ทางสถิติจากสมการที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ผู้วิจัยนำผลที่ได้จากการทดลองไปวิเคราะห์ โดยการใช้โปรแกรม Minitab R14 ผลจากการทดลองและกระบวนการทดสอบทางสถิติ สามารถสรุปได้ดังนี้

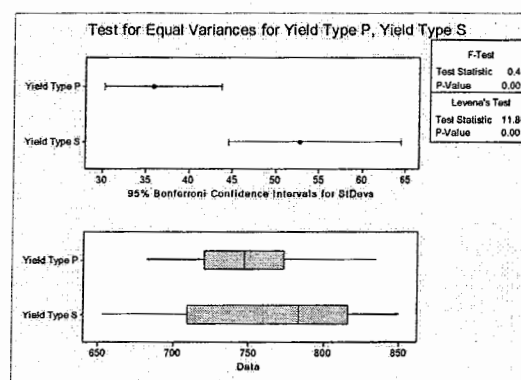
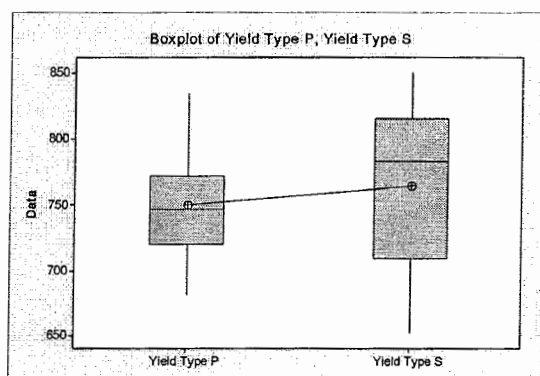
4.1.5 การทดลองที่ 1 สำหรับปัญหาขนาดเล็ก (Small-Problem: Type S)

สำหรับการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหขนาดเล็ก (Type S) ขนาดของปัญหาที่มีจำนวนของโหนดลูกค้า ตั้งแต่ 2-100 โหนด ผู้วิจัยเลือกทำการทดสอบวิธีเชิงฮิวริสติกกับปัญหา P01 ซึ่งผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังในภาคผนวก ค. และผลการทดสอบทางกระบวนการสถิติของทั้งสองวิธีการ สรุปได้ดังตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองและกระบวนการทดสอบทางสถิติกับปัญหขนาดเล็ก พบว่าวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบวิธีคู่ขนาน (Parallel Method) ให้ประสิทธิภาพผลเฉลี่ยที่ดีกว่าวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบวิธีลำดับชั้น (Sequential Method) โดยมีค่า P ที่น้อยกว่า 0.05 มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ภาพที่ 4.4 จากกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก (Main effect plots) พบว่าค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย มีดังนี้ ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟีโรโมน (β) ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 2.0 อัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 0.545 และจำนวนรอบกระทำซ้ำในการค้นหาคำตอบ (I^{Max}) ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 300 รอบกระทำซ้ำ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งพิจารณาได้จากค่า $P < 0.05$

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหาขนาดเล็ก (Small-Problem: Type S)

Two-sample T	N	Mean	StDev	SE Mean
Yield Type P:	75	750.1	35.7	4.1
Yield Type S:	75	765.2	52.7	6.1
Difference = mu (Yield Type P) - mu (Yield Type S)				
Estimate for difference	: -15.1373			
95% upper bound for difference	: -2.9729			
T-Test of difference = 0 (vs not =):	T-Value = -2.06		P-Value = 0.021	DF = 148



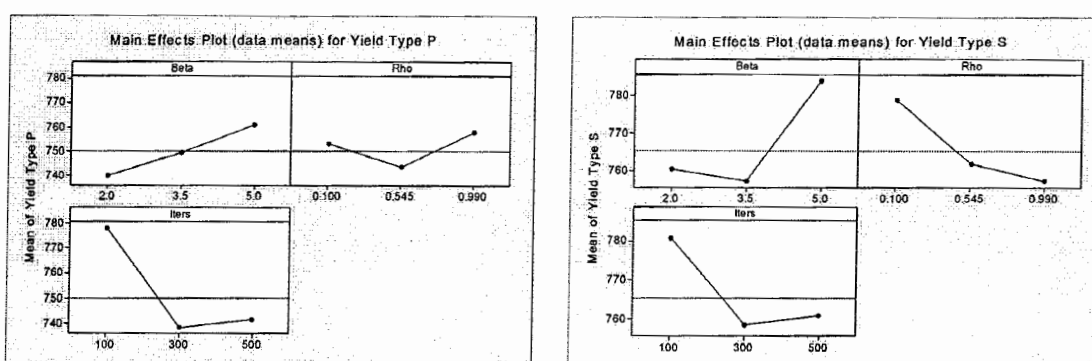
ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลผลิตจากวิธีสร้างคำตอบเริ่มต้นระหว่างวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหาขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหาขนาดเล็กสร้างคำตอบเริ่มต้น Type P.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Beta	2	4465.6	4700.8	2350.4	2.50	0.090
Rho	2	3011.1	3832.7	1916.4	2.04	0.138
Iters	2	22956.8	22956.8	11478.4	12.20	0.000
Error	68	63963.9	63963.9	940.6		
Total	74	94397.4	S = 30.6699	R-Sq = 32.24%	R-Sq(adj) = 26.26%	

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหาขนาดเล็กสร้างคำตอบเริ่มต้น Type S.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Beta	2	9442	10302	5151	1.92	0.155
Rho	2	5573	5874	2937	1.09	0.341
Iters	2	7589	7589	3795	1.41	0.251
Error	68	182753	182753	2688		
Total	74	205357	S = 51.8415	R-Sq = 11.01%	R-Sq(adj) = 3.15%	



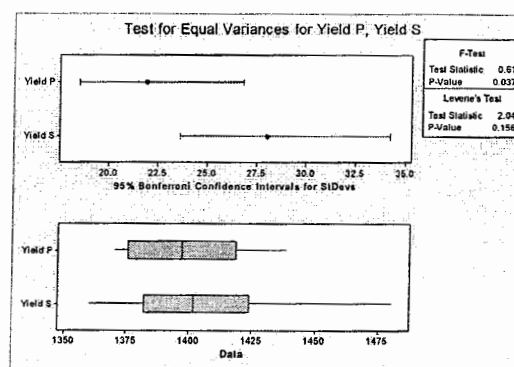
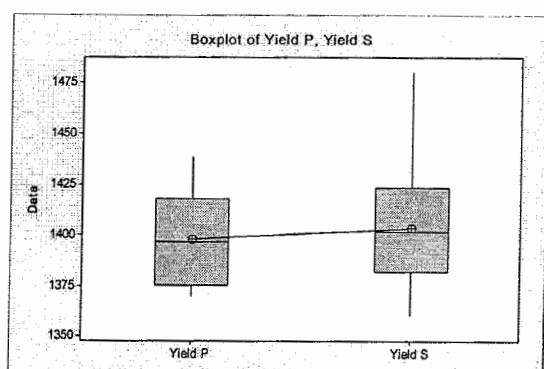
ภาพที่ 4.2 ระดับการใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องระหว่างการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหาขนาดเล็ก

4.1.6 การทดลองที่ 2 สำหรับปัญหาขนาดกลาง (Medium-Problem: Type M.)

สำหรับปัญหาขนาดกลาง ผู้วิจัยเลือกทดสอบวิธีเชิงฮิวริสติกกับปัญหาที่ P04 จากการทดลองและผลการวิเคราะห์การทดสอบกระบวนการทางสถิติ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.3 และเมื่อพิจารณาผลการทดลองในตารางที่ 4.5 ก็จะพบว่า วิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นที่ดีที่สุดจากการทดสอบทั้งสองวิธีการ วิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน (Parallel Method) ให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีลำดับชั้น (Sequential method) และนอกจากนั้นในภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 ผู้วิจัยยังพบว่า ผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plots) ให้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟิโรโมน (β) ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 3.50 อัตราการระเหยของฟิโรโมน (ρ) ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 0.10 และจำนวนรอบกระทำซ้ำในการค้นหาคำตอบ (I^{Max}) ที่เหมาะสมอยู่ที่ระดับ 300 รอบกระทำซ้ำ ซึ่งค่าของพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าผลเฉลยที่ดีและให้คุณภาพผลเฉลยได้ในระดับที่ดีสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP ขนาดกลาง โดยมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งพิจารณาได้จากค่า $P < 0.05$

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหาขนาดกลาง (Medium-Problem)

Two-sample T	N	Mean	StDev	SE Mean
Yield Type P:	75	750.1	35.7	4.1
Yield Type S:	75	765.2	52.7	6.1
Difference = μ (Yield Type P) - μ (Yield Type S)				
Estimate for difference	: -15.1373			
95% upper bound for difference	: -2.9729			
T-Test of difference = 0 (vs not =):	T-Value = -2.06		P-Value = 0.021	DF = 148



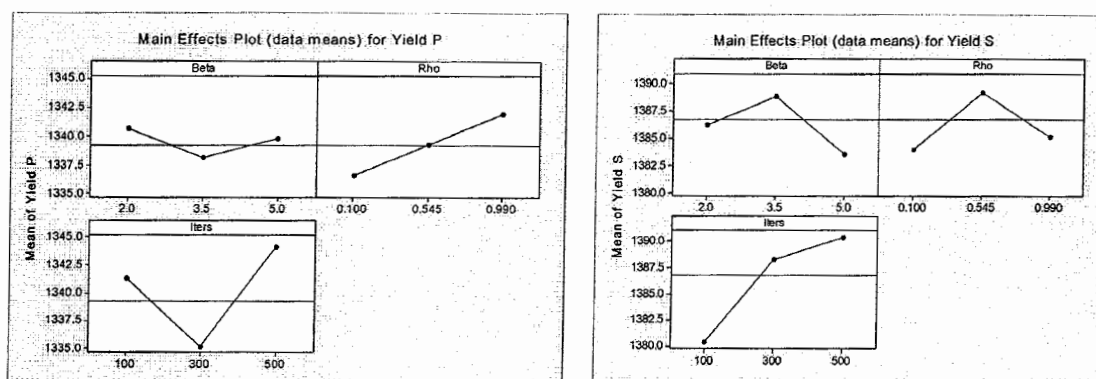
ภาพที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลผลิตจากวิธีสร้างคำตอบเริ่มต้นระหว่างวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหาขนาดกลาง

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหาขนาดกลางสร้างคำตอบเริ่มต้น Type P.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Beta	2	864.0	948.3	474.2	0.96	0.387
Rho	2	323.8	340.5	170.3	0.35	0.709
Iters	2	830.6	830.6	415.3	0.84	0.435
Error	68	68	33522.8	33522.8	493.0	-
Total	74	35541.3	S = 22.2032	R-Sq = 5.68%	R-Sq(adj) = 0.00%	-

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหาขนาดกลางสร้างคำตอบเริ่มต้น Type S.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Beta	2	562.2	494.4	247.2	0.31	0.733
Rho	2	2380.0	2395.3	1197.6	1.51	0.228
Iters	2	1118.5	1118.5	559.2	0.71	0.497
Error	68	68	53907.3	53907.3	792.8	-
Total	74	57968.0	S = 28.1559	R-Sq = 7.01%	R-Sq(adj) = 0.00%	-



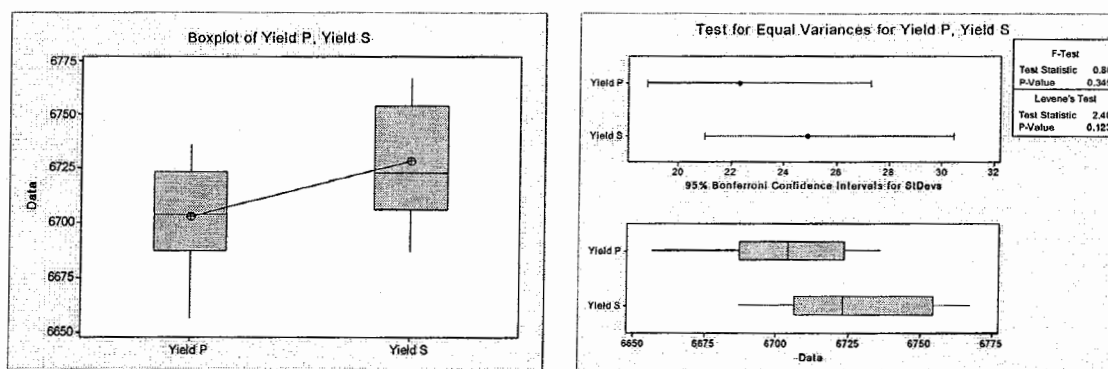
ภาพที่ 4.4 ระดับการใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องระหว่างการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบวิธีกลุ่มขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหาขนาดกลาง

4.1.7 การทดลองที่ 3 สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ (Large-Problem: Type L)

สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ ผู้วิจัยเลือกที่จะทดสอบวิธีเชิงฮิวริสติกกับปัญหา P08 ผลการทดลองดังในรายละเอียดภาคผนวก ค. และสรุปผลการวิเคราะห์ทางกระบวนการสถิติ ดังในตารางที่ 4.8 ถ้าหากเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในภาพที่ 4.5 พบว่าวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นที่ดีที่สุด คือวิธีแบบกลุ่มขนานและเมื่อพิจารณาต่อจากกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plots) พบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟีโรโมน (β) ที่ระดับ 3.50 อัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) อยู่ในระดับ 0.545 และจำนวนรอบกระทำซ้ำ (I^{Max}) อยู่ในระดับ 500 รอบกระทำซ้ำ มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พิจารณาได้จากค่า $P < 0.05$

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ (Large-Problem)

Two-sample T	N	Mean	StDev	SE Mean
Yield Type P:	75	6702.9	22.3	2.6
Yield Type S:	75	6728.0	24.9	2.9
Difference = mu (Yield Type P) - mu (Yield Type S)				
Estimate for difference		: -15.1373	-	-
95% upper bound for difference		: -17.5220	-	-
T-Test of difference = 0 (vs not =):		: T-Value = -6.52	P-Value = 0.000	DF = 148



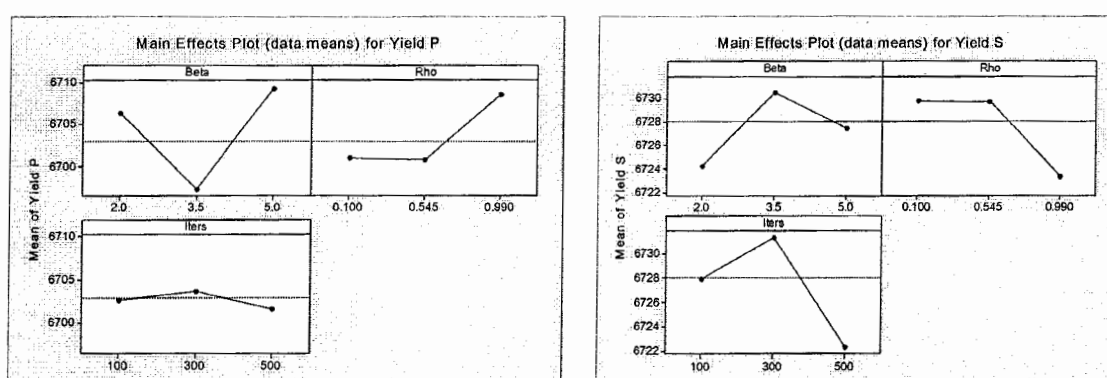
ภาพที่ 4.5 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยผลผลิตจากวิธีสร้างคำตอบเริ่มต้นระหว่างวิธีภูขนาน และวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหาขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหากลางสร้างคำตอบเริ่มต้น Type P.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Beta	2	2150.1	2248.0	1124.0	2.28	0.110
Rho	2	1004.8	996.3	498.1	1.01	0.369
Iters	2	13.3	13.3	6.7	0.01	0.987
Error	68	33522.5	33522.5	493.0	-	-
Total	74	36690.7	S = 22.2031	R-Sq = 8.63%	R-Sq(adj) = 0.57%	-

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับปัญหาขนาดกลางสร้างคำตอบเริ่มต้น Type S.

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Beta	2	516.9	657.8	328.9	0.52	0.600
Rho	2	647.7	719.5	359.8	0.56	0.572
Iters	2	1189.7	1189.7	594.8	0.93	0.399
Error	68	43391.9	43391.9	638.1	-	-
Total	74	45746.1	S = 25.2609	R-Sq = 5.15%	R-Sq(adj) = 0.00%	-



ภาพที่ 4.6 ระดับการใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องระหว่างการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบวิธีคู่ขนานและวิธีลำดับชั้นสำหรับปัญหาขนาดใหญ่

4.1.8 สรุปผลการทดลองการหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องและวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น

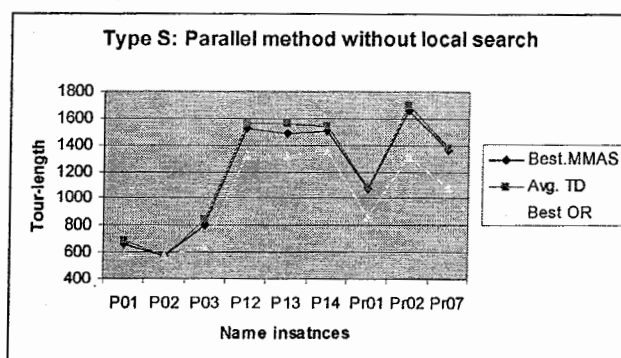
จากการทดลองและการวัดผลกระบวนการทางสถิติข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบวิธีคู่ขนาน (Parallel Method) มีประสิทธิภาพที่มากกว่าวิธีลำดับชั้น (Sequential Method) กล่าวคือ สามารถให้เฉลี่ยผลเฉลยในการค้นหาผลเฉลยในระดับที่ดีกว่า ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้วิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน (Parallel Method) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) ในทุกๆ ปัญหาการทดลองและนอกจากนั้นก็เลือกใช้พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับวิธี MMAS หลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main effect plots) ประกอบไปด้วยดังนี้ ปัญหาขนาดเล็ก เลือกใช้ที่ระดับ $\beta = 2.0$, $\rho = 0.545$ และ $I^{Max} = 300$ รอบกระทำซ้ำ ปัญหาขนาดกลางที่ระดับ $\beta = 3.50$, $\rho = 0.10$ และ $I^{Max} = 300$ รอบกระทำซ้ำ และปัญหาขนาดใหญ่ เลือกใช้ที่ระดับ $\beta = 3.5$, $\rho = 0.545$ และ $I^{Max} = 500$ รอบกระทำซ้ำ

4.2 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกลุ่มงาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย (Parallel Method without Local Search Procedure)

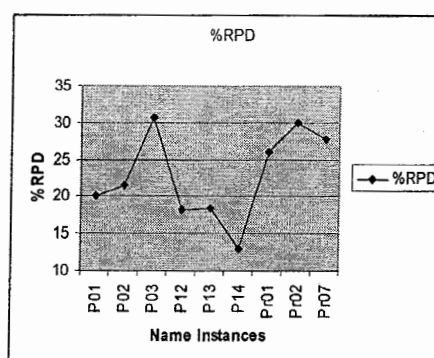
การทดลองในหัวข้อที่ 4.2 นี้ ผู้วิจัยเลือกใช้พารามิเตอร์จากหัวข้อที่ 4.1 มาใช้ในการทดลองและวัดผลตามกระบวนการทดสอบทางสถิติ สรุปได้ดังนี้

4.2.1 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกลุ่มงาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วยสำหรับปัญหามานกลาง (Type S)

สำหรับปัญหามานกลาง (Type S.) ใช้พารามิเตอร์ในการทดสอบ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟีโรโมน (β) ที่ระดับ 2.0 อัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) ที่ระดับ 0.545 และจำนวนรอบกระทำซ้ำ (I^{Max}) ที่ระดับ 300 รอบกระทำซ้ำ อ้างอิงในหัวข้อที่ 4.1.8 ทำการทดสอบกับปัญหา MDVRP จำนวนทั้งหมด 9 ปัญหา อันได้แก่ ปัญหาที่ P01 P02 P03 P12 P13 P14 Pr01 Pr02 และ Pr07 สรุปผลการทดลองได้ในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.7



การทดสอบที่ $\beta=2.0$, $\rho=0.545$ และ $I^{Max}=300$

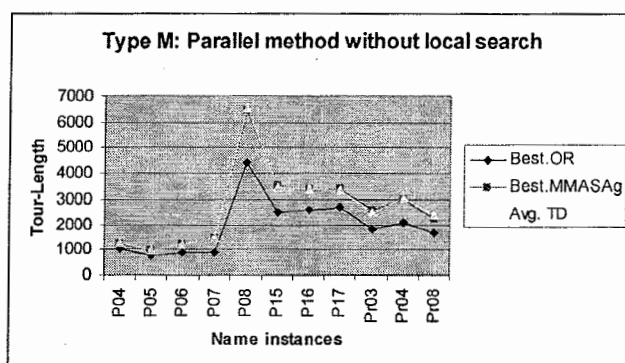


เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของคำตอบ

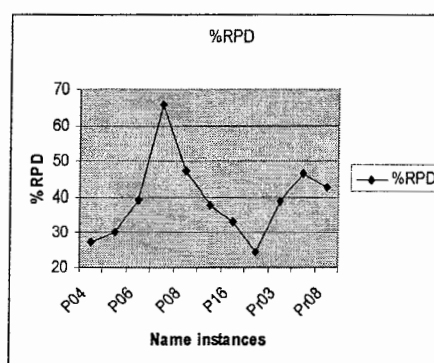
ภาพที่ 4.7 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกลุ่มงาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วยสำหรับปัญหามานกลาง (Type S)

4.2.2 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกลุ่มงาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วยสำหรับปัญหามานกลาง (Type M.)

สำหรับปัญหามานกลางผู้วิจัยทำการทดสอบด้วยวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกลุ่มงาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย ใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดสอบ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟีโรโมน (β) ที่ระดับ 3.50 อัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) ที่ระดับ 0.10 และจำนวนรอบกระทำซ้ำ (I^{Max}) ที่ระดับ 300 รอบกระทำซ้ำ ทำการทดสอบกับปัญหา Type M. จำนวนทั้งหมด 11 ปัญหา ผลการทดลองสรุปได้ดังตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.8



การทดสอบที่ $\beta=3.5$, $\rho=0.10$ และ $I^{Max}=300$

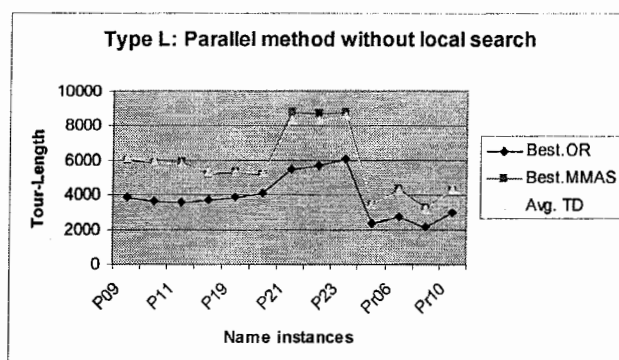


เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของคำตอบ

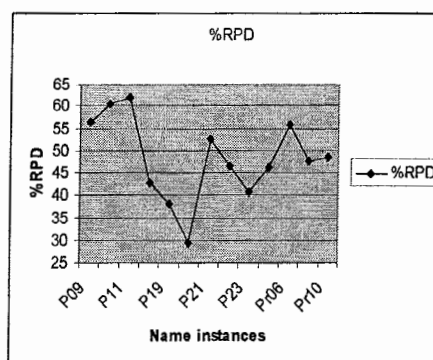
ภาพที่ 4.8 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกุ่มขนาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบพร้อมด้วย สำหรับปัญหาขนาดกลาง (Type M.)

4.2.3 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกุ่มขนาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบพร้อมด้วยสำหรับการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ (Type L.)

สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ทำการทดสอบด้วยวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกุ่มขนานโดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบพร้อมด้วย ใช้พารามิเตอร์ต่างๆ ในการทดสอบ คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณฟีโรโมน (β) อยู่ในระดับ 3.5 อัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) ที่ระดับ 0.545 และจำนวนรอบกระทำซ้ำ (I^{Max}) อยู่ในระดับ 500 รอบกระทำซ้ำ ทดสอบปัญหา Type M จำนวนทั้งหมด 13 ปัญหา ผลการทดลองสรุปได้แสดงตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.9



การทดสอบที่ $\beta=3.5$, $\rho=0.545$ และ $I^{Max}=500$



เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของคำตอบ

ภาพที่ 4.9 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกุ่มขนาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบพร้อมด้วย สำหรับการทดสอบปัญหาขนาดใหญ่ (Type L.)

ตารางที่ 4.11 สรุปผลการทดลองการวางค่าตอบเริ่มต้นแบบถ่วงน้ำหนัก โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพค่าตอบร่วมด้วย

No	ผลการทดลองวิธีระบบแบบแม็ก-มิน จำนวน 5 ครั้ง การทดลองคือนั่งปัญหา											Avg. Time	%RP D
	Best	Run 1	Time	Run 2	Time	Run 3	Time	Run 4	Time	Run 5	Time		
P01	576.87	654.36	21.92	674.8	22.01	698.25	22.14	712.74	21.83	720.83	21.97	21.98	19.99
P02	473.53	568.81	21.42	574.5	21.26	577.96	20.29	578.38	21.29	574.42	21.65	21.18	21.39
P03	641.19	798.75	42.49	862.27	42.36	842.38	42.63	855.08	42.98	833.03	42.07	42.51	30.74
P04	1001.6	1309.54	70.28	1284.47	70.18	1229.14	69.81	1281.74	69.8	1259.6	69.76	69.97	27.09
P05	750.03	975.4	71.72	951.23	71.02	980.04	71.47	991.52	71.11	976.62	71.34	71.33	29.99
P06	876.5	1193.54	70.43	1223.21	70.87	1217.48	72.18	1235.09	70.51	1223.84	74.53	71.7	39.03
P07	885.8	1467.8	72.06	1478.96	68.	1452.36	69.73	1461.36	68.58	1475.07	69.32	69.54	65.63
P08	4437.7	6535.46	409.01	6674.78	409.7	6451.15	408.91	6287.93	408.23	6731.24	409.31	409.03	47.29
P09	3900.2	6209.29	405.64	6132.97	405.59	6055.43	405.78	6015.05	405.45	6090.84	406.51	405.8	56.42
P10	3663	6024.81	417.54	5917.41	409.71	5777.18	411.31	5814.22	411.18	5835.88	410.13	411.97	60.36
P11	3554.2	5560.24	407.07	5677.48	405.91	5867.8	407.08	5931.43	406.86	5742.26	408.02	406.99	61.95
P12	1319	1522.35	47.23	1574.34	47.63	1626.11	50.73	1527.89	48.66	1542.9	47.22	48.29	18.18
P13	1319	1594.54	47.13	1582.44	46.97	1616.58	47.32	1482.88	47.36	1522.89	47.51	47.26	18.27
P14	1360.1	1512.75	47.2	1520.8	50.19	1576.12	47.21	1566.56	50.93	1505.94	47.07	48.52	12.96
P15	2505.4	3534.22	181.13	3248.06	180.84	3521.42	181.83	3457.36	179.7	3497.18	178.79	180.46	37.77
P16	2572.2	3525.72	180.07	3252.93	179.39	3371.37	181.6	3378.61	181.05	3577.77	180.2	180.46	33.01
P17	2709.1	3432.42	180.8	3429.86	180.26	3373.42	180.51	3271.84	181.27	3346.08	183.24	181.22	24.42
P18	3702.9	5309.34	401.32	5269.97	403.65	5347.16	402.11	5135.2	401.62	5352.75	401.03	401.94	42.67
P19	3827.1	5335.34	401.07	5251.83	401.19	5176.02	400.9	5294.25	399.64	5330.86	400.78	400.71	37.9
P20	4058.1	5338.12	400.51	5298.1	401.99	5283.99	401.34	5156.58	401.86	5142.28	400.62	401.26	29.22
P21	5474.8	8408.36	891.48	8119.72	899.58	8708.69	893.12	8760.92	897.95	7780.84	898.34	896.1	52.62
P22	5702.2	8565.6	896.03	8383.7	894.44	8134.44	897.69	8697.42	894.92	7978.07	897.47	896.11	46.47
P23	6095.5	8721.72	895.78	8584.13	898.95	8199.27	898.45	8750.25	894.07	8615.28	899.12	897.27	40.66
Pr0 1	861.32	1044.92	18.47	1092.28	18.62	1136.99	18.64	1078.91	18.77	1068.93	18.61	18.62	25.9
Pr0 2	1307.6	1679.67	67.59	1731.65	67.69	1660.38	67.69	1696.8	67.6	1723.34	67.66	67.64	29.88
Pr0 3	1806.6	2371.39	147.8	2406.21	147.68	2603.31	147.97	2598.18	147.47	2562.92	147.69	147.72	38.85
Pr0 4	2072.5	2928.82	258.34	3086.92	260.24	2984.35	257.53	3037.18	257.57	3155.85	258.54	258.45	46.61
Pr0 5	2385.8	3433.83	393.5	3541.33	393.18	3488.33	394.8	3409.52	393.67	3560.84	393.44	393.71	46.15
Pr0 6	2723.3	4248.55	572.79	4130.86	572.76	4261.07	575.31	4332.1	575.06	4227.75	574.08	574	55.7
Pr0 7	1081.7	1370.04	38.8	1356.18	38.53	1436.31	38.56	1363.04	38.6	1386.04	38.66	38.63	27.79
Pr0 8	1666.6	2427.66	144.53	2380.58	144.28	2228.34	144.94	2404.76	144.74	2440.9	144.49	144.59	42.59
Pr0 9	2153.1	3136.42	324.35	3215.17	326.71	3045.92	326.77	3274.37	324.73	3234.46	325.72	325.65	47.75
Pr1 0	2921.9	4372.65	575.49	4396.2	574.97	4297.78	573.54	4243.2	572.58	4398.66	575.12	574.34	48.59
											3473.59	38.3	

4.2.4 สรุปผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย

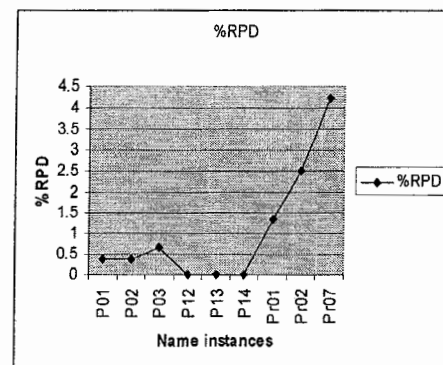
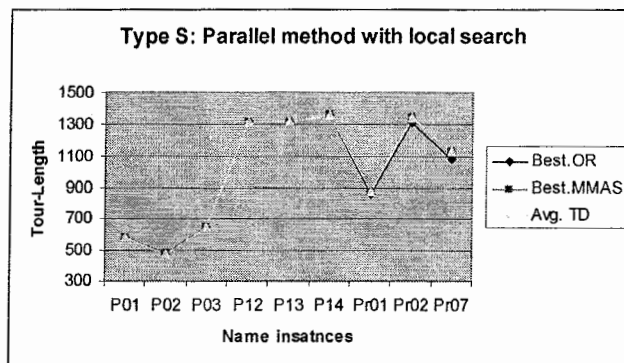
ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วยจำนวนทั้งหมด 33 ปัญหา ผู้วิจัยสรุปผลจากการทดลองดังตารางที่ 4.11 พบว่าวิธีการดังกล่าวนี้ ให้ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่มีคุณภาพคำตอบที่ค่อนข้างดีอยู่คุณภาพเป็นอย่างมาก โดยที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเมื่อเทียบกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปจาก OR-Library เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 38.3% และให้ผลเฉลยที่มีระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงที่สุด คือ 60.36% สำหรับการแก้ปัญหาที่ P10

ในภาพรวมของการแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินด้วยการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพร่วมด้วยยังไม่สามารถยอมรับกับคุณภาพผลเฉลยที่ได้สำหรับการแก้ปัญหาซึ่งเกณฑ์มาตรฐานโดยทั่วไปสำหรับการแก้ปัญหาคือวิธีการใช้เชิงฮิวริสติกจะยอมรับที่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดโดยเฉลี่ยไม่เกิน 10% เท่านั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการทดลองในขั้นต่อไปในหัวข้อที่ 4.3 ต่อไปอีก

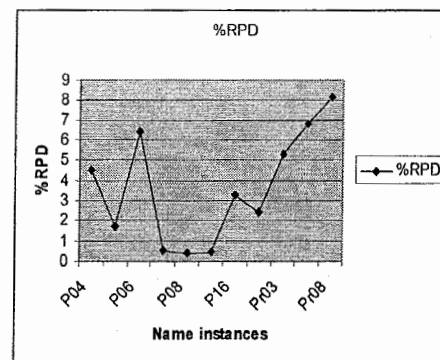
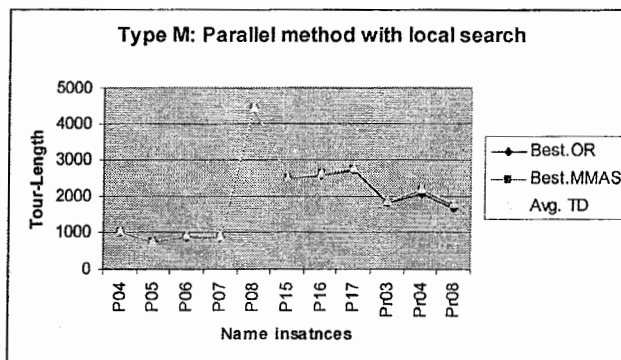
4.3 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย (Parallel Method with Local Search Procedure)

หัวข้อที่ 4.3 นี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองการแก้ปัญหา MDVRP ด้วยวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนานโดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย โดยใช้ขั้นตอนการกระทำซ้ำเพื่อพยายามหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบ ณ เวลาปัจจุบันที่มีอยู่เดิม หลังจากที่ได้ทำการสร้างคำตอบเริ่มต้นเสร็จสิ้นแล้ว ในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบนี้ ผู้วิจัยได้ทำการประยุกต์ใช้เทคนิคฮิวริสติกต่าง ๆ สำหรับการปรับปรุงคุณภาพคำตอบในรูปแบบต่าง ๆ เช่น “Move-Swap operators” และ “Hybrid 2-opt*/3-opt algorithm”

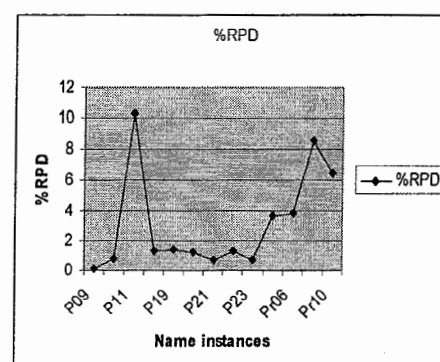
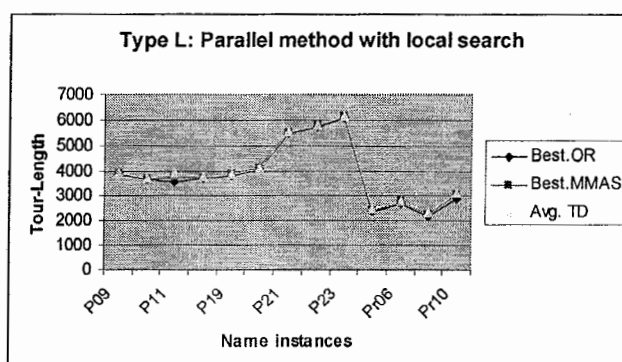
สำหรับการแก้ปัญหขนาดต่างเลือกใช้พารามิเตอร์เหล่านี้ คือ ปัญหขนาดเล็กลเลือกใช้ที่ระดับ $\beta=2.0$, $\rho=0.545$ และ $I^{Max}=300$ ปัญหขนาดกลางที่ระดับ $\beta=3.50$, $\rho=0.10$ และ $I^{Max}=300$ และปัญหขนาดใหญเลือกใช้ที่ระดับ $\beta=3.5$, $\rho=0.545$ และ $I^{Max}=500$ ผลการทดลองที่ได้จากการแก้ปัญหขนาดเล็กล ดังแสดงในภาพที่ 4.10 สำหรับปัญหขนาดกลาง ดังแสดงในภาพที่ 4.11 และสำหรับปัญหขนาดใหญ ดังแสดงในภาพที่ 4.12



Type S: การทดสอบที่ $\beta = 2.0$, $\rho = 0.545$ และ $I^{Max} = 300$ เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของคำตอบ
 ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุง
 คุณภาพคำตอบร่วมด้วยสำหรับปัญหขนาดเล็ (Type S.)

