วิธีฮิวริสติก สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีสินค้าหลายชนิด กรณีศึกษา : โรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็ง ลานทอง

พิพัฒชัย ชอบงาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

HEURISTIC FOR MULTI ITEM VEHICLE ROUTING PROBLEM

CASE STUDY: LANTONG FACTORY OF DRINKING AND ICE WATER

PIPATCHAI CHOBNGAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

MAJOR IN INDUSTRIAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2011

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง วิธีฮิวริสติก GRASP สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีสินค้าหลายชนิด กรณีศึกษา : โรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง

ผู้วิจัย นายพิพัฒชัย ชอบงาม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง)

..... กรรมการ

(ดร.ธารชุดา พันธ์นิกุล)

..... กรรมการ

(ดร.นัทธพงศ์ นันทสำเริง)

..... คณบดี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2554

กิตติกรรมประกาศ

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ ถ้าหากไม่รับความช่วยเหลือเป็นดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมบัติ สินธุเชาวน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ เช่น การศึกษา สืบค้นรายงานการวิจัยในอดีต การวางกรอบปัญหา การสร้างและการใช้วิธีเชิงฮิวริสติกกับภาษาทางคอมพิวเตอร์โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเขียนโปรแกรม Dev-C++ 4 และโปรแกรม Microsoft visual C++ 6.0 นอกจากนี้ท่านยังให้คำแนะนำการเขียนรายงานการวิจัยเพื่อนำออกไปเผยแพร่ในงานวารสารทางวิชาการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณ อ.นิรันดร์ สมมุติ อาจารย์ประจำวิทยาลัยเทคนิคศรีษะเกษ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ มากมาย เช่น การเขียนโปรแกรม Microsoft visual C++ 6.0 ตลอดทั้งการให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์สำหรับงานวิจัย ขอขอบพระคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่ามาเป็นคณะกรรมการสอบ ตลอดทั้งการให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ ที่สามารถจะนำไปพัฒนาวิธีเชิงฮิวริสติกกับปัญหาอื่นๆ ต่อไปได้อีกในอนาคต ขอกราบขอบพระคุณผู้จัดการโรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง ที่อนุญาตให้เก็บรวบรวมข้อมูลในการทำวิจัยนี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อพิชัด-คุณแม่อูบแก้ว ชอบงาม ตลอดจนทุกคนในครอบครัว โดยเฉพาะคุณกนกอร ชอบงาม ภรรยา ที่คอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา และนอกจากนี้ยังมีบุคคลที่เกี่ยวข้องอีกหลายท่านซึ่งไม่อาจกล่าวนามของท่านในที่นี้ได้ ขอขอบพระคุณท่านทั้งหลายไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

(นายพิพัฒชัย ชอบงาม)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : วิธีฮิวริสติก GRASP สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีสินค้าหลายชนิด

กรณีศึกษา : โรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง

โดย : พิพัฒชัย ชอบงาม

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุเชาวน์

ศัพท์สำคัญ : ฮิวริสติก GRASP ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ความต้องการสินค้าไม่แน่นอน

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีสินค้าหลายชนิด (Multi item Vehicle Routing Problem) ซึ่งเป็นปัญหาเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-Hard) ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) สำหรับการค้นหาคำตอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางรวมต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน และ ความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัด ในการขนส่งสินค้าแต่ละชนิด กระบวนการทำงานของ GRASP แบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข และระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ ผู้วิจัยเสนอนโยบายการบรรทุกสินค้าขึ้นบนยานพาหนะ 2 นโยบาย คือ นโยบายที่ 1 ใช้ค่าเฉลี่ยความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายในการจัดสินค้า นโยบายที่ 2 พิจารณาใช้ค่าความต้องการสินค้าสูงสุดและต่ำสุดในการจัดสินค้า ผลการทดสอบพบว่า นโยบายที่ 1 ให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดีสุด สามารถลดระยะทางขนส่งจากเดิม 95.57 กิโลเมตรต่อวัน ลดลงเหลือ 82.58 กิโลเมตรต่อวัน มีสายส่งเกิดขึ้น 4 เส้นทาง และเมื่อพิจารณาถึงค่าโทษ (Penalty cost) ที่เกิดขึ้นจากการขนสินค้าเกินความต้องการและการขนสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในเส้นทางขนส่งของนโยบายที่ 1 พบว่า ค่าโทษรวมที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.02 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากเดิม 9,174.72 บาทต่อเดือนเหลือ 7,928.40บาทต่อเดือน ลดลง 1,246.32 บาทต่อเดือน คิดเป็น 13.60% ของค่าน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด

ABSTRACT

TITLE : GRASP HEURISTIC FOR MULTI ITEM VEHICLE ROUTING PROBLEM CASE STUDY : LANTONG FACTORY OF DRINKING AND ICE WATER

BY : PIPATCHAI CHOBNGAM

DEGREE : MASTER ENGINEERING

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

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

KEYWORDS : HEURISTIC GRASP / VEHICLE ROUTING PROBLEMS / UNCERTAIN DEMAND

This paper presents a heuristic for multi item vehicle routing problem. The problem is a combinatorial optimization and NP-Hard problem. A Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) is applied to solve for solutions with the objective of minimizing the total distance traveled. The demand from each customer is uncertain and the vehicle capacity is limited for delivery of goods. GRASP consists of two phases. The first phase is to construct an initial feasible solution and the solution is improved in the second phase. Two policies for loading products on the vehicle are proposed. For the first policy, the average demand for each customer is used to determine the delivery quantity. For the second policy, the maximum and minimum demands are considered in setting up the delivery quantity. The computational results show that the average demand for each customer provides better solutions. The total distance can be decreased from 95.57 kilometers to 82.58 kilometers per day. When considering a penalty cost due to overloading and under-loading compared to the total demand of customers in the route, it is found that the penalty cost is 0.02 Baht for the first policy. The fuel cost can be reduced from 9174.72 Baht per month to 7928.40 Baht per month which is reduction of 1246.32 Baht per month or 13.60% of the total fuel cost.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะ	5
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่ง	12
2.3 วิธีหาคำตอบที่ดีที่สุดและวิธีฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ	17
2.4 Greedy Randomized Adaptive Search Procedure: GRASP	19
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	22
3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย	23
3.3 การพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่ดีเพียงพอ	29
3.4 การวัดประสิทธิภาพฮิวริสติก	35
3.5 สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 บทวิเคราะห์และผลของการวิจัย	
4.1 รายละเอียดและการทดลอง	36
4.2 ข้อมูลการเดินรถของโรงงานกรณีศึกษา	36
4.3 ผลการทดสอบตัวแบบคณิตศาสตร์ด้วยวิธีฮิวริสติก	39
4.4 สรุปผลการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางยานพาหนะ ด้วยวิธีฮิวริสติกกับโรงงานกรณีศึกษา	60
5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง	61
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางของการวิจัยในอนาคต	62
เอกสารอ้างอิง	**63**
ภาคผนวก	**71**
ประวัติผู้วิจัย	**99**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	คำนิยามศัพท์เฉพาะ	5
2.1	ลักษณะของปัญหาสำหรับการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ	17
2.2	รายชื่อนักวิจัยและรูปแบบปัญหาที่ใช้วิธีฮิวริสติก GRASP เพื่อแก้ไขปัญหา	21
4.1	การจัดเส้นทางการขนส่งวิธีปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา	38
4.2	รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งของโรงงานกรณีศึกษา	39
4.3	ผลการทดสอบระดับการทดสอบระดับที่ 1 จำนวน 50 รอบ	39
4.4	ผลการทดสอบระดับการทดสอบระดับที่ 2 จำนวน 100 รอบ	42
4.5	ผลการทดสอบระดับการทดสอบระดับที่ 1 จำนวน 50 รอบ	45
4.6	ผลการทดสอบระดับการทดสอบระดับที่ 1 จำนวน 50 รอบ	48
4.7	ผลการจัดเส้นทางยานพาหนะด้วยวิธีฮิวริสติกตามนโยบายที่ 1	51
4.8	เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมจากผลการจัดเส้นทางตามนโยบายที่ 1 กับข้อมูลใหม่ของโรงงานกรณีศึกษา	52
4.9	ระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุดและต่ำสุดของลูกค้า	51
4.10	ผลการทดสอบตามระดับน้ำหนักระดับการทดสอบที่ 1จำนวน 50 รอบ	54
4.11	ผลการทดสอบตามระดับน้ำหนักระดับการทดสอบที่ 1จำนวน 50 รอบ	55
4.12	ผลการทดสอบตามระดับน้ำหนักระดับการทดสอบที่ 1จำนวน 50 รอบ	56
4.13	ผลการทดสอบตามระดับน้ำหนักระดับการทดสอบที่ 1จำนวน 50 รอบ	57
4.14	ผลการจัดเส้นทางยานพาหนะด้วยวิธีฮิวริสติกตามนโยบายที่ 2	58
	เมตริกระยะทางโรงงานกรณีศึกษา	92

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	การจัดเส้นทางของพนักงานขาย	12
2.2	การจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งแบบ SDVRP	14
3.1	ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	24
3.2	ลำดับขั้นตอนการพัฒนาวิธีการหาคำตอบ	30
3.3	การสร้างเส้นทางเริ่มต้นด้วยวิธี GRASP	32
3.4	ตัวดำเนินการ One move operator	34
3.5	ตัวดำเนินการ Exchanges customer	34

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันธุรกิจมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว กิจกรรมโลจิสติกส์ซึ่งเป็นกิจกรรมอย่างหนึ่งที่สำคัญในการทำธุรกิจจึงจำเป็นจะต้องได้รับการพัฒนาตามไปด้วยเพื่อเพิ่มอำนาจการแข่งขันในเชิงธุรกิจ เนื่องจากการจัดการ โลจิสติกส์ ที่มีประสิทธิภาพสามารถลดต้นทุนของการทำธุรกิจ

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem:VRP) ถือว่าเป็นปัญหาส่วนหนึ่งของการจัดการด้านโลจิสติกส์ (Logistics) คือ ปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดในการเคลื่อนย้ายวัตถุ ณกร อินทร์พยุง (2548) โดยการหาวิธีการวางแผนจัดลำดับและเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าหรือผู้บริโภคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจในบริการ ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem:VRP) ถูกพัฒนามาจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) โดยมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์คือ พนักงานขายต้องการหาเส้นทางวงปิด (Closed tour) คือให้มีระยะทางในการเดินทางโดยรวมต่ำสุด โดยพนักงานขายเดินทางไปยังเมืองต่างๆ ซึ่งเริ่มต้นจากเมืองเมืองหนึ่ง เดินทางไปเมืองใดก่อนก็ได้ต่อไปเรื่อยๆ จนครบทุกเมืองแล้วกลับไปยังเมืองเริ่มต้น โดยเมืองที่เดินทางผ่านแล้วจะไม่เดินทางผ่านซ้ำอีก ส่วนปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) จะมีข้อจำกัดด้านความจุในการบรรทุก (Vehicle capacity) เป้าหมายสำคัญของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะคือ การพยายามออกแบบกลุ่มของยานพาหนะทุกคัน ให้มีการเดินทางโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้า (Depot) ยานพาหนะวิ่งไปตามเส้นทางที่จะส่งสินค้า โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ ด้วย เช่น เวลา/ จำนวนยานพาหนะ/ ระยะทาง เป็นต้น

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ถูกนำเสนอโดย Dantzig , Fulkerson and Johnson (1954) เพื่อแก้ปัญหาการออกแบบการจัดเส้นทางการขนส่งโดยคำนึงต้นทุนโดยรวมของการใช้ยานพาหนะขนส่งทุกคันที่ต่ำสุด Toth and Vigo (2002) รายงานถึงการใช้วิธีทางคอมพิวเตอร์ในกระบวนการหาคำตอบเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง สามารถประหยัดได้

5%-20% Golden et al. (2002) ; Barker (2002) ได้บรรยายถึงกรณีศึกษาการประยุกต์อัลกอลิทึมแก้ปัญหา VRP สามารถลดต้นทุนเป็นอย่างมาก Clarke and Wright (1964) พิจารณาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีความต้องการของลูกค้าหลายแห่ง ยานพาหนะมีความจุหลายขนาด ส่งสินค้าออกจากคลังสินค้าแห่งเดียว ซึ่งได้พัฒนาขั้นตอนให้สามารถเลือกเส้นทางของยานพาหนะที่เหมาะสมที่สุด ผลที่ได้จากการแก้ปัญหานี้คือ ทำให้ทราบจำนวนยานพาหนะที่จะใช้ขนส่ง และปริมาณสินค้าที่ขนส่งของยานพาหนะแต่ละคัน Thangiah (1995) ได้บรรยายวิธีที่กำหนดยานพาหนะให้กับลูกค้าในแต่ละเส้นทางโดยการแบ่งส่วนลูกค้า ซึ่งใช้วิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm; GA) Golden and Stewart (1985) กำหนดลูกค้าในแต่ละเส้นทางด้วยวิธีการแทรกที่ใกล้ที่สุด ขั้นตอนต่อไป Osman (1993) ได้ปรับปรุงเส้นทางโดยใช้ λ -exchanges โดยนำเสนอสองกระบวนการวิ่งวนซ้ำเพื่อปรับปรุงคำตอบ เริ่มจากการแบ่งส่วนลูกค้าและค้นหาโดยอาศัยพิกัดหรือวิธีการสุ่ม

จากที่ผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาของการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง ของโรงงานน้ำแข็ง น้ำดื่มลานทอง ซึ่งตั้งอยู่เลขที่ 229 หมู่ 6 ตำบลคอนสาย อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี โดยขนส่งจากโรงงานไปยังลูกค้าที่มีทั้งหมด 30 ราย พบว่า ทางโรงงานมีรถกระบะบรรทุกสำหรับขนส่งน้ำดื่มจำนวน 1 คันและรถกระบะบรรทุกที่มีตู้แช่อีก 1 คัน

ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ผู้จัดการไม่ได้กำหนดด้านเวลาเดินรถที่ชัดเจน รถแต่ละคันจะออกเดินทางออกจากคลังสินค้าไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย และกลับมายังคลังสินค้าอีกครั้งเมื่อส่งสินค้าหมดหรือส่งสินค้าครบตามจำนวนลูกค้าในเส้นทาง ปัญหาที่พบคือรถบางคันบางวันมีการวิ่งกลับมาเอาสินค้าในโรงงานอีกเป็นรอบที่ 2 และทางโรงงานยังไม่มีแผนการจัดเส้นทางที่ชัดเจน เส้นทางเดินรถในปัจจุบันยังไม่เหมาะสม ทำให้ระยะทางในการเดินรถมากขึ้นเพื่อขนส่งน้ำแข็งน้ำดื่มไปยังลูกค้าแต่ละรายส่งผลถึงต้นทุนการขนส่งสูงขึ้น

จากการศึกษาปัญหา ผู้วิจัยสนใจที่จะศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีฮิวริสติกสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะโดยมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว ลูกค้าหลายราย ใช้ขนาดการบรรทุกจำกัด เพื่อลดต้นทุนการขนส่งให้มีระยะทางโดยรวมต่ำสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับขนส่งน้ำแข็งน้ำดื่มของโรงงานน้ำแข็งน้ำดื่ม ลานทองโดยมีระยะทางรวมต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน

1.2.2 ประยุกต์ใช้ฮิวริสติกโดยวิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedures; GRASP เพื่อจัดเส้นทางยานพาหนะ

1.2.3 วัดประสิทธิภาพของฮิวริสติกโดยเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยวิธีฮิวริสติกกับการจัดเส้นทางแบบเดิมของโรงงานกรณีศึกษา

1.2.4 ได้เส้นทางยานพาหนะใหม่ที่ระยะทางขนส่งสินค้าลดลงจากเดิม

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิธีการหาคำตอบที่ดีเพียงพอสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ผู้วิจัยนำเสนอวิธีฮิวริสติก GRASP โดยแบ่งเป็น 2 ระยะ คือ ระยะแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้นของเส้นทางยานพาหนะแต่ละเส้นที่มีคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละการวนรอบโดยไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขที่กำหนด ผู้วิจัยเลือกวิธีการประยุกต์ใช้ Nearest เพื่อสร้างเส้นทางเริ่มต้น จากนั้นใช้ วิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า 1 ราย (One move operator) วิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer) และวิธี2-opt เพื่อปรับปรุงเส้นทางและปรับปรุงคุณภาพคำตอบให้ดีขึ้นจากคำตอบเริ่มต้น

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4.1 การวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงการลดระยะทาง ภายใต้เงื่อนไขความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน และไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา สำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะของโรงงานน้ำดื่มลานทอง ในการขนส่งน้ำดื่มจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย

1.4.2 ศูนย์กระจายสินค้ามีจำนวน 1 แห่ง และมีลูกค้าทั้งหมด 30 ราย

1.4.3 ยานพาหนะสำหรับการขนส่งมี 2 คัน (คันที่มีตู้แช่ 1คัน และคันที่ไม่มีตู้แช่ 1 คัน)

1.4.4 ข้อกำหนดของความจุของรถที่มีตู้แช่ (จำนวน 1 คัน)

1.4.4.1 ตู้แช่ความจุสามารถบรรจุ น้ำแข็งหลอด และน้ำแข็งบด รวมกันได้ 120 กระสอบ

1.4.4.2 หลังคารถปริมาตร 1.20×2.20 ×0.30 เมตร (ปกติบรรทุกน้ำขวด 0.6 ลิตร 40โหล)

1.4.3 ข้อกำหนดของความจุรถที่ไม่มีตู้แช่ (แบ่งออกเป็น 3 ชั้น) (จำนวน 1 คัน)

1.4.3.1 ชั้นที่ 1 ปริมาตร 1.50×2.00×0.45 เมตร (ปกติบรรทุก น้ำถัง 37 ถัง)

1.4.3.2 ชั้นที่ 2 ปริมาตร 1.50×2.30 ×0.45 เมตร (ปกติบรรทุก น้ำถัง 40 ถัง)

1.4.3.3 ชั้นที่ 3 ปริมาตร 1.50×2.80 × 0.45 เมตร (ปกติบรรทุก น้ำถัง 23 ถัง และน้ำขวด 0.6 ลิตร จำนวน 50 โหล)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงรูปแบบของปัญหาและทำความเข้าใจหลักทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

1.5.2 ได้เส้นทางขนส่งน้ำดื่มของโรงงานน้ำแข็ง น้ำดื่ม ลานทองที่เหมาะสม เพื่อให้มีระยะทางรวมลดลงจากเดิม ส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งลดลง

1.5.3 สามารถประยุกต์ใช้ฮิวริสติกโดยวิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedures; GRASP เพื่อจัดเส้นทางยานพาหนะ

1.5.4 เป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนาระบบการจัดเส้นทางยานพาหนะ เพื่อลดต้นทุนการขนส่งจากการขนส่งสินค้าต่างๆ ไปสู่ผู้บริโภค

1.6 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

ตารางที่ 1.1 คำนิยามศัพท์เฉพาะ

คำศัพท์	ความหมาย
1. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures: GRASP	กระบวนการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการสุ่มเชิงละโมภ
2. Vehicle Routing Problem; VRP	ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ
3. Traveling Salesman Problem: TSP	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินพนักงานขาย
4. The Single-Depot Vehicle Routing Problem ; SDVRP	ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง
5. Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands: VRPSD	ปัญหาการหาเส้นทางยานพาหนะแบบความต้องการไม่แน่นอน
6. Exact Method	วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด
7. Stochastic Demands	ความต้องการสินค้าที่ไม่แน่นอน
8. Heuristic Search Approaches	วิธีการหาคำตอบที่ดีเพียงพอ
9. Penalty Cost	ค่าโทษที่เกิดขึ้นจากกรณีการเกิด Shortage และ Overload
10. Shortage Cost	ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีการเกิดสินค้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า
11. Overload Cost	ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า
12. Restricted Candidate List: RCL	บัญชีรายชื่อคู่แข่งลูกค้า
13. Node	โหนดของลูกค้าและศูนย์กระจายสินค้า

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

การศึกษาเกี่ยวกับการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle routing problem) มีการศึกษาและวิจัยมาอย่างต่อเนื่องเช่นงานวิจัยของไทย ชัยยา นุรักษ์เข (2541) นำเสนอการเส้นทางขนส่งขนมในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล กรณีศึกษา ห้าง โอ ซี ซัพพลาย ซึ่งแก้ปัญหาโดยฮิวริสติกวิธีการแทรกที่ใกล้ที่สุด (Nearest insertion) ร่วมกับ 2-opt พบว่าสามารถประหยัดการใช้ทรัพยากรได้ระยะทางรวมต่ำสุด และใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ องค์กรสามารถลดจำนวนรถยนต์ขนส่งจากเดิม 4 คัน เหลือ 3 คัน

จตุรวิทย์ กล่อมใจขาว (2545) นำเสนอวิธีฮิวริสติก 3 วิธีคือ savings algorithm, two-phase algorithm และ sweep algorithm ในการพัฒนาระบบช่วยการตัดสินใจของปัญหาการหาเส้นทางการเดินรถ กรณีศึกษา บริษัทขนส่งพัสดุ ทั้ง 3 วิธีนั้นจะได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ผู้ใช้สามารถนำผลที่ได้จากการคำนวณของแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบเพื่อการตัดสินใจเลือกเส้นทางที่

เหมาะสมกับความต้องการสินค้าในแต่ละวัน

ชยธัช เผือกสามัญและปวีณา เชาวลิตวงศ์ (2546) นำเสนอฮิวริสติก 2 แบบคือ Farthest insertion และ Nearest insertion สำหรับปัญหาเรื่องการเดินทางของพนักงานขายที่มีทั้งการรับและส่งมอบสินค้าที่มีสินค้าชนิดเดียว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการแบบ Nearest insertion heuristic ให้ผลคำตอบค่าใช้จ่ายที่ดีกว่า Farthest insertion heuristic ค่อนข้างมาก

เชษฎา ชำนาญหล่อ และศุภชัย ปทุมนากุล (2546) ได้พัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) สำหรับแก้ปัญหาการจัดสรรรถบรรทุก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าใช้จ่ายของการขนส่งที่ต่ำที่สุดของรถบรรทุกทุกคัน ในการขนส่งอ้อยจากพื้นที่เก็บเกี่ยวสู่โรงงาน ซึ่งปริมาณของการเก็บเกี่ยวไม่ได้ถูกกำหนดไว้ในแต่ละเดือน รูปแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นใช้ในการหาผลเฉลี่ยที่เหมาะสมที่สุดสำหรับรถบรรทุกทั้งหมด

กฤษฎา จำรัส และคณะ (2546) ได้ศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งและกระจายสินค้าไปสู่ลูกค้า โดยวิธีเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายและจัดลำดับตามผลการประหยัด พบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายของเวลาที่ลดลงจากการปฏิบัติงานของพนักงาน และลดค่าใช้จ่ายจากน้ำมันเชื้อเพลิงที่สืบเนื่องมาจากระยะทางการขนส่งลดลง

Sindhuchao S. (2003) ได้นำเสนอวิธีการจำลองแบบการอบอ่อนคำตอบ (Simulated annealing; SA) เพื่อลดต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายย่อยมายังคลังสินค้าและการเก็บรักษาสินค้าในคลังสินค้า โดยพิจารณาการจัดเส้นทางจากคลังสินค้าเพื่อไปเก็บสินค้าจากลูกค้าแต่ละราย ซึ่งผลิตภัณฑ์ของลูกค้าแต่ละรายไม่เหมือนกัน ยานพาหนะมีความจุจำกัด วิธีหาคำตอบโดยอาศัยหลักการแบบเพื่อนบ้านใกล้เคียง (Neighborhood) ร่วมกับวิธีการจำลองแบบการอบอ่อนคำตอบ (Simulated annealing; SA) พบว่าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีสามารถลดต้นทุนรวมได้

Sindhuchao S. (2003) ได้ทำการศึกษาระบบการเก็บรวบรวมสินค้าเข้าสู่คลังสินค้าเครือข่ายประกอบด้วย มีโกดังเก็บสินค้า 1 แห่ง ผู้ผลิตสินค้าตั้งกระจัดกระจาย ห่างกันและผลิตสินค้าที่ไม่เหมือนกัน สินค้าจะถูกรวบรวมจากผู้ผลิตมาเก็บไว้ที่โกดังเก็บสินค้าส่วนกลาง ใช้นโยบายกับสินค้าแบบปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) คลังสินค้าส่วนกลางจะทำการเติมเต็มสินค้า โดยการส่งกลุ่มรถบรรทุกออกไปเก็บรวบรวมสินค้าตามกลุ่มผู้ผลิต โดยที่รถบรรทุกแต่ละคันจะมีขีดจำกัดในการบรรทุกที่เท่ากัน และไม่สามารถเดินทางที่จะออกไปเก็บสินค้าได้เกินจำนวนครั้งสูงสุดที่กำหนดไว้ ได้มีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหานี้ โดยการผสมผสานการตัดสินใจในด้านพัสดุคงคลัง และด้านการขนส่งเข้าด้วยกัน วัตถุประสงค์คือ วิเคราะห์ต้นทุนเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด และได้พัฒนาวิธีการแก้ปัญหาทั้งแบบหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) และวิธีหาคำตอบที่ดีพอควรทำการหา Lower bound ของต้นทุนรวมเฉลี่ย ส่วนวิธีการหาคำตอบที่ดีพอควร นำเสนอวิธี Very large–scale Neighborhood (VLSN) Search มาใช้แก้ปัญหา วิธีการที่พัฒนาขึ้นมานั้นสามารถหาคำตอบได้เป็นที่น่าพอใจทั้ง 2 กรณีคือ แบบปัญหาเป็น Deterministic และแบบ Stochastic นอกจากนี้ผู้วิจัยและคณะยังได้นำเสนอวิธี ฮิวริสติก GRASP ในการแก้ปัญหาที่มีลักษณะเดียวกัน พบว่าคำตอบที่ได้ต้นทุนโดยรวมอยู่ในระดับต่ำ

วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์ และคณะ (2547) นำเสนอรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งและยานยนต์เพื่อหาเส้นทางและจำนวนยานยนต์ที่เหมาะสมในการขนส่งและกระจายสินค้าในเขตพื้นที่ให้บริการ โดยมีเป้าหมายหลักเพื่อลดต้นทุนทั้งระบบให้ต่ำที่สุด แต่ยังคงตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้ โดยการพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ นอกจากนี้ยังนำเสนอโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหาเส้นทางและจำนวนยานยนต์ที่เหมาะสมสำหรับผู้ประกอบการน้ำดื่มที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

พงศ์พัฒน์ โตตระกูล และคณะ (2547) พิจารณาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเวชภัณฑ์ในระบบการกระจายเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาล โดยคำนึงถึงผลิตภัณฑ์หลายชนิดที่มีความต้องการเวชภัณฑ์แต่ละชนิดที่เวลาต่างกัน กระบวนการของฮิวริสติกแบ่งเป็น 2 ระยะ โดยระยะแรกสร้าง

เส้นทางขนส่งขั้นต้นด้วยวิธี Saving algorithm และในระยะที่สอง ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี 2-opt และ anti-intersection algorithm พบว่าสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

