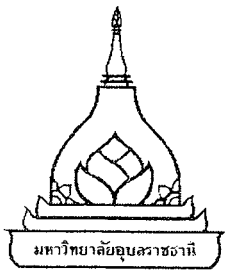
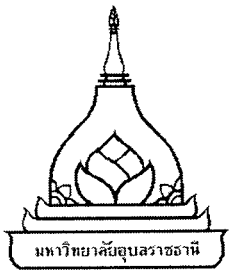


การประยุกต์ใช้วิธี VLSN สำหรับแก้ปัญหาการหาสถานที่ตั้งคลังสินค้าหลายแห่งและการจัดเส้นทางขนส่ง

สุคนธ์ทิพย์ สินวิวัฒนกุล

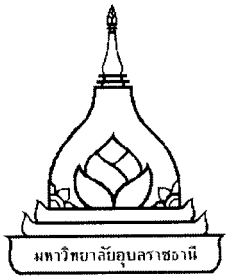
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



AN APPLICATION OF VLSN FOR SOLVING MULTI-DEPOT LOCATION ROUTING PROBLEMS

SUKONTIP SINWIWATTHANAKUL

A THESISSUBMITED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2015
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การประยุกต์ใช้วิธี VLSN สำหรับแก้ปัญหาการหาสถานที่ตั้งคลังสินค้าหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง

ผู้วิจัย นางสุคนธ์ทิพย์ สินวิวัฒนกุล

คณะกรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธารชุดา พันธ์นิกุล	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์	กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คณิศร ภูนิคม	กรรมการ
ดร.ธราธร พชรฐิติกุล	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์)

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลเชษฐ์ เพียรทอง)

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2558

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ต้องขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำแนะนำ ให้คำปรึกษาด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีตลอดมา งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงไปได้ถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือจากท่าน นอกจากนี้ท่านยังให้คำแนะนำการเขียนรายงานการวิจัยเพื่อนำออกไปเผยแพร่ในงานวารสารทางวิชาการ การสร้างและการใช้วิธีการฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหา และขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ และคำแนะนำ ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่สละเวลาอันมีค่าของท่านมาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และพร้อมให้คำแนะนำ ขอขอบพระคุณผู้ประกอบกิจการโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และผู้ประกอบกิจการลานมันทุกๆท่าน ข้าราชการและเจ้าหน้าที่จากกระทรวงอุตสาหกรรม กระทรวงพานิชย์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงคมนาคม ที่ให้ข้อมูลในการทำวิจัยในครั้งนี้อย่างดียิ่ง

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสามารถ-คุณแม่พิกุล สุวพงษ์ ตลอดจนทุกคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา รวมถึงผู้บังคับบัญชา เพื่อนร่วมงานจากกระทรวงอุตสาหกรรม ที่ให้โอกาสและเป็นกำลังใจตลอดมา และนอกจากนี้ขอขอบคุณ ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์ ดร.นัทธพงศ์ นันทสำเริง ดร.จรวยพร แสนทวีสุ ดร.กนกวรรณ สุภักดี อาจารย์ภีม พรประเสริฐ อาจารย์เกียรติศักดิ์ พระเนต คุณศิลป์ อุบลแย้ม คุณอารยา พิลาภ คุณศราวุฒิ สาคร บุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่านซึ่งไม่อาจกล่าวนามของท่านในที่นี้ได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

สุคนธ์ทิพย์ สินวิวัฒนกุล
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

เรื่อง	:	การประยุกต์ใช้วิธี VLSN สำหรับแก้ปัญหาการหาสถานที่ตั้งคลังสินค้าหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง
ผู้วิจัย	:	สุคนธ์ทิพย์ สินวิวัฒนกุล
ชื่อปริญญา	:	ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชา	:	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	:	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์
คำสำคัญ	:	ปัญหาการหาสถานที่ตั้งคลังสินค้าหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง ฮิวริสติก กระบวนการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการสุ่มเชิงละโมบ การค้นหาคำตอบในพื้นที่กว้างมาก วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงแป้งมันสำปะหลังจำนวน 2 โรงงาน และการจัดเส้นทางการขนส่งของลานมัน 261 ลานมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อหาค่าจ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุด โดยรถบรรทุกแต่ละคันสามารถบรรทุกมันสำปะหลังได้สูงสุด 30 ตัน แต่ละลานมันสำปะหลังสามารถขายมันสำปะหลังให้กับโรงแป้งมันสำปะหลังพร้อมกันทั้งสองโรงแป้งได้จนกว่าสินค้าจะหมด และโรงงานแป้งมันสำปะหลังแต่ละโรงจะต้องได้วัตถุดิบมันสำปะหลังครบจำนวน 1,200 ตันต่อวัน

ผู้วิจัยนำเสนอวิธี ฮิวริสติก เพื่อแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิควิธีสุ่มแบบละโมบ (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure; GRASP) เพื่อจัดตั้งโรงผลิตแป้งมันสำปะหลังจากบัญชีรายชื่อที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Nearest Insertion จากนั้นทำการหาคำตอบเริ่มต้นและปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี Very Large Scale Neighborhood Search (VLSN) เพื่อให้ได้เส้นทางขนส่งที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ร่วมกับวิธีการหาคำตอบแบบวนซ้ำเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการค้นหาคำตอบ ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองโดยการปรับพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ จำนวนรอบในการวนซ้ำ ร้อยละเพื่อสร้างบัญชีรายชื่อและเปอร์เซ็นต์ในการรบกวนคำตอบ

ผลการทดลองพบว่า จำนวนรอบในการวนซ้ำมีผลต่อการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการค้นหาคำตอบโอกาสในการพบคำตอบที่ดีขึ้นจะเพิ่มขึ้นโดยลำดับ ด้านร้อยละเพื่อสร้างบัญชีรายชื่อนั้นมีผลต่อคำตอบที่ดีเมื่อค่าร้อยละมีค่าต่ำ ส่วนการรบกวนคำตอบนั้นไม่มีผลต่อคำตอบที่ดีที่สุดในภาพรวม

เมื่อกำหนดจำนวนรอบในการค้นหาคำตอบเป็น 100 รอบ และร้อยละ เพื่อสร้างบัญชีรายชื่อเป็น 20 โดยไม่มีการวนรอบซ้ำ จะได้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งพบว่า ลานมันที่ 11(ต.บัวงาม อ.เดชอุดม จ.อุบลราชธานี) และที่ ลานมันที่ 22(ต.คอนสาย อ.ตระการพืชผล จ.อุบลราชธานี) ถูกเลือกให้เป็น

ตำแหน่งที่ตั้งของโรงแป้งมันสำปะหลัง มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุดที่ 167,365.28 บาทต่อวัน

เพื่อที่จะวัดประสิทธิภาพของวิธีฮิวริสติกที่นำเสนอ ผู้วิจัยได้ทดสอบปัญหา MDVRP จาก OR-Library 33 ปัญหา และเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากฮิวริสติกกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ทราบค่า ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า วิธีฮิวริสติกมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา MDVRP สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดใหม่ได้ 1 ปัญหา และหาคำตอบได้เท่ากับคำตอบที่ดีที่สุดที่ทราบค่าอีก 21 ปัญหา โดยมีค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อน 0.18 เปอร์เซ็นต์

Abstract

TITLE : AN APPLICATION OF VLSN FOR SOLVING MULTI-DEPOT LOCATION ROUTING PROBLEMS

AUTHOR : SUKONTIP SINWIWATTHANAKUL

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

ADVISOR : ASST. PROF. SOMBAT SINDHUCHAO, Ph.D.

KEYWORDS : MULTI-DEPOT LOCATION ROUTING PROBLEM / HEURISTIC / GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE / VERY LARGE SCALE NEIGHBORHOOD SEARCH / ITERATED LOCAL SEARCH

The objectives of this research are to propose the algorithms for solving the problem of selecting location of two tapioca starch factories and constructing the vehicle routes among 261 tapioca drying beds across North-Eastern Thailand to minimize operation costs. The maximum capacity of each truck is 30 tons. Each tapioca drying bed is able to distribute tapioca to both starch factories simultaneously until supply is exhausted, and each tapioca starch factory requires 1,200 tons of raw materials a day. A heuristic algorithm is employed to solve the problems posed by this situation. The Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) is applied to select the location of the tapioca starch factories from a list created by the Nearest Insertion method. The initial routes are organized and improved by the implementation of the Very Large Scale Neighborhood Search (VLSN) to achieve the lowest cost, and the iterated local search is also incorporated to increase the area of neighborhood search. The author designes an experiment by adjusting three parameters: number of interation, percent for creating a restricted candidate list and percent for perturbation. The results indicate that an increase in the number of iteration causes a higher probability of finding a good solution. The small percentage for creating a restricted candidate list provides the good solution while the percent of perturbation does not affect the optimal solution. When setting

the number of iteration to 100 and the percent for creating the restricted candidate list to 20% without perturbation of the solution, the best solution is obtained. It is found that the 11th tapioca drying bed (Bua Ngam Subdistrict, Dech Udom District, Ubon Ratchathani Province), and the 22nd tapioca drying bed (Khon Sai Subdistrict, Trakan Phuetphon district, Ubon Ratchathani Province) are selected as the locations of two tapioca starch factories with minimum operation costs of 167,365.28 Bath per day. To measure the performance of the proposed heuristic, 33 problems of MDVRP from OR-Library are tested and the solutions obtained from the proposed heuristic are compared to the best known solutions. The results show that the heuristic is efficient in solving MDVRP. It can find a new best known solution and 21 current best known solutions with an overall average percent error of 0.18 percents.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฎ
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.3 สมมุติฐานงานวิจัย	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	5
1.6 แผนการดำเนินการวิจัย	6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน	8
2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะ	13
2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง (The Multi-Depot Vehicle Routing Problems: MDVRP)	20
2.4 วิธีฮิวริสติก และเมตาฮิวริสติก (Heuristic and Metaheuristic Method)	23
2.5 Very Large Scale Neighborhood Search (VLSN)	26
3 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย	
3.1 ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
3.2 กำหนดกรอบการวิจัย	31
3.3 ข้อมูลสำคัญของกรณีศึกษา	33
3.4 การรวบรวมข้อมูล	35
3.5 สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จัดเส้นทาง	38
3.6 การพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์เพื่อหาสถานที่จัดตั้งโรงแป้งมันสำปะหลัง 2 โรง พร้อมจัดเส้นทาง	40
3.7 การทดสอบฮิวริสติก กับปัญหา OR-Library	59

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8 การปรับปรุงแก้ไข	60
3.9 สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม	60
3.10 บทสรุป	60
4 ผลการวิจัย	
4.1 ผลการทดลอง การทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์	61
4.2 สรุปผลการทดลอง การทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์	77
4.3 สรุปผลการทดลอง การทดสอบฮิวริสติก กับปัญหา OR-Library	95
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	97
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต	98
เอกสารอ้างอิง	**99**
ภาคผนวก	
ก ข้อมูลเพื่อประกอบการแก้ปัญหา ของกรณีศึกษา	111
ข คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลอง	122
ค ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นร่วมกับขั้นตอนการปรุงคุณภาพผลเฉลย	131
ง ตัวอย่างการคำนวณหาระยะทางรวมจากผลเฉลยที่ดีที่สุด	187
ประวัติผู้วิจัย	**205**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	เนื้อที่การเพาะปลูกเนื้อที่ การผลิตมันสำปะหลังไทยปี 2554/2555-2555/2556 (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย 2556)	1
1.2	แผนการดำเนินการวิจัย	6
2.1	ตารางปัญหา FLP	9
2.2	ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	14
3.1	กำลังการผลิตมันสำปะหลังต่อวัน	33
3.2	ระยะทางระหว่างลานมัน (กิโลเมตร)	34
3.3	ข้อมูลเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการขนส่ง	34
3.4	ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง 1 โรงงานพิจารณา 30 ปี (Fix cost)	35
3.5	จำนวนโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	35
3.6	จำนวนโรงงานลานมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	37
3.7	คู่ลำดับโรงแป้งมันสำปะหลังและลานมันสมาชิกของ 2 โรงแป้ง	44
3.8	ตารางบัญชีรายชื่อที่ได้จากวิธีการ GRASP และเรียงลำดับจากรายจ่ายที่น้อยไปมาก	46
3.9	ตัวอย่างคู่ลำดับ โรงแป้งและสมาชิกของ โรงแป้งที่ถูกเลือกจากการสุ่ม	48
3.10	ตัวอย่างตารางเส้นทางเริ่มต้นจากคู่ลำดับโรงแป้งที่ถูกเลือก	49
3.11	ตัวอย่างโหนดเสมือนที่สร้างขึ้นจากการสร้างคำตอบเริ่มต้นเปรียบเทียบกับโหนดจริง	52
3.12	ตัวอย่างตารางค่า arc cost ที่ได้จากคำตอบเริ่มต้น	56
3.13	ลักษณะของปัญหามาตรฐานของ MDVRP(CGW-Choa., et al.(1993); RLB-Renaud., et al.(1996); CGL-Cordeau., et al.(1997))	59
4.1	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรง เปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%	63
4.2	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรง เปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 20%	64
4.3	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรง เปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 30%	65

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.4	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรง เปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 40%	65
4.5	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรง เปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 50%	66
4.6	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรง เปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 60%	67
4.7	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรง เปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 70%	68
4.8	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรง เปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 80%	69
4.9	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 10% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%	70
4.10	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 20% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%	71
4.11	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 30% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%	72
4.12	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 40% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%	73
4.13	ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 50% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.14	ตารางการเดินทางและระยะทางที่ดีที่สุด โรงแป้งที่ 1	75
4.15	ตารางการเดินทางและระยะทางที่ดีที่สุด โรงแป้งที่ 2	76
4.16	ตารางคำนวณ ค่าใช้จ่ายรวมของโรงแป้ง	78
4.17	เปรียบเทียบผลคำตอบที่ดีที่สุดของฮิวริสติกกับปัญหามาตรฐาน Operation-Research Library (OR- Library) จำนวน 33 ตัวอย่าง ของ Beasley., (2006) เปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบ และสุพรรณ	95

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตต่อไร่ ผลผลิตรวม	1
1.2	พื้นที่การเพาะปลูก	2
1.3	ร้อยละการส่งออก	3
1.4	ปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลัง	3
1.5	ประเภทเภทของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันสำปะหลัง	4
2.1	แสดงการจัดเส้นทางแบบ Shorten Path	16
2.2	แสดงการจัดเส้นทางแบบ Traveling Salesman	17
2.3	แสดงหลังการจัดเส้นทางแบบ Vehicle Routing Problem	18
2.4	แสดงการจัดเส้นทางแบบ Minimum Cost Flow	20
2.5	แสดงโครงสร้างของ VDNS คำตอบของปัญหาปัจจุบันอยู่ที่เครื่องหมาย x วิธี VDNS โดยส่วนใหญ่จะหาคำตอบใกล้เคียงแบบเชิงลึก (Variable-Dept)	27
2.6	แสดงอัลกอลิทึมของ Lin-Kernigan (a) ทัวร์ขนาด 10 โหนด (b) Harmiltonian path (c) stem and cycle	27
2.7	แสดงวิธีการ cyclic exchange	28
2.8	กราฟของ Halin (a) ทัวร์ขนาด 10 โหนด (b) Hanlin extension	29
3.1	ลำดับขั้นตอนแผนการการดำเนินงานวิจัย	32
3.2	วิธีฮิวริสติก สำหรับแก้ปัญหาการจัดตั้งโรงแป้งมันสำปะหลังจำนวน 2 โรง พร้อมจัดเส้นทางการขนส่ง	41
3.3	ขั้นตอนกระบวนการสร้างบัญชีรายชื่อ	42
3.4	รหัสเทียมของวิธี GRASP	46
3.5	รหัสเทียมของวิธี *VLSN*	49
3.6	รหัสเทียมของวิธีการ Iterated Local Search	50
3.7	การสร้างโหนดเสมือนจากโหนดที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการจัดเส้นทาง	51
3.8	ค่าคำตอบที่เป็นไปได้ในกรณีมีการย้ายจากโหนดรถไปยังโหนดใดๆ	53
3.9	ค่าคำตอบที่เป็นไปได้ในกรณีมีการย้ายจากโหนด dummy ไปยังโหนดใดๆ	53
3.10	ค่าคำตอบที่เป็นไปได้ในกรณีมีการย้ายจากโหนด dummy ไปยังโหนดใดๆ	54
3.11	ภาพจำลองแสดงกลุ่มข้อมูลของโหนดต่างๆ เมื่อนำมาสร้างเป็นตาราง arc cost	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.12	รูปแบบของการแลกเปลี่ยนเส้นทางแบบ Cyclic Exchange แยกออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีย้ายเส้นทางภายใน Depot เดียวกัน (a) และ (b) และกรณีย้ายเส้นทางข้าม Depot (c)	57
3.13	แสดงรูปแบบของ neighbourhood โดยสมาชิกที่อยู่ในเส้นทาง วงกลมเล็กแทนด้วยลานมัน สามเหลี่ยมแทนด้วยรถบรรทุก สี่เหลี่ยมคือ dummy	57
3.14	พฤติกรรมการย้ายแบบ cyclic exchange รูปแบบต่าง ๆ ภายใน depot เดียวกัน (a)ย้ายภายในเส้นทางเดียวกัน (b) ย้ายข้ามเส้นทางโดยวิธีการแทนที่ (replacement) (C) ย้ายข้ามเส้นทาง	58
3.15	พฤติกรรมการแลกเปลี่ยนเส้นทางกรณีย้ายข้าม Depot	58
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=10%	78
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=10%	79
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=20%	79
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=20%	80
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=30%	80
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=30%	81
4.7	7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=40%	81
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=40%	82
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=50%	83
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=50%	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=60%	84
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=60%	84
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=70%	85
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=70%	85
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=80%	86
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=80%	86
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ในสุ่มคำตอบแบบ GRASP กับผลคำตอบที่ได้สำหรับ Best Single Run	87
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ในสุ่มคำตอบแบบ GRASP กับผลคำตอบที่ได้สำหรับ Best Average Run	88
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 10% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run	89
4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 10% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run	89
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 20% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run	90
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 20% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run	90
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 30% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run	91
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 30% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run	91
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 40% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 40% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run	92
4.27	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 50% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run	93
4.28	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 50% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run	93
4.29	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ สำหรับ Best Single Run	94
4.30	ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 50% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run	94

บทที่ 1
บทนำ

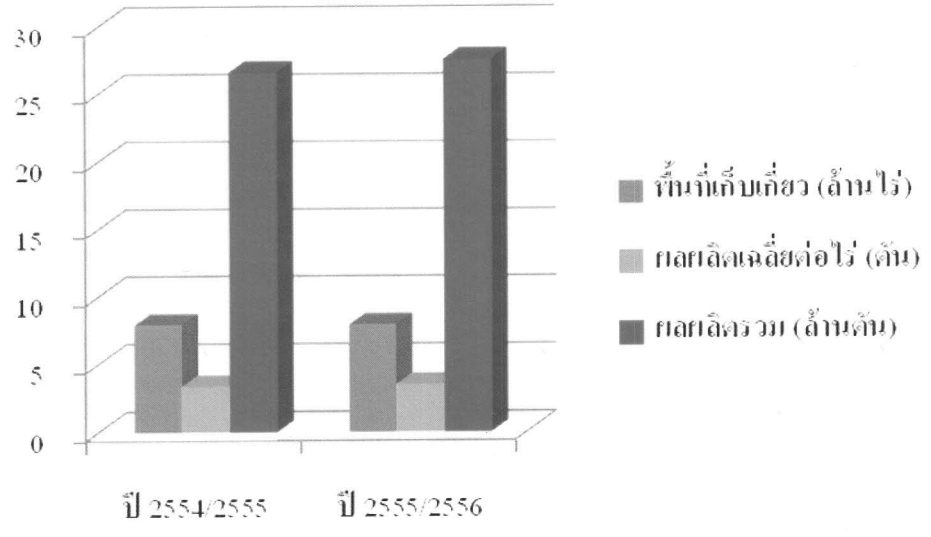
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ประเทศไทยผลิตมันสำปะหลังมากเป็นอันดับ 1 ของโลก มูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ปี 2558 จะเพิ่มขึ้น เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของไทย และในปี 2557 ส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง ปริมาณรวม 11.19 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 114,371 ล้านบาท

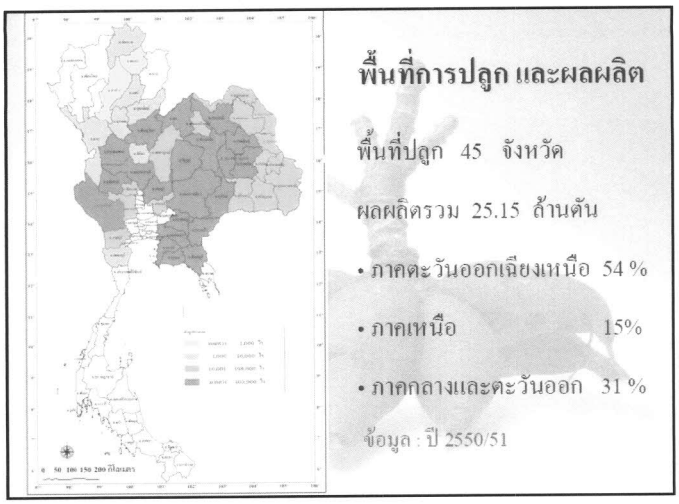
ตารางที่ 1.1 เนื้อที่การเพาะปลูกมันสำปะหลังไทยปี 2554/2555-2555/2556 (สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย 2556)

เขตพื้นที่	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)			ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (ตัน)			ผลผลิตรวม (ตัน)		
	2554/2555	2555/2556	%(+/-)	2554/2555	2555/2556	%(+/-)	2554/2555	2555/2556	%(+/-)
ภาคเหนือ	1,537,741	1,549,938	0.79	3.445	3.558	3.28	5,298,175	5,514,211	4.08
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	4,373,133	4,366,997	-0.14	3.314	3.444	3.92	14,493,229	15,039,948	3.77
ภาคกลาง	2,000,449	1,988,121	-0.62	3.404	3.517	3.32	6,809,686	6,993,083	2.69
รวมทั้งประเทศ	7,911,323	7,905,056	-0.08	3.362	3.485	3.66	26,601,090	27,547,242	3.56

จากตาราง 1.1 แสดงเนื้อที่การเพาะปลูกมันสำปะหลังไทยปี



ภาพที่ 1.1 พื้นที่เก็บเกี่ยว ผลผลิตต่อไร่ ผลผลิตรวม

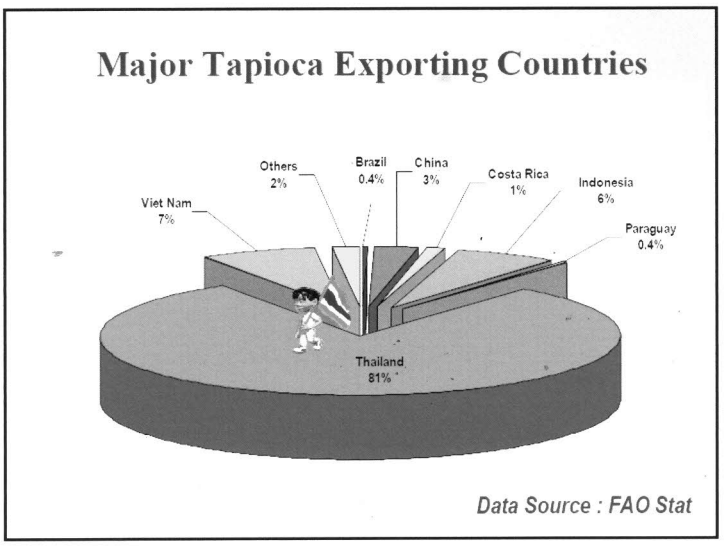


ภาพที่ 1.2 พื้นที่การเพาะปลูก (สมาคมแป้งมันสำปะหลัง, 2552)

มันสำปะหลัง (ชื่อวิทยาศาสตร์ : Manihot esculenta (L.) Crantz) เป็นพืชหัวชนิดหนึ่ง เป็นพืชอาหารที่สำคัญอันดับ 5 รองจากข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าว และมันฝรั่ง ชื่อสามัญเรียกหลายชื่อเช่น Cassava, Yuca, Mandioa, Manioc, Tapioca ชาวไทยเดิมเรียกกันว่า มันสำโรง มันไม้ ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือเรียกว่า มันต้นเตี้ย ภาคใต้เรียกมันเทศ (แต่เรียกมันเทศว่า “มันหลา”) คำว่า "สำปะหลัง" ที่นิยมเรียกอาจมาจากคำว่า "ซำเปอ (Sampou)" ของชวาตะวันตก มันสำปะหลังมีแหล่งกำเนิดแถบที่ลุ่มเขตร้อน (Lowland tropics) มีหลักฐานแสดงว่าปลูกกันในโคลัมเบีย และเวเนซูเอลา มานานกว่า 3,000-7,000 ปีมาแล้ว มันสำปะหลังจะถูกนำมาแปรรูป ในรูปแบบ แป้งมันสำปะหลัง และ มันสำปะหลังเส้น เพื่อเป็นวัตถุดิบส่งโรงงานต่อไป

แป้งมันสำปะหลัง เป็นแป้งที่ได้จากมันสำปะหลัง ลักษณะของแป้งมีสีขาว เนื้อเนียนลื่นเป็นมันเมื่อทำให้สุกด้วยการกวนกับน้ำไฟอ่อนปานกลาง แป้งจะละลายง่าย สุกง่าย แป้งเหนียวติดภาชนะ หนืดข้นขึ้นเรื่อยๆ ไม่มีการรวมตัวเป็นก้อน เหนียวเป็นใย ติดกันหมด เนื้อแป้งใสเป็นเงา พอเย็นแล้วจะติดกันเป็นก้อนเหนียว ติดภาชนะ ใช้ทำลอดช่องสิงคโปร์ ครองแครงแก้ว เป็นต้น

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังดังภาพที่ 1.2 และส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังเป็นอันดับ 1 ของโลก ส่งออกไปยังประเทศต่าง ๆ มากกว่า 100 ประเทศทั่วโลก ครองส่วนแบ่งตลาดมากกว่า 80% ของทั่วโลก คิดเป็นมูลค่ารวมประมาณ 6-7 หมื่นล้านบาท/ปี



ภาพที่ 1.3 ร้อยละการส่งออก (สมาคมแป้งมันสำปะหลัง, 2552)

แสดงให้เห็นถึงร้อยละการส่งออกผลิตภัณฑ์มันสำปะหลังของประเทศไทยว่าเป็นอันดับ 1 ของโลกในการส่งออก

ปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลัง

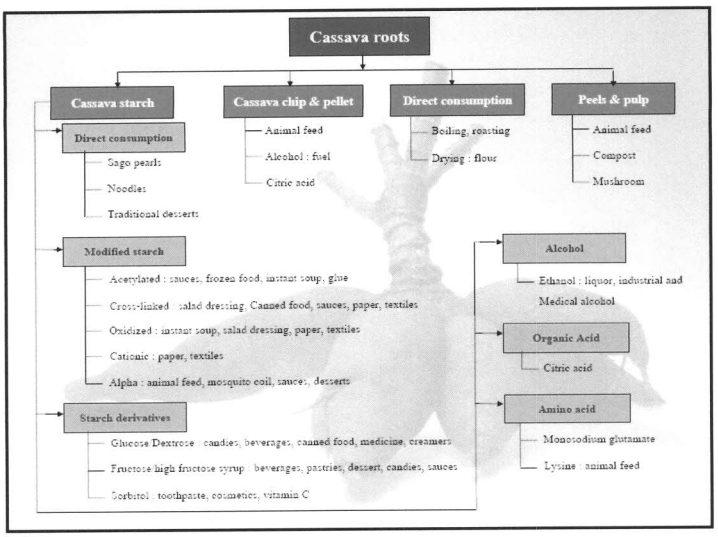
ปี	Native Starch		Modified Starch		Sago Pearls		Total	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2544	0.863	6,305	0.422	7,439	0.017	184	1.303	13.927
2545	0.849	6,442	0.458	7,828	0.021	216	1.329	14.481
2546	1.084	7,439	0.525	8,776	0.02	227	1.630	16.442
2547	1.113	8,196	0.653	10,490	0.024	279	1.790	18.966
2548	1.011	9,386	0.592	10,703	0.023	293	1.626	20.382
2549	1.671	13,655	0.638	11,108	0.025	301	2.334	25.064
2550	1.472	13,971	0.729	12,832	0.02	266	2.221	27.069
2551	1.272	15,000	0.715	14,795	0.021	369	2,008	30.164

Source : The Customs Department

หน่วย : ล้านตัน, ล้านบาท

ภาพที่ 1.4 ปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลัง (สมาคมแป้งมันสำปะหลัง, 2552)

จากภาพที่ 1.4 คือ ตารางแสดงปริมาณการส่งออกแป้งมันสำปะหลัง และแป้งมันสำปะหลังยังสามารถแปลงไปเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องหลากหลาย เช่น อาหาร กระดาษ สิ่งทอ สารความหวาน ยา อาหารสัตว์ และพลังงาน



ภาพที่ 1.5 ประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากมันสำปะหลัง (สมาคมแป้งมันสำปะหลัง, 2552)

ในปัจจุบัน ประเทศไทยมีโรงงานแป้งมันสำปะหลัง 73 โรงงาน มีกำลังการผลิตรวม ประมาณ 20,000 ตัน/วัน ใช้หัวมันสำปะหลังสด ประมาณ 12-15 ล้านตัน/ปี ประเทศไทยใช้แป้งมันสำปะหลังภายในประเทศ ประมาณ 1.2 ล้านตัน/ปี และส่งออกประมาณ 2-2.3 ล้านตัน/ปี

จากภาพที่ 1.5 ข้อมูลเบื้องต้น ทั้งด้านพื้นที่การเพาะปลูก ปริมาณเกษตรกร ความต้องการของผู้บริโภค ประเทศไทยยังสามารถเพิ่มจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลังได้อีก ทั้งนี้อาจต้องอาศัยปัจจัย ต่าง ๆ มากมาย เช่น แหล่งวัตถุดิบ คุณภาพวัตถุดิบ การขนส่ง หรือแม้กระทั่งทำเลที่ตั้งโรงงาน ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นปัจจัยสำคัญ

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือคือ พื้นที่ที่มีการปลูกมันสำปะหลังมากที่สุดในประเทศไทย โดยในปี พ.ศ. 2557 มีพื้นที่เพาะปลูก 4,926,913 ไร่ ผลผลิต 14,850,800 ตัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร,2557) โดยมีลานแป้งทั้งหมด 261 ลานมัน ซึ่งเป็นจุดรับซื้อผลผลิตจากเกษตรกรและรวบรวมผลผลิตเพื่อจะจัดส่งให้กับโรงงานแป้งมันสำปะหลังในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่หากเมื่อพิจารณาถึงจำนวนของโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่มีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเมื่อเทียบกับผลผลิตที่ได้นั้นยังคงมีไม่เพียงพอสำหรับรองรับปริมาณผลผลิต ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีโรงงานแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้น ซึ่งในการตั้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังมีความจำเป็นที่จะต้องมองในเรื่องตำแหน่งที่เหมาะสมและการจัดเส้นทางการขนส่งระหว่างลานเทมายังโรงงานแป้งมันสำปะหลังต้องมีประสิทธิภาพ ต้นทุนทางด้านโลจิสติกส์ต้องต่ำที่สุด ในการพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งทีเหมาะสมและการจัดเส้นทางการขนส่งของโรงงานแป้งมันสำปะหลังเป็นปัญหาที่มีความยาก (NP-Hard) คือลักษณะของปัญหามีขนาดใหญ่จะใช้ระยะเวลานานในการหาคำตอบ ซึ่ง ในแนวทางในการหาคำตอบของปัญหาจำเป็นจะต้องใช้ อัลกอลิทึมเพื่อใช้ในการแก้ไขปัญหา

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะศึกษาเกี่ยวกับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเกี่ยวข้องตั้งแต่เรื่องวัตถุดิบไปจนถึงการขนส่งแป้งมันที่ผลิตและการออกแบบฮิวริสติกอัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาสถานที่ตั้งโรงงานแป้งมันสำปะหลังแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง (Multi Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) สินค้าสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาค

ตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อให้ต้นทุนรวมด้านต่าง ๆ มีค่าต่ำสุดหรือเหมาะสมที่สุดและเป็นไปตามข้อจำกัดต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

1.2.2 เพื่อพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

1.2.3 เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการทางเมตาฮิวริสติกในการเลือกสถานที่ตั้งและการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย

1.3 สมมุติฐานงานวิจัย

สมมุติฐานการพัฒนาฮิวริสติก

วิธีการที่พัฒนาขึ้นสามารถให้คำตอบที่น่าพอใจโดยเทียบสมรรถนะกับการใช้ซอฟแวร์สำเร็จรูป (Commercial software) ที่ขนาดของปัญหาที่เป็น NP-HARD

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการออกแบบอัลกอริทึมเพื่อแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับการผลิตแป้งมันสำปะหลัง โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ภายใต้ขอบเขตของวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการด้านโลจีสติกส์ การทดสอบความสมบูรณ์ของอัลกอริทึมดังกล่าวจะใช้กรณีศึกษาจากข้อมูลแหล่งวัตถุดิบ ปริมาณวัตถุดิบ ปริมาณความต้องการแป้งมันสำปะหลัง และข้อมูลประกอบอื่นๆ ภายในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนืออันประกอบด้วยจังหวัดอุบลราชธานี อำนาจเจริญ มุกดาหาร นครพนม หนองคาย เลย หนองบัวลำภู ขอนแก่น ชัยภูมิ นครราชสีมา สระแก้ว บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร มหาสารคาม กาฬสินธุ์ สกลนคร และอุดรธานี รวม 20 จังหวัด โดยมีสมมุติฐานการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ศึกษาเฉพาะการขนส่งหัวมันสำปะหลังสดจากลานมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือไปส่งยังโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง จำนวน 2 โรงงาน ซึ่ง 2 โรงงานนี้ มีกำลังการผลิต 300 ตันของแป้งต่อวันหรือ 1,200 ตันของมันสำปะหลังต่อวัน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1.5.1 ได้วิธีการใหม่ในการปรับปรุงคำตอบที่ใช้ได้กับปัญหาจริงสำหรับปัญหาการตั้งโรงงานมากกว่าหนึ่งแห่งและสามารถจัดเส้นทางการขนส่งได้

1.5.2 สามารถ นำผลงานไปเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติหรือนานาชาติได้

1.5.3 ใช้วิธีเชิงฮิวริสติกและขั้นตอนทางคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ปัญหา LRP โดยที่มีเงื่อนไขคือจำกัดกำลังการผลิตของโรงงาน จำกัดความจุของบรรทุก แต่ไม่จำกัดการจำหน่ายสินค้าโดยลานมันแต่ละแห่งสามารถให้สินค้ากับโรงงานมากกว่าหนึ่งโรงงานได้

1.6 แผนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากสำนักงานสถิติแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และหน่วยงานราชการอื่นๆ และทำการรวบรวมประมวลผลรวมถึงออกแบบอัลกอริทึมและระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

นอกจากนี้ อาจมีการเดินทางเพื่อเก็บข้อมูลระยะทาง และพิกัดที่ตั้งของแหล่งวัตถุดิบในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะเตรียมการ ระยะดำเนินการออกแบบอัลกอริทึม และระยะหลังดำเนินการ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีการศึกษา/ภาคการศึกษา									
	2552		2553		2554		2555		2556	
	ต้น	ปลาย	ต้น	ปลาย	ต้น	ปลาย	ต้น	ปลาย	ต้น	ปลาย
ระยะเตรียมการ										
1) รวบรวมข้อมูลแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากส่วนราชการที่เกี่ยวข้อง	←	→								
2) รวบรวมข้อมูลข้อจำกัดด้านต่างๆ เช่น ระยะทาง สภาพเส้นทาง	←	→								
3) ออกแบบสมการทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและออกแบบเส้นทางการขนส่ง		←	→							
ระยะดำเนินการออกแบบอัลกอริทึม										
4) ออกแบบอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ได้ออกแบบไว้ในระยะที่ 1			←	→						
5) ทดสอบอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้			←	→						
3) เลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง 2 โรงงาน ในรูปแบบปัญหา P-median				↔						
6) ปรับปรุงคำตอบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ C++				←	→					
7) หาคำตอบเริ่มต้นกับการแก้ปัญหาในรูปแบบปัญหา mdlrp				←	→					

ตารางที่ 1.4 แผนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ปีการศึกษา/ภาคการศึกษา									
	2552		2553		2554		2555		2556	
	ต้น	ปลาย	ต้น	ปลาย	ต้น	ปลาย	ต้น	ปลาย	ต้น	ปลาย
8) ทดสอบอัลกอริทึมที่ออกแบบไว้					←	→				
9) จัดเส้นทางการขนส่ง						←	→			
10) ปรับปรุงคำตอบโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ C++							←	→		
ระยะหลังดำเนินงาน										
11) เปรียบเทียบคำตอบกับ oR-Library								←	→	

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการ แนวคิดของปัญหาการหาที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของโรงงานแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการเลือกสถานที่ตั้ง (Facility location problem) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะ (Vehicle routing problem: VRP) และปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้ามากกว่า 1 แห่ง (Multi-Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาคำตอบวิธีฮิวริสติก (Heuristics), เมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) และ วิธี **Very Large Scale Neighborhood Search (VLSN)**

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน หมายถึง การสรรหาตำแหน่งของสิ่งปลูกสร้าง โดยคำนึกถึงปัจจัยต่าง ๆ เช่น ทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต แรงงาน ระบบสาธารณูปโภค ถนน สิ่งแวดล้อม ฯลฯ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งจะต่างกับปัญหาการจัดวางผังโรงงานตรงที่ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งมักจะไม่มีความสัมพันธ์กับขนาดของพื้นที่ที่จะตั้งโรงงานมากนักและปฏิสัมพันธ์ระหว่างเครื่องจักรหรือโรงงานแต่ละโรงอาจเกิดขึ้นหรือไม่เกิดขึ้นก็ได้

จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน (2554) ได้ศึกษาปัญหาการเลือกที่ตั้งที่เหมาะสม (Facility Location problem: FLP) ปัญหานี้เป็นปัญหาที่ระบุตำแหน่งที่ตั้ง พื้นที่ให้บริการ จำนวน ขนาด และตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการ พร้อมทั้งจัดสรรการให้บริการจากสถานที่ให้บริการไปยังลูกค้าทั้งที่อยู่ภายในองค์กรเดียวกันและนอกองค์กร เพื่อให้ต้นทุนการขนส่ง ระยะทางหรือระยะเวลาในการส่งมอบสินค้าหรือบริการน้อยที่สุด ซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบของปัญหา ออกเป็น 4 รูปแบบคือ

(1) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการเทอร์มินิสติก (Deterministic Facility Location Problems)

(2) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบพลวัต (Dynamic Facility Location Problems)

(3) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบสโตแคสติก (Stochastic Facility Location Problems)

(4) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการแบบโรบัส (Robust Facility Location Problems

ตารางที่ 2.4 ตารางปัญหา FLP

หัวข้อปัญหา	ประเภทปัญหา	พารามิเตอร์ที่พิจารณา	ระยะเวลาในการพิจารณาความเหมาะสม		ประเภทปัญหาย่อย	วัตถุประสงค์	ตัวอย่างสถานที่ให้บริการที่มีการนำไปประยุกต์ใช้
			จุดเวลา	ช่วงเวลา			
1	ดีเทอร์มินิสติก	ทราบค่าและเป็นค่าคงที่	/		1.1 Minisum FLP (Weber / p-Median Problems)	ระยะทางรวมจากสถานที่ให้บริการไปยังลูกค้าน้อยที่สุด	เครื่องจักร คลังสินค้าศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น
					1.2 ปัญหา Set Covering	ครอบคลุมลูกค้าทุกคนด้วยจำนวนสถานที่ให้บริการที่น้อยที่สุด	สถานีดับเพลิง โรงพยาบาล ห้องสมุดเป็นต้น
					1.3 ปัญหา Maximal Covering	ครอบคลุมลูกค้าทุกคนด้วยจำนวนสถานที่ให้บริการที่น้อยที่สุด	
					1.4 ปัญหา Minimax FLP (ปัญหา p-Center) 1.5 ปัญหาสถานที่ให้บริการที่	ระยะครอบคลุมลูกค้าที่อยู่ห่างไกลน้อยที่สุดด้วยจำนวนสถานที่ให้บริการที่กำหนด ตรงข้ามกับปัญหาประเภท 2.1.1-2.1.3	โรงงานนิวเคลียร์ บ่อบำบัดน้ำเสีย โรงงานสารเคมี เป็นต้น
2	พลวัต	ทราบค่าแน่นอน แต่ค่าไม่คงที่ (เปลี่ยนแปลงตามเวลา)		/	ขยายผลจากปัญหาในหัวข้อ 1 ในด้านช่วงเวลาที่พิจารณา	เหมือนวัตถุประสงค์ของปัญหาในหัวข้อ 2.1 ที่ถูกนำมาขยายผลแต่พิจารณาตลอดทั้งช่วงเวลาการวางแผน	สถานที่ให้บริการทุกประเภท
3	สโตแคสติก	ไม่ทราบว่าค่าที่แน่นอนแต่คาดการณ์ได้ด้วยความน่าจะเป็น	/	/	ขยายผลจากปัญหาในหัวข้อ 1 ในด้านช่วงเวลาที่พิจารณาและพารามิเตอร์ที่พิจารณารูปแบบอื่นๆ ตามสภาพปัญหาจริง	-ค่าคาดคะเนของต้นทุนน้อยที่สุด -ค่าคาดคะเนของกำไรมากที่สุด	สถานที่ให้บริการทุกประเภท

ตารางที่ 2.4 ตารางปัญหา FLP (ต่อ)

หัวข้อปัญหา	ประเภทปัญหา	พารามิเตอร์ที่พิจารณา	ระยะเวลาในการพิจารณาความเหมาะสม		ประเภทปัญหาย่อย	วัตถุประสงค์	ตัวอย่างสถานที่ให้บริการที่มีการนำไปประยุกต์ใช้
			จุดเวลา	ช่วงเวลา			
4	โรบัส	ไม่ทราบค่าที่แน่นอนและไม่สามารถคาดการณ์ได้	/	/	-ขยายผลจากปัญหาในหัวข้อ 1 ในด้านช่วงเวลาที่พิจารณาและพารามิเตอร์ที่พิจารณารูปแบบอื่นๆ ตามสภาพปัญหาจริง	-ค่าเสียโอกาสในการตัดสินใจที่ผิดพลาดและค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด	สถานที่ให้บริการทุกประเภท

ที่มา: จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน (2554)

Revelleและ Eiselt (2005) ได้ระบุว่าปัญหาเลือกถานที่ตั้งมีลักษณะเฉพาะอยู่ 4 ประการด้วยกันคือ

(1) ลูกค้าซึ่งมีตำแหน่งแน่นอนอยู่แล้วที่ใดที่หนึ่ง หรืออยู่บนเส้นทางการขนส่ง

(2) โรงงานที่ต้องการหาตำแหน่งที่ตั้งใหม่

(3) ที่ตั้งซึ่งลูกค้าและโรงงานตั้งอยู่

(4) ค่าระยะทางหรือเวลาในการเดินทางระหว่างโรงงานกับลูกค้า

สำหรับปัจจัยอื่นที่พิจารณาร่วมนั้นจะเกี่ยวกับ พิกัดตำแหน่งที่ตั้ง แหล่งน้ำธรรมชาติที่ใกล้เคียง กฎหมายท้องถิ่น ต้นทุนด้านค่าขนส่ง ต้นทุนค่าที่ดิน ประเภทของระบบบำบัดน้ำทิ้ง และตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้า เป็นต้น

สหัส พรหมสิทธิ์ (2007) ได้แก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมคลังสินค้า หรือศูนย์บริการซึ่งต้องกระจายไปตามที่ต่างๆ มีการพิจารณาในเรื่องการเปรียบเทียบคุณสมบัติของปัจจัยในการเลือกทำเลที่ตั้งข้างต้นของละท้องที่ให้เป็นตัวเลข เพื่อจะได้เห็นความแตกต่างว่าในแต่ละแห่งมีความเหมาะสมลดหลั่นอย่างไรบ้าง

สำหรับปัญหาของโลจิสติกส์นอกจากการหาที่ตั้งแล้วการจัดสรรทรัพยากร location Allocation Problem ก็มีความสำคัญ เพราะการหาที่ตั้งที่เหมาะสมจำเป็นต้องมองถึงการจัดทรัพยากรให้กับลูกค้า เพื่อจะปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ให้เป็นประโยชน์ที่สุด และ เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ทรัพยากรนี้อาจเป็นเครื่องจักร วัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ ตลอดจนผู้ปฏิบัติงานเอง โดยปกติองค์การหนึ่งๆจะต้องปฏิบัติงานหลายอย่างหลายประการ แต่จะมีทรัพยากรอยู่อย่างจำกัดจึงทำให้เกิดปัญหานี้ขึ้นในกรณีที่

ทรัพยากรหนึ่ง ๆ สามารถใช้ได้เฉพาะกับกิจการหนึ่ง ๆ เท่านั้น การจัดทรัพยากรก็นับว่าง่ายที่สุด ปัญหาในลักษณะนี้มีชื่อเฉพาะเรียกว่าปัญหาการมอบหมาย (assignment problem) ปัญหาการจัดทรัพยากรจะยุ่งยากขึ้น เมื่อทรัพยากรหนึ่งๆอาจใช้กับกิจการได้หลายอย่างพร้อมกัน

การแก้ปัญหาการเลือกสถานที่อาจแบ่งได้เป็น 2 แนวทางใหญ่ ๆ คือ การวิเคราะห์เชิงคุณภาพและการวิเคราะห์เชิงปริมาณ Ronald H Ballon (1999) ได้เสนอแนวทางและวิธีการในเชิงปริมาณที่สามารถทำได้ที่เป็นที่รู้จักดีคือ

(1) วิธีจุดศูนย์ถ่วงแบบทางตรง (Exact center-of-gravityapproach)

(2) วิธีแบบกริด (The gird method)

(3) วิธีเซนทรอยด์(The centroed method)

(4) วิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบ Mix-lnteger (Mix-lnteger Linear programming)

(5) วิธีการจำลองปัญหา (Simulation methods)

(6) วิธีฮิวริสติก (Heuristics methods)

(7) วิธีกำหนดการเชิงเส้นแบบ Guided (Guided linear programming)

สำหรับการวิเคราะห์เชิงคุณภาพนั้นจะพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อธุรกิจนั้น ๆ เช่น ต้นทุน ค่าที่ดิน ความหนาแน่นของแรงงานที่มีฝีมือ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับสาธารณูปโภคและภาษีบำรุงท้องที่ ทัศนคติของชุมชน เป็นต้น

Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) ร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องของรัฐ Minnesota ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้จัดทำคู่มือในการประเมินความเหมาะสมของการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล (Planning and Constructing an Ethanol plant in Minnesota) โดยในคู่มือดังกล่าวระบุถึงปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงานผลิตเอทานอล ซึ่งประกอบด้วย

(1) แหล่งน้ำสำหรับใช้ในกระบวนการผลิต (Water supply) ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ที่ 4.0-4.8 แกลลอนต่อการผลิตเอทานอล 1 แกลลอน

(2) การบำบัดน้ำเสียที่ออกมาจากโรงงาน

(3) ความอุดมสมบูรณ์ของวัตถุดินทางการเกษตรที่ใช้ในการผลิตเอทานอล (Feedstock availability)

(4) ระบบขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ (Transportation) เช่น สภาพถนนสถานีรถไฟ เป็นต้น

(5) ประเภทของเชื้อเพลิงที่ให้พลังงานในการผลิตเอทานอล (Type of fuel)

(6) ทุนสนับสนุนหรือสิทธิประโยชน์จากภาครัฐ (Funding and Economics) เนื่องจากการจัดตั้งโรงงานในบางพื้นที่อามีสิทธิประโยชน์ตามนโยบายส่งเสริมการลงทุนของรัฐบาล

(7) ประเด็นด้านผลกระทบต่อคนที่ในพื้นที่ (Local site issues) เช่นฝุ่นจากการขนส่งวัตถุดิบ เสียงจากโรงงาน กลิ่นจากโรงงาน ฯลฯ และ

(8) ความสัมพันธ์กับชุมชน (Community relations) (MPCA et., 2007)

นอกจากนี้ในช่วงทศวรรษที่ 1960 Hakmi (1964, 1965) ได้มีการนำเสนองานวิจัยเกี่ยวกับการหาสถานที่ตั้งโรงงานจำนวน p โดยการให้น้ำหนักด้านระยะทางบนโครงข่ายของจุดที่มีความต้องการสินค้า n จุด ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในเวลาต่อมาในชื่อปัญหาแบบ P-median

ปัญหาพีมีเดียน (p-median) เป็นปัญหาของการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานจำนวน p โดยการให้น้ำหนักด้านระยะทางบนโครงข่ายของจุดที่มีความต้องการสินค้า n จุดโดยให้ต้นทุนในการขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนการขนส่งจะคิดจากระยะทางของจุดกระจายสินค้าที่ส่งผลิตภัณฑ์ไปยังลูกค้า หรือจากลูกค้าส่งมายัง คลังสินค้าบางกรณีอาจเป็น แหล่งวัตถุดิบถูกส่งมายังโรงงงานก็ได้

โดย Mladenovic และคณะ (1997) ได้สำรวจวิธีการในการแก้ปัญหาพีมีเดียน และได้ค้นพบความหลากหลายในขั้นตอนต่างๆในการค้นหาสถานที่ตั้งโรงงานจากการศึกษานี้ ในขณะเดียวกัน

Cadenas และคณะ (2011) ก็ได้ศึกษาวิธีการเชิงพันธุกรรมสำหรับการแก้ปัญหาพีมีเดียนฟัซซี่ (Fuzzy p-median) โดยได้เพิ่มเงื่อนไขเกี่ยวกับอัตราการรุกราน (Invasion) และอัตราการผ่าเหล่า (Mutation rates) แล้วทำให้สามารถหาผลลัพธ์ของคำตอบที่มีหลายวัตถุประสงค์ได้ และได้คำตอบที่ดีขึ้น นอกจากนี้ Levanova และLoreash (2004) ก็ได้นำเสนอวิธีอาณานิคมมด และวิธีเลียนแบบการอบอ่อน เพื่อแก้ปัญหาและหาคำตอบสำหรับปัญหาพีมีเดียนเช่นเดียวกัน ซึ่งในงานวิจัยของ Auckara-aree และ Boondiskulchok (2007) ก็ได้แก้ปัญหาการหาสถานที่ตั้งของสถานีการรับซื้อวัตถุดิบเพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ด้านกำไรสูงสุดภายใต้นโยบายระดับราคา ซึ่งผลจากการวิจัยสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาจริงได้เป็นอย่างดี

Osaman และ Christofides (2001) ได้นำเสนอรูปแบบปัญหาที่ตั้งแบบ Capacitated P-median problem (CPMP) เป็นปัญหา P-median แต่มีการให้ความสำคัญในเรื่องความสามารถในการส่งสินค้าของจุดกระจายสินค้าที่มีจำกัดมีข้อจำกัดด้านความจุ และลูกค้ามีความต้องการที่จำกัดเช่นกัน กล่าวว่า CPMP เป็นปัญหาการเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบพิเศษงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาที่ตั้งโรงงาน

นัทธพงศ์ นันทสำเริง (2554) ได้นำเสนอวิธีการจุดศูนย์ถ่วงมาประยุกต์ใช้กับปัญหาในการหาที่ตั้งสถานที่จอดรถกู้ชีพด้วยวิธีจุดศูนย์ถ่วงจากน้ำหนักความเสี่ยงในการประสบเหตุผลจากการศึกษาพบว่าจุดจอดรถกู้ชีพมีการเปลี่ยนไปจากจุดจอดปัจจุบันโดยอยู่ห่างจากจุดเดิมถึง 1.1 กิโลเมตร และจุดจอดรถใหม่สามารถลดระยะทางในการเดินทางไปถึงผู้ได้รับบริการ 20.26% เมื่อคิดเป็นระยะทางแบบระยะขจัด