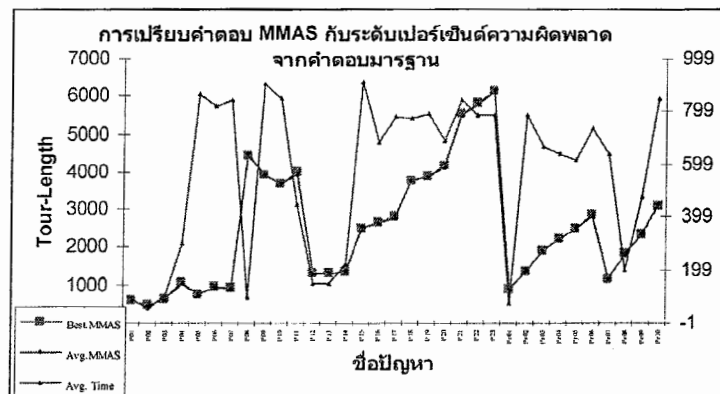


Type M: การทดสอบที่ $\beta = 3.5$, $\rho = 0.545$ และ $I^{Max} = 300$ เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของคำตอบ
 ภาพที่ 4.11 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุง
 คุณภาพคำตอบร่วมด้วยสำหรับปัญหขนาดกลาง (Type M.)

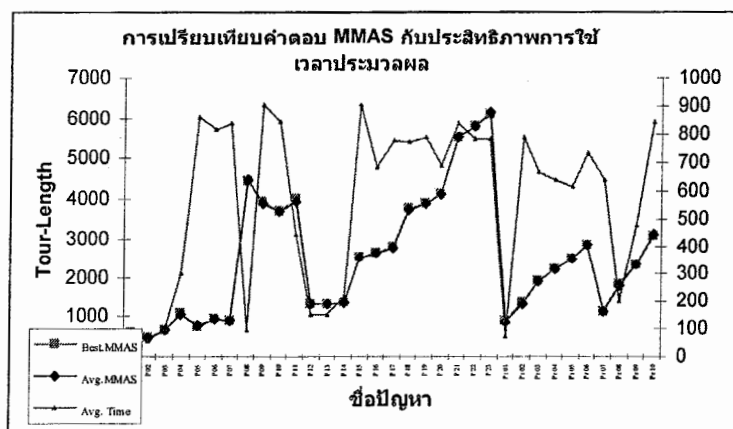


Type L: การทดสอบที่ $\beta = 3.5$, $\rho = 0.545$ และ $I^{Max} = 500$ เปรี่เซ็นต์ความผิดพลาดของคำตอบ
 ภาพที่ 4.12 ผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุง
 คุณภาพคำตอบร่วมด้วยสำหรับปัญหขนาดใหญ่ (Type L.)

จากภาพผลการทดลองตั้งแต่ภาพที่ 4.10 ถึงภาพที่ 4.12 ทั้งหมด 33 ปัญหา เมื่อผู้วิจัยนำผลจากการทดลองจากการแก้ปัญหาโดยวิธีระบบมดแบบแม็ก - มิน ด้วยวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบคู่ขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมกับ มาทำการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้รับกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปใน OR-Library ทำให้พบว่าระดับของเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในการหาผลเฉลยสรุปได้ดังภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.13 การเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบและระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากวิธี MMAS



ภาพที่ 4.14 การเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบและประสิทธิภาพการใช้เวลาประมวลผลจากวิธี MMAS

และนอกจากนั้นในระหว่างการทดสอบ ผู้วิจัยยังได้เก็บรวบรวมข้อมูลผลเฉลยที่ดีที่สุดในการค้นหาผลเฉลยของแต่ละรอบกระทำซ้ำมาแสดงไว้ในภาคผนวก ง. เพื่อพิจารณาถึงแต่ละรอบกระทำซ้ำให้ระดับของคุณภาพผลเฉลยในการแก้ปัญหาว่าเป็นอย่างไรบ้าง ซึ่งเปรียบเสมือนเครื่องมือในการเฝ้าสังเกตการณ์การเข้าสู่หาคำตอบของแต่ละรอบกระทำซ้ำ ตั้งแต่รอบกระทำซ้ำเริ่มต้นไปจนถึงระดับรอบกระทำซ้ำสูงสุดและสรุปผลการทดลองได้ดังแสดงในตารางสรุปที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 สรุปผลการทดลองการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบกลุ่มขนาน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย

No	ผลการทดลองวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน จำนวน 5 ครั้ง การทดลองข้อหนึ่งปัญหา													%RPD
	New best	Run 1	CPU	Run 2	CPU	Run 3	CPU	Run 4	CPU	Run 5	CPU	Avg.TD	Avg. Time	
P01	576.870	576.870	87.516	576.870	87.676	585.787	87.886	576.530	87.856	578.690	87.556	578.949	87.698	0.36
P02	473.530	473.530	52.547	473.530	52.657	476.120	53.387	478.628	53.317	474.400	52.557	475.242	52.893	0.36
P03	641.190	641.190	99.203	656.534	99.453	642.390	100.203	644.090	99.693	642.900	99.203	645.421	99.551	0.66
P04	1001.590	1001.590	398.780	1054.090	498.030	1043.440	199.530	1076.540	198.880	1058.490	199.520	1046.830	298.948	4.52
P05	750.030	750.030	860.640	762.930	862.050	779.830	860.840	753.380	861.350	767.030	860.690	762.640	861.114	1.68
P06	876.500	876.500	816.513	941.922	816.873	948.622	819.233	943.972	819.253	952.672	818.433	932.738	818.061	6.42
P07	885.800	884.660	839.089	884.810	839.719	894.860	840.389	894.710	839.139	893.160	839.629	890.440	839.593	0.52
P08	4437.680	4433.280	92.294	4445.980	93.794	4473.530	92.694	4437.630	91.794	4490.380	93.994	4456.160	92.914	0.42
P09	3900.220	3877.350	902.314	3892.600	903.514	3918.650	902.914	3920.250	901.834	3913.150	903.554	3904.400	902.826	0.11
P10	3663.020	3655.180	844.260	3670.930	844.900	3724.080	844.970	3681.780	847.160	3734.380	846.850	3693.270	845.628	0.83
P11	3554.180	3748.300	444.930	3967.850	445.630	3948.800	445.060	3994.650	446.680	3927.600	446.900	3917.440	445.840	10.22
P12	1318.950	1318.950	152.235	1318.950	151.250	1318.950	147.985	1318.950	150.640	1318.950	137.640	1318.950	147.950	0.00
P13	1318.950	1318.950	152.235	1318.950	151.250	1318.950	147.985	1318.950	150.640	1318.950	137.640	1318.950	147.950	0.00
P14	1360.120	1360.120	216.750	1360.120	210.610	1360.120	223.235	1360.120	221.653	1360.120	215.650	1360.120	217.580	0.00
P15	2505.420	2505.420	906.609	2523.720	907.339	2519.020	908.149	2509.820	908.789	2526.970	908.149	2516.990	907.807	0.46
P16	2572.230	2639.600	683.840	2661.200	685.120	2661.200	685.120	2661.200	685.310	2661.200	685.310	2656.880	684.940	3.29
P17	2709.090	2739.710	742.420	2763.360	765.270	2796.060	808.320	2788.510	807.320	2785.260	760.620	2774.580	776.790	2.42
P18	3702.850	3702.830	742.420	3727.880	766.970	3766.630	805.470	3769.980	788.620	3780.880	769.870	3749.640	774.670	1.26
P19	3827.060	3892.200	787.250	3846.150	788.310	3906.400	787.370	3888.500	790.340	3870.800	789.010	3880.810	788.456	1.40
P20	4058.070	4123.850	689.907	4068.750	691.147	4113.150	690.187	4137.300	691.587	4086.350	690.027	4105.880	690.571	1.18
P21	5474.840	5540.450	838.500	5480.250	839.770	5512.600	839.360	5521.150	840.450	5500.600	839.140	5511.010	839.444	0.66
P22	5702.160	5782.150	780.625	5793.450	781.975	5781.400	783.145	5796.600	782.315	5721.600	783.305	5775.040	782.273	1.28
P23	6095.460	6162.800	782.594	6139.450	784.024	6122.350	782.874	6117.550	785.834	6146.850	785.114	6137.800	784.088	0.70
Pr01	861.320	861.320	71.662	884.816	68.672	871.874	67.719	878.355	70.000	867.780	70.562	872.829	69.723	1.34
Pr02	1307.610	1311.280	787.420	1349.230	785.390	1319.880	787.170	1344.080	786.880	1377.580	785.950	1340.410	786.562	2.51
Pr03	1806.600	1819.710	666.720	1928.850	667.530	1954.800	667.500	1899.450	669.030	1907.900	666.300	1902.142	667.416	5.29
Pr04	2072.520	2190.960	638.050	2229.500	639.610	2218.650	639.110	2223.450	639.840	2201.500	640.650	2212.812	639.452	6.77
Pr05	2385.770	2441.950	614.400	2481.100	615.600	2466.450	614.100	2487.700	614.600	2485.650	614.300	2472.570	614.600	3.64
Pr06	2723.270	2790.730	734.500	2831.300	735.700	2833.350	734.800	2848.200	734.500	2830.550	735.200	2826.826	734.940	3.80
Pr07	1081.710	1089.560	638.050	1132.060	639.770	1149.460	639.140	1129.410	639.270	1136.510	638.640	1127.400	638.974	4.22
Pr08	1666.600	1751.940	198.937	1795.690	199.627	1828.440	199.927	1817.590	198.957	1816.590	199.187	1802.050	199.327	8.13
Pr09	2153.100	2298.930	474.562	2342.950	475.840	2362.900	475.520	2332.650	475.580	2350.050	476.180	2337.496	475.536	8.56
Pr10	2921.850	3070.950	844.203	3115.450	845.850	3135.600	846.840	3087.900	844.650	3138.550	845.330	3109.690	845.375	6.43

จากตารางที่ 4.12 ผู้วิจัยยังพบอีกว่าวิธีเชิงฮิวริสติกที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนามานี้สามารถให้ผลเฉลยที่มีคุณภาพและอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ เมื่อเทียบกับผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 โดยให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%RPD) ในการค้นหาผลเฉลยเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 2.709 % และยังให้คุณภาพคำตอบที่ดี (ระดับที่ดีเท่ากัน) ในปัญหาที่ P12

P13 และ P14 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%RPD) เท่ากับ 0.00% คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประสบความสำเร็จในการแก้ปัญหาอยู่ระดับ 33.33% แต่อย่างไรก็ตาม ในทางตรงกันข้ามวิธีเชิงฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมานี้ ยังข้อบกพร่องในการแก้ปัญหาอยู่บ้าง กล่าวคือ ในการแก้ปัญหาที่ Pr08 และ Pr09 ให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหาที่เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่สูง คือ 8.127% และ 8.564 % ตามลำดับ

ซึ่งคุณภาพโดยรวมของผลเฉลยที่ได้รับยังมีคุณภาพที่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่ผู้วิจัยคาดหวังเอาไว้ในเบื้องต้น กล่าวคือ ไม่มีผลเฉลยของปัญหาใดเลยที่ดีไปกว่าคำตอบที่ทราบโดยทั่วไป ผู้วิจัยจึงต้องทำการพัฒนาขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยเพิ่มเติมอีกหนึ่งขั้นตอนในหัวข้อที่ 4.4 ผู้วิจัยเรียกว่า “ขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยเชิงลึก (Intensification method)” แต่อย่างไรก็ตามในภาพรวมสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP ทั้งหมดในหัวข้อที่ 4.3 นี้ ให้ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด โดยเฉลี่ยที่ไม่เกิน 10% และใช้เวลาประมวลผลโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 562.41 วินาที หรือคิดเป็น 0.157 ชั่วโมงต่อหนึ่งปัญหา

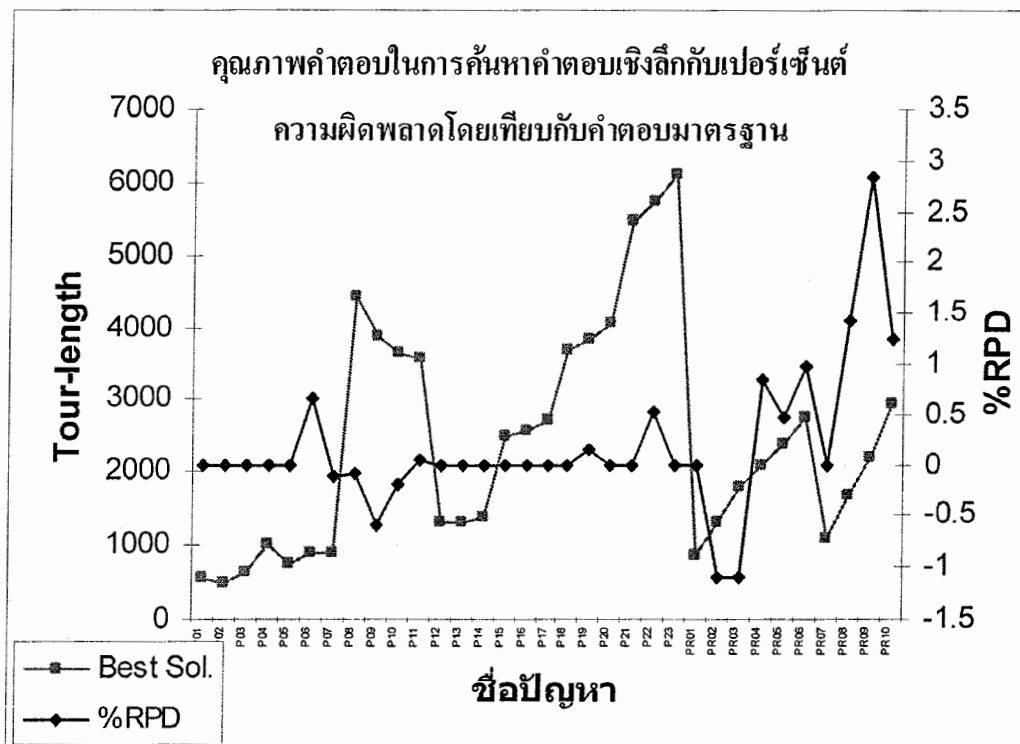
4.4 ผลการทดลองขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยเชิงลึก (Intensification Method)

จุดประสงค์ของการค้นหาผลเฉลยเชิงลึกนี้ คือ การบังคับให้วิธีการทำการค้นหาคำตอบภายในพื้นที่ที่น่าจะมีผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ดีหรือผลเฉลยที่ดีที่สุด เพื่อที่จะให้สามารถมั่นใจได้ว่าวิธีการสามารถค้นหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งจะใช้เวลาเพิ่มมากกว่าในหัวข้อที่ 4.3 ดังนั้นในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้สร้างโปรแกรมลินโก 4 ดังแสดงภาคผนวก ข. ทำการแก้ปัญหาแบบปัญหา VRP คือ ประกอบด้วยศูนย์กระจายสินค้ากลางมีเพียงแห่งเดียวและมีลูกค้าจำนวนราย กับทุกๆ ปัญหาทั้งหมด 33 ปัญหา

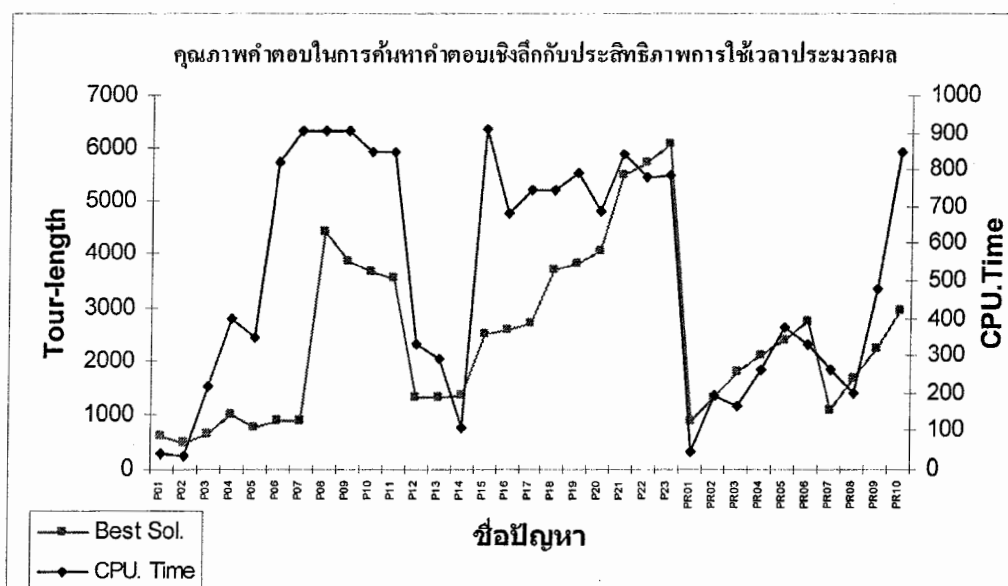
ผลการทดลองในขั้นตอนนี้กับปัญหาทั้งหมด 33 ปัญหา ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.15 ซึ่งแสดงคุณภาพผลเฉลยที่ได้รับจากขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยเชิงลึกโดยที่เปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปและภาพที่ 4.16 แสดงถึงประสิทธิภาพการใช้เวลาประมวลผลสำหรับการทดลองการค้นหาผลเฉลยเชิงลึกและารค้นหาผลเฉลยเชิงลึกนี้ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนสุดท้ายของวิธีการแก้ปัญหาที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP ทั้งหมด 33 ปัญหา

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยพบว่าสามารถให้ผลเฉลยที่มีคุณภาพที่น่าพอใจโดยที่มีระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด เมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปใน OR-Library เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 0.179% และยังให้ผลเฉลยในระดับที่ดีในการแก้ปัญหา รวมทั้งหมด 15 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P01 P02 P03 P12 P13 P14 P15 P16 P17 P18 P20 P21 P23 Pr01 และ Pr07 มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0.00% และนอกเหนือจากนั้นแล้วยังให้ผลเฉลยในระดับที่ดีกว่าคำตอบมาตรฐานใน

OR-Library ถึง 8 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P04 P05 P07 P08 P09 P10 Pr02 และ Pr03 สรุปผลการทดลอง
 ดังแสดงในตารางที่ 4.13



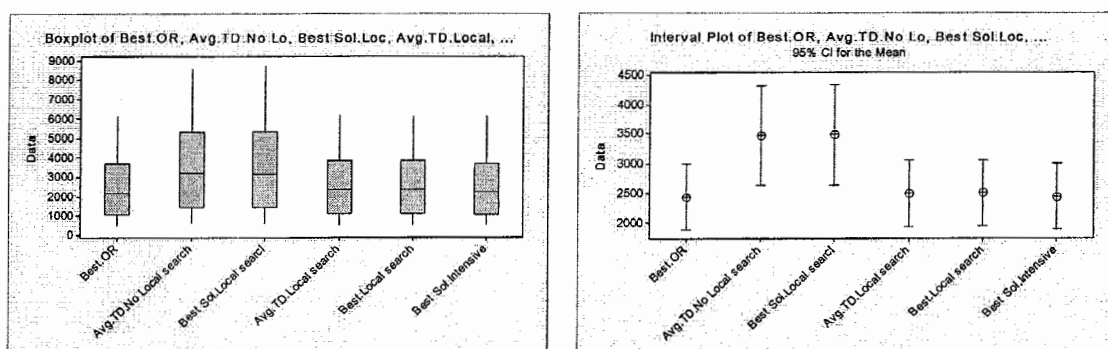
ภาพที่ 4.15 คุณภาพผลเฉลยจากการค้นหาเชิงลึกเปรียบเทียบกับคำตอบมาตรฐาน



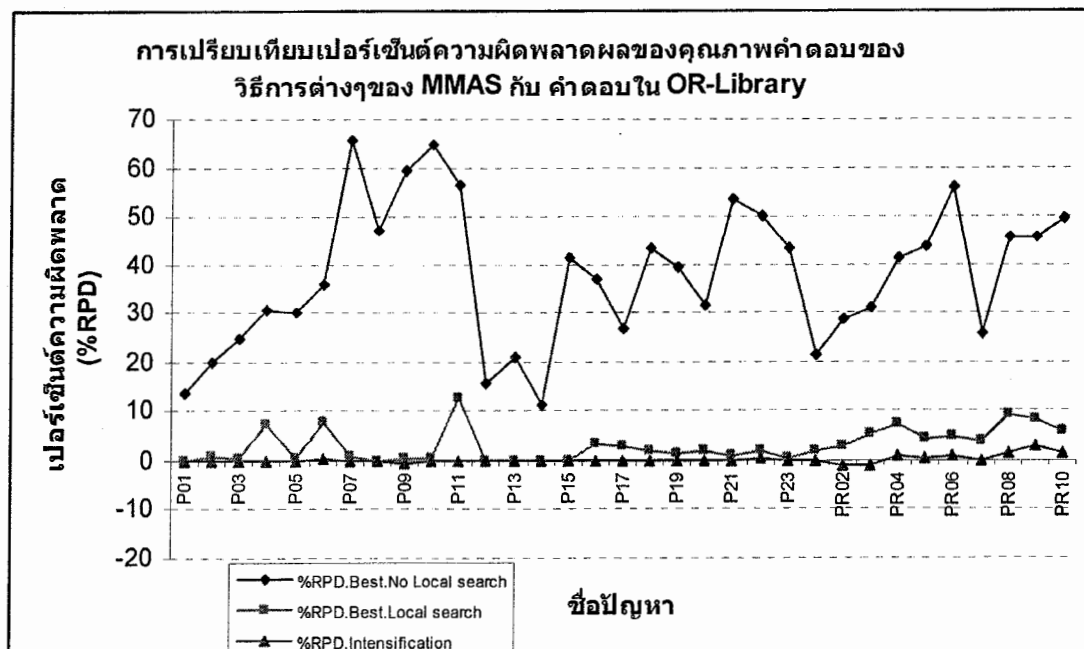
ภาพที่ 4.16 คุณภาพผลเฉลยจากการค้นหาเชิงลึกกับเวลาประมวลผล

4.5 การเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้รับจากขั้นตอนต่าง ๆ ของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

หัวข้อที่ 4.5 นี้ผู้วิจัยนำผลเฉลยที่ดีที่สุดจากการทดลอง ตั้งแต่หัวข้อที่ 4.2 -4.4 ในการแก้ปัญหา MDVRP มาทำการเปรียบเทียบกัน เพื่อศึกษาว่าแต่ละขั้นตอนให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหา MDVRP ที่แตกต่างกันในแง่มุมใดบ้างหรือขั้นตอนใดที่ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด มีคุณภาพมากที่สุด สรุปได้ดังภาพที่ 4.17 และภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.17 ผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้รับจากขั้นตอนของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน



ภาพที่ 4.18 คุณภาพของผลเฉลยจากขั้นตอนต่าง ๆ กับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไป

ผลการเปรียบเทียบในภาพที่ 4.17 และ 4.18 พบว่าแต่ละขั้นตอนที่ผู้วิจัยทำการพัฒนาวิธีการขึ้นมามีคุณภาพผลเฉลยที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

4.5.1 วิธีการค้นหาผลเฉลยที่ให้คุณภาพที่ดีที่สุดในขั้นตอนวิธีระบบดแบบแม็ก-มิน โดยที่ไม่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย พบว่ามีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงถึง 60.36%

4.5.2 วิธีระบบดแบบแม็ก-มิน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วย สามารถให้คุณภาพผลเฉลยในการแก้ปัญหาอย่างไม่ดีนักแต่สามารถให้คุณภาพผลเฉลยที่ดีกว่าในขั้นตอนแรก แต่คุณภาพผลเฉลยที่ได้รับจากการแก้ปัญหายังไม่สามารถให้คุณภาพผลเฉลยที่ดีไปกว่าคำตอบที่ทราบใน OR-Library แต่อย่างใดและมีระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2.709%

4.5.3 ขั้นตอน “ขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยเชิงลึก” พบว่าผลเฉลยที่ได้ในการแก้ปัญหาเป็นที่น่าพอใจ มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 0.179% จากการแก้ปัญหาทั้งหมด 33 ปัญหา คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของความสำเร็จในการแก้ปัญหาในขั้นตอนนี้สูงถึง 69.69%

4.5.4 ถ้าพิจารณาในเชิงของการใช้เวลาประมวลผลขั้นตอนแรกใช้เวลาโดยเฉลี่ยปัญหาละ 276.51 วินาที ขั้นตอนที่สองใช้เวลาโดยเฉลี่ยปัญหาละ 562.408 วินาที และขั้นตอนสุดท้ายใช้เวลาโดยเฉลี่ยปัญหาละ 587.408 วินาที ถ้าคิดเป็นอัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้ประมวลผล ขั้นตอนที่สองใช้เวลาในอัตราที่ 1.033 เท่าของขั้นตอนที่หนึ่งและขั้นตอนสุดท้ายมีอัตราการการใช้เวลาที่เพิ่มขึ้นที่ 0.04 เท่าของขั้นตอนที่สอง

ผู้วิจัยสรุปได้ว่าประเด็นของการใช้เวลาประมวลผลกับการใช้วิธีระบบดแบบแม็ก-มิน โดยที่มีขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบร่วมด้วยจะมีอัตราการของการใช้เวลาประมวลผลที่เพิ่มขึ้นแต่ก็ให้ผลเฉลยอยู่ในระดับคุณภาพที่ดีขึ้นด้วย แสดงได้ว่าขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบนี้มีนัยสำคัญต่อกระบวนการการแก้ปัญหาเป็นอย่างยิ่ง ส่วนการค้นหาผลเฉลยขั้นสุดท้ายเปรียบเสมือนกับการเก็บตกพื้นที่สำรวจที่ต่อจากขั้นที่สองที่พลาดโอกาสในการค้นผลเฉลยในพื้นที่สำคัญ ๆ โดยใช้อัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาประมวลผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่ก็สามารถให้ผลเฉลยที่ดียิ่งขึ้นไปกว่าขั้นตอนที่สอง ผลการเปรียบเทียบผลเฉลยจากขั้นตอนของวิธีระบบดแบบแม็ก-มิน สรุปในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 สรุปการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่ได้รับจากขั้นตอนต่างๆ ของวิธีระบบแบบเม็ก-มิน