อรรถพล สมุทคุปติ์ และคมกฤต เล็กสกุล (2547) ได้ประยุกต์ใช้หลักการเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem; VRP) เพื่อช่วยจัดรูปแบบของระบบการขนส่งกระจายสินค้า โดยได้มีการสร้างสมการเป้าหมายเพื่อคำนวณหาระยะทางขนส่งที่สั้นที่สุด และได้มีการกำหนดเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ผลการจัดเส้นทางเมื่อเทียบกับวิธีจัดเส้นทางแบบดั้งเดิม พบว่าองค์กรกรณีศึกษาสามารถลดระยะทางในการขนส่งได้ 567 กิโลเมตร/สัปดาห์ เปลี่ยนรูปแบบการขนส่งจากรถบรรทุก 6 ล้อ เป็นรถกระบะในจำนวน 2 เที่ยว/สัปดาห์

สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา (2548) ใช้วิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedure; GRASP ในการแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายเพื่อความอยู่รอด โดยแบ่งวิธีการออกเป็น 2 ส่วนคือ การสร้างคำตอบเบื้องต้น และการหาคำตอบที่ดีโดยพัฒนาจากคำตอบเบื้องต้น ผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าวิธีนี้เป็นวิธีที่ให้คำตอบโดยเฉลี่ยที่ดีและรวดเร็ว

สุพรรณ สุคสนธ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์ (2549) ได้ประยุกต์หาคำตอบสำหรับปัญหาการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า จำนวนในการจัดตั้งและการจัดสรรลูกค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้า โดยใช้วิธีวิธีอัลกอลิทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm; GA) วิธีการดังกล่าวสามารถหาคำตอบได้อย่างเหมาะสม

ธีระศักดิ์ ชุมลออ และคณะ (2549) ได้นำเสนอวิธี ฮิวริสติกเพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งสำหรับยานพาหนะที่มีความจุจำกัด ในปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งโดยมีกรอบเวลาจำกัดของอลูมิเนียมอัลลอยด์ในอุตสาหกรรมรถยนต์ การแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ใช้วิธีฮิวริสติก ซึ่งอิงกรอบเวลา ความจุของรถและเวลารอคอยเป็นหลัก ผลการศึกษาพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้รถได้ 25% หรือลดค่าเช่ารถเพิ่มได้เกือบ 1.6 ล้านบาทต่อปี

สิทธิศักดิ์ เตชะเมธีกุลและพรเทพ อนุสสรนิติสาร (2549) เสนอแนวทางการนำระบบคอมพิวเตอร์แบบคู่ขนาน (Parallel computer) มาประยุกต์ใช้ในการค้นหาคำตอบแบบทาบู เพื่อเพิ่มความเร็วในการค้นหาให้สูงขึ้นกับปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow shop scheduling) พบว่าสามารถค้นหาคำตอบที่ดีได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว

Sodsoon S. and Sindhuchao S. (2007) นำเสนอวิธีการ Max–Min ant system : MMAS อัลกอลิทึมแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ การจัดสรรลูกค้าพร้อมกับการสร้างเส้นทางการขนส่งและการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ ด้วยการใช้ 2-opt อัลกอลิทึม สามารถหาคำตอบได้อย่างเหมาะสม เนื่องมาจากระยะทางการขนส่งลดลง

กัญชลา สุคตาชาติ (2550) นำเสนอปัญหาการจัดลำดับเส้นทางการขนส่งผลิตภัณฑ์จากโรงงานไปยังลูกค้า วัตถุประสงค์เพื่อให้ได้เวลาเฉลี่ยของการขนส่งสินค้าจากโรงงานไปยังลูกค้าแต่ละรายน้อยที่สุด และจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งแต่ละรอบน้อยที่สุด กรณีเวลาพร้อมในการสั่งสินค้าของลูกค้าไม่เท่ากัน เป็นการจัดเส้นทางแบบพลวัต วิธีการหาคำตอบของปัญหาก็คือ การประยุกต์วิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง (Dynamic programming) ผลจากการทดลองสรุปได้ว่า สามารถหาเส้นทางการขนส่งและประสิทธิภาพการใช้รถบรรทุกเพิ่มมากขึ้น

บุริม นิลแป้นและพงษ์ชัย จิตตะมัย (2550) ทำการศึกษาหาแนวทางในการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะในการวางแผนการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาล ซึ่งใช้วิธี Saving algorithm ในการค้นหาคำตอบ พบว่าประสิทธิภาพในการขนส่งเพิ่มขึ้น 15%

นิรันด์ นามสมมุติ (2551) นำเสนอการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ โดยใช้ Grasp (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures) ในการแก้ปัญหาการส่งน้ำดื่ม ไปยังลูกค้าที่มีความต้องการไม่แน่นอน ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกันกับงานวิจัยนี้ แต่งานวิจัยนี้มีสินค้าหลายชนิด ซึ่งจะแตกต่างจากงานวิจัยของ นิรันด์ นามสมมุติ ที่ใช้แก้ปัญหาสินค้าเพียงชนิดเดียว

ในงานวิจัยของต่างประเทศ Clarke and Wright (1964) พิจารณาการใช้ฮิวริสติกแบบประหยัด (Saving) เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่มีความต้องการของลูกค้าหลายแห่ง ยานพาหนะความจุหลายขนาด ส่งสินค้าออกจากคลังสินค้าแห่งเดียว ซึ่งได้พัฒนาขั้นตอนให้สามารถเลือกเส้นทางของยานพาหนะที่เหมาะสมที่สุด ผลที่ได้จากการแก้ปัญหานี้คือ ทำให้ทราบจำนวนยานพาหนะที่จะใช้ขนส่ง และปริมาณสินค้าที่ขนส่งของยานพาหนะแต่ละคัน

Gillett and Miller (1974) ได้เสนอวิธี sweep approach ซึ่งเป็นเทคนิคฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมีโครงสร้างในการหาคำตอบ 2 ลำดับ คือ ลำดับแรกจะจัดโนดให้กับยานพาหนะ จากนั้นจะให้ลำดับการส่งของโหนดต่างๆ แก่ยานพาหนะ

Thangiah et al. (1990) ชี้ให้เห็นปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบมีกรอบเวลา โดยมีข้อจำกัดด้านความจุในการบรรทุกและระยะเวลาการวิ่งในแต่ละเส้นทาง ซึ่งวิ่งจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าที่กระจายอยู่ในพื้นที่ที่กำหนด ซึ่งทราบความต้องการของลูกค้าแต่ละรายและทราบเวลาที่วิ่งได้ในหนึ่งเส้นทาง การแก้ปัญหาผู้วิจัยได้นำเสนอฮิวริสติกวิธีวิธีอัลกอลิทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm; GA) พบว่าสามารถลดระยะทางการวิ่งได้ 3.9% และลดระยะเวลาลงได้ 4.4%

Laporte et al. (1992) ได้เสนองานวิจัยแบบเชิงสมมาตรในปัญหา VRP ที่มีระยะเวลาให้บริการและระยะเวลาการขนส่งเป็นแบบสโทแคสติค โดยคณะผู้วิจัยชุดนี้เสนอวิธีการแก้ปัญหา VRPSSTT ใน 3 รูปแบบ คือ โปรแกรมเงื่อนไขข้อจำกัดแบบมีโอกาส รูปแบบอาศัย 3 ดัชนี (3-

Index Recourse Model) และรูปแบบอาศัย 2 ดัชนี (2-Index Recourse Model) โดยใช้อัลกอริทึมการแตกกิ่งและตัดส่วนแบบทั่วไปในการแก้ปัญหาทั้ง 3 รูปแบบ

Kontoravdis and Bard (1995) นำเสนอวิธี GRASP เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบมีกรอบเวลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนยานพาหนะและระยะทางรวมต่ำสุด ลูกค้าแต่ละรายมีเงื่อนไขในการรับและส่งมอบสินค้า ยานพาหนะมีความจุจำกัด ผลที่ได้สามารถให้คำตอบอยู่ในระดับที่ดี

Potvin and Rousseau (1995) เรียกว่า "การสับเปลี่ยนแบบออร์-ออฟท์ (Or-Opt Exchange) ซึ่งเป็นเทคนิคการสับเปลี่ยนปมขนาด 1ม 2 หรือ 3 ปม โดยการแทรกหรือตัดทิ้งไปจากเส้นทางเดิม หรือในเส้นทางอื่นๆ ที่เลือกพิจารณา วิธีการ 2 Opt เป็นการสับเปลี่ยนเพียง 2 ปลายทางที่เกิดจาก 2 เส้นทางที่แตกต่างกัน

Thangiah et al. (1996)ได้นำเสนอวิธีการฮิวริสติคแบบ 2-เฟส สำหรับแก้ปัญหา VRP แบบมีการขนส่งสินค้ากลับมายังคลังเดิม และมีกรอบเวลา (VRP with Backhauls and Time Windows) โดยเฟสแรก เริ่มกำหนดทางเลือกแก้ปัญหาเริ่มต้น โดยใช้หลักการฮิวริสติคแบบแทรกของ Solomaon และเฟสที่ 2 จึงทำการปรับปรุงทางเลือกโดยการสับเปลี่ยนคู่อันดับ λ และการสับเปลี่ยนแบบ 2-Opt เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

Taillard et al. (1997) ได้นำเสนอวิธีการสืบค้นแบบทาบู สำหรับปัญหา VRP แบบมีกรอบเวลา โดยทำการดัดแปลงปัญหา VRP แบบดั้งเดิมให้มีกรอบเวลา โดยเพิ่มค่าปรับการส่งสินค้าไม่ทันกำหนด และใช้วิธีการสับเปลี่ยนลำดับลูกค้าระหว่างเส้นทาง 2 เส้น และสุดท้ายใช้ขั้นตอนการคัดเลือก (Selection Procedure) ในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด

Bullnheimer et al. (1997) นำเสนออัลกอลิทึมระบบมด (Ant system) เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว ยานพาหนะเหมือนกัน ผลลัพธ์ที่ได้จาก 14 ปัญหา โดยเปรียบเทียบกับวิธีเมต้าฮิวริสติก 5 ชนิดได้แก่ RR-PTS, GHL-TS, Osm-TS, Osm-SA

Laporte and Louveaux (1997) นำเสนอวิธีแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบไม่แน่นอนด้วยวิธี Integer L-shaped method เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยศึกษาจากปัญหา 4 ชนิด ได้แก่ ปัญหาที่ 1 เวลาไม่แน่นอน, จำนวนยานพาหนะ m คัน ปัญหาที่ 2จำนวนลูกค้าไม่แน่นอน ยานพาหนะ 1 คัน ปัญหาที่ 3 จำนวนลูกค้าและความต้องการสินค้าไม่แน่นอน, ยานพาหนะ m คัน และปัญหาที่ 4 ความต้องการสินค้าไม่แน่นอน, ยานพาหนะ 1 คัน

Tan et al. (1999) ได้นำเสนอวิธีฮิวริสติกในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลา เพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงหรือดีที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์ในการลดต้นทุนจากการขนส่งให้ต่ำสุด โดยไม่ละเมิดเงื่อนไขเรื่องความจุและระยะเวลาการเดินทางของยานพาหนะ ซึ่งเป็น

ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมเชิงการจัดหมวดหมู่ (Combinatorial optimization problem) และอยู่ในประเภท NP-hard ซึ่งแก้ปัญหาโดยใช้ฮิวริสติกวิธีปัญญาประดิษฐ์ได้แก่ วิธีการจำลองแบบการอบอ่อน (Simulated annealing; SA), วิธีตาบูเสริจช์ (Tabu search; TS) และวิธีอัลกอลิทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm; GA)

Braysy (2001) นำเสนอการพัฒนาอัลกอลิทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm; GA) สำหรับจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา โดยยานพาหนะจะต้องเริ่มและกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า ยานพาหนะแต่ละคันสามารถเดินทางผ่านลูกค้าได้เพียง 1 ครั้ง ความต้องการทั้งหมดไม่เกินความจุของยานพาหนะ จากนั้นเปรียบเทียบผลกับวิธีฮิวริสติกอื่นๆ ผลที่ได้อยู่ในระดับที่น่าพอใจอย่างมาก

Renaud and Boctor (2002) ได้เสนอวิธีฮิวริสติกแบบใหม่ที่เรียกว่า Sweep-based algorithm สำหรับแก้ปัญหาการเลือกขนาดและการจัดเส้นทางยานพาหนะ หลักการที่ใช้ คือ จะสร้างเส้นทางที่ยานพาหนะจะไปให้บริการ จากนั้นทำการเลือกยานพาหนะและจัดเส้นทางให้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด ซึ่งจากการคำนวณเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ พบว่าวิธีนี้ให้คำตอบที่น่าพึงพอใจในเวลาอันสั้น

Bianchi et al.(2004) นำเสนอวิธีเมต้าฮิวริสติก สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบความต้องการไม่แน่นอน โดยจัดลำดับลูกค้าในเส้นทาง เพื่อลดระยะทางการขนส่งต่ำสุด วิธี FR like สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุด

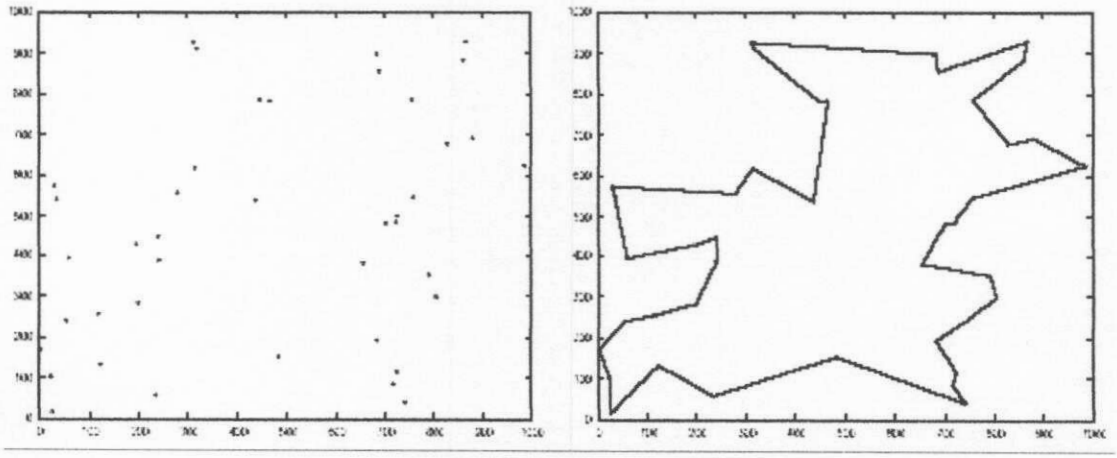
Dondo et al. (2006)ได้มีการปรับปรุงวิธีการแก้ปัญหา VRPTW โดยเริ่มต้นจากทางเลือกของการแก้ปัญหาเริ่มต้น (Initial Solution) และใช้อนุกรมเชิงคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า "MILP" ในการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม โดยทำให้มีการสับเปลี่ยนปมบนทัวร์และจัดลำดับปมบนเส้นทางเดินรถ การปรับปรุงนี้อยู่บนพื้นฐานของโดเมนเวลาต่อเนื่อง (Continuous Time-Domain) และยังคงจัดเป็นลักษณะการมอบหมายงานและจัดลำดับผ่านเซตของตัวแปรไบนารี่ต่างๆ

Karahan et al. (2006) ศึกษาเปรียบเทียบปัญหาการขนส่งประกอบด้วยปัญหา 2 ประเภท คือ ประเภทแรกเป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานขาย โดยมีเงื่อนไขเรื่องเวลาไม่แน่นอน (Stochastic timers) และจำนวนลูกค้าไม่แน่นอน (Stochastic customers) ประเภทที่สองเป็นปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ โดยมีเงื่อนไขจำนวนลูกค้าไม่แน่นอน (Stochastic customers) และความต้องการของลูกค้าไม่แน่นอน (Stochastic demand) โดยพิจารณาถึงระดับของปัญหาจากงานวิจัยท่านอื่น

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่ง

2.2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling Salesmen Problem; TSP)

การจัดเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Traveling Salesmen Problem; TSP) เป็นปัญหาการจัดเส้นทางเดินเพียงหนึ่งเส้นทางในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าต่างๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว ไม่มีข้อจำกัดของเวลาและความจุของรถ โดยผลลัพธ์ของเส้นทางที่จัดได้จะเริ่มและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้าและผ่านลูกค้าแต่ละรายเพียงครั้งเดียว ถ้าต้นทุนของการเดินทางระหว่างเมือง 2 เมืองไม่ขึ้นกับทิศทางในการเดินทางจะเรียกว่า TSP แบบสมมาตร (Symmetric) และถ้าไม่เท่ากันจะเรียกว่า TSP แบบไม่สมมาตร (Asymmetric) ซึ่งปัญหา TSP เป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่เป็นแบบเอ็นพีฮาร์ด(NP-hard) ที่มีความซับซ้อน



ภาพที่ 2.1 การจัดเส้นทางของพนักงานขาย

ระยะทางระหว่างจุดแต่ละจุดนั้น ซึ่งสามารถอธิบายได้จากกราฟ $G=(V,A)$ เป็นกราฟที่มีหัวลูกศรชี้ทิศทางเรียกว่า ไดเร็กเท็ดกราฟ (Directed graph) เมื่อ $V=\{1,....,n\}$ คือเซตของโหนดหรือเมือง โดยที่ A คือ เซตเส้นเชื่อมที่เรียกว่า อาร์ค (Arc) แต่ละอาร์คจะประกอบไปด้วย c_{ij} เป็นสัญลักษณ์แทนระยะทางที่พนักงานขายเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j ซึ่ง $(i,j)\in A$ ดังนั้นในปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานขายแบบสมมาตรค่า $c_{ij}=c_{ji}$ ทุก ๆ $(i,j)\in A$ และนอกเหนือจากเงื่อนไขที่กล่าวมาแล้วยังประกอบไปด้วยตัวแปรอีกประเภทหนึ่งคือ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable) คือ x_{ij} ถ้า $x_{ij}=1$ หมายถึง ให้อาร์คของ (i,j) ที่เชื่อมกัน ในกรณีอื่นๆ จะเท่ากับศูนย์ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถจัดตั้งได้ดังนี้

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function)

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

สมการขอบข่าย (Subject to)

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

$$\sum_{j=1}^{N} X_{ij} = 1 \qquad \forall i \in \{2,...,N\} \tag{2.3}$$

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

$$X_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i,j \in \{2,...,N\} \tag{2.5}$$

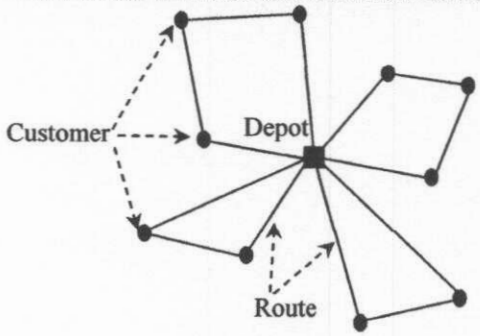
ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ (2.1) คือต้องการหาเส้นทางวงปิดที่สั้นที่สุดที่ได้จากการรวมระยะทางการเดินทางของพนักงานขาย สมการขอบข่ายที่ (2.2) และสมการขอบข่ายที่ (2.3) คือแต่ละโหนดจะต้องประกอบด้วยเส้นทางเข้าหนึ่งเส้นและเส้นทางออกอีกหนึ่งเส้น สมการขอบข่ายที่ (2.4) Eliminates sub–tour และสมการขอบข่ายที่ (2.5) คือตัวแปรตัดสินใจ

มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาถึงวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย เช่น Gen and Cheng (1997) ปัญหาการจัดเส้นทางแบบ TSP เป็นปัญหาของพนักงานขาย (Salesman) ในการจัดเส้นทางที่สั้นที่สุด เพื่อเดินทางไปยังลูกค้าที่เมืองต่างๆ จำนวน n เมือง Lawler et al. (1985) นำเสนอวิธี Tour-de-force ในการแก้ปัญหา TSP ในการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ Danusaputro et al. (1990) อธิบายการแก้ปัญหาโดยวิธีการแทรกเครื่องจักรอัตโนมัติระหว่างหัวเจาะกับรูในการเจาะรูแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้ได้เวลารวมต่ำสุด Balas and Christofides (1981) ได้นำเสนอวิธีที่ใช้สำหรับ TSP ที่ไม่สมมาตรโดยใช้วิธี Restricted Langragean relaxation ที่ขึ้นกับปัญหาการมอบหมายงาน (Assignment problem) มีตัวคูณเลอ กรีนจ์เป็นเงื่อนไขที่จะยืนยันว่าจะได้มาซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบเริ่มต้น ซึ่งทำให้สามารถลดรอบ การคำนวณการมอบหมายงานได้ และใช้วิธี Polynomially bounded ในการสร้างความไม่เท่ากันและนำเข้ามาในฟังก์ชันลากรองซ์ที่มีตัวคูณเป็นบวกมีการเช็คตามเงื่อนไข ทำให้ได้ขอบเขตล่าง (lower bound) อย่างสม่ำเสมอ และหาขอบเขตบนจากวิธี Fast tour–building heuristic

2.2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง (The Single-Depot Vehicle Routing Problem:SDVRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem:VRP) ปัญหา VRP นี้ถือเป็นปัญหาส่วนหนึ่งของการจัดการด้านโลจิสติกส์ (Logistics) คือ ปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดในการหาวิธีการวางแผนจัดลำดับและเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าหรือผู้บริโภคที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจในบริการ ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน กมลชนกและคณะ (2544) กล่าวว่าการขนส่งเป็นองค์ประกอบหลักที่สำคัญในกลยุทธ์โลจิสติกส์ผู้ขนส่งต้องเข้าใจถึงบทบาทของการขนส่งต่อระบบโลจิสติกส์ของกิจการ ในขณะเดียวกันก็ต้องเข้าใจความพยายามของผู้ขนส่งในการสนองต่อความต้องการของลูกค้าด้วยเช่นกัน เป้าหมายสำคัญของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะคือ การพยายามออกแบบกลุ่มของยานพาหนะ m คันให้มีการเดินทางโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้าหรือศูนย์กระจายสินค้า ยานพาหนะวิ่งไปตามเส้นทางที่จะส่งสินค้า โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ ด้วย เช่น เวลา, จำนวนยานพาหนะและระยะทาง เป็นต้น

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง (The Single-Depot Vehicle Routing Problem : SDVRP) แตกต่างจากปัญหา TSP กล่าวคือ เรียกชื่อยานพาหนะขนส่ง (Vehicle) แทนพนักงานขาย ซึ่งมีจุดเริ่มต้นในการเดินทางที่เหมือนกันคือ จุดศูนย์กระจายสินค้ากลาง (Depot) องค์ประกอบอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหา SDVRP ประกอบไปด้วยศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง เซตลูกค้าจำนวน n ราย และเซตพาหนะขนส่งจำนวน m คัน ระยะทางระหว่างจุดสองจุดมีการคำนวณระยะทางประมาณการแบบ Euclidean distance การบรรทุกสินค้าขนส่งแต่ละครั้งและแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินขีดจำกัด Q ลูกค้าทุกรายเป็นสมาชิกของ $i \in \{1,...n\}$ และมีความต้องการสินค้าในระดับ q_i การออกแบบเพื่อแบ่งกลุ่มของพาหนะขนส่งออกเป็น m กลุ่ม หรือเรียกว่า การแบ่งสายส่งเพื่อออกไปขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 การจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งแบบ SDVRP

สำหรับปัญหา VRP นี้ผู้ที่คิดค้นเริ่มแรกคือ Dantzig and Rammer (1959) มีนักวิจัยจำนวนหนึ่งที่พัฒนาต่อกันมาเรื่อยๆ รูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะถูกนำเสนอจากนักวิจัยหลายท่านเช่น Bodin et al. (1983) Chistofides (1985) และ Filipec et al. (1998) ซึ่งกำหนดตัวแปรตัดสินใจ X_{ij}^{k} ในการแก้ปัญหาโดยมีพารามิเตอร์ในแบบจำลองดังนี้

K = จำนวนยานพาหนะทั้งหมด

N = จำนวนโหนดทั้งหมด

Q = ความจุของยานพาหนะ

D = ข้อจำกัดด้านระยะทางสูงสุดของทางยานพาหนะ

q_i = ความต้องการในการส่งสินค้าโหนด i

C_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างโหนด i และ โหนด j

t_{ij} = เวลาในการเดินทางสำหรับยานพาหนะระหว่างโหนด i ไปยังโหนด j

โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี (Binary) คือ

X_{ij}^{k} = 1 ถ้ายานพาหนะ k ขนส่งสินค้าระหว่างโหนด i ไปยังโหนด j

= 0 ในกรณีอื่นๆ

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 (Constrains)

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

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

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

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

$$\sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0}^{N} t_{ij} X_{ij}^{k} \leq D \qquad \forall k \in \{1,.....,K\} \qquad (2.11)$$

$$\sum_{j=1}^{N} X_{0j}^{k} \leq 1 \qquad \forall k \in \{1,.....,K\} \qquad (2.12)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{i0}^{k} \leq 1 \qquad \forall k \in \{1,.....,K\} \qquad (2.13)$$

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

สมการขอบข่ายที่(2.6) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำที่สุดสมการขอบข่ายที่ (2.7) และ (2.8) คือประกันว่าลูกค้าแต่ละรายรับบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียว สมการขอบข่ายที่ (2.9) ประกันว่าเมื่อยานพาหนะเข้ามายังจุดส่งสินค้าแล้วยานพาหนะจะออกจากจุดส่งสินค้านั้น สมการขอบข่ายที่ (2.10) ยานพาหนะขนส่งสินค้าทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัด สมการขอบข่ายที่ (2.11) แสดงข้อจำกัดด้านระยะทางสูงสุดของทางยานพาหนะที่สามารถใช้ในการเดินทางเพื่อขนส่งสินค้า สมการขอบข่ายที่ (2.12) และ (2.13) ประกันว่ายานพาหนะขนส่งแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น สมการขอบข่ายที่ (2.14) แสดงการเชื่อมโยงกันระหว่างลูกค้า i และ j โดยเป็นได้สองอย่างคือได้รับการเชื่อมโยงกับไม่ได้รับการเชื่อมโยง

2.2.3 ประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ณกร อินทร์พยุง (2548) กล่าวว่า ปัญหาพื้นฐานของการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ คือ การกำหนดเส้นทางของยานพาหนะแต่ละคัน เพื่อไปให้บริการลูกค้าที่กำหนดโดยเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด อย่างไรก็ตามปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะของแต่ละบริษัทจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะของบริษัทที่กำหนดให้ยานพาหนะทุกคันจะต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าและกลับเข้าสู่ศูนย์กระจายสินค้าเดิมเท่านั้นเรียกว่า ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่มีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว (Single depot) หรือยานพาหนะทุกคันจะต้องออกจากศูนย์กระจายสินค้าที่หนึ่งแต่อาจกลับเข้าสู่ศูนย์กระจายสินค้าในที่อื่นๆ ได้เรียกว่า ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง (Multiple depots) หรือแม้กระทั่งการออกแบบเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่บริษัทมียานพาหนะให้บริการจำนวน 1 คัน หรือการออกแบบเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่บริษัทมียานพาหนะจำนวนหลายๆ คัน เวลาที่ให้บริการและความสามารถในการบรรทุกสินค้าของ