Budadee และคณะ (2007) ได้ทำการศึกษาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานเอทานอลที่ใช้ชานอ้อยซึ่งเป็นของเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยมองถึงความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าการใช้ชานอ้อยในการผลิตเอทานอลมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Wu et al (2002) มีการพิจารณาปัญหาเส้นทางกับหลายคลังสินค้า และหลากหลายประเภทของรถขนส่ง และ จำกัดจำนวนของรถขนส่งในแต่ละประเภทที่แตกต่างกัน ปัจจุบันพวกเขาเสนอทฤษฎีองค์ประกอบหลักสำหรับแก้ปัญหาที่ตั้งโรงงานที่หลากหลายคลังสินค้า ซึ่งแต่ละปัญหาย่อยจะถูกแก้ไขโดย simulated annealing algorithm แต่ก็จะได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด

Nagy และ Salhi (2007) ได้ศึกษาปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีผู้ศึกษาวิจัยในปัจจุบัน โดยแบ่งปัญหาออกเป็นกลุ่มๆ ตามโครงสร้างของปัญหา ชนิดของข้อมูล ช่วงเวลาในการวางแผน วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ จำนวนศูนย์กระจายสินค้า โครงสร้างของเส้นทาง ฯลฯ โดยผลการสำรวจพบว่าปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งและจัด

เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีผู้ศึกษาวิจัยในปัจจุบันโดยมากอยู่ในรูปแบบของการหาที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าเพื่อที่จะส่งสินค้าไปยังลูกค้าจำนวนหนึ่งโดยมีลักษณะของข้อมูลเป็นแบบดีเทอร์มินีสติก และใช้วิธีการแบบฮิวริสติกในการแก้ปัญหาเพื่อตอบสนองต่อฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ด้านการลดต้นทุนในการดำเนินงานให้มากที่สุด

2.2 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะ

ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าระหว่างจุดกระจายสินค้า(Depot) ไปยังลูกค้าโดยใช้พาหนะในการขนส่ง เช่น การส่งนม การส่งไปรษณีย์ การจัดเส้นทางรถรับส่งนักเรียน การจัดเส้นทางการเก็บขยะ ฯลฯ โดยวัตถุประสงค์ในการจัดเส้นทางขนส่งดังกล่าวก็เพื่อที่จะควบคุมต้นทุนการขนส่งให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดนั่นเอง

การหาเส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมสำหรับยานพาหนะนั้นมุ่งเน้นไปที่การหาเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งสินค้าหรือวัตถุดิบให้กับลูกค้าทุกรายด้วยยานพาหนะที่มีอยู่ ภายใต้ข้อจำกัดในการดำเนินงาน เช่น ความจุของการบรรทุก เวลาในการทำงานสูงสุดของพนักงานขับรถที่กำหนดไว้ในกฎหมายแรงงาน เป็นต้น โดยเส้นทางที่ได้มานั้นต้องมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ กลุ่มของยานพาหนะและลักษณะเฉพาะยานพาหนะก็มีผลต่อขีดจำกัดในโมเดลการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะด้วยเช่นกัน โดยยานพาหนะที่ใช้ในการส่งทั้งหมดอาจเป็นชนิดเดียวกันหรือไม่ก็ได้ ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วยานพาหนะที่ใช้มักไม่ใช่ชนิดเดียวกันทั้งหมด ยิ่งไปกว่านั้น ลักษณะของยานยนต์ เช่น ความกว้าง ความยาว น้ำหนัก ตลอดจนประเภทของรถเช่น รถบรรทุก รถพ่วง รถตู้ ฯลฯ ต่างก็มีผลกระทบต่อการขนส่งทั้งสิ้น เช่น ในสภาพถนนบางอย่างรถที่มีน้ำหนักบรรทุกมาก ๆ ไม่สามารถที่จะแล่นผ่านได้ เป็นต้น นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถเองก็มีความสำคัญไม่แพ้กัน

นอกจากนี้ ความต้องการของลูกค้าไม่ว่าจะเป็นจำนวนสินค้าที่ต้องการ ชนิดของสินค้าประเภทของการจัดส่ง เช่น ส่งอย่างเดียว หรือส่งด้วยและรับคืนสินค้าบางส่วนด้วย คาบเวลาในการส่ง (Time windows) หรือแม้แต่เวลาในการบริการยกสินค้าขึ้น-ลงจากรถ (Service-time) ต่างก็มีผลต่อการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะในการขนส่งทั้งสิ้น

Toth และ Vigo (2001) ได้สรุปประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะว่าประกอบไปด้วย (1) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบจำกัดความจุสินค้า (Capacitated vehicle routing problem: CVRP (2) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีคาบเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง (Vehicle routing problem with time windows: VRPTW) และ (3) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีการรับและส่งเข้ามาเกี่ยวข้อง (Vehicle routing problem with pick-up and delivery: VRPPD)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะแบบจำกัดความจุสินค้า ถือเป็นปัญหาขั้นพื้นฐานของการจัดเส้นทางการขนส่งที่ความต้องการสินค้าของลูกค้าเป็นแบบดีเทอร์มินิสติกและผู้จัดส่งทราบล่วงหน้า ในขณะที่สินค้าที่จะจัดส่งไม่สามารถแบ่งออกเป็นส่วน ๆ เพื่อให้ยานพาหนะไปส่งพร้อมกันทีเดียวหลาย ๆ คันได้ นอกจากนี้ยานพาหนะในปัญหารูปแบบนี้จะเป็นแบบเดียวกันและทั้งหมดจะออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว จุดมุ่งหมายในการแก้ปัญหาแบบ NP-Hard ซึ่งสามารถ

แก้ไขได้ด้วยวิธีทางตรงในระยะเวลาที่สมเหตุสมผล ในกรณีที่จำนวนลูกค้าไม่เกิน 50 ราย โดยวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาประกอบด้วยวิธี branch-and-cut และ set-covering approach เป็นต้น กล่าวดังตาราง

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือกที่เป็นไปได้
1) จำนวนของยาพาหนะ (Fleet)	- จำนวน 1 คัน - จำนวนหลายคัน
2) ประเภทของยานพาหนะที่มี (Vehicle type)	- ประเภทเดียวกันหมด - หลายประเภท - ยานพาหนะแบบพิเศษ
3) ที่จอดยานพาหนะ (Depot) หรือคลังสินค้า	- คลังสินค้า(Warehouse)กลาง 1 คลังสินค้ามากกว่า 1 แห่ง
4) ความต้องการในการขนส่ง (Transport demand)	- ความต้องการที่แน่นอน (Deterministic) - ความต้องการที่ไม่แน่นอน (Stochastic) - ขึ้นกับความพอใจบางส่วน
5) จุดกำเนิดความต้องการ (Demand location)	- ที่ตำแหน่ง (Node หรือ point) - ที่เส้นทาง (Arc หรือ route) - ที่ตำแหน่งและเส้นทาง (Mix)
6) ความสามารถในการบรรทุกยานพาหนะ (Vehicle capicity)	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน
7) เวลาในการขนส่งที่ยอมรับได้มากที่สุด (Maximun route time)	- กำหนด (เท่ากันทุกเส้นทาง) - กำหนด (ต่างกันตามเส้นทาง) - ไม่กำหนด (ไม่จำกัดความจุ)
8) ข้อจำกัดในด้านเวลาในการขนส่ง (Time windows)	- แบบด้านเดียว (Single-sided) - แบบสองด้าน (Double-sided)

ที่มา: อุบลรัตน์ เธียรธนาคม (2551)

ภาคการขนส่งควรศึกษาและกำหนดมาตรการการลดต้นทุนการขนส่งโดยการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงของรถบรรทุก ซึ่งการดำเนินการนี้สามารถทำได้ทั้งวิธีที่ไม่เสียเงินลงทุนมาก เช่น การลดบรรทุกที่ไม่เต็มคันรถ การลดการวิ่งรถเที่ยวเปล่า การเลือกใช้ขนาดรถที่เหมาะสม การรวมกลุ่มเกษตรกรเพื่อประหยัดค่าขนส่ง การฝึกอบรมพนักงานขับรถเพื่อการขับขี่อย่างมีประสิทธิภาพและ

สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปลอดภัยได้ระดับมาตรฐาน การเพิ่มมาตรการบำรุงรักษารถบรรทุก โดยการตรวจสอบและบำรุงรักษาสภาพรถบรรทุกอย่างสม่ำเสมอ ฯลฯ และวิธีต้องเสียเงินลงทุน แต่มีระยะเวลาคืนทุนที่รวดเร็ว เช่น การติดตั้งอุปกรณ์ลดแรงต้านอากาศพลศาสตร์ การพิจารณาเพิ่มเพลาและล้อของรถบรรทุกเพื่อเพิ่มน้ำหนักการบรรทุกต่อเที่ยว ซึ่งนอกจากจะช่วยลดต้นทุนการขนส่งให้แก่ผู้ประกอบการแล้ว ยังช่วยลดจำนวนรถบรรทุก อุบัติเหตุ และปัญหามลภาวะอีกด้วย นอกจากนี้ ผู้ประกอบการขนส่งควรพิจารณาควบคุมต้นทุนการขนส่ง และการคิดอัตราค่าขนส่งอย่างมีหลักการ โดยการกำหนดโครงสร้างอัตราค่าขนส่งที่พิจารณาทั้งน้ำหนักบรรทุกและระยะทางการขนส่ง เพื่อให้เกิดความยุติธรรมระหว่างผู้ว่าจ้างและผู้ประกอบการขนส่ง

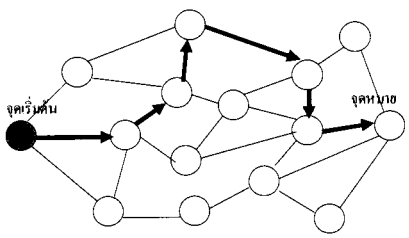
สำหรับภาครัฐ โดยกระทรวงคมนาคมและกระทรวงพลังงาน ควรพิจารณากำหนดกลไกสนับสนุนโครงการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิงในภาคขนส่งร่วม เช่น การให้ความช่วยเหลือด้านการเงิน ในการลงทุนในโครงการประหยัดพลังงานเชื้อเพลิง การส่งเสริมมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเชื้อเพลิงต่าง ๆ อย่างจริงจัง เพื่อเร่งผลักดันให้เกิดการนำไปใช้จริงในภาคเอกชน นอกจากนี้ ควรให้การสนับสนุนการศึกษาวิจัยเพื่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่งเพิ่มมากขึ้นด้วย ซึ่งการส่งเสริมมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในภาคการขนส่งทางบกนี้ จัดเป็นแนวทางการลดต้นทุนการขนส่งที่ต่ำและให้ผลเร็ว จึงควรให้ความสำคัญและแร่งดำเนินการ

สำหรับการส่งเสริมการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ (Multi-modal transportation) ในการขนส่งทางลำน้ำ ควรสนับสนุนการเพิ่มการใช้อรรถประโยชน์ของเรือบรรทุกสินค้า เช่นเดียวกับในรูปแบบการขนส่งอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงและลดต้นทุนการดำเนินการ เช่น การพัฒนาระบบ การแจ้งข้อมูลข่าวสารความต้องการขนส่งสินค้า เพื่อประโยชน์ในการเจรจาตกลงรับส่งสินค้าขาไป-ขากลับ ทางเรือ เป็นต้น สำหรับการขนส่งทางราง ควรปรับปรุงประสิทธิภาพ การให้บริการในการขนส่งสินค้าทางราง ลดความไม่แน่นอนในการขนส่ง พร้อมทั้งจัดหาทรัพยากรในการขนส่ง (หัวรถจักรและแคร่) เพิ่มเติมให้เหมาะสมต่อปริมารความต้องการขนส่ง เปลี่ยนทดแทนหัวจักรและแคร่ที่เก่า หมดอายุใช้งานงาน และหัวจักรที่มีประสิทธิภาพในการใช้เชื่อเพลิงต่ำ ซึ่งหากระบวนการขนส่งนี้มีความพร้อมในการให้บริการมากขึ้น ก็จะมีผุ้ประกอบการหันมาใช้บริการขนส่งรูปแบบนี้มากขึ้น ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อการจัดการโซ่อุปทานของผลิตภัณฑ์มันสำปะหลัง รวมทั้งผลิตภัณฑ์ส่งออกอื่น ๆ ในภาพรวมของทั้งประเทศอย่างมาก ทั้งนี้หากภาครัฐไม่พร้อมที่จะลงทุนอาจพิจารณาให้เอกชน รวมทั้งบริษัทต่างชาติ เข้ามาร่วมลงทุนโดยใช้ระบบให้สัมปทาน เพื่อเร่งสร้างโครงสร้างพื้นฐานของระบบรางเพิ่มเติมให้เพิ่มเติมให้เพียงพอต่อความต้องการด้านการขนส่ง สามารถให้บริการครอบคลุมพื้นที่อุตสาหกรรมต่างๆ ทั่วประเทศและภาครัฐควรพิจารณาการแปรสภาพรัฐวิสหกิจการรถไฟแห่งประเทศไทย เพื่อยกระดับให้บริการและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้เทียบภาคเอกชน ซึ่งการพัฒนาระบบการขนส่งทางรางนี้จะสามารถช่วยลดต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยได้อย่างมาก สามารถพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศให้เติบโตไปอย่างก้าวกระโดดได้เป็นอย่างดี

การจัดเส้นทางการขนส่งเป็นลักษณะของปัญหาที่ต้องตัดสินใจในการบริการหรือขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าหลายรายซึ่งลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้ามากน้อยต่างกันออกไป ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการวางแผนเพื่อจัดส่งสินค้าและบริการไปยังลูกค้า เช่น จำนวนรถในการขนส่ง การเลือกเส้นทางในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าของรถแต่ละคัน โดยมุ่งเน้นให้ต้นทุนขนส่งต่ำที่สุด

สุพรรณ สุดสนธิ์ อ้าง (ศิริวรรณ โพธิ์ทอง, 2552) การแก้ไขปัญหาการขนส่งดังกล่าว แต่ละบริษัทควรมีแบบแผนในการจัดการตารางเวลาและเส้นทางในการเดินรถ และเมื่อทำการจัดการตารางเวลาและเส้นทางที่ดีและมีประสิทธิภาพนั้น จะส่งผลให้สามารถลดระยะทางในการขนส่งได้ และในบางครั้งยังสามารถลดจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้ด้วย เมื่อระยะทางและจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งลดลง ก็จะส่งผลให้ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งลดลงอีกด้วย ซึ่งรูปแบบในการจัดเส้นทางและตารางการขนส่งมีหลายวิธี ดังนี้

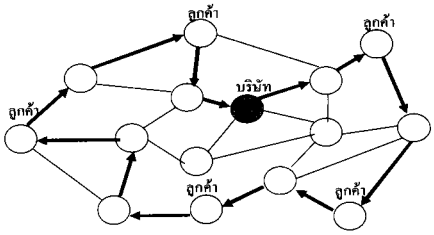
(1) Shortest Path เป็นการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยให้มีการขนส่งสินค้าจากบริษัทไปยังลูกค้าทุกๆ รายให้มีระยะทางรวมในการขนส่งที่น้อยที่สุด โดยหาเส้นทางที่มีระยะทางสั้นสุดระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดหมาย ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงการจัดเส้นทางแบบ Shorten Path (สุพรรณ สุดสนธิ์ อ้าง http://logisticscorner.com/index.php)

(2) Travelling Salesman เป็นการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยให้มีการขนส่งสินค้าจากบริษัทไปยังลูกค้าทุกๆ รายให้มีระยะทางรวมในการขนส่งที่น้อยที่สุด โดยรวมระยะทางการเดินทางของพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้ากลับมายังบริษัทด้วย

รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งมาจากปัญหาการจัดเส้นทางเดินพนักงานขาย (Traveling salesman problem, TSP) เป็นการหาเส้นทางวงปิด (Closed tour) ที่สั้นที่สุดจากการรวมระยะทางของพนักงานขาย เงื่อนไขมีอยู่ว่า “พนักงานขายต้องเดินทางไปให้ครบทุกเมือง และให้แต่ละเมืองนั้น พนักงานขายทำการเดินผ่านได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น เมื่อพนักงานขายเดินทางจนครบทุกเมืองแล้วให้พนักงานขายเดินทางกลับมายังเมืองเริ่มต้น” ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้นให้พิจารณาจากระยะทางที่พนักงานขายที่ใช้ไปกับการเดินทาง การคำนวณระยะทางสำหรับพนักงานขายมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบสมมาตร (Symmetric) เป็นกรณีที่ระยะทางทั้งไป-กลับ มีระยะทางที่เท่ากัน กรณีที่สอง คือ แบบไม่สมมาตร (Asymmetric) หมายถึง ระยะทางทั้งไป-กลับ มีระยะทางที่ไม่เท่ากันนั่นเอง ปัญหา TSP นี้ นักวิจัยจัดให้เป็นปัญหา NP-hard ซึ่งมีรูปแบบในการเดินทาง ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงการจัดเส้นทางแบบ Traveling Salesman
ที่มา: สุพรรณ สุดสนธิ, เว็บไซต์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ **TSP** (Mathematical TSP Model)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)

$x_{ij} = 1$ หมายถึง เส้นเชื่อมของ (i, j) ที่เชื่อมกัน เมื่อ $i, j \in \{1, 2, .., N\}$

$x_{ij} = 0$ กรณีอื่น ๆ จะเท่ากับศูนย์

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$MinZ = \sum_{(i,j)\in A} c_{ij} x_{ij} \tag{2.1}$$

สมการขอบข่าย (Subject to)

$$\sum_{i=1}^{N} x_{ij} = 1 \qquad \forall j \in \{2, .., N\} \tag{2.2}$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ij} = 1 \qquad \forall i \in \{1, .., N\} \tag{2.3}$$

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

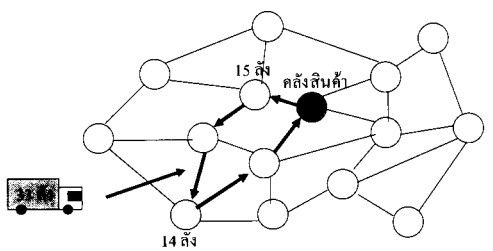
$$x_{ij} \in \{0, 1\} \qquad \forall i, j \in \{1, .., N\} \tag{2.5}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2.1 คือ ต้องการหาเส้นทางวงปิดที่สั้นที่สุด จากการรวมระยะทางของพนักงานขาย สมการขอบข่ายที่ 2.2 และ 2.3 คือ แต่ละโหนดพนักงานขายสามารถเดินไปแต่ละเมืองได้ครั้งเดียวเท่านั้น โดยที่มีเส้นทางเข้าหนึ่งเส้น และเส้นทางออกอีกหนึ่งเส้น สมการขอบข่ายที่ 2.4 คือ สมการป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour) และสมการขอบข่ายสุดท้าย คือ ตัวแปรตัดสินใจ

(3) Vehicle Routing Problem เป็นการจัดเส้นทางในการขนส่งสินค้า โดยหาจำนวนพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมกับปริมาณสินค้าพร้อมทั้งหาเส้นทางในการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมภายใต้ข้อกำหนดในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด

ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (VRP) เป็นปัญหาหลักที่พูดถึงในการถกเถียงในการทำให้ได้ประโยคสูงสุด ตั้งแต่ Dantzig เสนอปัญหานี้เมื่อปี 1959 โครงสร้างของ VRP คือรถบริการออกจากสถานีขนส่งเดียวเพื่อที่จะไปเยี่ยมลูกค้าทุกรายทั่วทุกภูมิภาคด้วยต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle routing problem, VRP) มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับปัญหา TSP แต่ที่แตกต่างจากปัญหา TSP คือ มีข้อจำกัดด้านการบรรทุกสินค้าเป็นเกณฑ์ สำหรับการพิจารณาแบ่งเส้นทางหรือแบ่งสายส่ง (Routing) ออกเป็นหลาย ๆ เส้นทาง แต่ละเส้นทางมีการบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัด (Capacitated VRP) จึงเรียกปัญหานี้ว่า ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ซึ่งปัญหา VRP แบ่งปัญหาออกได้เป็นหลายกลุ่ม เช่น Distance-Constrained VRP, VRP Time windows, VRP with Backhaul และ VRP with Pickup and delivery เหล่านี้เป็นต้น ซึ่งแต่ละรูปแบบขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์และข้อจำกัดของรูปแบบการจัดเส้นทางการขนส่ง



ภาพที่ 2.3 แสดงหลังการจัดเส้นทางแบบ Vehicle Routing Problem
ที่มา: สุพรรณ สุดสนธิ์, เว็บไซต์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ **VRP** (Mathematical VRP Model)

การกำหนดพารามิเตอร์

K = จำนวนยานพาหนะทั้งหมด

N = จำนวนโหนดทั้งหมด

Q = ความจุของยานพาหนะ

d_i = ความต้องการสินค้าจริงของโหนด i ซึ่งมีค่าความต้องการไม่แน่นอนในแต่ละวัน และ $d_0 = 0$

C_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างโหนด i และโหนด j โดยพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายจากระยะทางรวมเท่านั้น ไม่รวมถึงค่าใช้จ่ายอื่นๆ

ตัวแปรตัดสินใจ

q_i = ปริมาณสินค้าของโหนด i ที่บรรทุกบนยานพาหนะ และ $q_0 = 0$

X_{ij}^k = 1 ถ้ายานพาหนะ K ขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้า i และไปยังลูกค้า j

= 0 ในกรณีอื่น ๆ

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$MinZ = \sum_{i=0}^{N} \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{N} \sum_{k=1}^{K} C_{ij} X_{ij}^{k} \tag{2.6}$$

สมการขอบข่าย (Subject to)

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} = 1 \ \forall j \in \{1,.....,N\} \tag{2.7}$$

$$\sum_{j=0}^{N} \sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} = 1 \ \forall i \in \{1,.....,N\} \tag{2.8}$$

$$\sum_{i=0}^{N} X_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} X_{pj}^{k} = 0 \ \forall p \in \{1,.....,N\}, k \in \{1,.....,K\} \tag{2.9}$$

$$\sum_{i=0}^{N} q_i \left(\sum_{j=0}^{N} X_{ij}^{k} \right) \leq Q \ \forall k \in \{1,.....,K\} \tag{2.10}$$

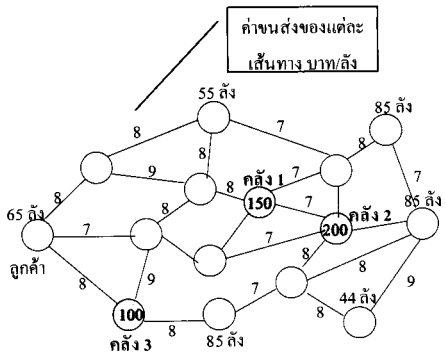
$$\sum_{j=1}^{N} X_{0j}^{k} \leq 1 \ \forall k \in \{1,.....,K\} \tag{2.11}$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{i0}^{k} \leq 1 \ \forall k \in \{1,.....,K\} \tag{2.12}$$

$$X_{ij}^{k} \in \{0,1\} \ \forall ij \in \{1,.....,N\}, k \in \{1,.....,K\} \tag{2.13}$$

สมการขอบข่ายที่ (2.6) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำที่สุด สมการขอบข่ายที่ (2.7) และ (2.8) คือประกันว่าลูกค้าแต่ละรายรับบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียว สมการขอบข่ายที่ (2.9) ประกันว่าเมื่อยานพาหนะเข้ามายังจุดส่งสินค้าแล้วยานพาหนะจะออกจากจุดส่งสินค้านั้น สมการขอบข่ายที่ (2.10) ยานพาหนะขนส่งสินค้าทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัด สมการขอบข่ายที่ (2.11) และ (2.12) ประกันว่ายานพาหนะขนส่งแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง สมการขอบข่ายที่ (2.13) แสดงการเชื่อมโยงกันระหว่างโหนด i และ j โดยเป็นได้สองอย่างคือได้รับการเชื่อมโยงกับไม่ได้รับการเชื่อมโยง

(4) Minimum Cost Flow เป็นการจัดเส้นทางในการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายตามปริมาณและจำนวนที่ลูกค้าต้องการและมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุดดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงการจัดเส้นทางแบบ Minimum Cost Flow
ที่มา: สุพรรณ สุดสนธิ์, เว็บไซต์

ที่กล่าวมาข้างต้นนี้เป็นวิธีการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยพิจารณาถึงความเชื่อมโยงของเส้นทางที่ใช้ ในการขนส่ง โดยระยะทางรวมในการขนส่งน้อยที่สุด โดยเลือกเส้นทางในการขนส่งระยะทางในการขนส่งสั้นที่สุด เป็นแผนการดำเนินการต่อไป

2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง กรณีที่ศูนย์กระจายสินค้ากลางมีมากกว่าหนึ่งแห่ง (The Multi-Depot Vehicle Routing Problems: MDVRP)

ปัญหา MDVRP หมายถึง กรณีองค์กรธุรกิจมีศูนย์กระจายสินค้ากลางที่ใช้ดำเนินงานมากกว่าหนึ่งแห่ง พร้อมทั้งมีการวางแผนการใช้เส้นทางพาหนะขนส่งเพื่อออกไปให้บริการลูกค้า รับหรือส่งสินค้า (Pick-up or Deliveries) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ การหาต้นทุนโดยรวมของการใช้เวลาหรือระยะทางที่ต่ำที่สุดของพาหนะขนส่งทุกคันรวมกัน ปัญหานี้จึงมีความสลับซับซ้อนเพิ่มมากขึ้นกว่าปัญหา VRP โดยที่ MDVRP ซึ่งแตกต่างจาก VRP ที่มีจุดกระจายสินค้ามากกว่าหนึ่งแห่ง ในฐานะที่ MDVRP เป็น NP-hard

VRP เป็นหนึ่งในหัวข้อที่มีการพูดถึงในการทำให้เกิดประโยชน์สูงสุดตั้งแต่ Dantzig ได้เสนอปัญหานี้เมื่อปี 1959 รูปแบบ (Model) สามารถอธิบายได้ดังนี้ รถบริการจะต้องไปถึงลูกค้าทุกคนในทุกภูมิภาคโดยเสียค่าใช่จ่ายน้อยที่สุด ใน SDVRP รถบริการทั้งหลายต้องออกจากสถานีขนส่งที่เดียวและกลับไปยังสถานีขนส่งเดิมหลังจากเสร็จสิ้นภารกิจ ส่วน MDVRP ก็เป็นรูปแบบที่คล้าย ๆ กันคือรถออกจากสถานีขนส่งหลาย ๆ ที่ และกลับมายังสถานีขนส่งเดิมหลังเสร็จสิ้นภารกิจ จุดประสงค์ของ MDVRP คือ ลดระยะทางทั้งหมดของทุกเส้นทาง

กลยุทธ์ที่ท้าทายในด้านการจัดการสายโซ่อุปทานและอุตสาหกรรมโลจิสติกส์คือการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดส่งสินค้าจากผู้ประกอบการไปยังลูกค้าให้ได้รับความพึงพอใจ ปัญหาดังกล่าวเป็นที่รู้จักกันดีในชื่อว่า ปัญหาของการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะ (VRP) นับตั้งแต่ ยานพาหนะออกจากจุดกระจายสินค้าส่งให้บริการลูกค้าตามที่ได้รับมอบหมายและเดินทางกลับมายังจุดกระจายสินค้าเดิม ลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการไม่เหมือนกัน หากเป็นปัญหาของคลังสินค้าเพียง 1 แห่งจะถูกเรียกว่าปัญหา VRP ของจุดกระจายสินค้าเดี่ยว

ในกรณีที่มีจุดกระจายสินค้ามากกว่า 1 แห่ง VRPs จะถูกเรียกว่า VRPs (MDVRP) VRPs จุดกระจายสินค้าเดี่ยวไม่เหมาะสมในสถานการณ์จริงแม้ว่าจะมีความน่าสนใจ ถึงแม้ใน MDVRP จะมีจุดกระจายสินค้าจำนวนมากก็เป็นเรื่องที่ยากสำหรับผู้มีอำนาจตัดสินใจในการกำหนดว่าจะให้บริการลูกค้าจากจุดกระจายสินค้าใดโดยไม่เกินความจุของการบรรทุก ดังนั้นการจัดกลุ่มลูกค้าขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างลูกค้าและจุดกระจายสินค้าก่อนที่จะมีการกำหนดเส้นทางและการกำหนดเวลา

นอกจากนี้ เนื่องจาก MDVRPs เป็น NP hard วิธีที่ต้องการอาจจะไม่ได้แก้ปัญหาที่ดีที่สุด ดังนั้นวิธีฮิวริสติกจะสามารถแก้ปัญหา ของMDVRPs ให้เร็วขึ้นและมีประสิทธิภาพวัตถุประสงค์ของปัญหาที่เกิดขึ้นก็เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายทั้งหมด ของการรวมเส้นทางยานพาหนะ เนื่องจาก ค่าใช้จ่ายมีความเกี่ยวพันกับระยะทาง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลาการเดินทาง

โดยทั่วไปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา MDVRP ในอดีตที่ผ่านมามีนักวิจัยนำเสนอวิธีการสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP นี้ ด้วยความหลากหลาย ทั้งวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดและวิธีเชิงฮิวริสติก และปัจจุบันนักผู้วิจัยส่วนใหญ่มีแนวโน้มที่จะใช้วิธีเชิงฮิวริสติก สำหรับการแก้ปัญหา MDVRP มากยิ่งขึ้น โดยที่วิธีเชิงฮิวริสติก นั้นหมายถึงวิธีการใด ๆ ก็ตามที่ใช้วิทยาสำนึก (Heuristics) ในการค้นหาคำตอบหรือหมายความรวมถึงวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีปัญญาประดิษฐ์ด้วย(Artificial Intelligence Method: AIM) วิธีปัญญาประดิษฐ์ อันได้แก่ วิธีการอบอ่อนคำตอบ (Simulated Annealing: SA) วิธีตาบูเสริจช์ (Tabu Search: TS) วิธีการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด (Ant System: AS) และวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm:GA) เหล่านี้เป็นต้น

วิธีเชิงฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP สรุปได้ดังนี้

Libertad Tansini, Maria Urquhart และ Omar Viera (2015) ได้จัดทำงานวิจัย Comparing assignment algorithms for the Multi-Depot VRP งานวิจัยชิ้นนี้ได้พูดถึง MDVRP ซึ่งนับได้ว่าเป็นปัญหาที่ยากของปัญหาระดับนี้ เป็นวิธีการประเภท "cluster first, route second" (สองขั้นตอน) ดูเหมือนจะมีแนวโน้มว่าเป็นปัญหาที่ใช้ได้จริง ขั้นตอนแรกคือการแก้ไขการจัดกลุ่ม ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการแก้ปัญหา MDVRP ขึ้นอยู่กับวิธีที่ได้รับมอบหมายในขั้นตอนแรกและวิธีแก้ไขปัญหาเหล่านี้ขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางภูมิศาสตร์ของตัวอย่างของปัญหาได้รับมอบหมายและปัญหาการกำหนดเส้นทางใน "cluster first, route second" เป็นวิธีการที่ไม่อิสระ วิธีการแก้ปัญหาที่ได้รับมอบหมายที่ไม่ดีจะส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในเส้นทางที่สูงขึ้น (ระยะทาง) ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นไม่เพียงแต่ขึ้นอยู่กับวิธีการแต่ยังหมายถึงวิธีของปัญหาที่จะได้รับการแก้ไข

การเปรียบเทียบวิธีฮิวริสติกมี 3 วิธี: วิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดี (ที่มีเวลาดำเนินการสูง) เวลาดำเนินการต่ำ (แต่ได้ผลไม่ดี) หรือเวลาการดำเนินการปานกลางและผลลัพธ์ออกมาไม่ดีนัก ที่ผ่านมาก็มีวิธีการที่เร่งรีบดังนั้นจึงขอเสนอถึงปัญหาในชีวิตจริงที่มีความสำคัญ

การใช้งานของ TP ได้พิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีเร่งรีบเพราะให้ผลลัพธ์ที่ดีในระยะสั้น ซึ่งเป็นวิธีที่น่าสนใจ ในทางตรงกันข้ามวิธีแก้ปัญหาที่ได้จาก TP ก็น่าสนใจเพราะ TP ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางและมีซอฟท์แวร์ที่ช่วยแก้ปัญหานี้ได้

ข้อดีของวิธีนี้คือ TP เป็นวิธีการแก้ไขที่แน่นอน เนื่องจากตอนนี้มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการเพิ่มความเร็วและมีคุณสมบัติการคำนวณ การแก้ปัญหาด้วยวิธีนี้สามารถเพิ่มขีดจำกัดหรือการแก้ปัญหาเบื้องต้นของ MDVRP ได้ งานวิจัยชิ้นนี้จะต้องมีการดำเนินการทดสอบและเปรียบเทียบวิธีอื่น ๆ โดย

ใช้เขตแผนที่ทางภูมิศาสตร์ที่ใหญ่ขึ้นและการทดสอบเป็นราย ๆ ไป หัวข้อในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรจะมีคาบเวลาในการส่งและควรพิจารณาถึงการแก้ปัญหา TP ซึ่งผู้ประกอบการมีการจัดส่งสินค้าแยกจากหลาย ๆ จุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้าคนเดียวกัน

ในปี 1996. Jean-Franc, ois Cordeau, Michel Gendreau และ Gilbert Laporte ได้เสนอวิธีฮิวริสติกด้วยการค้นหาทาบู (Tabu Search) ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่รู้จักกันดี 3 ด้าน ได้แก่ ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะเป็นระยะ (the periodic vehicle routing problem) ปัญหาพนักงานขายที่เดินทางเป็นระยะ (the periodic traveling salesman problem) และปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของยานพาหนะที่มีจุดกระจายสินค้าหลายจุด (the multi-depot vehicle routing problem) ผลการทดสอบได้จากวิธีที่นำมาจากการทบทวนวรรณกรรมที่ระบุว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีฮิวริสติกที่มีอยู่ทั้งหมด 3 ด้าน และจุดประสงค์ของรายงานฉบับนี้ คือ การนำเสนอวิธีการค้นหาทาบูด้วยวิธีฮิวริสติกจาก 3 ตัวแปรของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem (VRP) : PVRP PTSP และ MDVRP ซึ่งทั้ง PVRP และ MDVRP เป็นหลักการทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ ขณะที่ PTSP เป็นลักษณะพิเศษของ PVRP

งานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีตาบูเสริจช์ (TS) ประกอบไปด้วยงานวิจัยของ Potvin., et al. (1996) งานวิจัยของ Chiang and Russell (1997) และงานวิจัยของ Taillard., et al. (1997) และ วิธีการจำลองพฤติกรรมการหาอาหารของมด (ACS) ดังรายงานวิจัยของ Gambardella., et al. (1999) และวิธีเชิงพันธุ์กรรมประกอบไปด้วยงานวิจัยของ Potvin and Bengio (1996) งานวิจัยของ Berger., et al.(2001) งานวิจัย ของ Chen., et al. (2001) งานวิจัยของ Tan., et.al. (2001) และงานวิจัยของ Ting and Huang (2004)

นอกจากวิธีเชิงฮิวริสติกที่รู้จักในชื่อข้างต้นที่ได้กล่าวไปแล้วยังวิธีการอื่น ๆ ที่เรียกว่าเป็น ฮิวริสติก เช่น งานวิจัยของ Gillet และ Johnson (1976) นำเสนอวิธีการแบ่งกลุ่มลูกค้า ออกเป็นกลุ่มๆ ตามจำนวนศูนย์กระจายสินค้า โดยเรียกว่า “Disjoint-Clusters” จากนั้นทำการแก้ปัญหา VRP ที่อิสระต่อกันของแต่ละกลุ่ม (Independent VRPS) โดยเริ่มต้นจากกำหนดลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้ากลางของแต่ละแห่งใช้วิธีการ Sweep Method เมื่อลูกค้าถูกกำหนดให้กับศูนย์กระจายสินค้าเสร็จเป็นที่เรียบร้อย ต่อจากนั้นก็ทำการปรับปรุงคำตอบ โดยการเลือกลูกค้าที่เป็นไปได้เพื่อทำการปรับปรุงกลุ่ม (Reassignments) ระหว่างศูนย์กระจายสินค้า 2 แห่ง ทำไปจนกว่าไม่สามารถปรับต้นทุนที่ดีกว่าเดิม ก็ไปขั้นตอนสุดท้าย คือ การสร้างเส้นทางสำหรับพาหนะขนส่ง เนื่องจากปัญหา MDVRPจะประกอบด้วยสองปัญหาอยู่ในตัวปัญหาเดียวจึงมีความยุ่งยากในการคิดค้นวิธีการสำหรับการค้นหาคำตอบ

ดังนั้นในงานวิจัยของ Rand (1976) จึงได้ตั้งข้อสังเกตไว้ว่า มีนักวิจัยเป็นจำนวนมากที่ พยายามหลีกเลี่ยง การแก้ปัญหาการกำหนดลูกค้าให้แก่ศูนย์กระจายสินค้าที่มากกว่าหนึ่งแห่งและจัดเส้นทางพาหนะขนส่งไปพร้อม ๆ กัน แต่จะใช้วิธีการแบบแยกหาคำตอบกัน (Sub optimizing) ค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามนักวิจัยไม่ควรละเลยต่อคำตอบที่ได้ในขั้นสุดท้าย คือ จะมีความสัมพันธ์กันระหว่างการแก้ปัญหาการกำหนดลูกค้าและการจัดเส้นทางของพาหนะขนส่ง ที่ให้ค่าโดยรวมที่ต่ำที่สุด ยกตัวอย่างงานวิจัยที่แยกปัญหาออกจากกันและทำการแก้ปัญหาทีละปัญหาเช่น งานวิจัยของ

Bednar และ Strohmeier (1979) ได้นำเสนอวิธีการหาคำตอบกับปัญหาการกำหนดลูกค้าให้แก่ศูนย์กระจายสินค้าที่มากกว่าหนึ่งแห่งและจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง ด้วยวิธีการแบ่งลูกค้าออกเป็นกลุ่ม ๆ ประมาณ 2-3 กลุ่ม ใช้วิธีเชิงฮิวริสติกในการประมาณค่าของระยะทางระหว่างลูกค้า (Customer) กับศูนย์กระจายสินค้า (Depot) โดยการใช้เกณฑ์ของน้ำหนัก (Weighted) หรือความต้องการสินค้า (Demand) ของลูกค้าแต่ละรายเป็นเกณฑ์พิจารณา และวิธี Saving Methodสำหรับสร้างเส้นทางพาหนะขนส่ง

งานวิจัยของ Balakrishman., et al (1987) นำเสนอวิธีการจัดแยกปัญหาออกเป็น 2 ปัญหาย่อยๆ กล่าว คือ ปัญหาการกำหนดลูกค้าให้แก่ศูนย์กระจายสินค้าที่มากกว่าหนึ่งแห่ง จัดให้เป็นปัญหาหลัก (Master Problem) และจัดเส้นทางพาหนะขนส่งเป็นปัญหารอง (Sub Problem) แล้วบูรณาการคำตอบเข้าด้วยกันในภายหลัง ปี 1985, Kolen ก็ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ชนิดที่ศูนย์กระจายสินค้าที่มีศักยภาพเปิดดำเนินงานได้มากกว่าหนึ่งแห่ง สร้างคำตอบเริ่มต้นแบบมีขั้นมีตอน (Constructive Algorithm) และพัฒนาวิธี Tree Network แก้ปัญหา คำตอบที่ได้ใช้เวลาในการประมวลผลอย่างเหมาะสม ต่อมา Srivastava และ Benton (1990) และ Srivastava (1993) นำวิธี Cluster-Routing กรณีที่ค่า p>1โดยทำการเปิดศูนย์กระจายสินค้ากลางเพียงหนึ่งแห่งสำหรับลูกค้า 1 กลุ่ม วิธีการนี้ เรียกว่า "การสร้างกลุ่มในลำดับแรกและสร้างเส้นทางพาหนะขนส่งในลำดับที่สอง (Cluster -first and Route-second)" ใช้วิธี Sweep Method สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง งานวิจัยของ Pathumnakul (1996) นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา MDVRP กับ กรณีศึกษาโรงงานรีไซเคิลกระดาษของไอโอวา แบ่งขั้นตอนการแก้ปัญหา คือ จัดแยกลูกค้าออกเป็นกลุ่ม ๆโดยใช้หลักการเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Nearest neighborhood) สร้างเส้นทางการขนส่งด้วยวิธี Clarke and Wright algorithm และปรับปรุงคุณภาพคำตอบโดยวิธีตาบูเสริจช์ (TS) คำตอบที่ได้รับจากวิธีการนี้ได้ผลเป็นที่น่าพอใจ ในส่วนงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาโดยการกำหนดลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้าไปพร้อม ๆ ในการสร้างเส้นทางพาหนะขนส่ง เช่น Sodsoon และ Sindhuchao (2007) นำเสนอวิธี MMAS โดยแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ การจัดสรรลูกค้าพร้อมกับการสร้างเส้นทางการขนส่งในเวลาเดียวกันจากนั้นก็ทำการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วย 2-opt อัลกอริทึม วิธีการพบว่าสามารถค้นหาคำตอบได้ที่น่าพอใจและใช้เวลาประมวลผลเหมาะสม

2.4 วิธีฮิวริสติก และเมตาฮิวริสติก (Heuristic and Metaheuristic Method)

ฮิวริสติกเป็นวิธีหาคำตอบที่ดีเพียงพอภายในเวลาที่จำกัดสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะปัญหาการตัดสินใจที่อยู่ในคลาส NP ซึ่งเมื่อตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหามีจำนวนมากขึ้น อัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะเพิ่มอย่างขึ้นอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการหรืออัลกอริทึมใดๆ ที่จะมาหาคำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพในเวลาที่จำกัดซึ่งวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยด้านโลจิสติกส์ เช่น วิธีในกลุ่มของ Contructive เช่น วิธีละโมบ (Greedy) และวิธีประหยัด (Saving), วิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูด (Neighborhood search) หรือวิธีโลคอล (Local search)

2.4.1 วิธีฮิวริสติก

วิธีฮิวริสติก หมายถึง วิธีการคิดค้นขึ้นมา เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาใดปัญหาหนึ่งโดยเฉพาะ ซึ่งไม่มีแบบแผนที่แน่นอนตายตัว โดยการสร้างฮิวริสติกนั้นมักต้องอาศัยความเข้าใจและประสบการณ์ในการแก้ไขปัญหานั้นๆ เป็นนอย่างดี ดังนั้นวิธีฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหาหนึ่งอาจไม่สามารถนำไปใช้แก้ไขปัญหาอีกปัญหาหนึ่งได้ และไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่เท่ากันทุกครั้ง แต่สามารถได้คำตอบในเวลาที่รวดเร็ว หรือสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนจนไม่สามารถเขียนเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์ได้ วิธีฮิวริสติกแบ่งออกเป็น 2 ประเภทตามลักษณะของวิธีการในการสร้างคำตอบได้แก่ (1) วิธีฮิวริสติกแบบสร้างคำตอบ วิธีนี้จะเริ่มสร้างคำตอบโดยเริ่มจากการค่อยๆ เพิ่มลูกค้าในเส้นทางทีละรายหรือเพิ่มโหนดทีละโหนด จนประกอบกันเป็นคำตอบที่สมบูรณ์ เช่น วิธี Saving, Nearest Insertion และ Nearest Neighbor เป็นต้น (2) วิธี ฮิวริสติกแบบค้นหาคำตอบใกล้เคียง (Neighborhood Search Heuristic) เป็นวิธีสร้างคำตอบขึ้นมาคำตอบหนึ่งที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขแล้วนำคำตอบนั้นมาทำการสลับตำแหน่งไปเรื่อยๆ เพื่อหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิมตามรอบที่กำหนดที่ได้ออกแบบไว้ เช่น วิธี one move, exchange และ 2-opt เป็นต้น

ฮิวริสติกเป็นวิธีหาคำตอบที่ดีเพียงพอภายในเวลาที่จำกัดสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง โดยเฉพาะปัญหาการตัดสินใจที่อยู่ในคลาส NP ซึ่งเมื่อตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหามีจำนวนมากขึ้น อัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการหาคำตอบที่ดีที่สุดจะเพิ่มอย่างขึ้นอย่างมาก ทำให้ไม่สามารถใช้วิธีการหรืออัลกอริทึมใดๆ ที่จะมาหาคำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างมีประสิทธิภาพในเวลาที่จำกัดซึ่งวิธีฮิวริสติกที่นิยมใช้ในงานวิจัยด้านโลจิสติก เช่น วิธีในกลุ่มของ Constructive เช่น วิธีละโมบ (Greedy) และวิธีประหยัด (Saving) , วิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูด (Neighborhood search) หรือวิธีโลคอล (Local search)

2.4.2 เมตาฮิวริสติก

สำหรับวิธีเมตาฮิวริสติกนั้นเป็นวิธีฮิวริสติกแบบมาตรฐานที่มีความยืดหยุ่นมากขึ้นและสามารถดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ โดย Blum และ Roli (2003) ได้สรุปหลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติกคือ

(1) เมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible region)

(2) เมตาฮิวริสติกมีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด

(3) วิธีการทางเมตาฮิวริสติกอาจมีทั้งแบบซับซ้อนและไม่ซับซ้อน

(4) เมตาฮิวริสติกเป็นขั้นตอนการประมาณคำตอบ

(5) เมตาฮิวริสติกอาจเกิดจากการรวมกันของหลายเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้

(6) เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอนแต่สามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้ในแต่ละปัญหา

(7) เมตาฮิวริสติกสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย

(8) เมตาฮิวริสติกอาจเป็นคำบรรยายโดยย่อหรือเป็นหลักการทางคณิตศาสตร์ก็ได้

(1) เมตาฮิวริสติกบางประเภทมีการใช้ความจำชั่วคราวเพื่อจำคำตอบเดิมซึ่งเป็นประโยชน์ในการค้นหาคำตอบใหม่ที่ไม่แตกต่างไปจากเดิม

Blum C. และ Roli A.(2003) กล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของวิธีเมตาฮิวริสติก ว่าเมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีการหาคำตอบที่ดีภายในเซตคำตอบที่เป็นไปได้ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งมีหลายวิธี เช่น Local Search , Ant system, Genetic algorithm, Tabu Search, Simulated annealing, Iterated Local Search ,Simulated Quenching เป็นต้น เมตาฮิวริสติกอาจเกิดจากการรวมหลากหลายเทคนิคเพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในคำตอบที่เป็นไปได้

Steven และ Tom (1994) ทำวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการเก็บขนวัตถุซึ่งเป็นปัญหาที่มีเป้าหมายวิ่งเก็บขนวัตถุให้ได้มากที่สุดในหนึ่งเที่ยวซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกว่าทัวร์ เก็บขนวัตถุจากจุด (Node) ซึ่งกระจายอยู่ทั่วไปในพื้นที่ที่ระบุแต่ละจุดจะมีน้ำหนักหรือปริมาตรของวัตถุที่จะต้องเก็บต่างกัน ข้อจำกัดของปัญหาประเภทนี้คือ เวลาและความจุของรถที่วิ่งในแต่ละทัวร์ งานวิจัยนี้ได้ใช้ฮิวริสติกในการจัดเส้นทางและทัวร์ ซึ่งผู้ทำการวิจัยค้นพบว่า เมื่อทำการจัดเส้นทางและทัวร์ด้วยวิธีฮิวริสติกมีข้อดีสามประการคือ 1) ปัญหานั้นมีคำตอบที่เป็นไปได้อย่างน้อยหนึ่งคำตอบวิธีฮิวริสติกจะค้นพบได้อย่างแน่นอน 2) วิธีฮิวริสติกจะให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดหรือไม่ก็เป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเป็นอย่างมากได้ 3) เป็นวิธีที่แก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้ด้วยการใช้เวลาในการคำนวณน้อย

Clarke,G. และ Wright ,J. (1964) ทำการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีหลายขนาด โดยส่งสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการทางฮิวริสติกจัดเรียงลำดับของค่าประหยัด (Saving) และเชื่อมเส้นทางต่างๆเข้าด้วยกันทำให้ทราบจำนวนรถบรรทุกที่ต้องการใช้และปริมาณสินค้าในแต่ละคัน

Matin IV, E. (1998) เสนอแนวทางของการปรับปรุงประสิทธิภาพของการกระจายสินค้าประเภทเบอร์เกอรี่โดยมีข้อกำหนดคือ ช่วงเวลาในการส่งสินค้า ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการสร้างเส้นทางในการเดินรถโดยใช้ระยะเวลาเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และใช้เทคนิค Nearest-neighbor heuristics โดยหาระยะเวลาในการเดินทางระหว่างลูกค้าจากข้อมูลระยะทางในการเดินทางและความเร็วเฉลี่ยด้วยการสร้างตารางความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางการเดินทางและเวลาเดินทางรถ และหาเวลาในการนำสินค้าลงด้วยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ของจำนวนสินค้าและเวลาที่ใช้ในการนำสินค้าลงจากรถ

Christophides,N. และ Eilson,S. (1969) เสนอวิธีปรับปรุงเส้นทาง ภายหลังจากได้เส้นทางเบื้องต้น ผู้วิจัยได้เสนอการปรับปรุงเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางเพื่อให้ได้ระยะทางใหม่ที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่าค่าเดิม โดยวีการเริ่มต้นจากการสมมติเส้นทางเริ่มต้นขึ้นมาแล้วค่อยปรับปรุงจนกระทั่งได้เส้นทางที่ดีที่สุด

จากการศึกษาและผลงานวิจัยข้างต้น การใช้วิธีฮิวริสติก ด้วยวิธีต่างๆ สามารถที่จะแก้ไขปัญหาในการเลือกจุดกระจายสินค้าและจัดเส้นทางการขนส่ง วิธีการต่างๆ ล้วนมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันและมีความเหมาะสมกับปัญหาในแต่ละแบบ ดังนั้น งานวิจัยจะเริ่มจากการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและจัด

เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะแบบหลายขั้น จากนั้นจึงนำเสนอวิธีฮิวริสติก พัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว และทดสอบด้วยข้อมูลจริงซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลพิกัดและปริมาณวัตถุดิบของแหล่งวัตถุดิบในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

2.5 Very Large Scale Neighborhood Search (VLSN)

Very Large Scale Neighborhood Search (VLSN) เป็นอัลกอริทึมค้นหาชนิดปรับปรุงคำตอบ (Improvement Algorithm) โดยค้นหาคำตอบจากกลุ่มคำตอบใกล้เคียง(Neighborhood) ขนาดใหญ่พิเศษ และใช้การวนรอบซ้ำเพื่อปรับปรุงคำตอบโดยรวม Ahuja และคณะ (2002) ได้แบ่ง VLSN ออกเป็น 3 กลุ่มตามรูปแบบการค้นหา ได้แก่ 1) วิธีตัวแปรเชิงลึก (Variable-Depth Method) 2) วิธีปรับปรุงด้วยการไหลของเครือข่าย (Network Flow Based Improvement Method) 3) วิธีจำกัดการค้นหาในช่วงเวลาที่คำนวณได้ (Polynomial Time Problem) ผู้วิจัยจะกล่าวถึง 3 วิธีการนี้โดยสรุปในหัวข้อ 2.11.1 2.11.2 และ 2.11.3