ลักษณะของปัญหามาตรฐาน										MMAS-No Local search					MMAS-with Local search					Intensive-MMAS-with Local search				
										Avg.ID	%RPD	Avg. Time	Best Sol.	%RPD	Avg.ID	%RPD	Avg. Time	Best Sol.	%RPD	Best Sol.	CPU Time	%RPD		
P01	50	4	C	576.87	CGW	692.20	19.99	21.98	654.36	13.43	578.95	576.53	-0.06	576.87	37.53	0.00								
P02	50	4	C	473.53	RLB	574.81	21.39	21.18	568.81	20.12	475.24	478.63	1.08	473.53	32.80	0.00								
P03	75	2	C	641.19	CGW	838.30	30.74	42.51	798.75	24.57	645.42	644.09	0.45	641.19	215.44	0.00								
P04	100	2	C	1001.59	CGL	1272.90	27.09	69.97	1309.54	30.75	1046.83	1076.54	7.48	1001.47	398.78	-0.01								
P05	100	2	C	750.03	CGL	974.96	29.99	71.33	973.40	30.05	762.64	753.38	0.45	749.93	345.89	-0.01								
P06	100	3	C	876.5	RLB	1218.63	39.03	71.70	1193.54	36.17	932.74	943.97	7.70	882.16	816.09	0.65								
P07	100	4	C	885.8	CGL	1467.11	65.63	69.54	1467.80	65.70	890.44	894.71	1.01	884.66	901.73	-0.13								
P08	249	2	CD	4437.68	CGL	6536.11	47.29	409.03	6535.46	47.27	4456.16	4437.63	0.00	4433.28	901.73	-0.10								
P09	249	3	CD	3900.22	CGL	6100.72	56.42	405.80	6209.29	59.20	3904.40	3920.25	0.51	3877.35	901.73	-0.59								
P10	249	4	CD	3663.02	CGL	5873.90	60.36	411.97	6024.81	64.48	3693.27	3681.78	0.51	3655.18	844.26	-0.21								
P11	249	5	CD	3554.18	CGL	5755.84	61.95	406.99	5560.24	56.44	3917.44	3994.65	12.39	3555.96	844.26	0.05								
P12	80	2	C	1318.95	RLB	1558.72	18.18	48.29	1594.54	20.89	1318.95	1318.95	0.00	1318.96	329.08	0.00								
P13	80	2	CD	1318.95	RLB	1559.87	18.27	47.26	1594.54	20.89	1318.95	1318.95	0.00	1318.96	329.08	0.00								
P14	80	2	CD	1360.12	CGL	1536.43	12.96	48.52	1512.75	11.22	1360.12	1360.12	0.00	1360.12	109.25	0.00								
P15	160	4	C	2505.42	CGL	3451.65	37.77	180.46	3534.22	41.06	2516.99	2509.82	0.18	2505.42	906.61	0.00								
P16	160	4	CD	2572.23	RLB	3421.28	33.01	180.46	3525.72	37.07	2656.88	2661.20	3.46	2572.22	683.84	0.00								
P17	160	4	CD	2709.09	CGL	3370.72	24.42	181.22	3432.42	26.70	2774.58	2788.51	2.93	2709.08	742.42	0.00								
P18	240	6	C	3702.85	CGL	5282.88	42.67	401.94	5309.34	43.39	3749.64	3769.98	1.81	3702.83	742.42	0.00								
P19	240	6	CD	3827.06	RLB	5277.66	37.90	400.71	5335.34	39.41	3880.81	3888.50	1.61	3832.87	787.25	0.15								
P20	240	6	CD	4058.07	CGL	5243.81	29.22	401.26	5338.12	31.54	4105.88	4137.30	1.95	4058.05	689.91	0.00								
P21	360	9	C	5474.84	CGL	8355.71	52.62	896.10	8408.36	53.58	5511.01	5521.15	0.85	5474.84	838.50	0.00								
P22	360	9	CD	5702.16	CGL	8351.85	46.47	896.11	8565.60	50.22	5775.04	5796.60	1.66	5732.66	780.63	0.53								
P23	360	9	CD	6095.46	CGL	8574.13	40.66	897.27	8721.72	43.09	6137.80	6117.55	0.36	6095.46	782.59	0.00								
PR01	48	4	CD	861.32	CGL	1084.41	25.90	18.62	1044.92	21.32	872.83	878.36	1.98	861.32	43.06	0.00								
PR02	96	4	CD	1307.61	CGL	1698.37	29.88	67.64	1679.67	28.45	1340.41	1344.08	2.79	1293.18	195.97	-1.10								
PR03	144	4	CD	1806.6	CGL	2508.40	38.85	147.72	2371.39	31.26	1902.14	1899.45	5.14	1786.67	166.72	-1.10								
PR04	192	4	CD	2072.52	CGL	3038.62	46.61	258.45	2928.82	41.32	2212.81	2223.45	7.28	2089.69	263.05	0.83								
PR05	240	4	CD	2385.77	CGL	3486.77	46.15	393.71	3433.83	43.93	2472.57	2487.70	4.27	2397.26	376.40	0.48								
PR06	288	4	CD	2723.27	CGL	4240.07	55.70	574.00	4248.55	56.01	2826.83	2848.20	4.59	2749.57	327.50	0.97								
PR07	72	6	CD	1089.56	CGL	1382.32	26.87	38.63	1370.04	25.74	1127.40	1129.41	3.66	1089.56	263.05	0.00								
PR08	144	6	CD	1666.6	CGL	2376.45	42.59	144.59	2427.66	45.67	1802.05	1817.59	9.06	1690.24	198.94	1.42								
PR09	216	6	CD	2153.1	CGL	3181.27	47.75	325.65	3136.42	45.67	2337.50	2332.65	8.34	2214.30	474.56	2.84								
PR10	288	6	CD	2921.85	CGL	4341.70	48.59	574.34	4372.65	49.65	3109.69	3087.90	5.68	2958.51	844.20	1.25								

4.6 การเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในหัวข้อที่ 4.6 ผู้วิจัยนำผลเฉลยที่ดีที่สุดสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP โดยวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน จากหัวข้อที่ 4.5 มาทำการเปรียบเทียบกับผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีการอื่น ๆ จากการรวบรวมรายงานการวิจัยที่ได้ทำการศึกษามาแล้วในบทที่ 2 จำนวนทั้งหมด 5 รายงานการวิจัย ซึ่งประกอบไปด้วย

รายงานการวิจัยของ Chao I-M., Golden B.L. and Wasil E.A., (1993)

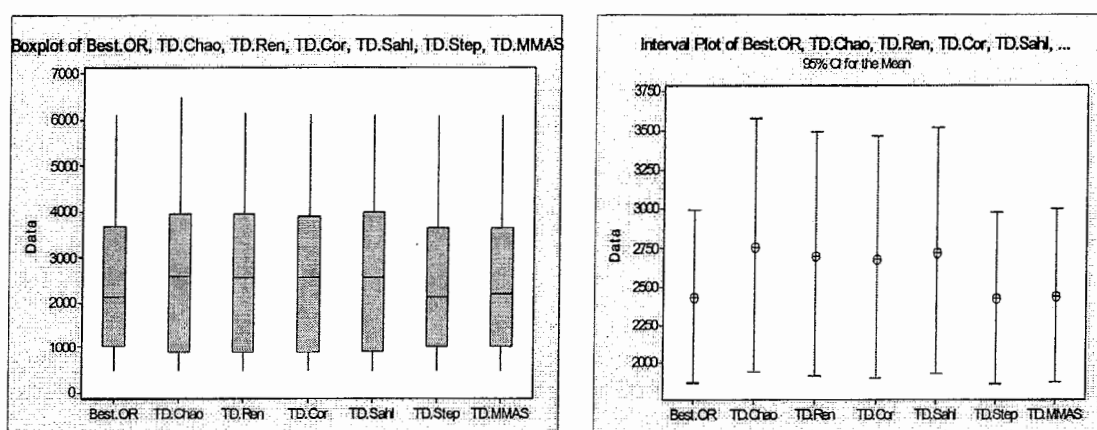
รายงานการวิจัยของ Cordeau J.-F., Gendreau M. and Laporte G., (1997)

รายงานการวิจัยของ Renaud Y., Laporte G. and Boctor F.F., (1996)

รายงานการวิจัยของ Salhi S. and Sari M., (1997)

และรายงานการวิจัยของ David P. and Stefan R., (2007)

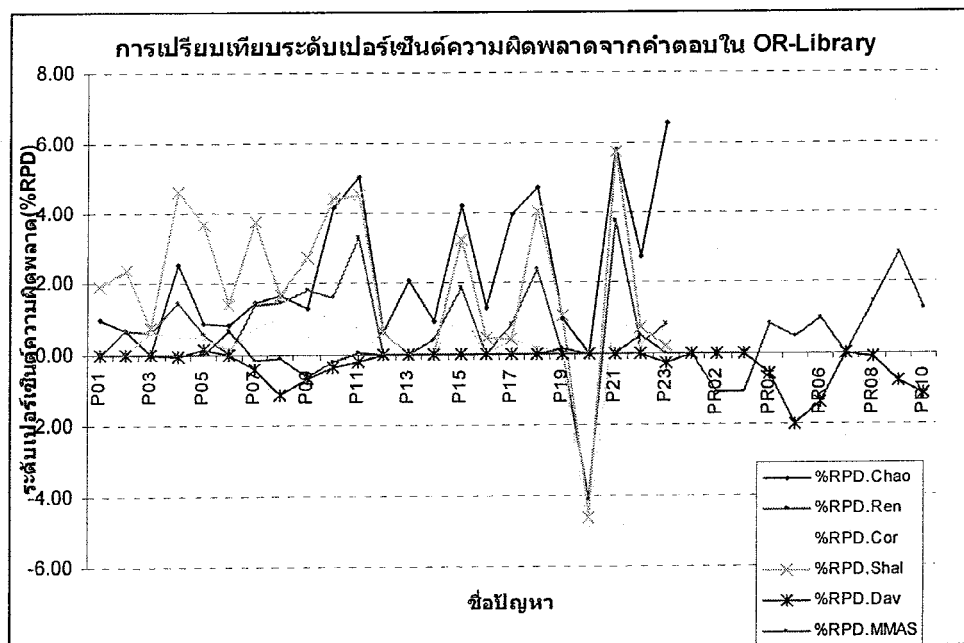
สรุปผลจากการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แสดงได้ดังภาพที่ 4.19 และ 4.20



ภาพที่ 4.19 ผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีระบบมดแบบแม็ก - มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ภาพที่ 4.19 และ 4.20 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการแก้ปัญหา MDVRP ของแต่ละงานวิจัย ตั้งแต่งานวิจัยของ Chao., et al., (1993) Renaud Y., et al. (1996) Salhi S. and Sari M., (1997) Cordeau., et al. (1997) มาจนถึงปัจจุบัน คือ วิจัยของ David P. and Stefan R. (2007) จากรายงานการวิจัยนี้สามารถแบ่งกลุ่มทดลองวิธีการแก้ปัญหาวินิจฉัยได้เป็นกลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มที่หนึ่งกลุ่มทำการแก้ปัญหา MDVRP เพียง 23 ปัญหาเท่านั้นและกลุ่มที่สองทำการแก้ปัญหา MDVRP ทั้งหมด 33 ปัญหา ซึ่งกลุ่มงานวิจัยที่ได้ทำการทดลองการแก้ปัญหากับปัญหามาตรฐาน 23 ปัญหา มีงานวิจัยของ Chao., et al. (1993) Renaud Y., et al. (1996) Salhi S. and Sari M., (1997) Cordeau., et

al. (1997) และกลุ่มสุดท้าย คือ งานวิจัยของ David P. and Stefan R. (2007) ในภาพที่ 4.20 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเฉลี่ยที่ดีที่สุดของแต่ละวิธีเมื่อทำการเปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปจาก OR-Library โดยที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดจากคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปแสดงด้วยเส้นอ้างอิงที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.00%



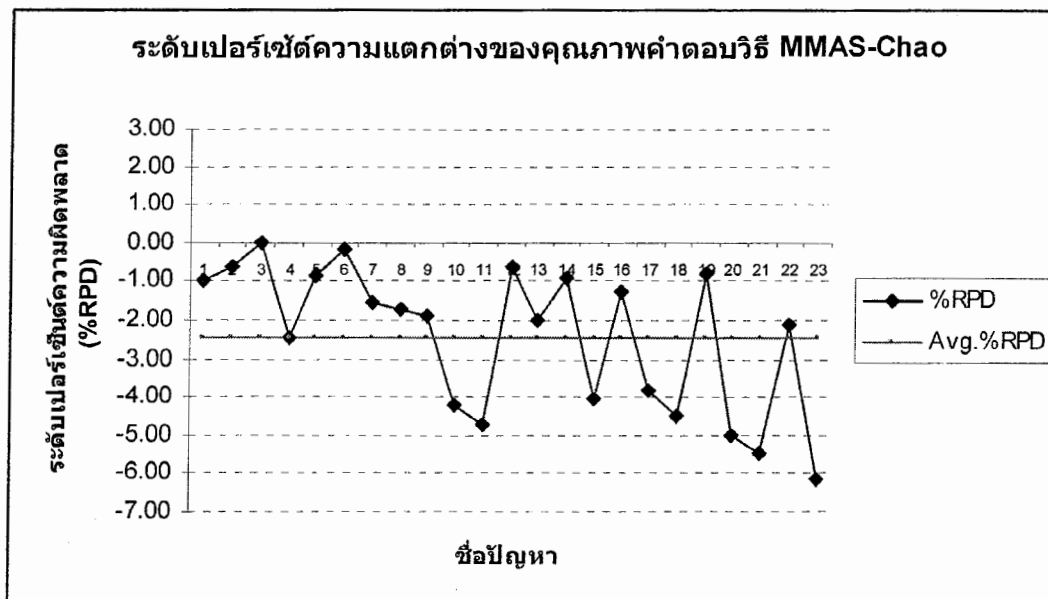
ภาพที่ 4.20 ผลเฉลี่ยที่ดีที่สุดของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและคำตอบที่ทราบโดยทั่วไป

จากการเปรียบเทียบคุณภาพผลเฉลี่ยที่แสดงข้างต้น ผู้วิจัยมิได้แสดงถึงประสิทธิภาพผลเฉลี่ยกับเวลาประมวลผลจากการแก้ปัญหาแต่ละวิธีการ เมื่อนำมาทำการเปรียบเทียบกันทั้ง 5 ฉบับรายงานการวิจัย ผู้วิจัยจะทำการแปลผลเฉพาะการเปรียบเทียบในเชิงคุณภาพผลเฉลี่ยของแต่ละวิธีการเท่านั้น แต่จะไม่ทำการเปรียบเทียบในเรื่องของเวลาที่ใช้ประมวลผล (Computational time) เหตุผลสำคัญ คือ ในการพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติกนั้นจะขึ้นอยู่กับความเชี่ยวชาญ ความชำนาญเชิงการโปรแกรม ภาษาที่ใช้งานของผู้วิจัย รวมทั้งทักษะความสามารถในการพัฒนาวิธีการย่อมมีความแตกต่างกันด้วย หรืออาจรวมไปถึงเรื่องของสมรรถนะตัวประมวลผล (คุณสมบัติของคอมพิวเตอร์) ซึ่งยากแก่การพิสูจน์ความสามารถการใช้เวลาที่ใช้ประมวลผลจริง ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงไม่ทำการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้และไม่แสดงถึงนัยสำคัญ ว่าวิธีการใด วิธีการหนึ่งดีไปกว่ากันในเรื่องของเวลาประมวลผล การเปรียบเทียบผลเฉลี่ยที่ดีที่สุดของวิธีระบบมดแบบแม็ก - มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสรุปได้ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 สรุปการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดวิธีระบบแบบเม็ก-มินกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ข้อปัญหา	การเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลยกับวิธีเชิงฮิวริสติกในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง				
	Chao I-M., et al. (1993)	Cordeau., et al. (1997)	Renaud Y., et al. (1996)	Salhi S., et al. (1997)	David P. and Stefan R. (2007)
P01	<*	=	=	<*	=
P02	<*	<*	<*	<*	=
P03	=	<*	<*	<*	=
P04	<*	<*	<*	<*	>
P05	<*	<*	<*	<*	<*
P06	<*	>	>	<*	>
P07	<*	<*	<*	<*	>
P08	<*	<*	<*	<*	>
P09	<*	<*	<*	<*	>
P10	<*	<*	<*	<*	>
P11	<*	<*	<*	<*	>
P12	<*	>	>	<*	>
P13	<*	>	>	<*	>
P14	<*	<*	=	<*	=
P15	<*	<*	<*	<*	=
P16	<*	=	=	<*	=
P17	<*	<*	<*	<*	=
P18	<*	<*	<*	<*	<*
P19	<*	>	>	<*	>
P20	<*	<*	=	<*	=
P21	<*	<*	<*	<*	=
P22	<*	>	>	<*	>
P23	<*	<*	<*	<*	>
PR01					=
PR02					<*
PR03					<*
PR04					>
PR05					>
PR06					>
PR07					=
PR08					>
PR09					<*
PR10					>
<*: MMAS	22	16	14	23	5
=: MMAS	1	2	4	0	11
>: MMAS	0	5	5	0	17
<* หมายถึงวิธี MMAS สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ = หมายถึงวิธี MMAS สามารถให้ผลเฉลยที่ดีเท่ากับวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ > หมายถึงวิธี MMAS สามารถให้ผลเฉลยที่ด้อยกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ					

4.6.1 ผลการเปรียบเทียบวิธีของ Chao., et al. (1993) กับวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน



ภาพที่ 4.21 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ Chao., et al. (1993) วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

4.6.1.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypotheses testing)

(1) ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบมดแบบแม็ก - มิน ไม่มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธี Chao., et al.(1993) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานหลักได้ดังนี้

$$\text{ตั้งสมมติฐานหลัก} \longrightarrow H_0 : \mu_A = \mu_B$$

(2) ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธี Chao., et al. (1993) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานรองได้ดังนี้

$$\text{ตั้งสมมติฐานรอง} \longrightarrow H_a : \mu_A < \mu_B$$

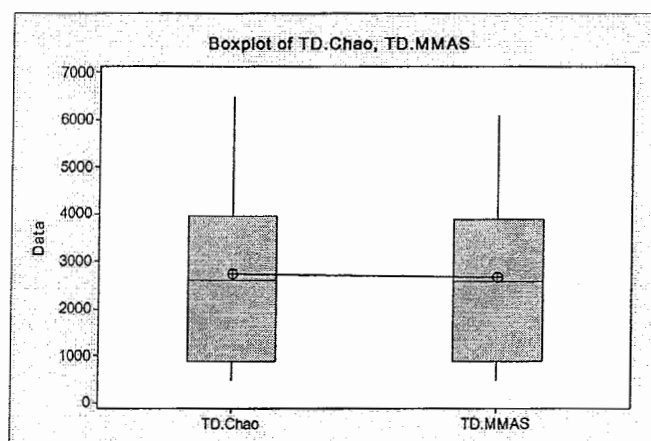
เมื่อ μ_A คือ ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

μ_B คือ ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธี Chao., et.al. (1993)

โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ตารางที่ 4.16 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS และ Chao., et al. (1993)

Two-sample T	N	Mean	StDev	SE Mean
Yield Type P:	23	2761	1889	394
Yield Type S:	23	2670	1799	375
Difference = mu (TD.Chao) - mu (TD.MMAS)				
Estimate for difference	: 91.2413			
95% upper bound for difference	: 1005.2658			
T-Test of difference = 0 (vs not =):	: T-Value = 0.17		P-Value = 0.566	DF = 44



ภาพที่ 4.22 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบคแบบแม็ก-มินและ Chao., et al. (1993)

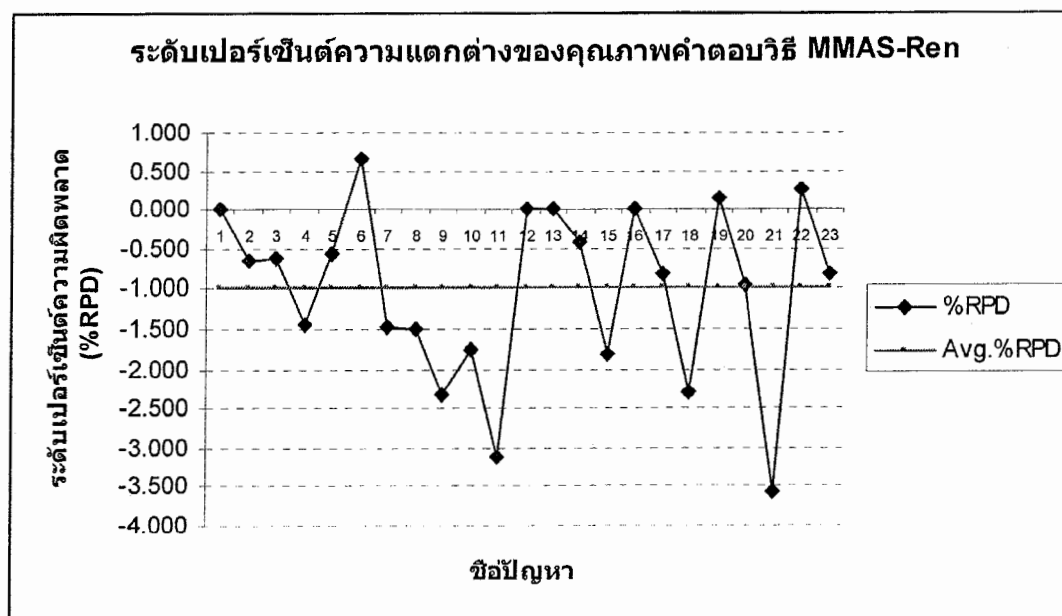
4.6.1.2 สรุปผลการทดสอบทางสถิติและผลการเปรียบเทียบวิธีของ Chao., et al. (1993) กับวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน

จากภาพที่ 4.21 แสดงถึงคุณภาพผลเฉลยจากวิธีของ Chao., et al. (1993) กับวิธี MMAS โดยที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดผลเฉลยวิธีของ Chao., et al. (1993) แสดงด้วยเส้นอ้างอิงที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.00% ทั้งหมด 23 ปัญหา จากกราฟที่แสดงสรุปได้ว่าคุณภาพผลเฉลยที่ได้ผลเฉลยที่เท่ากันทั้งสองวิธีมีเพียง 1 ปัญหาเท่านั้น คือ P03 ระดับความแตกต่างเท่ากับ 0.00% ส่วนปัญหาที่เหลืออีก 22 ปัญหา วิธี MMAS สามารถเอาชนะวิธีของ Chao., et al. (1993) ได้ทั้งหมด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จในการหาผลเฉลยที่ชนะวิธีของ Chao., et al. (1993) อยู่ที่ระดับ 95.65% จากทั้งหมด 23 ปัญหาการทดลองและมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 2.527%

และนอกจากนั้นผลการทดสอบทางสถิติกับสมมติฐานรองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าผลเฉลยจากวิธีการของ Chao I-M., et al. (1993) และวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน

ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยที่มีค่า $P \geq 0.05$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลัก และปฏิเสธสมมติฐานรอง

4.6.2 ผลการเปรียบเทียบวิธีของ Renaud., et al. (1996) กับวิธีระบบคแบบแม็ก - มิน



ภาพที่ 4.23 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ Renaud., et al. (1996) กับวิธี MMAS

4.6.2.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypotheses testing)

1) ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน ไม่มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธี Renaud Y., et al (1996) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานหลักได้ดังนี้

$$\text{ตั้งสมมติฐานหลัก} \longrightarrow H_0 : \mu_A = \mu_B$$

2) ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน ให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธี Renaud Y., et al. (1996) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานรองได้ดังนี้

$$\text{ตั้งสมมติฐานรอง} \longrightarrow H_a : \mu_A < \mu_B$$

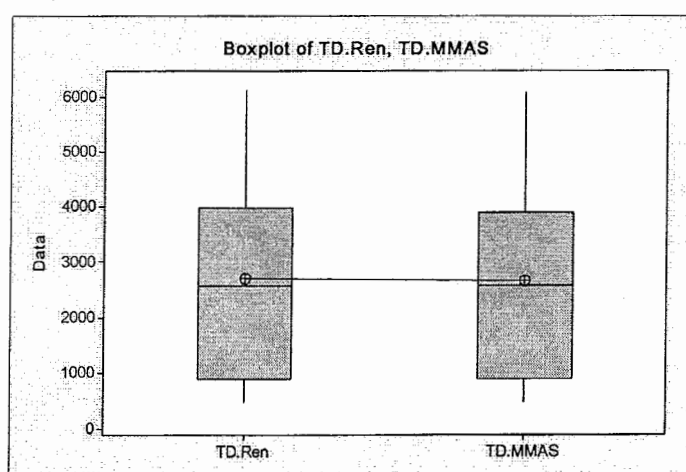
เมื่อ μ_A คือ ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน

μ_B คือ ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธี Renaud Y., et al. (1996)

โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ตารางที่ 4.17 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินและ Renaud Y., et al. (1996)

Two-sample T	N	Mean	StDev	SE Mean
Yield Type P:	23	2705	1829	381
Yield Type S:	23	2670	1799	375
Difference = μ (TD.Ren) - μ (TD.MMAS)				
Estimate for difference	: 35.0452			
95% upper bound for difference	: 933.9671			
T-Test of difference = 0 (vs <):	: T-Value = 0.07		P-Value = 0.526	DF = 44



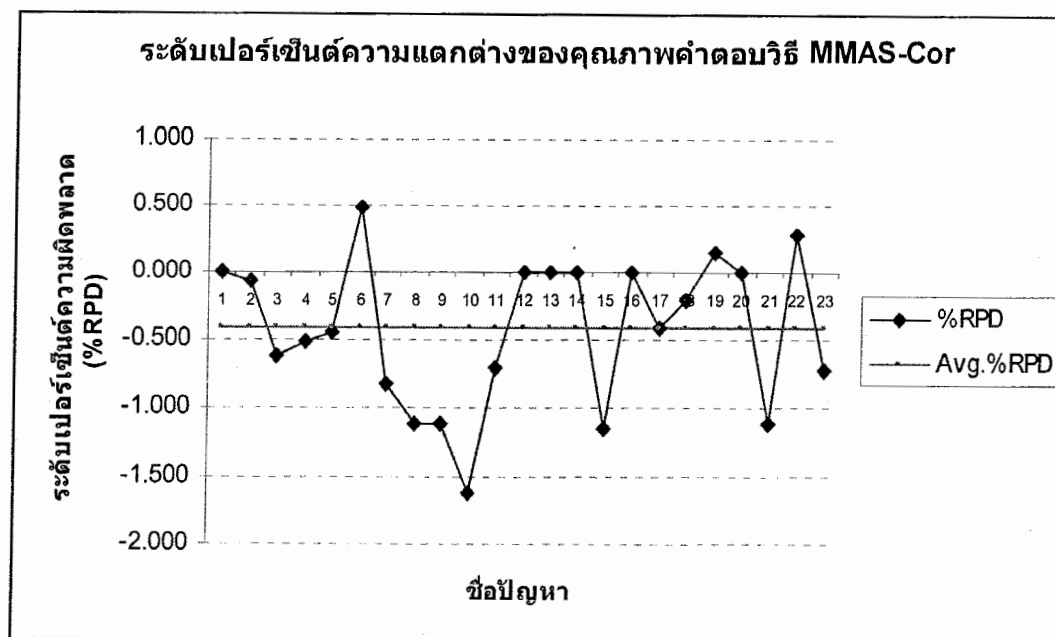
ภาพที่ 4.24 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินและ Renaud Y., et al. (1996)

4.6.2.2 สรุปผลการทดสอบทางสถิติและผลการเปรียบเทียบวิธีของ Renaud Y. et al. (1996) กับวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

ภาพที่ 4.23 แสดงถึงคุณภาพผลเฉลยจากวิธีของ Renaud., et al. (1996) แสดงด้วยเส้นอ้างอิงที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.00% ทั้งหมด 23 ปัญหา จากภาพของกราฟที่แสดงอยู่ข้างล่างนี้ วิธีการของผู้วิจัยสามารถให้คุณภาพของผลเฉลยค่อนข้างดีกว่าวิธีของ Renaud., et al. (1996) และที่มีผลลดยที่ได้เท่ากัน 2 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P01 และ P16 จำนวนปัญหาที่วิธีของ Renaud et.al (1996) สามารถเอาชนะผลเฉลยวิธีของผู้วิจัยได้มีทั้งหมด 5 ปัญหา คือ ปัญหา P06 P12 P13 P19 และ P22 ระดับเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.642% 0.001% 0.001% 0.152% และ 0.256% ตามลำดับ ในปัญหาที่เหลืออีก 16 ปัญหา วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ของผู้วิจัยสามารถเอาชนะวิธีของ Renaud., et al. (1996) ได้ทั้งหมด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จในการเอาชนะวิธีของ Renaud., et al. (1996) อยู่ที่ระดับ 69.565% จากทั้งหมด 23 ปัญหาการทดลองและนอกนั้นแล้วผล

การทดสอบสมมติฐานทางสถิติกับสมมติฐานรองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าผลเฉลยจากวิธีการของ Renaud., et al. (1996) และวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อค่า $P \geq 0.05$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลักและปฏิเสธสมมติฐานรอง

4.6.3 ผลการเปรียบเทียบวิธีของ Cordeau., et al. (1997) กับวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน



ภาพที่ 4.25 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ Cordeau J., et al. (1997) กับวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน

4.6.3.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypotheses testing)

1) ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน ไม่มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธี Cordeau J., et al. (1997) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานหลักได้ดังนี้

$$\text{ตั้งสมมติฐานหลัก} \longrightarrow H_0 : \mu_A = \mu_B$$

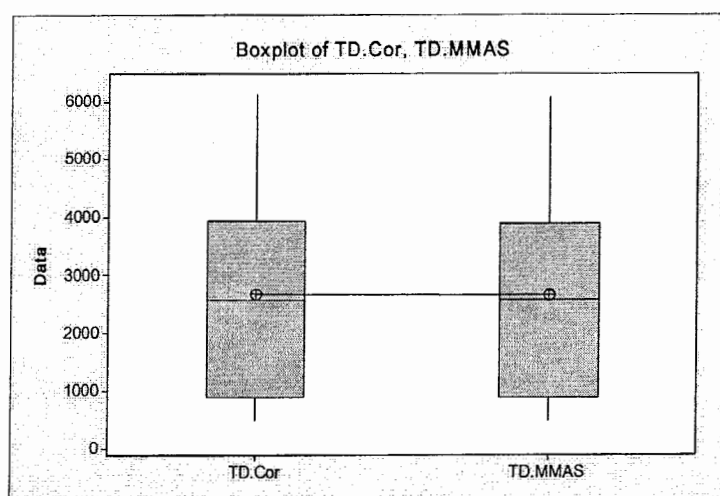
2) ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน ให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธี Cordeau J., et al. (1997) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานรองได้ดังนี้

$$\text{ตั้งสมมติฐานรอง} \longrightarrow H_a : \mu_A < \mu_B$$

เมื่อ μ_A คือ ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน μ_B คือ ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธี Cordeau J., et al. (1997) โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ตารางที่ 4.18 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS และ Cordeau J., et al. (1997)

Two-sample T	N	Mean	StDev	SE Mean
Yield Type P:	23	2684	1811	378
Yield Type S:	23	2670	1799	375
Difference = μ (TD.Cor) - μ (TD.MMAS)				
Estimate for difference	: 14.0596			
95% upper bound for difference	: 908.5015			
T-Test of difference = 0 (vs <):	: T-Value = 0.03		P-Value = 0.510	DF = 44



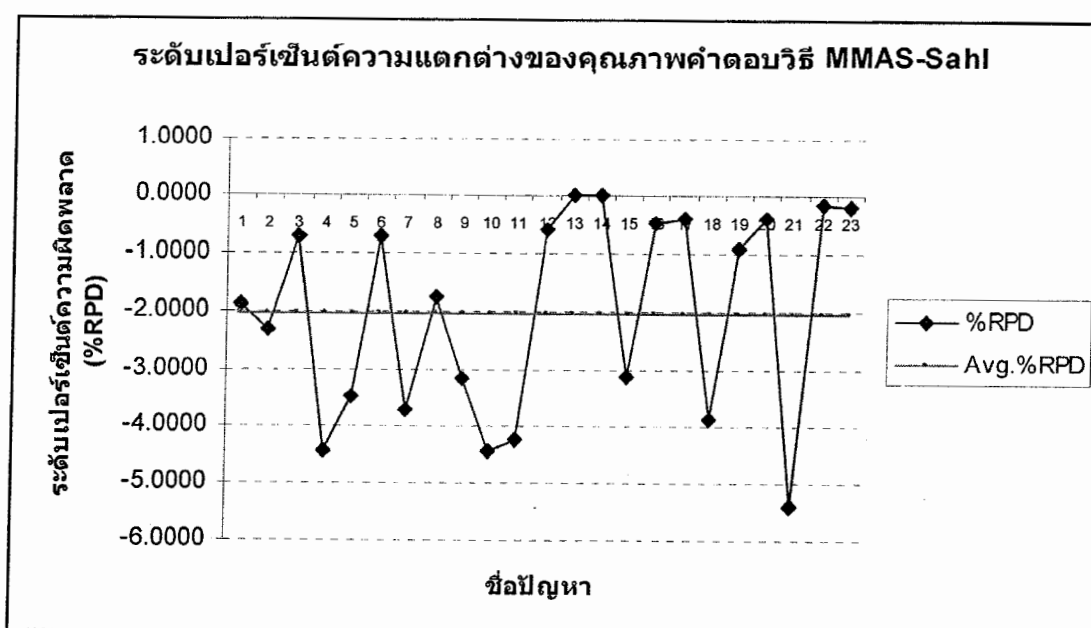
ภาพที่ 4.26 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบดแบบแม็ก-มินและ Cordeau J., et al. (1997)