ยานพาหนะแต่ละคันที่อาจเท่ากันหรือไม่เท่ากัน เป็นต้น ดังนั้นเราอาจจำแนกปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะออกเป็นลักษณะต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะของปัญหาสำหรับการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือก
1. จำนวนยานพาหนะ (Feet)	- จำนวน 1 คัน - จำนวนหลายคัน
2. ประเภทของยานพาหนะ (Vehicle type)	- ประเภทเดียวกันหมด - หลายๆ ประเภท
3. โรงจอดรถ (Depot) หรือคลังสินค้า (Warehouse)	- จำนวน 1 ที่ - จำนวนหลายๆ ที่
4. ความต้องการในการขนส่ง (Transport demand)	- ความต้องการที่แน่นอน (Deterministic) - ความต้องการที่ไม่แน่นอน (Stochastic)
5. จุดกำเนิดของความต้องการ (Demand location)	- ที่ตำแหน่ง (Node หรือ Point) - ที่เส้นทาง (Arc หรือ Route) - ที่ตำแหน่งและเส้นทาง (Mix)
6. ความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ (Vehicle capacity)	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน
7. เวลาในการขนส่งที่ยอมให้มากที่สุด (Maximum route time)	- เท่ากันหมด - ไม่เท่ากัน
8. ข้อจำกัดด้านเวลาในการขนส่ง (Time windows)	- แบบด้านเดียว (Single–sided) - แบบสองด้าน (Double–sided)

2.3 วิธีหาคำตอบที่ดีที่สุดและวิธีฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

2.3.1 วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method)

เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) เป็นเทคนิควิธีที่ทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่วิธีในการหาคำตอบที่ดีที่สุดมักประสบปัญหา เนื่องจากต้องใช้ศักยภาพในการวิเคราะห์ที่สูงและใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน จึงไม่สามารถแก้ปัญหาซึ่งมีความสลับซับซ้อนในเวลาที่จำกัด ในปัญหาขนาดใหญ่ต้องใช้เวลานานและหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์มากในการคำนวณ การแก้ปัญหาด้วยวิธีการของการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Exact method) จะทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดเพิ่มขึ้นอย่างมาก เมื่อเงื่อนไขของปัญหามีจำนวนมากขึ้นหรือปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น วิธีนี้จึงไม่เหมาะสมกับปัญหาขนาดใหญ่หรือปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก ซึ่งเทคนิค

ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะนี้มีหลายวิธี เช่น เทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดเขต (Branch and Bound), เทคนิคการแตกกิ่งและตัด (Branch and Bound) เป็นต้น

มีนักวิจัยหลายท่านนำวิธีดังกล่าวมาใช้หาคำตอบเช่น Fisher (1994), Blasum and Hochstattler (2002) ได้ประยุกต์ใช้วิธีแตกกิ่งและตัด (Branch and Cut) สำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบสมมาตร (Symmetric) ความจุยานพาหนะมีจำนวนจำกัด Laporte and Nobert (1981) นำเสนอวิธีแก้ปัญหา VRP ขึ้นมา โดยวิธี Branch and Bound Algorithm ต่อมา Laporte et al. (1983) นำเสนอวิธีแก้ปัญหาด้วยวิธี Gomory cuts มาใช้ปรับปรุงปัญหาเพิ่มเติมจากเดิมโดยพิจารณาการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบมีต้นทุนคงที่และการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง ต่อมา Laporte et al. (1986) ได้ประยุกต์วิธี Branch-Bound แก้ปัญหานี้อีก ซึ่งต่อมา Laporte et al. (1988) ได้พัฒนาวิธี Graph Transformation มาแก้ซ้ำอีกในภายหลัง โดยจัดแยกปัญหา VRP ให้เป็นปัญหา TSP และใช้วิธี Branch and Bound ในการแก้ปัญหา Ghiani and Laporte (1999) นำเสนอวิธีแก้ปัญหาแบบ Eulerian location problem กับปัญหาของ Lavy and Bodin (1989) ได้นำเสนอไว้ โดยวิธีการแบ่งกลุ่มสายส่งจากการใช้ขนาดการบรรทุกสินค้า (Maximum capacity) และระยะทางการขนส่ง (Route length) เป็นข้อกำหนด และนำเสนอวิธี Branch and Cut กับปัญหาที่มีลูกค้าไม่เกิน 80 ราย คำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุด

2.3.2 วิธีฮิวริสติก (Heuristic method)

ณกร อินทร์พยุง (2548) กล่าวว่า วิธีฮิวริสติกเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่หาคำตอบที่ดีเพียงพอหรือมักจะเรียกเสมอๆ ว่า "Good enough and fast enough solution" แต่จะมีข้อดีอยู่ที่ใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่จะต้องใช้เวลาและหน่วยความจำน้อยกว่ามาก Golden et al. (1977) ได้เสนอปัญหาการจัดเส้นทางของยานพาหนะจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าหลายจุด ซึ่งมีปริมาณความต้องการแตกต่างกัน เพื่อจะให้ครอบคลุมลูกค้าทุกจุดโดยให้มีระยะทางต่ำที่สุด โดยมีข้อจำกัดในความจุของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและระยะเวลาสูงสุดในการขนส่งหนึ่งรอบของเส้นทางการจัดส่ง โดยยานพาหนะทุกคันจะต้องเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้า Clarke and Wright (1964) พิจารณาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีความต้องการของลูกค้าหลายแห่ง ยานพาหนะมีความจุหลายขนาด ส่งสินค้าออกจากคลังสินค้าแห่งเดียว ซึ่งได้พัฒนาขั้นตอนให้สามารถเลือกเส้นทางของยานพาหนะที่เหมาะสมที่สุด ผลที่ได้จากการแก้ปัญหานี้คือทำให้ทราบจำนวนยานพาหนะที่จะใช้ขนส่งและปริมาณสินค้าที่ขนส่งของยานพาหนะแต่ละคัน Holmes and Parker (1976) ทำการวิจัยเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมาตรฐาน ซึ่งทราบความจุของกลุ่มของยานพาหนะและทราบค่าปริมาณความต้องการที่แน่นอนของการบริการลูกค้า เพื่อหาเส้นทางยานพาหนะที่ทำให้มีต้นทุนต่ำที่สุด โดยพัฒนาจากงานวิจัยของ Clark and Wright เพื่อให้เหมาะสมกับระบบต้นทุนไปกลับ

ระหว่างโนดหรือลูกค้าที่มีลักษณะสมมาตรกันและไม่สมมาตรกัน มีค่าความประหยัดที่ใช้คือ $S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$ ใช้อัลกอริทึมเดียวกันกับของ Clark and Wright ถ้าได้คำตอบสุดท้ายแล้วจะหาคำตอบใหม่อีกครั้ง จากวิธีการตัดเส้นทางคู่ลูกค้า (i, j) ที่มีค่าประหยัดที่สุดออกแล้วทำการเปรียบเทียบกับคำตอบเริ่มต้นที่ดีที่สุด หากได้คำตอบที่ดีขึ้นก็จะตัดเส้นทางนั้นออกแล้วกลับมาทำเช่นเดิม หากได้คำตอบที่แย่ลงก็จะไม่ตัดเส้นทางนั้นออก แต่จะไปตัดเส้นทางที่มีค่าประหยัดรองลงมา โดยกำหนดให้จำนวนครั้งที่ได้คำตอบที่แย่ติดต่อกันไม่เกินค่า L (ตั้งค่า L ตามต้องการ) และจะทำเช่นนี้ต่อไปจนกว่าจะได้คำตอบเส้นทางยานพาหนะที่ดีที่สุด Gillett and Miller (1974) ได้เสนอวิธี The Sweep Approach ซึ่งเป็นเทคนิคฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมีโครงสร้างในการหาคำตอบ 2 ลำดับ คือ ลำดับแรกจะจัดโหนดของลูกค้าให้กับยานพาหนะ จากนั้นจะให้ลำดับการส่งของโหนดต่างๆ แก่ยานพาหนะ Bodin (1983) กล่าวถึงจำแนกวิธีฮิวริสติกเป็น 3 กลุ่ม คือ

(1) วิธีการสร้างเส้นทาง (Tour construction procedure) เป็นการสร้างเส้นทางเริ่มต้นโดยใช้เมตริกระยะทาง ซึ่งประกอบไปด้วยวิธี Nearest neighbor ของ Bentley (1992), วิธีแบบประหยัดของ Clarke and Wright (1964), วิธี Insertion Procedures ของ Rosenkrantz, Sterns and Lewis (1977) และวิธีฮิวริสติกของ Christofides (1976)

(2) วิธีการปรับปรุงเส้นทาง (Tour improvement procedure) เป็นวิธีที่ใช้เทคนิคฮิวริสติกในการทดลองแก้ไขเส้นทาง โดยพยายามที่จะหาเส้นทางที่ดีกว่าเดิมจากการเดินทางเริ่มต้น ซึ่งนิยมใช้วิธี branch exchange ของ Lin (1965) ที่ได้เสนอวิธีฮิวริสติก 2-opt และ 3-opt ต่อมา Lin and Kernighan (1973) ได้เสนอวิธี k-opt ($k \geq 3$)

(3) วิธีการผสมการสร้างและปรับปรุงเส้นทาง (Composite procedure) เป็นวิธีที่เริ่มจากการใช้วิธีการสร้างเส้นทางมาเริ่มสร้างเส้นทางเริ่มต้นใหม่ จากนั้นพยายามหาเส้นทางที่ดีกว่าเดิมโดยใช้วิธีปรับปรุงเส้นทาง ซึ่งวิธีนี้จะใช้เวลาการคำนวณเร็วและได้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพอใจ

2.4 Greedy Randomized Adaptive Search Procedure: GRASP

Feo and Resende (1995) กล่าวว่า กระบวนการวิ่งวนซ้ำเพื่อหาคำตอบด้วยวิธี GRASP มีองค์ประกอบ 2 ระยะ คือ ระยะที่ 1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Construction phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible solution) และระยะที่ 2 การค้นหาคำตอบ (Local search) โดยประยุกต์ใช้เพื่อปรับปรุงคำตอบ คำตอบที่ดีที่สุดถือว่าเป็นผลลัพธ์สุดท้าย Resende and Ribeiro (2004) กล่าวว่า GRASP เป็นกระบวนการหาคำตอบที่ให้ผลของคำตอบดีมีคุณภาพ Kontoravdis and Bard (1995) เปรียบเทียบวิธี GRASP กับวิธีฮิวริสติกอื่น 3 วิธีคือ วิธี SOLO โดย Solomon (1987), วิธี PR โดย Potvin and Rousseau (1991) และวิธี TABU โดย

Potvin et al. (1993) ซึ่งทดสอบปัญหาจากข้อมูลของ Solomon จำนวน 6 ปัญหา พบว่าวิธี GRASP ให้คำตอบดีที่สุด ขั้นตอนการหาคำตอบของกระบวนการ GRASP มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านข้อมูลที่นำเข้าซึ่งประกอบด้วย จำนวนลูกค้า ความจุของยานพาหนะ ระยะทาง และความต้องการของลูกค้าแต่ละราย

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดให้ $k = 1$ เริ่มกระบวนการวิ่งวนรอบหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 3 สร้างคำตอบเริ่มต้นด้วยกระบวนการสุ่มเลือกลูกค้าที่อยู่ในบัญชีรายชื่อลูกค้า (Restricted candidate list; RCL) ที่ยังไม่ถูกจัดกลุ่มและมีค่าระยะที่เป็นไปตามเงื่อนไข

ขั้นตอนที่ 4 ปรับปรุงคุณภาพของคำตอบจากคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีฮิวริสติก เช่น การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Exchanges), วิธีการย้ายตำแหน่ง (Move operator)

ขั้นตอนที่ 5 อัพเดท (Update) คำตอบ และให้ $k = k+1$ ถ้า $k < M$ (จำนวนรอบของการหาคำตอบ) ให้ไปที่ขั้นตอนที่ 3 มิฉะนั้นแล้ว ไปที่ขั้นตอนที่

ขั้นตอนที่ 6 คืนค่าคำตอบ

2.4.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Construction phase)

ในกระบวนการวิ่งวนซ้ำเพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้น จะพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible solution) การเลือกเส้นทางและอัพเดทเส้นทางของลูกค้าเมื่อพบคำตอบที่ดีในแต่ละการวิ่งวนรอบกระทำซ้ำ ซึ่งจะพิจารณาลูกค้าทั้งหมดจากบัญชีคู่แข่งที่ เรียกว่าบัญชีรายชื่อคู่แข่งลูกค้า (Restricted candidate list; RCL)โดยใช้ฟังก์ชั่นเชิงละโมภ (Greedy function) ขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้นดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกลูกค้าด้วยวิธีการสุ่มโดยพิจารณาถึงต้นทุนต่างๆ ซึ่งอาจหมายถึงระยะทางของลูกค้าแต่ละราย จัดลงในบัญชีรายชื่อลูกค้า

ขั้นตอนที่ 2 ถ้าคำตอบยังไม่สมบูรณ์ สร้างบัญชีรายชื่อคู่แข่งใหม่โดยตัดลูกค้าที่ถูกเลือกออกไป

ขั้นตอนที่ 3 เลือกลูกค้าที่เหลือจากบัญชีรายชื่อคู่แข่งเข้าในเส้นทางโดยวิธีการสุ่มจนครบลูกค้าทุกราย