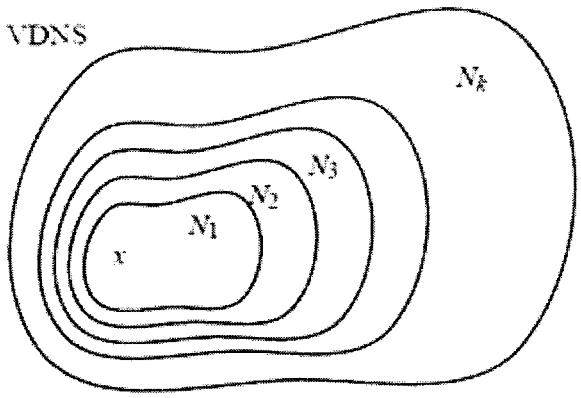
การค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากกลุ่มคำตอบใกล้เคียงขนาดใหญ่พิเศษ เริ่มด้วยคำตอบเริ่มต้นที่ไม่ขัดแย้งกับข้อจำกัดของปัญหา จากนั้นปรับปรุงคำตอบเริ่มต้นนั้นโดยอาศัยคำตอบใกล้เคียง จนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มคำตอบนั้น(Local Optimum) คุณภาพของคำตอบขึ้นอยู่กับคำตอบเริ่มต้น รวมถึงโครงสร้างของกลุ่มคำตอบใกล้เคียง ที่กำหนดในแต่ละรูปแบบของปัญหา

2.5.1 วิธีตัวแปรเชิงลึก (Variable-depth methods)

โดยทั่วไป คำตอบใกล้เคียงขนาดใหญ่มักจะนำไปสู่คำตอบที่มีคุณภาพสูงแต่ใช้เวลามากในการค้นหา ดังนั้นแนวคิดพื้นฐานคือการขยายขนาดของคำตอบใกล้เคียงทุกครั้งเมื่อการค้นหาติดอยู่ที่ local optimum

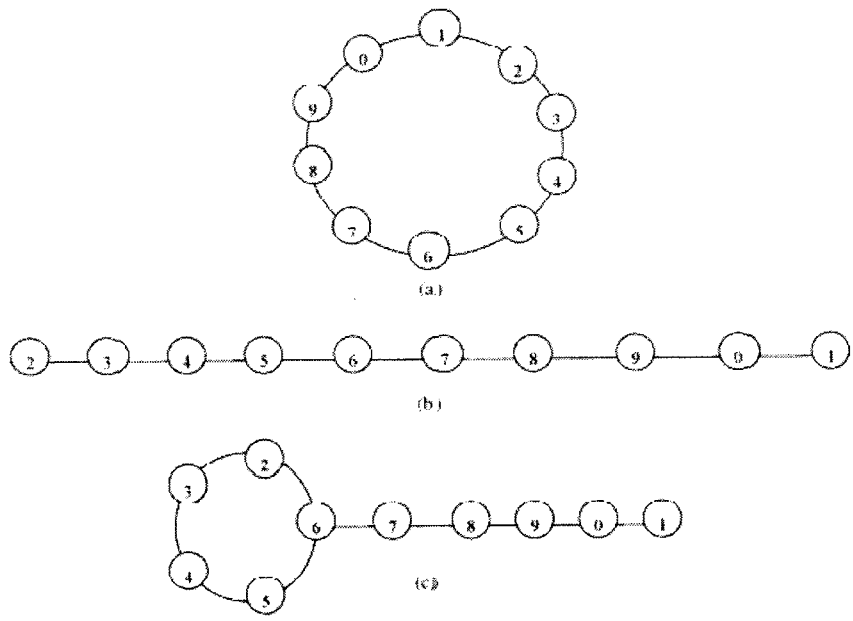
Variable-Dept Neighborhood Search (VDNS) จะทำการค้นหา กลุ่มของคำตอบที่ใหญ่ขึ้น จากคำตอบใกล้เคียง N1,N2,...,Nk ในรูปแบบวิธีฮิวริสติก ยกตัวอย่างเช่น 1-exchange neighborhood N1 ซึ่งใช้หนึ่งตัวแปรต่อตำแหน่งในการเปลี่ยน เช่นเดียวกัน 2-exchange neighborhood N2 จะสลับค่าของสองตัวแปรต่อตำแหน่ง โดยปกติ k-exchange neighborhood Nk จะเปลี่ยน k ตัวแปร

VDNS เป็นเทคนิคในการค้นหา โดยใช้วิธีค้นหาบางส่วนจาก k-exchange neighborhood ทำให้ลดเวลาในการค้นหา neighborhood ได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 เพื่อดูวิธีการทำงาน ของ variable-depth neighborhoods



ภาพที่ 2.5 แสดงโครงสร้างของ VDNS คำตอบของปัญหาปัจจุบันอยู่ที่เครื่องหมาย x วิธี VDNS โดยส่วนใหญ่จะหาคำตอบใกล้เคียงแบบเชิงลึก (Variable-Dept)

ตัวอย่างของแอปพลิเคชั่น ที่เป็น VDNS คือ Lin-Kernighan(1973) heuristic สำหรับแก้ปัญหา TSP กล่าวโดยย่อ แนวความคิดของฮิวริสติก Lin-Kernighan นั้นคือการแทนที่ edges จำนวนมากที่สุดเมื่อมีการย้ายจากทัวร์ S ไปยังทัวร์ T ในรอบการทำงานที่เป็นเลขคู่ของอัลกอริทึม edge จะถูกแทรกเข้าไปใน Hamiltonian path ขณะที่รอบการทำงานที่เป็นเลขคี่นั้น edge จะถูกลบออกไปเพื่อให้ Hamiltonian path คงอยู่ และในแต่ละ Halmiltonian path นั้นจะมีการสร้าง cycle ขึ้นมาเพื่อทำการรวม 2 จุดขอบเข้าด้วยกัน แสดงดังภาพที่ 2.6

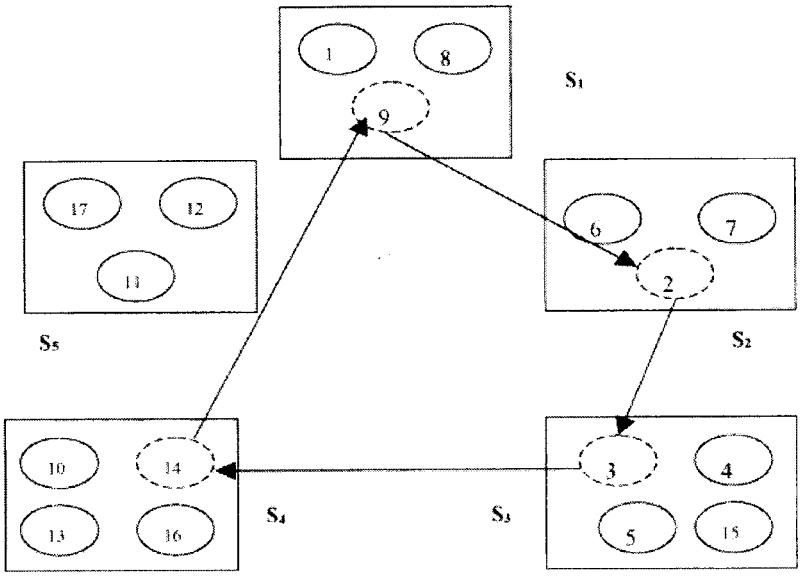


ภาพที่ 2.6 แสดงอัลกอลิทึมของ Lin-Kernigan (a) ทัวร์ขนาด 10 โหนด (b) Harmiltonian path (c) stem and cycle

ทางเลือกสำหรับ edge ในการเพิ่มเข้าไปใน Hamiltonian path คือการทำแบบละโมบ(greedy way) ทำให้เพิ่มโอกาสที่จะพบคำตอบของ objective function มากยิ่งขึ้น อัลกอริทึม Lin-Kernighan จะสิ้นสุดเมื่อไม่สามารถสร้างทัวร์ที่ดีขึ้นได้ ความคิดพื้นฐานของ VDNS ฮิวริสติคนั้นคือการสร้างลำดับของการย้ายภายใน และแช่แข็งทุกวัตถุที่เกี่ยวข้องกับการย้าย เพื่อป้องกันการค้นหาจาก cycle โดย VDNS จะหยุดเมื่อไม่สามารถทำการย้ายภายในได้ต่อไปและจะคืนค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ค้นพบออกมา

2.5.2 วิธีปรับปรุงด้วยการไหลของเครือข่าย (Network Flow Based Improvement Method)

รูปแบบของอัลกอริทึมในการปรับปรุงคำตอบนี้ ใช้อัลกอริทึม network-flow หลากหลายแบบในการค้นหาจากคำตอบที่ใกล้เคียง ในที่นี้ผู้วิจัยจะขอกล่าวถึงวิธีการในรูปแบบของ Ahuja ซึ่งคำตอบใกล้เคียงถูกกำหนดในรูปแบบของ cyclic exchange แสดงดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.7 แสดงวิธีการ cyclic exchange

การย้ายเส้นทางใน cycle ของคำตอบใกล้เคียงประกอบด้วย ลำดับของสมาชิกที่จะย้ายในกลุ่มของสับเซ็ต Thomson(1988) แสดงวิธีการหาคำตอบใกล้เคียงที่ช่วยปรับปรุงในการทำ cyclic exchange โดยการค้นหา cycle ที่มีค่าเป็นลบในรูปแบบของ improvement graph การหา cycle จากกลุ่มคำตอบที่ไม่ต่อเนื่องที่มีค่าเป็นลบ ใน improvement graph นับเป็นปัญหา NP-hard แต่เป็นฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพในการค้นหา Thompson และ Psarafitis(1993) Gendreau et al. (1998) ประยุกต์ใช้กลุ่มคำตอบแบบ cycle เพื่อแก้ปัญหา VRP Ahuja และคณะ(1999) ใช้ cyclic exchange แก้ปัญหา capacitated minimum spanning three Sombat(2006) นำ VLSN ไปใช้แก้ปัญหาจัดเส้นทางการส่งพัสดุและพบว่าวิธีการ VLSN สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

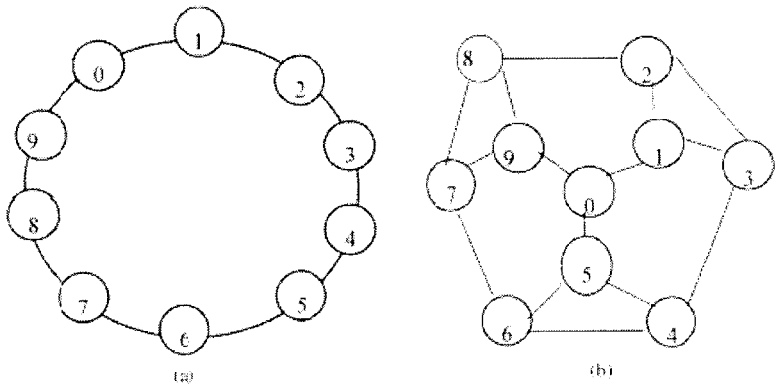
2.5.3 วิธีจำกัดการค้นหาในช่วงเวลาที่คำนวณได้ (Polynomial Time Problem)

ปัญหา NP-hard ส่วนใหญ่สามารถแก้ปัญหาได้ในเวลา polynomial time หรือเพิ่ม

เงื่อนไขบางอย่างให้กับปัญหาเริ่มต้น การเพิ่มเงื่อนไขพิเศษเหล่านี้เข้าไปในคำตอบใกล้เคียงนั้น ทำให้สามารถค้นหา คำตอบจากปัญหาใกล้เคียงขนาดใหญ่แบบเอ็กโปเนนเชียลได้

Ahuja และคณะ(2002) ได้ศึกษาถึงวิธีการเบื้องต้นสำหรับการปรับปรุงคำตอบเพื่อจำกัดปัญหา ให้อยู่ในรูปแบบวิธีของ VLSN โดยในแต่ละคำตอบปัจจุบันของปัญหา x ให้โครงสร้างคำตอบที่ดีของปัญหาที่สามารถแก้ไขได้ในเวลา polynomial time โครงสร้างของคำตอบนั้นให้ผลเฉลยได้และพบคำตอบใหม่ แม้ว่าต้องใช้ความพยายามมากขึ้น แต่การพัฒนาอัลกอริทึมดังกล่าวไม่ได้ง่ายทุกครั้งที่จะเปลี่ยนคำตอบ ให้อยู่ในรูปแบบโครงสร้างที่ดีได้

กราฟของ Halin เป็นกราฟที่สร้างขึ้นจากต้นไม้ที่ไม่มีโหนดใดๆ ที่มีดีกรีขนาด 2 ในระนาบการรวมกันของลีฟโหนดในรูปแบบ cycle ทำให้กราฟผลลัพธ์เป็นแบบเรียบ (planar) แสดงดังภาพที่ 2.8 จำนวนปัญหาของ NP-hard สามารถแก้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้เวลาในช่วงที่ยอมรับได้ (linear time) เมื่อจำกัดโครงสร้างของกราฟ Halin ยกตัวอย่างเช่น Cornuejols et al.(1983) ได้นำเสนออัลกอริทึมแบบลินเนียร์ไทม์ สำหรับ TSP บนกราฟ Halin Phillip และคณะ(1998), นำวิธีเดียวกันมาใช้แก้ปัญหาคอขวดของ TSP



ภาพที่ 2.8 กราฟของ Halin (a) ทัวร์ขนาด 10 โหนด (b) Hanlin extension

Brueggemann และ Hurink (2005) เสนอคำตอบใกล้เคียงสำหรับปัญหา single machine โดยการคลายข้อจำกัดบางประการให้สามารถแก้ปัญหาได้ในเวลา Polynomial time โดยใช้กฎ shortest processing time first

VLSN ในปี 2006 สมบัติ สินธุเชาวน์ ได้ระบุถึงแนวทางการแก้ปัญหาทางด้านพัสดุคงคลังภายใต้หลักการ GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE หรือ GRASP มาประยุกต์ใช้ และพบว่าแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นไปได้ประกอบด้วยกันคือ 1) ควรนำเอาหลักการแก้ปัญหาแบบสามัญสำนึก หรือ ฮิวริสติก (HEURISTIC) มาใช้ในกระบวนการสร้างและทดสอบระบบ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีจะประกอบด้วย วิธีการเป็นขั้นๆ และมีส่วนที่ต้องทำแบบวนซ้ำ ซึ่งในที่นี้คือขั้นตอน GRASP และ 2) ควรประยุกต์ใช้หลักการอัลกอริทึ่ม (ALGORITHM) หรือกระบวนการแก้ปัญหาที่สามารถเข้าใจได้ พร้อมทั้งมีลำดับขั้นตอนหรือวิธีการในการแก้ไขปัญหาใดปัญหาหนึ่งอย่างชัดเจน รวมถึงสะท้อนผลลัพธ์ที่ว่าเมื่อนำเข้าอะไร แล้วจะต้องได้ผลลัพธ์เช่นไร

สมบัติ สินธุเชาวน์ ระบุว่า ปัญหาทางด้านพัสดุคงคลัง นับเป็นหนึ่งในปัญหาที่ยากต่อการแก้ไขอย่างเหมาะสม และแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ที่พอมีความเป็นไปได้ประกอบด้วย การประยุกต์เอาหลักการแก้ปัญหาแบบสามัญสำนึกมาใช้ ตลอดจนการประยุกต์เอาแนวทางแก้ไขปัญหาแบบอัลกอลิที่มที่ได้ดำเนินการปรับปรุงหรือเรียกอีกชื่อหนึ่งคือ VERY LARGE SCALE NEIGHBORHOOD (VLSN) แล้วมาใช้กับการแก้ไขปัญหาพัสดุคงคลังดังกล่าว

ในปี 2003 HOONG CHUIN LAI ได้นำเสนอแนวคิดในการปัญหาโดยการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ (OPTIMIZATION PROBLEM) โดยผ่านทางการค้นหาแบบทาบู (TABU SEARCH FRAMEWORK: TSF) ซึ่งเป็นการค้นหาข้อมูลในคอมพิวเตอร์แบบวิธีโคจรตามเส้นกราฟ และนำไปสู่แนวคิด C++ OBJECT-ORIENTED SOFTWARE FRAMEWORK

MEI-ZI-LEE ได้เสนอการแก้ปัญหาโดยการหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่เป็นไปได้ (OPTIMIZATION PROBLEM) ผ่านการกระตุ้นด้วยกลวิธี VERY LARGE SCALE NEIGHBORHOOD (VLSN) และการสร้างและปรับปรุงแก้ไขกราฟ โดยระบุว่าวิธี VLSN ที่ผ่านการกระตุ้นสามารถแก้ไขข้อจำกัดต่างๆของ WEAPON TARGET ASSIGNMENT หรือ WTA ได้ ด้วยจำนวนของ เป้าหมาย (TARGET) คือ 100 และ WEAPON คือจำนวน

บทที่ 3
ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

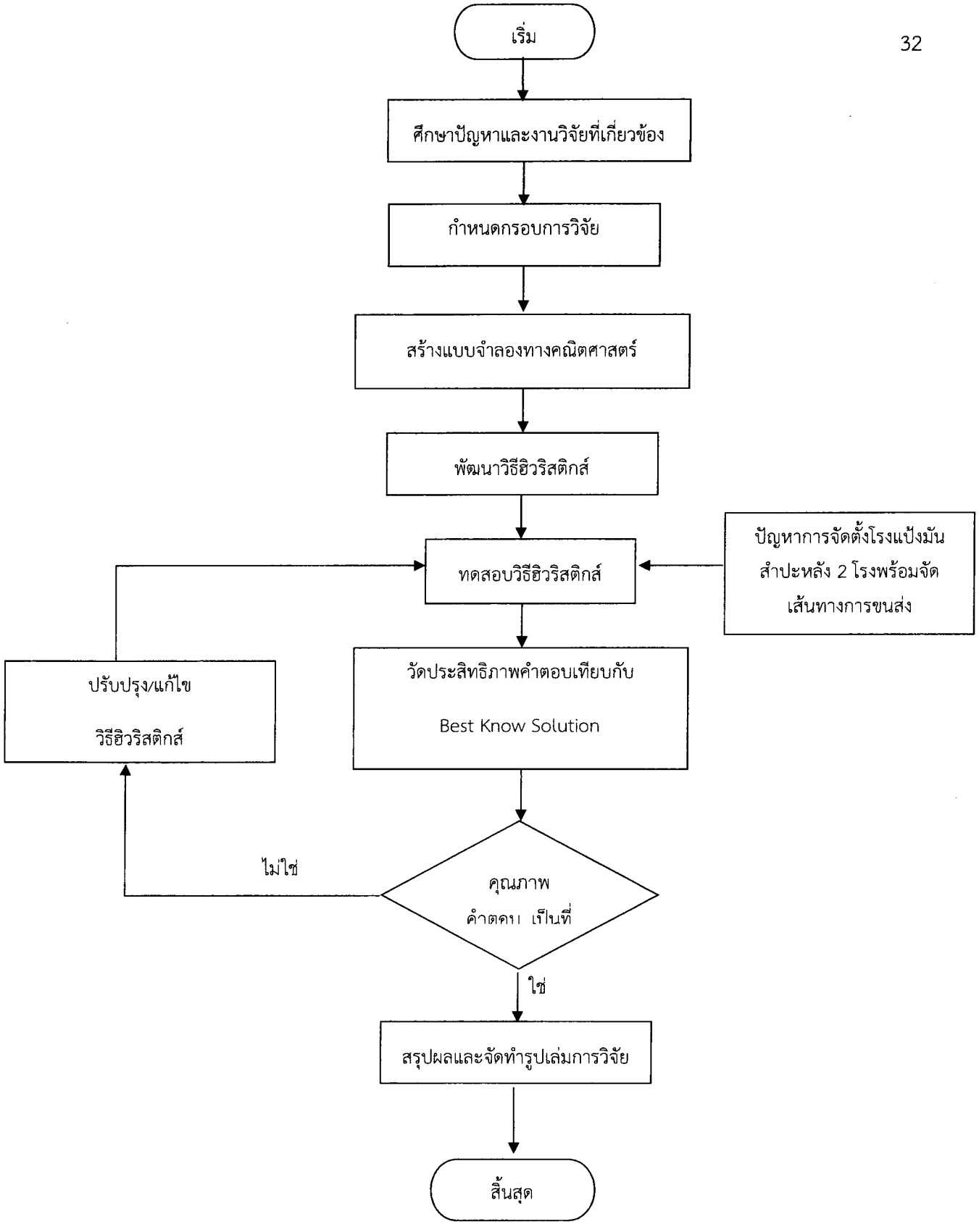
สำหรับบทที่ 3 นี้ ผู้วิจัยจะกล่าวถึงขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยได้พัฒนาวิธีการเชิงฮิวริสติกส์ สำหรับแก้ไขปัญหาการจัดตั้งโรงแป้งมันสำปะหลังจำนวน 2 โรงพร้อมการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านปริมาณการผลิตเข้ามาเกี่ยวข้อง ขั้นตอนแผนการดำเนินงานโดยรวมของการพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติกส์ที่ออกแบบแสดงได้ดังภาพที่ 3.1โดยผู้วิจัยได้ออกแบบขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยเพื่อแก้ไขปัญหา ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนเอกสารงานวิจัยบทความและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งโรงงานแบบหลายแห่ง(P-Median) และจัดเส้นทางการขนส่ง(VRP)การจัดเส้นทายานพาหนะแบบ MDVRPวิธีเชิงฮิวริสติกส์(Heueristic Algorithm)โดยรวมรายละเอียดไว้ในบทที่ 2

3.2 กำหนดกรอบการวิจัย

หลังจากผู้วิจัยได้ทบทวนเอกสาร บทความและทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยในหัวข้อ 3.1 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้กำหนดสถานะของปัญหาที่จะทำการศึกษา กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย และสมมติฐานการวิจัย ดังรายละเอียดที่ปรากฏในบทที่ 1



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนแผนการการดำเนินงานวิจัย

3.3ข้อมูลสำคัญของกรณีศึกษา

ข้อมูลของกรณีศึกษาการจัดตั้งโรงแป้งมันสำปะหลังจำนวน 2 โรงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พร้อมทั้งจัดเส้นทางการขนส่ง จำแนกประเภทข้อมูลออกเป็นสองส่วนคือ(1) ข้อมูลด้านกำลังการผลิตของแต่ละลานมันสำปะหลัง (2) ข้อมูลเกี่ยวกับการขนส่งวัตถุดิบ

ลานมันสำปะหลังในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ใช้ในกรณีศึกษานี้ มีจำนวนทั้งสิ้น 261 ลานมันสำปะหลัง โดยแต่ละลานมันสำปะหลังจะมีสถานที่ตั้งกระจายกันออกไปในแต่ละภูมิภาคต่างๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีกำลังการผลิตและระยะทางระหว่างลานมันสำปะหลังดังแสดงในตารางที่ 3.1และ 3.2

ตารางที่ 3.1 กำลังการผลิตมันสำปะหลังต่อวัน

ลานมันที่	กิโลกรัม
1	1774
2	3226
3	16129
4	323
5	204129
6	145161
7	323
8	9677
9	6452
10	1613
11	120968
12	1613
13	12903
14	67742
15	39097
16	300000
17	52903
...	...
261	1613

ตารางที่ 3.2 ระยะทางระหว่างลานมัน (กิโลเมตร)

ลานที่	1	2	3	4	5	6	7	8	...	261
1	0.00	92.37	111.16	49.73	34.40	111.31	114.69	47.11	...	506.06
2	92.37	0.00	19.50	105.83	110.07	105.60	94.72	107.96	...	570.19
3	111.16	19.50	0.00	126.05	141.78	76.68	55.81	165.40	...	541.28
4	49.73	105.83	126.05	0.00	11.73	124.33	144.02	97.16	...	468.28
5	34.40	110.07	141.78	11.73	0.00	129.58	149.27	83.46	...	472.44
6	111.31	105.60	76.68	124.33	129.58	0.00	22.50	165.58	...	464.60
7	114.69	94.72	55.81	144.02	149.27	22.50	0.00	168.95	...	487.09
8	47.11	107.96	165.40	97.16	83.46	165.58	168.95	0.00	...	547.75
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
261	506.07	570.20	541.28	468.28	472.44	464.60	487.10	547.76	...	0.00

สำหรับข้อมูลด้านการขนส่งจะถือว่าในการขนส่งมันสำปะหลังจะใช้รถบรรทุกพ่วงขนาด 10 ล้อ โดยสำหรับรถบรรทุกมันสำปะหลังจะมีขนาดกระบะบรรทุกยาว 5.5 เมตร กว้าง 2.3 เมตร และสูง 2.5 เมตร มีขนาดความจุ 30 ตันมันสำปะหลัง ซึ่งรถทุกคันจะใช้น้ำมันดีเซลและมีค่าใช้จ่ายหลักๆ คือ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษายานพาหนะ ค่าจ้างพนักงานขับรถ และต้นทุนยานพาหนะ ซึ่งมีรายละเอียด ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

รายการ	**ค่าใช้จ่าย**
1.ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	25.59 บาท/ลิตร (เว็ปไซต์ปตท. 01 ก.ค. 2558)
อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงรถบรรทุก 18 ล้อ	4กม./ลิตร

ค่าใช้จ่ายในการผลิตแป้งมันสำปะหลังจะคำนวณโดย กำลังการผลิต 1,200 ตันของมันสำปะหลังดิบจะสามารถผลิต แป้งมันสำปะหลังได้ 300 ตันแป้งมันสำปะหลังต่อวัน ซึ่งค่าใช้จ่ายดังกล่าวจะคิดเฉพาะค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างโรงงาน และค่าใช้จ่ายรถยนต์ตัวแปรด้านวัตถุดิบและอื่นๆ โดยกำหนดให้โรงงานมีอายุ 30 ปี ซึ่งจะทำให้ต้นทุนด้านการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานของโรงงานแป้งมันสำปะหลัง 1 โรงงานพิจารณา 30 ปี (Fix cost)

องค์ประกอบของต้นทุนคงที่	มูลค่า(บาท)	ค่าใช้จ่ายต่อวัน(บาท)
1. เงินลงทุนเริ่มต้นในการตั้งโรงงาน	600,000,000	1,643.535
2. ค่ารถบรรทุก 18 ล้อจำนวน 34 คัน	157,500,000.00	21,575.34
รวม		103,767.12

3.4การรวบรวมข้อมูล

ส่วนข้อมูลแหล่งวัตถุดิบสำหรับการผลิตแป้งมันสำปะหลัง ข้อมูลเส้นทางการขนส่งวัตถุดิบถึงโรงงาน และเส้นทางจากผลผลิตไปถึงลูกค้า ข้อมูลของข้อจำกัดด้านต่างๆ เช่น แหล่งน้ำธรรมชาติ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง พื้นที่เพาะปลูก เป็นต้นโดยเก็บข้อมูลจากส่วนราชการที่เกี่ยวข้องและจากการออกสำรวจพื้นที่ดังแสดงในตารางที่3.5และ3.6

ตารางที่ 3.5 จำนวนโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับ	จังหวัด	จำนวนโรงงาน
1	นครราชสีมา	32
2	ชัยภูมิ	6
3	ขอนแก่น	6
4	กาฬสินธุ์	11
5	อุบลราชธานี	3
6	ร้อยเอ็ด	4

ตารางที่ 3.5 จำนวนโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ต่อ)

ลำดับ	จังหวัด	จำนวนโรงงาน
7	มุกดาหาร	2
8	มหาสารคาม	2
9	บุรีรัมย์	2
10	ศรีสะเกษ	6
11	อำนาจเจริญ	2
12	หนองบัวลำภู	2
13	อุดรธานี	4
14	หนองคาย	1
15	สุรินทร์	2
16	เลย	1
17	สกลนคร	2
18	นครพนม	-
19	ยโสธร	-
	รวม	88

ตารางที่ 3.6จำนวนโรงงานลานมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลำดับ	จังหวัด	จำนวนโรงงาน
1	นครราชสีมา	434
2	ชัยภูมิ	80
3	ขอนแก่น	132
4	กาฬสินธุ์	92
5	อุบลราชธานี	61
6	ร้อยเอ็ด	13
7	มุกดาหาร	7
8	มหาสารคาม	49
9	บุรีรัมย์	126
10	ศรีสะเกษ	73
11	อำนาจเจริญ	15
12	หนองบัวลำภู	27
13	อุดรธานี	162
14	หนองคาย	71
15	สุรินทร์	31
16	เลย	34
17	สกลนคร	17
18	นครพนม	3
19	ยโสธร	19
	รวม	1,446

3.5สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ปัญหาการจัดหาที่ตั้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง 2 โรงแป้งพร้อมจัดเส้นทางนั้น มีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือค่าใช้จ่ายรวมของการจัดตั้งโรงแป้งมันสำปะหลังพร้อมค่าขนส่งต่อวันมีค่าน้อยที่สุด การกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ตัวแปรตัดสินใจ เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

D_j คือ เป็นปริมาณมันที่มีอยู่ที่ลานมัน j(ตัน)

V คือ Set ของโหนดทั้งหมด

I คือ เป็น subset ของตำแหน่งที่จะเปิดเป็นโรงงานแป้งมันสำปะหลัง

J คือ เป็น subset ของลานมัน

K คือ เซ็ตของรถบรรทุก

C_{ij} คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากโหนดiไปยังโหนดj (บาท)

Q_k คือ ความจุของรถคันที่ k หรือเที่ยวที่ kมีหน่วยเป็น (ตันต่อเที่ยว)

O_i คือ ค่าใช้จ่ายคงที่(Fixed cost)ในการเปิดโรงแป้งมันสำปะหลังมี(บาทต่อโรง)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการเปิดโรงงานแป้งมันสำปะหลังที่ตำแหน่งหรือโหนดi} \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ารถคันที่ k เดินทางจากโหนดที่ iไปยังโหนดที่ j} \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

$$f_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้าโรงงานแป้งมันสำปะหลังi ส่งรถคันที่ k ไปรับมันที่ลานมัน j} \\ 0 & \text{กรณีอื่น ๆ} \end{cases}$$

d_{jk} คือ เป็นปริมาณมันที่รถคันที่ k (เที่ยวที่k) ไปรับที่ลานมัน j(ตัน)

สมการวัตถุประสงค์ (Objecive Function)

$$Minimize \sum_{i \in I} O_i y_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} \tag{3.1}$$

สมการขอบข่าย (Subjective Functions)

$$\sum_{i \in I \cup J} \sum_{k \in K} d_{jk} x_{ijk} \le D_j \qquad \forall \mathrm{j} \in \mathrm{J} \tag{3.2}$$

$$\sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in J} d_{jk} x_{ijk} \le Q_k \qquad \forall \mathrm{k} \in \mathrm{K} \tag{3.3}$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in k} d_{jk} f_{ijk} + D_i y_i = 1{,}200 y_i \qquad \forall \mathrm{i} \in \mathrm{I} \tag{3.4}$$

$$\sum_{i \in I \cup J} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_{jk} x_{ijk} + \sum_{i \in I} D_i y_i = 1200 \sum_{i \in I} y_i \tag{3.5}$$

$$D_i = \begin{cases} D_j & \text{ถ้า } y_i = 1 \\ 0 & \text{ถ้า } y_i = 0 \end{cases} \quad ,\forall \mathrm{i} \in \mathrm{I} \text{ และ } j \in J \text{ โดย } j = i \tag{3.6}$$

$$\sum_{i \in I} y_i = 2 \tag{3.7}$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I \cup J} x_{ijk} \ge 0 \qquad \forall \mathrm{j} \in \mathrm{J} \tag{3.8}$$

$$U_{ik} - U_{jk} + N x_{i,k} \le N - 1 \qquad \forall \mathrm{i, j} \in \mathrm{J, k} \in \mathrm{K} \tag{3.9}$$

$$y_i \in \{0,1\} \qquad \forall \mathrm{i} \in \mathrm{I} \tag{3.10}$$

$$\mathrm{X_{ijk}} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in V, K \in K \tag{3.11}$$

$$f_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, j \in J, k \in K \tag{3.12}$$

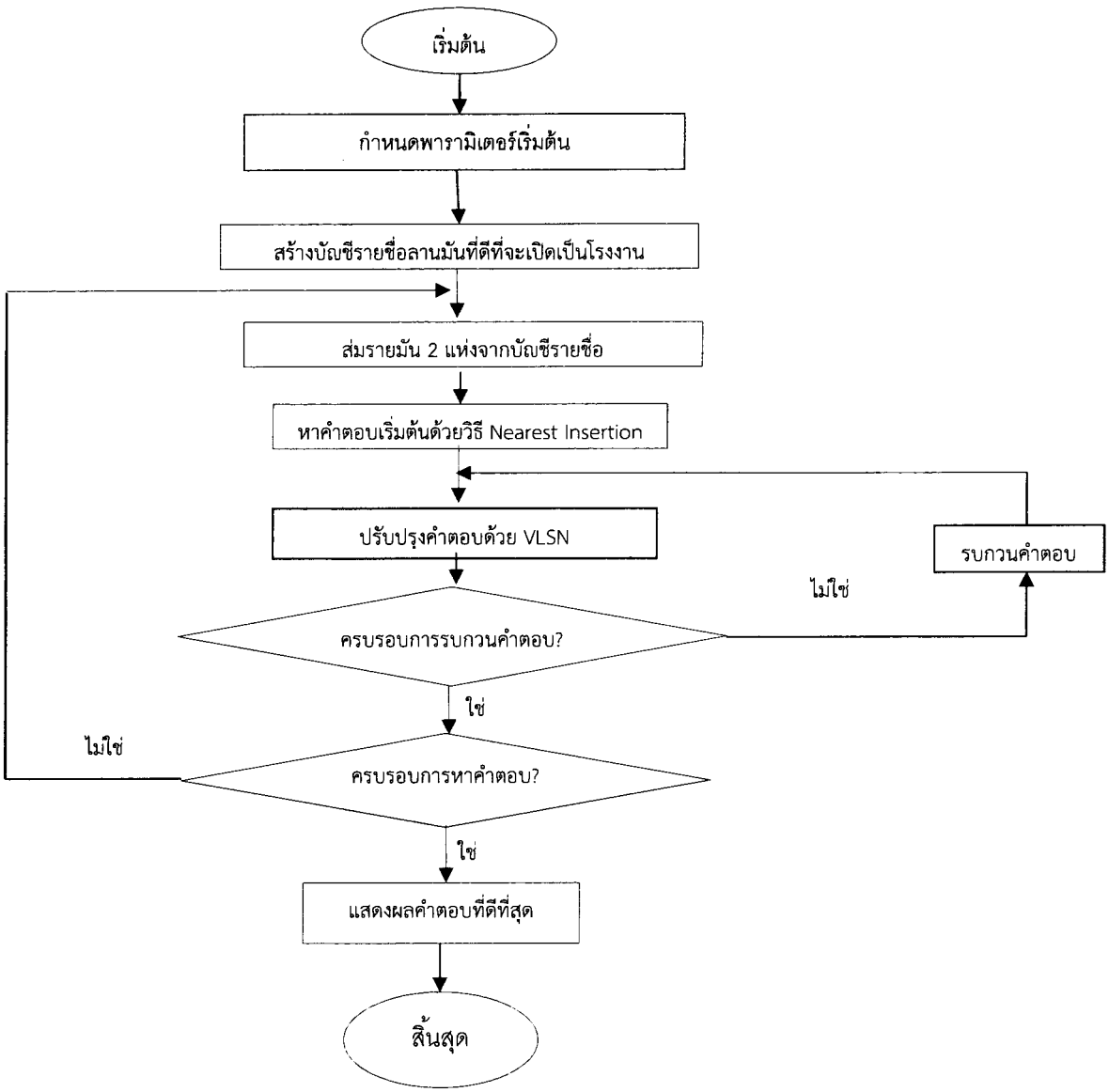
$$d_{jk} \ge 0 \qquad \forall j \in J, k \in K \tag{3.13}$$

$$U_{ik} \ge 0 \qquad \forall j \in J, k \in K \tag{3.14}$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (3.1) คือ การหาค่าใช้จ่ายรวมของการเปิดโรงงานมันสำปะหลังและค่าใช้จ่ายรวมของการขนส่งที่รวมกันน้อยที่สุด
ข้อกำหนดที่ (3.2)ปริมาณมันที่รถทุกคันไปรับที่ลานมัน j ต้องไม่เกินปริมาณมันที่ลานมัน j มีอยู่
ข้อกำหนดที่(3.3) ปริมาณมันที่รถคันที่ k ไปรับที่ลานมันต่างๆ ต้องไม่เกินความจุของรถคันที่ k
ข้อกำหนดที่(3.4)ปริมาณมันที่โรงแป้ง i ส่งรถไปรับที่ลานมันต่างๆ รวมกับปริมาณมันที่มีอยู่ในโรงแป้งจะต้องเท่ากับความต้องการของโรงแป้ง(1200 ต่อ/วัน)
ข้อกำหนดที่(3.5)ปริมาณมันที่รถทุกคันไปรับที่ลานมันต่างๆ รวมกับปริมาณมันที่มีอยู่ในโรงแป้งที่เปิดจะต้องเท่ากับ 2,400 ตัน
ข้อกำหนดที่(3.6)โรงแป้งที่เปิดมีปริมาณมันเท่ากับปริมาณมันของลานมัน ณ ตำแหน่งที่เปิดโรงงาน
ข้อกำหนดที่(3.7)เป็นการกำหนดเปิดโรงแป้ง 2 โรง
ข้อกำหนดที่(3.8)ลานมันอาจไม่มีรถมารับมันก็ได้และไม่มีข้อจำกัดจำนวนรถหรือจำนวนเที่ยวที่รับมันที่ลานมัน
ข้อกำหนดที่ (3.9)เป็นการป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour)
ข้อกำหนดที่ (3.9), (3.10)และ (3.12) เป็นการกำหนดตัวแปร binary
ข้อกำหนดที่ (3.10) เป็นการกำหนดให้ปริมาณมันว่าติดลบไม่ได้

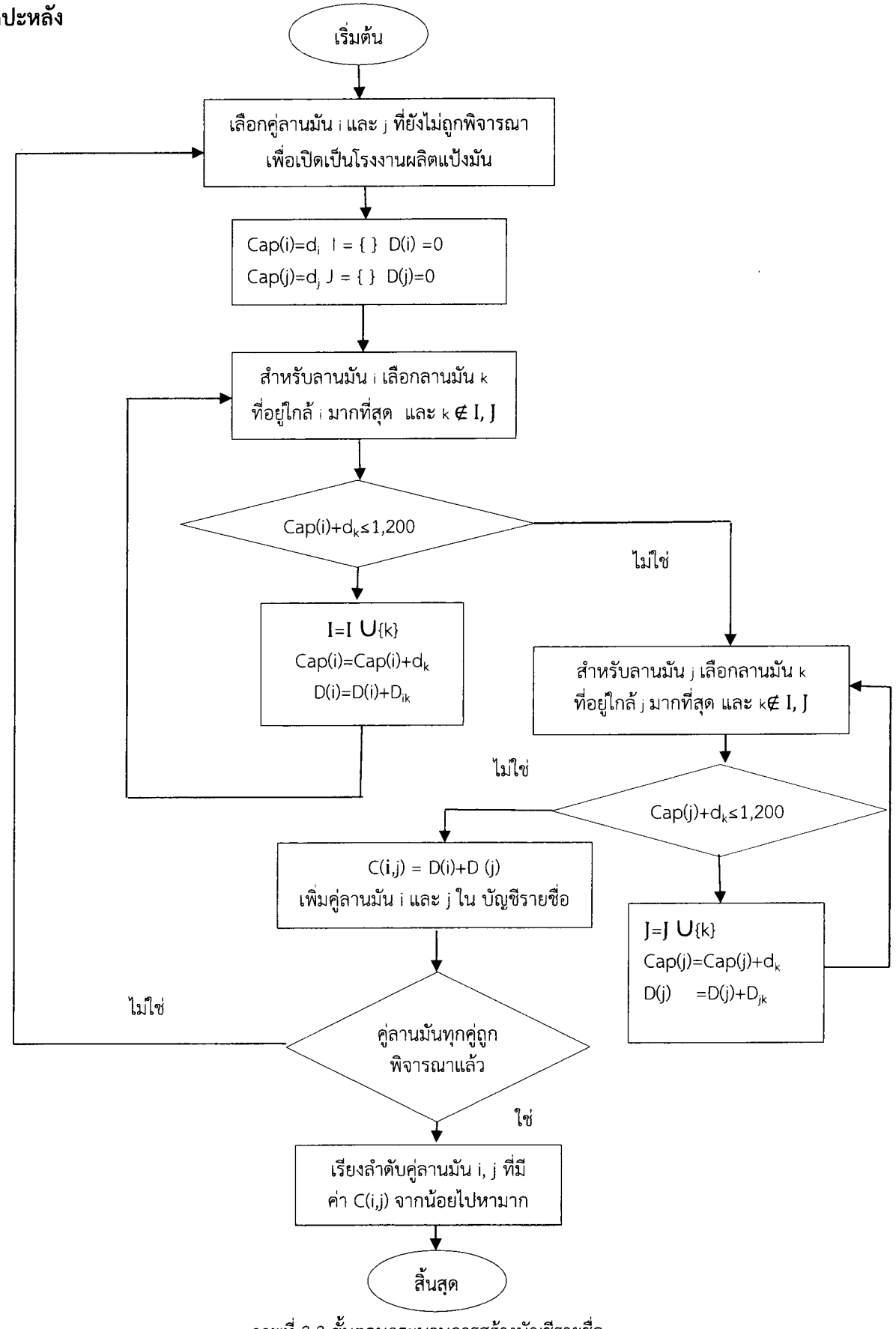
3.6การพัฒนาวิธีฮิวริสติกส์เพื่อหาสถานที่จัดตั้งโรงแป้งมันสำปะหลัง2 โรงพร้อมจัดเส้นทาง

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอวิธีการพัฒนาฮิวริสติกส์เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดตั้งโรงแป้งมันสำปะหลังจำนวน 2 โรงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือพร้อมจัดลำดับเส้นทางการขนส่งโดยขั้นตอนวิธีของกระบวนการจัดตั้งโรงแป้งโดยวิธีการสร้างบัญชีจากวิธีการGRASP เพื่อนำมาสร้างคำตอบเริ่มต้นการจัดเส้นทางผู้วิจัยได้เลือกใช้ VLSN ในส่วนของการปรับปรุงคำตอบมีขั้นตอนรายละเอียดดังแสดงในภาพ 3.2



ภาพที่ 3.2 วิธีฮิวริสติกส์สำหรับแก้ปัญหาการจัดตั้งโรงแป้งมันสำปะหลังจำนวน 2 โรง พร้อมจัดเส้นทางการขนส่ง

3.6.1 การสร้างบัญชีรายชื่อของกลุ่มลานมันที่ถูกคัดเลือกให้เป็นโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนกระบวนการสร้างบัญชีรายชื่อ

หมายเหตุ : Cap(i) เป็นความจุของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง(ลานมัน) i

D(i) เป็นระยะทางรวมจากลานมันต่าง ๆที่มอบหมายให้ลานมัน i มายังลานมัน j

d_i เป็นปริมาณมันสำปะหลังที่มีอยู่ลานมันที่ i

C(i, j) เป็นระยะทางรวมจากลานมันต่าง ๆที่มอบหมายให้ลานมัน i และ j มายังลานมัน i และ j

D_{ik} เป็นระยะทางจากลานมัน i ไปยังลานมัน k

I เป็นเซตของลานมันที่มอบหมายให้ลานมัน i

ในงานวิจัยนี้ ใช้วิธี GRASPหาลานมัน 2 ลานมันเพื่อจัดตั้งเป็นโรงแป้งมันสำปะหลังเพื่อที่จะนำมาสร้างเป็นบัญชีรายชื่อในการปรับปรุงคำตอบต่อไป โดยอาศัยข้อมูลระยะทางจากตารางที่ 3.2 และกำลังการผลิตในแต่ละลานมันจากตารางที่3.7โดยสร้างเป็นคู่ลำดับจากทุกลานมัน เพื่อนำมาสร้างบัญชีรายชื่อ สำหรับใช้ในการสุ่มสร้างคำตอบเริ่มต้น สามารถแสดงตัวอย่างดังตารางที่ 3.8 และ 3.9

ตารางที่ 3.7คู่ลำดับโรงแป้งมันสำปะหลังและลานมันสมาชิกของ 2 โรงแป้ง

ลำดับ	คู่ลำดับโรงแป้ง	ลานมันสมาชิกโรงแป้งที่ 1	ลานมันสมาชิกโรงแป้งที่ 2	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)
1	0,1	3,4,7,8,9,11,15,17,18,20,23,25,29,30, 31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,68, 72,73,75,78,79,80,86,118,119,145,146, 148,149,155,156,157,158,178,184,190, 208,209,210,211,212,213,214,215,216, 217,218,219,220,222,223,224,225,226	2,5,6,10,12,13,14,16,19,21,22,24,26,27,28,42,179, 180,181,182,183,185,186,187,221,227,228,229, 230,231	15790.96
2	0,2	3,4,7,8,9,10,11,15,17,20,23,25,26,27, 208,210,211,215,219,220,225,226,	1,5,6,12,13,14,16,18,19,21,22,24,28,29,30,31,32, 33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,68,74,76,77,78,79, 80,81,86,119,145,146,148,149,155,157,158,178, 179,180,181,182,183,184,185,186,187,188,189, 190,192,195,196,197,209,212,213,214,216,217, 218,221,222,223,224,227,228,229,230,231,241, 243,244,245,246,247,248	24191.01
3	0,3	7,8,9,10,11,13,15,20,21,23,24,25,26,27 ,28,210,211,219,220	1,2,4,5,6,12,14,16,17,18,19,22,29,30,31,32,33,34, 35,36,37,38,39,40,41,42,68,72,73,77,78,79,80,81, 86,145,148,157,158,178,179,180,181,182,183, 184,185,186,187,190,208,209,212,213,214,215,2 16,217,218,221,222,223,224,225,226,227,228,22 9,230,231,	13179.03

ลำดับ	คู่ลำดับโรงแป้ง	ลานมันสมาชิกโรงแป้งที่ 1	ลานมันสมาชิกโรงแป้งที่ 2	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)
.	. .	...	...	...
33,930	259, 260	0,2,5,6,7,8,10,19,20,23,24,25,26,29,30, 31,32,33,39,44,46,48,49,51,58,60,66, 72,74,75,76,77,79,80,81,84,88,89,91, 94,96,98,99,100,101,103,106,107,110, 111,112,117,118,120,123,124,125,126, 127,128,129,136,141,142,146,148,149, 151,153,154,155,158,159,160,179,180, 181,182,184,185,187,188,190,191,194, 195,197,198,200,201,202,203,205,206, 210,211,212,213,214,215,218,223,224, 226,227,228,229,232,233,234,235,236, 237,238,239,240,241,242,243,244,246, 247,248,249,250,251,252,253,258	0,2,5,6,7,8,10,19,20,23,24,25,26,29,30,31,32,33, 39,44,46,48,49,51,58,60,66,72,74,75,76,77,79,80, 81,84,88,89,91,94,96,98,99,100,101,103,106,107, 110,111,112,117,118,120,123,124,125,126,127,1 28,129,136,141,142,146,148,149,151,153,154,15 5,158,159,160,179,180,181,182,184,185,187,188, 190,191,194,195,197,198,200,201,202,203,205,2 06,210,211,212,213,214,215,218,223,224,226,22 7,228,229,232,233,234,235,236,237,238,239,240, 241,242,243,244,246,247,248,249,250,251,252,2 53,258	86413.77

คู่ลำดับโรงแป้ง ได้จากการเลือกลานมัน 2 จากทั้งหมด 261 ลานมัน เพื่อกำหนดเป็นโรงแป้งมันทีละคู่ลำดับจนครบทุกคู่ลำดับ ซึ่งจะได้ทั้งหมด 33,930 คู่ลำดับ จากนั้นหาลานมันที่เป็นสมาชิกโรงแป้งจากลานมันที่เหลือ และหาระยะทางรวมโดยวัดผลรวมจากระยะทางระหว่างลานมันและโรงแป้งที่ลานมันนั้นเป็นสมาชิก

ตารางที่ 3.8ตารางบัญชีรายชื่อที่ได้จากวิธีการ GRASPและเรียงลำดับจากรายจ่ายที่น้อยไปมาก

คู่ลำดับที่	Ranking
1	874
2	1751
3	327
4	336
5	1677
6	1267
7	618
8	557
...	....
33925	33789
33926	33853
33927	33864
33928	33843
33929	33859
33,930	33863

บัญชีรายชื่อที่สร้างขึ้นนั้น ใช้ข้อมูลระยะทางรวมจากตารางที่ 3.8เพื่อเรียงลำดับจากระยะทางรวมที่น้อยที่สุด ไปยังคู่ลำดับที่มีระยะทางรวมมากที่สุด

3.6.2 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution)

ในกระบวนการวนซ้ำเพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้น จะพิจารณาพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข การเลือกเส้นทาง และอัพเดตเส้นทางของลานมันในแต่ละโรงแป้ง เมื่อพบคำตอบที่ดีในแต่ละรอบการวนซ้ำ ซึ่งจะพิจารณาเลือก 2 โรงแป้งที่มีผลรวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุด

ผู้วิจัยใช้วิธี Greeedy Randomized Adaptive Search Procedure; GRASPซึ่งมีการทำงานดังแสดงในภาพที่ 3.4 โดยการทำงานขั้นแรก คือการสุ่มจากบัญชีรายชื่อ เพื่อเลือกคู่ลำดับโรงแป้งที่จะมาจัดเส้นทาง จากนั้นผู้วิจัยใช้วิธีการสุ่มแบบ GRASP เพื่อสร้างเส้นทางเริ่มต้น (Initial Solution) จากคู่ลำดับที่ถูกเลือก ดังแสดงในตารางที่ 3.9และ 3.10

ProcedureGreedyRandomizedAlgorithm(Seed)

$S \leftarrow \emptyset;$

Initialize the candidate set : $C \leftarrow E;$

Evaluate the incremental cost $c(e)$ for all $e \in C;$

While$C \neq \emptyset do$

Build a list with the candidate elements having the smallest incremental costs;

Select an element s from the restricted candidate list at random;

Incorporate s into the solution: $S \leftarrow S \cup \{s\};$

Update the candidate set $C;$

Reevaluate the incremental cost $c(e)$ for all $e \in C;$

End;

Return$S;$

End.