4.6.3.2 สรุปผลการทดสอบทางสถิติและผลการเปรียบเทียบวิธีของ Cordeau J., et al. (1997) กับวิธีระบบดแบบแม็ก-มิน

จากภาพที่ 4.25 แสดงถึงคุณภาพผลเฉลยจากวิธีของ Cordeau J., et al. (1997) แสดงด้วยเส้นอ้างอิงที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.00% ทั้งหมด 23 ปัญหา จากภาพของกราฟที่แสดงอยู่ข้างล่างนี้ สรุปได้ว่าวิธีการของผู้วิจัยสามารถให้ผลเฉลยก่อนข้างดีกว่าของ Cordeau J., et al. (1997) จากผลการลองพบว่าปัญหาที่ให้ผลเฉลยที่เท่ากันมี 4 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P01 P14 P16 และ P20 และปัญหาที่ Cordeau J., et al. (1997) สามารถเอาชนะวิธีของผู้วิจัยได้มีทั้งหมด 5 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P06 P12 P13 P19 และ P22 ระดับเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างเท่ากับ 0.049% 0.001% 0.001% 0.152% และ 0.290% ตามลำดับ ในปัญหาที่เหลืออีก 14 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P02 P03 P04 P05 P07 P08 P09 P10 P11 P17 P18 P21 และ P23 ปัญหา วิธีระบบดแบบแม็ก-มิน ของผู้วิจัยสามารถเอาชนะวิธีของ Cordeau J., et al. (1997) ได้ทั้งหมด คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จในการ

เอาชนะวิธีของ Cordeau J., et al. (1997) อยู่ในระดับ 60.869% จากทั้งหมด 23 ปัญหาการทดลองสรุปในภาพได้ว่าวิธีของผู้วิจัยให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหาอยู่ในระดับที่ดีกว่าวิธีของ Cordeau J., et al. (1997) และนอกนั้นแล้วผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติกับสมมติฐานรองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าผลเฉลยจากวิธีการของ Cordeau J., et al. (1997) และวิธีวิธีระบบคแบบแม็ก-มินไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อค่า $P \geq 0.05$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลักและปฏิเสธสมมติฐานรอง

4.6.4 ผลการเปรียบเทียบวิธีของวิธีของ Salhi S. and Sari M. (1997) กับวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน



ภาพที่ 4.27 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ Salhi S. and Sari M. (1997) กับวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน

4.6.4.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypotheses testing)

1) ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบคแบบแม็ก-มินไม่มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธี Salhi S. and Sari M. (1997) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานหลักได้ดังนี้

$$\text{ตั้งสมมติฐานหลัก} \longrightarrow H_0 : \mu_A = \mu_B$$

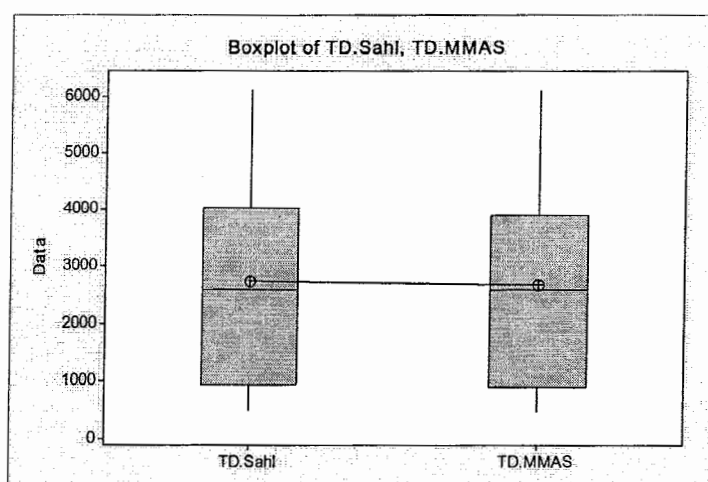
2) ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน ให้ผลเฉลยที่ดีกว่าวิธี Salhi S. and Sari M. (1997) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานรองได้ดังนี้

ตั้งสมมติฐานรอง $\rightarrow H_a : \mu_A < \mu_B$

เมื่อ μ_A คือ ค่าเฉลี่ยผลผลิตที่ได้จากวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน μ_B คือ ค่าเฉลี่ยผลผลิตที่ได้จากวิธี Salhi S., et al. (1997) โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ตารางที่ 4.19 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS และ Salhi S.-Sari M. (1997)

Two-sample T	N	Mean	StDev	SE Mean
Yield Type P:	23	2728	1838	383
Yield Type S:	23	2670	1799	375
Difference = mu (TD.Sahl) - mu (TD.MMAS)				
Estimate for difference	: 57.5935			
95% upper bound for difference	: 958.7813			
T-Test of difference = 0 (vs <):	: T-Value = 0.11		P-Value = 0.543	DF = 44



ภาพที่ 4.28 กระบวนการทางสถิติระหว่างวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินและ Salhi S.-Sari M. (1997)

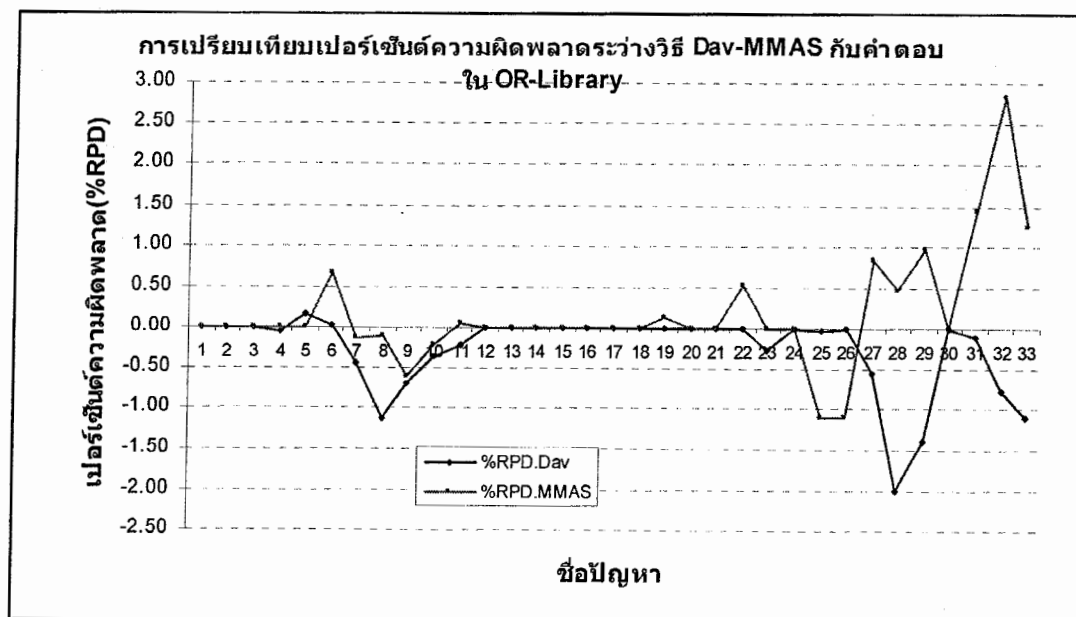
4.6.4.2 สรุปผลการทดสอบทางสถิติและผลการเปรียบเทียบวิธีของ Salhi S. and Sari M. (1997) กับวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

จากภาพที่ 4.27 แสดงถึงคุณภาพของผลผลิตจากวิธีของ Salhi S. and Sari M.,(1997) โดยที่ระดับความผิดพลาดคำตอบของ Salhi S. and Sari M. (1997) แสดงด้วยเส้นอ้างอิงที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.00% ทั้งหมด 23 ปัญหา คุณภาพผลผลิตจากวิธีที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นมา จากภาพของกราฟที่แสดงอยู่ข้างล่างนี้ สรุปได้ว่าวิธีการของผู้วิจัยสามารถให้

คุณภาพผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีของ Salhi S. and Sari M. (1997) ในทุกๆ ปัญหา สังเกตได้จากคุณภาพผลเฉลยในเทอมของระยะทางที่ใช้ในการขนส่งโดยรวมมีค่าที่ต่ำกว่าวิธีของ Salhi S. and Sari M. (1997) ซึ่งวิธีของ MMAS นี้คุณภาพผลเฉลยที่ดีกว่าคิดเป็นเซ็นต์โดยเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 2.0216% คิดเป็นเซ็นต์ความสำเร็จในการเอาชนะวิธีของ Salhi S. and Sari M. (1997) อยู่ที่ระดับ 100.00% จากทั้งหมด 23 ปัญหาการทดลอง

สรุปในภาพรวมได้ว่าวิธีของผู้วิจัยให้คุณภาพผลเฉลยในการแก้ปัญหาอยู่ในระดับที่ดีกว่าวิธีของ Salhi S. and Sari M. (1997) และนอกจากนี้แล้วผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติกับสมมติฐานรองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าผลเฉลยจากวิธีการของ Salhi S. and Sari M. (1997) และวิธีวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อค่า $P \geq 0.05$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลักและปฏิเสธสมมติฐานรอง

4.6.5 ผลการเปรียบเทียบวิธีของ David P. and Stefan R. (2007) กับวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน



ภาพที่ 4.29 คุณภาพผลเฉลยระหว่างวิธีของ David P. and Stefan R. (2007) กับ MMAS

4.6.5.1 การทดสอบสมมติฐาน (Hypotheses testing)

1) ค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ไม่มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยผลเฉลยที่ได้จากวิธี David P. and Stefan R. (2007) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานหลักได้ดังนี้

ตั้งสมมติฐานหลัก $\longrightarrow H_0 : \mu_A = \mu_B$

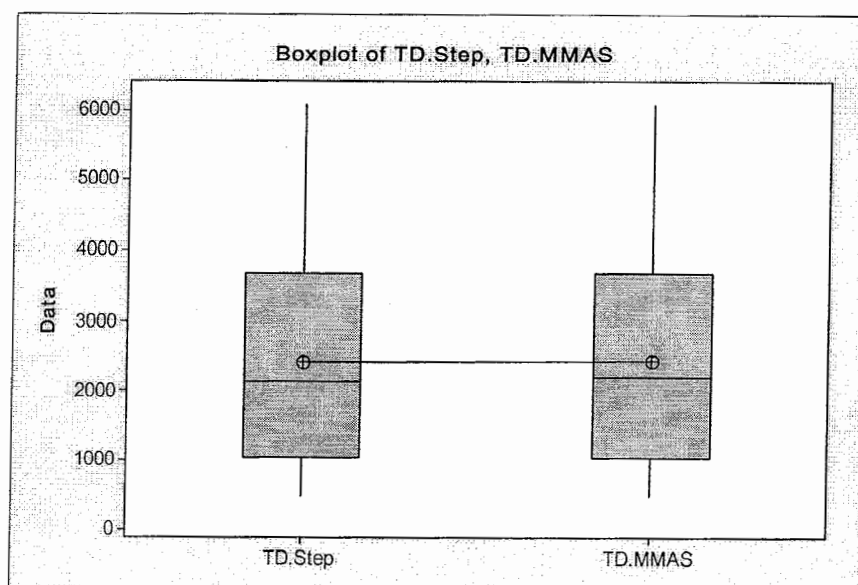
2) ค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีระบบแบบแม็ก-มิน ให้ผลเฉลี่ยที่ดีกว่า
วิธี David P. and Stefan R. (2007) ดังนั้นการตั้งสมมติฐานรองได้ดังนี้

ตั้งสมมติฐานรอง $\longrightarrow H_a : \mu_A < \mu_B$

เมื่อ μ_A คือ ค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธีระบบแบบแม็ก-มิน μ_B คือ
ค่าเฉลี่ยผลเฉลี่ยที่ได้จากวิธี David P. and Stefan R. (2007) โดยจะปฏิเสธสมมติฐานหลักที่ระดับ
นัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

ตารางที่ 4.20 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS และ David P.-Stefan R. (2007)

Two-sample T	N	Mean	StDev	SE Mean
Yield Type P:	23	2428	1571	274
Yield Type S:	23	2441	1577	275
Difference = mu (TD.Step) - mu (TD.MMAS)				
Estimate for difference		: -12.5924		
95% upper bound for difference		: 634.2601		
T-Test of difference = 0 (vs <):		: T-Value = -0.03	P-Value = 0.487	DF = 64



ภาพที่ 4.30 ผลการทดสอบกระบวนการทางสถิติระหว่าง MMAS และ David P.-Stefan R (2007)

4.6.5.2 สรุปผลการทดสอบทางสถิติและผลการเปรียบเทียบวิธีของ David P. and Stefan R. (2007) กับวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

จากภาพที่ 4.29 แสดงถึงคุณภาพผลเฉลยจากวิธีของ David P. and Stefan R. (2007) โดยที่ระดับความผิดพลาดคำตอบของ David P. and Stefan R. (2007) แสดงด้วยเส้นอ้างอิงที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด 0.00% ทั้งหมด 33 ปัญหา ผลทดลองปัญหาที่ให้ผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ได้เท่ากันมี 11 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P01 P02 P03 P14 P15 P16 P17 P20 P21 Pr01 และ Pr07 ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0.00% ปัญหาที่วิธีของ David P. and Stefan R. (2007) เอาชนะวิธีของผู้วิจัยมีทั้งหมด 17 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P04 P06 P07 P08 P09 P10 P11 P12 P13 P19 P22 P23 Pr04 Pr05 Pr06 Pr08 และ Pr10 ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด โดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.808%

จากภาพที่ 4.39 และวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ของผู้วิจัยสามารถเอาชนะวิธีของ David P. and Stefan R. (2007) ได้เพียง 5 ปัญหา ได้แก่ ปัญหาที่ P05 P18 PR02 PR03 และ PR09 มีระดับความเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0.177% 0.00054 % 1.08% 1.09% และ 3.1089% ตามลำดับ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความสำเร็จในการเอาชนะวิธีของ David P. and Stefan R. (2007) อยู่ที่ระดับ 22.727% จากทั้งหมด 22 ปัญหาและนอกนั้นแล้วผลการทดสอบสมมติฐานทางสถิติกับสมมติฐานรองที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % พบว่าผลเฉลยจากวิธีการของ David P. and Stefan R. (2007) และวิธีวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อค่า $P \geq 0.05$ ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานหลักและปฏิเสธ สมมติฐานรอง

4.6.6 สรุปการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ดีที่สุดของวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลจากการทดลองสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP ทั้งหมด 33 ปัญหา ผู้วิจัยพบว่าวิธีการในขั้นตอนสุดท้ายของวิธีการแก้ปัญหาที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นมา สามารถให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหาเป็นที่น่าพอใจโดยที่มีระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปใน OR-Library เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 0.179% นอกจากนั้นก็ยังให้คุณภาพของผลเฉลยที่ดีถึง 15 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P01 P02 P03 P12 P13 P14 P15 P16 P17 P18 P20 P21 P23 Pr01 และ Pr07 โดยที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเท่ากับ 0.00%

และคุณภาพของผลเฉลยในระดับที่ดีกว่าคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปถึง 8 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P04 P05 P07 P08 P09 P10 Pr02 และ Pr03 รวมปัญหาที่ขั้นตอนนี้สามารถให้คุณภาพของผลเฉลยในระดับที่ดีทั้งหมด 23 ปัญหา คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประสบผลสำเร็จในการแก้ปัญหาด้วยวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินอยู่ที่ระดับ 69.69% จากทั้งหมด 33 ปัญหา

สำหรับปัญหาที่ให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุด คือ ปัญหาที่ Pr10 Pr08 และ Pr09 เพียง 1.25% 1.42% และ 2.84% ตามลำดับ ผู้วิจัยสรุปได้ว่าวิธีเชิงฮิวริสติกที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีการใหม่ขึ้นมาสามารถให้ผลเฉลยในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 3% ส่วนของระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 587.41 วินาที หรือ คิดเป็น 0.16 ชั่วโมงต่อหนึ่งปัญหาเท่านั้น ผลเฉลยทั้งหมดสรุปได้ในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 สรุปผลการเปรียบเทียบผลเฉลี่ยที่ดีที่สุดของวิธีระบบแบบแม็ก-มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อปีฐานและขอบเขตของข้อมูล		BK	Source	Chao [1]		Ren [2]		Cor [3]		Sahi [4]		ALNS [5]		MMAS [6]	
				TD	Min.	TD	Min.	TD	Min.	TD	Min.	TD	Agv. Sec.	MMAS	Agv. Sec.
P01	50	4	C	576.87	CGW	582.40	1.10	576.87	3.24	587.80	0.10	576.87	29.00	576.87	105.24
P02	50	4	C	473.53	RLB	476.60	1.20	473.87	3.46	484.60	0.10	473.53	28.00	473.53	63.47
P03	75	2	C	641.19	CGW	641.20	1.80	645.15	5.66	645.90	0.10	641.19	64.00	641.19	119.46
P04	100	2	C	1001.59	CGL	1026.90	2.20	1016.13	11.40	1047.90	1.30	1001.47	88.00	1001.47	358.74
P05	100	2	C	750.03	CGL	756.60	2.40	754.20	12.80	777.20	0.30	751.26	120.00	749.93	1033.33
P06	100	3	C	876.5	RLB	883.60	2.10	876.50	8.40	888.60	0.30	876.70	93.00	882.16	981.67
P07	100	4	C	885.8	CGL	898.50	4.80	897.86	6.80	918.90	1.90	881.97	88.00	884.66	1007.51
P08	249	2	CD	4437.68	CGL	4511.60	24.10	4500.48	69.40	4511.60	14.10	4387.38	333.00	4433.28	111.49
P09	249	3	CD	3900.22	CGL	3950.90	20.90	3969.31	41.20	4005.30	7.10	3873.64	361.00	3877.35	1083.40
P10	249	4	CD	3663.02	CGL	3815.60	7.20	3720.88	43.00	3714.65	4.50	3650.04	363.00	3655.18	1014.76
P11	249	5	CD	3554.18	CGL	3733.00	16.70	3670.25	36.40	3580.84	25.91	3714.30	4.10	3546.06	357.00
P12	80	2	C	1318.95	RLB	1327.30	2.80	1318.95	5.40	1326.80	0.30	1318.95	75.00	1318.96	177.54
P13	80	2	CD	1318.95	RLB	1345.90	0.70	1318.95	4.80	1318.95	0.30	1318.95	60.00	1318.96	177.54
P14	80	2	CD	1360.12	CGL	1372.50	1.30	1365.69	2.60	1360.12	0.30	1360.12	58.00	1360.12	261.10
P15	160	4	C	2505.42	CGL	2610.30	2.30	2551.46	15.50	2534.13	14.06	2505.42	253.00	2505.42	1089.37
P16	160	4	CD	2572.23	RLB	2605.30	6.10	2572.23	11.10	2584.50	1.10	2572.23	188.00	2572.22	821.93
P17	160	4	CD	2709.09	CGL	2816.60	6.50	2731.37	5.80	2720.23	13.70	2709.09	179.00	2709.08	932.15
P18	240	6	C	3702.85	CGL	3877.40	8.60	3789.96	23.20	3710.49	24.85	3702.85	419.00	3702.83	929.60
P19	240	6	CD	3827.06	RLB	3863.90	22.30	3827.06	22.00	3853.30	1.90	3827.06	315.00	3832.87	946.15
P20	240	6	CD	4272.0	CGL	4272.00	14.60	4097.06	10.00	4074.80	1.40	4058.07	300.00	4058.05	828.68
P21	360	9	C	5474.84	CGL	5791.50	78.50	5678.50	48.70	5788.50	3.60	5474.84	582.00	5474.84	1007.33
P22	360	9	CD	5702.16	CGL	5857.40	132.40	5718.00	33.50	5716.01	48.90	5702.16	462.00	5732.66	938.72
P23	360	9	CD	6095.46	CGL	6494.60	24.4	6145.58	17.30	6139.73	47.86	6078.75	443.00	6095.46	940.91

ตารางที่ 4.21 สรุปผลการการเปรียบเทียบผลเฉลี่ยที่ดีที่สุดของวิธีระบบลดแบบเมก-มิน กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ชื่อปัญหาและขอบเขต		BK	Source	Chao [1]		Ren [2]		Cor [3]		Sahl [4]		ALNS [5]		MMAS [5]	
ของข้อมูล				ID	Min	ID	Min	ID	Min	ID	Min	Agv Sec	%RPD	MMAS	Agv. Sec. %RPD
PR01	48	4	CD	861.32	CGL							861.32	30.00	861.32	83.66
PR02	96	4	CD	1307.61	CGL							1307.34	103.00	1293.18	943.87
PR03	144	4	CD	1806.6	CGL							1806.53	214.00	1786.67	800.90
PR04	192	4	CD	2072.52	CGL							2060.93	296.00	2089.69	767.34
PR05	240	4	CD	2385.77	CGL							2337.84	372.00	2397.26	737.52
PR06	288	4	CD	2723.27	CGL							2685.35	465.00	2749.57	881.93
PR07	72	6	CD	1089.56	CGL							1089.56	58.00	1089.56	766.76
PR08	144	6	CD	1666.6	CGL							1664.85	207.00	1690.24	239.20
PR09	216	6	CD	2153.1	CGL							2136.42	350.00	2214.30	570.65
PR10	288	6	CD	2921.85	CGL							2889.49	455.00	2958.51	1014.46
[1] Run on a Sun 4/370															
[2] Run on a Sun Spare station 10															
[3],[4] Run on a VAX 4000-500 with and without reduction tests respectively															
[5] Run on a p4-3GH															

บทที่ 5

อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีข้อสรุปที่ตรงกันว่า ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งและปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง จัดเป็นปัญหา เอ็น-พี-ฮาร์ด (NP-hard) ฉะนั้นวิธีการที่นำมาแก้ปัญหาลำนี้จึงมีหลากหลายวิธีการ ทั้งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact methods) และวิธีเชิงฮิวริสติก (Heuristic methods) แต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไป ที่สำคัญควรคำนึงถึงเรื่องเวลาที่ใช้ในการประมวลผลเฉลยที่เหมาะสมและมีความง่ายในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานขนส่ง ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาและพัฒนาประยุกต์ใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน สำหรับการแก้ปัญหการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการแก้ปัญหา MDVRP ให้มีประสิทธิภาพของผลเฉลยอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและใช้ระยะเวลาประมวลผลที่เหมาะสม ดังนั้นการพัฒนาวิธีการจะต้องสามารถเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลยที่ได้จากแหล่งข้อมูลต่างๆ ทั้งใน Or-Library และวิธีการอื่นๆ ขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์ที่ทำการพัฒนาสำหรับการแก้ปัญหานี้ แบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะของการจัดสรรลูกค้าแต่ละรายให้กับศูนย์กระจายสินค้ากลางแต่ละแห่งพร้อมกับการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งและระยะของการปรับปรุงเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยที่เรียกว่า “วิธีโลโคลเสิร์จ” เช่น “Move-Swap operators” และ “Hybrid 2-opt*/3-opt algorithm” เพื่อพยายามหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบ ณ เวลาปัจจุบันที่มีอยู่เดิม หลังจากที่ได้ทำการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นเสร็จสิ้นแล้ว

สำหรับขั้นตอนการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่ง ผู้วิจัยทำการทดลองและวัดผลตามกระบวนการทางสถิติ พบว่าวิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นแบบวิธีคู่ขนานมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีลำดับชั้น คือ สามารถให้เฉลี่ยของผลเฉลยในระดับที่ดีกว่า ฉะนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้วิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นแบบคู่ขนาน สำหรับการแก้ปัญห MDVRP ทั้งหมด 33 ปัญหาและนอกจากนั้นยังพบว่าระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาแต่ละขนาด คือ ปัญหาขนาดเล็กที่ระดับ $\beta = 2.0$, $\rho = 0.545$ และ $I^{Max} = 300$ ปัญหาขนาดกลางที่ระดับ $\beta = 3.50$, $\rho = 0.10$ และ $I^{Max} = 300$ และปัญหาขนาดใหญ่ที่ระดับ $\beta = 3.5$, $\rho = 0.545$ และ $I^{Max} = 500$

ผลจากการทดลองสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP ทั้งหมด 33 ปัญหา พบว่าวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินสามารถให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหาเป็นที่น่าสนใจ โดยที่มีระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด เมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปใน OR-Library เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 0.179% และนอกจากนั้นก็ยังให้คุณภาพของผลเฉลยที่ดีถึง 15 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P01 P02 P03 P12 P13 P14 P15 P16 P17 P18 P20 P21 P23 Pr01 และ Pr07 โดยที่มีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%RPD) เท่ากับ 0.00% และคุณภาพของผลเฉลยในระดับที่ดีกว่าคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปใน OR-Library ถึง 8 ปัญหา คือ ปัญหาที่ P04 P05 P07 P08 P09 P10 Pr02 และ Pr03 รวมปัญหาที่ขั้นตอนนี้ สามารถให้คุณภาพของผลเฉลยในระดับที่ดีและดีกว่า ทั้งหมด 23 ปัญหา คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประสบผลสำเร็จในการแก้ปัญหาคับด้วยวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน อยู่ที่ระดับ 69.69% จากทั้งหมด 33 ปัญหา

ผู้วิจัยสรุปได้ว่าวิธีเชิงฮิวริสติกที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีการใหม่ขึ้นมาสามารถให้ผลเฉลยในการค้นหาคำตอบสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (%RPD) ไม่เกิน 3% ในส่วนของระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 587.41 วินาที หรือ คิดเป็น 0.16 ชั่วโมงต่อหนึ่งปัญหาเท่านั้น

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางของการวิจัยในอนาคต

สำหรับงานวิจัยที่ควรจะทำการศึกษาและพัฒนาประยุกต์ใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน เพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง ในอนาคต ควรจะมุ่งเน้นทำการศึกษาในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้

5.2.1 ศึกษาหาระดับการใช้งานของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง (β, ρ, I^{Max}) ที่มีผลกระทบต่อการแก้ปัญหาคับ (ผลเฉลยในการแก้ปัญหา) ในหลายๆ สถานการณ์เพื่อที่จะได้ค่าของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแก่การใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.2 พัฒนาระบบการตัดสินใจแบบคลุมเครือ (Fuzzy logic system) ร่วมกับวิธีระบบมดแบบแม็ก-มินในการตัดสินใจเลือกลูกค้าสำหรับการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการคำนวณและได้ลูกค้าที่ดี ที่ให้ระยะทางสั้นที่สุดในการเลือกลูกค้าที่เป็นไปได้ในแต่ละครั้ง

5.2.3 ปรับปรุงและพัฒนาขั้นตอนอื่นๆ ที่ประสิทธิภาพสำหรับการใช้วิธีโลโคลเสริชชิ่ง ในการปรับปรุงคุณภาพของผลเฉลย เช่น วิธี A Very Large Scale Neighborhood Search (VLSN) Algorithm

5.2.4 ขยายอัลกอริทึมจากปัญหา MDVRP โดยทั่วไปให้เป็นการหาค้นหาผลเฉลย โดยที่มีเงื่อนไขของกรอบเวลา (Time windows)

5.2.5 ขยายอัลกอริทึมจากปัญหา MDVRP ให้มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective) และมีระยะเวลาการขนส่งที่จำกัด เข้ามาเกี่ยวข้องในการควบคุมการขนส่ง

5.2.6 ควรพิจารณาการขนส่งที่แบบผสมผสานทั้งรับ-ส่ง และสามารถแยกหน่วยสินค้าในการให้บริการลูกค้า (Mixed pick-up and delivery) โดยที่พิจารณาด้วยความรวดเร็วในการตอบสนองการบริการสินค้าประกอบในอัลกอริทึม