ขั้นตอนที่ 4 คืนค่าคำตอบ

2.4.2 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Improvement solution)

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบหรือกล่าวได้ว่า เป็นวิธีการหาคำตอบแบบ เนเบอร์ฮูด (Neighborhood search) หรือวิธีโลคอลเสริจช์ (Local search) นั่นเอง วิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูดเริ่มต้นจากคำตอบที่เป็นไปได้หรือคำตอบที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขแล้วใช้ขั้นตอนการกระทำ

ซ้ำ (Iterative improvement) เพื่อพยายามหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบ ณ เวลาปัจจุบันที่มีอยู่ ขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี GRASP ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ถ้าได้คำตอบยังไม่เหมาะสมที่สุดให้ทำขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 ค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (s') จากเซตของคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 3 ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด

ขั้นตอนที่ 4 คืนค่าคำตอบ

มีนักวิจัยหลายท่านที่ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก GRASP เพื่อแก้ไขปัญหาต่างๆ ซึ่งพอสรุปได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 รายชื่อนักวิจัยและรูปแบบปัญหาที่ใช้วิธีฮิวริสติก GRASP เพื่อแก้ไขปัญหา

ชื่อนักวิจัย	รูปแบบของปัญหา
Kontoravdis and Bard (1995)	Vehicle Routing Problem with Time Windows
Boudia et al. (2005)	Combined optimization of production and distribution
Feo and Resende (1995)	Develop such Heuristic for combinatorial optimization problem
Resende (1998)	Computing Approximate Solution of the Maximum Covering Problem
Binato et al. (2002)	Job shop scheduling
Cano et al. (2002)	Clustering
Corbera'n et al. (2002)	Mixed Chinese postman problem
Resende and Rieiro (2004)	Parallel GRASP
Sindhuchao S. (2004)	Inventory-routing problem
Pitakaso R. and Sindhuchao S. (2006)	Capacitated P-median problem

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.1 ขั้นตอนการบริหารและเตรียมการ

3.1.1.1 ขออนุญาตเก็บรวบรวมข้อมูลจากผู้จัดการ ของโรงงานน้ำแข็ง น้ำดื่มลานทอง ตำบลคอนสาย อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี

3.1.1.2 ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัยแก่ผู้จัดการโรงงาน พนักงานขับรถและเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง

3.1.1.3 จัดเตรียมเอกสารและวัสดุสำหรับการเก็บบันทึกข้อมูล

3.1.1.4 ฝึกอบรมผู้ช่วยนักวิจัยจำนวน 10 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาระดับ ปวส.2 โรงเรียนเทคโนโลยีบริหารธุรกิจรักไทยเขมราฐ และพนักงานขับรถของโรงงาน โดยอธิบายขั้นตอนวิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยละเอียด จากนั้นให้ผู้ช่วยนักวิจัยเก็บข้อมูล ณ สถานที่จริง แล้วทำการประชุมอีกครั้งเพื่อหาข้อบกพร่องในการเก็บรวบรวมข้อมูล และเก็บข้อมูลซ้ำจนกว่าจะไม่พบข้อบกพร่องอีก

3.1.2 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

3.1.2.1 บันทึกข้อมูลความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละราย โดยข้อมูลทั้งหมดจะเก็บรวบรวมระหว่างวันที่ 2- 31 มกราคม 2552

3.1.2.2 บันทึกข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งและจำนวนลูกค้าทั้งหมด

3.1.2.3 บันทึกข้อมูลเส้นทางของยานพาหนะขนส่ง โดยเก็บรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางที่ยานพาหนะแต่ละคันใช้ในการเดินทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายทุกราย รวมถึงศูนย์กระจายสินค้าด้วย

3.1.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

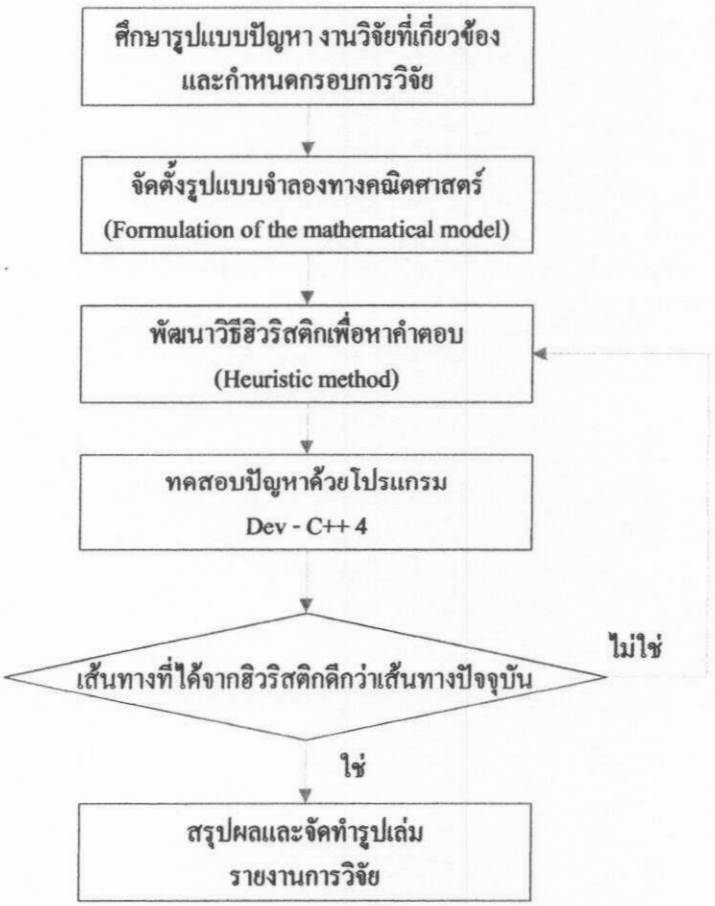
3.1.3.1 นำข้อมูลความต้องการที่ได้ของลูกค้าแต่ละรายบันทึกในตาราง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยความต้องการของลูกค้าแต่ละราย

3.1.3.2 นำข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งและจำนวนลูกค้าทั้งหมดที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลมาวัดระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย จากนั้นบันทึกลงในตารางเมตริกระยะทาง

3.1.3.3 กำหนดจุดตำแหน่งของลูกค้าลงบนแผนที่จริง (แผนที่จากการสำรวจของเทศบาลอำเภอตระการพืชผล)จากนั้นลากเส้นเชื่อมจุดแต่ละจุด ซึ่งเป็นข้อมูลเดินทางยานพาหนะของโรงงานกรณีศึกษา

3.2 วิธีการดำเนินการวิจัย (Research methodology)

ในการวางแผนการดำเนินงานการวิจัยในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของยานพาหนะขนส่งของโรงงานน้ำแข็งน้ำดื่มลานทอง เพื่อให้ได้เส้นทางที่มีระยะทางรวมต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะบรรทุก วิธีการดำเนินงานการวิจัยในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของยานพาหนะ สามารถกำหนดขั้นตอนในการดำเนินงานได้แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

จากภาพที่ 3.1 สามารถอธิบายขั้นตอนการดำเนินวิจัยได้ดังต่อไปนี้

3.2.1 ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและกำหนดกรอบการวิจัย

ศึกษารูปแบบปัญหา ทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งในประเทศและต่างประเทศ กับปัญหาการหาเส้นทางยานพาหนะแบบความต้องการไม่แน่นอน (Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands; VRPSD) การค้นหาคำตอบด้วยวิธี GRASP กำหนดสถานะของปัญหาที่จะศึกษา (Problem statement) วัตถุประสงค์ (The research objective) และขอบเขตการวิจัย (The research scope)

3.2.2 จัดตั้งรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (The formulation of mathematical model)

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบความต้องการไม่แน่นอน (Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands; VRPSD) สามารถอธิบายได้จากกราฟ $G=(V,A,D)$ เมื่อ $V=\{0,1,...,n\}$ คือ เซตของโหนดหรือเมืองของลูกค้า โดยที่โหนด 0 คือ ศูนย์กระจายสินค้า ซึ่ง $A=\{(i,j):i,j\in V,i\neq j\}$ โดยที่ A คือ เซตเส้นเชื่อมระหว่างเมือง i ไปยังเมือง j หรือที่เรียกว่า อาร์ค (Arc) เมตริกระยะทางเป็นแบบสมมาตร (Symmetric) ยานพาหนะแต่ละคันมีความจุจำกัด Q โดยขนส่งสินค้าไปยังเมืองต่างๆ เพื่อให้มีระยะทางรวมต่ำสุด จำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าจะรู้เมื่อยานพาหนะเดินทางไปส่งสินค้ายังลูกค้าแล้วเท่านั้น

รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นในรูปของ Mixed integer linear Programming กับสถานะของปัญหาแบบ Stochastic model ประกอบด้วยการบูรณาการกิจกรรมการกระจายสินค้าต่าง ๆ เช่น ศูนย์กระจายสินค้ามีแห่งเดียว (Single depot) ลูกค้าอยู่กระจัดกระจายกันและมีหลายราย ยานพาหนะขนส่งสินค้ามีขนาดการบรรทุกสินค้าที่เท่ากัน (Identical vehicles) และมีการกำหนดการบรรทุกสินค้าสูงสุด (Limited capacity vehicles) สินค้ามีหลายชนิด ยานพาหนะขนส่งออกและกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าเดิม ปัญหาที่ทำการศึกษาไม่มีเวลาขนส่งสินค้าเข้ามาเกี่ยวข้อง

ปัญหาที่ผู้วิจัยสนใจศึกษาคือ ความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน (Stochastic demand) ซึ่งสามารถจัดตั้งปัญหาในรูปแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

K = จำนวนยานพาหนะทั้งหมด

N = จำนวนโหนดทั้งหมด

d = ชนิดสินค้า(1=น้ำแข็งหลอด,2=น้ำแข็งบด,3=น้ำขวด,4=น้ำถัง)

C_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างโหนด i และ โหนด j

q_{dj}^{k} = ปริมาณสินค้า d ที่ส่งให้ลูกค้า i โดยรถคันที่ k

Sk = เป็นสับเซตของลูกค้าที่รถคันที่ k ไปแวะส่งสินค้า

ST_d = ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการขาดสินค้าชนิด d

O$_d$ = ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากสินค้าชนิดd เกินความต้องการ

A $_d^k$ = พื้นที่ สูงสุดของรถคันที่ k ที่ใช้บรรทุกสินค้า d

a$_d$ = พื้นที่ที่สามารถบรรทุกสินค้า d ได้ 1 หน่วย

D_{dj} = ความต้องการสินค้าของลูกค้า

λ_{dj} = ตัวแปรที่เกิดจากกรณีที่สินค้าขาดและกรณีที่สินค้าเกิน

โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี (Binary) คือ

X_{ij}^{k} = 1 ถ้ายานพาหนะ k ขนส่งสินค้าระหว่างโหนด i ไปยังโหนด j

= 0 ถ้ายานพาหนะ k ไม่ได้ส่งสินค้าระหว่างโหนด i ไปยังโหนด j

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$\text{MinZ}= \sum_{i=0_{j\neq i}}^{n}\sum_{j=0}^{n}\sum_{k=1}^{k} C_{ij} X_{ij}^{k} + \sum_{d=1}^{4}\sum_{j=1}^{n} \lambda_{d_j} \left| \left(\sum_{k=1}^{k} q_{d_j}^{k} - D_{dj} \right) \right| \qquad (3.1)$$

สมการขอบข่าย (Constrains)

$$\sum_{i=0_{i\neq j}}^{N}\sum_{k=1}^{K} X_{ij}^{k} \leq 2 \qquad \forall j \in \{1...., N\} \qquad (3.2)$$

$$\sum_{j=0_{j\neq i}}^{N}\sum_{k=1}^{K} x_{ij}{}^{k} \leq 2 \qquad \forall i \in \{1...., N\} \qquad (3.3)$$

$$\sum_{i=0}^{N} X_{ip}^{k} - \sum_{j=0}^{N} X_{pj}^{k} = 0 \qquad \forall p \in \{1,.....,N\}, k \in \{1,.....,K\} \qquad (3.4)$$

$$x_{ij}^{k} \in \{0,1\} \qquad \forall k \in \{0,1,...N\}, k \in \{1,...k\} \qquad (3.5)$$

$$\sum_{d=1}^{2}\sum_{j=1}^{n} q_{dj}^{k} \leq 120 \qquad k = 1 \qquad (3.6)$$

$$a_d \left(\sum_{j=1}^{n} q_{dj}^{k} \right) \leq A_d^k \qquad k = 1, d = 3 \qquad (3.7)$$

$$a_d \left(\sum_{j=1}^{n} q_{dj}^{k} \right) \leq A_d^k \qquad k = 2, d = 3,4 \qquad (3.8)$$

$$\lambda_d = \text{ST}_d \qquad for \qquad \sum_{k=1}^{k} q_{dj}^{k} - D_{dj} < 0 \qquad (3.9)$$

$$\lambda_d = 0_d \qquad for \qquad \sum_{k=1}^{k} q_{dj}^{k} - D_{dj} > 0 \tag{3.10}$$

$$\sum\sum X_{ij}^{k} \le (S_k) - 1 \qquad for \qquad i \in S_k, j \in S_k \{i\} \tag{3.11}$$