ภาพที่ 3.4 รหัสเทียมของวิธี GRASP

ตารางที่ 3.9ตัวอย่างคู่ลำดับ โรงแป้งและสมาชิกของ โรงแป้งที่ถูกเลือกจากการสุ่ม

โรงแป้ง1	โรงแป้ง2	สมาชิกโรงแป้ง 1	สมาชิกโรงแป้ง 2
211	229	7,8,9,10,11,13,14,15,16,17,18,20,23,26,27,208,209,210,212,213,214,215,216,217,218,219,220	0,1,2,3,4,5,6,12,21,22,24,25,28,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,68,72,73,75,77,78,80,81,86,145,146,148,157,158,178,179,180,181,182,183,184,185,186,187,190,221,225,226,227,228,230,231,243,245,246,248

ตัวอย่างคู่ลำดับโรงแป้งที่ได้จากการสุ่ม โรงแป้งที่ 1 คือลานมันที่ 211โรงแป้งที่ 2 คือลานมันที่ 229โดยลำดับสมาชิกของ โรงแป้ง 1 และ โรงแป้ง 2 แยกจากกัน

ตารางที่3.10ตัวอย่างตารางเส้นทางเริ่มต้นจากคู่ลำดับโรงแป้งที่ถูกเลือก

โรงแป้ง 1	โรงแป้ง 2
211-208-210-219-220-211	229-230-5-229
211-220-27-26-211	229-5-229
211-215-214-213-212-218-217-216-209-	229-5-229
14-211	229-5-229
211-9-7-10-211	229-5-6-21-229
211-14-211	229-228-181-231-225-226-229
211-14-26-211	229-21-229
211-26-211	229-21-229
211-26-20-211	229-21-229
211-23-10-211	229-21-229
211-20-15-211	229-21-229
211-11-13-211	229-21-229
211-8-15-211	229-21-22-229
211-17-211	229-226-227-178-179-180-183-182-185-
211-17-211	186-42-229
211-17-211	229-22-229
211-17-211	229-22-229
211-17-211	229-22-1-229
211-17-211	229-1-2-24-229
211-17-211	229-3-4-229
211-17-211	229-0-25-229
211-17-211	229-4-229
211-17-211	229-4-229
211-17-19-15-211	229-4-229
211-18-211	229-4-229
211-18-211	229-4-229
211-18-211	229-4-25-229
211-18-16-211	229-42-187-190-36-40-39-38-32-31-33-29-

ตารางที่3.10ตัวอย่างตารางเส้นทางเริ่มต้นจากคู่ลำดับโรงแป้งที่ถูกเลือก(ต่อ)

โรงแป้ง1	โรงแป้ง2
211-15-211	37-229
211-15-211	229-25-229
211-15-211	229-25-24-229
211-15-211	229-24-229
211-15-211	229-24-229
211-15-211	229-24-229
211-15-211	229-24-229
211-15-211	229-24-229
211-15-13-211	229-24-229
211-16-13-211	229-24-28-229
211-10-211	229-28-12-229
211-10-211	229-41-37-34-248-246-245-243-75-73-30-
211-10-13-211	35-86-72-68-81-229
	229-12-221-229
	229-184-80-78-77-81-145-146-148-158-
	157-221-229

3.6.3 การปรับปรุงคำตอบ ด้วย VLSN และ Iterated Local Search

เมื่อได้คำตอบเริ่มต้นเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยนำคำตอบเหล่านั้นมาปรับปรุง ด้วยวิธีการ VLSN เพื่อหาชุดคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มคำตอบเริ่มต้น(Local Optimal) จากนั้นรบกวนคำตอบด้วยวิธี Iterated Local Search เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีกว่าเดิมรูปแบบการทำงานของ VLSN และ Iterated Local Searchแสดงได้ดังภาพที่ 3.5 และ 3.6

```
obtain an initial solution;
construct the improvement graph;
While there is a valid cycle in the improvement graph do
        update the current solution (i.e., partition of TSPs) along the cycle;
        update the improvement graph (re-construct the changed part);
end while
```

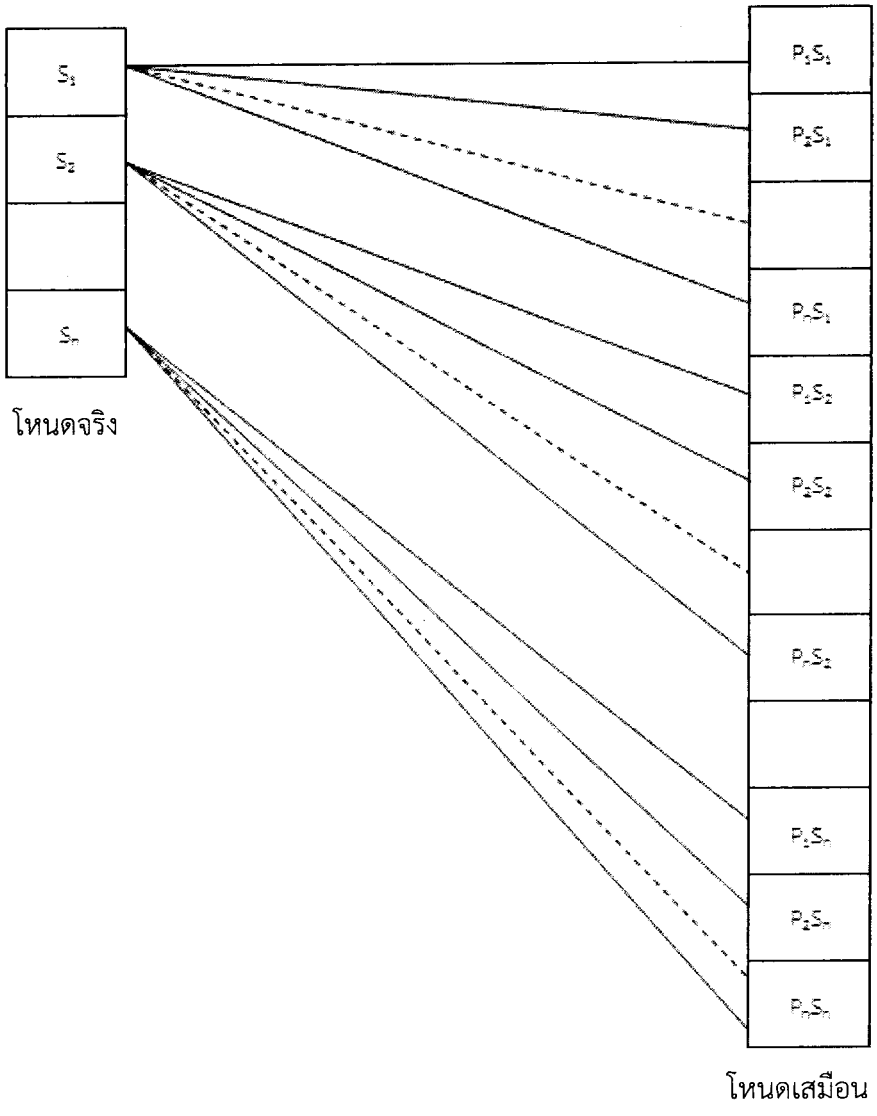
ภาพที่ 3.5 รหัสเทียมของวิธี VLSN

กระบวนการปรับปรุงคำตอบด้วยVLSNที่ผู้วิจัยนำมาใช้นั้นมีการทำงานแบบ Local Search คือวนหาคำตอบจากชุดคำตอบมีอยู่ ด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางเป็นวงกลม (Cyclic Exchange) โดยการสร้าง Improvement Graph G(S) และคำนวณหา arc cost ของการย้ายจาก i ไป j ของทุกสมาชิกเพื่อใช้คำนวณหา Cycle ในการปรับปรุงคำตอบ

```
Procedure iterated Local Search
S0= Generate Initial Solution
S* =Local Search (s0)
Repeat
        S'= Perturbation (s*,history)
        S*' = Local Search (s')
        S* = AcceptanceCriterion (s* , s*' ,history)
Until termination condition met
end
```

ภาพที่ 3.6 รหัสเทียมของวิธีการ IteratedLocalSearch

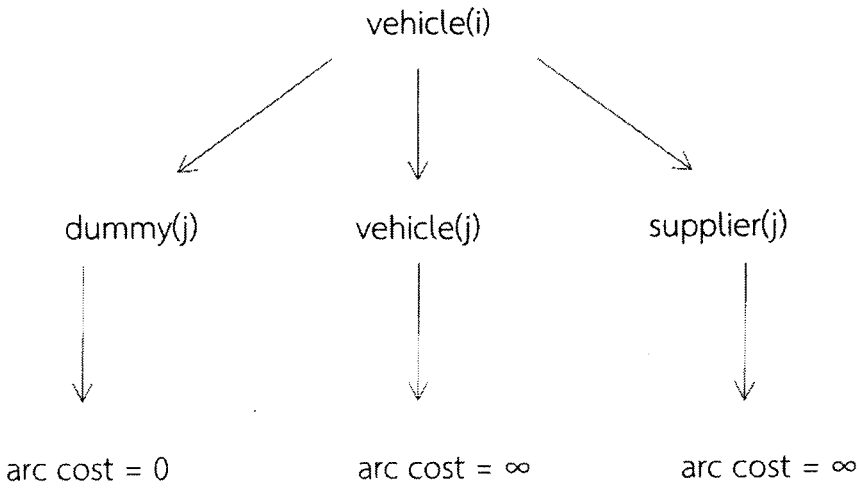
การคำนวณarccostในกรณีศึกษาปรับปรุงเส้นทางจาก 2 โรงแป้งนั้นจะใช้ โหนดเสมือนของลานมัน ที่สร้างขึ้นมาใหม่ดังภาพที่ 3.7โดยคำนึงถึงคำตอบที่เป็นไปได้ feasible solution ที่มีกำลังการผลิตไม่เกิน capacity ของรถบรรทุก30ตันดังตารางที่ 3.10 เนื่องจากข้อจำกัดด้าน capacity ของรถบรรทุก30 ตัน และ capacity ของโรงแป้ง1,200 ตัน ดังแสดงในภาพที่ 3.8, 3.9และ 3.10



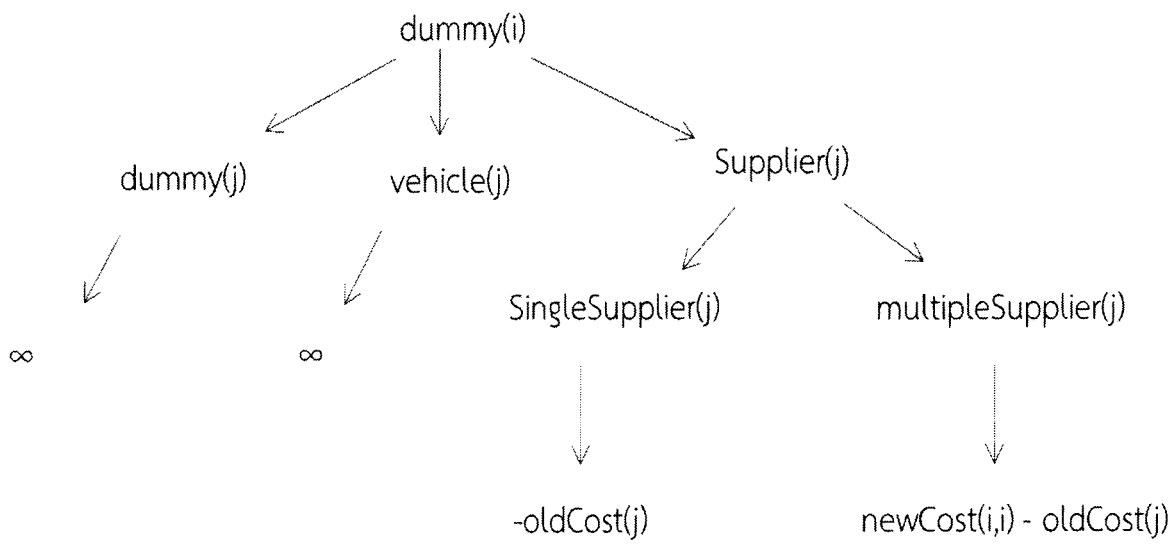
ภาพที่ 3.7การสร้างโหนดเสมือนจากโหนดที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการจัดเส้นทาง

ตารางที่ 3.11 ตัวอย่างโหนดเสมือนที่สร้างขึ้นจากการสร้างคำตอบเริ่มต้นเปรียบเทียบกับโหนดจริง

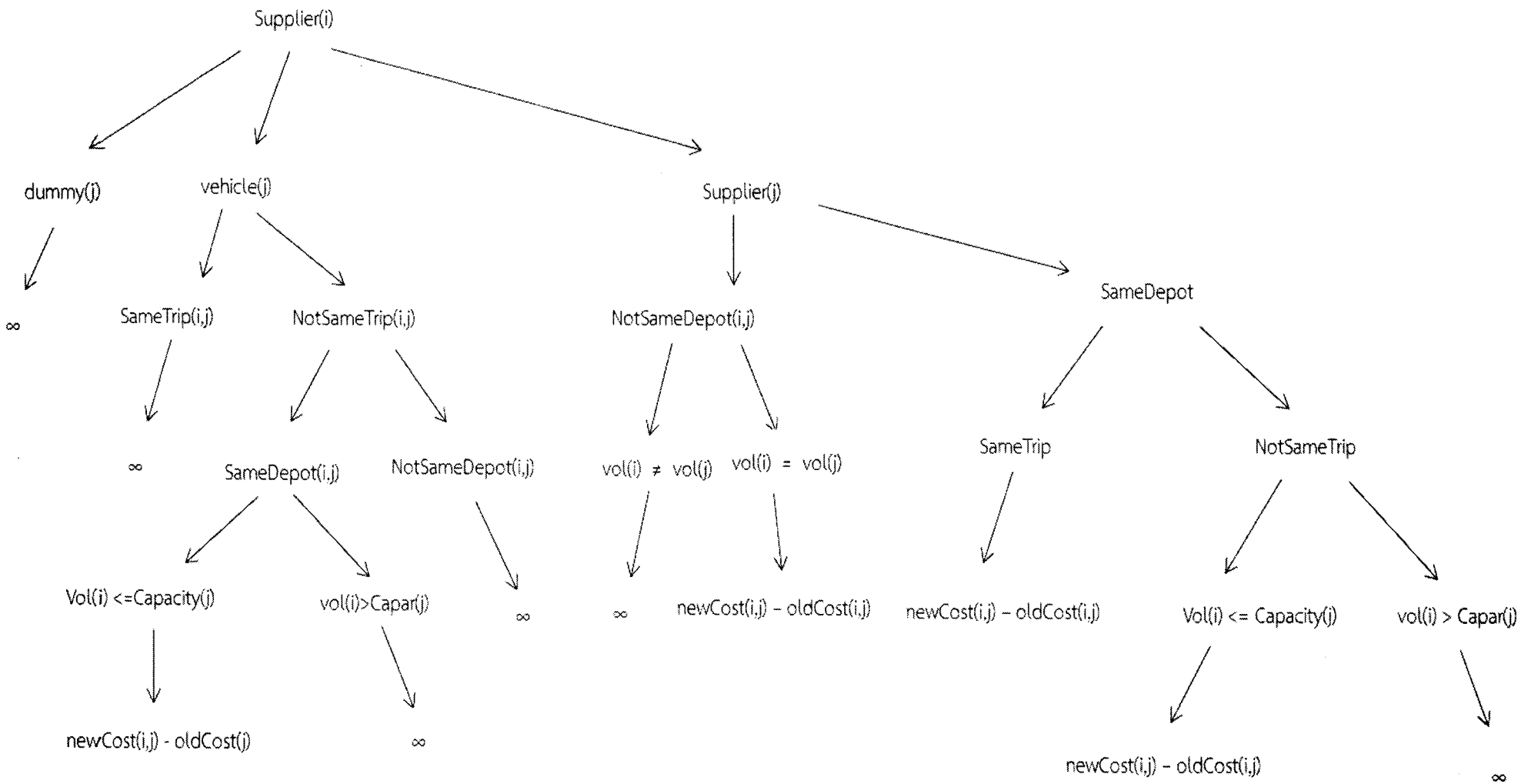
โหนดเสมือน	กำลังการผลิต (กิโลกรัม/วัน)	โหนดจริง	กำลังการผลิต (กิโลกรัม/วัน)
0	30000	5	145161
1	30000	5	145161
2	30000	5	145161
3	30000	5	145161
4	25161	5	145161
5	3226	229	3226
6	645	230	645
7	968	21	205581
8	30000	21	205581
9	30000	21	205581
10	30000	21	205581
11	30000	21	205581
12	30000	21	205581
13	30000	21	205581
14	24613	21	205581
15	5387	22	96774
16	16129	2	16129
17	3226	1	3226
18	10645	22	96774
19	645	228	645



ภาพที่ 3.8 ค่าคำตอบที่เป็นไปได้ในกรณีมีการย้ายจากโหนดรถไปยังโหนดใดๆ

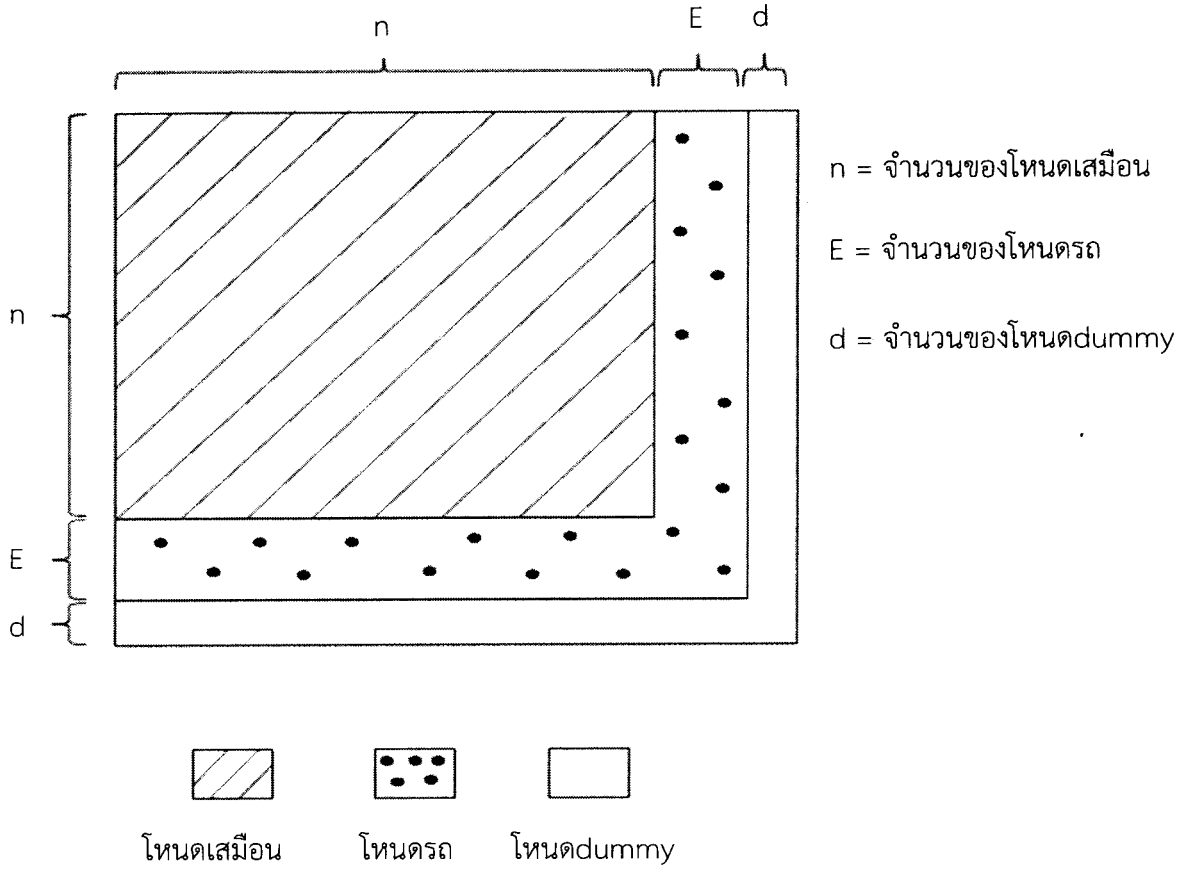


ภาพที่ 3.9 ค่าคำตอบที่เป็นไปได้ในกรณีมีการย้ายจากโหนด dummy ไปยังโหนดใดๆ



ภาพที่ 3.10 ค่าคำตอบที่เป็นไปได้ในกรณีการย้ายจากโหนด dummy ไปยังโหนดใด ๆ

สมาชิกใน G(s) แบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือโหนดเสมือน รถ และ dummy ดังภาพที่ 3.11

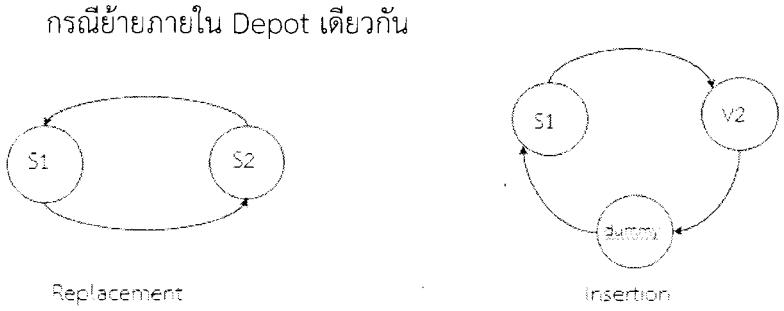


ภาพที่ 3.11 ภาพจำลองแสดงกลุ่มข้อมูลของโหนดต่างๆ เมื่อนำมาสร้างเป็นตาราง arc cost

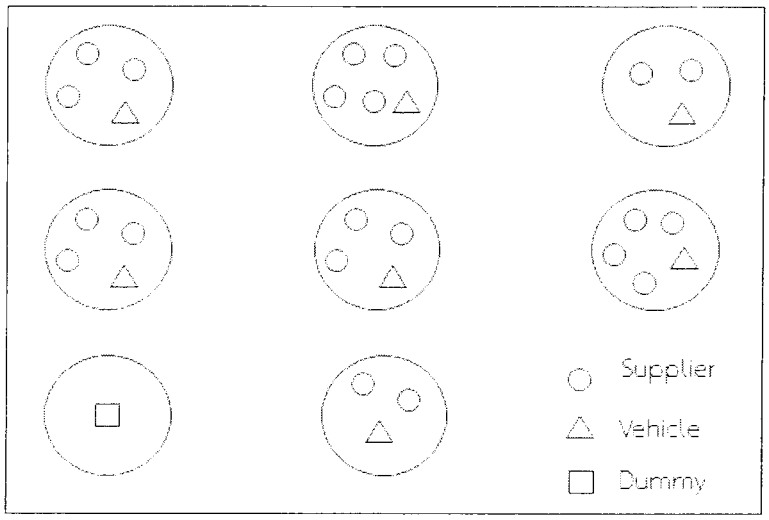
ตารางที่ 3.12ตัวอย่างตารางค่า arc cost ที่ได้จากคำตอบเริ่มต้น

โหนด	1	2	3	4	5	6	7	...	n
1	∞	7.69	37.98	74.86	67.83	79.88	64.33	...	∞
2	-3.1	∞	-0.87	29.12	21.72	35.34	25.45	...	∞
3	-3.1	3.45	∞	-1.12	-5.73	8.67	4.47	...	∞
4	-3.1	27.03	-0.87	∞	-19.42	-9.71	-11.21	...	∞
5	-3.1	44.13	15.97	-1.12	∞	-9.71	1.35	...	∞
6	-3.1	7.82	4.87	9.12	-19.42	∞	-11.72	...	∞
7	-3.1	19.73	9.76	13.33	-11.32	-9.71	∞	...	∞
...	...	...	...	...	...	...	...	...	..
273.65	267.54	275.89	275.63	257.33	267.04	265.03	273.65	...	∞

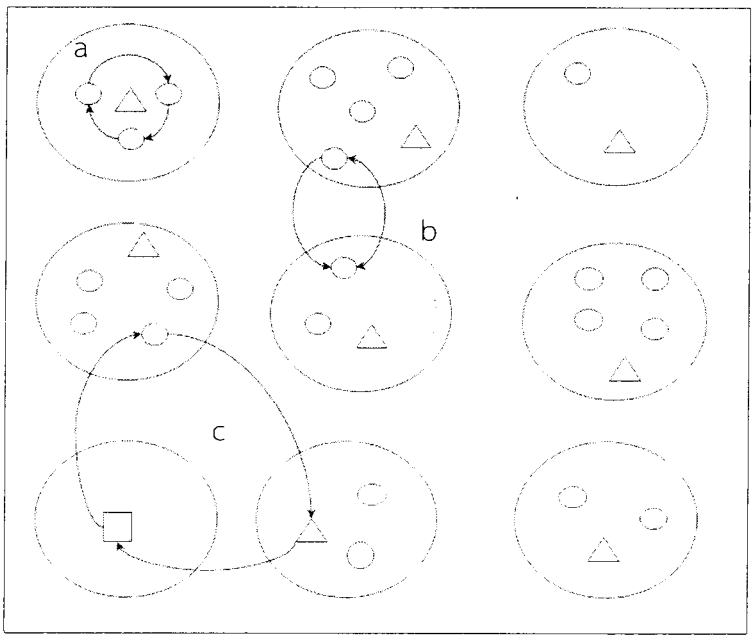
รูปแบบการทำCyclic exchange ของ VLSNในกรณีศึกษานั้นจะมี ด้วยกัน 2 รูปแบบ คือ ถ้าอยู่ใน Depot เดียวกันการแลกเปลี่ยนจะมี 2 แบบคือ Replacement(การย้ายเข้าและออกของโหนด Supplier)และInsertion (การย้ายเข้าเพียงอย่างเดียวของโหนดSupplier ไม่มีการย้ายออก)แต่ถ้าอยู่คนละDepotจะมีการย้ายเฉพาะแบบ replacement เท่านั้น เนื่องจากข้อจำกัดด้าน capacity ของโรงแป้ง เพราะถ้าย้ายเข้าอย่างเดียวจะทำให้ เกิดกรณี capacity ไม่เพียงพอสำหรับ depot ที่สมาชิกย้ายออกแสดงดังภาพที่3.11– 3.14



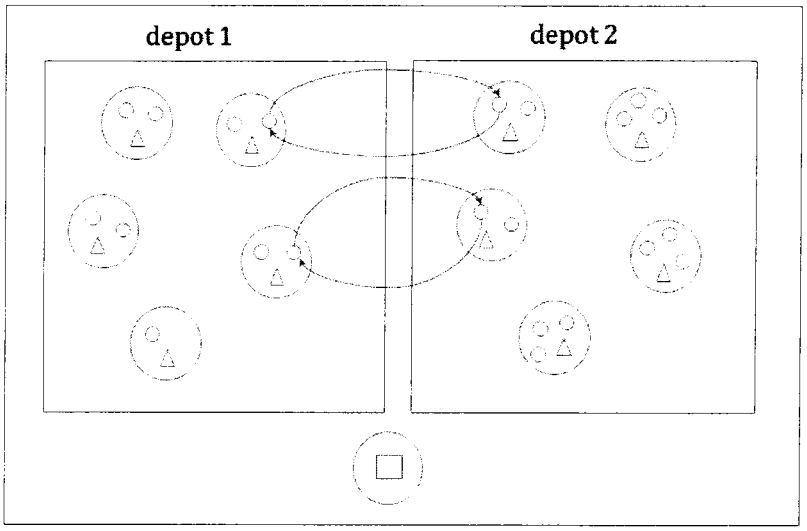
ภาพที่ 3.12รูปแบบของการแลกเปลี่ยนเส้นทางแบบ Cyclic Exchange แยกออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีย้ายเส้นทางภายใน Depot เดียวกัน (a) และ (b) และกรณี ย้ายเส้นทางข้าม Depot (c)



ภาพที่ 3.13แสดงรูปแบบของ neighbourhood โดยสมาชิกที่อยู่ในเส้นทาง วงกลมเล็กแทนด้วยลานมัน สามเหลี่ยมแทนด้วยรถบรรทุก สี่เหลี่ยมคือ dummy



ภาพที่ 3.14พฤติกรรมการย้ายแบบ cyclic exchange รูปแบบต่าง ๆ ภายใน depot เดียวกัน (a)ย้ายภายในเส้นทางเดียวกัน (b) ย้ายข้ามเส้นทางโดยวิธีการแทนที่ (replacement) (C) ย้ายข้ามเส้นทาง



ภาพที่ 3.15 พฤติกรรมการแลกเปลี่ยนเส้นทางกรณีย้ายข้าม Depot

เมื่อทำการปรับปรุงคำตอบสิ้นสุดกระบวนการVLSNแล้วจะได้คำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มคำตอบนั้น (Local Optimum)ผู้วิจัยได้รบกวนคำตอบด้วย วิธีการ Iterated Local Search โดยสุ่มลานมันที่ไม่ได้ถูกเลือกเข้ามาสร้างคำตอบเริ่มต้นเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการค้นหาจากนั้นเข้าสู่กระบวนการ VLSN อีกครั้งเพื่อปรับปรุงคำตอบจากพื้นที่ใหม่ทำกระบวนการดังกล่าววนซ้ำจนกว่าจะครบรอบที่กำหนดไว้ ซึ่งในระหว่างที่วนซ้ำก็จะมีการบันทึกคำตอบที่ดีที่สุดไว้ จากนั้นจะกลับไปสู่กระบวนการวนซ้ำเพื่อเลือก

โรงแป้งมันใหม่แล้วเข้าสู่กระบวนการ สร้างคำตอบเริ่มต้นแล้วปรับปรุงเส้นทางในรูปแบบเดิมวนซ้ำจนกว่าจะครบรอบเงื่อนไขของจำนวนรอบสูงสุด อัลกอริทึมจึงหยุดและคืนผลเฉลยที่ดีที่สุดออกมาเป็นตัวแทนของการค้นหาผลเฉลยของวิธีการ

3.7การทดสอบฮิวริสติก กับปัญหา OR-Library

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมานี้ ใช้ปัญหาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและปัญหาจาก Operation-Research Library (OR-Library) ของ Beasly., (2006) รวมทั้งสิ้น 33 ปัญหา ตั้งแต่ปัญหา P01-Pr10 โดยมีจำนวนลูกค้าตั้งแต่ 50-360 รายและจำนวนศูนย์กระจายสินค้าตั้งแต่ 2-9 แห่ง ดังรายละเอียดต่างๆ ดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ลักษณะของปัญหามาตรฐานของ MDVRP(CGW-Choa., et al.(1993); RLB-Renaud., et al.(1996); CGL-Cordeau., et al.(1997))

ลำดับ	ชื่อ	จำนวนศูนย์กระจายสินค้า	จำนวนลูกค้า	โหนดรวม	ความยาวเส้นทางสูงสุด	ความจุสินค้าสูงสุด	คำตอบที่ทราบ	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	876.5	RLB
7	P07	4	100	104	∞	100	885.8	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

ตารางที่ 3.13 ลักษณะของปัญหามาตรฐานของ MDVRP(CGW-Choa., et al.(1993); RLB-Renaud., et al.(1996); CGL-Cordeau., et al.(1997)) (ต่อ)

ลำดับ	ชื่อ	จำนวนศูนย์กระจายสินค้า	จำนวนลูกค้า	โหนดรวม	ความยาวเส้นทางสูงสุด	ความจุสินค้าสูงสุด	คำตอบที่ทราบ	อ้างอิง
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
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	1806.6	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	1666.6	CGL
32	Pr09	6	216	222	450	180	2153.1	CGL
33	Pr10	6	288	294	425	170	2921.85	CGL

3.8 การปรับปรุงแก้ไข

กรณีที่ทำการวัดประสิทธิภาพผลเฉลยที่ได้แล้วยังมีความด้อยเชิงคุณภาพ ผู้วิจัยจะกลับไปทบทวนและทำการปรับปรุงวิธีการใหม่ หาจุดบกพร่องที่ทำให้ผลเฉลยที่ได้ด้วยคุณภาพ โดยตรวจสอบกระบวนการใหม่ทั้งหมด ทำการแก้ไขและปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลเฉลยที่มีคุณภาพที่ดียิ่งๆ ขึ้นไป

3.9 สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม

เมื่อดำเนินการตามกระบวนการที่จัดเตรียมแผนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดแล้ว ผู้วิจัยจะได้รวบรวมงานทั้งหมด จัดพิมพ์รูปเล่ม ตามรูปแบบวิทยานิพนธ์และนำผลงานวิจัยบางส่วนออกเผยแพร่ในวารสารวิชาการ

3.10 บทสรุป

จากแผนการดำเนินการการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นทั้ง 8 ขั้นตอน ผู้วิจัยได้วางแผนการใช้อุปกรณ์เครื่องมือสำหรับดำเนนงานวิจัยอื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คอมพิวเตอร์แลปท็อป หน่วยประมวลผลกลาง Intel Core I-5 ความเร็ว 2.4GHz หน่วยความจำ 4 GB ความจุ Hard Disk 500 GB และนอกจากนั้นใช้โปรแกรม Lingo 11.0 เป็นโปรแกรมสำหรับใช้เพื่อแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น และโปรแกรมสำเร็จรูป Dev-C++ version 5.11 สำหรับพัฒนาโปรแกรมภาษา C++

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมวิธีการค้นหาและปรับปรุงคำตอบ ที่ได้ทำการพัฒนาขึ้นมา เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดตั้งโรงแป้งมันสำปะหลังจำนวน 2 โรงแป้งพร้อมจัดเส้นทางการขนส่ง ขั้นตอนต่างๆ ของวิธีการ ได้อธิบายไว้ในบทที่ 3 โดยละเอียด ผู้วิจัยได้นำวิธีการดังกล่าวไปเขียนชุดคำสั่งด้วยโปรแกรม Dev-C++ เวอร์ชั่น 5.11 โดยทำการทดสอบบนเครื่อง คอมพิวเตอร์แล็ปท็อป หน่วยประมวลผลกลาง Intel Core i-5 ความเร็ว 2.4 GHz หน่วยความจำ 4 GB ความจุ Hard Disk 500 GB โดยผลการวิจัยสรุปได้ดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลอง การทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์

ผู้วิจัยได้กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ 3 พารามิเตอร์ ได้แก่ จำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง (Iteration) ร้อยละในการสุ่มจากบัญชีรายชื่อ (%GRASP-L) และร้อยละในการรบกวนคำตอบ (%Pertubation)

ในการทดลองจะมีการปรับค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง แล้วทำการประมวลผลโปรแกรมจากนั้นบันทึกผลการทดลองเพื่อนำมาสร้างตารางสำหรับวิเคราะห์ผล โดยการปรับค่าพารามิเตอร์นั้นจะทำการตั้งค่าจากระดับน้อยไปสู่ระดับสูง และในละการทดลองจะใช้พารามิเตอร์ค่าเดิมซ้ำจำนวน 5 ครั้งก่อนบันทึกผล ซึ่งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ระดับต่างๆ ของแต่ละตัวแปรออกแบบไว้ดังรายละเอียดในบทที่ 3 ในตารางที่ 3.11

สำหรับการบันทึกค่านั้นแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ ค่าที่ดีที่สุดในการทดสอบ (Best Single Run) หมายถึง ค่าที่ดีที่สุดในการใช้พารามิเตอร์เดียวกันจากทุกครั้งที่ประมวลผล และค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุด(Best Average Run) หมายถึง การบันทึกผลคำตอบทุกครั้งจากที่ทำการทดสอบแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าที่ได้จะมีค่าที่แตกต่างกันหรือไม่ ขึ้นอยู่กับผลการทดลองในแต่ละพารามิเตอร์

ผลการทดลองปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์จำนวนรอบในการวนซ้ำและร้อยละในการสุ่มจากบัญชีรายชื่อ ได้แสดงในตารางที่ 4.1 – 4.8 และผลของการรบกวนคำตอบ (%Pertubation) แสดงในตารางที่ 4.9 -4.13

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ ในการทำ GRASP 10%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	202336.88	1,2	202336.88
20	182527.73	7,14	192432.34
30	182527.73	7,14	182527.73
40	182527.73	7,14	182527.73
50	182527.73	7,14	182527.73
60	182527.73	7,14	182527.73
70	182527.73	7,14	182527.73
80	182527.73	7,14	182527.73
90	182527.73	7,14	182527.73
100	180397.36	5,3	181462.54
200	180397.36	5,3	180397.36
300	180397.36	5,3	180397.36
400	180397.36	5,3	180397.36
500	178144.03	2,11	178144.03
1000	178144.03	2,11	178144.03

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ ในการทำ GRASP 20%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	193924.87	26,231	198808.09
20	208574.45	28,219	207901.17
30	206554.63	181,220	206627.24
40	189514.89	3,220	195868.05
50	189514.89	3,220	187626.98
60	187626.98	9,226	187626.98
70	187626.98	9,226	187626.98
80	187626.98	9,226	187626.98
90	187626.98	9,226	187626.98
100	167365.28	11,22	180873.14
200	167365.28	11,22	167365.28
300	167365.28	11,22	167365.28
400	167365.28	11,22	167365.28
500	167365.28	11,22	167365.28
1000	167365.28	11,22	167365.28

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ ในการทำ GRASP 30%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	243852.50	18,118	233434.55
20	183312.32	17,181	209584.03
30	172306.57	11,230	172306.57
40	172306.57	11,230	172306.57
50	172306.57	11,230	172306.57
60	172306.57	11,230	172306.57
70	172306.57	11,230	172306.57
80	172306.57	11,230	172306.57
90	172306.57	11,230	172306.57
100	172306.57	11,230	172306.57
200	172306.57	11,230	172306.57
300	172306.57	11,230	172306.57
400	172306.57	11,230	172306.57
500	172306.57	11,230	172306.57
1000	172306.57	11,230	172306.57

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ ในการทำ GRASP 40%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	246532.92	16,119	253260.02
20	246532.92	16,119	248454.67
30	238915.80	11,80	245012.24
40	238915.80	11,80	243278.52
50	240302.40	2,224	241108.55
60	215399.43	25,229	222166.64
70	215399.43	25,229	215399.43
80	215399.43	25,229	215399.43
90	215399.43	25,229	215399.43
100	215399.43	25,229	215399.43
200	215399.43	25,229	215399.43
300	215399.43	25,229	215399.43
400	215399.43	25,229	215399.43
500	215399.43	25,229	215399.43
1000	215399.43	25,229	215399.43

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ ในการทำ GRASP 50%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	241244.24	15,102	258453.96
20	245806.55	14,105	252190.23
30	204817.32	27,227	213677.35
40	204817.32	27,227	204817.32
50	204817.32	27,227	204817.32
60	204817.32	27,227	204817.32
70	204817.32	27,227	204817.32
80	204817.32	27,227	204817.32
90	204817.32	27,227	204817.32
100	204817.32	27,227	204817.32
200	204817.32	27,227	204817.32
300	204817.32	27,227	204817.32
400	204817.32	27,227	204817.32
500	204817.32	27,227	204817.32
1000	204817.32	27,227	204817.32

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ ในการทำ GRASP 60%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	256505.22	20,73	265055.67
20	246609.37	11,44	258569.88
30	243115.19	13,92	245867.20
40	237377.08	182,209	241386.97
50	243115.19	13,92	248902.88
60	206588.73	4,215	214570.44
70	206588.73	4,215	206588.73
80	206588.73	4,215	206588.73
90	206588.73	4,215	206588.73
100	206588.73	4,215	206588.73
200	206588.73	4,215	206588.73
300	206588.73	4,215	206588.73
400	206588.73	4,215	206588.73
500	206588.73	4,215	206588.73
1000	206588.73	4,215	206588.73

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ ในการทำ GRASP 70%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	275856.12	10,84	279560.79
20	264621.86	81,220	273423.54
30	251614.59	14,66	260745.74
40	251614.59	14,66	232150.19
50	251614.59	14,66	232150.19
60	251614.59	14,66	232150.19
70	251614.59	14,66	232150.19
80	232150.19	4,214	232150.19
90	232150.19	4,214	232150.19
100	232150.19	4,214	232150.19
200	232150.19	4,214	232150.19
300	232150.19	4,214	232150.19
400	232150.19	4,214	232150.19
500	232150.19	4,214	232150.19
1000	232150.19	4,214	232150.19

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบในการวนซ้ำเพื่อสุ่มโรงแป้ง โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ ในการทำ GRASP 80%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	270626.16	12,57	274378.81
20	252927 10	28,148	267013.30
30	228291.41	15,16	245941.92
40	173762.13	17,229	188161.24
50	173762.13	17,229	173762.13
60	173762.13	17,229	173762.13
70	173762.13	17,229	173762.13
80	173762.13	17,229	173762.13
90	173762.13	17,229	173762.13
100	173762.13	17,229	173762.13
200	173762.13	17,229	173762.13
300	173762.13	17,229	173762.13
400	173762.13	17,229	173762.13
500	173762.13	17,229	173762.13
1000	173762.13	17,229	173762.13

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 10% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	220894.37	26,231	222938.50
20	221323.90	28,219	234117.87
30	212952.13	181,220	214305.45
40	215105.59	3,220	214721.29
50	215105.59	3,220	216000.79
60	181165.51	9,226	181165.51
70	181169.22	9,226	181169.22
80	174641.08	9,226	174640.06
90	174831.98	9,226	174831.98
100	167365.46	11,22	162887.21
200	167365.46	11,22	167365.46
300	167365.46	11,22	167365.46
400	167365.46	11,22	167365.46
500	167365.46	11,22	167365.46
1000	167365.46	11,22	167365.46

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 20% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	201543.85	26,231	241882.84
20	214926.40	28,219	219998.84
30	202140.35	181,220	207907.95
40	189368.45	3,220	189771.04
50	189515.59	3,220	189771.04
60	181165.51	9,226	187889.28
70	174768.01	9,226	182195.51
80	174641.08	9,226	174640.06
90	174831.98	9,226	174831.98
100	167365.46	11,22	167365.46
200	167365.46	11,22	167365.46
300	167365.46	11,22	167365.46
400	167365.46	11,22	167365.46
500	167365.46	11,22	167365.46
1000	167365.46	11,22	167365.46

ตารางที่ 4.11 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 30% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	203784.57	26,231	218777.75
20	204403.85	28,219	209541.04
30	204200.41	181,220	216365.26
40	204223.44	3,220	211093.72
50	204549.71	3,220	211202.47
60	189803.48	9,226	195951.47
70	189482.96	9,226	195630.96
80	176561.29	9,226	176560.01
90	176752.58	9,226	176752.58
100	169502.29	11,22	171421.54
200	169504.21	11,22	169504.21
300	169412.72	11,22	169364.10
400	169502.29	11,22	169502.29
500	169502.29	11,22	169502.29
1000	169502.29	11,22	169502.29

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 40% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	203719.96	26,231	212637.43
20	217454.11	28,219	218113.69
30	217123.36	181,220	223018.66
40	204479.34	3,220	211285.64
50	185613.11	3,220	198663.37
60	190059.38	9,226	196207.37
70	189740.14	9,226	195888.14
80	176817.19	9,226	176815.91
90	177008.48	9,226	177008.48
100	169758.19	11,22	171677.44
200	169632.16	11,22	169632.16
300	169620.00	11,22	169620.00
400	169632.80	11,22	169632.80
500	169632.80	11,22	169632.80
1000	169632.80	11,22	169632.80

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ด้าน % perturbation = 50% โดยการทดลองที่โรงแป้ง จำนวน 261 โรง โดยหาลานมันจำนวน 2 โรงเปอร์เซ็นต์ในการทำ GRASP 10%

Parameter Setting	Best Single Run		Best Average Run
#iteration	Objective Value	ลานมัน	Objective Value
10	204231.76	26,231	219098.27
20	217582.06	28,219	222783.87
30	217125.28	181,220	229609.36
40	217277.54	3,220	217688.26
50	215425.46	3,220	216320.47
60	190699.13	9,226	196847.12
70	191019.64	9,226	197167.64
80	178096.69	9,226	178095.41
90	178287.98	9,226	178287.98
100	171037.69	11,22	171037.69
200	171037.69	11,22	171037.69
300	171037.69	11,22	171037.69
400	171037.69	11,22	171037.69
500	171037.69	11,22	171037.69
1000	171037.69	11,22	171037.69

ตารางที่ 4.14 ตารางการเดินทางและระยะทางที่ดีที่สุด โรงแป้งที่ 1

เส้นทาง	การเดินทาง	เส้นทาง	การเดินทาง
1	11-13-11	15	11-17-11
2	11-13-11	16	11-17-11
3	11-13-15-11	17	11-17-11
4	11-8-15-11	18	11-17-20-14-11
5	11-15-11	19	11-10-11
6	11-15-11	20	11-10-11
7	11-15-11	21	11-10-11
8	11-15-11	22	11-10-28-11
9	11-15-11	23	11-14-11
10	11-15-11	24	11-14-26-11
11	11-15-11	25	11-26-11
12	11-15-11	26	11-26-11
13	11-15-20-11	27	11-26-27-220-11
14	11-19-17-11	28	11-16-11
29	11-9-7-10-11	35	11-16-12-11
30	11-17-11	36	11-12-18-11
31	11-17-11	37	11-18-11
32	11-17-11	38	11-18-11
33	11-17-11	39	11-18-28-11
34	11-17-11	40	11-17-11

ตารางที่ 4.15 ตารางการเดินทางและระยะทางที่ดีที่สุด โรงแป้งที่ 2

เส้นทาง	การเดินทาง	เส้นทาง	การเดินทาง
1	22-1-2-6-5-22	16	22-226-22
2	22-21-22	17	22-226-22
3	22-21-22	18	22-225-22
4	22-21-22	19	22-227-22
5	22-21-22	20	22-178-22
6	22-21-22	21	22-179-22
7	22-21-22	22	22-180-22
8	22-21-230-229-5-22	23	22-183-22
9	22-24-22	24	22-182-22
10	22-24-22	25	22-231-22
11	22-24-22	26	22-181-22
12	22-24-22	27	22-228-22
13	22-24-22	28	22-5-22
14	22-24-22	29	22-5-22
15	22-24-22	30	22-5-22
31	22-24-22	52	22-4-22
32	22-24-22	53	22-4-22
33	22-24-22	54	22-4-22
34	22-0-22	55	22-4-22
35	22-23-22	56	22-4-22
36	22-25-22	57	22-4-22
37	22-5-22	58	22-4-22
38	22-5-22	59	22-210-22
39	22-5-22	60	22-219-22
40	22-185-22	61	22-211-22
41	22-186-22	62	22-208-22
42	22-42-22	63	22-209-22
43	22-187-22	64	22-216-22
44	22-190-22	65	22-215-22
45	22-36-22	66	22-215-22

ตารางที่ 4.15 ตารางการเดินทางและระยะทางที่ดีที่สุด โรงแป้งที่ 2 (ต่อ)

เส้นทาง	การเดินทาง	เส้นทาง	การเดินทาง
46	22-40-22	67	22-214-22
47	22-3-22	68	22-213-22
48	22-4-22	69	22-212-218-224-22
49	22-25-22	70	22-223-22
50	22-222-22	71	22-217-22
51	22-221-22	72	22-221-22
73	22-157-22	78	22-119-22
74	22-158-148-22	79	22-78-80-184-80-77-81-68-72-86-30-40-22
75	22-146-22	80	22-39-22
76	22-145-22	81	22-38-32-31-33-29-37-41-34-35-30-22
77	22-73-22		

จากผลการทดสอบฮิวริสติกส์โดยการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่าเมื่อจัดตั้งโรงแป้งจากลานมันที่ 11 และ 22 และนำมาจัดเส้นทางพร้อมปรับปรุงคำตอบ จะให้ผลรวมระยะทางที่สั้นที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกคำตอบ โดยให้ผลรวมระยะทางที่ 11,886.09 กิโลเมตร โดยรายละเอียดการเดินทางของโรงแป้งที่ 1 และโรงแป้งที่ 2 แสดงดังตารางที่ 4.14 และ 4.15

4.2 สรุปผลการทดลอง การทดสอบประสิทธิภาพของฮิวริสติกส์

การทดสอบประสิทธิภาพฮิวริสติก ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการจัดตั้งโรงงานแป้งมันสำปะหลัง 2 โรงพร้อมจัดเส้นทางการขนส่ง จากลานมันสำปะหลัง 261 ลานมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือกรณีศึกษา โดยกระบวนการทำงานของฮิวริสติคที่นำเสนอนี้ทำการเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Dev-C++ 5.1 CPU Core i5 หน่วยความจำ 4 GB ทำงานบนระบบปฏิบัติการ windows 7 โดยทำการทดสอบปัญหา กำหนดให้ ความจุของการบรรทุกของรถแต่ละคันมีค่าสูงสุดไม่เกิน 30 ตัน แต่ละลานมันสำปะหลังสามารถขายให้กับโรงแป้งใดโรงหนึ่งหรือพร้อมกันทั้งสองโรงแป้งได้จนกว่าสินค้าจะหมด และโรงงานแป้งแต่ละโรงจะต้องได้วัตถุดิบมันสำปะหลังครบ 1200 ตันต่อวัน ผลการทดสอบพบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจัดตั้งโรงแป้งพร้อมจัดเส้นทางที่ ลานมันที่ 11และที่ 22มีค่าใช้จ่าย ในการดำเนินการน้อยที่สุดที่ 167,365.28 บาทต่อวัน แสดงดังตารางที่ 4.16 โดยระยะทางรวมในการขนส่งอยู่ที่ 11,886.09 กิโลเมตรในช่วงการวนซ้ำที่ 100 รอบและเปอร์เซ็นต์ในการสุ่มแบบ GRASP ที่ 20% โดยไม่มีการรบกวนคำตอบ

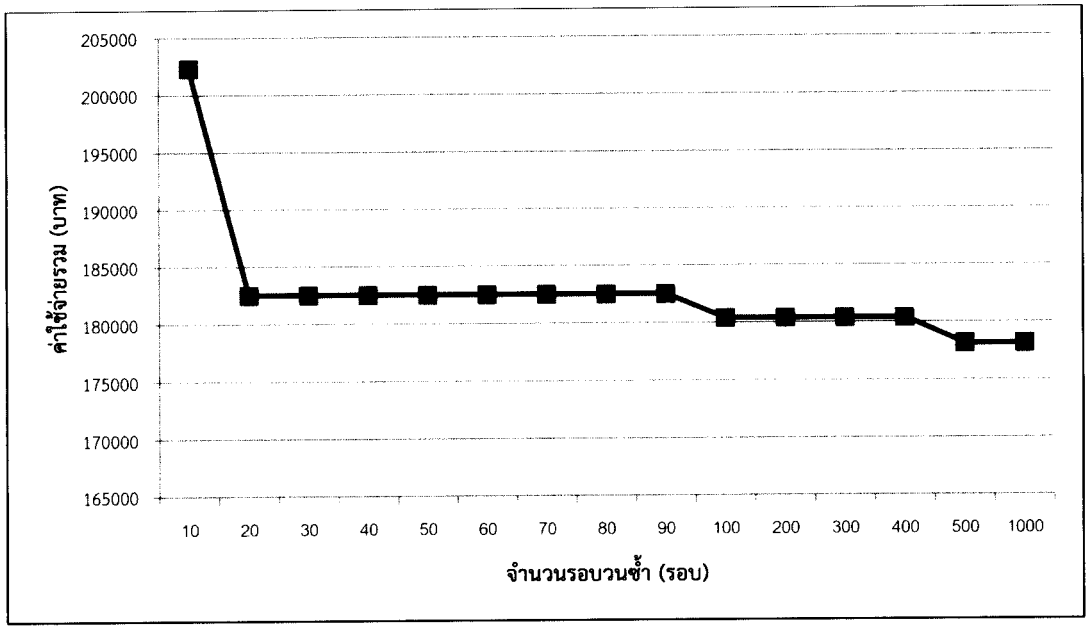
ตารางที่ 4.16 การคำนวณค่าใช้จ่ายรวมของโรงแป้ง

องค์ประกอบของต้นทุน	ค่าใช้จ่ายต่อวัน(บาท)
เงินลงทุนเริ่มต้น	91,324.20
ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง	76,041.08
รวม	167,365.28

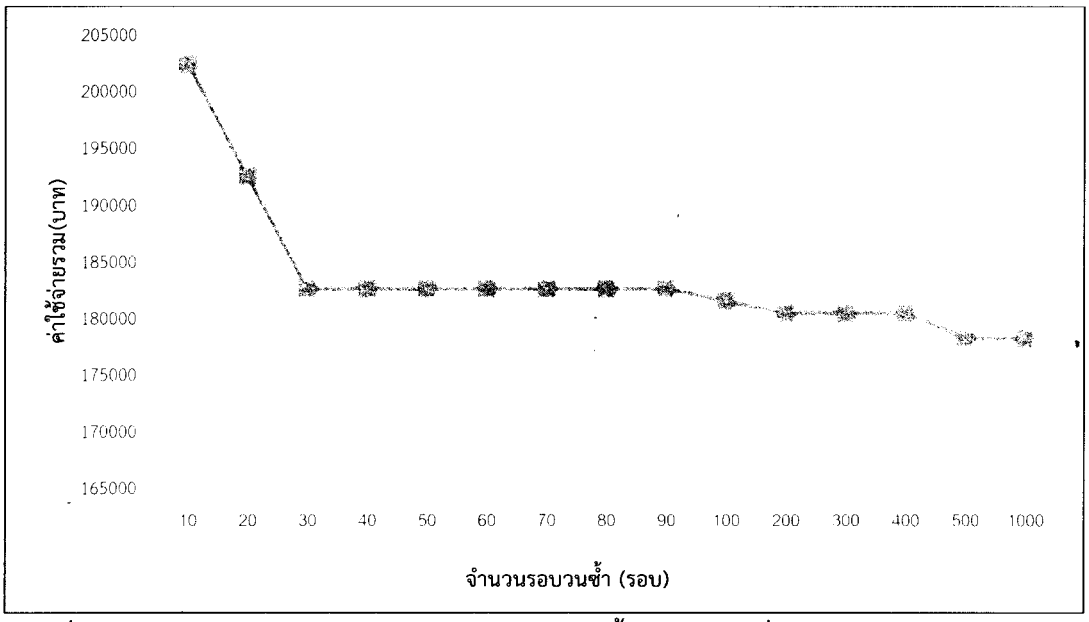
เมื่อพิจารณาด้านพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ส่งผลต่อคำตอบพบว่า พารามิเตอร์ด้านจำนวนรอบของการวนซ้ำ พบว่ารอบในการวนซ้ำมีผลต่อการได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุด โดยเมื่อมีการวนซ้ำมากขึ้นโอกาสที่อัลกอริทึมจะสามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดก็มีค่ามากขึ้นตามไปด้วยโดยความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึมแสดงในภาพที่ 4.1 – 4.16