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- กมลชนก สุทธิวาทีนฤพุมิ และคณะ. การจัดการโลจิสติกส์. กรุงเทพฯ ฯ: แมรคอสเทล อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนลเอ็นเตอร์ไพรส์ ینگค์, 2544.
- ณกร อินทร์พยุ่ง. การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์. กรุงเทพฯ ฯ สำนักพิมพ์ซี-เอ็ดยูเคชั่น, 2548.
- สุพรรณ สดสนธิ์ และอภิชาติ โสภางค์. “การพัฒนาตัวแบบเครือข่ายโลจิสติกส์สำหรับการขนส่งขาออกในวิสาหกิจอาหารแช่แข็งขนาดย่อม”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. พิษณุโลก: หน้า 407-414 : 21-22 ตุลาคม 2546.
- สุพรรณ สดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. “การประยุกต์วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในภาครัฐกิจการขนส่งและลอจิสติกส์”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ ฯ : โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล, 17-19 ธันวาคม 2549.
- สุพรรณ สดสนธิ์ และคณะ. “วิธีอาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบสำหรับปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางขนส่ง”, การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ ฯ : 23-26 ตุลาคม พ.ศ. 2550.
- Balakrishnan, A. Ward, J.E. and Wong, R.T. “Integrated facility location and vehicle routing models: Recent work and future prospects”; American Journal of Mathematical and Management Sciences. Vol. 7, pp. 35-61, 1987.
- Baran, B. and Sosa, R. “AntNet routing algorithm for data networks based on mobile agents”, Inteligencia Artificial. Vol. 12, pp. 75-84, 2001.
- Baboglu, O. Meling, H. and Montresor, A. “Anthill: a framework for the development of agent based peer-to-peer systems”, Tech. Rep. UBLCS-2001-09. Department of Computer Science, University of Bologna, Bologna, 2001.
- Beasley, J.E. “Standard data set of multi-depot vehicle routing problem”, Operation research library, <http://people.brunel.ac.uk/~mastijb/jeb/orlib/multivrpinfo.html>, 2003.
- Barreto, S. and et al. “Using clustering analysis in a capacitated Location-routing problem”, European Journal of Operational Research. Vol. 3, pp. 165-186, 2007.
- Beasley, J. and Nascimento, E.M. “The vehicle routing-allocation problem: a unifying framework”, European Journal of Operational Research. Vol. 4, pp. 65-86, 1996.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Branco, I.M. and Coelho, J.D. "The Hamiltonian p-median problem", European Journal of Operational Research. Vol. 47, pp. 86-95, 1990.
- Billionnet, A. Elloumi, S. and Grouz-Djerbi, L. "Designing radio-mobile access networks based on synchronous digital hierarchy rings", Computers and Operations Research. Vol. 32, pp. 379-394, 2005.
- Bianchi, L., Gambardella, L.M., and Dorigo, M. "An ant colony optimization approach to the probabilistic traveling salesman problem", Mathematical Modeling and Algorithms. Vol. 3, no. 4, pp. 403-425, 2004.
- Blum, C. "Beam-ACO-hybridizing ant colony optimization with beam search: an application to open shop scheduling", Computers & Operations Research. Vol. 32 no. 6, pp. 1565-1591, 2005.
- Bräysy, O. and Gendreau, M. "Vehicle routing problem with time windows", Metaheuristics. Transportation Science. Vol 39, pp. 119-139, 2005.
- Bonabeau, E. and et al. "Routing in telecommunication networks with "Smart" ant-like agents", Proceedings of the 2nd International Workshop on Intelligent Agents for Telecommunication Applications (IATA '98). Lectures Notes in AI, vol. 1437, Springer, New York, 1998.
- Bullnheimer, B. Hartl, R.F. and Strauss, C. "Applying the Ant System to the Vehicle Routing Problem", Advances and Trends in Local Search Paradigms of Optimization. Kluwer Academic Publishers, pp. 109-120, 1997.
- Bullnheimer, B., Hartl, R.F., and Strauss, C. "An improved ant system algorithm for the vehicle routing problem", Annals of Operations Research. Vol. 89, pp. 319-328, 1999.
- Blasum, U. and Hochstättler, W. "Application of the branch and cut method to the vehicle routing problem", Technical Report zaik. pp. 2000-386, 2000.
- Bland, J. A. "Layout of facilities using an ant system approach", Engineering Optimization. Vol. 32 no. 1, pp. 101-115, 1999.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Cicirello, V. "A game-theoretic analysis of multi-agent systems for shop floor routing", Tech. Rep. CMU-RI-TR-01-28, Robotics Institute, Carnegie Mellon University, Pennsylvania, 2001.
- Chan, A.W. and Francis, R.L. "A round-trip location problem on a tree graph", Transportation Science. Vol. 10, pp. 35-51, 1976.
- Christofides, N. and et al. Combinatorial Optimization. New York: John Wiley and Sons, pp. 237-279, 1979.
- Chase, R.B., Aquilano, N.J. and Jacobs, F.R. Production and Operations Management: Manufacturing and Services. Edition 8, Boston, 1998.
- Cornuejols, G., Fisher, M.L. and Nemheuser, G.L. "Location of bank accounts to optimize float: An analytic study of exact and approximate algorithms", Management Science. Vol. 23 No.8, pp. 159-175 1977.
- Chiu, H.N. "The integrated logistics management system: A framework and case study", International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. Vol. 25, pp. 4-22, 1995.
- Choa, I., Golden, B.L., and Wasil, E. "A new heuristic for the multi-depot vehicle routing problem that improves upon best-known solutions", American Journal of Mathematics and Management Science. Vol. 13, pp. 371-406, 1993.
- Christofides, N.A. Mingozzi and Toth, P. "The vehicle routing problem", Combinatorial Optimization. UK: Wiley, Chichester, Vol. 3, pp. 315-338, 1979.
- Cordeau, J-F., Gendreau, M. and Laporte, G. "A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problem", Networks. Vol. 30, pp. 105-19, 1997.
- Colomi, A. and et al. "Ant system for job shop scheduling", Operations Research, Statistics and Computer Science. Vol. 34, no. 1, pp. 39-53, 1994.
- Costa, D. and Hertz, A. "Ants can color graphs", Journal of the Operational Research Society. Vol. 48, pp. 295-305, 1997.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Cordon, O. and et al. "A new ACO model integrating evolutionary computation concepts: the best-worst ant system", Abstract Proceedings of ANTS2000-From Ant Colonies to Artificial Ants: A Series of International Workshops on Ant Algorithms (M. Dorigo, M. Middendorf, and T. Stutzle, eds). Brussels, pp. 22-29., 2000.
- Dantzig, G.B. and Ramser, J.H. "The truck dispatching problem", Management Science. Vol. 6, pp 80-91, 1959.
- Daskin, M.S., Coullard, C.R. and Shen, Z-J.M. "An inventory-location problem: formulation, solution algorithm and computational results", Annals of Operations Research. Vol. 110, pp. 83-106, 2002.
- Di Caro, G. and Dorigo, M. "AntNet: a mobile agents approach to adaptive routing", Artificial Intelligence Research. Vol. 9, pp. 317-365, 1997.
- Dorigo, M., Di Caro, G. and Gambardella, L.M. "Ant Algorithms for Discrete Optimization", Artificial Life. Vol. 5, No. 2, pp. 137-172, 1999.
- Drezner, Z. and Wesolowsky, G.O. "A trajectory approach for the round-trip location problem", Transportation Science. Vol. 16, pp. 56-66, 1982.
- Dorigo, M., Maniezzo, V. and Coloni, A. Positive feedback as a search strategy, Tech. Rep. 91-016, Dipartimento di Elettronica, Politecnico di Milano, Milano, 1991.
- Dorigo M. and Stutzle, T. Ant Colony Optimization (Bradford Books). The MIT Press, 2004.
- Dorigo, M. and Gambardella, L.M. "Ant colonies for the traveling salesman problem", BioSystems. Vol. 43, no. 2, pp. 73-81, 1997.
- Doerner, K.F. and et al. "Pareto ant colony optimization with ILP preprocessing in multi-objective project portfolio selection", Journal of Operational Research, Vol. 3, pp. 251-361, 2004.
- Dreo, J. and Siarry, P. "Continuous interacting ant colony algorithm based on dense heter-archy", Future Generation Computer Systems. Vol. 20, pp. 841-856, 2004.
- Ergun, O. Orlin, J.B. and Steele-Feldman, A. "Creating very large scale neighborhoods out Of smaller ones by compounding moves: A study on the vehicle routing problem", Technical Report MIT Sloan Working Paper. No. 4393-02, MIT, October 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Engelhardt-Funke O. and Kolonko, M. "Analysing stability and investments in railway networks using advanced evolutionary algorithms", International Transactions in Operational Research. Vol. 11 , no. 4, pp. 381–394, 2004.
- Fisher, M.L. and Jaikumar, R. "A generalized assignment heuristic for vehicle routing", Networks. Vol. 11, pp. 109–124, 1981.
- Gamez, J.A. and Puetra, J.M.P. "Searching for the best elimination sequence in Bayesian networks by using ant colony optimization", Pattern Recognition Letters. Vol. 23, no. 1–3, pp. 261–277, 2002.
- Gambardella, L.M., Taillard, E. and Agazzi, G. MACS-VRPTW: vehicle routing problem with time Windows. New Ideas in Optimization (D. Corne, M. Dorigo, and F. Glover, eds.), McGraw-Hill, London pp. 63–76, 1999.
- Gandibleux, X., Delorme, X., and Tkindt, K. "An Ant Colony Optimization Algorithm for the Set Packing Problem", International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence. submitted to Ants'04, 4th, 2004.
- Gambardella, L.M., Taillard, E. and Dorigo, M. "Ant colonies for the quadratic assignment problem", Operational Research Society. Vol. 50, no. 2, pp. 167–176, 1999.
- Gambardella, L.M. and Dorigo, M. "An ant colony system hybridized with a new local search for sequential ordering problem", INFORMS Journal on Computing. Vol. 12, pp. 237–255, 2000.
- Ghiani, G. And Laporte, G. "Eulerian location problems", Networks. Vol. 34, pp 291-302, 1999.
- Gutin, G. and Punnen, A.P. "The Traveling Salesman Problem and Its Variations", Kluwer Academic Publishers. pp. 152-168, 2002.
- Hansen, P.H. and et al. "A heuristic solution to the warehouse location-routing problem", European Journal of Operational Research. Vol. 76, pp. 111-127, 1994.
- Handfield, R. and Nichols, E. Introduction to supply chain management, Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 1999.
- Heizer, J. And Render, B. Operation Management. New Jersey: Practice-hall, Inc, 2000.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Heusse, M. and et al. "Adaptive agent-driven routing and load balancing in communication networks", Advances in Complex Systems. Vol. 1, pp. 237-254, 1998.
- Karp, R. "Reducibility among combinatorial problems", Complexity of Computer Computations, New York: Plenum Press, pp. 85-104, 1972.
- Kolen, A. "The round-trip p-center and covering problem on a tree", Transportation Science. Vol. 19, pp. 222-234, 1985.
- Korosec, P., Silc, J., and Robic, B. "Solving the mesh-partitioning problem with an ant-colony algorithm", Parallel Computing. Vol. 30 no. 5-6, pp. 785-801, 2004.
- Laporte, G., and Golden, B.L. Vehicle Routing: Methods and Studies. North-Holland: Amsterdam, pp. 163-198, 1988.
- Laporte, G. and Dejax, P.J. "Dynamic location-routing problems", Journal of the Operational Research Society. Vol. 40, pp. 471-482, 1989.
- Laporte, G. and et al. "Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem", International Transactions in Operational Research. Vol. 7, pp. 285-300, 2000.
- Laporte, G., Louveaux, F. and Mercure, H. "Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems", European Journal of Operational Research. Vol. 39, pp. 71-78, 1989.
- Laporte, G. and Nobert, Y. "An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location", European Journal of Operational Research. Vol. 6, pp. 224-226, 1981.
- Laporte, G., Nobert, Y. and Arpin, D. "An exact algorithm for solving a capacitated location-routing problem", Annals of Operations Research. Vol. 6, pp. 293-310, 1986.
- Laporte, G., Nobert, Y. and Pelletier, P. "Hamiltonian location problems", European Journal of Operational Research. Vol. 12, pp. 82-89, 1983.
- Laporte, G., Nobert, Y. and Taillefer, S. "Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems", Transportation Science. Vol. 22, pp. 161-172, 1988.
- Lenstra, J.K. and Rinnooy Kan, A.H.G. "Complexity of vehicle routing and scheduling problems", Networks. Vol. 11, pp. 221-227, 1981.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Jayaraman, V.K., Kulkarni, B.D., and Gupta, K. "Dynamic optimization of fed-batch bioreactors using the ant algorithm", Biotechnology Progress. Vol. 17, no. 1, pp. 81–88, 2001.
- Jittimar Piyamalmas. Optimization of biogas plant location. Master thesis of engineering: Kingmongkut's university of technology thonburi, 2003.
- Jayaraman, V. K.and et al. "Ant colony framework for optimal design and scheduling of batch plants", Computers and Chemical Engineering. Vol. 24 no. 8, pp. 1901–1912, 2000.
- Jong, J. and Wiering, M. "Multiple ant colony systems for the bus stop allocation problem", Proceedings of the 13th Belgium-Netherlands Conference on Artificial Intelligence. Amsterdam, pp. 141–148, 2001.
- Maranzana, F.E. "On the location of supply points to minimise transport costs", Operational Research Quarterly. Vol. 15, pp. 261-270, 1964.
- Nambiar, J.M., Gelders, L.F. and Van Wassenhove, L.N. "Plant location and vehicle routing in the Malaysian rubber smallholder sector: a case study", European Journal of Operational Research. Vol. 38, pp. 14-26, 1989.
- Maniezzo V., Colorni, A.and Dorigo M. "The ant system applied to the quadratic assignment problem", Tech. Rep. IRIDIA/94-28, IRIDIA, Universit  Libre de Bruxelles, Bruxelles, 1994.
- Maniezzo, V. and Colorni, A. "The ant system applied to the quadratic assignment problem", IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering. Vol. 11, no. 5, pp. 769–778, 1999.
- Maniezzo V. "Exact and approximate nondeterministic tree-search procedures for the quadratic assignment problem", INFORMS Journal on Computing. Vol. 11, no. 4, pp. 358–369, 1999.
- Maniezzo, V. and Carbonaro, A. "An ANTS heuristic for the frequency assignment problem", Future Generation Computer Systems. Vol. 16 no. 8, pp. 927–935, 2000.
- Maniezzo, V.and et al. "ANTS for data warehouse logical design", Proceedings of the 4th Meta-heuristics International Conference. Porto, pp. 249–254. , 2001.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Mcmullen, P. R. "An ant colony optimization approach to addressing a JIT sequencing problem with multiple objectives", Artificial Intelligence in Engineering. Vol. 15, pp. 309–317, 2001.
- Montemanni, R. and et al. "An ANTS algorithm for the minimum-span frequency-assignment problem with multiple interference", IEEE Transactions on Vehicular Technology. Vol. 51 no. 5, pp. 949–953, 2002.
- Michel, R. and Middendorf, M. "An ACO algorithm for the shortest super sequence problem", New Ideas in Optimization. pp. 51–61, 1999.
- Monmarch'e N., Venturini, G., and Slimane, M. "There how pachycondyla apicalis ants suggest is new search algorithm", Future Generation Systems Computer. Vol. 16 no. 8, pp. 937–946, 2000.
- Montemanni, R. and et al. "A new algorithm for a dynamic vehicle routing problem based on ant colony system", Tech. Rep. IDSIA-05-02. Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale (IDSIA), Manno, November, 2002.
- Nemhauser and Weismantel, R. Discrete Optimization. Handbooks in Operations Research and Management Science, volume 12, chapter 1, Elsevier, 2005.
- Nahas N. and Nourelfath, M. "Ant system for reliability optimization of a series system with multiple-choice and budget constraints", Reliability Engineering and System Safety. Vol. 87 no. 1, pp. 1–12, 2005.
- Pathumnakul, S. Solving multi depot vehicle routing problem for Iowa recycled paper by Tabu Search heuristic. Master thesis of sciences: Iowa State University, 1996.
- Perl, J. A Unified Warehouse Location-Routing Analysis. Doctor of Philosophy (PhD) dissertation: Northwestern University, 1983.
- Perl, J. and Daskin, M.S. "A unified warehouse location-routing methodology", Journal of Business Logistics. Vol. 5, pp. 92–111, 1984.
- Perl, J. and Daskin, M.S. "A warehouse location-routing problem", Transportation Research. Vol. 19, pp. 381–396, 1985.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Rand, G.K. "Methodological choices in depot location studies", Operational Research Quarterly. Vol. 27, pp. 241-249, 1976.
- Ramos, V. and Almeida, F. "Artificial ant colonies in digital image habitats-a mass behavior effect study on pattern recognition", Proceedings of the 2nd International Workshop on Ant Algorithms-From Ant Colonies to Artificial Ants. September, 2000.
- Renaud, J., Laporte, F. and Boctor. "A tabu search for the multi-depot vehicle routing problem", Computers and Operational Research Society. Vol. 23, pp. 229-235, 1996.
- Roli, A., Blum, C. and Dorigo, M. "ACO for maximal constraint satisfaction problems", Proceeding of the 4th Meta-heuristics International Conference. Vol. 1, pp. 187-191. 2001.
- Rizzoli, A.E. and et al. "Time dependent vehicle routing problem with an ant colony system", Tech. Rep. IDSIA-17-03. Istituto Dalle Molle di Studi sull'Intelligenza Artificiale (IDSIA), Manno, 2002.
- Salhi, S. and Fraser, M. "An integrated heuristic approach for the combined location vehicle fleet mix problem", Studies in Locational Analysis. Vol. 8, pp. 3-21, 1996.
- Salhi, S. and Nagy, G. "Location-routing problem: Issue, Models and method", ISSN 1748-7595. Working paper: N0. 1, 24 May 2006.
- Saayman, S. and Bekker, J. "Drawing conclusions from deterministic logistic simulation models", Logistics Information Management. Vol. 12 No. 6, pp. 460-66, 1999.
- Shelokar, P.S., Jayaraman, V.K. and Kulkarni, B.D. "An ant colony approach for clustering", Analytica Chimica Acta. Vol. 509 no. 2, pp. 187-195, 2004.
- Sombat Sindhuchao. An inventory-transportation system for multi-joint replacement with limited vehicle capacity. Doctor of Philosophy (PhD) dissertation: Chulalongkorn University, 2003.
- Srivastava, R. Algorithms for Solving the Location-Routing Problem. Doctor of Philosophy (PhD) dissertation: Ohio State University, 1986.
- Srivastava, R. and Benton, W.C. "The location-routing problem: considerations in physical distribution system design", Computers in Operations Research. Vol. 17, pp. 427-435, 1990.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Stowers, C.L. and Palekar, U.S. "Location models with routing considerations for a single obnoxious facility", Transportation Science. Vol. 27, pp. 350-362, 1993.
- Sodsoon, S. and Sindhuchao, S. "A Max Min Ant System for Multi-Depot Routing Problem", The 2nd International Conference on Operations and Supply Chain Management (OSCM-2007). Novotel, Bangkok, May 18-20, pp.1165-1174, 2007.
- Schoonderwoerd, R. and et al. "Ant based load balancing in telecommunications networks", Adaptive Behavior. Vol. 5, no. 2, pp. 169-207, 1996.
- Shi, L., Hao, J., Zhou, J., and Xu, G. "Ant colony optimization algorithm with random perturbation behavior to the problem of optimal unit commitment with probabilistic spinning reserve determination", Electric Power Systems Research. Vol. 69 no. 2-3, pp. 295-303, 2004.
- Socha, K., Sampels, M. and Manfrin, M. "Ant algorithms for the university course timetabling problem with regard to the state-of-the-art", Computer Science. Vol. 2611, pp. 334-345, 2003.
- Solimanpur, M., Vrat, P., and Shankar, R. "Ant colony optimization algorithm to the inter-cell layout problem in cellular manufacturing", European Journal of Operational Research. Vol. 157 no. 3, pp. 592-606, 2004.
- Stutzle, T. "An ant approach to the flow shop problem", Proceedings of the 6th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing. vol. 3, Aachen, pp. 1560-1564, 1998.
- Subramanian, D., Druschel, P., and Chen, J. "Ants and reinforcement learning: a case study in routing in dynamic networks", Proceedings of the International Joint Conference on Artificial Intelligence. Morgan Kaufmann, Nagoya, pp. 832-838, 1997.
- Scheuermann, B. and et al. "A implementation of population-based ant colony optimization", Applied Soft Computing. Vol. 4 no. 3, pp. 303-322, 2004.
- Talbi, E.G. and et al. "Parallel ant colonies for the quadratic assignment problem", Future Generation Computer Systems. Vol. 17 no. 4, pp.441-449, 2001.
- Toth, P. and Vigo, D. An overview of vehicle routing problems. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, chapter 1, pages 1-26, SIAM, Philadelphia, 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- Tuzan, D. and Burke, L.I. "A two-phase tabu search approach to the location routing problem", European Journal of Operational Research. Vol.116, pp. 87-99, 1999.
- Tzafestas, E.S. "Experiences from the development and use of simulation software for complex systems education, Proceedings of the World Conference on the WWW and Internet (WebNet-2000), Texas, November 2000.
- Vigo, D. The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, volume 9, chapter 2, pages 29–51, SIAM, Philadelphia, 2002.
- Vijayakumar, K. and et al. "Optimization of multi-pass turning operations using ant colony system", International Journal of Machine Tools & Manufacture. Vol. 43 no. 15, pp. 1633–1639, 2003.
- Watson-Gandy, C.D.T. and Dohrn, P.J. "Depot location with van salesmen—a practical approach", Omega. Vol. 1, pp.321-329, 1973.
- Wu, T-H., Low, C. and Bai, J-W. "Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems", Computers and Operations Research. Vol. 29, pp. 1393-1415, 2002.
- Webb, M.H.J. "Cost functions in the location of depots for multiple-delivery journeys", Operational Research Quarterly. Vol. 19, pp. 311-320, 1968.
- Wade, A. and Salhi, S. "An ant system algorithm for the mixed vehicle routing problem with backhauls", Meta-heuristics: Computer Decision-Making. Kluwer Academic, pp. 699–719, 2004.
- Yu, I.K. and Song, Y.H. "A novel short-term generation scheduling technique of thermal units using ant colony search algorithms", International Journal of Electrical Power and Energy Systems. Vol. 23, no. 6, pp. 471–479, 2001.
- Zhou, Z. and Liu, Z. "Intelligent ant-based algorithm with applications in dynamic routing optimization of telecommunication networks", Telecommunications Science. Vol. 14, pp.10–13, 1998.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมลินโก (Lingo)

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง
กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง

MODEL:

SETS:

NODE/1..10/:XN,YN,D,Y;
 VEHICLE/1..4/;;
 NXV(NODE,VEHICLE);
 NXN(NODE,NODE):C;
 NNV(NODE,NODE,VEHICLE):X;

ENDSETS

DATA: M=2; N=4; CAPA=45; T=9999; FCOST=0;

	!w1	w2	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8;
XN=	22		36		21		45		55	33
									50	55
									26	40;
YN=	22		26		45		35		20	34
									50	45
									59	66;
D=	0		0		11		30		21	19
									15	16
									10	10;

ENDDATA

!OBJECTIVE FUNCTION;

MIN=@SUM(NNV(I,J,K):C(I,J)*X(I,J,K))+
 FCOST*@SUM(NNV(I,J,K)|I#LE#M #AND# J#GT#M: X(I,J,K));

!CONSTRAINTS;

!CALCULATE TRAVEL COST;

@FOR(NODE(I):@FOR(NODE(J)|I#NE#J:C(I,J)=@EXP(0.5*@LOG((XN(I)-
 XN(J))*(XN(I)-XN(J))+(YN(I)YN(J))*(YN(I)-YN(J)))));
 @FOR(NODE(I):C(I,I)=0;);

!BINARY CONSTRAINTS;

@FOR(NNV(I,J,K):@BIN(X(I,J,K)));

!VEHICLE CAPACITY;

@FOR(VEHICLE(K):@SUM(NXN(I,J):D(I)*X(I,J,K))<=CAPA;);

!MAXIMUM DRIVING TIME;

@FOR(VEHICLE(K):@SUM(NXN(I,J):C(I,J)*X(I,J,K))<=T;);

!ALL CUSTOMER ARE VISTED EXACTLY ONCE;

```

        @FOR(NODE(I)|I#GT#M:@SUM(NXV(J,K):X(I,J,K)=1;);
!NO LINK BETWEEN DEPOTS;
        @FOR(VEHICLE(K):@FOR(NODE(I)|I#LE#M:
        @FOR(NODE(J)|J#LE#M:X(I,J,K)=0;););
!NO LINK BETWEEN SAME NODE;
        @FOR(VEHICLE(K):@FOR(NODE(I)|I#GT#M:X(I,I,K)=0;);
!ROUTE CONTIUTY;
        @FOR(VEHICLE(K):@FOR(NODE(L):
        @SUM(NODE(I):X(I,L,K))=@SUM(NODE(J):X(L,J,K)););
!SUB-TOUR BREAKING;
        @FOR(VEHICLE(K):@FOR(NXN(I,J)|I#GT#M #AND# J#GT#M #AND#
        I#NE#J: Y(I)-Y(J)+(M+N)*X(I,J,K)<=M+N-1;););

```

END

ภาคผนวก ข

โปรแกรมลินโก (Lingo)

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง

กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลางหนึ่งแห่ง

MODEL:

SETS:

CITY/W C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9 C10 C11 C12 C13/: Q, XCOOR,
YCOOR, U;

! Q(I) = amount required at city I(given),

must be delivered by just 1 vehicle.U(I) = accumulated deliveries at city I ;

CXC(CITY, CITY): DIST, X;

! DIST(I,J) = distance from city I to city J

X(I,J) is 0-1 variable, = 1 if some vehicle travels from city I to J,else 0 ;

ENDSETS

DATA:

!CITY= W C1 C2 C3 C4 C5 C6 C7 C8 C9 C10 C11 C12 C13;

XCOOR= 0 0 6 7 9 15 20 17 7 1 15 20 7 2;

YCOOR= 0 12 5 15 12 3 0 -2 -4 -6 -6 -7 -9 -15;

! Amount to be delivered to each customer;

Q= 0 48 36 43 92 57 16 56 30 57 47 91 55 38;

! VCAP is the capacity of a vehicle ;

VCAP = 200;

ENDDATA

!Compute the (Euclidean) distance matrix;

@FOR(CXC(I,J):

DIST(I,J) = ((XCOOR(I)-XCOOR(J))^2 + (YCOOR(I)-
YCOOR(J))^2)^.5);

! The objective is to minimize total distance traveled;

MIN = @SUM(CXC(I,J): DIST(I,J) * X(I,J));

! Constraints;

! for each city K, except depot....;

@FOR(CITY(K)| K #GT# 1:

! a vehicle must enter city K from some city I,... ;

@SUM(CITY(I)| I #NE# K #AND# (I #EQ# 1 #OR#

$$Q(I) + Q(K) \leq VCAP: X(I, K) = 1;$$

! a vehicle must leave city K after service ;

$$@SUM(CITY(J) | J \neq K \text{ AND } (J \neq 1 \text{ OR } ($$

$$Q(J) + Q(K) \leq VCAP): X(K, J) = 1;$$

! city K cannot travel back to itself,...;

$$X(K, K) = 0;$$

! $U(K)$ = amount delivered on trip up to city K

$\geq$ amount needed at K but $\leq$ vehicle capacity;

$$@BND(Q(K), U(K), VCAP);$$

! If K follows I, then $U(K) \geq U(I) + Q(K)$..;

$$@FOR(CITY(I) | I \neq K \text{ AND } I \neq 1: U(K) \geq$$

$$U(I) + Q(K) - VCAP + VCAP * (X(K, I) + X(I, K))$$

$$- (Q(K) + Q(I)) * X(K, I);$$

! Optional cuts: If K is 1st stop, then $U(K) = Q(K)$;

$$! U(K) \leq VCAP - (VCAP - Q(K)) * X(1, K);$$

! If K is not 1st stop...;

$$U(K) \geq Q(K) + @SUM(CITY(I) | I \neq 1: Q(I) * X(I, K));$$

! Make the X's binary;

$$@FOR(CXC(I, J): @BIN(X(I, J)));$$

! Must send enough vehicles out of depot;

$$@SUM(CITY(J) | J \neq 1: X(1, J)) \geq @FLOOR((@SUM($$

$$CITY(I) | I \neq 1: Q(I)) / VCAP) + .999);$$

END

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบการสร้างคำตอบเริ่มต้น
และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบการสร้างคำตอบเริ่มต้นและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในปัญหา P01

Run	Beta	Rho	Iters	Yield Type P	Yield Type S	Run	Beta	Rho	Iters	Yield Type P	Yield Type S
1	2	0.545	500	706.595	709.12	38	2	0.545	100	778.446	815.425
2	2	0.545	500	755.269	690.661	39	5	0.545	500	788.433	815.425
3	3.5	0.99	100	767.757	713.158	40	3.5	0.545	300	737.691	800.252
4	3.5	0.545	300	715.94	692.001	41	2	0.545	100	814.598	815.425
5	3.5	0.1	500	746.294	689.051	42	2	0.545	100	688.508	823.83
6	2	0.1	300	749.161	672.18	43	3.5	0.99	100	765.471	815.425
7	3.5	0.99	100	820.954	709.108	44	5	0.545	500	710.944	815.425
8	2	0.545	500	719.537	685.213	45	3.5	0.1	100	805.453	807.803
9	3.5	0.99	500	747.355	678.125	46	5	0.1	300	732.878	815.425
10	2	0.1	300	710.169	685.456	47	3.5	0.1	500	737.323	803.89
11	3.5	0.545	300	763.247	672.786	48	2	0.1	300	744.681	789.581
12	3.5	0.545	300	706.255	706.628	49	3.5	0.99	500	823.108	756.664
13	5	0.545	100	772.239	697.569	50	2	0.99	300	794.792	798.904
14	2	0.545	500	721.404	652.18	51	3.5	0.1	100	812.263	809.043
15	3.5	0.545	300	713.863	676.424	52	3.5	0.545	300	769.727	782.672
16	2	0.99	300	716.465	745.834	53	2	0.1	300	762.359	815.425
17	3.5	0.1	100	748.474	719.902	54	5	0.545	100	820.997	815.425
18	5	0.99	300	831.555	684.434	55	3.5	0.1	500	721.669	783.14
19	3.5	0.545	300	720.356	692.474	56	5	0.99	300	760.729	748.593
20	3.5	0.1	100	767.884	718.562	57	3.5	0.99	500	737.432	801.407
21	3.5	0.545	300	738.966	722.368	58	3.5	0.99	100	772.638	778.946
22	3.5	0.545	300	716.397	706.779	59	5	0.545	500	737.323	802.146
23	2	0.545	100	775.507	699.717	60	3.5	0.545	300	748.227	802.623
24	5	0.99	300	789.471	680.794	61	5	0.1	300	751.543	798.329
25	3.5	0.1	100	772.622	815.425	62	5	0.545	500	706.008	815.425
26	2	0.99	300	745.696	762.544	63	3.5	0.1	500	742.069	815.425
27	2	0.99	300	681.617	767.025	64	2	0.545	500	725.613	797.119
28	2	0.545	100	778.672	815.425	65	5	0.99	300	731.998	777.407
29	2	0.99	300	696.686	849.88	66	3.5	0.99	500	733.214	747.723
30	3.5	0.1	500	772.99	815.425	67	5	0.1	300	764.625	775.131
31	3.5	0.99	500	716.391	759.778	68	5	0.1	300	719.91	815.425
32	5	0.99	300	740.253	768.691	69	3.5	0.545	300	712.282	765.9
33	3.5	0.545	300	712.282	748.593	70	3.5	0.99	100	790.672	800.869
34	5	0.545	100	752.05	815.425	71	3.5	0.545	300	755.659	800.252
35	2	0.1	300	735.183	815.425	72	5	0.545	100	728.52	815.425
36	3.5	0.545	300	710.381	800.252	73	3.5	0.545	300	707.296	800.252
37	5	0.1	300	764.884	815.425	74	5	0.545	500	783.824	786.464
						75	5.0	0.545	100	834.263	815.425

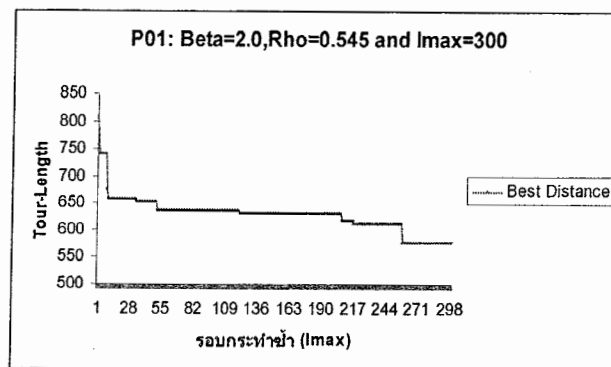
ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบการสร้างคำตอบเริ่มต้นและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในปัญหา P04

Run	Beta	Rho	Iters	Yield Type P	Yield Type S	Run	Beta	Rho	Iters	Yield Type P	Yield Type S
1	2.0	0.545	500	1375.58	1497.00	38	2.0	0.545	100	1367.38	1410.99
2	2.0	0.545	500	1372.88	1490.95	39	5.0	0.545	500	1370.08	1446.39
3	3.5	0.990	100	1374.53	1400.12	40	3.5	0.545	300	1365.88	1418.84
4	3.5	0.545	300	1366.68	1463.96	41	2.0	0.545	100	1371.68	1404.89
5	3.5	0.100	500	1372.08	1465.39	42	2.0	0.545	100	1374.23	1441.74
6	2.0	0.100	300	1372.43	1398.23	43	3.5	0.990	100	1366.43	1453.19
7	3.5	0.990	100	1373.13	1404.00	44	5.0	0.545	500	1375.33	1427.84
8	2.0	0.545	500	1366.38	1464.66	45	3.5	0.100	100	1374.03	1456.94
9	3.5	0.990	500	1366.18	1424.00	46	5.0	0.100	300	1371.78	1447.69
10	2.0	0.100	300	1373.43	1423.27	47	3.5	0.100	500	1372.73	1388.69
11	3.5	0.545	300	1368.33	1398.30	48	2.0	0.100	300	1370.23	1424.84
12	3.5	0.545	300	1365.08	1461.54	49	3.5	0.990	500	1367.18	1426.54
13	5.0	0.545	100	1373.78	1451.71	50	2.0	0.990	300	1366.53	1414.24
14	2.0	0.545	500	1368.78	1424.98	51	3.5	0.100	100	1366.63	1445.19
15	3.5	0.545	300	1366.68	1432.40	52	3.5	0.545	300	1371.03	1411.49
16	2.0	0.990	300	1367.03	1389.26	53	2.0	0.100	300	1375.03	1416.39
17	3.5	0.100	100	1365.28	1451.05	54	5.0	0.545	100	1370.08	1405.94
18	5.0	0.990	300	1375.03	1440.18	55	3.5	0.100	500	1365.73	1416.89
19	3.5	0.545	300	1367.93	1468.32	56	5.0	0.990	300	1366.33	1426.99
20	3.5	0.100	100	1372.53	1404.90	57	3.5	0.990	500	1372.63	1445.64
21	3.5	0.545	300	1375.78	1508.61	58	3.5	0.990	100	1373.58	1405.89
22	3.5	0.545	300	1371.93	1446.63	59	5.0	0.545	500	1365.33	1437.74
23	2.0	0.545	100	1366.83	1495.14	60	3.5	0.545	300	1368.53	1434.29
24	5.0	0.990	300	1368.38	1378.59	61	5.0	0.100	300	1368.93	1391.69
25	3.5	0.100	100	1369.88	1440.97	62	5.0	0.545	500	1372.93	1459.39
26	2.0	0.990	300	1374.58	1395.69	63	3.5	0.100	500	1376.38	1396.94
27	2.0	0.990	300	1371.13	1453.79	64	2.0	0.545	500	1368.33	1404.09
28	2.0	0.545	100	1373.83	1387.69	65	5.0	0.990	300	1368.43	1403.49
29	2.0	0.990	300	1372.83	1407.94	66	3.5	0.990	500	1373.53	1386.89
30	3.5	0.100	500	1375.28	1401.14	67	5.0	0.100	300	1367.18	1400.34
31	3.5	0.990	500	1367.03	1429.94	68	5.0	0.100	300	1367.28	1456.34
32	5.0	0.990	300	1373.53	1421.69	69	3.5	0.545	300	1372.18	1405.64
33	3.5	0.545	300	1368.23	1434.54	70	3.5	0.990	100	1373.63	1420.89
34	5.0	0.545	100	1372.88	1378.79	71	3.5	0.545	300	1367.43	1427.14
35	2.0	0.100	300	1376.43	1388.49	72	5.0	0.545	100	1367.98	1385.24
36	3.5	0.545	300	1374.58	1435.44	73	3.5	0.545	300	1375.53	1386.79
37	5.0	0.100	300	1368.38	1395.74	74	5.0	0.545	500	1375.98	1393.04
						75	5.0	0.545	100	1368.58	1402.49