สมการขอบข่ายที่(3.1) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นกับสินค้าขาดหรือเกินต่ำที่สุด สมการขอบข่ายที่ (3.2) และ (3.3) คือประกันว่าลูกค้าแต่ละรายรับบริการจากยานพาหนะไม่เกิน 2 คัน สมการขอบข่ายที่ (3.4) ประกันว่าเมื่อยานพาหนะเข้ามายังจุดส่งสินค้าแล้วยานพาหนะจะออกจากจุดส่งสินค้านั้น สมการขอบข่ายที่ (3.5) เพื่อรับประกันว่ายานพาหนะต้องจัดส่งสินค้านครบทุกราย สมการขอบข่ายที่ (3.6) ประกันว่ายานพาหนะคันที่1ต้องไม่บรรทุกสินค้าชนิดที่1และ2เกินความจุคือ120กระสอบ สมการขอบข่ายที่ (3.7)ประกันว่ายานพาหนะคันที่1จะต้องไม่บรรทุกสินค้าชนิดที่3เกินพื้นที่ความจุ สมการขอบข่าย (3.8) เพื่อรับประกันว่ายานพาหนะคันที่ 2 ต้องไม่บรรทุกสินค้าชนิดที่3และชนิดที่ 4 เกินพื้นที่ความจุ (3.9)สัมประสิทธ์ของสินค้าในกรณีเกิดการขาดสินค้าจะมีค่าน้อยกว่า 0 สมการขอบข่ายที่(3.10) สัมประสิทธ์ของสินค้าในกรณีเกิดสินค้าเกินความต้องการของลูกค้า จะมีค่ามากกว่า 0 (3.11)ประกันไม่ให้มี Sub-tour เกิดขึ้นในคำตอบเมื่อยานพาหนะแต่ละคันเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าจนครบทุกรายแล้ว แต่สินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) จะมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นจากกำไรต่อหน่วยคูณด้วยจำนวนถังที่ขาด ซึ่งโรงงานกรณีศึกษามีผลกำไรทั้งสิ้น(ถ้าปีนน้ำถัง ถังละ 5 บาท , น้ำแข็งบด และน้ำแข็งหลอด กระสอบละ15 บาท , น้ำดื่มโหลละ 5 บาท)ส่วนกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost) จะมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นคือ ค่าน้ำมันส่วนเพิ่มที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักบรรทุก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลวันที่ 11ธันวาคม 2553 ในเว็ปไซต์สาระท่าเรือการท่าเรือแห่งประเทศไทย กล่าวในหัวข้อการบริหารต้นทุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งว่า การเพิ่มน้ำหนักบรรทุกจากน้ำหนักบรรทุกปกติจะทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้น 0.05-0.06 ลิตร/กม. ในทุกๆ 10 ตัน ฉะนั้นการคิดค่าใช้จ่ายต้นทุนการขนส่งในส่วนนี้ของโรงงานกรณีศึกษาสามารถหาได้ดังนี้

$$\text{อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มทุกๆ 10 ตัน} = \frac{0.05 + 0.06}{2}$$

$$= 0.055 \text{ ลิตร/กม.}$$

$$= 0.0055 \text{ ลิตร/กม./ตัน}$$

$$\text{อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มต่อน้ำแข็งบด 1 กระสอบหนัก 25 กก.} = 0.025 \text{ ตัน}$$

$$= 0.025 \times 0.0055$$

= 0.0001375 ลิตร/กม./ตัน

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มต่อน้ำแข็งหลอด 1 กระสอบหนัก 25 กก. = 0.02 ตัน

= 0.025 × 0.0055

= 0.0001375ลิตร/กม./ตัน

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มต่อน้ำแข็งหลอด 1 ถัง หนัก 20 กก. = 0.02 ตัน

= 0.020 × 0.0055

= 0.00011ลิตร/กม./ตัน

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มต่อน้ำดื่ม1 โหล หนัก 5 กก. = 0.005 ตัน

= 0.005 × 0.0055

= 0.0000275 ลิตร/กม./ตัน

ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงลิตรละ 32 บาท ค่าใช้จ่ายส่วนที่เพิ่มจากการบรรทุกเช่นน้ำดื่มถัง 20 ลิตร คือ 0.00011 × 32/10= 0.000352บาท/ถัง /กม.ซึ่งค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วนนี้มีผลต่อต้นทุนและการจัดเส้นทางการขนส่ง เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงกำหนดนโยบายในการบรรทุกสินค้าขึ้นบนยานพาหนะ 2 นโยบายดังนี้

เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาในการขนส่งผู้วิจัยจึงกำหนดนโยบายในการบรรทุกสินค้าขึ้นบนยานพาหนะ 2 นโยบายดังนี้

นโยบายที่ 1 กำหนดจากความต้องการโดยเฉลี่ยของลูกค้าแต่ละราย โดยผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลความต้องการของลูกค้าแต่ละรายจำนวน 1 เดือน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer) ผู้วิจัยกำหนดการปัดจุดทศนิยมที่ได้จากค่าเฉลี่ยคือ ถ้าจุดทศนิยมระหว่าง 0.1-0.4 จะปัดลง และถ้าจุดทศนิยมระหว่าง 0.5-0.9 จะปัดขึ้น

นโยบายที่ 2 กำหนดจากการให้น้ำหนักของความต้องการต่ำสุดและความต้องการสูงสุดของลูกค้าแต่ละราย โดยนำข้อมูลที่เก็บมาจำนวน 1 เดือน มาคำนวณหาจำนวนสินค้าที่บรรทุกบนยานพาหนะ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.11

$$q_i = \mu D_{iMax} + (1-\mu) D_{iMin} \qquad (3.11)$$

โดยที่

q_i = จำนวนสินค้าที่บรรทุกบนยานพาหนะ

D_{iMax} = ความต้องการสูงสุดของลูกค้า i

D_{iMin} = ความต้องการต่ำสุดของลูกค้า i

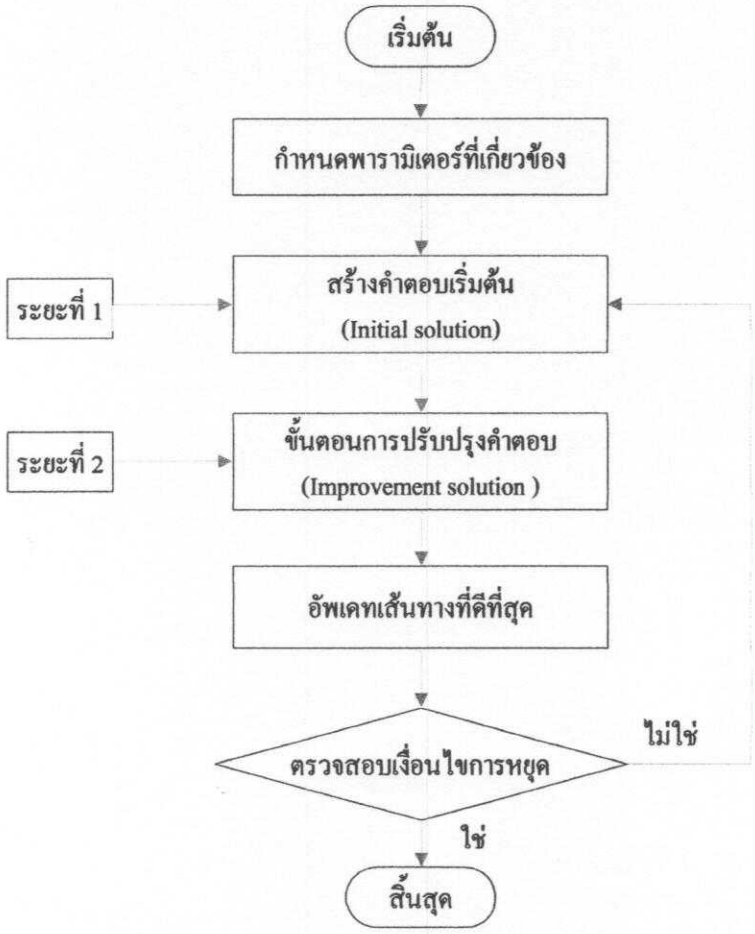
μ = น้ำหนักความต้องการสูงสุดของลูกค้า โดยที่ $0 \leq \mu \leq 1$

$(1-\mu)$ = น้ำหนักความต้องการต่ำสุดของลูกค้า

3.3 การพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่ดีเพียงพอ (Heuristic search approaches)

ขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยวิธีฮิวริสติก เป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ทำให้ได้คำตอบออกมาเพียงคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบเหมาะสมที่สุด (Near optimal solution) แต่จะมีข้อดีเมื่อใช้ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่ จะต้องใช้เวลาและหน่วยความจำในการคำนวณน้อยกว่ามาก ซึ่งมีวิธีการต่างๆ อยู่หลายวิธี เช่น วิธีจำลองแบบการอบอ่อน (Simulated annealing; SA) วิธีอัลกอลิทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic algorithm; GA) วิธีระบบมด (Ant system) วิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedure; GRASP วิธีแบบประหยัด (Saving algorithm) เป็นต้น

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการหาวิธีการที่ดีเพียงพอสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ผู้วิจัยนำเสนอวิธีฮิวริสติก โดยแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก ใช้ฮิวริสติกแบบ Grasp เพื่อ สร้างเส้นทางเริ่มต้น จากนั้นใช้ฮิวริสติก 2-opt ปรับปรุงเส้นทางและปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า 1 ราย (One move operator) และวิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer) ในการค้นหาคำตอบที่มีคุณภาพในการแก้ปัญหาซึ่งมีขั้นตอนการวิจัย ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ลำดับขั้นตอนการพัฒนาวิธีการหาคำตอบ

3.3.1 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึม

ขั้นตอนการทำงานของอัลกอลิทึมของกระบวน GRASP นั้น ผู้วิจัยแบ่งออกเป็น 2 เฟส คือ เฟสที่ 1 เป็นการประยุกต์ใช้วิธี Nearest เพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยการ คัดเลือกลูกค้าที่อยู่ใกล้โรงงานมากที่สุด เป็นลูกค้ารายแรก แล้วเลือกลูกค้าที่อยู่ใกล้ลูกค้ารายที่ 1 ที่มีระยะห่างจากลูกค้ารายที่ 1 ไม่เกิน 1.5 เท่า เข้าในบัญชีลูกค้าแล้วสุ่มเลือกมา 1 ราย เพื่อจัดเข้าเส้นทางเป็นลูกค้ารายที่ 2 ทำอย่างนี้ไปจนครบข้อกำหนดในเงื่อนไข หรือจัดกลุ่มลูกค้าจนครบทุกราย ซึ่งพิจารณาเงื่อนไขความจุยานพาหนะที่จำกัด เพื่อสร้างเส้นทางเริ่มต้น จากนั้นในเฟสที่ 2 ใช้วิธีปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า 1 ราย (One move operator) และวิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer) และวิธี 2-opt ปรับปรุงเส้นทางและปรับปรุงคุณภาพคำตอบ ส่วนรายละเอียดขั้นตอนการจัดกลุ่มลูกค้าให้กับยานพาหนะ สามาถอธิบายเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สำหรับลูกค้าที่ยังไม่ถูกจัดกลุ่มเลือกลูกค้า 1รายที่มีระยะทางใกล้ Depot มากที่สุด เพื่อจัดเข้าบัญชีลูกค้า เป็นลูกค้ารายแรกจัดเข้าในกลุ่มยานพาหนะคันที่ K_1

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาลูกค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทางโดยคัดเลือกลูกค้าที่อยู่ใกล้ลูกค้ารายที่ 1 มากที่สุดเข้าในบัญชีลูกค้าร่วมกับลูกค้าที่มีระยะห่างจากลูกค้ารายแรกไม่เกิน 1.5 เท่าของระยะทางระหว่างลูกค้ารายแรกกับลูกค้าที่อยู่ใกล้ลูกค้ารายแรกมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 สุ่มเลือกลูกค้าจากบัญชีลูกค้ามา 1 รายเพื่อจัดเข้าเส้นทางเป็นลูกค้ารายที่ 2ของเส้นทางที่1 โดยพิจารณาความจุของรถร่วมด้วย และกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งยานพาหนะ K_1 ไม่สามารถรับลูกค้าได้อีก จากนั้นกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 1 สำหรับยานพาหนะคันต่อไป กระทำจนลูกค้าทุกรายถูกจัดเข้าเส้นทางจนครบทุกรายจะได้เส้นทางเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 4 ใช้วิธี การย้ายตำแหน่งลูกค้า 1 ราย (One move operator) วิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer) และวิธี 2-opt เพื่อปรับปรุงคุณภาพคำตอบ

3.3.2 การสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution)

ในกระบวนการวิ่งวนซ้ำเพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้น จะพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้โดยไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขที่กำหนด การเลือกเส้นทางและอัพเดทเส้นทางของลูกค้าเมื่อพบคำตอบที่ดีในแต่ละการวิ่งวนรอบกระทำซ้ำ ซึ่งจะพิจารณาลูกค้าจัดเข้าในเส้นทางจากบัญชีรายชื่อลูกค้า โดยการประยุกต์ใช้ nearest ในการ สร้างเส้นทางเริ่มต้น จากนั้นใช้วิธี การย้ายตำแหน่งลูกค้า 1 ราย (One move operator) วิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer) และ 2-opt ปรับปรุงเส้นทางต่อไป สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.3.2.1 เฟส ที่ 1 ประยุกต์ใช้ วิธี Nearest เพื่อ สร้างเส้นทางเริ่มต้นสามารถอธิบายตามลำดับขั้นตอนดังนี้