สำหรับพารามิเตอร์ด้านเปอร์เซ็นต์ในการสุ่มหาสถานที่จัดตั้งโรงงานแป้งแบบ GRASP นั้น จากการทดสอบพบว่ามีอิทธิพลต่อโอกาสในการค้นหาพบคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อมีค่าน้อย เมื่อมีการวนรอบซ้ำ ดังแสดงในภาพที่ 4.17 และ 4.18

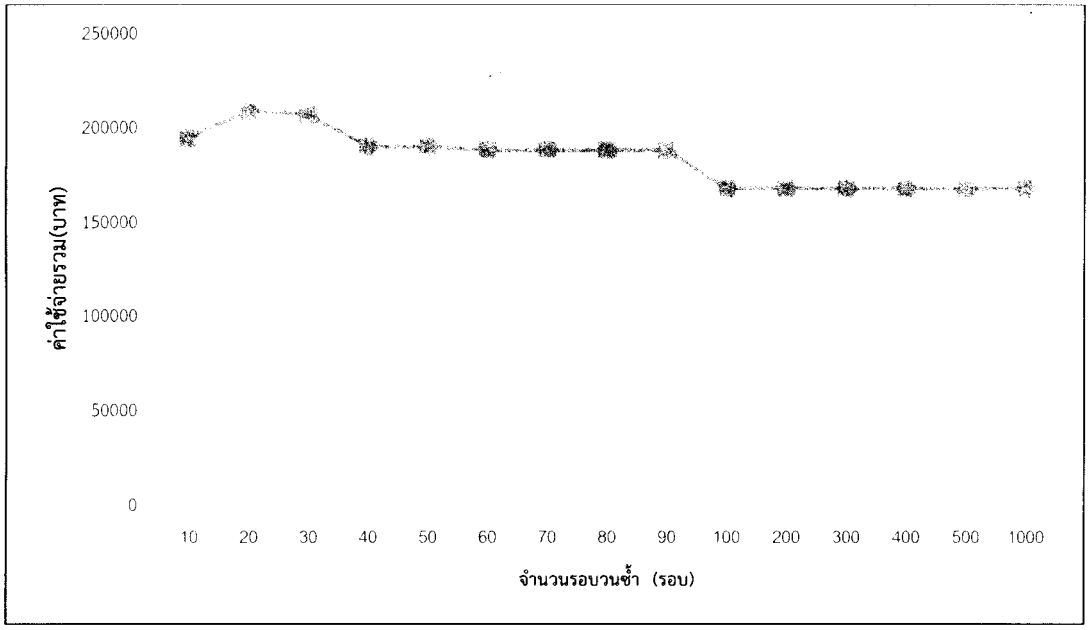
เมื่อพิจารณาในด้านการรบกวนคำตอบพบว่า การรบกวนคำตอบไม่ส่งผลต่อคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหา แต่จะส่งผลต่อความเร็วในการลู่เข้าสู่คำตอบ ในกรณีที่มีค่าน้อย 10-20% ในช่วงขอบการวนรอบซ้ำที่ 50-100 ดังแสดงในภาพที่ 4.19 – 4.30



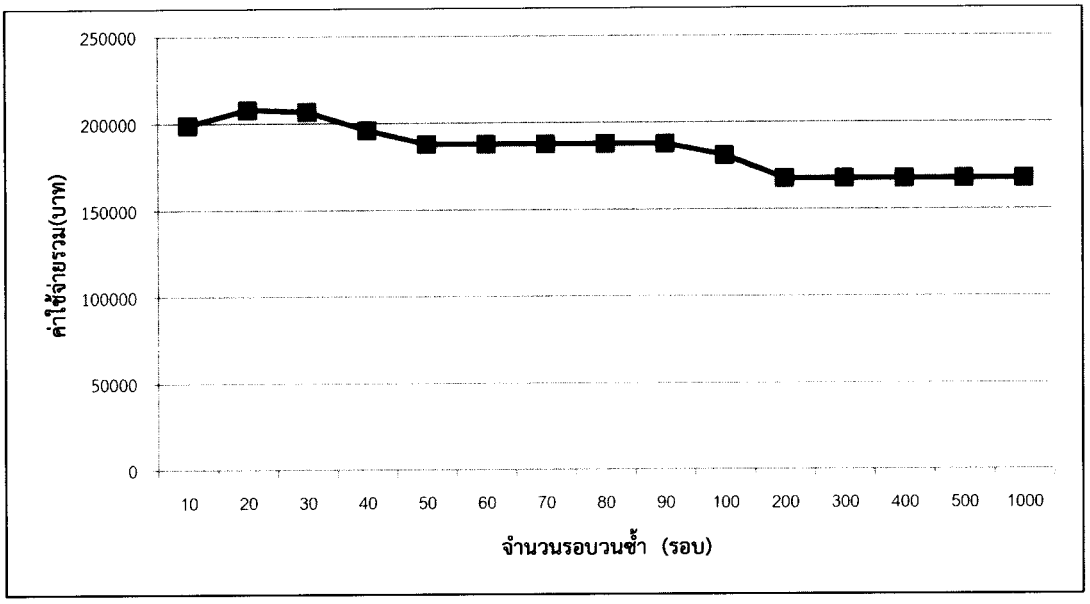
ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=10%



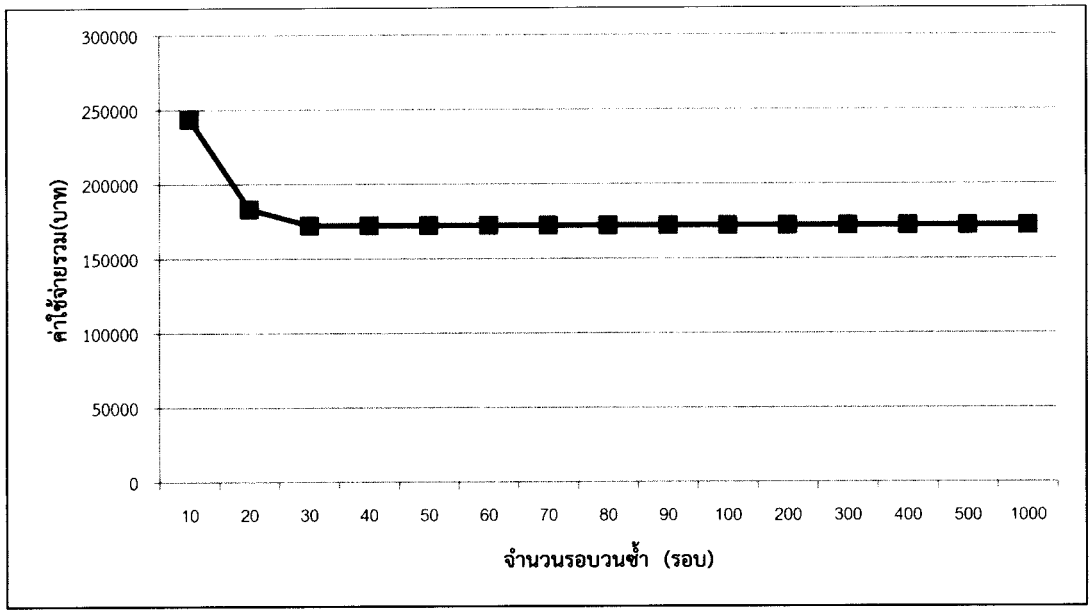
ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=10%



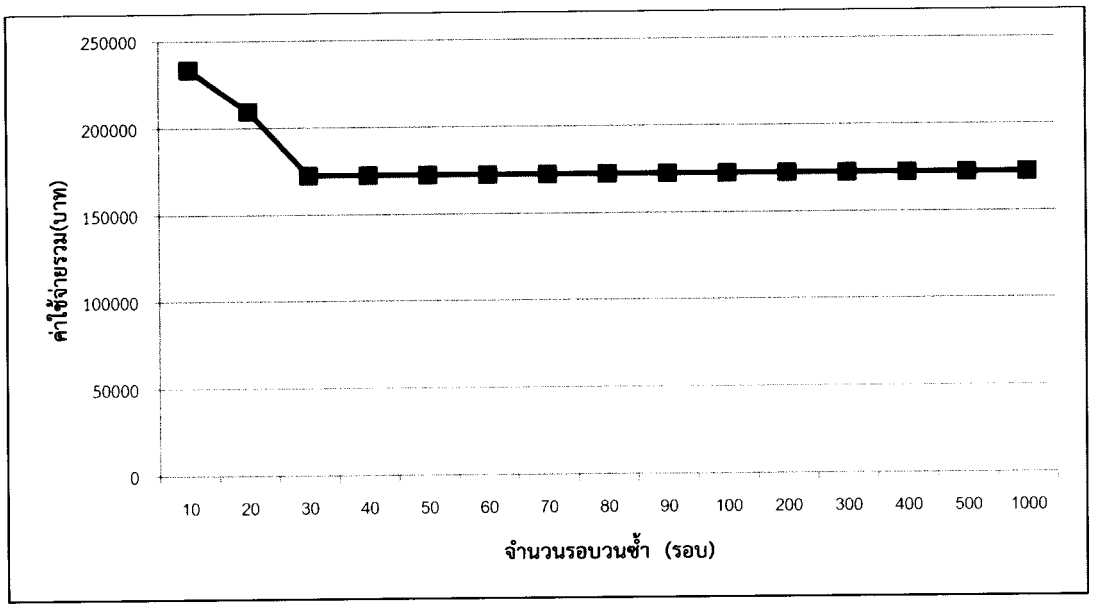
ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=20%



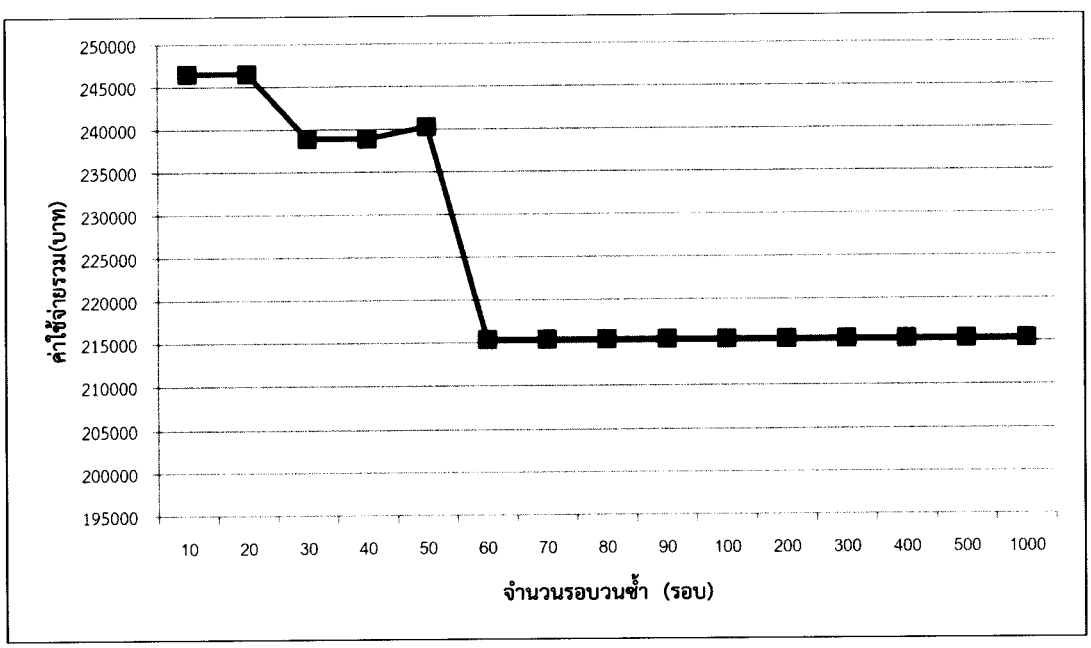
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=20%



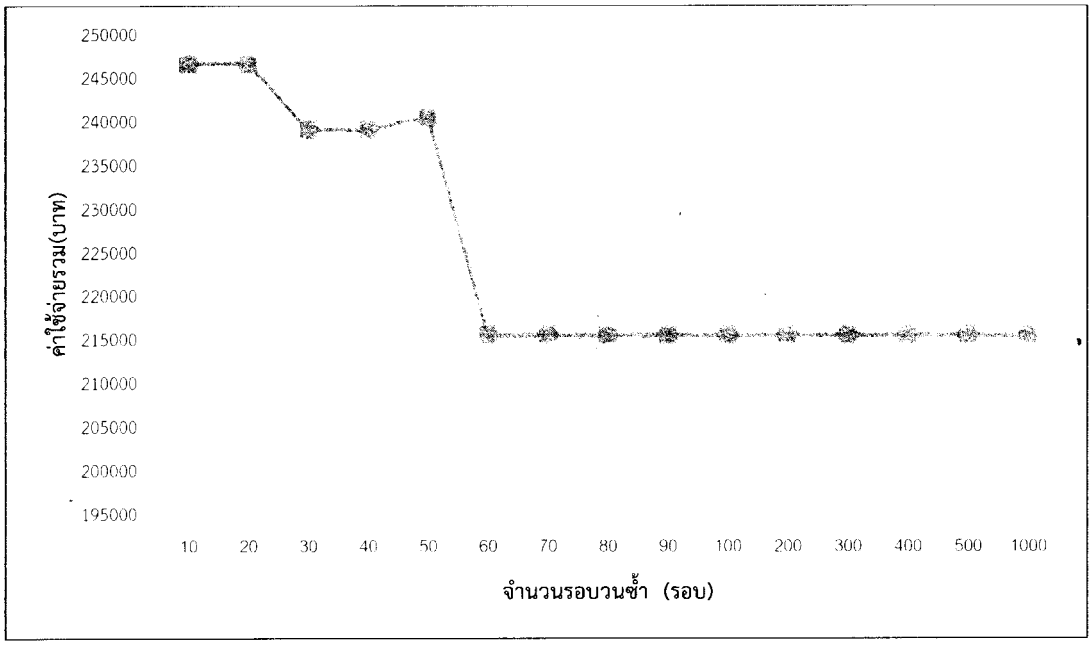
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=30%



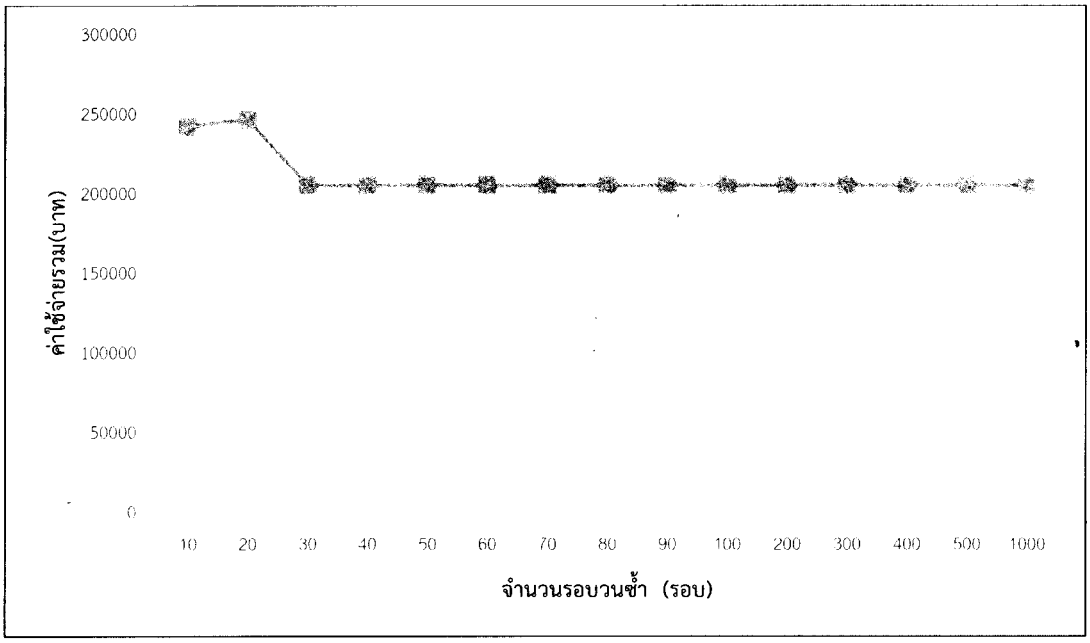
ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=30%



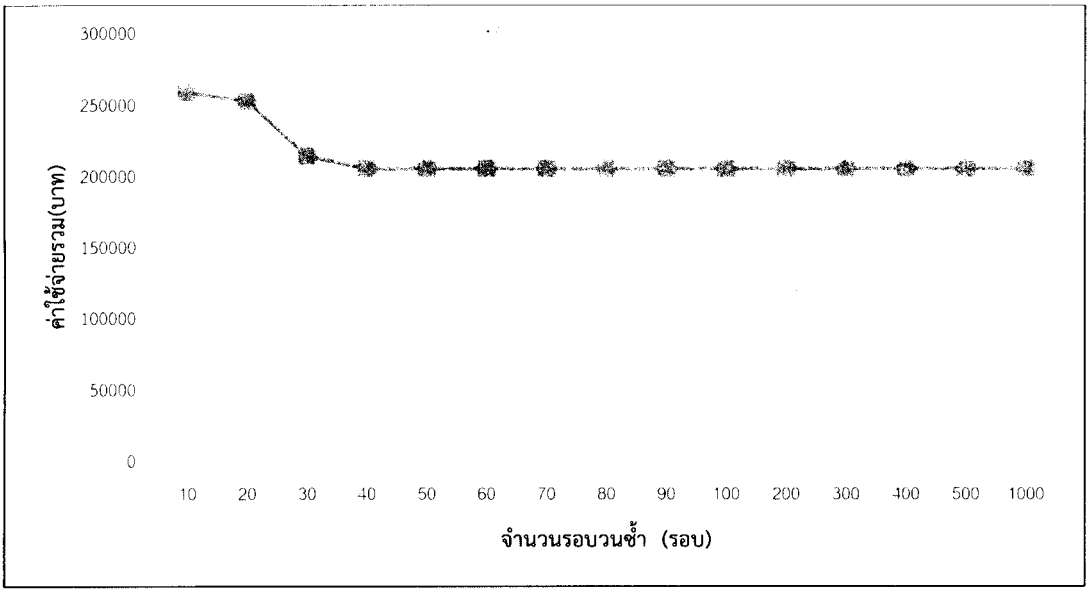
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=40%



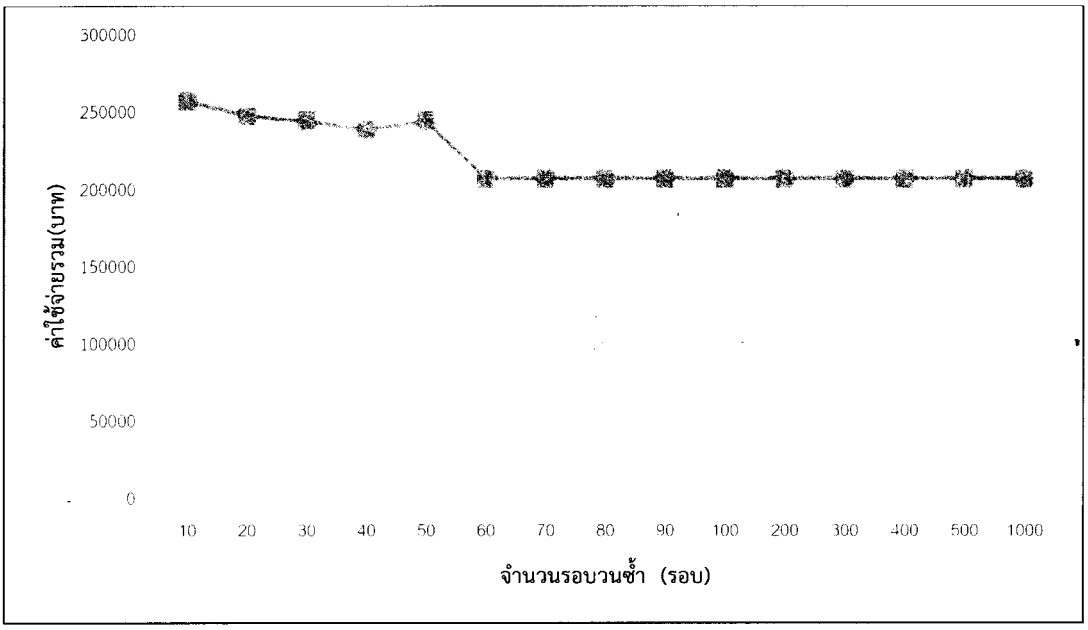
ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=40%



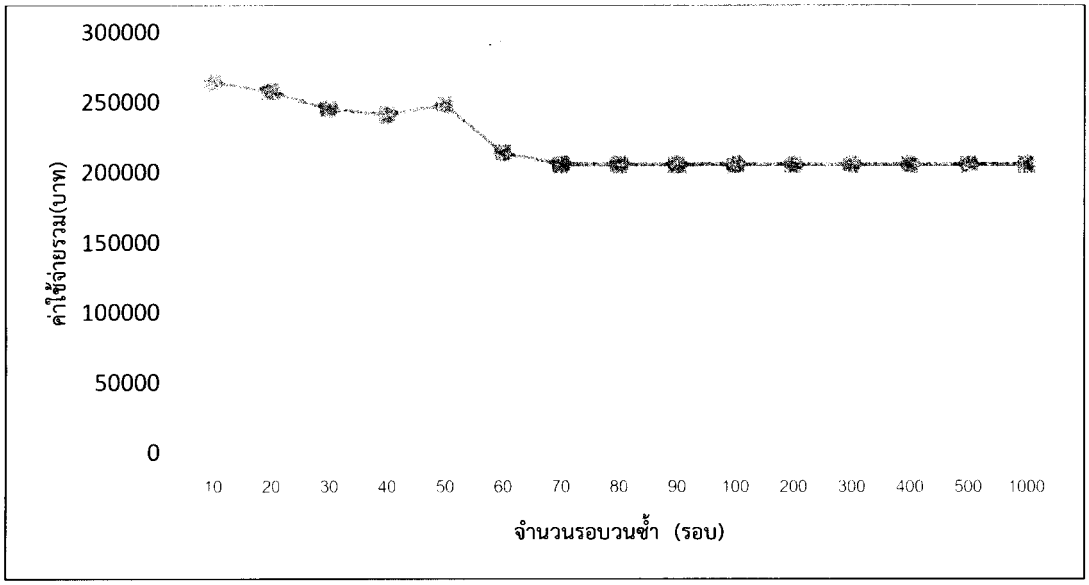
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=50%



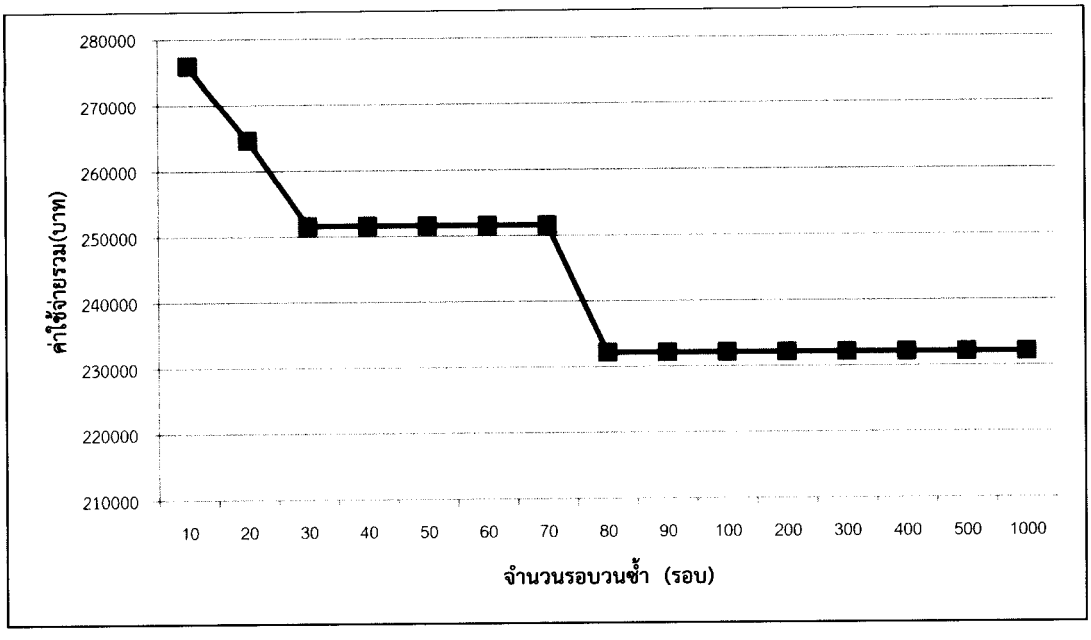
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=50%



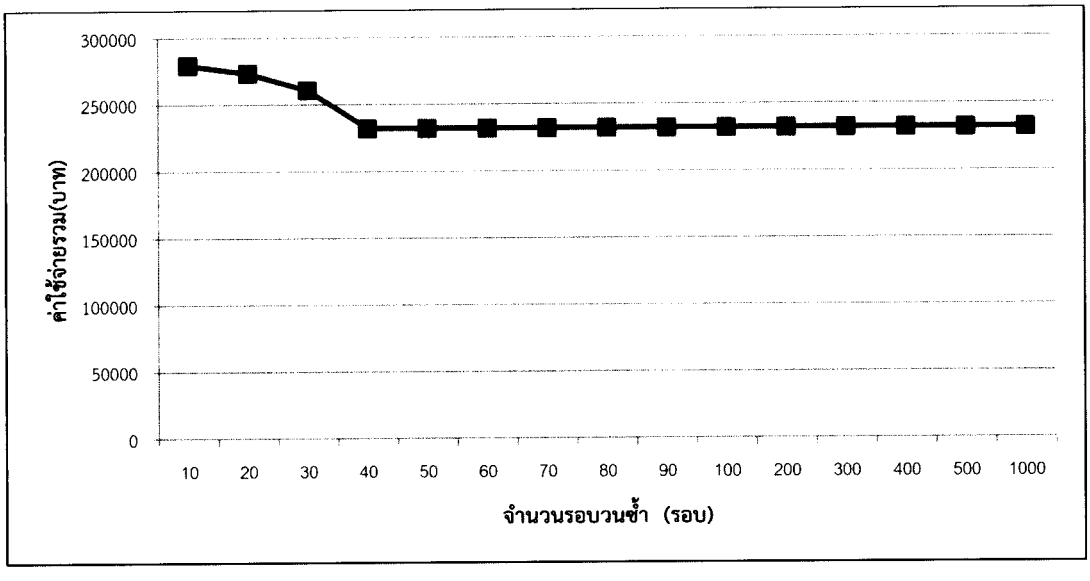
ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=60%



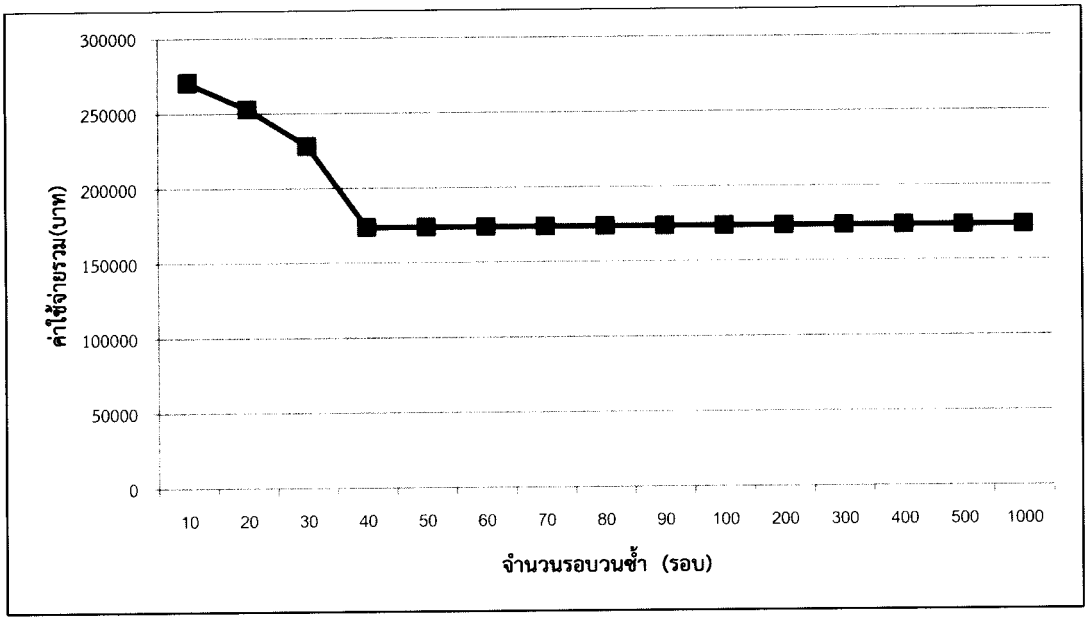
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=60%



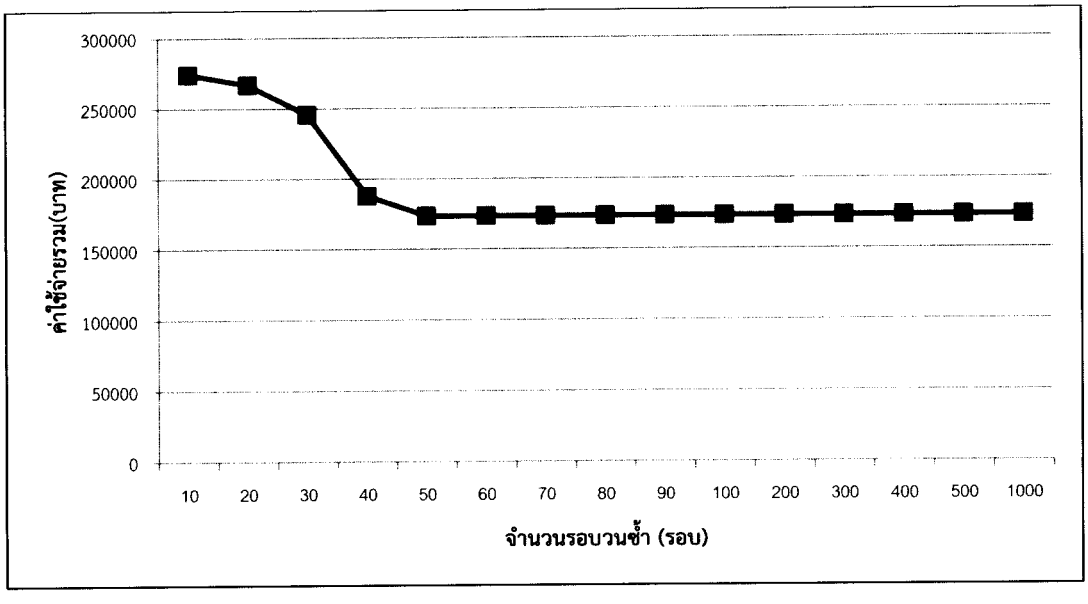
ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=70%



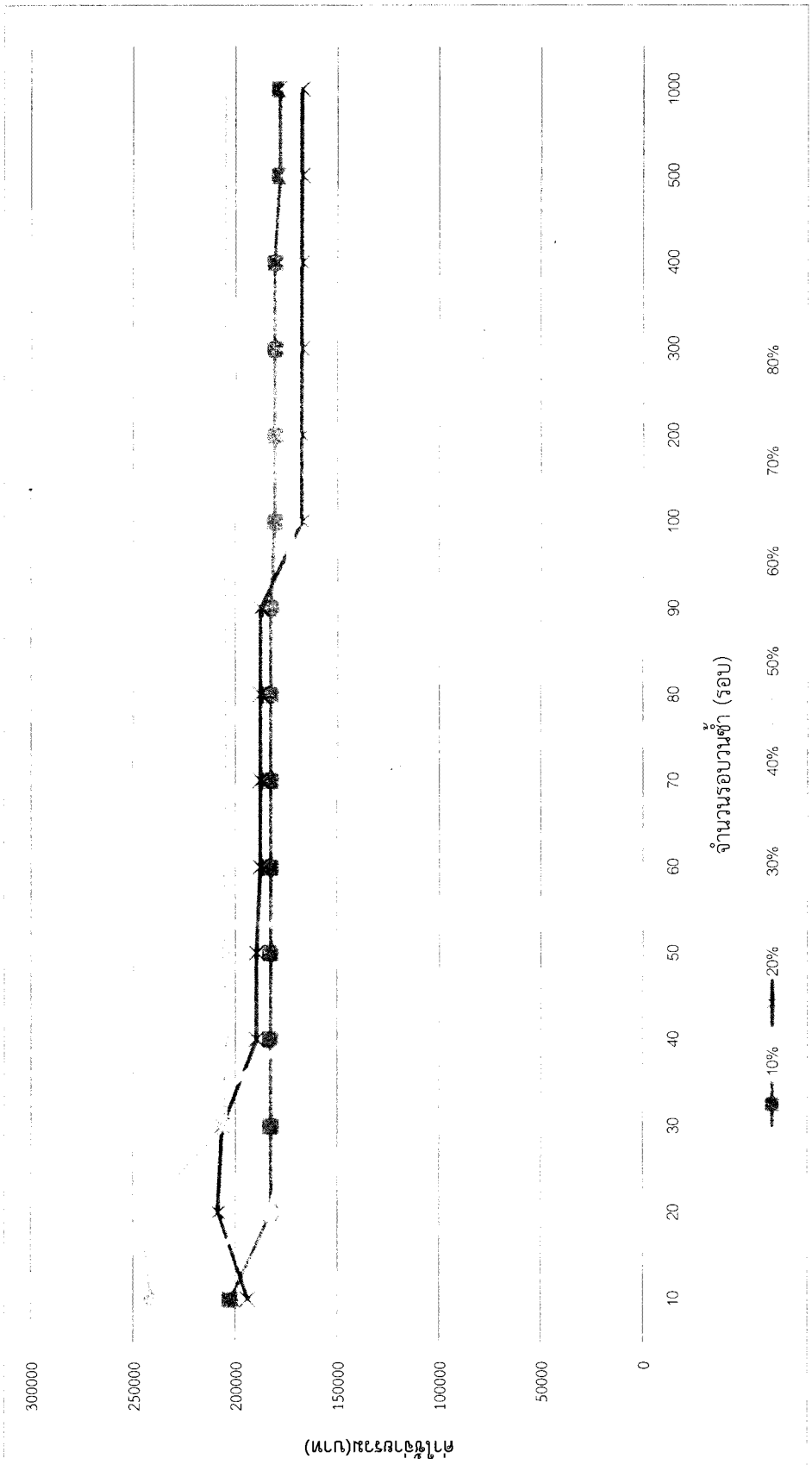
ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=70%



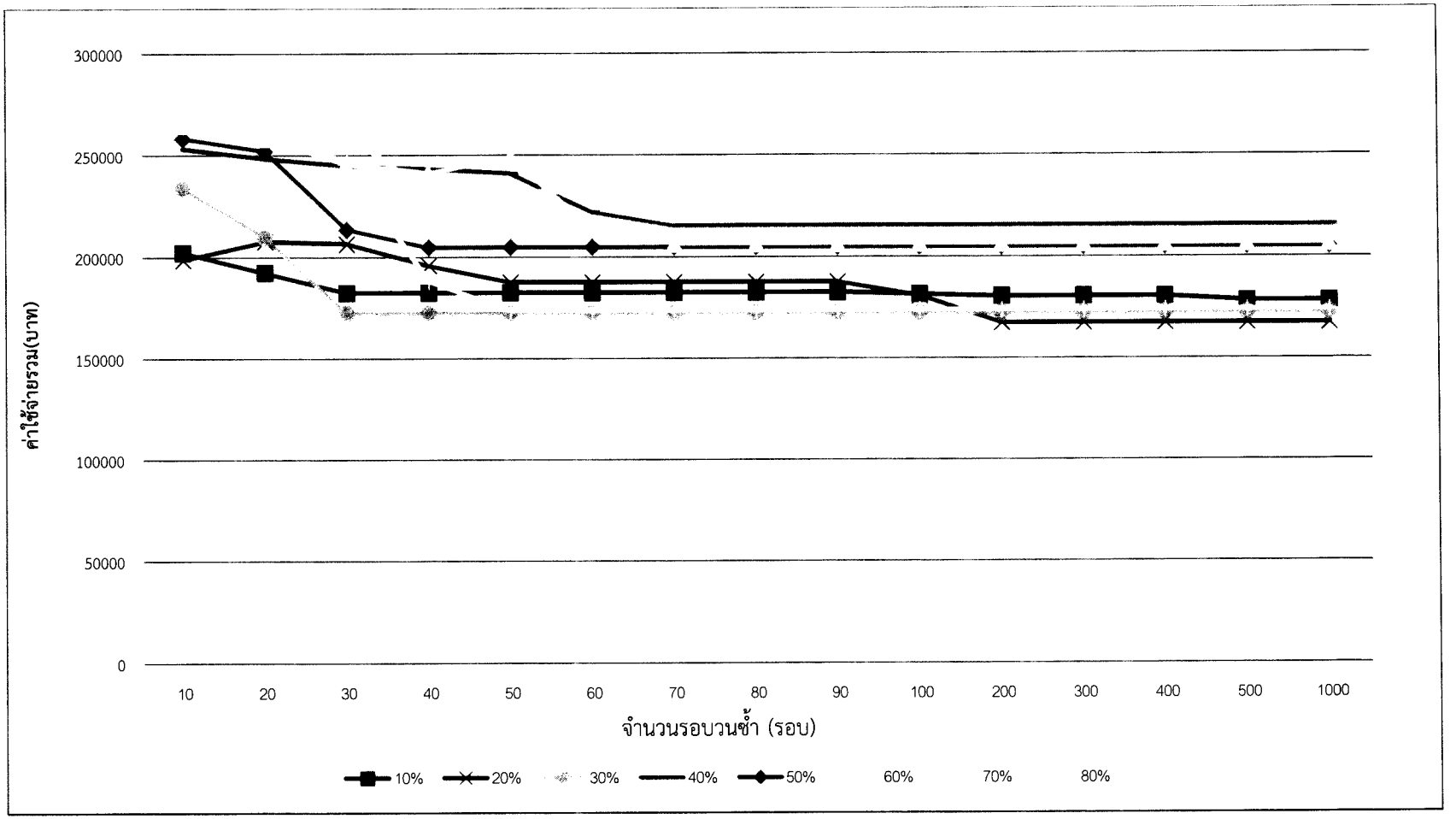
ภาพที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Single Run ที่ GRASP=80%



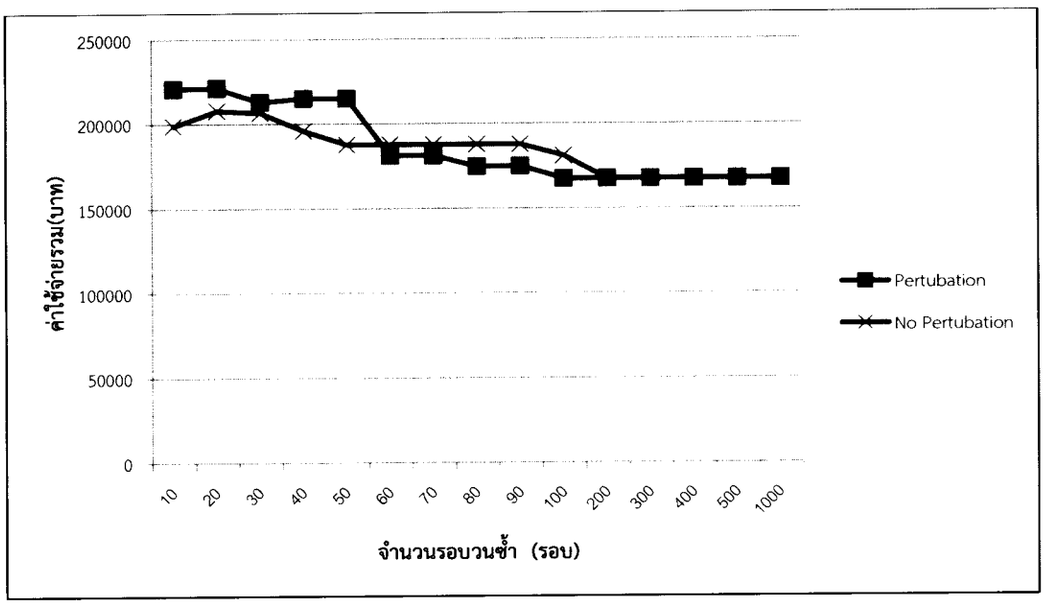
ภาพที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบในการวนซ้ำกับคำตอบที่ได้จากการทดสอบแบบ Best Average Run ที่ GRASP=80%



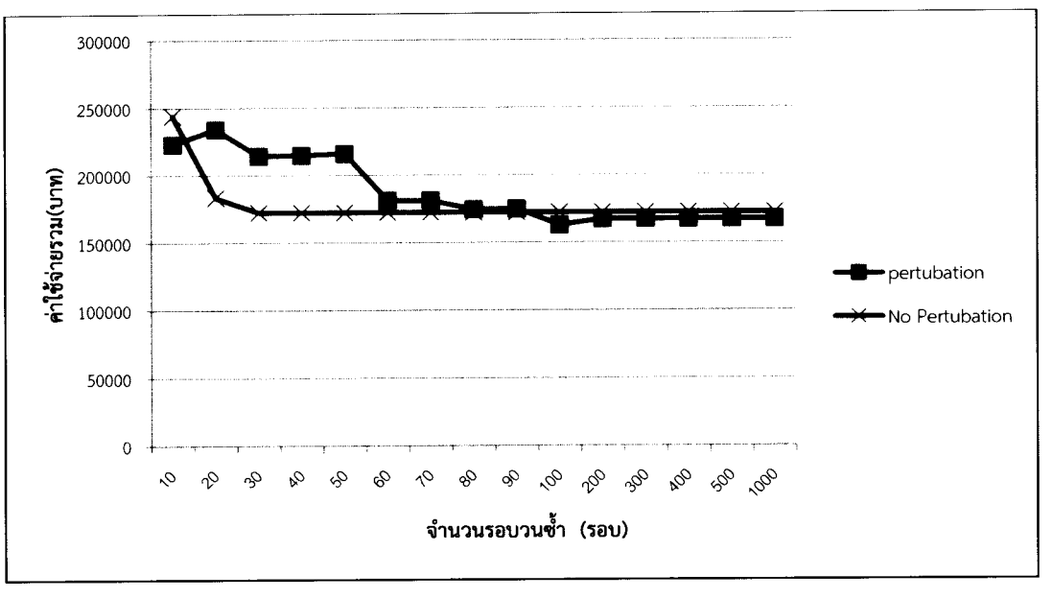
ภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ในสุ่มคำตอบแบบ GRASP กับผลคำตอบที่ได้ สำหรับ Best Single Run



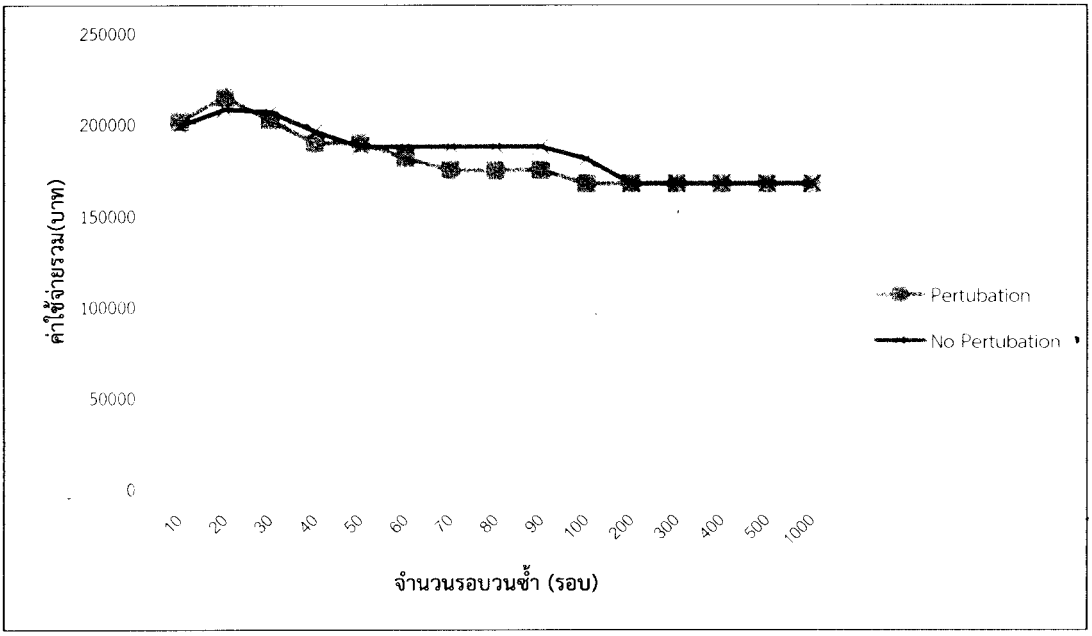
ภาพที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ในสุ่มคำตอบแบบ GRASP กับผลคำตอบที่ได้ สำหรับ Best Average Run



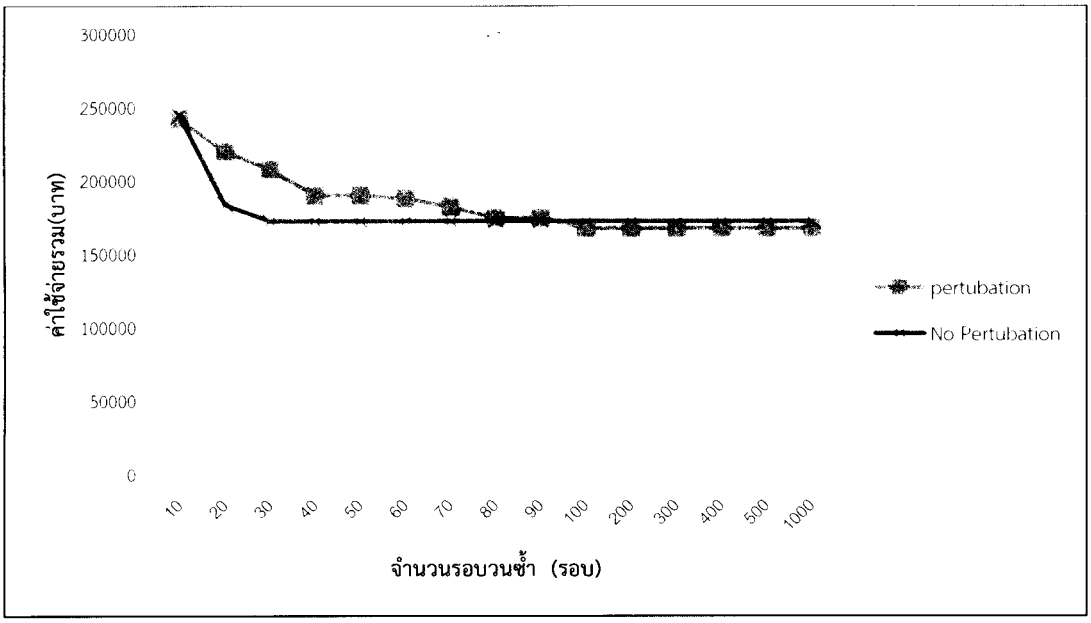
ภาพที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 10% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run



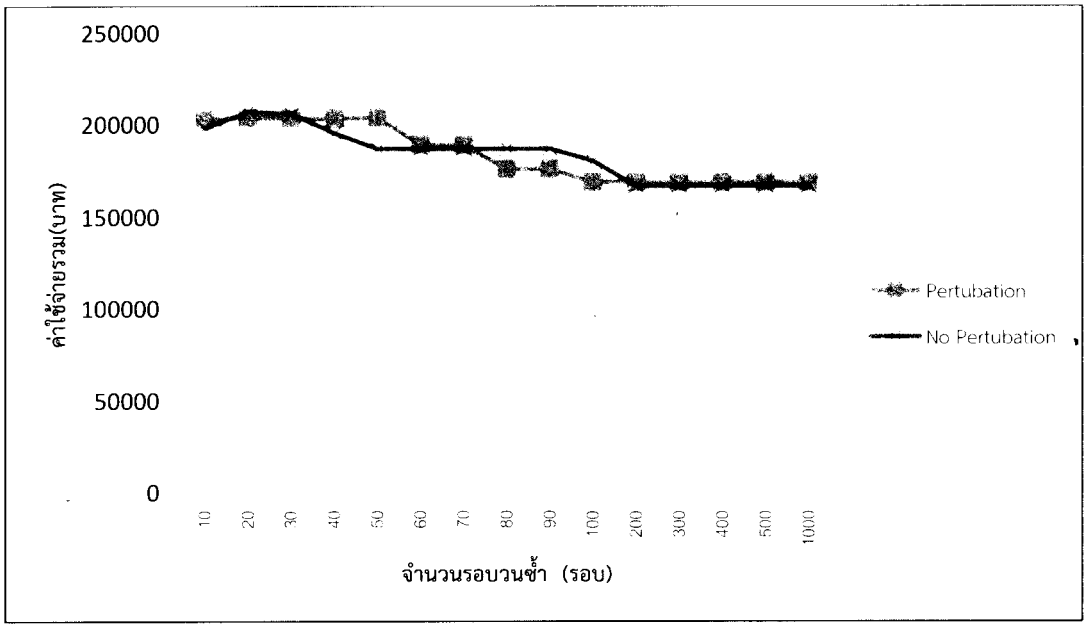
ภาพที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 10% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run



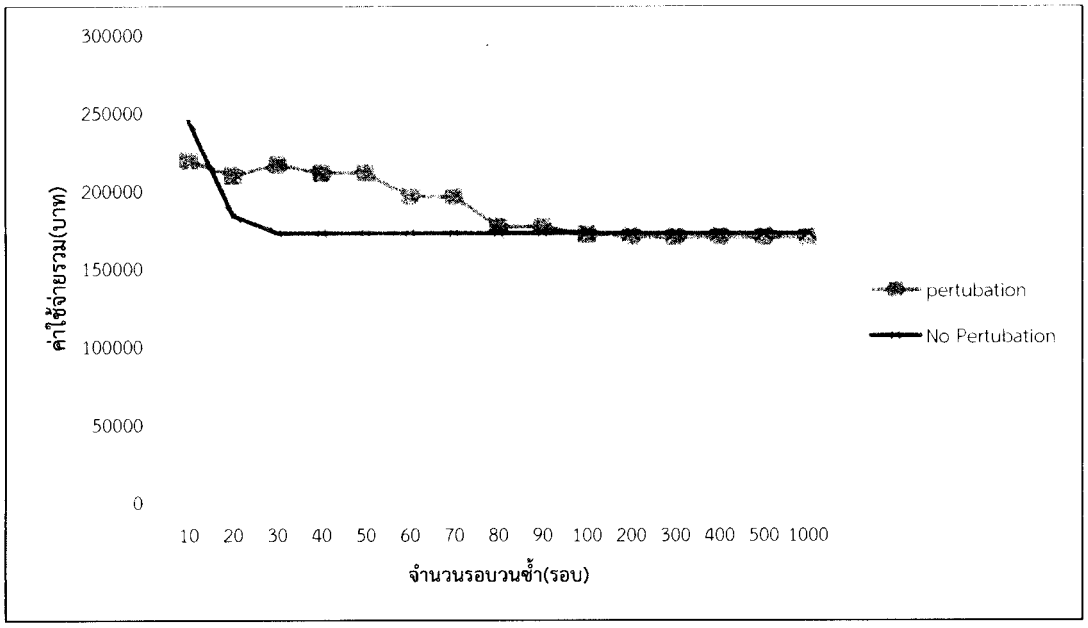
ภาพที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 20% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run