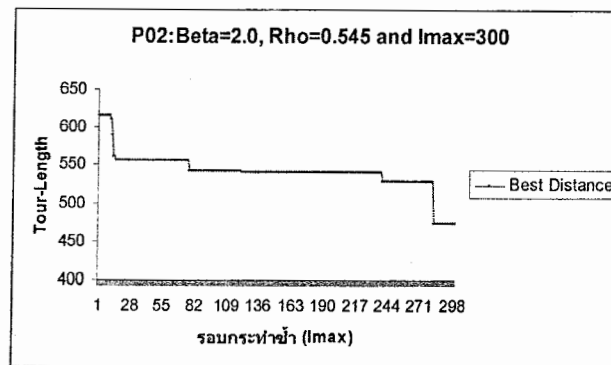
ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบการสร้างคำตอบเริ่มต้นและพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในปัญหา P08

Run	Beta	Rho	Iters	Yield Type P	Yield Type S	Run	Beta	Rho	Iters	Yield Type P	Yield Type S
1	2.0	0.545	500	6679.19	6713.25	38	2.0	0.545	100	6704.89	6756.90
2	2.0	0.545	500	6727.69	6692.10	39	5.0	0.545	500	6727.04	6701.75
3	3.5	0.990	100	6731.09	6737.65	40	3.5	0.545	300	6730.39	6762.80
4	3.5	0.545	300	6677.94	6704.20	41	2.0	0.545	100	6704.49	6718.90
5	3.5	0.100	500	6697.19	6716.05	42	2.0	0.545	100	6698.79	6749.85
6	2.0	0.100	300	6678.89	6733.70	43	3.5	0.990	100	6663.24	6704.10
7	3.5	0.990	100	6735.44	6707.10	44	5.0	0.545	500	6731.29	6686.60
8	2.0	0.545	500	6733.34	6764.00	45	3.5	0.100	100	6700.49	6711.50
9	3.5	0.990	500	6661.39	6697.80	46	5.0	0.100	300	6714.44	6761.95
10	2.0	0.100	300	6699.29	6761.80	47	3.5	0.100	500	6688.69	6721.85
11	3.5	0.545	300	6678.24	6723.80	48	2.0	0.100	300	6679.29	6727.50
12	3.5	0.545	300	6681.44	6756.60	49	3.5	0.990	500	6714.34	6766.85
13	5.0	0.545	100	6730.09	6701.60	50	2.0	0.990	300	6732.74	6729.05
14	2.0	0.545	500	6733.19	6722.70	51	3.5	0.100	100	6734.99	6714.10
15	3.5	0.545	300	6656.59	6763.70	52	3.5	0.545	300	6705.89	6765.75
16	2.0	0.990	300	6727.24	6695.25	53	2.0	0.100	300	6696.34	6701.35
17	3.5	0.100	100	6724.34	6740.60	54	5.0	0.545	100	6729.04	6740.70
18	5.0	0.990	300	6705.84	6704.20	55	3.5	0.100	500	6700.09	6688.95
19	3.5	0.545	300	6722.99	6714.05	56	5.0	0.990	300	6703.59	6724.65
20	3.5	0.100	100	6695.89	6752.90	57	3.5	0.990	500	6694.34	6697.20
21	3.5	0.545	300	6688.84	6751.95	58	3.5	0.990	100	6686.89	6763.05
22	3.5	0.545	300	6734.39	6715.45	59	5.0	0.545	500	6703.59	6726.05
23	2.0	0.545	100	6713.64	6716.65	60	3.5	0.545	300	6716.89	6718.50
24	5.0	0.990	300	6721.19	6692.15	61	5.0	0.100	300	6716.04	6704.75
25	3.5	0.100	100	6680.04	6759.60	62	5.0	0.545	500	6692.64	6761.90
26	2.0	0.990	300	6709.99	6741.35	63	3.5	0.100	500	6690.64	6699.20
27	2.0	0.990	300	6733.34	6687.50	64	2.0	0.545	500	6667.09	6705.85
28	2.0	0.545	100	6703.14	6703.40	65	5.0	0.990	300	6703.89	6755.45
29	2.0	0.990	300	6724.34	6746.85	66	3.5	0.990	500	6693.44	6716.40
30	3.5	0.100	500	6678.19	6766.90	67	5.0	0.100	300	6716.99	6737.20
31	3.5	0.990	500	6721.59	6744.75	68	5.0	0.100	300	6735.54	6716.00
32	5.0	0.990	300	6717.59	6744.45	69	3.5	0.545	300	6665.74	6702.60
33	3.5	0.545	300	6704.79	6762.75	70	3.5	0.990	100	6689.79	6710.45
34	5.0	0.545	100	6697.89	6753.95	71	3.5	0.545	300	6669.24	6714.05
35	2.0	0.100	300	6680.64	6715.90	72	5.0	0.545	100	6656.49	6708.65
36	3.5	0.545	300	6671.44	6760.50	73	3.5	0.545	300	6717.54	6734.40
37	5.0	0.100	300	6710.54	6764.45	74	5.0	0.545	500	6698.39	6756.20
						75	5.0	0.545	100	6672.29	6707.15

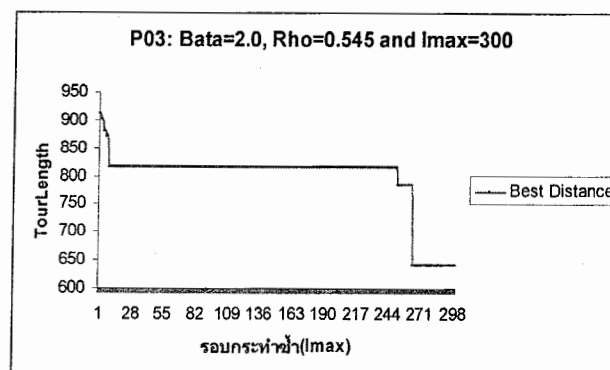
ภาคผนวก ง
รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับ
ระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P01-Pr10



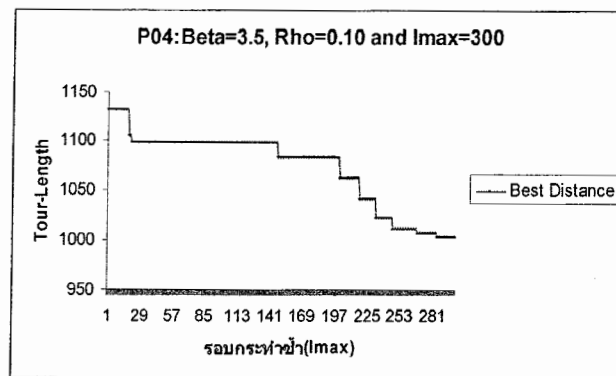
ภาพที่ ง.1 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P01



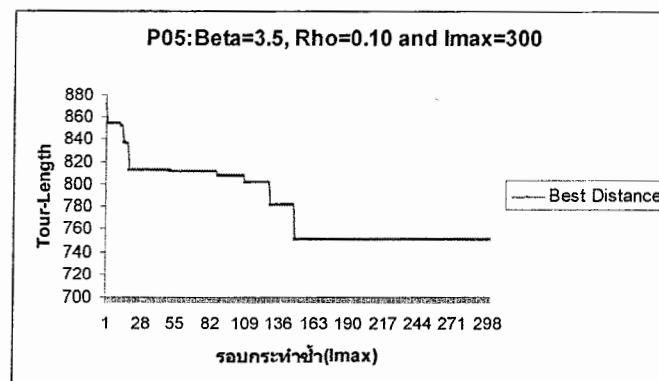
ภาพที่ ง.2 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P02



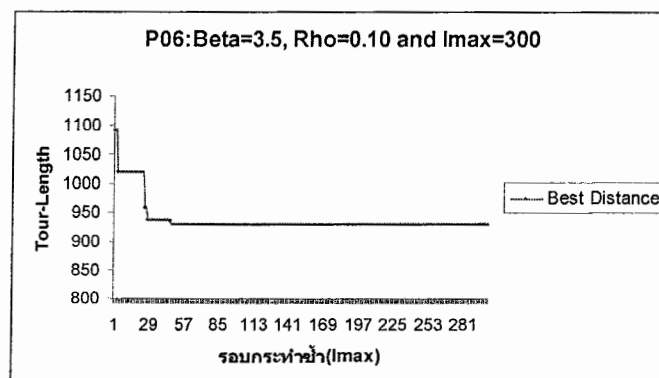
ภาพที่ ง.3 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P03



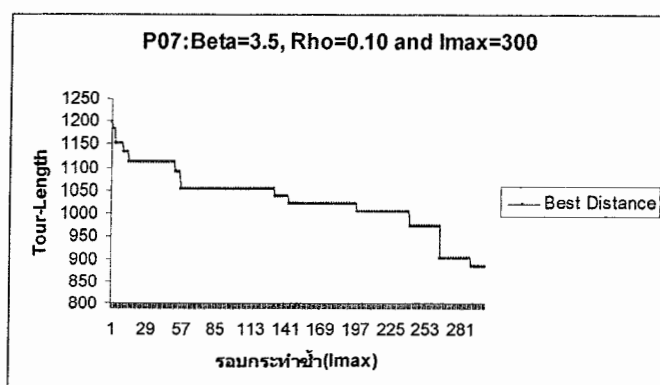
ภาพที่ ง.4 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P04



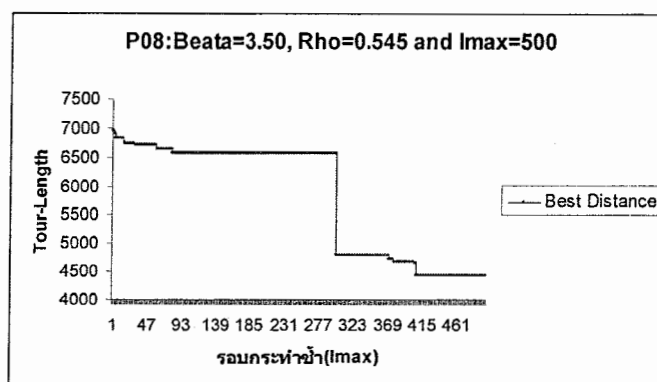
ภาพที่ ง.5 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P05



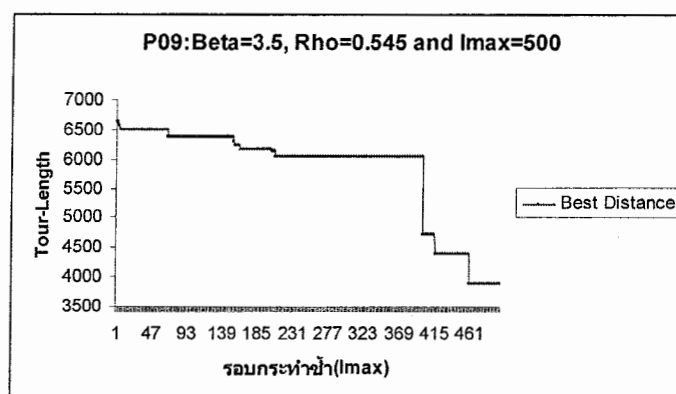
ภาพที่ ง.6 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P06



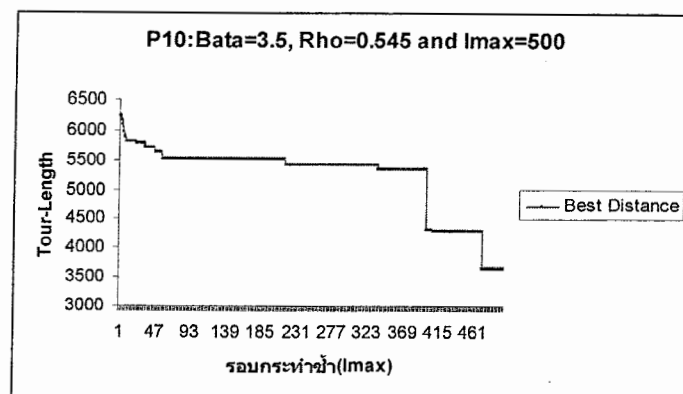
ภาพที่ ง.7 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P07



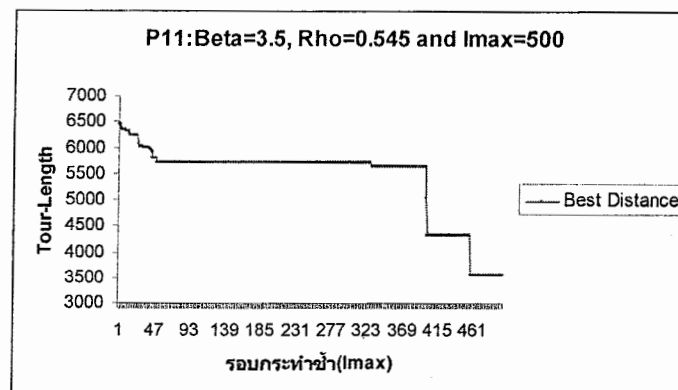
ภาพที่ ง.8 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P08



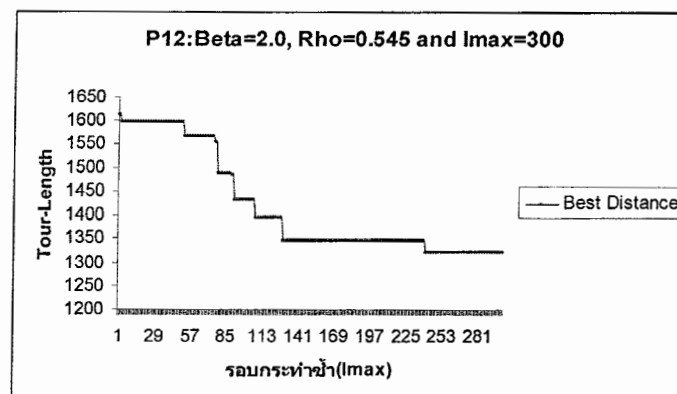
ภาพที่ ง.9 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P09



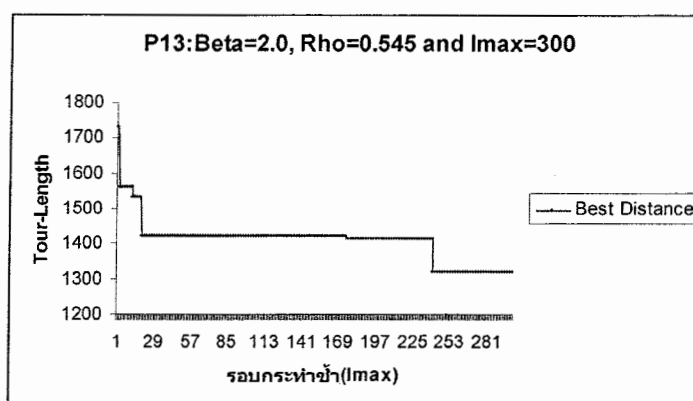
ภาพที่ ง.10 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P10



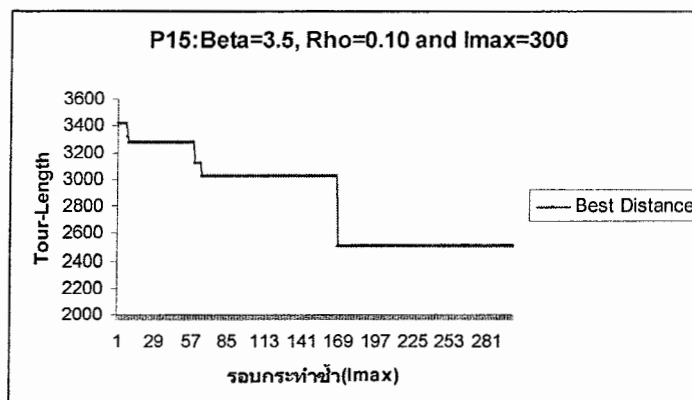
ภาพที่ ง.11 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P11



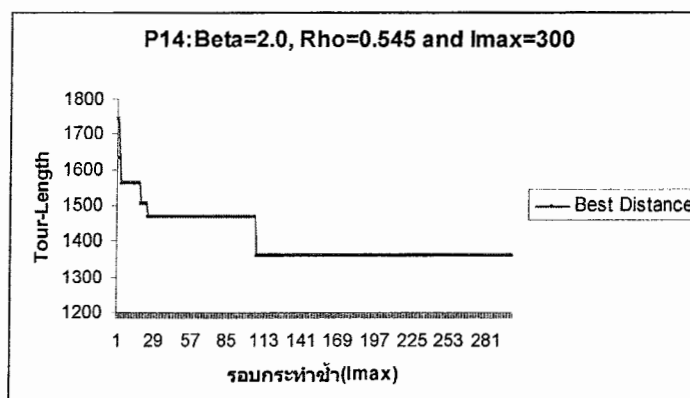
ภาพที่ ง.12 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P12



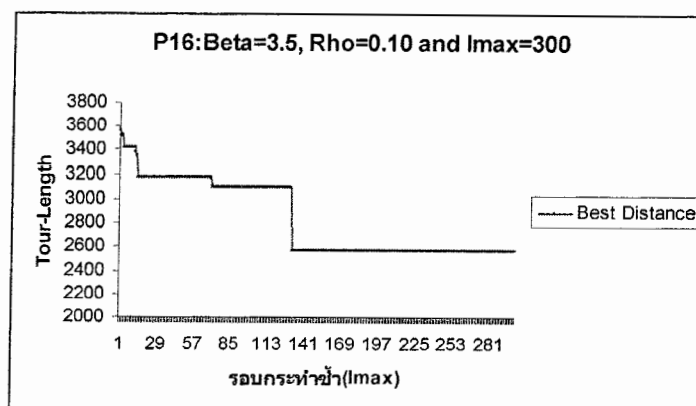
ภาพที่ ง.13 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P13



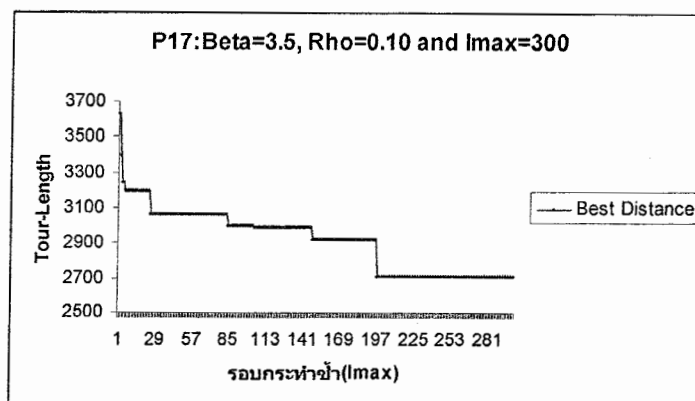
ภาพที่ ง.15 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P15



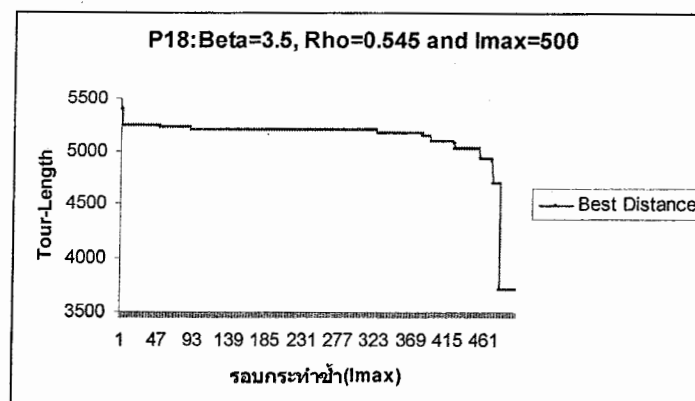
ภาพที่ ง.14 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P14



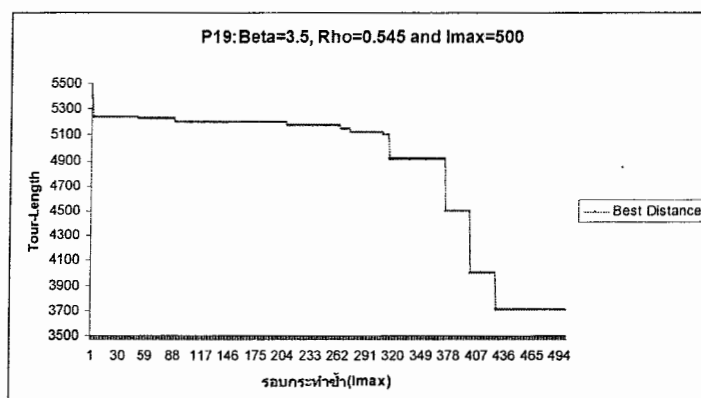
ภาพที่ ง.16 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P16



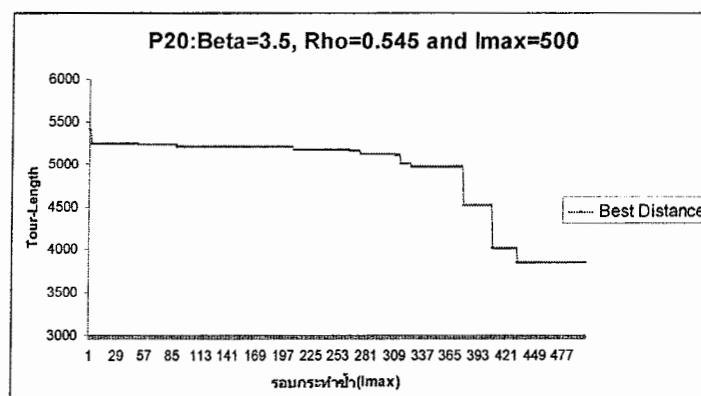
ภาพที่ ง.17 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P17



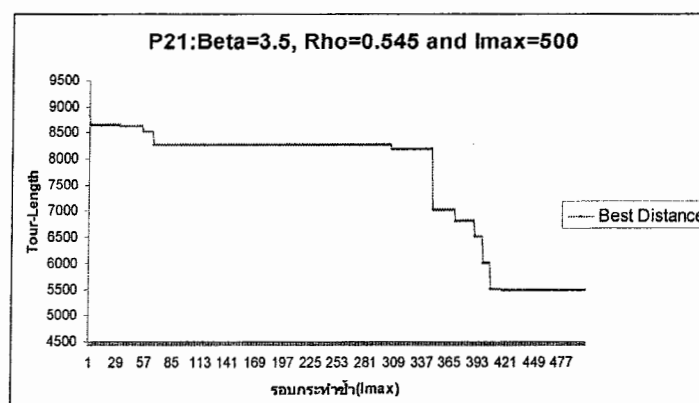
ภาพที่ ง.18 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P18



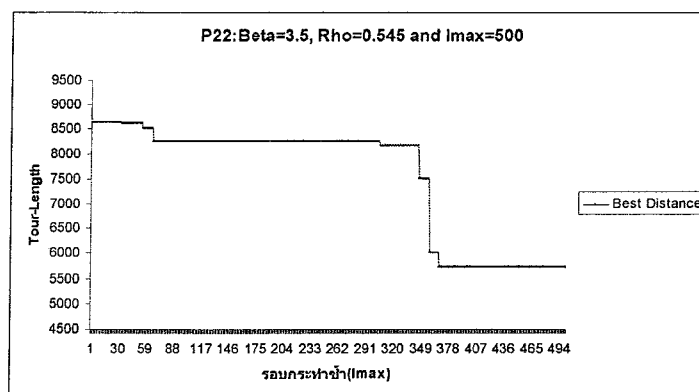
ภาพที่ ง.19 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P19



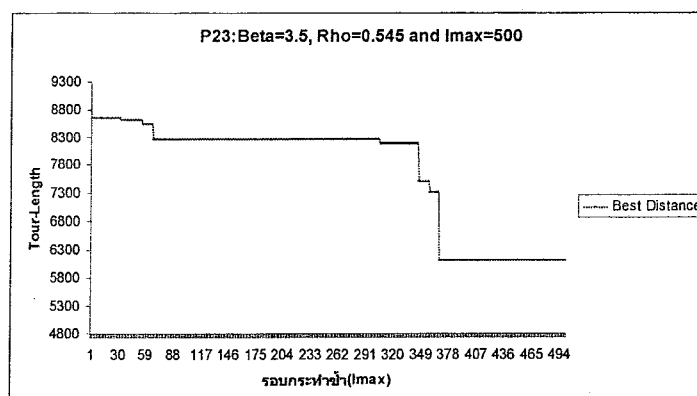
ภาพที่ ง.20 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P20



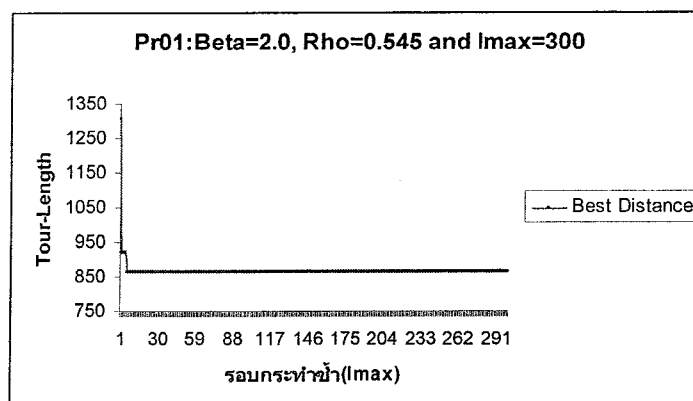
ภาพที่ ง.21 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P21



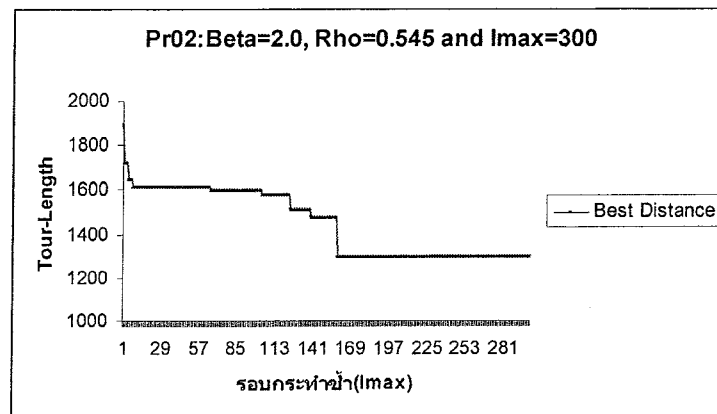
ภาพที่ ง.22 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P22



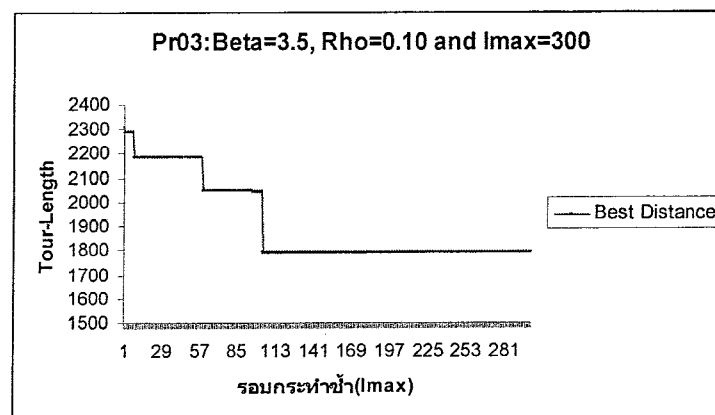
ภาพที่ ง.23 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา P23



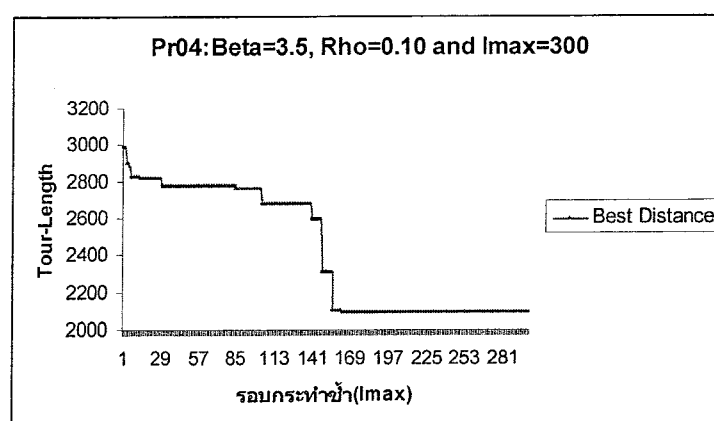
ภาพที่ ง.24 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr01



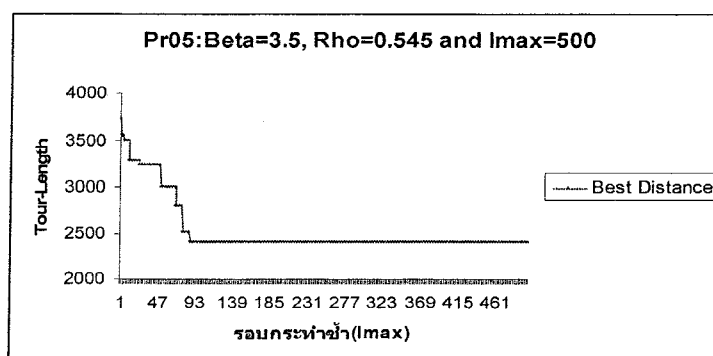
ภาพที่ ง.25 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr02



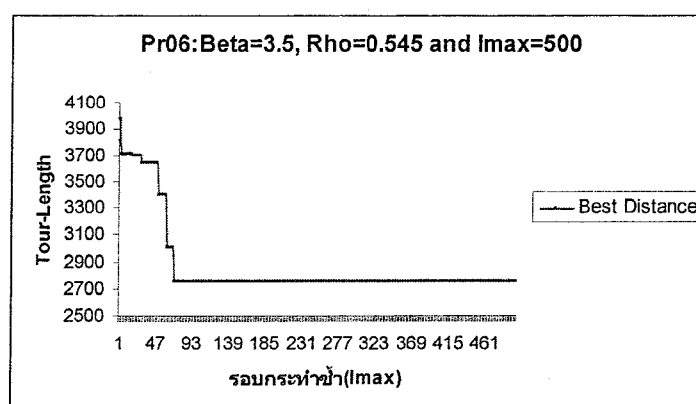
ภาพที่ ง.26 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr03



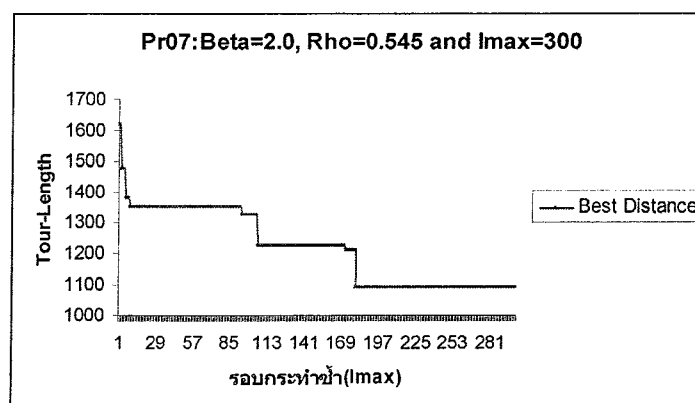
ภาพที่ ง.27 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr04



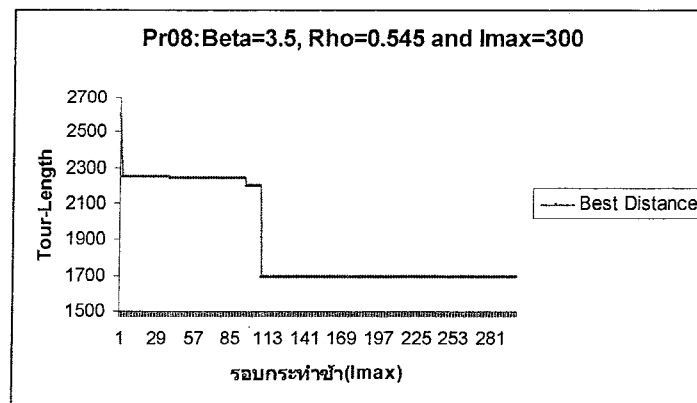
ภาพที่ ง.28 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr05