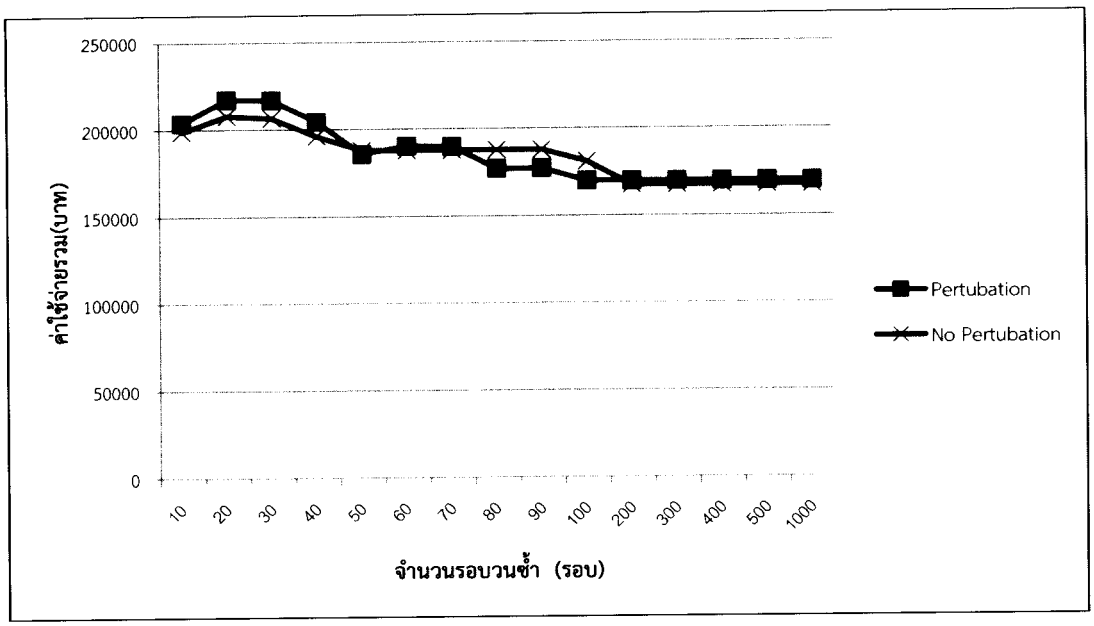
ภาพที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 20% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run



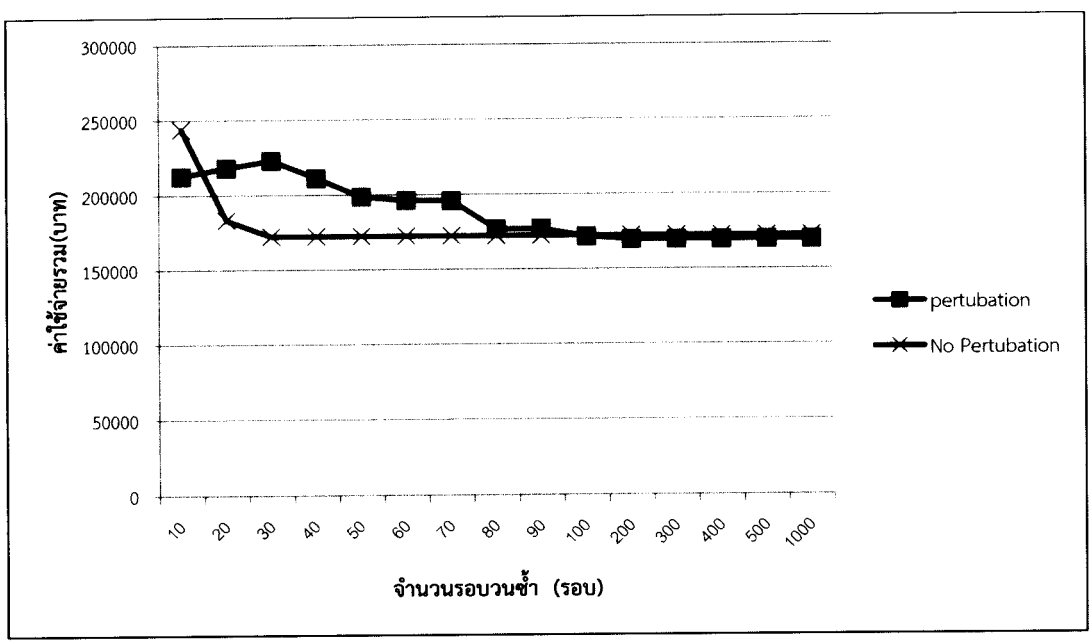
ภาพที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 30% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run



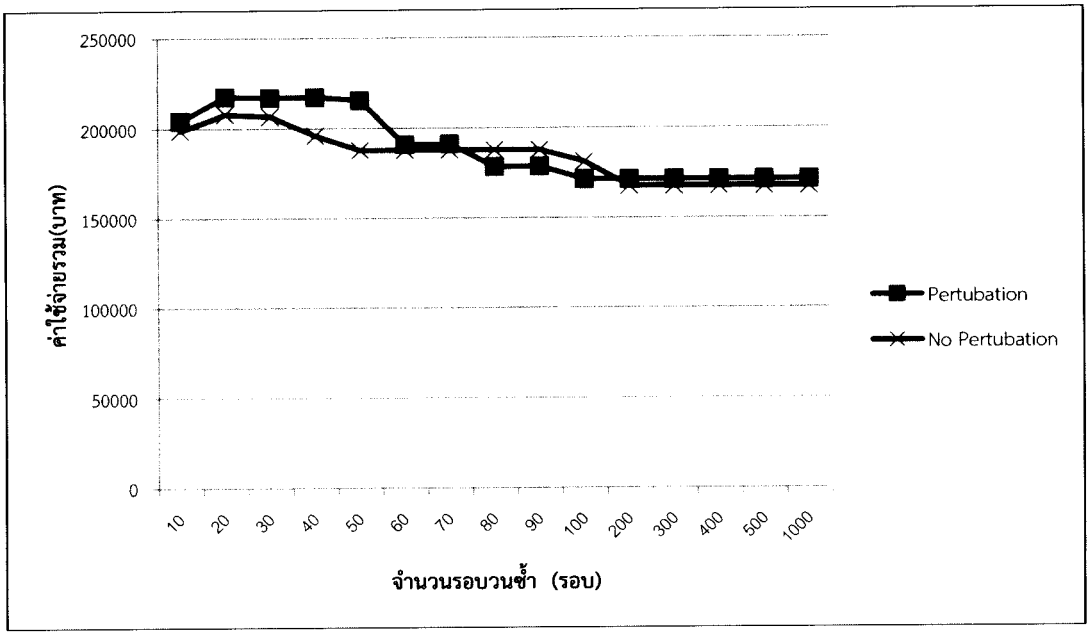
ภาพที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 30% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run



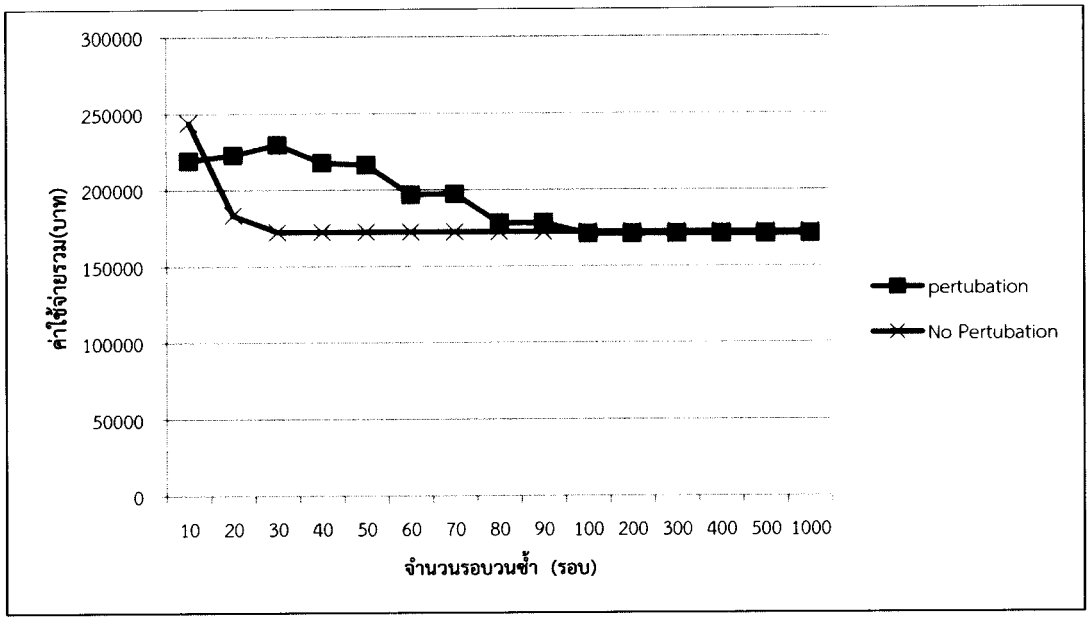
ภาพที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 40% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run



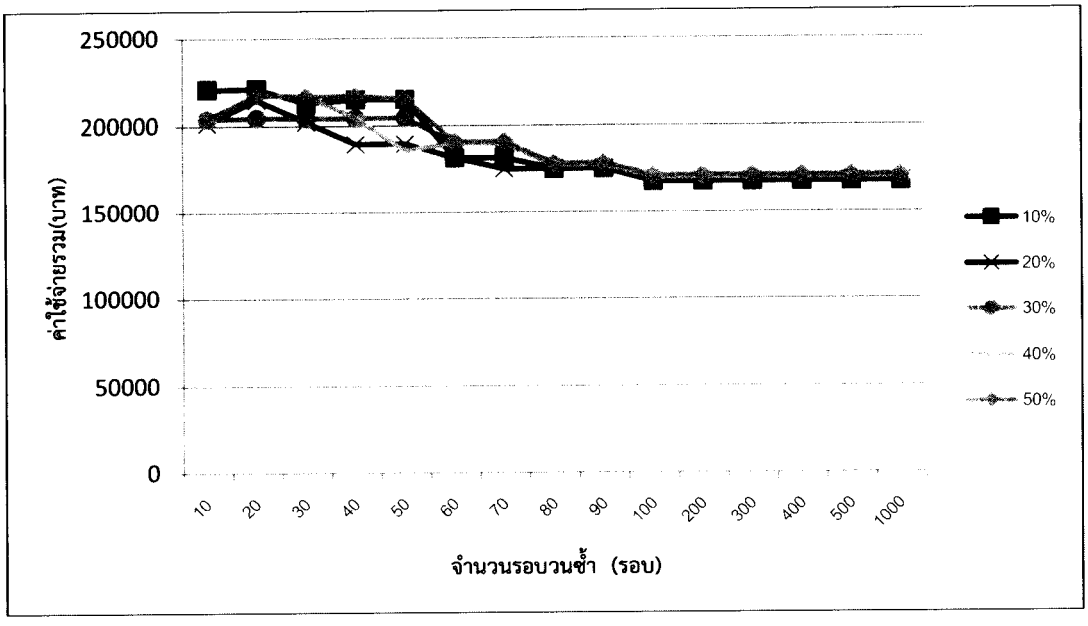
ภาพที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 40% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run



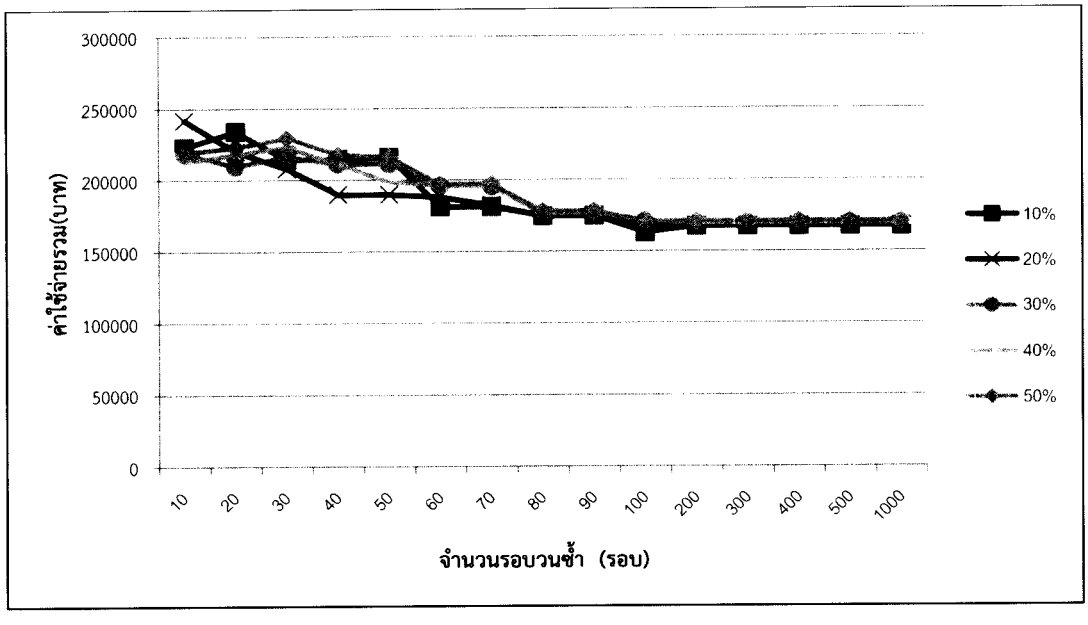
ภาพที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบเมื่อรบกวนคำตอบ 50% เทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Single Run



ภาพที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ 50% เมื่อเทียบกับคำตอบเดิม สำหรับ Best Average Run



ภาพที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ สำหรับ Best Single Run



ภาพที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ เมื่อรบกวนคำตอบ สำหรับ Best Average Run

4.3 สรุปผลการทดลอง การทดสอบฮิวริสติก กับปัญหา OR-Library

ผลจากการทดลองสำหรับการแก้ปัญหา MDVRP ของ OR-Library ทั้งหมด 18 ปัญหา ผู้วิจัยพบว่าวิธีการฮิวริสติกที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นมา สามารถให้ผลเฉลยในการแก้ปัญหาเป็นที่น่าพอใจ โดยมีระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดเมื่อเทียบกับคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปใน OR-Library เฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 0.18% นอกจากนั้นก็ยังให้คุณภาพของผลเฉลยที่ดีถึง 21 ปัญหา คือปัญหาที่ P01 P02 P03 P04 P07 P08 P12 P13 P14 P15 P16 P17 P18 P19 P20 P21 P22 P23 Pr01 Pr02 Pr04 โดยมีเปอร์เซ็นต์ ความผิดพลาดที่ 0%

และคุณภาพของผลเฉลยในระดับที่ดีกว่าคำตอบที่ทราบโดยทั่วไปมี 1 ปัญหาคือ ปัญหาที่ Pr03 และให้ผลเฉลยที่ดีกว่าคำตอบของสุพรรณ 8 ปัญหาคือปัญหาที่ P19 P22 Pr03 Pr04 Pr06 Pr08 Pr09 Pr10 รวมปัญหาที่ฮิวริสติกสามารถให้คุณภาพของผลเฉลยในระดับที่ดีทั้งหมด 22 ปัญหา คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประสบผลสำเร็จในการแก้ปัญหาอยู่ที่ระดับ 66.67 % จากทั้งหมด 33 ปัญหา

สำหรับปัญหาที่ให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดสูงสุดคือ ปัญหาที่ Pr07 Pr10 และ Pr05 โดยมีเปอร์เซ็นความผิดพลาดที่ 0.73% 4.04% และ 4.39% ตามลำดับ ผู้วิจัยสรุปได้ว่าวิธีฮิวริสติกที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาวิธีการขึ้นมาใหม่นี้สามารถให้ผลเฉลยในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยที่ระดับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 5% ผลเฉลยทั้งหมดสรุปได้ในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบผลคำตอบที่ดีที่สุดของฮิวริสติกกับปัญหามาตรฐาน Operation-Research Library (OR- Library) จำนวน 33 ตัวอย่าง ของ Beasley., (2006) เปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบ และสุพรรณ

ปัญหา	คำตอบที่ทราบ	คำตอบของสุพรรณ	คำตอบของฮิวริสติก	%ผลต่างฮิวริสติกกับคำตอบที่ทราบ	% ผลต่างฮิวริสติกกับสุพรรณ
P01	576.87	576.87	576.87	0.00	0.00
P02	473.53	473.53	473.53	0.00	0.00
P03	**641.19**	**641.19**	**641.19**	**0.00**	**0.00**
P04	1001.59	1001.47	1001.59	0.00	0.10
P05	750.03	749.93	753.51	0.46	0.48
P06	876.5	882.16	881.45	0.56	-0.08
P07	885.8	884.66	885.8	0.00	0.13
P08	4437.68	4433.28	4437.67	0.00	0.10
P09	3900.22	3877.35	3909.85	0.25	0.84
P10	3663.02	3655.18	3671.23	0.22	0.44
P11	3554.18	3555.96	3555.92	0.05	0.00

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบผลคำตอบที่ดีที่สุดของฮิวริสติกกับปัญหามาตรฐาน Operation-Research Library (OR- Library) จำนวน 33 ตัวอย่าง ของ Beasley., (2006) เปรียบเทียบกับคำตอบที่ทราบ และสุพรรณ (ต่อ)

ปัญหา	คำตอบที่ทราบ	คำตอบของสุพรรณ	คำตอบของฮิวริสติก	%ผลต่างฮิวริสติกกับคำตอบที่ทราบ	% ผลต่างฮิวริสติกกับสุพรรณ
P12	1318.95	1318.96	1318.96	0.00	0.00
P13	1318.95	1318.96	1318.96	0.00	0.00
P14	1360.12	1360.12	1360.11	0.00	0.00
P15	2505.42	2505.42	2505.42	0.00	0.00
P16	2572.23	2572.22	2572.2	0.00	0.00
P17	2709.09	2709.08	2709.08	0.00	0.00
P18	3702.85	3702.83	3702.85	0.00	0.00
P19	3827.06	3832.87	3827.01	0.00	-0.15
P20	4058.07	4058.05	4058.05	0.00	0.00
P21	5474.84	5474.84	5474.84	0.00	0.00
P22	5702.16	5732.67	5702.08	0.00	-0.53
P23	6095.46	6095.46	6095.46	0.00	0.00
Pr01	861.32	861.32	861.32	0.00	0.00
Pr02	1307.61	1293.184	1307.61	0.00	1.12
Pr03	1806.6	1786.673	**1782.83**	-1.32	-0.22
Pr04	2072.52	2089.69	2072.52	0.00	-0.82
Pr05	2385.77	2397.258	2490.62	4.39	3.89
Pr06	2723.27	2749.57	2739.53	0.60	-0.37
Pr07	1081.71	1089.56	1089.56	0.73	0.00
Pr08	1666.6	1690.237	1670.31	0.22	-1.18
Pr09	2153.1	2214.297	2159.32	0.29	-2.48
Pr10	2811.50	2958.513	2925.1	4.04	-1.13
	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ยความผิดพลาด			0.18	-0.14

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ตลาดโลกมีความต้องการแป้งมันสำปะหลังเป็นปริมาณมากขึ้นและประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกแป้งมันสำปะหลังอันดับหนึ่งของโลกและด้วยเหตุผลที่ประเทศไทยมีภูมิประเทศและภูมิอากาศที่เหมาะสม เมื่อความต้องการของตลาดโลกมากขึ้นการตอบสนองการผลิตจึงมากขึ้นในประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการเพิ่มขึ้นของโรงงานผลิตมันสำปะหลังจำนวนมากจึงได้มีโครงการจัดตั้งโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังเพิ่มขึ้นเพื่อสนองความต้องการของตลาดโลก แต่ในขณะเดียวกันผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องคำนึงถึงต้นทุนด้านต่าง ๆ และพิจารณาหลายมิติทั้งเรื่องของปริมาณวัตถุดิบ ทำเลที่ตั้ง ระหว่างที่ตั้งโรงงานกับลานจำหน่ายมันสำปะหลัง รวมไปถึงระยะทางการขนส่งผลิตภัณฑ์และคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมประกอบกันด้วย

ปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งโรงแป้งมันสำปะหลัง 2 โรง และจัดเส้นทางการขนส่งจากลานมัน 261 ลานมันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กำหนดให้ความจุของการบรรทุกของรถแต่ละคันมีค่าสูงสุดไม่เกิน 30 ตัน แต่ละลานมันสำปะหลังอาจจะขายหรือไม่ขายมันสำปะหลังให้กับโรงแป้งมันสำปะหลังก็ได้ และสามารถขายให้กับโรงแป้งใดโรงหนึ่งหรือพร้อมกันทั้งสองโรงแป้งได้จนกว่าสินค้าจะหมด และโรงงานแป้งแต่ละโรงจะต้องได้วัตถุดิบมันสำปะหลังครบ 1200 ตันต่อวัน ผู้วิจัยนำเสนอวิธี ฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาโดยใช้เทคนิควิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) เพื่อจัดตั้งโรงผลิตแป้งมันสำปะหลังจากบัญชีรายชื่อที่สร้างขึ้นด้วยการแก้ปัญหา P-median จากนั้นทำการจัดเส้นทางเริ่มต้นและปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี Very Large Scale Neighborhood Search (VLSN) เพื่อให้ได้เส้นทางขนส่งที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ร่วมกับวิธีการหาคำตอบแบบ Iterated Local Search (ILS) เพื่อจ่ายพื้นที่ในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด

ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลองด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์ 3 ตัวคือ จำนวนรอบในการวนซ้ำและเปอร์เซ็นต์การสุ่มแบบ GRASP และเปอร์เซ็นต์การรบกวนคำตอบ จากการทดลอง พบว่า วิธีการฮิวริสติกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นสามารถลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้ โดยจำนวนรอบในการวนซ้ำมีผลต่อการค้นหาที่ดีที่สุด เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการค้นหาคำตอบโอกาสในการพบคำตอบจะเพิ่มขึ้นโดยลำดับด้านการสุ่มแบบ GRASP นั้นมีผลต่อคำตอบที่ดีในช่วงของการสุ่มที่มีค่าน้อย ส่วนการรบกวนคำตอบนั้นไม่มีผลต่อคำตอบที่ดีที่สุดในภาพรวมแต่จะส่งผลต่อความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบเมื่อกำหนดค่าระหว่าง 10%-20% จะลู่เข้าสู่คำตอบได้เร็วที่สุด โดยคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลอง พบว่าลานมันที่ 11 (ตำบลบัวงาม อำเภอเดชอุดม จังหวัดอุบลราชธานี) และที่ ลานมันที่ 22 (ตำบลคอนสาย อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี) มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการน้อยที่สุดที่ 167,365.28 บาทต่อวันต่อสองโรงงาน ในช่วงการวนซ้ำที่ 100 รอบและเปอร์เซ็นต์ในการสุ่มแบบ GRASP ที่ 20% โดยไม่มีการรบกวนคำตอบ

ผลการทดลองสำหรับการแก้ปัญหา OR-Library (MDVRP) ทั้งหมด 33 ปัญหา เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น พบว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นให้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยมีเปอร์เซ็นต์

ความผิดพลาด เมื่อเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ทราบค่าเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 0.18 เปอร์เซ็นต์ โดยให้คุณภาพผลเฉลยในระดับที่ดี จำนวน 21 ปัญหา ที่ระดับความผิดพลาด 0 เปอร์เซ็นต์ และให้คุณภาพของผลเฉลยในระดับที่ดีกว่า 1 ปัญหาเมื่อเทียบกับ คำตอบที่ดีที่สุดทราบค่า และ 8 ปัญหาเมื่อเทียบกับคำตอบของสุพรรณ รวมให้คุณภาพผลเฉลยในระดับที่ดีจำนวน 22 ปัญหาจาก 33 ปัญหา คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประสบผลสำเร็จ อยู่ที่ระดับ 66.67 เปอร์เซ็นต์ ผู้วิจัยจึงสรุปว่าวิธีการฮิวริสติกที่ใช้วิธีการ VLSN ในการปรับปรุงคำตอบที่พัฒนาขึ้นสามารถให้ผลเฉลยในการแก้ไขปัญหา MDVRP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยให้คุณภาพของผลเฉลยที่ดีและมีเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการวิจัยในอนาคต

สำหรับงานวิจัยที่ควรจะทำการศึกษาและพัฒนาสำหรับการแก้ปัญหา การจัดตั้ง การจัดเส้นทางยานพาหนะ มีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 ผู้ประกอบการควรคำนึงถึงการลงทุนหลายมิติ และคำนึงถึงความเสี่ยงต่างๆ ยกตัวอย่าง เช่น ทำเลที่ตั้ง การป้องกันผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

5.2.2 ผู้ประกอบการควรศึกษาหาความรู้และหาตลาดในการเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้นบนพื้นฐานของความได้เปรียบทางวัตถุดิบและสภาพแวดล้อมต่างๆ เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกมากขึ้น

5.2.3 ในอนาคตควรมีการนำ เมตาฮิวริสแบบอื่นๆ เช่น Ant Colony, Differental Evolution, Genetics Algorithm มาแก้ปัญหากรณีศึกษาเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบของแต่ละวิธี

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

จันทร์ศิริ สิงห์เถื่อน. "การเลือกตำแหน่งที่ตั้งของสถานที่ให้บริการด้วยวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด", **วิศวกรรมสาร มก.**, ปีที่ 24, ฉบับที่ 78, 2011.

ไชยา โฉมเฉลา และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. "การจัดเส้นทางรถขนส่งน้ำดื่มสำหรับบริการกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีฮิวริสติก กรณีศึกษา โรงงานน้ำดื่มเรนโบว์", ใน **ประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ2553 (IE-Network 2010).** น.212. อุบลราชธานี : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2553.

ญาณิภา ชินสุวรรณ และนระเกณฑ์ พุ่มชูศรี. "การจัดเส้นทางเดินรถแบบต่อเนื่องที่มีการเปลี่ยนถ่ายสินค้าและพักสินค้า", **วารสารวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.** 4(3): 31-40, 2556.

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

ตันติกร พิชญ์พิบูล และเรื่องศักดิ์ แก้วธรรมชัย. "การศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการขนส่งแบบไปกลับของการขนส่งสินค้า", ใน **การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการประจำปีด้านการจัดการโซ่อุปทานและโลจิตติกส์ ครั้งที่ 7.** 2550.

นัทธพงศ์ นันทสำเริง. "การประยุกต์ใช้เทคนิคศูนย์ถ่วงจากน้ำหนักความเสี่ยงในการวิเคราะห์สถานที่จอดพาหนะสำหรับปฏิบัติการทางการแพทย์ฉุกเฉิน", วารสารวิศวกรรม ราชมงคลธัญบุรี ปีที่ 9 ฉบับที่ 2, 2554.

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

ภาณุภัณฑ์ ภาระเวช และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. "Solving an Assembly Line Balancing Problem by Differential Evolution", **Journal of Industrial Technology UbonRatchathaniRajabhat University**. 3(6): July-December, 2013.

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

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. **เอกสารประกอบการสอน รายวิธี1302476 หัวข้อเฉพาะทางด้านการจัดการดำเนินงาน.** อุบลราชธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2557.

วรางคณา อดทน. **การพัฒนาระบบจัดลำดับงาน-เส้นทางสำหรับการกระจายสินค้าด้วยการบูรณาการวิธีฮิวริสติกส์แบบ multi-seed points กับการวิเคราะห์โครงข่ายกรณีศึกษา: ศูนย์กระจายสินค้าบางนา.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาภูมิสารสนเทศ, 2554.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สุคนธ์ทิพย์ สินวิวฒนกุล, นัทธพงศ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. การประยุต์ใช้อัลกอริทึมของวิธีเลียนแบบการอบอ่อนและวิธีเลียนแบบเควนซิ่งสำหรับปัญหาพีมีเดียนโดยมีนโยบายราคาเข้ามาเกี่ยวข้อง กรณีศึกษาการหาสถานที่ตั้งโรงงานแป้งมันสัมปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย", **วิศวกรรมวารสารฉบับวิจัยและพัฒนา.** 23(4): 61-70, 2555

สุพรรณ สุดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. "การประยุกต์วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ศูนย์กระจายสินค้าในภาคธุรกิจการขนส่งและลอจิสติกส์", ใน **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ.** น.101-121. กรุงเทพฯ: โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล, 2549.

สุพรรณ สุดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. "วิธีอาณานิคมและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบสำหรับปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง", ใน **การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ.** น.81-88. ภูเก็ต: โรงแรม Royal Phuket City, 2550.

สหัส พรหมสิทธิ์. "ปัญหาการเลือกที่ตั้งโรงงานอุตสาหกรรมคลังสินค้า", จาก **นิตยสารผู้จัดการ** ,2007.

เอกชัย คุปตาวาทิน และระพีพันธ์ ปิตาคะโส. **การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบวิวัฒนาการคำตอบสำหรับการจัดสรรวัตถุดิบในการขนส่งมันสำปะหลังแบบหลายระดับชั้น**. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น. 18(3): 32-43, 2013.

อภิชิต มณีงาม กนกพร ศรีปฐมสวัสดิ์ และอภินันทนา อุดมศักดิกุล. "การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถโดยมีการจำกัดเวลาการเดินรถบรรทุกขนาดใหญ่ด้วยวิธีฮิวริสติกส์ กรณีศึกษา: การขนส่งอิฐบล็อกในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล", **วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี**. 3(6): 43-50; กันยายน – ธันวาคม, 2557.

ราคาขายปลีก กทม. และปริมณฑล. (ม.ป.ป.). สืบค้น 1 กรกฎาคม 2558, จาก http://www.pttplc.com/TH/Media-Center/Oil-Price/pages/Bangkok-Oil-Price.aspx

Ahuja, R., Ravindran, P., Delin, A., James, P., Johansson, B., Wills, J. M., & Eriksson, O. "Magnetic, optical, and magneto-optical properties of MnX (X= As, Sb, or Bi) from full-potential calculations". **Physical Review B**. 59(24), 1999.

Ahuja, Ravindra K., et al. "A survey of very large-scale neighborhood search techniques." **Discrete Applied Mathematics**. 123(1): 75-102, 2002.

Applegate, D. L. and et al. "Certifcation of An Optimal TSP Tour Through 85,900 Cities", **Operations Research Letters**. 37(1): 11–15, 2009.

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

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Baldacci, R. and Mingozzi, A. **A unified exact method for solving different classes of vehicle routing problems**. Italy: University of Bologna, 2008.

Ballou, Ronald H., and James M. Masters. "Faculity location commercial software Survey", **Journal of Business Logistics**. 20(1): 215, 1999.

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

Beatrice, O., Brian, J. R. and Franklin. H. "Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows", **Applied Intelligence**. 24(1): 17-30, 2006.

Bednar, Mag Dr L., and Dipl Ing Dr E. Strohmeier. "Lagerstandortoptimierung and Fuhrparkeinsatzplanung in der Konsumgüter-Industrie." **Zeitschrift für Operations Research**. 23.4: B89-B104, 1979.

Blum, C. and Fouldm L. R. "Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison", **ACM Computing Surveys**. 35(1): 268-308, 2003.

Bodin, L. and Levy, L. "Visualization in vehicle routing and scheduling problems", **ORSA Journal on Computing**. 3(1): 261-26, 1994.

Bodin, S. and Golden, B. "Classification in vehicle routing and scheduling", **Computer & Operations Research**. 10(1): 67-211, 1983.

Brueggemann, Tobias, and Johann L. Hurink. "Two exponential neighborhoods for single machine scheduling." (2005).

Brueggemann, T. **Efficiency of Local Search**. Netherlands: University of Twente, Enschede, 2006.

Bullnheimer, B., Hartl, R. F. and Strauss, C. "An improved ant system for the vehicle routing problem", **Annals of Operations Research**. 89(1): 319-328, 1999.

C. S. ReVelle and H. A. Eiselt, Location analysis: A synthesis and survey, European Journal of Operational Research, 165, (1), 1-19, 2005.

Cadenas, J. M., Canós, M. J., Garrido, M. C., Ivorra, C., & Liern, V. **Soft-computing based heuristics for location on networks: The p-median problem. Applied Soft Computing**, 11(2), 1540–1547, 2011.

Cheng, C. B. and Mao, C. P. "A modified ant colony system for solving the traveling salesman problem with time windows", **Mathematical and Computer Modelling**. 46(1): 1225-1235, 2007.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Chiang, Wen-Chyuan, and Robert A. Russell. "A reactive tabu search metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows." **INFORMS Journal on computing**. 9(4): 417-430, 1997.

Chiarandini, M., Dumitrescu, I. and St □utzle, T. "Very Large-Scale Neighborhood Search:Overview and Case Studies on Coloring Problems", **117-Universit´e Libre de Bruxelles**. Brussels, Belgium, 2004.

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

Chu, S., Roddick, J. and Pan, J. "Ant colony system with communication strategies", **Information Sciences**. 167: 63–76, 2004.

Chuin, H. and et al. "A Generic Object-Oriented Tabu Search Framework", in **The Fifth Metaheuristics International Conference**, 2003. P.98-106. Kyoto, Japan; August 25–28, 2003.

Clarke, G. and Wright, J. W. "Scheduling of vehicle from a central depot to a number of delivery points", **Operations Research**. 12(1): 568-581, 1964.

Cordeau, Jean-François, Michel Gendreau, and Gilbert Laporte. "A tabu search heuristic for periodic and multi-depot vehicle routing problems." **Networks**. 30.2: 105-119, 1997.

Cornuéjols, Gérard, George L. Nemhauser, and Lairemce A. Wolsey. **The uncapacitated facility location problem. No. MSRR-493**. CARNEGIE-MELLON UNIV PITTSBURGH PA MANAGEMENT SCIENCES RESEARCH GROUP, 1983.

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

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

Dorigo, M. and Stutzle, T. **Ant Colony Optimization (Bradford Books).** The MIT Press, 2004.

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

Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colorni, A. "Positive feedback as a search strategy", **Technical report.** Milano :Dipartimento di Elettronica, 1991.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Ellabib, I. Calama, P. and Basir, O. "Exchange strategies for multiple ant colonysystem", **Information Sciences.** 177(5): 1248–1264, 200

Faied, M., Mostafa, A. and Girard, A. "Vehicle Routing Problem Instances: Application to Multi-UAV Mission Planning", **AIAA Guidance, Navigation, and Control Conference.** 9(2): 2 – 5, 2010.

Ganesh, K., Sam, N. A. and Narendran, T. T. "Variants, Solution approaches and applications for Vehicle Routing Problems in supply chain: agile framework and comprehensive review", **International Journal of Agile Systems and Management.** 2(1): 50-75, 2007.

Gendreau, Michel, Gilbert Laporte, and Frédéric Semet. "A tabu search heuristic for the undirected selective travelling salesman problem." **European Journal of Operational Research.** 106.2 (1998): 539-545.

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

Gronalt, M., Hartl, R. F. and Reimann, M. "New savings based algorithms for time constrained pickup and delivery of full truckloads", **European Journal of Operational Research.** 151(1): 520-535, 2003.

Hanjoul, Pierre, and Dominique Peeters. "A comparison of two dual-based procedures for solving the p-median problem." **European Journal of Operational Research.** 20.3: 387-396, 1985.

Hansen, P., & Mladenović, N. **Variable neighborhood search for the p-median. Location Science,** 5(4), 207–226, 1997.

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

HOONG CHUIN LAU WEE CHONG WAN XIAOMIN JIA "A GENERIC OBJECT-ORIENTED TABU SEARCH FRAMEWORK", **THE FIFTH METAHEURISTICS INTERNATIONAL CONFERENCE,** 2003.

Kanya Auckara-aree, Rein Boondiskulchok. (2007). **Location Selection for Inbound Collection System.**

Kaur, M. and Goyal, S. "Application of ACO to Disentangle Max-Min MDVRP Using Clustering Technique", **International Journal of Scientific and Research Publications**. 3(2): 1-6, 2013.

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

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

KIM, B., LI, H. and Johnson, A. L. **A augmented large neighborhood search method for solving the team orienteering problem.** USA: Texas A&M University, College Station, 2010.

Kolman, I. **A Hybrid Genetic Algorithm to Solve the Multi-Depot Vehicle Routing Problem**. Master's Thesis Operations Research: University of Groningen, 2012.

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

Li, Y., Hu, X. and Jun, L. "A heuristic search algorithm for vehicle routing problems and the gis-based vehicle routing system onboard", **Management Science and Engineering**. 12(1): 94-99, 2006.

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

Lee, M.-Z. Constrained Weapon–Target Assignment: Enhanced Very Large Scale Neighborhood Search Algorithm. **Trans. Sys. Man Cyber. Part A**, 40(1), 198–204, 2010.

Levanova, T. V., & Loresh, M. A. **Algorithms of Ant System and Simulated Annealing for the p-median Problem. Automation and Remote Control**, 65(3), 431–438, 2004.

Lin, S. and Kemighan, B. "An Effective Heuristic Algorithm for the Traveling Salesman Problem", **Operation Research**. 21(1): 498-516, 1973.

Lincoln, Thomas M., M. Thompson, and T. L. Cornwell. "Purification and characterization of two forms of cyclic GMP-dependent protein kinase from

bovine aorta." **Journal of Biological Chemistry.** 263.33: 17632-17637, 1988.

Luo, J., Li, X. and Chen, M. "Multi-Phase Meta-Heuristic for Multi-Depots Vehicle Routing Problem", **Journal of Software Engineering and Applications.** 6(1): 82-86, 2013.

M. Lucka and S. Piecka, "Parallel posix threads based ant colony optimization usingasynchronous communication", in **Proceedings of the 8th International Conference on Applied Mathematics.** p.229–236, IEEEXplore, 2009.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Manfrin, M. and et al. "Parallel ant colony optimization for the traveling salesman problem", in **Proceedings of the 5th International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, Lecture Notes in Computer Science.** P.224–234. IEEEXplore, 2006.

Martin IV, Ephraim. "Centralized bakery reduces distribution costs using simulation." **Interfaces.** 28.4 (1998): 38-46.

MEI-ZI LEE INF. & COMMUN CHUNG-SHAN INST. "CONSTRAINED WEAPON–TARGET ASSIGNMENT: ENHANCED VERY LARGE SCALE NEIGHBORHOOD SEARCH ALGORITHM" **IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS MAN AND CYBERNETICS - PART A SYSTEMS AND HUMANS.**

Metropolis, N. and et al. "Equations of state calculations by fast computing machine", **Journal of Chemical Physic.** 6(1): 1087-1092, 1953.

Meyers, C. "Operations Research Center, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA", in **PATAT'06 Proceedings of the 6th international conference on Practice and theory of automated timetabling VI.** P.24-39, 2006.

Meyers, C. and James, B. O. **Very Large-Scale Neighborhood Search Techniques in Timetabling Problems.** USA: Cambridge, 2009.

Meyers, C. and Orlin, J. B. "Very large-scale neighborhood search techniques in timetabling problems", **E.K. Burke and H. Rudova (Eds.).** 5(1): 24-39, 2007.

Mouthuy, S. **Constraint-Based Very Large-Scale Neighborhood Search.** Thesis submitted in partial ful_llment of the requirements for the Degree of Doctor in Applied Sciences: Universit e Catholique de Louvain, 2011.

Nagy, Gábor, and Saïd Salhi. "Location-routing: Issues, models and methods."European **Journal of Operational Research.** 177.2: 649-672, 2007.

Noon, C. **The generalized traveling salesman problem**. USA: The University of Michigam, 1988.

Osman and Cnristofides "Capacitated P-median Problem (CPMP) is an important variation of facility location problem" **European Journal of Operational Research**. 135(2): 413-427, 2001.

Piriyakumar, D. and Levi, P. "A new approach to exploiting parallelism in antcolony optimization", in **Proceedings of the International Symposium onMicromechatronics and Human Science**. p.237–243. IEEEXplore, 2002.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Pitakaso, R. "Modified Differential Evolution algorithm for Simple Assembly Line Balancing when number of machines in the workstation is considered". **14th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference 2013**. P.54-65, 2013.

Potvin, Jean-Yves, and Samy Bengio. "The vehicle routing problem with time windows part II: genetic search." **INFORMS journal on Computing.** 8.2 (1996): 165-172.

Potvin, Jean-Yves, et al. "The vehicle routing problem with time windows part I: tabu search." **INFORMS Journal on Computing**. 8.2 (1996): 158-164.

Ravindra, K. A. and et al. "A survey of very large-scale neighborhood search techniques", **Discrete Applied Mathematics**. 123(1): 75 – 102, 2002.

Ravindra, K. A. and James, B. O. "Very Large-Scale Neighborhood Search in Airline Fleet Scheduling", **SIAM News**. 35(9): 50-62, 2002.

Rego, C., James, T. and Glover, F. "An Ejection Chain Algorithm for the Quadratic Assignment Problem". **NETWORKS**. 10(1): 102-124, 2010.

Renaudl, J. T., Laporte, G. and Boctor, F. F. "A Tabu Search Heuristic for The Multi-Depot Vehicle Routing Problem", **Computers Ops Res**. 23(3): 229-235, 1996.

Rosenkrantz, D., Sterns, R.E. and Lewis, P.M. "An analysis of several heuristics for the traveling salesman problem", **SIAM Journal and Computing**. 6(1): 563-581, 1977.

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

Sameh, A., Ayman A. and Hasan. N. "Parallel ant colony optimization", **International Journal of Research and Reviews in Computer Science**. 1(2): 77–82, 2010.

Sindhuchao, S. "A Very Large Scale Neighborhood (Vlsn)Search Algorithm for an Inventory-RoutingProblem", **Thammasat Int. J. Sc. Tech.** 2(4): 65-67, 2006.

Supakdee, K., Nanthasamroeng, N. and Pitakaso, R. "Clustering-Location-Routing Algorithm for Vehicle Routing Problem: An Application in Medical Equipment Maintenance", **IIE Asian 2013 Conference**. (July 18-20, Taipei, Taiwan), 2013.

Surekha, P, and Sumathi, S. "Solution To Multi-Depot Vehicle Routing Problem Using Genetic Algorithms", **World Applied Programming**. 1(3): 118-131, 2011.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Taillard, Éric, et al. "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows." **Transportation science.** 31.2 (1997): 170-186.

Tansini, Libertad, María E. Urquhart, and Omar Viera. "Comparing assignment algorithms for the Multi-Depot VRP." **Reportes Técnicos**, 2001.

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

Thompson, Paul M., and Harilaos N. Psaraftis. "Cyclic transfer algorithm for multivehicle routing and scheduling problems." **Operations research.** 41.5: 935-946, 1993.

Toth, Paolo, and Daniele Vigo. The vehicle routing problem. **Society for Industrial and Applied Mathematics**, 2001.

Toth, P. and Vigo, D. "An overview of vehicle routing problems", **SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Application**. Philadelphia, 2002.

Twomey, C. and et al. "An analysis of communication policies for homogeneous multi-colony acoalgorithms", **Information Sciences**. 12(1): 2390–2404, 2010.

Vidal, T. and et al. **A Hybrid Genetic Algorithm for Multi-Depot and Periodic Routing Problems**. Canada: University of Laval, 2011.

Wang, Ran-Zan, Chi-Fang Lin, and Ja-Chen Lin. "Image hiding by optimal LSB substitution and genetic algorithm." **Pattern recognition.** 34.3: 671-683. 2001.

Wei, L., Zhenggang, H. and Jinyu, S. "The Modeling and Algorithm for a Multi-Depot Vehicle Routing Problem Based on the Difference of Customer Demands". **International Journal of Advancements in Computing Technology**. 5(4): 79-87; February, 2013.

Wu, Tai-Hsi, Chinyao Low, and Jiunn-Wei Bai. "Heuristic solutions to multi-depot location-routing problems." **Computers & Operations Research**. 29.10: 1393-1415, 2002.

Xiong, J., Liu, C. and Chen, Z. "An improved parallel ant colony optimizationbased on message passing interface", in **Proceedings of the First International Conference on Advances in Swarm Intelligence Lecture Notes in Computer Science**. P.249–256, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Xiong, J., Liu, C. and Chen, Z. "A new parallel ant colony optimization algorithmbased on message passing interface", in **Proceedings of the IEEE Pacific-Asia Workshop on Computational Intelligence and Industrial Application**. P.178–182. IEEE computer society, 2008.

Xu, J. and et al. "A novel parallel ant colony optimization algorithm with dynamic transition probability", in **Proceedings of the 2009 International Forum on Computer Science-Technology and Applications**. p.191–194, IEEEXplore, 2009.

Yannis, M., Magdalene, M. and Georgios, D. "A hybrid particle swarm optimization algorithm for the vehicle routing problem", **Engineering Applications of Artificial Intelligence**. 23(1): 463-472, 2010.