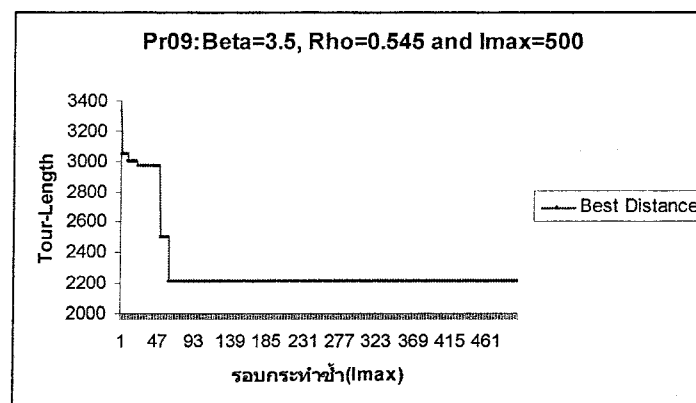
ภาพที่ ง.29 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr06



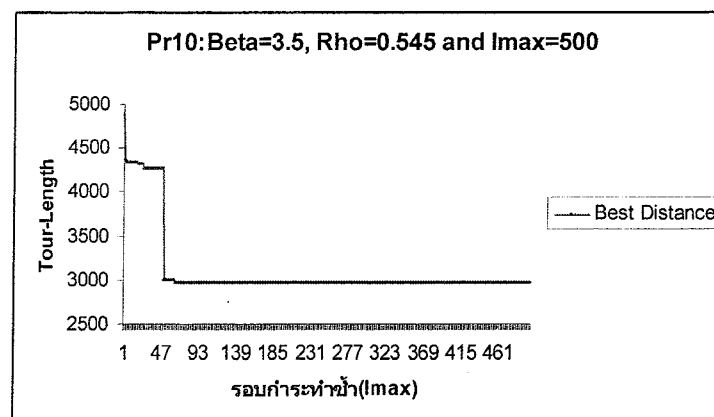
ภาพที่ ง.30 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr07



ภาพที่ ง.31 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr08



ภาพที่ ง.32 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr09



ภาพที่ ง.33 รอบกระทำซ้ำสูงสุดกับระดับคุณภาพผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา Pr10

ภาคผนวก จ
ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากวิธีระบบคแบบแม็ก-มิน
ร่วมกับขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพผลเฉลย

ตารางที่ จ.1 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P01

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	60.0638	71	51 44 45 33 15 37 17 51
R[2]	66.5524	79	51 42 19 40 41 13 51
R[3]	46.9997	78	51 25 18 4 51
			Number of customers served by depot1: 14 Length of tour: 173.6159
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	79.475	80	52 22 28 31 26 8 48 52
R[2]	81.3975	77	52 23 7 43 24 14 52
R[3]	23.4962	54	52 47 12 52
R[4]	53.4394	73	52 6 27 1 32 11 46 52
			Number of customers served by depot2: 19 Length of tour: 237.8081
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	50.4107	75	53 9 34 30 39 10 53
R[2]	25.2168	54	53 38 5 49 53
			Number of customers served by depot3: 8 Length of tour: 75.6275
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	47.673	67	54 35 36 3 20 54
R[2]	42.1411	69	54 29 2 16 50 21 54
			Number of customers served by depot4: 9 Length of tour: 89.8141
Length of tour:			576.866
Run Time CPU (Sec.):			37.531

ตารางที่ จ.2 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P02

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	87.04	154	51 4 47 18 13 41 40 19 42 51
			Number of customers served by depot 1: 9 Length of tour: 87.04
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	101.91	157	52 6 14 25 24 43 7 23 48 27 46 52
			Number of customers served by depot 2: 10 Length of tour: 101.91
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	74.27	153	53 38 11 2 16 50 21 34 30 9 53
R[2]	95.30	158	53 10 39 33 45 15 44 37 17 12 5 49 53
			Number of customers served by depot 3: 20 Length of tour: 169.57
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	115.02	155	54 20 35 36 3 28 31 26 8 22 1 32 29 54
			Number of customers served by depot 4: 12 Length of tour: 115.02
Length of tour:			473.53
Run Time CPU (Sec.):			32.797

ตารางที่ จ.3 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P03

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	27.76	106	76 4 34 46 67 76
R[2]	9.71	99	76 26 17 51 6 68 7576
			Number of customers served by depot 1: 10 Length of tour: 37.47
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	63.78	123	77 5 37 20 70 60 71 69 36 47 77
R[2]	50.46	140	77 48 21 74 2 30 45 29 77
			Number of customers served by depot 2: 15 Length of tour: 114.24
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	72.50	127	78 35 8 52 27 15 57 13 54 19 78
R[2]	57.53	138	78 14 59 66 65 11 78
R[3]	77.20	134	78 7 58 72 31 10 38 53 78
			Number of customers served by depot 3: 21 Length of tour: 207.23
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	42.34	122	79 40 12 39 9 32 79
R[2]	87.79	135	79 3 44 50 25 55 18 24 49 16 79
			Number of customers served by depot 4: 14 Length of tour: 130.13
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	53.04	127	80 43 41 56 23 63 33 73 1 80
R[2]	69.07	113	80 62 28 61 22 64 42 80
			Number of customers served by depot 5: 14 Length of tour: 122.11
Length of tour:			641.190
Run Time CPU (Sec.):			215.437

ตารางที่ จ.3 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P03

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	59.50	93	101 8 53 28 27 89 6 96 101
R[2]	28.69	96	101 7 95 94 13 101
R[3]	41.56	100	101 5 93 99 59 101
R[4]	60.80	100	101 7 37 100 91 16 44 14 42 101
R[5]	88.18	98	101 7 15 43 38 86 61 98 92 101
R[6]	40.57	87	101 1 72 74 75 22 2 101
R[7]	76.51	96	101 1 23 67 39 56 101
R[8]	33.41	99	101 40 26 12 54 55 25 4 73 101
			Number of customers served by depot 1: 50 Length of tour: 429.22
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	64.10	100	102 33 81 34 78 79 50 1 102
R[2]	107.18	98	102 63 64 49 36 47 46 82 102
R[3]	53.10	99	102 31 10 90 32 20 30 102
R[4]	59.81	98	102 88 7 48 19 11 62 102
R[5]	84.30	95	102 8 45 17 84 5 60 83 18 52 102
R[6]	74.12	100	102 3 29 24 80 68 77 76 69 102
R[7]	89.62	99	102 70 66 65 71 35 9 51 102
			Number of customers served by depot 2: 50 Length of tour: 532.23
Length of tour:			1001.470
Run Time CPU (Sec.):			1398.780

ตารางที่ จ.5 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P05

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	110.504	198	101 89 52 31 70 30 32 90 63 10 62 88 7 82 8 83 101
R[2]	53.535	181	101 60 96 94 13 87 97 95 59 99 93 101
R[3]	122.203	200	101 5 84 17 45 46 47 36 49 64 11 19 48 18 101
R[4]	82.083	198	101 61 16 86 38 14 44 91 100 37 98 85 101
			Number of customers served by depot1: 49 Length of tour: 368.3256
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	61.660	162	102 80 68 3 77 76 50 1 69 27 28 12 102
R[2]	80.275	136	102 4 56 23 67 39 25 55 54 102
R[3]	124.284	192	102 24 29 78 34 35 71 65 66 20 51 9 81 33 79 102
R[4]	115.389	181	102 21 73 72 74 75 22 41 15 43 57 2 40 58 53 26 102
			Number of customers served by depot2: 49 Length of tour: 381.608
Length of tour:			749.9336
Run Time CPU (Sec.):			3454.890

ตารางที่ จ.6 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P06

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	42.3907	88	101 44 38 86 16 101
R[2]	47.4465	99	101 95 13 94 6 89 96 101
R[3]	21.5182	94	101 93 99 59 98 37 100 101
R[4]	70.4222	95	101 92 97 87 2 57 15 43 42 14 91 101
R[5]	81.52	100	101 61 84 17 45 46 8 83 18 60 5 101
R[6]	4.47214	41	101 85 101
			Number of customers serve by depot1: 37 Length of tour: 267.77
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	46.4929	98	102 12 68 80 54 4 12
R[2]	47.7469	85	102 26 28 53 58 40 21 102
R[3]	94.1172	100	102 25 55 24 29 34 78 79 3 77 76 102
R[4]	50.5299	91	102 56 23 67 39 102
R[5]	37.0327	83	102 73 74 22 41 75 72 102
			Number of customers serve by depot2: 31 Length of tour: 275.92
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	48.9502	91	103 30 51 81 33 50 1 103
R[2]	51.9323	98	103 10 32 90 63 62 31 103
R[3]	88.5888	100	103 19 47 36 49 64 11 103
R[4]	65.1961	97	103 88 7 48 82 52 27 69 103
R[5]	83.8009	98	103 20 66 65 71 35 9 70 103
			Number of customers serve by depot3: 32 Length of tour: 338.468
Length of tour:			882.158
Run Time CPU (Sec.):			816.093

ตารางที่ จ.7 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P07

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	99.18	95	101 45 46 36 49 64 19 7 18 101
R[2]	45.73	95	101 17 86 16 61 5 101
R[3]	38.61	100	101 60 99 93 37 98 85 84 101
R[4]	46.39	99	101 82 48 47 8 83 101
			Number of customers served by depot1: 25 Length of tour: 229.91
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	8.36	42	102 80 68 102
R[2]	51.76	93	102 12 26 40 21 4 54 102
R[3]	60.54	92	102 76 77 3 79 78 34 29 24 102
R[4]	79.73	99	102 56 23 67 39 25 55 102
			Number of customers served by depot2:22 Length of tour: 200.39
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	87.38	99	103 42 100 91 44 38 14 43 15 57 103
R[2]	42.69	100	103 58 53 89 6 94 13 103
R[3]	42.99	90	103 2 41 22 75 74 72 73 103
R[4]	35.10	99	103 95 96 59 92 97 87 103
			Number of customers served by depot3: 28 Length of tour: 208.16
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	50.80	96	104 1 50 33 81 51 30 70 104
R[2]	62.09	92	104 10 32 90 63 11 62 88 104
R[3]	89.37	93	104 20 66 65 71 35 9 104
R[4]	43.95	74	104 69 28 27 52 31 104
			Number of customers served by depot4: 25 Length of tour: 246.21
Length of tour:			884.660
Run Time CPU (Sec.):			901.734

ตารางที่ จ.8 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P08

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	183.58	499	250 122 38 56 113 80 194 197 42 10 238 131 235 250
R[2]	115.73	498	250 43 225 241 11 214 57 203 193 125 64 250
R[3]	193.72	496	250 58 150 189 106 121 248 89 167 13 101 250
R[4]	111.31	464	250 114 148 26 9 153 230 170 2 195 250
R[5]	143.78	499	250 183 36 220 65 206 83 217 250
R[6]	179.98	499	250 204 30 191 5 133 211 90 61 12 49 124 137 54 250
R[7]	281.75	493	250 96 72 33 234 31 205 221 129 130 53 228 173 27 250
R[8]	151.95	484	250 18 79 19 185 166 207 198 73 250
R[9]	136.39	494	250 190 112 213 8 123 118 3 135 146 177 69 250
R[10]	167.84	499	250 84 52 169 181 171 59 162 75 219 15 250
R[11]	279.51	500	250 223 55 17 24 40 127 147 201 78 32 233 39 250
R[12]	59.29	489	250 163 224 82 157 249 62 237 250
R[13]	216.88	500	250 242 66 103 168 47 175 226 136 176 102 250
			Number of customers served by depot1: 132 Length of tour: 2221.71
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	158.50	470	251 25 141 104 74 215 126 116 16 243 6 251
R[2]	162.06	483	251 246 140 172 21 138 100 186 160 251
R[3]	308.58	494	251 4 115 99 70 232 231 202 139 1 229 71 68 142 209 164 7 251
R[4]	213.45	495	251 188 87 154 76 155 108 244 145 81 208 251
R[5]	153.51	417	251 28 95 34 182 35 239 156 251
R[6]	180.94	463	251 152 144 192 184 218 119 50 77 212 45 200 251
R[7]	185.75	500	251 91 88 247 149 86 151 94 245 251
R[8]	83.18	456	251 179 161 187 93 46 216 63 180 251
R[9]	156.15	500	251 128 143 14 107 240 117 98 174 48 251
R[10]	130.84	421	251 37 222 85 111 236 196 23 120 22 251
R[11]	191.32	495	251 92 178 210 41 109 20 227 29 105 44 199 251
R[12]	287.28	498	251 165 132 97 67 51 134 159 158 60 110 251
			Number of customers served by depot2:177 Length of tour: 2211.56
Length of tour:			4433.28
Run Time CPU (Sec.):			901.734

ตารางที่ ๑.๑ ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P09

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	281.80	482	250 75 233 176 136 226 175 47 55 17 24 40 127 51 29 250
R[2]	93.59	497	250 92 178 210 41 110 109 20 227 250
R[3]	122.43	495	250 132 97 59 162 181 171 85 250
R[4]	215.26	494	250 60 158 134 159 147 201 78 32 67 105 250
R[5]	215.13	500	250 152 156 35 239 119 218 184 192 144 23 250
R[6]	153.00	495	250 169 52 219 15 102 16 243 6 165 222 250
R[7]	153.47	470	250 14 107 212 91 187 45 128 48 250
R[8]	190.11	474	250 37 116 126 215 74 104 141 25 246 208 199 44 250
R[9]	219.07	471	250 93 50 245 94 151 86 149 247 88 77 250
R[10]	82.40	414	250 117 240 98 143 174 196 250
R[11]	118.45	497	250 111 120 22 200 63 180 216 46 161 179 236 250
			Number of customers served by depot 1: 106 Length of tour: 1844.71
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	93.20	445	251 125 64 163 69 177 237 224 251
R[2]	142.78	487	251 82 43 223 122 39 38 242 225 241 235 193 251
R[3]	114.91	499	251 217 83 206 65 220 36 183 251
R[4]	68.69	287	251 101 214 131 57 203 251
R[5]	195.06	497	251 195 27 173 137 18 54 204 198 73 96 213 112 251
R[6]	141.43	463	251 13 167 89 248 121 106 189 150 58 251
R[7]	58.64	445	251 114 148 26 9 153 230 170 2 251
R[8]	164.62	498	251 190 8 123 118 3 135 84 146 62 249 157 251
R[9]	174.49	496	251 11 56 66 168 103 113 80 194 197 42 10 238 251
			Number of customers served by depot 2: 82 Length of tour: 1153.82
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	199.74	499	252 211 90 61 221 129 130 53 228 124 49 12 133 5 33 252
R[2]	138.39	464	252 72 185 19 166 207 30 191 79 252
R[3]	161.31	457	252 68 142 232 231 202 139 1 229 71 31 205 234 252
R[4]	90.72	426	252 99 70 155 108 244 115 145 209 252
R[5]	214.37	478	252 76 154 87 188 34 95 182 28 160 7 164 140 172 252
R[6]	74.29	376	252 138 21 186 81 4 100 252
			Number of customers served by depot3::61 Length of tour: 878.82
Length of tour:			3877.35
Run Time CPU (Sec.):			901.734

ตารางที่ จ.10 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P10

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	160.52	498	250 85 169 171 181 52 243 16 6 165 37 250
R[2]	163.16	492	250 107 212 45 91 93 187 161 179 128 250
R[3]	88.55	497	250 92 178 210 41 110 109 20 227 250
R[4]	83.41	493	250 196 48 174 143 98 240 117 250
R[5]	225.70	500	250 46 50 245 94 151 86 149 247 88 77 14 250
R[6]	203.95	478	250 105 132 97 67 51 134 159 158 60 29 250
R[7]	175.88	490	250 111 236 23 120 22 200 63 216 180 152 208 199 44 222 250
			Number of customers served by depot1: 69 Length of tour: 1101.17
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	63.81	316	251 10 131 57 214 251
R[2]	86.36	474	251 242 38 223 43 249 157 82 235 241 251
R[3]	208.42	479	251 203 148 26 9 153 189 106 121 248 89 167 13 238 251
R[4]	202.52	491	251 47 55 17 24 40 127 147 201 78 32 226 176 233 251
R[5]	117.33	500	251 39 102 15 219 75 162 59 136 251
R[6]	107.25	472	251 56 66 175 168 103 113 80 194 197 42 251
R[7]	125.17	496	251 225 224 163 64 125 101 193 11 251
R[8]	155.24	476	251 122 146 84 135 3 118 123 8 190 69 177 237 62 251
			Number of customers served by depot2: 78 Length of tour: 1066.1
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	101.36	453	252 133 5 79 72 185 19 191 30 18 252
R[2]	143.06	500	252 228 53 65 206 220 150 183 217 252
R[3]	124.54	478	252 137 54 204 198 73 96 112 213 166 207 252
R[4]	157.62	498	252 83 36 58 230 114 170 2 195 27 173 252
R[5]	98.25	416	252 124 49 130 129 221 61 90 211 12 252
			Number of customers served by depot3: 46 Length of tour: 624.83
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	130.21	468	253 156 144 192 184 218 119 239 35 253
R[2]	138.57	476	253 115 244 108 70 232 155 76 154 87 188 253
R[3]	49.81	215	253 28 182 34 95 253
R[4]	260.78	494	253 209 234 33 205 31 71 229 1 139 202 231 68 142 99 253
R[5]	93.75	458	253 4 81 186 21 138 100 145 253
R[6]	189.96	498	253 164 140 172 74 104 215 116 126 141 25 246 7 160 253
			Number of customers served by depot4: 56 Length of tour: 863.08
Length of tour:			3655.18
Run Time CPU (Sec.):			8444.26

ตารางที่ จ.11 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P11

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	100.152	337	250 109 158 60 110 41 210 178 92 250
R[2]	114.231	472	250 196 174 143 14 107 98 240 117 250
R[3]	140.186	472	250 48 128 179 161 46 63 200 23 120 23 120 236 111 250
R[4]	96.1429	457	250 222 165 6 16 243 52 181 171 169 85 250
R[5]	120.595	495	250 37 116 126 215 74 104 141 25 246 208 199 250
R[6]	190.113	474	250 20 227 29 97 132 105 250
			Number of customers serve by depot1: 56 Length of tour: 761.42
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	179.67	497	251 56 38 122 223 43 62 237 146 135 84 102 39 251
R[2]	163.158	483	251 24 40 127 147 159 134 51 67 201 251
R[3]	116.955	484	251 226 136 176 233 15 219 75 162 59 32 78 251
R[4]	164.375	496	251 10 238 131 214 57 203 11 235 241 225 242 251
R[5]	112.213	499	251 175 66 80 197 42 194 113 103 168 47 55 15 251
			Number of customers serve by depot2: 55 Length of tour: 736.371
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	142.21	497	252 50 88 247 149 86 151 94 245 119 252
R[2]	174.80	488	252 156 160 7 164 140 172 186 81 4 95 252
R[3]	33.10	313	252 192 184 218 239 252
R[4]	151.32	484	252 152 180 216 93 187 45 212 77 91 144 252
R[5]	193.99	494	252 28 188 244 108 155 76 154 87 34 182 35 252
			Number of customers serve by depot3: 44 Length of tour: 695.42
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	130.73	334	253 54 137 124 53 228 65 206 173 253
R[2]	95.93	492	253 83 36 220 150 183 58 217 253
R[3]	116.47	499	253 163 224 82 157 249 177 69 253
R[4]	142.60	445	253 204 73 96 112 213 8 3 118 123 190 253
R[5]	198.03	487	253 27 230 9 153 13 167 89 248 121 106 189 253
R[6]	124.44	492	253 125 64 193 101 114 148 26 170 2 195 253
			Number of customers serve by depot4: 53 Length of tour: 808.20
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	97.00	468	254 5 133 12 49 130 129 221 61 90 211 79 254
R[2]	230.26	493	254 205 31 71 229 1 139 202 231 232 70 99 142 68 234 254
R[3]	94.46	481	254 191 18 30 198 207 166 185 19 254
R[4]	132.83	473	254 72 21 138 100 145 115 209 33 254
			Number of customers serve by depot5: 41 Length of tour: 554.55
Length of tour:			3555.961
Run Time CPU (Sec.):			844.26

ตารางที่ จ.12 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P12

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.711	54	81 2 10 18 26 34 33 25 17 9 1 81
R[2]	170.711	54	81 3 11 19 27 35 37 29 21 13 5 81
R[3]	189.574	57	81 7 15 23 31 39 67 75 40 32 24 16 8 81
R[4]	128.482	51	81 4 12 20 28 36 22 14 6 81
			Number of customers served by depot1: 40 Length of tour: 659.478
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	189.574	57	82 41 49 57 65 73 38 30 74 66 58 50 42 82
R[2]	170.711	54	82 46 54 62 70 78 76 68 60 52 44 82
R[3]	128.482	51	82 45 53 61 69 77 59 51 43 82
R[4]	170.711	54	82 48 56 64 72 80 79 71 63 55 47 82
			Number of customers served by depot2: 40 Length of tour: 659.478
Length of tour:			1318.96
Run Time CPU (Sec.):			329.078

ตารางที่ จ.13 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P13

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.711	54	81 3 11 19 27 35 34 26 18 10 2 81
R[2]	189.574	57	81 6 14 22 30 38 73 65 39 31 23 15 7 81
R[3]	128.482	51	81 5 13 21 29 37 24 16 8 81
R[4]	170.711	54	81 1 9 17 25 33 36 28 20 12 4 81
			Number of customers served by depot1: 40 Length of tour: 659.478
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.711	54	82 46 54 62 70 78 79 71 63 55 47 82
R[2]	189.574	57	82 43 51 59 67 75 40 32 74 66 58 50 42 82
R[3]	170.711	54	82 45 53 61 69 77 80 72 64 56 48 82
R[4]	128.482	51	82 41 49 57 76 68 60 52 44 82
			Number of customers served by depot2: 40 Length of tour: 659.478
Length of tour:			1318.96
Run Time CPU (Sec.):			287.688

ตารางที่ จ.14 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P14

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.711	54	81 3 11 19 27 35 37 29 21 13 5 81
R[2]	170.711	54	81 6 14 22 30 38 36 28 20 12 4 81
R[3]	170.711	54	81 2 10 18 26 34 33 25 17 9 1 81
R[4]	161.29	54	81 7 15 23 31 39 74 32 24 16 8 81
			Number of customers served by depot1: 40 Length of tour: 673.423
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.711	54	82 48 56 64 72 80 77 69 61 53 45 82
R[2]	170.711	54	82 41 49 57 65 73 76 68 60 52 44 82
R[3]	170.711	54	82 46 54 62 70 78 79 71 63 55 47 82
R[4]	174.562	54	82 42 50 58 66 40 75 67 59 51 43 82
			Number of customers served by depot2: 40 Length of tour: 686.695
Length of tour:			1360.12
Run Time CPU (Sec.):			109.25

ตารางที่ จ.15 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P15

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	147.80	53	161 3 11 19 27 34 26 18 10 2 161
R[2]	170.71	54	161 1 9 17 25 33 36 28 20 12 4 161
R[3]	233.14	60	161 15 23 31 39 74 66 58 50 49 57 65 73 38 30 22 14 161
R[4]	54.14	48	161 6 7 8 5 161
			Number of customers served by depot1: 39 Length of tour: 605.79
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	233.14	60	162 53 61 69 77 116 108 100 92 89 97 105 113 75 67 59 51 162
R[2]	54.14	48	162 41 42 43 45 162
R[3]	188.93	55	162 48 56 64 72 118 80 79 71 63 55 47 162
R[4]	170.71	54	162 46 54 62 70 78 76 68 60 52 44 162
			Number of customers served by depot2: 41 Length of tour: 646.92
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	147.80	53	163 86 94 102 110 119 111 103 95 87 163
R[2]	54.14	48	163 83 82 81 84 163
R[3]	170.71	54	163 85 93 101 109 117 120 112 104 96 88 163
R[4]	233.14	60	163 90 98 106 114 159 151 143 135 136 144 152 160 115 107 99 91 163
			Number of customers served by depot3: 39 Length of tour: 605.79
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	54.14	48	164 124 126 127 128 164
R[2]	233.14	60	164 132 140 148 156 37 29 21 13 16 24 32 40 158 150 142 134 164
R[3]	170.71	54	164 123 131 139 147 155 157 149 141 133 125 164
R[4]	188.93	55	164 121 129 137 145 35 153 154 146 138 130 122 164
			Number of customers served by depot4: 41 Length of tour: 646.92
Length of tour:			2505.42
Run Time CPU (Sec.):			906.609

ตารางที่ จ.16 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P16

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	196.08	58	161 5 13 21 29 37 156 145 153 35 27 19 11 3 161
R[2]	170.71	54	161 1 9 17 25 33 34 26 18 10 2 161
R[3]	128.48	51	161 6 14 22 36 28 20 12 4 161
R[4]	96.57	46	161 8 16 31 23 15 7 161
			Number of customers served by depot1: 37 Length of tour: 591.845
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	198.99	60	162 43 51 59 67 75 113 105 97 69 61 53 45 162
R[2]	196.08	58	162 41 49 57 65 73 38 30 39 74 66 58 50 42 162
R[3]	128.48	51	162 47 55 63 71 79 64 56 48 162
R[4]	170.71	54	162 46 54 62 70 78 76 68 60 52 44 162
			Number of customers served by depot2: 43 Length of tour: 694.260
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	196.08	58	163 86 94 102 110 118 80 72 77 116 108 100 92 84 163
R[2]	170.71	54	163 88 96 104 112 120 119 111 103 95 87 163
R[3]	96.57	46	163 81 89 106 98 90 82 163
R[4]	128.48	51	163 83 91 99 117 109 101 93 85 163
			Number of customers served by depot3: 37 Length of tour: 591.840
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	128.482	51	164 122 130 138 146 154 137 129 121 164
R[2]	170.711	54	168 123 131 139 147 155 157 149 141 133 125 164
R[3]	198.995	60	164 124 132 140 148 24 32 40 158 150 142 134 126 164
R[4]	196.084	58	164 127 135 143 151 159 114 107 115 160 152 144 136 128 164
			Number of customers serve by depot1: 43 Length of tour: 694.271
Length of tour:			2572.216
Run Time CPU (Sec.):			3683.84

ตารางที่ จ.17 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P17

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	161 1 9 17 25 33 36 28 20 12 4 161
R[2]	174.56	54	161 7 15 23 31 73 38 30 22 14 6 161
R[3]	170.71	54	161 2 10 18 26 34 35 27 19 11 3 161
R[4]	161.29	54	161 5 13 21 29 37 156 32 24 16 8 161
			Number of customers served by depot1: Length of tour: 677.270
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	162 47 55 63 71 79 80 72 64 56 48 162
R[2]	170.71	54	162 46 54 62 70 78 76 68 60 52 44 162
R[3]	161.29	54	162 42 50 58 66 74 39 65 57 49 41 162
R[4]	161.29	54	162 45 53 61 69 77 116 67 59 51 43 162
			Number of customers served by depot2: Length of tour: 664.000
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	163 86 94 102 110 118 119 111 103 95 87 163
R[2]	161.29	54	163 82 90 98 106 114 159 107 99 91 83 163
R[3]	174.56	54	163 84 92 100 108 75 113 105 97 89 81 163
R[4]	170.71	54	163 85 93 101 109 117 120 112 104 96 88 163
			Number of customers served by depot3: Length of tour: 677.270
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	174.56	54	164 128 136 144 152 160 115 151 143 135 127 164
R[2]	174.56	54	164 126 134 142 150 158 40 148 140 132 124 164
R[3]	170.71	54	164 121 129 137 145 153 154 146 138 130 122 164
R[4]	170.71	54	164 125 133 141 149 157 155 147 139 131 123 164
			Number of customers served by depot4: Length of tour: 690.540
Length of tour:			2709.08
Run Time CPU (Sec.):			3742.42

ตารางที่ จ.18 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P18

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	60.00	60	241 2 3 5 8 7 241
R[2]	188.93	55	241 4 12 20 28 36 33 238 25 17 9 1 241
R[3]	221.42	60	241 6 14 22 30 38 73 65 57 49 66 74 39 31 23 15 241
			Number of customers served by depot1: 31 Length of tour: 470.35
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	86.50	60	242 45 43 42 50 58 41 242
R[2]	170.71	54	242 46 54 62 70 78 76 68 60 52 44 242
R[3]	147.80	53	242 47 55 63 71 79 72 64 56 48 242
R[4]	233.14	60	242 51 59 67 75 113 105 97 89 92 100 108 116 77 69 61 53 242
			Number of customers served by depot2: 41 Length of tour: 638.15
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	86.50	60	243 82 83 98 90 81 84 243
R[2]	188.93	55	243 87 95 103 111 119 118 80 110 102 94 86 243
R[3]	170.71	54	243 85 93 101 109 117 120 112 104 96 88 243
			Number of customers served by depot3: 27 Length of tour: 446.14
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	60.00	60	244 127 126 124 121 122 244
R[2]	233.14	60	244 129 137 145 153 198 190 182 174 175 183 191 199 154 146 138 130 244
R[3]	221.42	60	244 128 136 144 152 160 115 107 99 91 106 114 159 151 143 135 244
R[4]	147.80	53	244 125 133 141 149 157 147 139 131 123 244
R[5]	233.14	60	244 134 142 150 158 40 32 24 16 13 21 29 37 156 148 140 132 244
			Number of customers served by depot4: 60 Length of tour: 895.5
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	54.14	48	245 161 164 166 167 245
R[2]	188.93	55	245 168 176 184 192 155 200 197 189 181 173 165 245
R[3]	170.71	54	245 163 171 179 187 195 194 186 178 170 162 245
			Number of customers served by depot5: 25 Length of tour: 413.78
Depot[6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	54.14	48	246 203 205 208 207 246
R[2]	233.14	60	246 211 219 227 235 193 185 177 169 172 180 188 196 237 229 221 213 246
R[3]	233.14	60	246 215 223 231 239 34 26 18 10 11 19 27 35 240 232 224 216 246
R[4]	147.80	53	246 204 212 220 228 236 230 222 214 206 246
R[5]	170.71	54	246 202 210 218 226 234 233 225 217 209 201 246
			Number of customers served by depot6: 55 Length of tour: 838.93
Length of tour:			3702.83
Run Time CPU (Sec.):			3742.42

ตารางที่ จ.19 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P19

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	196.084	58	241 3 11 198 27 35 145 156 37 29 21 13 241
R[2]	196.080	58	241 2 10 18 26 34 239 230 238 33 25 17 9 1 241
R[3]	128.480	51	241 6 14 22 36 28 20 12 4 241
R[4]	102.426	58	241 7 15 23 31 16 8 5 241
			Number of customers served by depot1: 40 Length of tour: 623.07
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	242 46 54 62 70 78 76 68 60 52 44 242
R[2]	128.48	51	242 48 56 64 79 71 63 55 47 242
R[3]	198.99	60	242 43 51 59 67 75 113 105 97 69 61 53 45 242
R[4]	196.08	58	242 42 50 58 66 74 39 30 38 73 65 57 49 41 242
			Number of customers served by depot2: 43 Length of tour: 694.26
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	243 88 96 104 112 120 119 111 103 95 87 243
R[2]	128.48	51	243 85 93 101 109 117 99 91 83 243
R[3]	96.57	46	243 82 90 98 106 89 81 243
R[4]	196.08	58	243 84 92 100 108 116 77 72 80 118 110 102 94 86 243
			Number of customers served by depot3: 37 Length of tour: 591.84
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	196.08	58	244 127 135 143 151 159 114 107 115 160 152 144 136 128 244
R[2]	128.48	51	244 123 131 139 157 149 141 133 125 244
R[3]	114.05	50	244 121 129 137 146 138 130 122 244
R[4]	198.99	60	244 126 134 142 150 158 40 32 24 148 140 132 124 244
			Number of customers served by depot4: 40 Length of tour: 637.6
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	196.08	58	245 167 175 183 191 199 154 147 155 200 192 184 176 168 245
R[2]	170.71	54	245 163 171 179 187 195 197 189 181 173 165 245
R[3]	128.48	51	245 161 169 177 194 186 178 170 162 245
R[4]	198.99	60	245 166 174 182 190 198 240 232 224 188 180 172 164 245
			Number of customers served by depot5: 43 Length of tour: 694.26
Depot[6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	246 201 209 217 225 233 234 226 218 210 202 246
R[2]	128.48	51	246 206 214 222 236 228 220 212 204 246
R[3]	96.57	46	246 208 216 231 223 215 207 246
R[4]	196.08	58	246 203 211 219 227 235 193 185 196 237 229 221 213 205 246
			Number of customers served by depot6: 37 Length of tour: 591.84
Length of tour:			3832.87
Run Time CPU (Sec.):			787.25