Zhang, X. and Tang, L. "A new hybrid ant colony optimization algorithm for the vehicle routing problem", **Pattern Recognition Letters**. 30(1): 848-855, 2009.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลเพื่อประกอบการแก้ปัญหา ของกรณีศึกษา

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
อุบลราชธานี	01 - อำเภอเมือง	ในเมือง	1	550000
อุบลราชธานี	02 - อำเภอศรีเมืองใหม่	ลาดควาย	2	1000000
อุบลราชธานี		นาเลิน	3	5000000
อุบลราชธานี	04 - อำเภอเขื่องใน	หัวดอน	4	100000
อุบลราชธานี		หนองเหล่า	5	63280000
อุบลราชธานี	05 - อำเภอเขมราฐ	เขมราฐ	6	45000000
อุบลราชธานี		นาแวง	7	100000
อุบลราชธานี	07 - อำเภอเดชอุดม	เมืองเดช	8	3000000
อุบลราชธานี		แก้ง	9	2000000
อุบลราชธานี		ท่าโพธิ์ศรี	10	500000
อุบลราชธานี		บัวงาม	11	37500000
อุบลราชธานี		ตบหู	12	500000
อุบลราชธานี	08 - อำเภอนาจะหลวย	นาจะหลวย	13	4000000
อุบลราชธานี		โนนสวรรค์	14	21000000
อุบลราชธานี	09 - อำเภอน้ำยืน	โซง	15	12120000
อุบลราชธานี		ยาง	16	93000000
อุบลราชธานี		โดมประดิษฐ์	17	16400000
อุบลราชธานี		บุเปือย	18	100300000
อุบลราชธานี		สีวิเชียร	19	29528000
อุบลราชธานี		ยางใหญ่	20	800000
อุบลราชธานี		เก่าขาม	21	5700000
อุบลราชธานี	11 - อำเภอตระการพืชผล	คอนสาย	22	63730000
อุบลราชธานี		ห้วยฝ้ายพัฒนา	23	30000000
อุบลราชธานี	15 - อำเภอวารินชำราบ	แสนสุข	24	500000
อุบลราชธานี	19 - อำเภอพิบูลมังสาหาร	ดอนจิก	25	75000000

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
ชัยภูมิ		บ้านขาม	51	1500000
ชัยภูมิ		หนองบัวโคก	52	60000
ชัยภูมิ		ส้มป่อย	53	100000
ชัยภูมิ	07 - อำเภอบำเหน็จณรงค์	บ้านชวน	54	100000
ชัยภูมิ		บ้านเพชร	55	1450000
ชัยภูมิ		โคกเริงรมย์	56	10000000
ชัยภูมิ	08 - อำเภอหนองบัวระเหว	หนองบัวระเหว	57	1750000
ชัยภูมิ		วังตะเฆ่	58	590000
ชัยภูมิ	09 - อำเภอเทพสถิต	วะตะแบก	59	2600000
ชัยภูมิ		ห้วยยายจิ๋ว	60	1500000
ชัยภูมิ		นายางกลัก	61	1100000
ชัยภูมิ		บ้านไร่	62	20000
ชัยภูมิ		โป่งนก	63	1440000
ชัยภูมิ	10 - อำเภอภูเขียว	โคกสะอาด	64	400000
ชัยภูมิ	12 - อำเภอแก้งคร้อ	ช่องสามหมอ	65	6000000
ชัยภูมิ	14 - อำเภอภักดีชุมพล	วังทอง	66	10500000
ชัยภูมิ	15 - อำเภอเนินสง่า	หนองฉิม	67	200000
ชัยภูมิ	16 - กิ่งอำเภอซับใหญ่	ซับใหญ่	68	1054000
ขอนแก่น	01 - อำเภอเมือง	ท่าพระ	69	400000
ขอนแก่น	07 - อำเภอน้ำพอง	น้ำพอง	70	900000
ขอนแก่น		หนองกุง	71	2150000
ขอนแก่น		ม่วงหวาน	72	300000
ขอนแก่น		บ้านขาม	73	50000
ขอนแก่น	09 - อำเภอกระนวน	หนองโก	74	1300000
ขอนแก่น		ห้วยยาง	75	1000000
ขอนแก่น		บ้านฝาง	76	24000

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
ขอนแก่น	10 - อำเภอบ้านไผ่	บ้านไผ่	77	850000
ขอนแก่น		ในเมือง	78	240000
ขอนแก่น		บ้านลาน	79	50000
ขอนแก่น		แคนเหนือ	80	2890000
ขอนแก่น		หินตั้ง	81	650000
ขอนแก่น		หัวหนอง	82	7500000
ขอนแก่น	12 - อำเภอพล	โจดหนองแก	83	500000
ขอนแก่น	17 - อำเภอมัญจาคีรี	กุดเค้า	84	950000
ขอนแก่น	19 - อำเภอเขาสวนกวาง	เขาสวนกวาง	85	1000000
ขอนแก่น		คำม่วง	86	2000000
ขอนแก่น	21 - กิ่งอำเภอซำสูง	กระนวน	87	200000
ขอนแก่น	25 - กิ่งอำเภอโนนศิลา	โนนศิลา	88	100000
นครราชสีมา	01 - อำเภอเมือง	หัวทะเล	89	3800000
นครราชสีมา		ไชยมงคล	90	12400000
นครราชสีมา		หนองบัวศาลา	91	21820000
นครราชสีมา		ในเมือง	92	200000
นครราชสีมา	02 - อำเภอครบุรี	แชะ	93	300000
นครราชสีมา		เฉลียง	94	2550000
นครราชสีมา		อรพิมพ์	95	1000000
นครราชสีมา		บ้านใหม่	96	6000000
นครราชสีมา		ลำเพียก	97	200000
นครราชสีมา		ตะแบกบาน	98	800000
นครราชสีมา	03 - อำเภอเสิงสาง	เสิงสาง	99	600000
นครราชสีมา		สระตะเคียน	100	1350000
นครราชสีมา		กุดโบสถ์	101	2000000
นครราชสีมา		สุขไพบูลย์	102	1300000

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
นครราชสีมา	06 - อำเภอจักราช	ศรีละกอ	103	100000
นครราชสีมา	07 - อำเภอโชคชัย	กระโทก	104	300000
นครราชสีมา		ทุ่งอรุณ	105	200000
นครราชสีมา		โชคชัย	106	600000
นครราชสีมา		ด่านเกวียน	107	2700000
นครราชสีมา	08 - อำเภอด่านขุนทด	ด่านขุนทด	108	1740000
นครราชสีมา		ตะเคียน	109	1000000
นครราชสีมา		บ้านเก่า	110	200000
นครราชสีมา		พันชนะ	111	3800000
นครราชสีมา		หินดาด	112	200000
นครราชสีมา		ห้วยบง	113	2975000
นครราชสีมา		ด่านใน	114	800000
นครราชสีมา	12 - อำเภอบัวใหญ่	ด่านช้าง	115	7050000
นครราชสีมา	14 - อำเภอปักธงชัย	นกออก	116	1480000
นครราชสีมา		จิ้ว	117	1100000
นครราชสีมา	15 - อำเภอพิมาย	ในเมือง	118	700000
นครราชสีมา	16 - อำเภอห้วยแถลง	ทับสวาย	119	400000
นครราชสีมา	17 - อำเภอชุมพวง	ชุมพวง	120	500000
นครราชสีมา	18 - อำเภอสูงเนิน	มะเกลือเก่า	121	300000
นครราชสีมา		นากลาง	122	540000
นครราชสีมา	19 - อำเภอขามทะเลสอ	ขามทะเลสอ	123	50000
นครราชสีมา		โป่งแดง	124	1200000
นครราชสีมา		หนองสรวง	125	100000
นครราชสีมา		บึงอ้อ	126	3100000
นครราชสีมา	20 - อำเภอสีคิ้ว	สีคิ้ว	127	16600000
นครราชสีมา		บ้านหัน	128	2200000
นครราชสีมา		กฤษณา	129	3127000

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
นครราชสีมา		ลาดบัวขาว	130	400000
นครราชสีมา		กุดน้อย	131	450000
นครราชสีมา		มิตรภาพ	132	600000
นครราชสีมา		หนองบัวน้อย	133	700000
นครราชสีมา	21 - อำเภอปากช่อง	หนองสาหร่าย	134	3750000
นครราชสีมา		ขนงพระ	135	300000
นครราชสีมา		หนองน้ำแดง	136	1000000
นครราชสีมา	22 - อำเภอหนองบุนนาก	หนองบุนนาก	137	200000
นครราชสีมา		ไทยเจริญ	138	200000
นครราชสีมา		หนองหัวแรต	139	8175000
นครราชสีมา		แหลมทอง	140	1000000
นครราชสีมา		หนองไม้ไผ่	141	300000
นครราชสีมา	23 - อำเภอแก้งสนามนาง	แก้งสนามนาง	142	1230000
นครราชสีมา	26 - อำเภอเทพารักษ์	สำนักตะคร้อ	143	40000
นครราชสีมา	28 - อำเภอพระทองคำ	หนองหอย	144	200000
นครราชสีมา		พังเทียม	145	200000
นครราชสีมา	29 - อำเภอลำทะแมนชัย	ชุย	146	500000
นครราชสีมา		ช่องแมว	147	50000
นครราชสีมา	32 - อำเภอเฉลิมพระเกียรติ	ท่าช้าง	148	100000
บุรีรัมย์	02 - อำเภอคูเมือง	คูเมือง	149	120000
บุรีรัมย์	04 - อำเภอนางรอง	สะเดา	150	500000
บุรีรัมย์	05 - อำเภอหนองกี่	หนองกี่	151	50000
บุรีรัมย์		ดอนอะราง	152	1040000
บุรีรัมย์		ทุ่งกระตาดพัฒนา	153	1470000

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
บุรีรัมย์		ทุ่งกระเต็น	154	2400000
บุรีรัมย์	06 - อำเภอละหานทราย	สำโรงใหม่	155	50000
บุรีรัมย์		หนองแวง	156	100000
บุรีรัมย์	08 - อำเภอบ้านกรวด	หนองไม้งาม	157	200000
บุรีรัมย์	11 - อำเภอสตึก	สตึก	158	200000
บุรีรัมย์		นิคม	159	100000
บุรีรัมย์	12 - อำเภอปะคำ	โคกมะม่วง	160	800000
บุรีรัมย์	17 - อำเภอโนนสุวรรณ	ทุ่งจังหัน	161	1000000
บุรีรัมย์	20 - อำเภอโนนดินแดง	โนนดินแดง	162	1550000
เลย	01 - อำเภอเมือง	นาอ้อ	163	720000
เลย		กกดู่	164	1400000
เลย		นาดินดำ	165	100000
เลย		นาแขม	166	400000
เลย	03 - อำเภอเชียงคาน	ธาตุ	167	1500000
เลย		นาซ่าว	168	700000
เลย	08 - อำเภอท่าลี่	หนองผือ	169	2000000
เลย	09 - อำเภอวังสะพุง	หนองหญ้าปล้อง	170	1000000
เลย		หนองงิ้ว	171	300000
เลย		เขาหลวง	172	1000000
เลย		ศรีสงคราม	173	700000
เลย	10 - อำเภอภูกระดึง	ห้วยส้ม	174	450000
เลย	12 - อำเภอผาขาว	ท่าช้างคล้อง	175	100000
เลย	13 - กิ่งอำเภอเอราวัณ	เอราวัณ	176	100000
เลย		ผาอินทร์แปลง	177	3000
เลย	14 - กิ่งอำเภอหนองหิน	หนองหิน	178	200000
ยโสธร	01 - อำเภอเมือง	ตาดทอง	179	200000

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
ยโสธร		เขื่องคำ	180	500000
ยโสธร	03 - อำเภอกุดชุม	กุดชุม	181	550000
ยโสธร	08 - อำเภอเลิงนกทา	บุ่งค้า	182	200000
ร้อยเอ็ด	09 - อำเภอหนองพอก	รอบเมือง	183	200000
ร้อยเอ็ด		ผาน้ำย้อย	184	200000
มหาสารคาม	06 - อำเภอบรบือ	บรบือ	185	1380000
มุกดาหาร	01 - อำเภอเมือง	โพนทราย	186	2100000
มุกดาหาร		คำป่าหลาย	187	1300000
มุกดาหาร	04 - อำเภอดงหลวง	ดงหลวง	188	410000
สกลนคร	06 - อำเภอวาริชภูมิ	วาริชภูมิ	189	100000
สกลนคร	13 - อำเภอส่องดาว	ส่องดาว	190	700000
สกลนคร	18 - อำเภอภูพาน	สร้างค้อ	191	200000
บึงกาฬ	04 - อำเภอพรเจริญ	ศรีสำราญ	192	500000
บึงกาฬ	09 - อำเภอเซกา	เซกา	193	700000
บึงกาฬ		ท่ากกแดง	194	100000
บึงกาฬ		น้ำจั้น	195	1000000
บึงกาฬ		หนองทุ่ม	196	300000
บึงกาฬ	11 - อำเภอบึงโขงหลง	โพธิ์หมากแข้ง	197	100000
บึงกาฬ		ท่าดอกคำ	198	500000
บึงกาฬ	12 - อำเภอศรีวิไล	ชุมภูพร	199	500000
บึงกาฬ		นาแสง	200	1015000
หนองคาย	15 - อำเภอเฝ้าไร่	เฝ้าไร่	201	150000
หนองคาย		วังหลวง	202	1000000
หนองบัวลำภู	01 - อำเภอเมือง	หนองบัว	203	400000
หนองบัวลำภู		โนนทัน	204	10800000

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
หนองบัวลำภู	02 - อำเภอนากลาง	ด่านช้าง	205	540000
หนองบัวลำภู		กุดดินจี่	206	1240000
หนองบัวลำภู	04 - อำเภอศรีบุญเรือง	ศรีบุญเรือง	207	100000
หนองบัวลำภู	06 - อำเภอนาวัง	เทพคีรี	208	100000
ศรีสะเกษ	04 - อำเภอกันทรลักษ์	เมือง	209	500000
ศรีสะเกษ		ละลาย	210	1000000
ศรีสะเกษ		จานใหญ่	211	1600000
ศรีสะเกษ		หนองหญ้าลาด	212	1470000
ศรีสะเกษ	05 - อำเภอขุขันธ์	ปรือใหญ่	213	500000
ศรีสะเกษ		ห้วยใต้	214	60000
ศรีสะเกษ	06 - อำเภอไพรบึง	สำโรงพลัน	215	1000000
ศรีสะเกษ	08 - อำเภอขุนหาญ	สิ	216	4170000
ศรีสะเกษ		บักดอง	217	750000
ศรีสะเกษ		กันทรอม	218	200000
ศรีสะเกษ	17 - อำเภอภูสิงห์	ดงรัก	219	100000
ศรีสะเกษ	19 - อำเภอเบญจลักษ์	หนองหว้า	220	2500000
ศรีสะเกษ		ท่าคล้อ	221	5000000
สุรินทร์	01 - อำเภอเมือง	นาบัว	222	10000000
สุรินทร์	06 - อำเภอกาบเชิง	ตะเคียน	223	500000
สุรินทร์	10 - อำเภอสังขะ	ตาตุม	224	150000
สุรินทร์	13 - อำเภอบัวเชด	บัวเชด	225	100000
อำนาจเจริญ	01 - อำเภอเมือง	บุ่ง	226	3400000
อำนาจเจริญ		ไก่คำ	227	10000000
อำนาจเจริญ		นายม	228	500000
อำนาจเจริญ	02 - อำเภอชานุมาน	คำเขื่อนแก้ว	229	200000
อำนาจเจริญ	03 - อำเภอปทุมราชวงศา	คำโพน	230	1000000

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
อำนาจเจริญ		นาหว้า	231	200000
อำนาจเจริญ	05 - อำเภอเสนางคนิคม	ไร่สีสุก	232	1000000
อุดรธานี	01 - อำเภอเมือง	นิคมสงเคราะห์	233	500000
อุดรธานี		หนองนาคำ	234	15000000
อุดรธานี	02 - อำเภอกุดจับ	กุดจับ	235	50000
อุดรธานี		เมืองเพีย	236	400000
อุดรธานี	03 - อำเภอหนองวัวซอ	หมากหญ้า	237	610000
อุดรธานี		น้ำพ่น	238	820000
อุดรธานี		หนองบัวบาน	239	305000
อุดรธานี		หนองวัวซอ	240	200000
อุดรธานี	04 - อำเภอกุมภวาปี	พันดอน	241	400000
อุดรธานี		เวียงคำ	242	300000
อุดรธานี	05 - อำเภอโนนสะอาด	โนนสะอาด	243	2050000
อุดรธานี	09 - อำเภอศรีธาตุ	ศรีธาตุ	244	300000
อุดรธานี		หัวนาคำ	245	500000
อุดรธานี		นายูง	246	80000
อุดรธานี	10 - อำเภอวังสามหมอ	หนองหญ้าไซ	247	300000
อุดรธานี		ผาสุก	248	300000
อุดรธานี		วังสามหมอ	249	1040000
อุดรธานี	11 - อำเภอบ้านดุง	บ้านจันทน์	250	500000
อุดรธานี	17 - อำเภอบ้านผือ	บ้านผือ	251	150000
อุดรธานี		ข้าวสาร	252	1000000
อุดรธานี		กลางใหญ่	253	1100000
อุดรธานี		คำด้วง	254	310000
อุดรธานี	18 - อำเภอน้ำโสม	นางัว	255	3230000
อุดรธานี		น้ำโสม	256	5000000
อุดรธานี		น้ำโสม	256	5000000

ตาราง ก.1 ข้อมูลลานมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือแยกตามตำบล (ต่อ)

จังหวัด	อำเภอ	ตำบล	No	กำลังการผลิตต่อปี
อุดรธานี		บ้านหยวก	257	1020000
อุดรธานี		ศรีสำราญ	258	500000
อุดรธานี		หนองแวง	259	250000
อุดรธานี	22 - อำเภอนายูง	นายูง	260	530000
อุดรธานี		บ้านก้อง	261	500000

ภาคผนวก ข
คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลอง

ตารางที่ ข.1 เส้นทางและปริมาณมันที่ขนส่งแต่ละลานมันสำหรับโรงแป้ง 11

เส้นทางที่	ลานมัน	ปริมาณมัน(กิโลกรัม)
1	13	30000
2	13	30000
3	13	7742
3	15	22258
4	8	6452
4	15	23548
5	15	30000
6	15	30000
7	15	30000
8	15	30000
9	15	30000
10	15	30000
11	15	30000
12	15	30000
13	15	14194
13	20	15806
14	19	2581
14	17	27419
15	9	1613
15	7	9677
15	10	18710
16	17	30000
17	17	30000
18	17	30000
19	17	30000
20	17	30000

ตารางที่ ข.1 เส้นทางและปริมาณมันที่ขนส่งแต่ละลานมันสำหรับโรงแป้ง 11 (ต่อ)

เส้นทางที่	ลานมัน	ปริมาณมัน(กิโลกรัม)
21	17	30000
22	17	30000
23	17	30000
24	17	30000
25	17	26129
25	20	2581
25	14	1290
26	10	30000
27	10	30000
28	10	30000
29	10	12258
29	28	17742
30	14	30000
31	14	7807
31	26	22193
32	26	30000
33	26	30000
34	26	3936
34	27	19355
34	220	6709
35	16	30000
36	16	22903
36	12	7097
37	12	5806
37	18	24194
38	18	30000

ตารางที่ ข.1 เส้นทางและปริมาณมันที่ขนส่งแต่ละลานมันสำหรับโรงแป้ง 11 (ต่อ)

เส้นทางที่	ลานมัน	ปริมาณมัน(กิโลกรัม)
39	18	30000
40	18	11058
40	28	17329
รวมปริมาณมันจากการขนส่ง		1198387
ปริมาณมัน ณ โรงแป้ง 11		1613
รวมปริมาณมันทั้งหมด		1200000

ตารางที่ ข.2 เส้นทางและปริมาณมันที่ขนส่งแต่ละลานมันสำหรับโรงแป้ง 22

เส้นทางที่	ลานมัน	ปริมาณมัน(กิโลกรัม)
1	1	3226
1	2	16129
1	6	323
1	5	10322
2	21	30000
3	21	30000
4	21	30000
5	21	30000
6	21	30000
7	21	30000
8	21	25581
8	230	645
8	229	3226
8	5	548
9	24	30000
10	24	30000

ตารางที่ ข.2 เส้นทางและปริมาณมันที่ขนส่งแต่ละลานมันสำหรับโรงแป้ง 22 (ต่อ)

เส้นทางที่	ลานมัน	ปริมาณมัน(กิโลกรัม)
11	24	30000
12	24	30000
13	24	30000
14	24	30000
15	24	30000
16	24	30000
17	24	1935
17	25	28065
18	0	1774
18	23	1613
18	25	26613
19	226	30000
20	226	2258
20	225	10968
20	227	1613
20	178	10
20	179	645
20	180	645
20	183	645
20	182	1774
20	231	3226
20	181	1613
20	228	645
20	5	5958
21	5	30000

ตารางที่ ข.2 เส้นทางและปริมาณมันที่ขนส่งแต่ละลานมันสำหรับโรงแป้ง 22 (ต่อ)

เส้นทางที่	ลานมัน	ปริมาณมัน(กิโลกรัม)
22	5	30000
23	5	30000
24	5	30000
25	5	8333
25	185	645
25	186	4452
25	42	968
25	187	6774
25	190	323
25	36	7742
25	40	763
26	3	323
26	4	29677
27	25	9838
27	4	20162
28	4	30000
29	4	30000
30	4	30000
31	4	30000
32	4	30000
33	4	4290
33	210	5161
33	219	8065
33	211	4742
33	208	1613

ตารางที่ ข.2 เส้นทางและปริมาณมันที่ขนส่งแต่ละลานมันสำหรับโรงแป้ง 22 (ต่อ)

เส้นทางที่	ลานมัน	ปริมาณมัน(กิโลกรัม)
33	209	3226
33	216	2419
33	215	484
34	215	12968
34	214	3226
34	213	194
34	212	1613
34	218	323
34	224	323
34	223	484
34	222	1613
34	221	9256
35	217	645
35	221	23002
35	157	323
35	158	645
35	148	161
35	146	645
35	145	645
35	119	2258
35	78	161
35	80	1515
36	184	645
36	80	582
36	77	774

ตารางที่ ข.2 เส้นทางและปริมาณมันที่ขนส่งแต่ละลานมันสำหรับโรงแป้ง 22 (ต่อ)

เส้นทางที่	ลานมัน	ปริมาณมัน(กิโลกรัม)
36	81	24194
36	68	1290
36	72	161
36	86	645
36	30	1709
37	40	850
37	39	3387
37	38	323
37	32	1935
37	31	645
37	33	323
37	29	323
37	37	8387
37	41	968
37	34	677
37	35	645
37	30	1323
37	73	3440
36	81	24194
36	68	1290
36	72	161
36	86	645
36	30	1709
37	40	850
37	39	3387

ตารางที่ ข.2 เส้นทางและปริมาณมันที่ขนส่งแต่ละลานมันสำหรับโรงแป้ง 22 (ต่อ)

เส้นทางที่	ลานมัน	ปริมาณมัน(กิโลกรัม)
37	38	323
37	32	1935
37	31	645
37	33	323
37	29	323
37	37	8387
37	41	968
37	34	677
37	35	645
37	30	1323
37	73	3440
รวมปริมาณมันจากการขนส่ง		1103226
ปริมาณมัน ณ โรงแป้ง 22		96774
รวมปริมาณมันทั้งหมด		1200000

ภาคผนวก ค
ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้น ร่วมกับขั้นตอนการปรุงคุณภาพผลเฉลย

ตารางที่ ค.1 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P01

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
51	1	60.06	71	51 44 45 33 15 37 17 51
51	2	66.55	79	51 42 19 40 41 13 51
51	3	47.00	78	51 25 18 4 51
52	1	79.48	73	52 6 27 1 32 11 46 52
52	2	81.40	80	52 48 8 26 31 28 22
52	3	23.50	77	52 23 7 43 24 14 52
52	4	53.44	54	52 12 47 52
53	1	50.41	75	53 9 34 30 39 10 53
53	2	25.22	54	53 49 5 38 53
54	1	47.67	67	54 35 36 3 20 54
54	2	42.14	69	54 21 50 16 2 29 54
Total Distance		576.87		

ตารางที่ ค.2 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P02

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
51	1	87.04	154	51 4 47 18 13 41 40 19 42 51
52	1	101.91	157	52 6 14 25 24 43 7 23 48 27 46 52
53	1	74.27	153	53 38 11 2 16 50 21 34 30 9 53
53	2	95.30	158	53 10 39 33 45 15 44 37 17 12 5 49 53
54	1	115.02	155	54 20 35 36 3 28 31 26 8 22 1 32 29 54
Total Distance		473.53		

ตารางที่ ค.3 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P03

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order										
76	1	27.76	106	76	4	34	46	67	76					
76	2	39.71	99	76	26	17	51	6	68	75	76			
77	1	63.78	123	77	5	37	20	70	60	71	69	36	47	77
77	2	50.46	140	77	48	21	74	2	30	45	29	77		
78	1	72.5	127	78	35	8	52	27	15	57	13	54	19	78
78	2	57.53	138	78	14	59	66	65	11	78				
78	3	77.2	134	78	7	58	72	31	10	38	53	78		
79	1	42.34	122	79	40	12	39	9	32	79				
79	2	87.79	135	79	3	44	50	25	55	18	24	49	16	79
80	1	53.04	127	80	43	41	56	23	63	33	73	1	80	
80	2	69.07	113	80	62	28	61	22	64	42	80			
Total Distance		641.18												

ตารางที่ ค.4 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P04

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order										
101	1	76.51	96	101	41	23	67	39	56	101				
101	2	59.5	93	101	96	6	89	27	28	53	58	101		
101	3	88.39	100	101	92	61	16	86	38	43	15	101		
101	4	60.71	98	101	57	42	14	44	91	100	98	37	97	101
101	5	40.57	87	101	21	72	74	75	22	2	101			
101	6	73.41	99	101	73	4	25	55	54	12	26	40	101	
101	7	41.56	100	101	59	99	93	85	101					
101	8	28.69	96	101	87	95	94	13	101					
102	1	74.12	100	102	69	76	77	68	80	24	29	3	102	
102	2	89.62	99	102	51	9	35	71	65	66	70	102		
102	3	84.3	95	102	8	45	17	84	5	60	83	18	52	102
102	4	107.18	98	102	63	64	49	36	47	46	82	102		
102	5	64.1	100	102	33	81	34	78	79	50	1	102		
102	6	59.81	98	102	88	7	48	19	11	62	102			
102	7	53.1	99	102	31	10	90	32	20	30	102			
Total Distance		1001.57												

ตารางที่ ค.5 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P05

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
1	1	138.91	198	101	89 47	27 46	69 45	1 101	70	30	32	90	63	64	49	36
1	2	60.16	181	101	60 99	6 96	94 101	13	95	97	92	37	100	98	93	59
1	3	94.91	200	101	18 83	52 101	7	88	31	10	62	11	19	48	82	8
1	4	87.66	198	101	5 101	61	85	16	91	44	14	38	86	17	84	
2	1	127.89	162	102	76 78	50 29	33 24	81 102	9	51	20	66	65	71	35	34
2	2	27.97	136	102	77	3	79	68	80	102						
2	3	124.14	192	102	12 73	28 21	53 40	58 26	2 102	57	87	42	43	15	41	22
2	4	91.86	181	102	4 102	72	74	75	56	23	67	39	25	55	54	
Total Distance		753.51														

ตารางที่ ค.6 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P06

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
1	1	4.47	41	101 85 101
1	2	42.58	89	101 91 44 38 86 16 101
1	3	18.37	77	101 93 59 98 100 101
1	4	70.08	100	101 37 97 87 2 57 15 43 42 14 101
1	5	37.91	95	101 92 95 13 94 6 96 99 101
1	6	58.55	87	101 5 60 83 8 45 17 84 61 101
2	1	50.53	91	102 56 23 67 39 102
2	2	67.85	99	102 54 80 68 29 24 55 25 4 102
2	3	38.49	94	102 72 75 41 22 74 73 21 102
2	4	55.08	93	102 26 12 28 53 58 40 102
3	1	95.71	99	103 51 9 71 65 35 34 78 50 103
3	2	57.29	99	103 62 19 47 48 103
3	3	60.13	99	103 70 30 66 20 32 10 103
3	4	57.06	100	103 33 81 79 3 77 76 103
3	5	106.54	100	103 88 7 82 46 36 49 64 11 63 90 103
3	6	60.81	95	103 31 52 18 89 27 69 1 103
Total Distance		881.45		

ตารางที่ ค.7 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P07

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order										
101	1	46.39	99	101	82	48	47	8	83	101				
101	2	45.73	95	101	5	61	16	86	17	101				
101	3	39.74	100	101	60	99	37	98	85	93	84	101		
101	4	99.18	95	101	45	46	36	49	64	19	7	18	101	
102	1	51.76	93	102	12	26	40	21	4	54	102			
102	2	60.54	92	102	24	29	34	78	79	3	77	76	102	
102	3	8.36	42	102	68	80	102							
102	4	79.73	99	102	55	25	39	67	23	56	102			
103	1	35.1	99	103	87	97	92	59	96	95	103			
103	2	42.69	100	103	13	94	6	89	53	58	103			
103	3	42.99	90	103	73	72	74	75	22	41	2	103		
103	4	87.38	99	103	42	100	91	44	38	14	43	15	57	103
104	1	50.8	96	104	70	30	51	81	33	50	1	104		
104	2	43.95	74	104	31	52	27	28	69	104				
104	3	89.37	93	104	9	35	71	65	66	20	104			
104	4	62.09	92	104	10	32	90	63	11	62	88	104		
Total Distance		885.8												

ตารางที่ ค.8 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P08

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
250	1	273.48	494	250 237 122 233 176 136 78 24 127 40 17 175 55 47 56 250
250	2	133.14	473	250 73 198 207 19 185 72 166 96 250
250	3	138.48	496	250 69 146 135 84 15 102 39 38 223 43 250
250	4	115.54	496	250 125 101 203 57 131 214 11 241 225 250
250	5	188.96	487	250 235 238 10 42 197 194 80 113 103 168 66 242 250
250	6	191.58	488	250 148 26 9 153 189 106 121 248 89 167 13 193 250
250	7	59.02	497	250 177 62 249 157 82 224 163 250
250	8	122.55	495	250 114 230 58 150 183 170 2 250
250	9	162.05	475	250 27 173 137 124 49 12 133 5 191 30 18 54 250
250	10	281.96	482	250 195 228 53 130 129 221 31 205 61 90 211 79 204 250
250	11	147.83	497	250 217 83 206 65 220 36 64 250
250	12	148.28	493	250 190 8 123 118 3 116 126 104 215 213 112 250

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
251	1	209.02	498	251 199 222 85 132 97 51 67 169 6 37 251
251	2	175.08	498	251 165 181 171 59 162 219 52 243 16 251
251	3	97.66	482	251 180 63 46 93 187 45 161 179 200 251
251	4	165.62	486	251 7 140 186 21 138 100 145 81 251
251	5	309.78	491	251 164 209 142 68 231 71 229 1 139 202 232 70 115 4 208 251
251	6	266.6	493	251 188 87 154 76 155 108 244 99 234 33 172 74 141 251
251	7	138.41	425	251 28 182 34 95 160 246 25 251
251	8	185.69	459	251 50 88 247 149 86 151 94 245 251
251	9	109.58	412	251 22 120 236 111 196 174 48 128 251
251	10	187.86	499	251 143 14 98 117 240 107 212 77 91 216 251
251	11	139.09	492	251 152 144 192 184 218 119 239 35 156 251
251	12	193.07	500	251 23 92 178 210 41 109 20 227 29 105 44 251
251	13	297.34	498	251 110 60 158 134 159 147 201 32 226 75 251
Total Distance		4437.67		

ตารางที่ ค.9 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P09

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
250	1	274.07	495	250 226 175 17 24 40 127 147 159 134 29 250
250	2	93.59	497	250 227 20 109 110 41 210 178 92 250
250	3	153.00	495	250 169 52 219 15 102 16 243 6 165 222 250
250	4	190.11	474	250 44 199 208 246 25 141 104 74 215 126 116 37 250
250	5	118.45	497	250 236 179 161 46 216 180 63 200 22 120 111 250
250	6	215.13	500	250 23 144 192 184 218 119 239 35 156 152 250
250	7	82.40	414	250 196 174 143 98 240 117 250
250	8	219.07	471	250 93 50 245 94 151 86 149 247 88 77 250
250	9	153.47	470	250 14 107 212 91 187 45 128 48 250
250	10	180.06	491	250 60 158 51 201 78 32 67 97 132 250
250	11	156.64	472	250 105 59 136 176 233 75 162 181 171 85 250
251	1	113.37	497	251 58 220 65 206 83 217 2 251
251	2	182.98	490	251 73 204 198 54 30 191 18 137 173 27 195 251
251	3	164.62	498	251 157 249 62 146 84 135 3 118 123 8 190 251

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
251	4	129.81	475	251	148	26	9	153	189	106	121	248	89	167	13	251
251	5	68.69	287	251	203	57	131	214	101	251						
251	6	192.61	499	251	241	56	66	47	55	168	103	113	80	194	197	42
					10	238	251									
251	7	74.85	435	251	114	230	150	36	183	170	251					
251	8	93.20	445	251	224	237	177	69	163	64	125	251				
251	9	146.31	497	251	193	235	11	225	242	38	39	122	223	43	82	251
252	1	200.90	500	252	79	5	133	12	49	124	228	53	130	129	221	61
					90	211	252									
252	2	161.31	457	252	68	142	232	231	202	139	1	229	71	31	205	252
					234	252										
252	3	77.55	365	252	209	115	4	81	186	21	138	252				
252	4	91.37	437	252	100	145	244	108	155	70	99	252				
252	5	214.37	478	252	172	140	164	7	160	28	182	95	34	188	87	252
					154	76	252									
252	6	161.92	470	252	213	112	96	207	166	19	185	72	33	252		
Total Distance		3909.85														

ตารางที่ ค.10 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P10

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
250	1	131.84	480	250	111	236	23	120	22	200	179	161	93	187	45	
					128	250										
250	2	137.33	496	250	85	169	52	219	75	162	59	181	171	105	250	
250	3	192.98	488	250	37	116	126	215	3	118	16	243	6	165	222	
					250											
250	4	210.64	492	250	132	97	67	51	147	159	134	158	60	29	250	
250	5	88.55	497	250	92	178	210	41	110	109	20	227	250			
250	6	85.33	494	250	117	240	98	14	143	174	48	196	250			
250	7	202.45	485	250	107	212	77	91	46	216	63	180	152	208	199	44
					250											
251	1	120.05	498	251	242	38	39	102	15	233	136	226	176	56	251	
251	2	208.98	497	251	114	26	153	189	106	121	248	89	167	13	238	
					251											
251	3	93.39	489	251	225	157	163	224	82	235	241	251				
251	4	81.49	391	251	10	42	197	194	80	113	103	66	251			
251	5	151.04	497	251	122	146	84	135	123	8	190	69	177	237	62	
					249	43	223	251								
251	6	185.49	493	251	175	78	32	201	127	40	24	17	55	47	168	

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
				251												
251	7	119.96	471	251	131	214	57	203	101	193	125	64	11	251		
252	1	124.88	484	252	173	217	58	183	150	220	36	252				
252	2	94.98	398	252	12	61	90	221	129	130	49	124	252			
252	3	238.45	482	252	133	5	33	234	142	68	231	202	139	1	229	71
					31	205	211	252								
252	4	123.67	440	252	18	207	166	213	112	96	73	198	204	54	252	
252	5	102.47	476	252	191	79	72	185	19	30	137	252				
252	6	185.47	495	252	27	195	2	170	148	9	230	83	206	65	228	53
					252											
253	1	157.62	442	253	160	7	246	25	141	104	74	172	140	164	253	
253	2	112.22	482	253	81	4	186	21	138	209	100	145	253			
253	3	143.06	497	253	188	87	154	76	155	232	70	99	108	244	115	
					253											
253	4	37.71	162	253	95	182	34	253								
253	5	219.62	497	253	50	88	247	149	86	151	94	245	119	253		
253	6	121.56	483	253	35	239	218	184	192	144	156	28	253			
Total Distance		3671.23														

ตารางที่ ค.11 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P11

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
1	1	140.19	472	250 222 165 6 16 243 52 181 171 169 85 250
1	2	84.20	327	250 92 109 20 227 250
1	3	131.64	482	250 105 132 97 29 158 60 110 41 210 178 250
1	4	119.29	495	250 48 128 179 161 46 63 200 22 120 23 236 111 250
1	5	190.11	474	250 44 199 208 246 25 141 104 74 215 126 116 37 250
1	6	96.14	457	250 117 240 98 107 14 143 174 196 250
2	1	164.38	496	251 10 238 131 214 57 203 11 235 241 225 242 251
2	2	117.60	497	251 176 233 102 15 219 75 162 59 226 32 78 251
2	3	163.16	483	251 24 40 127 147 159 134 51 67 201 251
2	4	177.09	484	251 136 39 84 135 146 237 62 122 43 223 38 56 251
2	5	112.21	499	251 175 66 80 197 42 194 113 103 168 47 55 17 251
3	1	142.21	497	252 50 88 247 149 86 151 94 245 119 252
3	2	174.80	488	252 156 160 7 164 140 172 186 81 4 95 252

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
3	3	33.10	313	252	192	184	218	239	252						
3	4	151.32	484	252	152	180	216	93	187	45	212	77	91	144	252
3	5	193.99	494	252	28	188	244	108	155	76	154	87	34	182	35
					252										
4	1	130.73	334	253	54	137	124	53	228	65	206	173	253		
4	2	95.93	492	253	83	36	220	150	183	58	217	253			
4	3	116.47	499	253	163	224	82	157	249	177	69	253			
4	4	142.60	445	253	204	73	96	112	213	8	3	118	123	190	253
4	5	198.03	487	253	27	230	9	153	13	167	89	248	121	106	189
					253										
4	6	124.44	492	253	125	64	193	101	114	148	26	170	2	195	253
5	1	98.73	468	254	5	133	12	49	130	129	221	90	61	211	79
					254										
5	2	230.26	493	254	205	31	71	229	1	139	202	231	232	70	99
					142	68	234	254							
5	3	94.46	481	254	191	18	30	198	207	166	185	19	254		
5	4	132.83	473	254	72	21	138	100	145	115	209	33	254		
Total Distance		3555.92													

ตารางที่ ค.12 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P12

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
81	1	170.71	54	81	2	10	18	26	34	33	25	17	9	1	81	
81	2	170.71	54	81	3	11	19	27	35	37	29	21	13	5	81	
81	3	189.57	57	81	7	15	23	31	39	67	75	40	32	24	16	8
					81											
81	4	128.48	51	81	4	12	20	28	36	22	14	6	81			
82	1	189.57	57	82	41	49	57	65	73	38	30	74	66	58	50	42
					82											
82	2	170.71	54	82	46	54	62	70	78	76	68	60	52	44	82	
82	3	128.48	51	82	45	53	61	69	77	59	51	43	82			
82	4	170.71	54	82	48	56	64	72	80	79	71	63	55	47	82	
Total Distance		1318.96														

ตารางที่ ค.13 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P13

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
81	1	170.71	54	81	3	11	19	27	35	34	26	18	10	2	81	
81	2	189.57	57	81	6	14	22	30	38	73	65	39	31	23	15	7
					81											
81	3	128.48	51	81	5	13	21	29	37	24	16	8	81			
81	4	170.71	54	81	1	9	17	25	33	36	28	20	12	4	81	
82	1	170.71	54	82	46	54	62	70	78	79	71	63	55	47	82	
82	2	189.57	57	82	43	51	59	67	75	40	32	74	66	58	50	42
					82											
82	3	170.71	54	82	45	53	61	69	77	80	72	64	56	48	82	
82	4	128.48	51	82	41	49	57	76	68	60	52	44	82			
Total Distance		1318.96														

ตารางที่ ค.14 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P14

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
1	1	170.71	54	81	4	12	20	28	36	33	25	17	9	1	81
1	2	174.56	54	81	6	14	22	30	38	73	31	23	15	7	81
1	3	170.71	54	81	3	11	19	27	35	34	26	18	10	2	81
1	4	170.71	54	81	8	16	24	32	40	37	29	21	13	5	81
2	1	170.71	54	82	48	56	64	72	80	79	71	63	55	47	82
2	2	161.29	54	82	42	50	58	66	74	39	65	57	49	41	82
2	3	170.71	54	82	43	51	59	67	75	77	69	61	53	45	82
2	4	170.71	54	82	44	52	60	68	76	78	70	62	54	46	82
Total Distance		1360.11													

ตารางที่ ค.15 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P15

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
161	1	147.8	53	161	3	11	19	27	34	26	18	10	2	161		
161	2	170.71	54	161	1	9	17	25	33	36	28	20	12	4	161	
161	3	233.14	60	161	15	23	31	39	74	66	58	50	49	57	65	73
					38	30	22	14	161							
161	4	54.14	48	161	6	7	8	5	161							
162	1	233.14	60	162	53	61	69	77	116	108	100	92	89	97	105	
					113	75	67	59	51	162						
162	2	54.14	48	162	41	42	43	45	162							
162	3	188.93	55	162	48	56	64	72	118	80	79	71	63	55	47	
					162											
162	4	170.71	54	162	46	54	62	70	78	76	68	60	52	44	162	
163	1	147.8	53	163	86	94	102	110	119	111	103	95	87	163		
163	2	54.14	48	163	83	82	81	84	163							
163	3	170.71	54	163	85	93	101	109	117	120	112	104	96	88	163	
163	4	233.14	60	163	90	98	106	114	159	151	143	135	136	144	152	
					160	115	107	99	91	163						
164	1	54.14	48	164	124	126	127	128	164							
164	2	233.14	60	164	132	140	148	156	37	29	21	13	16	24	32	40

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
					158	150	142	134	164						
164	3	170.71	54	164	123	131	139	147	155	157	149	141	133	125	164
164	4	188.93	55	164	121	129	137	145	35	153	154	146	138	130	122
					164										
Total Distance		2505.42													

ตารางที่ ค.16 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P16

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
161	1	196.08	58	161	53	133	21 161	29	37	156	145	153	35	27	19	11
161	2	170.71	54	161	1	9	17	25	33	34	26	18	10	2	161	
161	3	128.48	51	161	6	14	22	36	28	20	12	4	161			
161	4	96.57	46	161	8	16	31	23	15	7	161					
162	1	198.99	60	162	430	51 162	59	67	75	113	105	97	69	61	53	45
162	2	196.08	58	162	41 42	49 42	57 162	65	73	38	30	39	74	66	58	50
162	3	128.48	51	162	47	55	63	71	79	64	56	48	162			
162	4	170.71	54	162	46	54	62	70	78	76	68	60	52	44	162	
163	1	196.08	58	163	86 84	94 84	102 163	110	118	80	72	77	116	108	100	92
163	2	170.71	54	163	88	96	104	112	120	119	111	103	95	87	163	
163	3	96.57	46	163	81	89	106	98	90	82	163					
163	4	128.48	51	163	83	91	99	117	109	101	93	85	163			
164	1	198.99	51	164	126 124	134 164	142	150	158	40	32	24	148	140	132	
164	2	128.48	54	164	122	130	138	146	154	137	129	121	164			

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
164	3	170.71	60	164	125	133	141	149	157	155	147	139	131	123	164
164	4	196.08	58	164	127 136	135 128	143 128	151 164	159	114	107	115	160	152	144
Total Distance		2572.2													

ตารางที่ ค.17 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P17

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

ตารางที่ ค.18 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P18

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
241	1	60	60	241	2	3	5	8	7	241						
241	2	188.93	55	241	4	12	20	28	36	33	238	25	17	9	1	
					241											
241	3	221.42	60	241	6	14	22	30	38	73	65	57	49	66	74	39
					31	23	15	241								
242	1	86.5	60	242	45	43	42	50	58	41	242					
242	2	170.71	54	242	46	54	62	70	78	76	68	60	52	44	242	
242	3	147.8	53	242	47	55	63	71	79	72	64	56	48	242		
242	4	233.14	60	242	51	59	67	75	113	105	97	89	92	100	108	
					116	77	69	61	53	242						
243	1	86.5	60	243	82	83	98	90	81	84	243					
243	2	188.93	55	243	87	95	103	111	119	118	80	110	102	94	86	
					243											
243	3	170.71	54	243	85	93	101	109	117	120	112	104	96	88	243	
244	1	60	60	244	127	126	124	121	122	244						
244	2	233.14	60	244	129	137	145	153	198	190	182	174	175	183	191	
					199	154	146	138	130	244						
244	3	221.42	60	244	128	136	144	152	160	115	107	99	91	106	114	

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
					159	151	143	135	244							
244	4	147.8	53	244	125	133	141	149	157	147	139	131	123	244		
244	5	233.14	60	244	134	142	150	158	40	32	24	16	13	21	29	37
					156	148	140	132	244							
245	1	54.14	48	245	161	164	166	167	245							
245	2	188.93	55	245	168	176	184	192	155	200	197	189	181	173	165	
					245											
245	3	170.71	54	245	163	171	179	187	195	194	186	178	170	162	245	
246	1	54.14	48	246	203	205	208	207	246							
246	2	233.14	60	246	211	219	227	235	193	185	177	169	172	180	188	
					196	237	229	221	213	246						
246	3	233.14	60	246	215	223	231	239	34	26	18	10	11	19	27	35
					240	232	224	216	246							
246	4	147.8	53	246	204	212	220	228	236	230	222	214	206	246		
246	5	170.71	54	246	202	210	218	226	234	233	225	217	209	201	246	
Total Distance		3702.85														

ตารางที่ ค.19 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P19

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
241	1	196.08	58	241	35	11 241	19	27	35	153	145	156	37	29	21	13
241	2	196.08	58	241	21	10 241	18	26	34	239	230	238	33	25	17	9
241	3	128.48	51	241	6	14	22	36	28	20	12	4	241			
241	4	96.57	46	241	8	16	31	23	15	7	241					
242	1	170.71	54	242	46	54	62	70	78	76	68	60	52	44	242	
242	2	128.48	51	242	48	56	64	79	71	63	55	47	242			
242	3	198.99	60	242	43 242	51	59	67	75	113	105	97	69	61	53	45
242	4	196.08	58	242	42 41	50 242	58	66	74	39	30	38	73	65	57	49
243	1	170.71	54	243	88	96	104	112	120	119	111	103	95	87	243	
243	2	128.48	51	243	85	93	101	109	117	99	91	83	243			
243	3	96.57	46	243	82	90	98	106	89	81	243					
243	4	196.08	58	243	84 86	92 243	100	108	116	77	72	80	118	110	102	94
244	1	196.08	58	244	127 136	135 128	143 244	151	159	114	107	115	160	152	144	

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
244	2	128.48	51	244	123	131	139	157	149	141	133	125	244		
244	3	114.05	50	244	121	129	137	146	138	130	122	244			
244	4	198.99	60	244	126	134	142	150	158	40	32	24	148	140	132
				124	244										
245	1	196.08	58	245	167	175	183	191	199	154	147	155	200	192	184
				176	168	245									
245	2	170.71	54	245	163	171	179	187	195	197	189	181	173	165	245
245	3	128.48	51	245	161	169	177	194	186	178	170	162	245		
245	4	198.99	60	245	166	174	182	190	198	240	232	224	188	180	172
				164	245										
246	1	170.71	54	246	201	209	217	225	233	234	226	218	210	202	246
246	2	128.48	51	246	206	214	222	236	228	220	212	204	246		
246	3	96.57	46	246	208	216	231	223	215	207	246				
246	4	196.08	58	246	203	211	219	227	235	193	185	196	237	229	221
				213	205	246									
Total Distance		3827.01													

ตารางที่ ค.20 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P20

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
241	1	161.29	54	241	1	9	17	25	239	34	26	18	10	2	241
241	2	170.71	54	241	6	14	22	30	38	36	28	20	12	4	241
241	3	161.29	54	241	8	16	24	32	74	39	31	23	15	7	241
241	4	174.56	54	241	3	11	19	27	35	153	29	21	13	5	241
242	1	174.56	54	242	48	56	64	72	80	118	69	61	53	45	242
242	2	174.56	54	242	43	51	59	67	75	40	66	58	50	42	242
242	3	170.71	54	242	41	49	57	65	73	76	68	60	52	44	242
242	4	170.71	54	242	46	54	62	70	78	79	71	63	55	47	242
243	1	161.29	54	243	86	94	102	110	77	116	108	100	92	84	243
243	2	170.71	54	243	88	96	104	112	120	119	111	103	95	87	243
243	3	170.71	54	243	83	91	99	107	115	117	109	101	93	85	243
243	4	161.29	54	243	81	89	97	105	159	114	106	98	90	82	243
244	1	161.29	54	244	123	131	139	147	199	154	146	138	130	122	244
244	2	161.29	54	244	121	129	137	145	37	156	148	140	132	124	244
244	3	174.56	54	244	126	134	142	150	158	113	151	143	135	127	244
244	4	170.71	54	244	125	133	141	149	157	160	152	144	136	128	244
245	1	170.71	54	245	163	171	179	187	195	197	189	181	173	165	245
245	2	170.71	54	245	161	169	177	185	193	194	186	178	170	162	245

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
245	3	161.29	54	245	166	174	182	190	237	196	188	180	172	164	245
245	4	174.56	54	245	168	176	184	192	200	155	191	183	175	167	245
246	1	170.71	54	246	203	211	219	227	235	234	226	218	210	202	246
246	2	170.71	54	246	201	209	217	225	233	236	228	220	212	204	246
246	3	174.56	54	246	206	214	222	230	238	33	231	223	215	207	246
246	4	174.56	54	246	208	216	224	232	240	198	229	221	213	205	246
Total Distance		4058.05													

ตารางที่ ค.21 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P21

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
361	1	233.14	60	361	11	19	27	35	240	232	224	216	215	223	231
					239	34	26	18	10	361					
361	2	233.14	60	361	9	17	25	33	315	307	299	291	293	301	309
					317	36	28	20	12	361					
361	3	54.14	48	361	3	2	1	4	361						
361	4	54.14	48	361	6	7	8	5	361						

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
361	5	233.14	60	361	13	21	29	37	156	148	140	132	134	142	150	
					158	40	32	24	16	361						
362	1	221.42	60	362	52	60	68	76	357	349	336	344	352	360	78	70
					62	54	46	362								
362	2	188.93	55	362	48	56	64	72	118	80	79	71	63	55	47	
					362											
362	3	233.14	60	362	50	58	66	74	39	31	23	15	14	22	30	38
					73	65	57	49	362							
362	4	233.14	60	362	53	61	69	77	116	108	100	92	89	97	105	
					113	75	67	59	51	362						
362	5	60	60	362	45	43	42	41	44	362						
363	1	86.5	60	363	84	81	82	90	98	83	363					
363	2	147.8	53	363	87	95	103	111	119	110	102	94	86	363		
363	3	170.71	54	363	88	96	104	112	120	117	109	101	93	85	363	
364	1	60	60	364	122	121	124	126	127	364						
364	2	221.42	60	364	128	136	144	152	160	115	107	99	91	106	114	
					159	151	143	135	364							
364	3	233.14	60	364	129	137	145	153	198	190	182	174	175	183	191	
					199	154	146	138	130	364						
364	4	188.93	55	364	123	131	139	147	200	155	157	149	141	133	125	

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
					364										
365	1	147.8	53	365	168	176	184	192	197	189	181	173	165	365	
365	2	86.5	60	365	161	164	172	180	166	167	365				
365	3	170.71	54	365	163	171	179	187	195	194	186	178	170	162	365
366	1	233.14	60	366	212	220	228	236	277	269	261	253	256	264	272
					280	238	230	222	214	366					
366	2	221.42	60	366	213	221	229	237	196	188	169	177	185	193	235
					227	219	211	203	366						
366	3	60	60	366	204	206	207	208	205	366					
366	4	147.8	53	366	201	209	217	225	234	226	218	210	202	366	
367	1	86.5	60	367	245	248	247	255	263	246	367				
367	2	188.93	55	367	242	250	258	266	274	275	233	267	259	251	243
					367										
367	3	170.71	54	367	241	249	257	265	273	276	268	260	252	244	367
368	1	233.14	60	368	295	303	311	319	354	346	338	330	331	339	347
					355	320	312	304	296	368					
368	2	221.42	60	368	290	298	306	314	279	271	254	262	270	278	313
					305	297	289	281	368						
368	3	60	60	368	287	288	285	283	282	368					
368	4	188.93	55	368	286	294	302	310	353	318	316	308	300	292	284

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
				368											
369	1	170.71	54	369	326	334	342	350	358	359	351	343	335	327	369
369	2	147.8	53	369	321	329	337	345	356	348	340	332	324	369	
369	3	86.5	60	369	328	341	333	325	323	322	369				
Total Distance		5474.84													

ตารางที่ ค.22 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P22

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
361	1	196.08	58	361	64	14 361	22	30	38	320	312	317	36	28	20	12
361	2	114.05	50	361	2	10	18	26	17	9	1	361				
361	3	114.05	50	361	7	15	23	31	24	16	8	361				
361	4	114.05	50	361	5	13	21	29	19	11	3	361				
362	1	198.99	60	362	41 362	49	57	65	73	355	347	339	68	60	52	44
362	2	196.08	58	362	45 48	53 362	61	69	77	116	110	118	80	72	64	56
362	3	128.48	51	362	47	55	63	71	79	62	54	46	362			
362	4	196.08	58	362	43 42	51 362	59	67	75	40	32	39	74	66	58	50
363	1	196.08	58	363	82 83	90 363	98	106	114	159	152	160	115	107	99	91
363	2	128.48	51	363	86	94	102	119	111	103	95	87	363			
363	3	170.71	54	363	88	96	104	112	120	117	109	101	93	85	363	
363	4	96.57	46	363	81	89	108	100	92	84	363					
364	1	128.48	51	364	125	133	141	149	157	144	136	128	364			
364	2	198.99	60	364	127	135	143	151	97	105	113	158	150	142	134	

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
					126	364									
364	3	196.08	58	364	121	129	137	145	153	35	27	37	156	148	140
					132	124	364								
364	4	196.08	58	364	122	130	138	146	154	199	192	200	155	147	139
					131	123	365								
365	1	96.57	46	365	167	175	183	191	174	166	365				
365	2	128.48	51	365	165	173	181	189	197	184	176	168	365		
365	3	196.08	58	365	164	172	180	188	196	237	227	235	193	185	177
					169	161	365								
365	4	170.71	54	365	163	171	179	187	195	194	186	178	170	162	365
366	1	128.48	51	366	202	210	218	226	234	219	211	203	366		
366	2	198.99	60	366	205	213	221	229	182	190	198	240	232	224	216
					208	366									
366	3	196.08	58	366	204	212	220	228	236	277	267	275	233	225	217
					209	201	366								
366	4	196.08	58	366	206	214	222	230	238	33	25	34	239	231	223
					215	207	366								
367	1	96.57	46	367	248	256	269	261	253	245	367				
367	2	128.48	51	367	242	250	258	266	274	259	251	243	367		
367	3	170.71	54	367	241	249	257	265	273	276	268	260	252	244	367

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
367	4	196.08	58	367	246	254	262	270	278	313	305	314	279	271	263
					255	247	367								
368	1	196.08	58	368	287	295	303	311	319	354	345	353	318	310	302
					294	286	368								
368	2	114.05	50	368	285	293	301	309	304	296	288	368			
368	3	198.99	60	368	282	290	298	306	264	272	280	315	307	299	291
					283	368									
368	4	128.48	51	368	281	289	297	316	308	300	292	284	368		
369	1	128.48	51	369	321	329	337	356	348	340	332	324	369		
369	2	96.57	46	369	322	330	338	346	331	323	369				
369	3	196.08	58	369	325	333	341	349	357	76	70	78	360	352	344
					336	328	369								
369	4	170.71	54	369	327	335	343	351	359	358	350	342	334	326	369
Total Distance		5702.08													

ตารางที่ ค.23 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม P23

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
361	1	174.56	54	361	8	16	24	32	40	158	29	21	13	5	361
361	2	170.71	54	361	3	11	19	27	35	34	26	18	10	2	361
361	3	161.29	54	361	1	9	17	25	317	36	28	20	12	4	361
361	4	174.56	54	361	6	14	22	30	38	73	31	23	15	7	361
362	1	161.29	54	362	41	49	57	65	39	74	66	58	50	42	362
362	2	161.29	54	362	46	54	62	70	357	76	68	60	52	44	362
362	3	170.71	54	362	48	56	64	72	80	79	71	63	55	47	362
362	4	174.56	54	362	43	51	59	67	75	113	69	61	53	45	362
363	1	170.71	54	363	88	96	104	112	120	117	109	101	93	85	363
363	2	174.56	54	363	83	91	99	107	115	160	106	98	90	82	363
363	3	161.29	54	363	81	89	97	105	77	116	108	100	92	84	363
363	4	170.71	54	363	86	94	102	110	118	119	111	103	95	87	363
364	1	161.29	54	364	126	134	142	150	37	156	148	140	132	124	364
364	2	161.29	54	364	128	136	144	152	114	159	151	143	135	127	364
364	3	170.71	54	364	123	131	139	147	155	157	149	141	133	125	364
364	4	170.71	54	364	121	129	137	145	153	154	146	138	130	122	364
365	1	161.29	54	365	166	174	182	190	237	196	188	180	172	164	365
365	2	170.71	54	365	168	176	184	192	200	199	191	183	175	167	365

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
365	3	170.71	54	365	163	171	179	187	195	197	189	181	173	165	365
365	4	170.71	54	365	161	169	177	185	193	194	186	178	170	162	365
366	1	170.71	54	366	206	214	222	230	238	239	231	223	215	207	366
366	2	174.56	54	366	208	216	224	232	240	198	229	221	213	205	366
366	3	170.71	54	366	203	211	219	227	235	234	226	218	210	202	366
366	4	170.71	54	366	201	209	217	225	233	236	228	220	212	204	366
367	1	174.56	54	367	246	254	262	270	278	313	271	263	255	247	367
367	2	170.71	54	367	248	256	264	272	280	277	269	261	253	245	367
367	3	170.71	54	367	243	251	259	267	275	274	266	258	250	242	367
367	4	170.71	54	367	241	249	257	265	273	276	268	260	252	244	367
368	1	161.29	54	368	281	289	297	305	279	314	306	298	290	282	368
368	2	170.71	54	368	286	294	302	310	318	316	308	300	292	284	368
368	3	161.29	54	368	288	296	304	312	354	319	311	303	295	287	368
368	4	174.56	54	368	283	291	299	307	315	33	309	301	293	285	368
369	1	174.56	54	369	323	331	339	347	355	320	346	338	330	322	369
369	2	170.71	54	369	321	329	337	345	353	356	348	340	332	324	369
369	3	170.71	54	369	326	334	342	350	358	359	351	343	335	327	369
369	4	174.56	54	369	328	336	344	352	360	78	349	341	333	325	369
Total Distance		6095.43													

ตารางที่ ค.24 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr01

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
49	1	227.24	176	49	37 35	7 49	41	36	31	44	32	39	43	46	42	9
50	1	128.26	140	50	22	27	3	6	48	45	11	10	34	50		
51	1	272.23	159	51	1 51	28	14	4	19	20	33	13	8	5	29	16
52	1	233.59	182	52	2 47	15 30	25 52	23	26	18	17	40	38	12	21	24
Total Distance		861.32														

ตารางที่ ค.25 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr02

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
97	1	315.98	164	97	81 43	86 41	19 97	74	93	92	38	68	27	8	13	63
97	2	117.16	176	97	73 59	62 84	37 97	25	60	72	95	29	57	54	58	70

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
98	3	284.05	195	98	7 98	5	39	64	16	20	55	44	17	69	9	94
98	1	73.08	178	98	78	88	33	32	87	65	47	1	85	22	42	98
99	1	212.44	193	99	56 10	66 2	36 80	71 24	53 18	12 14	3 67	76 99	50	51	6	48
99	2	8.90	10	99	96	99										
100	1	227.91	194	100	79 91	35 26	82 21	34 28	49 11	40 100	75	83	23	30	15	46
100	2	68.09	110	100	89	52	61	90	77	4	31	45	100			
Total Distance		2709.08														

ตารางที่ ค.26 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr03

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
145	1	198.96	177	145	95 127	13 14	27 73	114 17	110 145	119	69	40	52	88	121	
145	2	72.50	116	145	109	107	5	28	35	11	71	39	145			
145	3	69.72	152	145	91	45	87	129	133	80	3	139	132	1	26	62

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
					145											
146	1	219.52	190	146	37	108	78	12	112	10	50	72	100	74	141	19
					79	70	24	146								
146	2	412.08	189	146	51	46	68	126	54	120	76	116	49	98	55	67
					85	57	36	61	111	34	125	83	115	101	105	
					135	146										
146	3	60.08	81	146	4	6	75	8	56	117	146					
147	1	175.01	189	147	94	48	64	137	131	9	89	140	47	136	60	
					113	142	2	147								
147	2	138.79	177	147	124	44	42	38	20	103	31	118	144	99	130	
					147											
147	3	206.39	182	147	23	122	81	32	138	96	66	90	7	30	77	
					134	97	102	147								
148	1	114.72	156	148	86	21	29	53	82	59	93	33	65	16	148	
148	2	115.07	179	148	92	106	84	143	15	41	63	104	22	58	25	
					128	123	18	43	148							
Total Distance		1782.83														

ตารางที่ ค.27 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr04

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
193	1	86.42	183	193 148 12 152 89 65 32 9 177 104 82 193
193	2	85.84	166	193 154 18 90 153 189 15 121 71 50 161 180 193
193	3	231.49	175	193 68 67 56 42 141 192 76 181 21 35 5 117 165 193
194	1	105.36	179	194 3 38 70 13 174 131 176 80 155 74 72 188 123 194
194	2	192.55	180	194 173 7 81 150 95 60 2 30 172 46 183 116 110 25 194
194	3	196.08	177	194 137 79 149 73 108 142 57 122 11 111 107 125 178 58 194
195	1	113.34	182	195 190 157 145 128 133 59 129 97 19 109 167 130 139 16 34 195
195	2	192.86	184	195 39 47 162 132 55 159 127 85 52 160 53 64 24 134 93 195
195	3	58.42	149	195 113 27 106 138 66 14 135 186 91 195
195	4	108.95	182	195 62 77 22 69 115 99 171 33 168 187 36 98 10 195
196	1	247.71	183	196 87 45 170 158 4 120 86 1 105 20 40

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
					147	31	140	182	101	112	196					
196	2	95.18	172	196	94 26	41 114	83 43	124 102	49 184	63 78	28 100	84 175	136 196	6	169	96
196	3	267.93	180	196	44 191	17 61	92 156	146 54	103 29	179 196	48	166	75	126	118	
196	4	90.39	185	196	8 144	37 196	185	119	23	51	151	88	164	143	163	
Total Distance		2072.52														

ตารางที่ ค.28 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr05

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
241	1	137.92	179	241 33 160 21 57 114 200 1 16 19 180 223 194 131 241
241	2	72.60	171	241 75 154 51 39 94 90 129 4 15 211 157 241
241	3	79.37	157	241 81 217 133 231 59 148 165 115 214 125 61 158 241
241	4	43.47	100	241 193 91 11 124 189 161 241
241	5	36.19	147	241 203 55 177 197 80 20 235 187 142 241
241	6	314.71	167	241 150 149 226 8 44 104 168 177 48 96 224 60 84 241
242	1	83.89	166	242 212 100 101 35 135 28 230 181 83 37 121 225 242
242	2	87.97	166	242 182 137 174 49 87 208 128 240 201 123 221 153 56 141 242
242	3	58.44	157	242 162 207 106 64 62 139 136 113 77 198 30 242
242	4	64.21	179	242 213 151 29 102 183 188 105 227 79 132 85 242
243	1	175.87	78	243 53 120 167 31 243

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
243	2	52.29	138	243	10	205	107	13	3	145	108	146	118	5	243	
243	3	211.22	171	243	111 25	156 140	138 175	171 243	236	42	152	126	169	234	69	97
243	4	63.42	161	243	170	9	66	24	192	185	206	32	243			
243	5	297.92	179	243	116 219	172 222	82 6	195 74	45 73	199 190	41 243	78	93	38	89	
244	1	7.56	32	244	143	238	244									
244	2	82.88	179	244	237 239	99 43	179 244	218	122	27	2	147	232	134	34	
244	3	166.64	180	244	233 244	40	216	52	46	70	109	176	178	164	88	50
244	4	146.51	160	244	196 14	229 204	127 244	215	47	68	110	98	76	130	95	7
244	5	92.57	176	244	144 54	163 18	26 244	23	17	63	71	119	65	173	210	36
244	6	214.97	178	244	67 244	92	159	22	117	209	228	86	220	58	155	
Total Distance		2490.62														

ตารางที่ ค.29 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr06

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
289	1	92.90	175	289 265 160 218 185 251 25 224 44 120 117 11 285 86 289
289	2	210.46	172	289 8 90 131 169 248 110 275 119 136 59 104 266 289
289	3	6.48	8	289 281 289
289	4	87.20	173	289 77 72 69 256 112 147 213 140 41 276 194 220 289
289	5	110.07	173	289 39 264 172 60 200 105 243 20 150 261 273 28 277 253 180 289
289	6	0.00	0	289 289
290	1	92.16	165	290 177 66 114 101 198 148 288 75 202 165 5 171 15 146 17 221 38 290
290	2	186.71	171	290 53 233 4 79 31 32 157 240 89 71 85 222 92 235 27 204 290
290	3	221.33	170	290 269 254 152 186 263 258 142 158 70 43 48 115 283 260 217 290
290	4	50.44	165	290 179 111 109 153 247 67 49 184 255 231 242 290
290	5	56.60	148	290 156 100 3 173 262 284 54 245 282 290

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
290	6	240.27	146	290	135	280	144	51	10	56	226	24	257	193	35	
					187	272	290									
291	1	94.25	174	291	246	196	162	241	52	259	225	199	123	36	219	26
					46	102	252	291								
291	2	56.40	138	291	98	195	267	175	279	270	137	74	87	291		
291	3	89.95	174	291	19	14	116	91	286	34	287	197	143	76	84	
					291											
291	4	50.74	166	291	106	228	139	182	128	121	30	33	167	81	291	
291	5	221.72	175	291	78	216	103	205	159	80	68	42	212	149	230	
					278	122	215	291								
291	6	167.31	173	291	163	47	108	21	45	22	161	164	93	6	214	
					271	124	132	201	12	291						
292	1	103.99	175	292	274	65	73	2	113	13	234	97	29	238	16	
					250	151	292									
292	2	76.21	154	292	232	133	188	249	127	99	55	138	229	95	107	
					191	292										
292	3	164.41	168	292	237	96	126	174	63	134	244	7	94	206	50	62
					57	64	292									
292	4	94.50	168	292	40	18	82	203	61	227	239	155	183	170	23	
					292											

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order											
292	5	206.33	166	292	208	207	178	9	189	141	37	192	154	1	129
					166	88	130	210	236	223	292				
292	6	59.09	174	292	209	58	268	176	118	190	125	168	83	145	211
					181	292									
Total Distance		2739.53													

ตารางที่ ค.30 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr07

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
73	1	242.15	193	73	27	60	70	30	42	19	9	11	6	33	65	10
					31	20	18	71	36	73						
74	1	220.02	193	74	49	61	37	58	7	43	26	23	1	64	47	12
					68	74										
75	1	125.66	196	75	69	62	44	34	22	54	56	3	16	15	45	8
					75											
76	1	280.52	174	76	13	59	51	17	41	50	57	24	63	5	72	53
					46	28	52	76								
77	1	110.53	96	77	66	48	21	55	4	29	40	67	14	77		
78	1	110.68	96	78	35	2	38	39	32	25	78					
Total Distance		1089.56														

ตารางที่ ค.31 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr08

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
145	1	102.50	176	145 40 53 129 140 109 34 104 10 35 63 25 101 102 28 145
145	2	253.14	189	145 39 93 141 116 82 84 27 80 57 29 73 7 96 122 145
146	1	171.65	190	146 90 8 38 16 22 61 113 103 4 18 118 51 128 42 50 146
146	2	11.05	17	146 23 146
147	1	79.50	168	147 41 136 107 64 83 85 1 76 32 91 147
147	2	87.60	186	147 56 135 46 24 15 125 77 5 68 108 45 33 147
148	1	260.59	162	148 19 3 139 134 121 119 49 143 69 9 120 26 110 12 142 148
148	2	101.55	183	148 132 65 59 54 123 44 115 127 97 74 106 133 148
149	1	198.06	179	149 14 105 67 70 79 117 6 87 126 88 37 62 149
149	2	104.76	185	149 21 100 58 60 94 89 86 95 52 124 36 112 138 149
150	1	166.13	190	150 144 81 55 131 137 31 30 2 48 92 43 72

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
				150
150	2	133.78	181	150 75 13 114 47 66 11 78 20 98 130 111 17 71 99 150
Total Distance		1670.31		

ตารางที่ ค.32 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr09

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
217	1	224.63	180	217	172 78	123 59	36 217	79	58	3	2	103	60	15	117	56
217	2	76.18	98	217	167 217	30	190	169	13	161	191	216	101	153	29	86
217	3	74.51	178	217	67 217	180	110	64	47	39	23	214	120	105	150	
218	1	151.47	178	218	5 189	131 156	122 218	109	148	102	84	31	69	182	21	
218	2	218.30	180	218	207 85	197 128	187 35	87 76	176 118	46 218	211	92	33	72	25	7
218	3	33.78	85	218	73	16	121	127	108	218						
219	1	66.36	147	219	177 219	135	104	163	199	94	80	52	115	152	149	
219	2	159.16	166	219	202 124	11 209	171 219	26	12	137	82	186	168	194	88	6
219	3	166.42	170	219	205 1	162 143	41 43	95 4	77 219	32	141	14	147	20	130	18
220	1	132.14	172	220	144 100	37 193	98 142	38 192	28 178	66 220	112	213	99	70	40	

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order
220	2	235.78	171	220 184 198 63 45 106 55 129 91 10 159 62 210 220
220	3	62.11	158	220 174 151 140 119 68 158 126 133 139 146 83 157 220
221	1	166.80	180	221 201 165 96 8 17 44 34 185 196 61 22 132 212 114 221
221	2	63.58	160	221 215 170 200 97 181 75 116 71 134 183 145 48 51 221
221	3	120.70	180	221 74 57 208 93 107 195 160 49 50 155 221
222	1	86.75	153	222 65 19 125 203 166 90 27 54 53 111 154 206 204 222
222	2	120.65	180	222 179 138 164 9 81 42 24 173 136 175 89 113 188 222
Total Distance		2159.32		

ตารางที่ ค.33 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากอัลกอริทึม Pr10

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
289	1	251.95	167	289	135 272	113 57	195 80	33 289	82	210	58	107	256	53	217	67
289	2	110.31	164	289	246 289	14	175	235	229	70	280	138	103	123	54	62
289	3	112.58	169	289	206 164	50 47	64 289	95	24	30	197	187	234	104	55	26
289	4	60.05	131	289	83	52	146	288	161	268	51	40	289			
290	1	195.36	167	290	263 233	122 10	98 290	244	276	108	100	179	274	17	157	
290	2	6.20	30	290	118	160	290									
291	1	78.78	166	291	43	20	232	205	49	249	126	86	35	69	291	
291	2	84.01	130	291	106 291	139	199	170	178	211	91	191	196	156	145	29
291	3	158.04	170	291	130 241	254 212	204 291	11	220	239	162	224	245	15	39	
291	4	90.81	160	291	87 262	94 291	13	23	154	236	96	36	240	147	142	
291	5	36.16	115	291	141	275	28	134	34	151	42	291				
292	1	233.97	168	292	214	136	3	252	125	167	183	120	194	198	5	45

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
					137	292										
292	2	71.63	144	292	219	264	226	153	259	119	180	181	66	267	97	
					292											
292	3	142.17	170	292	25	114	213	284	124	269	140	37	149	176	287	
					225	168	257	292								
292	4	71.38	166	292	221	76	109	202	61	271	133	12	73	172	283	
					159	127	292									
292	5	94.82	151	292	218	186	227	273	231	270	31	216	228	8	247	
					163	292										
293	1	287.75	170	293	203	230	78	41	111	63	99	132	102	74	255	81
					250	88	293									
293	2	72.41	167	293	16	7	59	101	56	68	71	242	155	293		
293	3	163.37	167	293	44	169	121	237	148	150	105	89	282	174	285	
					200	215	222	286	293							
293	4	57.72	169	293	158	152	128	253	90	243	110	27	38	72	6	
					293											
293	5	80.06	152	293	79	185	115	46	131	1	21	208	248	2	258	
					293											
294	1	150.13	165	294	190	143	261	117	85	223	4	188	165	173	144	84
					294											

Depot	Route	Route Distance	Total Demand	Route Order												
294	2	173.05	166	294	266 171	48 294	279	281	189	238	278	209	19	116	182	60
294	3	85.85	170	294	177 277	193 294	251	192	22	166	18	201	92	32	129	
294	4	56.54	156	294	260	207	93	112	265	75	65	184	77	9	294	
Total Distance		2912.69														

ภาคผนวก ง
ตัวอย่างการคำนวณหาระยะทางรวมจากผลเฉลยที่ดีที่สุด

ตัวอย่างการหาระยะทางรวมของ P02 คำนวณจากตาราง ง.1 – ง. 5 และ Pr03 คำนวณจากตาราง ง.6 – ง.16

ผลรวมระยะทางทั้งหมดของตัวอย่าง P02 = 87.035 + 101.909 + 74.274+95.296+115.019 = 473.533 และ ตัวอย่าง Pr03 = 198.956+72.499+69.713+219.516+412.078+60.079+175.009+138.792+206.393+114.722+115.064=1,782.821

ตาราง ง.1 การคำนวณมือ ตัวอย่าง P02 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 51 เส้นทางที่ 1

เส้นทาง	51 4 47 18 13 41 40 19 42 51		
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
51(20,20)->4(20,26)	sqrt((20-20)^2 + (20-26)^2)	sqrt(36.00)	6.000
4(20,26)->47(25,32)	sqrt((20-25)^2 + (26-32)^2)	sqrt(61.00)	7.810
47(25,32)->18(17,33)	sqrt((25-17)^2 + (32-33)^2)	sqrt(65.00)	8.062
18(17,33)->13(5,25)	sqrt((17-5)^2 + (33-25)^2)	sqrt(208.00)	14.422
13(5,25)->41(10,17)	sqrt((5-10)^2 + (25-17)^2)	sqrt(89.00)	9.434
41(10,17)->40(5,6)	sqrt((10-5)^2 + (17-6)^2)	sqrt(146.00)	12.083
40(5,6)->19(13,13)	sqrt((5-13)^2 + (6-13)^2)	sqrt(113.00)	10.630
19(13,13)->42(21,10)	sqrt((13-21)^2 + (13-10)^2)	sqrt(73.00)	8.544
42(21,10)->51(20,20)	sqrt((21-20)^2 + (10-20)^2)	sqrt(101.00)	10.050
		รวมระยะทาง	87.035

ตาราง ง.2 การคำนวณมือ ตัวอย่าง P02 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 52 เส้นทางที่ 1

เส้นทาง	52 6 14 25 24 43 7 23 48 27 46 52		
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
52(30,40)->6(21,47)	sqrt((30-21)^2 + (40-47)^2)	sqrt(130.00)	11.402
6(21,47)->14(12,42)	sqrt((21-12)^2 + (47-42)^2)	sqrt(106.00)	10.296
14(12,42)->25(7,38)	sqrt((12-7)^2 + (42-38)^2)	sqrt(41.00)	6.403
25(7,38)->24(8,52)	sqrt((7-8)^2 + (38-52)^2)	sqrt(197.00)	14.036
24(8,52)->43(5,64)	sqrt((8-5)^2 + (52-64)^2)	sqrt(153.00)	12.369
43(5,64)->7(17,63)	sqrt((5-17)^2 + (64-63)^2)	sqrt(145.00)	12.042
7(17,63)->23(16,57)	sqrt((17-16)^2 + (63-57)^2)	sqrt(37.00)	6.083
23(16,57)->48(25,55)	sqrt((16-25)^2 + (57-55)^2)	sqrt(85.00)	9.220
48(25,55)->27(30,48)	sqrt((25-30)^2 + (55-48)^2)	sqrt(74.00)	8.602
27(30,48)->46(32,39)	sqrt((30-32)^2 + (48-39)^2)	sqrt(85.00)	9.220
46(32,39)->52(30,40)	sqrt((32-30)^2 + (39-40)^2)	sqrt(5.00)	2.236
		รวมระยะทาง	101.909

ตาราง ง.3 การคำนวณมือ ตัวอย่าง P02 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 53 เส้นทางที่ 1

ลำดับเส้นทาง	53 38 11 2 16 50 21 34 30 9 53		
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
53(50,30)->38(45,35)	sqrt((50-45)^2 + (30-35)^2)	sqrt(50.00)	7.071
38(45,35)->11(42,41)	sqrt((45-42)^2 + (35-41)^2)	sqrt(45.00)	6.708
11(42,41)->2(49,49)	sqrt((42-49)^2 + (41-49)^2)	sqrt(113.00)	10.630
2(49,49)->16(52,41)	sqrt((49-52)^2 + (49-41)^2)	sqrt(73.00)	8.544
16(52,41)->50(56,37)	sqrt((52-56)^2 + (41-37)^2)	sqrt(32.00)	5.657
50(56,37)->21(62,42)	sqrt((56-62)^2 + (37-42)^2)	sqrt(61.00)	7.810
21(62,42)->34(61,33)	sqrt((62-61)^2 + (42-33)^2)	sqrt(82.00)	9.055
34(61,33)->30(58,27)	sqrt((61-58)^2 + (33-27)^2)	sqrt(45.00)	6.708
30(58,27)->9(52,33)	sqrt((58-52)^2 + (27-33)^2)	sqrt(72.00)	8.485
9(52,33)->53(50,30)	sqrt((52-50)^2 + (33-30)^2)	sqrt(13.00)	3.606
		รวมระยะทาง	74.274

ตาราง ง.4 การคำนวณมือ ตัวอย่าง P02 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 53 เส้นทางที่ 2

ลำดับเส้นทาง	53 10 39 33 45 15 44 37 17 12 5 49 53		
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
53(50,30)->10(51,21)	sqrt((50-51)^2 + (30-21)^2)	sqrt(82.00)	9.055
10(51,21)->39(59,15)	sqrt((51-59)^2 + (21-15)^2)	sqrt(100.00)	10.000
39(59,15)->33(46,10)	sqrt((59-46)^2 + (15-10)^2)	sqrt(194.00)	13.928
33(46,10)->45(39,10)	sqrt((46-39)^2 + (10-10)^2)	sqrt(49.00)	7.000
45(39,10)->15(36,16)	sqrt((39-36)^2 + (10-16)^2)	sqrt(45.00)	6.708
15(36,16)->44(30,15)	sqrt((36-30)^2 + (16-15)^2)	sqrt(37.00)	6.083
44(30,15)->37(32,22)	sqrt((30-32)^2 + (15-22)^2)	sqrt(53.00)	7.280
37(32,22)->17(27,23)	sqrt((32-27)^2 + (22-23)^2)	sqrt(26.00)	5.099
17(27,23)->12(31,32)	sqrt((27-31)^2 + (23-32)^2)	sqrt(97.00)	9.849
12(31,32)->5(40,30)	sqrt((31-40)^2 + (32-30)^2)	sqrt(85.00)	9.220
5(40,30)->49(48,28)	sqrt((40-48)^2 + (30-28)^2)	sqrt(68.00)	8.246
49(48,28)->53(50,30)	sqrt((48-50)^2 + (28-30)^2)	sqrt(8.00)	2.828
		รวมระยะทาง	95.296

ตาราง ง.5 การคำนวณมือ ตัวอย่าง P02 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 54 เส้นทางที่ 1

ลำดับเส้นทาง	54	20	35	36	3	28	31	26	8	22	1	32	29	54
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1					ค่าลำดับ 2						ระยะทาง		
54(60,50)->20(57,58)	sqrt((60-57)^2 + (50-58)^2)					sqrt(73.00)						8.544		
20(57,58)->35(62,63)	sqrt((57-62)^2 + (58-63)^2)					sqrt(50.00)						7.071		
35(62,63)->36(63,69)	sqrt((62-63)^2 + (63-69)^2)					sqrt(37.00)						6.083		
36(63,69)->3(52,64)	sqrt((63-52)^2 + (69-64)^2)					sqrt(146.00)						12.083		
3(52,64)->28(43,67)	sqrt((52-43)^2 + (64-67)^2)					sqrt(90.00)						9.487		
28(43,67)->31(37,69)	sqrt((43-37)^2 + (67-69)^2)					sqrt(40.00)						6.325		
31(37,69)->26(27,68)	sqrt((37-27)^2 + (69-68)^2)					sqrt(101.00)						10.050		
26(27,68)->8(31,62)	sqrt((27-31)^2 + (68-62)^2)					sqrt(52.00)						7.211		
8(31,62)->22(42,57)	sqrt((31-42)^2 + (62-57)^2)					sqrt(146.00)						12.083		
22(42,57)->1(37,52)	sqrt((42-37)^2 + (57-52)^2)					sqrt(50.00)						7.071		
1(37,52)->32(38,46)	sqrt((37-38)^2 + (52-46)^2)					sqrt(37.00)						6.083		
32(38,46)->29(58,48)	sqrt((38-58)^2 + (46-48)^2)					sqrt(404.00)						20.100		
29(58,48)->54(60,50)	sqrt((58-60)^2 + (48-50)^2)					sqrt(8.00)						2.828		
						รวมระยะทาง						115.019		

ตาราง ง.6 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 145 เส้นทางที่ 1

ลำดับเส้นทาง	145	95	13	27	114	110	119	69	40	52	88	121
		127	14	73	17	145						

คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
145(-40.082,-24.78)->95(-53.516,-21.619)	sqrt((-40.082+53.516)^2 + (-24.78+21.619)^2)	sqrt(190.46)	13.801
95(-53.516,-21.619)->13(-63.379,-22.919)	sqrt((-53.516+63.379)^2 + (-21.619+22.919)^2)	sqrt(98.97)	9.948
13(-63.379,-22.919)->27(-88.538,-10.461)	sqrt((-63.379+88.538)^2 + (-22.919+10.461)^2)	sqrt(788.18)	28.074
27(-88.538,-10.461)->114(-92.633,-6.598)	sqrt((-88.538+92.633)^2 + (-10.461+6.598)^2)	sqrt(31.69)	5.630
114(-92.633,-6.598)->110(-85.718,-28.015)	sqrt((-92.633+85.718)^2 + (-6.598+28.015)^2)	sqrt(506.51)	22.506
110(-85.718,-28.015)->119(-89.96,-39.532)	sqrt((-85.718+89.96)^2 + (-28.015+39.532)^2)	sqrt(150.64)	12.273
119(-89.96,-39.532)->69(-94.141,-48.779)	sqrt((-89.96+94.141)^2 + (-39.532+48.779)^2)	sqrt(102.99)	10.148
69(-94.141,-48.779)->40(-76.392,-57.489)	sqrt((-94.141+76.392)^2 + (-48.779+57.489)^2)	sqrt(390.89)	19.771
40(-76.392,-57.489)->52(-59.937,-65.802)	sqrt((-76.392+59.937)^2 + (-57.489+65.802)^2)	sqrt(339.87)	18.436
52(-59.937,-65.802)->88(-56.268,-64.74)	sqrt((-59.937+56.268)^2 + (-65.802+64.74)^2)	sqrt(14.59)	3.820
88(-56.268,-64.74)->121(-53.674,-56.427)	sqrt((-56.268+53.674)^2 + (-64.74+56.427)^2)	sqrt(75.83)	8.708
121(-53.674,-56.427)->127(-45.209,-56.293)	sqrt((-53.674+45.209)^2 + (-56.427+56.293)^2)	sqrt(71.67)	8.466
127(-45.209,-56.293)->14(-43.109,-43.439)	sqrt((-45.209+43.109)^2 + (-56.293+43.439)^2)	sqrt(169.64)	13.024
14(-43.109,-43.439)->73(-37.445,-42.505)	sqrt((-43.109+37.445)^2 + (-43.439+42.505)^2)	sqrt(32.95)	5.740
73(-37.445,-42.505)->17(-41.577,-28.497)	sqrt((-37.445+41.577)^2 + (-42.505+28.497)^2)	sqrt(213.30)	14.605
17(-41.577,-28.497)->145(-40.082,-24.78)	sqrt((-41.577+40.082)^2 + (-28.497+24.78)^2)	sqrt(16.05)	4.006
		รวมระยะทาง	198.956

ตาราง ง.7 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 145 เส้นทางที่ 2

ลำดับเส้นทาง	145 109 107 5 28 35 11 71 39 145		
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
145(-40.082,-24.78)->109(-31.012,-21.106)	sqrt((-40.082+31.012)^2 + (-24.78+21.106)^2)	sqrt(95.76)	9.786
109(-31.012,-21.106)->107(-30.963,-18.903)	sqrt((-31.012+30.963)^2 + (-21.106+18.903)^2)	sqrt(4.86)	2.204
107(-30.963,-18.903)->5(-24.469,-3.815)	sqrt((-30.963+24.469)^2 + (-18.903+3.815)^2)	sqrt(269.82)	16.426
5(-24.469,-3.815)->28(-29.773,.995)	sqrt((-24.469+29.773)^2 + (-3.815-.995)^2)	sqrt(51.27)	7.160
28(-29.773,.995)->35(-34.949,-3.815)	sqrt((-29.773+34.949)^2 + (.995+3.815)^2)	sqrt(49.93)	7.066
35(-34.949,-3.815)->11(-37.061,-12.122)	sqrt((-34.949+37.061)^2 + (-3.815+12.122)^2)	sqrt(73.47)	8.571
11(-37.061,-12.122)->71(-46.637,-16.461)	sqrt((-37.061+46.637)^2 + (-12.122+16.461)^2)	sqrt(110.53)	10.513
71(-46.637,-16.461)->39(-42.914,-22.675)	sqrt((-46.637+42.914)^2 + (-16.461+22.675)^2)	sqrt(52.47)	7.244
39(-42.914,-22.675)->145(-40.082,-24.78)	sqrt((-42.914+40.082)^2 + (-22.675+24.78)^2)	sqrt(12.45)	3.529
		รวมระยะทาง	72.499

ตาราง ง.8 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 145 เส้นทางที่ 3

ลำดับเส้นทาง	145	91	45	87	129	133	80	3	139	132	1	26
		62	145									

คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
145(-40.082,-24.78)->91(-34.845,-27.185)	sqrt((-40.082+34.845)^2 + (-24.78+27.185)^2)	sqrt(33.21)	5.763
91(-34.845,-27.185)->45(-34.674,-27.588)	sqrt((-34.845+34.674)^2 + (-27.185+27.588)^2)	sqrt(0.19)	0.438
45(-34.674,-27.588)->87(-29.993,-28.851)	sqrt((-34.674+29.993)^2 + (-27.588+28.851)^2)	sqrt(23.51)	4.848
87(-29.993,-28.851)->129(-32.99,-34.003)	sqrt((-29.993+32.99)^2 + (-28.851+34.003)^2)	sqrt(35.53)	5.960
129(-32.99,-34.003)->133(-36.847,-33.71)	sqrt((-32.99+36.847)^2 + (-34.003+33.71)^2)	sqrt(14.96)	3.868
133(-36.847,-33.71)->80(-46.179,-38.269)	sqrt((-36.847+46.179)^2 + (-33.71+38.269)^2)	sqrt(107.87)	10.386
80(-46.179,-38.269)->3(-49.072,-38.489)	sqrt((-46.179+49.072)^2 + (-38.269+38.489)^2)	sqrt(8.42)	2.901
3(-49.072,-38.489)->139(-55.676,-31.384)	sqrt((-49.072+55.676)^2 + (-38.489+31.384)^2)	sqrt(94.09)	9.700
139(-55.676,-31.384)->132(-58.966,-29.541)	sqrt((-55.676+58.966)^2 + (-31.384+29.541)^2)	sqrt(14.22)	3.771
132(-58.966,-29.541)->1(-55.28,-24.371)	sqrt((-58.966+55.28)^2 + (-29.541+24.371)^2)	sqrt(40.32)	6.349
1(-55.28,-24.371)->26(-48.45,-24.426)	sqrt((-55.28+48.45)^2 + (-24.371+24.426)^2)	sqrt(46.65)	6.830
26(-48.45,-24.426)->62(-43.616,-26.117)	sqrt((-48.45+43.616)^2 + (-24.426+26.117)^2)	sqrt(26.23)	5.121
62(-43.616,-26.117)->145(-40.082,-24.78)	sqrt((-43.616+40.082)^2 + (-26.117+24.78)^2)	sqrt(14.28)	3.778
		รวมระยะทาง	69.713

ตาราง ง.9 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 146 เส้นทางที่ 1

ลำดับเส้นทาง	146	37	108	78	12	112	10	50	72	100	74	141
		19	79	70	24	146						

คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
146(24.292,-27.704)->37(15.594,-28.455)	sqrt((24.292-15.594)^2 + (-27.704+28.455)^2)	sqrt(76.22)	8.730
37(15.594,-28.455)->108(1.721,-20.447)	sqrt((15.594-1.721)^2 + (-28.455+20.447)^2)	sqrt(256.59)	16.018
108(1.721,-20.447)->78(-13.58,-26.959)	sqrt((1.721+13.58)^2 + (-20.447+26.959)^2)	sqrt(276.53)	16.629
78(-13.58,-26.959)->12(-15.741,-47.638)	sqrt((-13.58+15.741)^2 + (-26.959+47.638)^2)	sqrt(432.29)	20.792
12(-15.741,-47.638)->112(-15.753,-52.686)	sqrt((-15.741+15.753)^2 + (-47.638+52.686)^2)	sqrt(25.48)	5.048
112(-15.753,-52.686)->10(-30.792,-57.336)	sqrt((-15.753+30.792)^2 + (-52.686+57.336)^2)	sqrt(247.79)	15.741
10(-30.792,-57.336)->50(-20.563,-75.83)	sqrt((-30.792+20.563)^2 + (-57.336+75.83)^2)	sqrt(446.66)	21.134
50(-20.563,-75.83)->72(-.958,-81)	sqrt((-20.563+.958)^2 + (-75.83+81)^2)	sqrt(411.08)	20.275
72(-.958,-81)->100(14.819,-82.117)	sqrt((-.958-14.819)^2 + (-81+82.117)^2)	sqrt(250.16)	15.816
100(14.819,-82.117)->74(-3.68,-69.073)	sqrt((14.819+3.68)^2 + (-82.117+69.073)^2)	sqrt(512.36)	22.635
74(-3.68,-69.073)->141(-3.918,-63.525)	sqrt((-3.68+3.918)^2 + (-69.073+63.525)^2)	sqrt(30.84)	5.553
141(-3.918,-63.525)->19(3.925,-47.845)	sqrt((-3.918-3.925)^2 + (-63.525+47.845)^2)	sqrt(307.38)	17.532
19(3.925,-47.845)->79(12.653,-48.34)	sqrt((3.925-12.653)^2 + (-47.845+48.34)^2)	sqrt(76.42)	8.742
79(12.653,-48.34)->70(15.332,-42.169)	sqrt((12.653-15.332)^2 + (-48.34+42.169)^2)	sqrt(45.26)	6.727
70(15.332,-42.169)->24(15.546,-36.273)	sqrt((15.332-15.546)^2 + (-42.169+36.273)^2)	sqrt(34.81)	5.900
24(15.546,-36.273)->146(24.292,-27.704)	sqrt((15.546-24.292)^2 + (-36.273+27.704)^2)	sqrt(149.92)	12.244
		รวมระยะทาง	219.516

ตาราง ง.10 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 146 เส้นทางที่ 2

ลำดับเส้นทาง	146	51	46	68	126	54	120	76	116	49	98	55
		67	85	57	36	61	111	34	125	83	115	101
		105	135	146								

คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
146(24.292,-27.704)->51(15.442,-18.719)	sqrt((24.292-15.442)^2 + (-27.704+18.719)^2)	sqrt(159.05)	12.612
51(15.442,-18.719)->46(10.315,-12.518)	sqrt((15.442-10.315)^2 + (-18.719+12.518)^2)	sqrt(64.74)	8.046
46(10.315,-12.518)->68(14.301,-.8)	sqrt((10.315-14.301)^2 + (-12.518+.8)^2)	sqrt(153.20)	12.377
68(14.301,-.8)->126(30.792,9.869)	sqrt((14.301-30.792)^2 + (-.8-9.869)^2)	sqrt(385.78)	19.641
126(30.792,9.869)->54(46.008,14.99)	sqrt((30.792-46.008)^2 + (9.869-14.99)^2)	sqrt(257.75)	16.055
54(46.008,14.99)->120(36.438,20.819)	sqrt((46.008-36.438)^2 + (14.99-20.819)^2)	sqrt(125.56)	11.205
120(36.438,20.819)->76(45.544,51.41)	sqrt((36.438-45.544)^2 + (20.819-51.41)^2)	sqrt(1018.73)	31.918
76(45.544,51.41)->116(59.314,54.095)	sqrt((45.544-59.314)^2 + (51.41-54.095)^2)	sqrt(196.82)	14.029
116(59.314,54.095)->49(83.832,33.905)	sqrt((59.314-83.832)^2 + (54.095-33.905)^2)	sqrt(1008.77)	31.761
49(83.832,33.905)->98(71.515,22.51)	sqrt((83.832-71.515)^2 + (33.905-22.51)^2)	sqrt(281.55)	16.780
98(71.515,22.51)->55(82.977,-1.66)	sqrt((71.515-82.977)^2 + (22.51+1.66)^2)	sqrt(715.57)	26.750
55(82.977,-1.66)->67(74.084,-34.216)	sqrt((82.977-74.084)^2 + (-1.66+34.216)^2)	sqrt(1138.98)	33.749
67(74.084,-34.216)->85(90.009,-43.64)	sqrt((74.084-90.009)^2 + (-34.216+43.64)^2)	sqrt(342.42)	18.505
85(90.009,-43.64)->57(90.839,-83.539)	sqrt((90.009-90.839)^2 + (-43.64+83.539)^2)	sqrt(1592.62)	39.908
57(90.839,-83.539)->36(81.201,-74.744)	sqrt((90.839-81.201)^2 + (-83.539+74.744)^2)	sqrt(170.24)	13.048
36(81.201,-74.744)->61(64.459,-62.946)	sqrt((81.201-64.459)^2 + (-74.744+62.946)^2)	sqrt(419.49)	20.481
61(64.459,-62.946)->111(58.826,-63.043)	sqrt((64.459-58.826)^2 + (-62.946+63.043)^2)	sqrt(31.74)	5.634
111(58.826,-63.043)->34(45.087,-59.906)	sqrt((58.826-45.087)^2 + (-63.043+59.906)^2)	sqrt(198.60)	14.093
34(45.087,-59.906)->125(47.131,-45.465)	sqrt((45.087-47.131)^2 + (-59.906+45.465)^2)	sqrt(212.72)	14.585

125(47.131,-45.465)->83(38.342,-46.338)	sqrt((47.131-38.342)^2 + (-45.465+46.338)^2)	sqrt(78.01)	8.832
83(38.342,-46.338)->115(33.508,-49.255)	sqrt((38.342-33.508)^2 + (-46.338+49.255)^2)	sqrt(31.88)	5.646
115(33.508,-49.255)->101(30.316,-55.322)	sqrt((33.508-30.316)^2 + (-49.255+55.322)^2)	sqrt(47.00)	6.855
101(30.316,-55.322)->105(28.571,-49.908)	sqrt((30.316-28.571)^2 + (-55.322+49.908)^2)	sqrt(32.36)	5.688
105(28.571,-49.908)->135(22.98,-41.01)	sqrt((28.571-22.98)^2 + (-49.908+41.01)^2)	sqrt(110.43)	10.509
135(22.98,-41.01)->146(24.292,-27.704)	sqrt((22.98-24.292)^2 + (-41.01+27.704)^2)	sqrt(178.77)	13.371
		รวมระยะทาง	412.078

ตาราง ง.11 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 146 เส้นทางที่ 3

ลำดับเส้นทาง	146 4 6 75 8 56 117 146		
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
146(24.292,-27.704)->4(25.311,-18.561)	sqrt((24.292-25.311)^2 + (-27.704+18.561)^2)	sqrt(84.63)	9.200
4(25.311,-18.561)->6(24.591,-17.896)	sqrt((25.311-24.591)^2 + (-18.561+17.896)^2)	sqrt(0.96)	0.980
6(24.591,-17.896)->75(34.894,-20.898)	sqrt((24.591-34.894)^2 + (-17.896+20.898)^2)	sqrt(115.16)	10.731
75(34.894,-20.898)->8(38.177,-35.175)	sqrt((34.894-38.177)^2 + (-20.898+35.175)^2)	sqrt(214.61)	14.650
8(38.177,-35.175)->56(39.893,-38.916)	sqrt((38.177-39.893)^2 + (-35.175+38.916)^2)	sqrt(16.94)	4.116
56(39.893,-38.916)->117(30.737,-28.436)	sqrt((39.893-30.737)^2 + (-38.916+28.436)^2)	sqrt(193.66)	13.916
117(30.737,-28.436)->146(24.292,-27.704)	sqrt((30.737-24.292)^2 + (-28.436+27.704)^2)	sqrt(42.07)	6.486
		รวมระยะทาง	60.079

ตาราง ง.12 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 147 เส้นทางที่ 1

ลำดับเส้นทาง	147	94	48	64	137	131	9	89	140	47	136	60
		113	142	2	147							

คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
147(-45.877,41.092)->94(-40.991,46.594)	sqrt((-45.877+40.991)^2 + (41.092-46.594)^2)	sqrt(54.15)	7.358
94(-40.991,46.594)->48(-40.417,49.988)	sqrt((-40.991+40.417)^2 + (46.594-49.988)^2)	sqrt(11.85)	3.442
48(-40.417,49.988)->64(-43.921,63.251)	sqrt((-40.417+43.921)^2 + (49.988-63.251)^2)	sqrt(188.19)	13.718
64(-43.921,63.251)->137(-47.205,67.725)	sqrt((-43.921+47.205)^2 + (63.251-67.725)^2)	sqrt(30.80)	5.550
137(-47.205,67.725)->131(-69.348,80.408)	sqrt((-47.205+69.348)^2 + (67.725-80.408)^2)	sqrt(651.17)	25.518
131(-69.348,80.408)->9(-68.28,93.073)	sqrt((-69.348+68.28)^2 + (80.408-93.073)^2)	sqrt(161.54)	12.710
9(-68.28,93.073)->89(-87.415,90.796)	sqrt((-68.28+87.415)^2 + (93.073-90.796)^2)	sqrt(371.33)	19.270
89(-87.415,90.796)->140(-85.229,88.788)	sqrt((-87.415+85.229)^2 + (90.796-88.788)^2)	sqrt(8.81)	2.968
140(-85.229,88.788)->47(-83.014,77.002)	sqrt((-85.229+83.014)^2 + (88.788-77.002)^2)	sqrt(143.82)	11.992
47(-83.014,77.002)->136(-77.557,59.814)	sqrt((-83.014+77.557)^2 + (77.002-59.814)^2)	sqrt(325.21)	18.033
136(-77.557,59.814)->60(-80.487,58.209)	sqrt((-77.557+80.487)^2 + (59.814-58.209)^2)	sqrt(11.16)	3.341
60(-80.487,58.209)->113(-71.661,51.184)	sqrt((-80.487+71.661)^2 + (58.209-51.184)^2)	sqrt(127.25)	11.280
113(-71.661,51.184)->142(-58.557,59.375)	sqrt((-71.661+58.557)^2 + (51.184-59.375)^2)	sqrt(238.81)	15.453
142(-58.557,59.375)->2(-48.297,53.314)	sqrt((-58.557+48.297)^2 + (59.375-53.314)^2)	sqrt(142.00)	11.917
2(-48.297,53.314)->147(-45.877,41.092)	sqrt((-48.297+45.877)^2 + (53.314-41.092)^2)	sqrt(155.23)	12.459
		รวมระยะทาง	175.009

ตาราง ง.13 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 147 เส้นทางที่ 2

ลำดับเส้นทาง	147 124 44 42 38 20 103 31 118 144 99 130 147		
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
147(-45.877,41.092)->124(-52.905,42.804)	sqrt((-45.877+52.905)^2 + (41.092-42.804)^2)	sqrt(52.32)	7.234
124(-52.905,42.804)->44(-61.475,33.392)	sqrt((-52.905+61.475)^2 + (42.804-33.392)^2)	sqrt(162.03)	12.729
44(-61.475,33.392)->42(-61.389,26.526)	sqrt((-61.475+61.389)^2 + (33.392-26.526)^2)	sqrt(47.15)	6.867
42(-61.389,26.526)->38(-72.192,29.547)	sqrt((-61.389+72.192)^2 + (26.526-29.547)^2)	sqrt(125.83)	11.217
38(-72.192,29.547)->20(-83.295,26.324)	sqrt((-72.192+83.295)^2 + (29.547-26.324)^2)	sqrt(133.66)	11.561
20(-83.295,26.324)->103(-94.415,15.192)	sqrt((-83.295+94.415)^2 + (26.324-15.192)^2)	sqrt(247.58)	15.735
103(-94.415,15.192)->31(-79.303,15.381)	sqrt((-94.415+79.303)^2 + (15.192-15.381)^2)	sqrt(228.41)	15.113
31(-79.303,15.381)->118(-55.896,18.457)	sqrt((-79.303+55.896)^2 + (15.381-18.457)^2)	sqrt(557.35)	23.608
118(-55.896,18.457)->144(-48.779,16.968)	sqrt((-55.896+48.779)^2 + (18.457-16.968)^2)	sqrt(52.87)	7.271
144(-48.779,16.968)->99(-41.864,27.71)	sqrt((-48.779+41.864)^2 + (16.968-27.71)^2)	sqrt(163.21)	12.775
99(-41.864,27.71)->130(-40.869,30.579)	sqrt((-41.864+40.869)^2 + (27.71-30.579)^2)	sqrt(9.22)	3.037
130(-40.869,30.579)->147(-45.877,41.092)	sqrt((-40.869+45.877)^2 + (30.579-41.092)^2)	sqrt(135.60)	11.645
		รวมระยะทาง	138.792

ตาราง ง.14 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 147 เส้นทางที่ 3

ลำดับเส้นทาง	147 23 122 81 32 138 96 66 90 7 30 77 134 97 102 147		
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
147(-45.877,41.092)->23(-34.869,30.426)	sqrt((-45.877+34.869)^2 + (41.092-30.426)^2)	sqrt(234.94)	15.328
23(-34.869,30.426)->122(-31.866,32.538)	sqrt((-34.869+31.866)^2 + (30.426-32.538)^2)	sqrt(13.48)	3.671
122(-31.866,32.538)->81(-29.62,35.083)	sqrt((-31.866+29.62)^2 + (32.538-35.083)^2)	sqrt(11.52)	3.394
81(-29.62,35.083)->32(-30.652,40.063)	sqrt((-29.62+30.652)^2 + (35.083-40.063)^2)	sqrt(25.87)	5.086
32(-30.652,40.063)->138(-21.606,35.168)	sqrt((-30.652+21.606)^2 + (40.063-35.168)^2)	sqrt(105.79)	10.285
138(-21.606,35.168)->96(-17.56,37.494)	sqrt((-21.606+17.56)^2 + (35.168-37.494)^2)	sqrt(21.78)	4.667
96(-17.56,37.494)->66(-6.995,38.239)	sqrt((-17.56+6.995)^2 + (37.494-38.239)^2)	sqrt(112.17)	10.591
66(-6.995,38.239)->90(-5.762,54.034)	sqrt((-6.995+5.762)^2 + (38.239-54.034)^2)	sqrt(251.00)	15.843
90(-5.762,54.034)->7(-10.419,60.364)	sqrt((-5.762+10.419)^2 + (54.034-60.364)^2)	sqrt(61.76)	7.859
7(-10.419,60.364)->30(1.41,92.938)	sqrt((-10.419-1.41)^2 + (60.364-92.938)^2)	sqrt(1200.99)	34.655
30(1.41,92.938)->77(-31.927,88.239)	sqrt((1.41+31.927)^2 + (92.938-88.239)^2)	sqrt(1133.44)	33.667
77(-31.927,88.239)->134(-21.82,65.369)	sqrt((-31.927+21.82)^2 + (88.239-65.369)^2)	sqrt(625.19)	25.004
134(-21.82,65.369)->97(-37.311,56.836)	sqrt((-21.82+37.311)^2 + (65.369-56.836)^2)	sqrt(312.78)	17.686
97(-37.311,56.836)->102(-39.172,47.998)	sqrt((-37.311+39.172)^2 + (56.836-47.998)^2)	sqrt(81.57)	9.032
102(-39.172,47.998)->147(-45.877,41.092)	sqrt((-39.172+45.877)^2 + (47.998-41.092)^2)	sqrt(92.65)	9.625
		รวมระยะทาง	206.393

ตาราง ง.15 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 148 เส้นทางที่ 1

ลำดับเส้นทาง	148	86	21	29	53	82	59	93	33	65	16	148
คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1							ค่าลำดับ 2			ระยะทาง	
148(-11.896,15.875)->86(-6.995,22.522)	sqrt((-11.896+6.995)^2 + (15.875-22.522)^2)							sqrt(68.20)			8.258	
86(-6.995,22.522)->21(-6.458,26.355)	sqrt((-6.995+6.458)^2 + (22.522-26.355)^2)							sqrt(14.98)			3.870	
21(-6.458,26.355)->29(9.827,38.416)	sqrt((-6.458-9.827)^2 + (26.355-38.416)^2)							sqrt(410.67)			20.265	
29(9.827,38.416)->53(5.151,47.815)	sqrt((9.827-5.151)^2 + (38.416-47.815)^2)							sqrt(110.21)			10.498	
53(5.151,47.815)->82(13.696,43.988)	sqrt((5.151-13.696)^2 + (47.815-43.988)^2)							sqrt(87.66)			9.363	
82(13.696,43.988)->59(18.958,40.088)	sqrt((13.696-18.958)^2 + (43.988-40.088)^2)							sqrt(42.90)			6.550	
59(18.958,40.088)->93(23.712,29.492)	sqrt((18.958-23.712)^2 + (40.088-29.492)^2)							sqrt(134.88)			11.614	
93(23.712,29.492)->33(18.927,21.637)	sqrt((23.712-18.927)^2 + (29.492-21.637)^2)							sqrt(84.60)			9.198	
33(18.927,21.637)->65(11.353,26.221)	sqrt((18.927-11.353)^2 + (21.637-26.221)^2)							sqrt(78.38)			8.853	
65(11.353,26.221)->16(-2.625,16.632)	sqrt((11.353+2.625)^2 + (26.221-16.632)^2)							sqrt(287.33)			16.951	
16(-2.625,16.632)->148(-11.896,15.875)	sqrt((-2.625+11.896)^2 + (16.632-15.875)^2)							sqrt(86.52)			9.302	
								รวมระยะทาง			114.722	

ตาราง ง.16 การคำนวณมือ ตัวอย่าง PR03 เพื่อระยะทางรวม Depot ที่ 148 เส้นทางที่ 2

ลำดับเส้นทาง	148	92	106	84	143	15	41	63	104	22	58
		25	128	123	18	43	148				

คู่ลำดับเส้นทาง	ค่าลำดับ 1	ค่าลำดับ 2	ระยะทาง
148(-11.896,15.875)->92(-16.479,16.18)	sqrt((-11.896+16.479)^2 + (15.875-16.18)^2)	sqrt(21.10)	4.593
92(-16.479,16.18)->106(-20.654,24.554)	sqrt((-16.479+20.654)^2 + (16.18-24.554)^2)	sqrt(87.55)	9.357
106(-20.654,24.554)->84(-26.227,24.506)	sqrt((-20.654+26.227)^2 + (24.554-24.506)^2)	sqrt(31.06)	5.573
84(-26.227,24.506)->143(-24.542,14.935)	sqrt((-26.227+24.542)^2 + (24.506-14.935)^2)	sqrt(94.44)	9.718
143(-24.542,14.935)->15(-25.623,13.599)	sqrt((-24.542+25.623)^2 + (14.935-13.599)^2)	sqrt(2.95)	1.719
15(-25.623,13.599)->41(-28.54,12.073)	sqrt((-25.623+28.54)^2 + (13.599-12.073)^2)	sqrt(10.84)	3.292
41(-28.54,12.073)->63(-18.408,10.303)	sqrt((-28.54+18.408)^2 + (12.073-10.303)^2)	sqrt(105.79)	10.285
63(-18.408,10.303)->104(-7.806,11.273)	sqrt((-18.408+7.806)^2 + (10.303-11.273)^2)	sqrt(113.34)	10.646
104(-7.806,11.273)->22(3.29,6.732)	sqrt((-7.806-3.29)^2 + (11.273-6.732)^2)	sqrt(143.74)	11.989
22(3.29,6.732)->58(7.068,.067)	sqrt((3.29-7.068)^2 + (6.732-.067)^2)	sqrt(58.70)	7.661
58(7.068,.067)->25(12.842,5.127)	sqrt((7.068-12.842)^2 + (.067-5.127)^2)	sqrt(58.94)	7.677
25(12.842,5.127)->128(10.919,13.306)	sqrt((12.842-10.919)^2 + (5.127-13.306)^2)	sqrt(70.59)	8.402
128(10.919,13.306)->123(5.658,12.756)	sqrt((10.919-5.658)^2 + (13.306-12.756)^2)	sqrt(27.98)	5.290
123(5.658,12.756)->18(2.081,12.885)	sqrt((5.658-2.081)^2 + (12.756-12.885)^2)	sqrt(12.81)	3.579
18(2.081,12.885)->43(-8.472,12.616)	sqrt((2.081+8.472)^2 + (12.885-12.616)^2)	sqrt(111.44)	10.556
43(-8.472,12.616)->148(-11.896,15.875)	sqrt((-8.472+11.896)^2 + (12.616-15.875)^2)	sqrt(22.34)	4.727
		รวมระยะทาง	115.064

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นางสุคนธ์ทิพย์ สินวิวัฒนกุล
ประวัติการศึกษา	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2537-2540 วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2549-2551 วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2552-2558 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
ประวัติการทำงานและตำแหน่ง	วิศวกร3 กรมโรงงานอุตสาหกรรม, พ.ศ. 2544 วิศวกร3-วิศวกร4 ฝ่ายโรงงานอุตสาหกรรม สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดอุดรธานี วิศวกร5-วิศวกรชำนาญการ ฝ่ายโรงงานอุตสาหกรรมจังหวัดอุบลราชธานี
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดอุบลราชธานี ถนนสุรศักดิ์ ตำบลในเมือง อำเมืองอุบลราชธานี จังหวัดอุบลราชธานี 34000 โทรศัพท์ 045-244668 ต่อ 104 โทรสาร 045-244669