ตารางที่ จ.20 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P20

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	161.29	54	241 1 9 17 25 239 34 26 18 10 2 241
R[2]	170.71	54	241 6 14 22 30 38 36 28 20 12 4 241
R[3]	161.29	54	241 8 16 24 32 74 39 31 23 15 7 241
R[4]	174.56	54	241 3 11 19 27 35 153 29 21 13 5 241
			Number of customers served by depot1: 40 Length of tour: 667.850
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	174.56	54	242 48 56 64 72 80 118 69 61 53 45 242
R[2]	174.56	54	242 43 51 59 67 75 40 66 58 50 42 242
R[3]	170.71	54	242 41 49 57 65 73 76 68 60 52 44 242
R[4]	170.71	54	242 46 54 62 70 78 79 71 63 55 47 242
			Number of customers served by depot2: 40 Length of tour: 690.540
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	161.29	54	243 86 94 102 110 77 116 108 100 92 84 243
R[2]	170.71	54	243 88 96 104 112 120 119 111 103 95 87 243
R[3]	170.71	54	243 83 91 99 107 115 117 109 101 93 85 243
R[4]	161.29	54	243 81 89 97 105 159 114 106 98 90 82 243
			Number of customers served by depot3: 40 Length of tour: 664.000
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	161.29	54	244 123 131 139 147 199 154 146 138 130 122 244
R[2]	161.29	54	244 121 129 137 145 37 156 148 140 132 124 244
R[3]	174.56	54	244 126 134 142 150 158 113 151 143 135 127 244
R[4]	170.71	54	244 125 133 141 149 157 160 152 144 136 128 244
			Number of customers served by depot4: 40 Length of tour: 667.850
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	245 163 171 179 187 195 197 189 181 173 165 245
R[2]	170.71	54	245 161 169 177 185 193 194 186 178 170 162 245
R[3]	161.29	54	245 166 174 182 190 237 196 188 180 172 164 245
R[4]	174.56	54	245 168 176 184 192 200 155 191 183 175 167 245
			Number of customers served by depot5: 40 Length of tour: 677.270
Depot[6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	246 203 211 219 227 235 234 226 218 210 202 246
R[2]	170.71	54	246 201 209 217 225 233 236 228 220 212 204 246
R[3]	174.56	54	246 206 214 222 230 238 33 231 223 215 207 246
R[4]	174.56	54	246 208 216 224 232 240 198 229 221 213 205 246
			Number of customers served by depot6: 40 Length of tour: 690.540
Length of tour:			4058.050
Run Time CPU (Sec.):			689.907

ตารางที่ จ.21 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P21

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	233.14	60	361 11 19 27 35 240 232 224 216 215 223 231 239 34 26 18 10 361
R[2]	233.14	60	361 9 17 25 33 315 307 299 291 293 301 309 317 36 28 20 12 361
R[3]	54.14	48	361 3 2 1 4 361
R[4]	54.14	48	361 6 7 8 5 361
R[5]	233.14	60	361 13 21 29 37 156 148 140 132 134 142 150 158 40 32 24 16 361
			Number of customers served by depot1: 56 Length of tour: 807.70
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	221.42	60	362 52 60 68 76 357 349 336 344 352 360 78 70 62 54 46 362
R[2]	188.93	55	362 48 56 64 72 118 80 79 71 63 55 47 362
R[3]	233.14	60	362 50 58 66 74 39 31 23 15 14 22 30 38 73 65 57 49 362
R[4]	233.14	60	362 53 61 69 77 116 108 100 92 89 97 105 113 75 67 59 51 362
R[5]	60.00	60	362 45 43 42 41 44 362
			Number of customers served by depot2: 63 Length of tour: 936.63
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	86.50	60	363 84 81 82 90 98 83 363
R[2]	147.80	53	363 87 95 103 111 119 110 102 94 86 363
R[3]	170.71	54	363 88 96 104 112 120 117 109 101 93 85 363
			Number of customers served by depot3: 25 Length of tour: 405.01
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	60.00	60	364 122 121 124 126 127 364
R[2]	221.42	60	364 128 136 144 152 160 115 107 99 91 106 114 159 151 143 135 364
R[3]	233.14	60	364 129 137 145 153 198 190 182 174 175 183 191 199 154 146 138 130 364
R[4]	188.93	55	364 123 131 139 147 200 155 157 149 141 133 125 364
			Number of customers served by depot4: 47 Length of tour: 703.49
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	147.80	53	365 168 176 184 192 197 189 181 173 165 365
R[2]	86.50	60	365 161 164 172 180 166 167 365
R[3]	170.71	54	365 163 171 179 187 195 194 186 178 170 162 365
			Number of customers served by depot5: 25 Length of tour: 405.01
Depot[6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	233.14	60	366 212 220 228 236 277 269 261 253 256 264 272 280 238 230 222 214 366
R[2]	221.42	60	366 213 221 229 237 196 188 169 177 185 193 235 227 219 211 203 366
R[3]	60.00	60	366 204 206 207 208 205 366
R[4]	147.80	53	366 201 209 217 225 234 226 218 210 202 366
			Number of customers served by depot6: 45 Length of tour: 662.36
Depot[7]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	86.50	60	367 245 248 247 255 263 246 367
R[2]	188.93	55	367 242 250 258 266 274 275 233 267 259 251 243 367
R[3]	170.71	54	367 241 249 257 265 273 276 268 260 252 244 367
			Number of customers served by depot7: 27 Length of tour: 446.14
Depot[8]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	233.14	60	368 295 303 311 319 354 346 338 330 331 339 347 355 320 312 304 296 368
R[2]	221.42	60	368 290 298 306 314 279 271 254 262 270 278 313 305 297 289 281 368
R[3]	60.00	60	368 287 288 285 283 282 368
R[4]	188.93	55	368 286 294 302 310 353 318 316 308 300 292 284 368
			Number of customers served by depot8: 47 Length of tour: 703.49
Depot[9]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	369 326 334 342 350 358 359 351 343 335 327 369
R[2]	147.80	53	369 321 329 337 345 356 348 340 332 324 369
R[3]	86.50	60	369 328 341 333 325 323 322 369
			Number of customers served by depot9: 25 Length of tour: 405.010
Length of tour:			5474.840
Run Time CPU (Sec.):			838.5

ตารางที่ จ.22 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P22

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	144.628	54	361 2 10 18 26 17 9 20 1 361
R[2]	114.049	50	361 8 16 24 31 23 15 7 361
R[3]	196.084	54	361 6 14 22 30 38 320 312 317 36 28 12 4 361
R[4]	114.049	50	361 5 13 21 29 19 11 3 361
			Number of customers serve by depot1: 34 Length of tour: 568.811
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	198.99	60	362 41 49 57 65 73 355 347 339 68 60 52 44 362
R[2]	196.08	58	362 45 53 61 69 77 116 110 118 80 72 64 56 48 362
R[3]	128.48	51	362 47 55 63 71 79 62 54 46 362
R[4]	196.08	58	362 43 51 59 67 75 40 32 39 74 66 58 50 42 362
			Number of customers served by depot2: 46 Length of tour: 719.630
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	196.08	58	363 82 90 98 106 114 159 152 160 115 107 99 91 83 363
R[2]	128.48	51	363 86 94 102 119 111 103 95 87 363
R[3]	170.71	54	363 88 96 104 112 120 117 109 101 93 85 363
R[4]	96.57	46	363 81 89 108 100 92 84 363
			Number of customers served by depot3: 37 Length of tour: 591.840
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	128.48	51	364 125 133 141 149 157 144 136 128 364
R[2]	198.99	60	364 127 135 143 151 97 105 113 158 150 142 134 126 364
R[3]	196.08	58	364 121 129 137 145 153 35 27 37 156 148 140 132 124 364
R[4]	196.08	58	364 122 130 138 146 154 199 192 200 155 147 139 131 123 364
			Number of customers served by depot4: 46 Length of tour: 719.630
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	96.57	46	365 167 175 183 191 174 166 365
R[2]	128.48	51	365 165 173 181 189 197 184 176 168 365
R[3]	196.08	58	365 164 172 180 188 196 237 227 235 193 185 177 169 161 365
R[4]	170.71	54	365 163 171 179 187 195 194 186 178 170 162 365
			Number of customers served by depot5: 37 Length of tour: 591.840
Depot[6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	128.48	51	366 202 210 218 226 234 219 211 203 366
R[2]	198.99	60	366 205 213 221 229 182 190 198 240 232 224 216 208 366
R[3]	196.08	58	366 204 212 220 228 236 277 267 275 233 225 217 209 201 366
R[4]	196.08	58	366 206 214 222 230 238 33 25 34 239 231 223 215 207 366
			Number of customers served by depot6: 46 Length of tour: 719.630
Depot[7]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	96.57	46	367 248 256 269 261 253 245 367
R[2]	128.48	51	367 242 250 258 266 274 259 251 243 367
R[3]	170.71	54	367 241 249 257 265 273 276 268 260 252 244 367
R[4]	196.08	58	367 246 254 262 270 278 313 305 314 279 271 263 255 247 367
			Number of customers served by depot7: 37 Length of tour: 591.840
Depot[8]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	196.08	58	368 287 295 303 311 319 354 345 353 318 310 302 294 286 368
R[2]	114.05	50	368 285 293 301 309 304 296 288 368
R[3]	198.99	60	368 282 290 298 306 264 272 280 315 307 299 291 283 368
R[4]	128.48	51	368 281 289 297 316 308 300 292 284 368
			Number of customers served by depot8: 40 Length of tour: 637.600
Depot[9]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	128.48	51	369 321 329 337 356 348 340 332 324 369
R[2]	96.57	46	369 322 330 338 346 331 323 369
R[3]	196.08	58	369 325 333 341 349 357 76 70 78 360 352 344 336 328 369
R[4]	170.71	54	369 327 335 343 351 359 358 350 342 334 326 369
			Number of customers served by depot9: 37 Length of tour: 591.840
Length of tour:			5732.661
Run Time CPU (Sec.):			780.625

ตารางที่ จ.23 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P23

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	174.56	54	361 8 16 24 32 40 158 29 21 13 5 361
R[2]	170.71	54	361 3 11 19 27 35 34 26 18 10 2 361
R[3]	161.29	54	361 1 9 17 25 317 36 28 20 12 4 361
R[4]	174.56	54	361 6 14 22 30 38 73 31 23 15 7 361
			Number of customers served by depot1: 40 Length of tour: 681.120
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	161.29	54	362 41 49 57 65 39 74 66 58 50 42 362
R[2]	161.29	54	362 46 54 62 70 357 76 68 60 52 44 362
R[3]	170.71	54	362 48 56 64 72 80 79 71 63 55 47 362
R[4]	174.56	54	362 43 51 59 67 75 113 69 61 53 45 362
			Number of customers served by depot2: 40 Length of tour: 667.270
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	363 88 96 104 112 120 117 109 101 93 85 363
R[2]	174.56	54	363 83 91 99 107 115 160 106 98 90 82 363
R[3]	161.29	54	363 81 89 97 105 77 116 108 100 92 84 363
R[4]	170.71	54	363 86 94 102 110 118 119 111 103 95 87 362
			Number of customers served by depot3: 40 Length of tour: 677.270
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	161.29	54	364 126 134 142 150 37 156 148 140 132 124 364
R[2]	161.29	54	364 128 136 144 152 114 159 151 143 135 127 364
R[3]	170.71	54	364 123 131 139 147 155 157 149 141 133 125 364
R[4]	170.71	54	364 121 129 137 145 153 154 146 138 130 122 364
			Number of customers served by depot4: 40 Length of tour: 664.000
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	161.29	54	365 166 174 182 190 237 196 188 180 172 164 365
R[2]	170.71	54	365 168 176 184 192 200 199 191 183 175 167 365
R[3]	170.71	54	365 163 171 179 187 195 197 189 181 173 165 365
R[4]	170.71	54	365 161 169 177 185 193 194 186 178 170 162 365
			Number of customers served by depot5: 40 Length of tour: 673.420
Depot[6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	170.71	54	366 206 214 222 230 238 239 231 223 215 207 366
R[2]	174.56	54	366 208 216 224 232 240 198 229 221 213 205 366
R[3]	170.71	54	366 203 211 219 227 235 234 226 218 210 202 366
R[4]	170.71	54	366 201 209 217 225 233 236 228 220 212 204 366
			Number of customers served by depot6: 40 Length of tour: 686.690
Depot[7]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	174.56	54	367 246 254 262 270 278 313 271 263 255 247 367
R[2]	170.71	54	367 248 256 264 272 280 277 269 261 253 245 367
R[3]	170.71	54	367 243 251 259 267 275 274 266 258 250 242 367
R[4]	170.71	54	367 241 249 257 265 273 276 268 260 252 244 367
			Number of customers served by depot7: 40 Length of tour: 686.850
Depot[8]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	161.29	54	368 281 289 297 305 279 314 306 298 290 282 368
R[2]	170.71	54	368 286 294 302 310 318 316 308 300 292 284 368
R[3]	161.29	54	368 288 296 304 312 354 319 311 303 295 287 368
R[4]	174.56	54	368 283 291 299 307 315 33 309 301 293 285 368
			Number of customers served by depot8: 40 Length of tour: 667.850
Depot[9]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	174.56	54	369 323 331 339 347 355 320 346 338 330 322 369
R[2]	170.71	54	369 321 329 337 345 353 356 348 340 332 324 369
R[3]	170.71	54	369 326 334 342 350 358 359 351 343 335 327 369
R[4]	174.56	54	369 328 336 344 352 360 78 349 341 333 325 369
			Number of customers served by depot9: 40 Length of tour: 690.540
Length of tour:			6095.46
Run Time CPU (Sec.):			782.594

ตารางที่ จ.24 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr01

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	227.238	176	49 35 9 42 46 43 39 32 44 31 36 41 7 37 49
			Number of customers served by depot1: 13 Length of tour: 227.238
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	128.26	140	50 22 27 3 6 48 45 11 10 34 50
			Number of customers served by depot2: 9 Length of tour: 128.26
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	272.234	159	51 1 28 14 4 19 20 33 13 8 5 29 16 51
			Number of customers served by depot3: 12 Length of tour: 272.234
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	233.586	182	52 2 15 25 23 26 18 17 40 38 12 21 24 47 30 52
			Number of customers served by depot4: 14 Length of tour: 233.586
Length of tour:			861.319
Run Time CPU (Sec.):			43.062

ตารางที่ จ.25 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr02

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	347.467	185	97 59 70 41 84 86 43 63 13 8 27 68 38 93 92 20 55 74 19 97
R[2]	74.6093	137	97 25 72 60 9 37 44 62 73 81 97
			Number of customers served by depot1: 27 Length of tour: 411.875
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	73.0843	178	98 42 22 85 1 47 65 87 32 33 88 78 98
R[2]	303.102	177	98 94 69 17 64 16 39 5 7 6 48 10 98
			Number of customers served by depot2: 22 Length of tour: 376.1863
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	162.249	152	99 96 67 14 18 2 80 24 51 50 76 3 12 53 71 36 66 56 99
			Number of customers served by depot3: 17 Length of tour: 162.249
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	251.83	195	100 11 28 91 40 15 30 23 83 75 40 49 34 4 77 90 31 35 82 100
R[2]	85.7	192	100 58 54 29 95 57 21 26 79 45 61 52 100
R[3]	5.3441	4	100 89 100
			Number of customers served by depot4: 30 Length of tour: 342.874
Length of tour:			1293.184
Run Time CPU (Sec.):			195.969

ตารางที่ จ.26 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr03

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	53.2597	104	145 62 26 1 132 139 3 80 17 145
R[2]	203.311	183	145 95 13 27 114 110 119 69 40 52 88 121 127 14 73 129 133 145
R[3]	81.5736	158	145 39 71 11 35 28 5 107 109 87 45 91 145
			Number of customers serve by depot1: 35 Length of tour: 338.144
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	410.397	182	146 135 105 101 115 83 125 34 111 61 36 57 85 67 55 98 49 116 76 120 54 126 46 51 146
R[2]	219.519	190	146 37 108 78 12 112 10 50 72 100 74 414 19 79 70 24 146
R[3]	59.8246	81	146 6 4 75 8 56 117 146
			Number of customers serve by depot1: 44 Length of tour: 689.741
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	163.485	180	147 124 113 60 136 47 140 89 9 131 142 2 48 102 94 147
R[2]	136.224	160	147 130 99 144 118 31 103 20 38 42 44 147
R[3]	210.691	181	147 97 64 137 77 30 134 7 90 138 32 81 122 23 147
			Number of customers serve by depot1: 37 Length of tour: 510.4
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	143.012	187	148 106 84 96 66 53 29 82 59 93 33 65 21 86 148
R[2]	105.376	182	148 16 18 123 128 25 68 58 22 104 43 63 43 63 41 15 143 15 143 92 148
			Number of customers serve by depot1: 28 Length of tour: 248.388
Length of tour:			1786.673
Run Time CPU (Sec.):			166.72

ตารางที่ จ.27 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr04

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	31.838	52	193 154 161 180 193
R[2]	243.411	184	193 68 50 56 42 141 192 76 181 21 35 5 80 176 131 174 13 193
R[3]	104.733	185	193 71 9 177 121 67 15 189 153 136 84 28 90 193
R[4]	89.1893	178	193 148 12 152 165 89 117 65 63 104 82 193
			Number of customers serve by depot1: 42 Length of tour: 469.172
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	208.144	178	143 173 7 81 150 116 183 46 172 30 2 60 95 155 74 72 194
R[2]	201.676	178	194 125 133 107 111 11 122 57 108 142 110 25 73 149 79 194
R[3]	41.7868	137	194 178 58 3 38 188 123 137 194
			Number of customers serve by depot1: 36 Length of tour: 451.607
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	116.059	178	195 34 47 39 167 109 19 97 129 59 128 145 157 139 130 16 195
R[2]	95.7965	174	195 27 113 22 69 115 99 171 33 168 98 10 77 62 195
R[3]	210.700	177	195 134 24 64 53 160 162 132 55 159 127 85 52 187 36 93 195
R[4]	62.1475	144	195 91 186 135 106 66 138 70 14 190 195
			Number of customers served by depot3: 38 Length of tour: 484.703
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	133.593	174	198 44 17 185 119 23 120 4 158 170 45 87 92 37 198
R[2]	210.944	175	198 163 143 101 182 140 31 147 40 20 105 86 1 51 151 88 164 112 198
R[3]	71.7535	176	198 4 175 12 43 114 26 96 169 41 83 124 49 63 144 198
R[4]	267.913	180	198 94 6 29 54 156 61 191 118 126 75 166 48 179 103 146 184 78 100 198
			Number of customers serve by depot1: 62 Length of tour: 684.203
Length of tour:			2089.69
Run Time CPU (Sec.):			263.05

ตารางที่ จ.28 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr05

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	137.922	179	241 33 160 21 57 114 200 1 16 19 180 223 194 131 241
R[2]	72.6036	171	241 75 154 51 39 94 90 129 4 15 211 157 241
R[3]	79.3699	157	241 81 217 133 231 59 148 165 115 214 125 61 158 241
R[4]	43.4684	100	241 193 91 11 124 189 161 241
R[5]	36.1893	147	241 203 55 177 197 80 20 235 187 142 241
R[6]	211.973	175	241 150 149 226 8 44 104 168 177 48 96 224 60 84 241
			Number of customers serve by depot1: 64 Length of tour: 581.526
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	83.8889	166	242 212 100 101 35 135 28 230 181 83 37 121 225 242
R[2]	87.9702	166	242 182 137 174 49 87 208 128 240 201 123 221 153 56 141 242
R[3]	58.9585	159	242 162 207 106 64 20262 139 136 113 77 198 30 242
R[4]	64.2138	179	424 213 151 29 102 183 188 105 227 79 132 85 242
			Number of customers serve by depot1: 49 Length of tour: 295.031
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	182.462	155	243 53 120 167 31 243
R[2]	54.3996	161	243 10 205 107 13 3 145 108 146 118 5 243
R[3]	211.221	171	243 111 156 138 171 236 42 152 126 169 234 69 97 25 140 175 243
R[4]	63.415	161	243 170 9 66 24 192 185 206 32 243
R[5]	297.916	179	243 116 172 82 195 45 199 41 78 93 38 89 219 222 6 74 73 190 243
			Number of customers serve by depot1: 60 Length of tour: 809.413
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	7.56013	32	244 143 238 244
R[2]	82.8832	179	244 237 99 179 218 122 27 2 147 232 134 34 239 43 244
R[3]	166.636	180	244 233 40 216 52 46 70 109 176 178 164 88 50 244
R[4]	146.672	180	244 196 229 127 215 47 68 110 98 76 130 95 7 14 204 244
R[5]	92.5682	176	244 144 163 26 23 17 63 71 119 65 173 210 36 54 18 244
R[6]	214.968	178	244 67 92 159 22 117 209 228 86 220 58 155 244
			Number of customers serve by depot1: 67 Length of tour: 711.288
Length of tour:			2397.258
Run Time CPU (Sec.):			376.4

ตารางที่ จ.29 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr06

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	122.913	168	289 72 69 90 8 200 150 137 74 87 261 273 28 277 253 180 289
R[2]	216.57	175	289 131 169 147 213 140 248 110 275 119 136 59 104 289
R[3]	223.325	175	289 281 285 120 186 263 48 43 70 158 142 258 266 224 44 218 289
R[4]	27.7887	91	289 39 264 172 60 77 86 289
R[5]	72.9287	162	289 265 220 194 256 112 41 276 25 251 185 160 289
			Number of customers serve by depot1: 59 Length of tour: 663.525
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	263.944	173	290 202 165 187 35 193 257 24 226 56 10 51 144 280 288 148 198 101 114 66 290
R[2]	51.107	123	290 179 109 153 11 117 67 247 111 290
R[3]	29.277	119	290 177 135 282 146 17 221 245 38 290
R[4]	194.445	171	290 100 262 283 115 52 31 79 4 157 240 89 71 85 222 92 54 204 290
R[5]	53.2445	151	290 242 231 269 152 254 255 184 49 156 290
R[6]	102.539	167	290 3 173 217 284 53 260 233 235 27 5 171 15 75 272 290
			Number of customers serve by depot1: 75 Length of tour: 694.557
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	73.2351	173	291 98 195 166 88 130 138 229 127 99 55 279 270 175 291
R[2]	119.659	168	291 139 215 182 278 230 124 271 132 121 128 30 12 291
R[3]	100.568	171	291 84 122 143 287 34 80 159 286 91 116 14 291
R[4]	144.016	168	291 108 21 45 22 201 214 93 164 161 154 1 63 47 291
R[5]	26.3964	90	291 167 33 81 228 106 291
R[6]	217.000	170	291 78 216 20 105 243 103 205 68 42 212 149 195 76 19 291
R[7]	67.6535	152	291 252 102 267 129 46 225 259 52 241 162 196 243 291
			Number of customers serve by depot1: 81 Length of tour: 748.528
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	164.414	168	292 64 57 62 50 206 94 7 244 134 63 174 126 96 237 292
R[2]	49.3113	107	292 151 250 13 113 73 2 65 274 292
R[3]	63.9197	113	292 191 107 223 236 210 95 133 188 249 232 292
R[4]	59.0853	174	292 209 58 268 176 118 190 125 168 83 145 211 181 292
R[5]	211.729	174	292 234 97 16 238 29 36 219 26 123 199 37 192 141 189 9 178 207 208 292
R[6]	94.5038	168	292 23 170 183 155 239 227 61 203 82 18 40 292
			Number of customers serve by depot1: 73 Length of tour: 642.964
Length of tour:			2749.57
Run Time CPU (Sec.):			327.5

ตารางที่ จ.30 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr07

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	243.058	193.00	73 27 60 70 30 42 19 9 11 6 33 65 10 31 20 18 71 36 73
			Number of customers served by depot1: 17 Length of tour: 243.058
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	227.604	193.00	74 49 61 37 58 7 43 26 23 1 64 47 12 68 74
			Number of customers served by depot2: 13 Length of tour: 227.604
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	125.659	196.00	75 69 62 44 34 22 54 56 3 16 15 45 8 75
			Number of customers served by depot3: 12 Length of tour: 125.659
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	284.378	174.00	76 13 59 51 17 41 50 57 24 63 5 72 53 46 28 52 76
			Number of customers served by depot4: 15 Length of tour: 284.378
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	90.333	96.00	77 66 48 21 55 4 29 40 67 14 77
			Number of customers served by depot5: 9 Length of tour: 90.333
Depot[6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	110.676	96.00	78 35 2 38 39 32 25 78
			Number of customers served by depot6: 6 Length of tour: 110.676
Length of tour:			1089.56
Run Time CPU (Sec.):			263.05

ตารางที่ จ.31 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr08

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	130.22	138	145 28 102 101 96 7 29 57 80 27 84 73 122 145
R[2]	214.836	170	145 40 53 39 93 141 82 116 78 11 66 47 114 129 145
			Number of customers serve by depot1: 25 Length of tour: 345.055
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	11.0485	17	146 23 146
R[2]	98.4545	186	146 104 10 35 63 25 34 109 140 74 97 127 106 133 146
R[3]	171.65	190	146 50 42 128 51 118 18 4 103 113 61 22 16 38 8 90 146
			Number of customers serve by depot1: 29 Length of tour: 281.153
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	64.389	124	147 125 15 77 108 68 45 33 147
R[2]	214.19	181	147 32 62 37 88 126 87 6 117 79 70 67 105 91 147
			Number of customers serve by depot1: 20 Length of tour: 278.579
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	277.778	188	148 132 65 5 3 139 134 121 119 49 143 69 9 120 26 110 12 142 19 148
			Number of customers serve by depot1: 18 Length of tour: 277.778
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	162.643	170	149 21 48 2 30 31 137 55 81 92 107 149
R[2]	94.9587	137	149 100 56 60 94 8986 95 52 124 36 149
R[3]	39.3615	141	149 83 64 85 1 76 14 112 138 149
			Number of customers serve by depot1: 29 Length of tour: 296.963
Depot[6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	95.417	187	150 54 59 24 46 135 56 136 41 43 144 72 150
R[2]	115.292	177	150 99 71 17 98 20 130 111 75 13 115 44 123 150
			Number of customers serve by depot1: 23 Length of tour: 210.709
Length of tour:			1690.237
Run Time CPU (Sec.):			198.937

ตารางที่ จ.32 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr09

Depot [1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	61.3129	170	217 67 59 64 39 23 214 120 105 150 167 217
R[2]	248.152	175	217 172 79 58 42 24 103 2 3 56 117 60 15 78 217
R[3]	55.7884	92	217 86 123 29 153 36 47 180 217
			Number of customers serve by depot1: 31 Length of tour: 365.253
Depot [2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	93.8854	138	218 207 197 187 188 113 138 173 136 89 175 183 134 145 218
R[2]	227.231	170	218 127 25 7 85 128 35 182 69 31 84 102 148 218
R[3]	79.2396	176	218 73 108 16 121 118 76 189 21 156 109 122 5 218
			Number of customers serve by depot1: 37 Length of tour: 400.356
Depot [3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	159.161	166	219 202 11 171 26 12 137 82 186 168 194 88 6 124 209 219
R[2]	122.145	178	219 152 115 163 199 94 80 52 45 106 63 198 126 104 149 219
R[3]	10.8092	39	219 177 135 219
R[4]	166.421	170	219 205 162 41 95 77 32 141 14 147 20 130 18 1 143 43 4 219
			Number of customers serve by depot1: 46 Length of tour: 458.535
Depot [4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	234.556	175	220 98 38 28 99 66 112 213 55 129 91 10 159 70 40 100 220
R[2]	206.699	163	220 178 191 216 101 81 9 164 65 111 46 211 92 33 72 62 210 193 158 192 220
R[3]	67.0778	115	220 174 169 13 161 190 30 140 119 68 158 151 220
R[4]	40.1887	103	220 144 37 184 157 83 146 133 139 220
			Number of customers serve by depot1: 53 Length of tour: 548.521
Depot [5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	53.9191	155	221 51 48 114 116 75 181 201 200 131 170 215 221
R[2]	167.692	179	221 71 212 132 22 61 196 185 34 44 17 8 96 165 97 221
R[3]	119.792	180	221 155 50 49 160 107 195 93 208 57 74 221
			Number of customers serve by depot1: 35 Length of tour: 341.403
Depot [6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	4.10878	17	222 204 222
R[2]	96.1202	175	222 179 19 125 53 203 166 90 27 54 176 87 154 206 222
			Number of customers serve by depot1: 14 Length of tour: 100.229
Length of tour:			2214.297
Run Time CPU (Sec.):			474.562

ตารางที่ จ.33 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr10

Depot[1]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	145.897	170	289 47 164 55 236 96 57 254 147 142 1240 36 154 52 289
R[2]	237.04	169	289 113 195 33 82 210 58 107 256 53 217 272 67 234 104 289
R[3]	78.9714	145	289 40 51 268 161 13 23 26 146 288 83 289
R[4]	83.5076	151	289 80 95 24 30 197 187 64 50 206 14 62 246 289
			Number of customers served by depot1: 49 Length of tour: 545.416
Depot[2]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	55.0449	147	290 112 265 123 54 98 244 122 263 118 160 290
R[2]	151.773	170	290 75 184 77 281 189 280 70 135 229 235 175 138 108 65 290
R[3]	76.4926	169	290 179 100 108 126 249 35 86 270 290
			Number of customers serve by depot1: 32 Length of tour: 283.31
Depot[3]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	157.895	167	291 212 196 241 15 220 245 224 162 239 204 11 39 130 199 106 291
R[2]	33.8858	75	291 275 69 94 87 291
R[3]	97.6661	151	291 262 139 170 178 211 191 91 156 208 21 1 145 29 291
R[4]	49.8945	155	291 42151 34 134 232 205 49 28 20 141 43 291
			Number of customers serve by depot1: 43 Length of tour: 339.341
Depot[4]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	120.297	170	292 259 163 247 7 168 8 228 216 31 270 231 273 227 186 218 292
R[2]	77.2594	157	292 267 66 181 131 46 152 115 109 76 202 221 292
R[3]	80.495	170	292 25 114 219 213 284 124 264 226 153 259 180 119 97 292
R[4]	155.404	162	292 127 159 283 172 73 12 133 78 111 230 203 253 271 61 292
R[5]	233.974	168	292 137 45 5 198 194 120 183 167 125 252 3 136 214 292
			Number of customers serve by depot1: 65 Length of tour: 667.43
Depot[5]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	278.679	161	293 90 41 63 99 132 102 74 255 81 250 148 237 121 169 88 293
R[2]	70.3967	169	293 79135 158 128 243 110 27 38 44 293
R[3]	62.2116	148	293 6 16 222 59 7 71 242 155 72 293
R[4]	143.991	164	293 286 215 200 285 174 282 89 105 150 101 56 68 293
R[5]	19.0637	51	2932582 248 293
			Number of customers serve by depot1: 48 Length of tour: 574.342
Depot[6]:	Dist	TD	Ordering of customers on the route
R[1]	77.5653	163	294 10 192 261 143 19 173 144 177 193 207 93 260 294
R[2]	82.6569	168	294 157 17 251 22 166 18 201 92 32 129 277 274 233 294
R[3]	163.832	161	294 9 171 60 182 116 19 209 278 238 27948 266 294
R[4]	224.62	169	294 84 188 165 4 233 85 117 149 37 176 287 140 225 269 294
			Number of customers serve by depot1: 51 Length of tour: 548.674
Length of tour:			2958.513
Run Time CPU (Sec.):			844.203