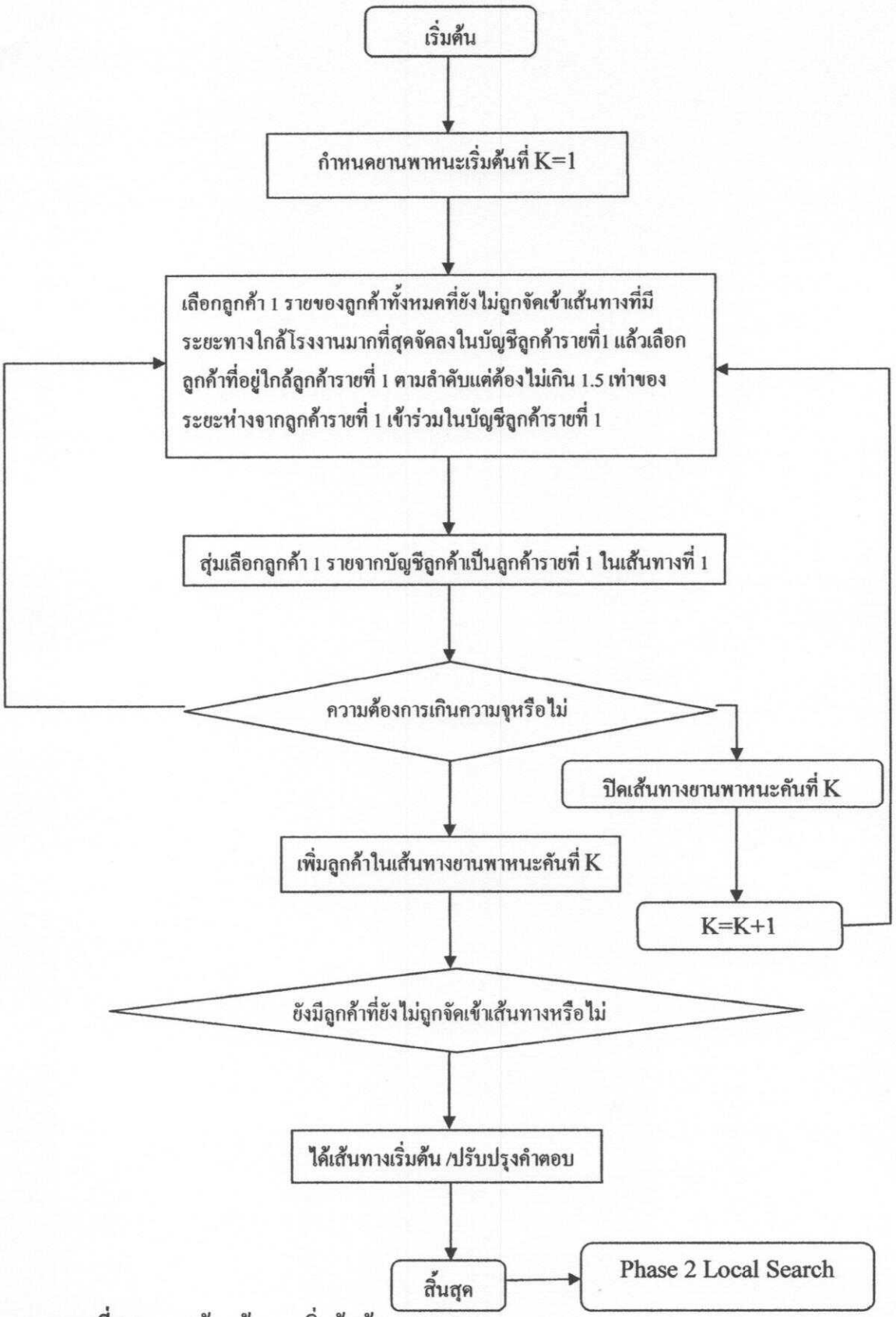
ขั้นตอนที่ 1 สำหรับลูกค้าที่ยังไม่ถูกจัดกลุ่มเลือกลูกค้า 1รายที่มีระยะทางใกล้ Depotมากที่สุด เพื่อจัดเข้าบัญชีลูกค้า เป็นลูกค้ารายแรกจัดเข้าในกลุ่มยานพาหนะคันที่ K_1

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาลูกค้าที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทางโดยคัดเลือกลูกค้าที่อยู่ใกล้ลูกค้ารายที่ 1 มากที่สุดเข้าในบัญชีลูกค้าร่วมกับลูกค้าที่มีระยะห่างจากลูกค้ารายแรกไม่เกิน 1.5 เท่าของระยะทางระหว่างลูกค้ารายแรกกับลูกค้าที่อยู่ใกล้ลูกค้ารายแรกมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 สุ่มเลือกลูกค้าจากบัญชีลูกค้ามา 1 รายเพื่อจัดเข้าเส้นทางเป็นลูกค้ารายที่ 2ของเส้นทางที่1 โดยพิจารณาความจุของรถร่วมด้วย และกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งยานพาหนะ K_1 ไม่สามารถรับลูกค้าได้อีก จากนั้นกลับไปทำตามขั้นตอนที่ 1 สำหรับยานพาหนะคันต่อไป กระทำจนลูกค้าทุกรายถูกจัดเข้าเส้นทางจนครบทุกรายจะได้เส้นทาง

3.3.2.2 เฟส ที่ 2 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบ

ผู้วิจัยจะทำการประยุกต์การปรับปรุงคุณภาพคำตอบโดยการใช้เทคนิคฮิวริสติกการค้นหา (Search algorithm) ในรูปแบบต่างๆ ได้แก่ วิธีการสลับตำแหน่ง (One move operator) วิธีการสลับตำแหน่ง วิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer) เพื่อทำการสลับเปลี่ยนลูกค้าจากตำแหน่งที่ i กับตำแหน่งลูกค้าที่ j ในระหว่างสับเซต และจำนวนสับเซตที่เป็นชุดคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible of solutions) และวิธี 2-opt เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ สามารถอธิบายขั้นตอนของทั้ง 2 เฟสตามภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 การสร้างเส้นทางเริ่มต้นด้วย GRASP

3.3.3 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Improvement solution)

ณกร อินทร์พยุง (2548) กล่าวว่า ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบหรือกล่าวได้ว่าเป็นวิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูด (Neighborhood search) หรือวิธีโลคอลเสริจช์ (Local search) นั่นเอง วิธีหาคำตอบแบบเนเบอร์ฮูดเริ่มต้นจากคำตอบที่เป็นไปได้หรือคำตอบที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขแล้วใช้ขั้นตอนการกระทำซ้ำ (Iterative improvement) เพื่อพยายามหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบ ณ เวลาปัจจุบันที่มีอยู่

หลังจากได้เส้นทางเริ่มต้นจากเฟสแรก ก็เข้าสู่กระบวนการในเฟสที่ 2 ผู้วิจัยจะทำการประยุกต์การปรับปรุงคุณภาพคำตอบโดยการใช้เทคนิคฮิวริสติกการค้นหา (Search algorithm) ในรูปแบบต่างๆ เช่น วิธีการสลับตำแหน่ง (One move operator) วิธีการสลับตำแหน่ง วิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer) เพื่อทำการสลับเปลี่ยนลูกค้าจากตำแหน่งที่ i กับตำแหน่งลูกค้าที่ j ในระหว่างสับเซต และจำนวนสับเซตที่เป็นชุดคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible of solutions) ทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนของวิธี GRASP เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพ ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบสามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สุ่มเลือกลูกค้า 1 รายจากเส้นทางเริ่มต้น เพื่อพิจารณาการย้ายตำแหน่งกับลูกค้ารายอื่นในเส้นทางอื่นๆ

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบความต้องการเดิมรวมกับความต้องการใหม่เกินความจุของยานพาหนะหรือไม่ ถ้าเกินก็ให้พิจารณาย้ายลูกค้ารายต่อไป แต่ถ้าไม่เกินก็ทำในขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 ย้ายสลับตำแหน่งลูกค้าที่พิจารณากับลูกค้ารายอื่นที่อยู่ในเส้นทางอื่นที่ทำให้ระยะทางรวมลดลงมากที่สุด

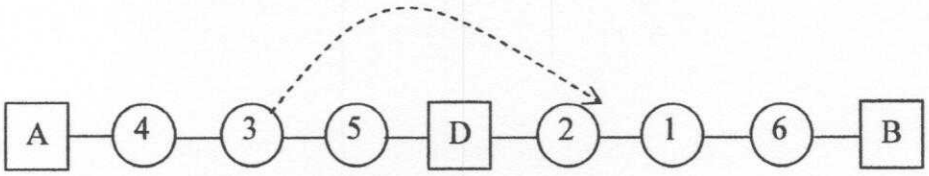
ขั้นตอนที่ 4 อัพเดทเส้นทางที่ดีที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบว่ามีลูกค้าที่ยังไม่ย้ายสลับตำแหน่งหรือไม่ ถ้ามีก็เริ่มทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-5 อีกครั้งจนกว่าจะครบ ถ้าไม่มีก็สิ้นสุดการทำ Local search

สำหรับวิธีการปรับปรุงคุณภาพคำตอบในแต่ละวิธีนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.3.3.1 วิธีการย้ายตำแหน่ง (One move operator)

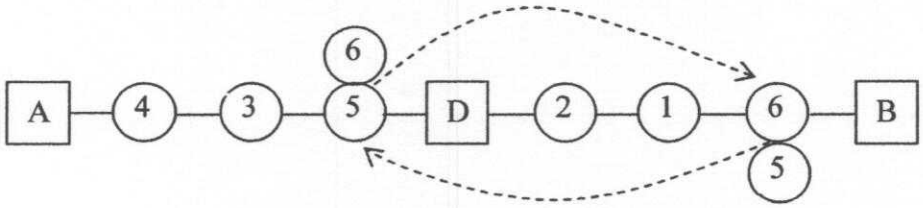
ตัวดำเนินการ One move operator (1,0) หมายถึง การย้ายลูกค้า 1 ราย จากสับเซตหนึ่งไปยังสับเซตหนึ่ง โดยที่ไม่มีการย้ายแบบสลับภายในสับเซตตัวเอง ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก One move operator ซึ่งเป็นขั้นตอนการกระทำซ้ำเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงคำตอบหนึ่ง ไปยังอีกคำตอบหนึ่งภายในเนเบอร์ฮูด



ภาพที่ 3.4 ตัวดำเนินการ One move operator (1,0)

3.3.3.2 วิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer)

การสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer) ผู้วิจัยกำหนดลำดับการค้นหาสำหรับการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า 1 ราย ระหว่างสับเซต โดยที่ใช้ตัวดำเนินการเท่ากับ (1,1) หมายถึง การสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า 1 รายที่ถูกเชื่อมกันอยู่ในเส้นทางขนส่งจากสับเซตหนึ่งไปยังอีกสับเซตหนึ่งไปยังอีกสับเซตหนึ่งแสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.5 ตัวดำเนินการ Exchanges customer (1,1)

3.4 การวัดประสิทธิภาพฮิวริสติก

การวัดประสิทธิภาพฮิวริสติกผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งที่เกิดจากระยะทางรวม ตามนโยบายทั้ง 2 นโยบาย ดังนี้

นโยบายที่ 1 เปรียบเทียบระยะทางรวมจากวิธีฮิวริสติกกับเส้นทางเดินรถปัจจุบันของโรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง จากนั้นคำนวณเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ได้

นโยบายที่ 2 นำผลลัพธ์ระยะทางรวมต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบตามระดับน้ำหนักความต้องการทุกระดับมาคำนวณหาค่าโทษ (Penalty cost) แล้วเปรียบเทียบระยะทางการขนส่งของโรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็ง ลานทองโดยผู้วิจัยเก็บข้อมูลอีกครั้งจำนวน 2 วัน จากนั้นคำนวณเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ได้

การคำนวณหาค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากทั้ง 2 นโยบาย นอกจากจะคำนวณจากระยะทางรวมของยานพาหนะแต่ละคันแล้ว ยังต้องพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีการเกิดสินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) และกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost)

3.5 สรุปผลและจัดทำรูปเล่ม

เมื่อกระทำตามกระบวนการที่จัดกรอบการดำเนินการวิจัยทั้งหมด และผลการวิจัยในภาพรวมเป็นที่น่าพึงพอใจ หมายความรวมถึงคำตอบที่ได้จากการนำวิธีการที่พัฒนาขึ้นมา ไปแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง มีประสิทธิภาพเพียงพอแล้ว ผู้วิจัยจึงจะสรุปและจัดทำรูปเล่มการวิจัยต่อไป

จากขั้นตอนที่กล่าวทั้งหมดนี้ ผู้วิจัยจะใช้เป็นกรอบและบรรทัดฐานสำหรับการดำเนินการวิจัยในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทองต่อไป

3.6 บทสรุป

จากขั้นตอนแผนการดำเนินการการวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยยังได้ทำการวางแผนการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือสำหรับการดำเนินงานวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ อุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานวิจัยประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ (Computer hardware) และคอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (Computer software) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คอมพิวเตอร์ส่วนตัว (Personal computer; PC) หน่วยประมวลผลกลาง Pentium[R] 4 CPU 3.06 GHz หน่วยความจำ 256 MB และทำงานบนโปรแกรมระบบปฏิบัติการ Windows XP และนอกจากนั้นมีการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป Dev-C++ 4 เนื่องจากเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้เทคโนโลยีในลักษณะ Visualize มีเครื่องมือประกอบการใช้งานได้มากมาย มีคอมไพเลอร์ที่สมบูรณ์ในตัวและใช้ทรัพยากรของระบบน้อย จึงเป็นโปรแกรมที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้สร้างเป็นโปรแกรมสำหรับใช้งานในระบบขนส่ง

บทที่ 4
บทวิเคราะห์และผลของการวิจัย

4.1 รายละเอียดและการทดลอง

ในบทนี้ ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการทดลองจากวิธีฮิวริสติก ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ กรณีศึกษา โรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง ซึ่งขั้นตอนต่างๆ ของวิธีการดังรายละเอียดในบทที่ 3 และผู้วิจัยได้นำขั้นตอนการแก้ไขปัญหาด้วยวิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedures; GRASP ในส่วนของการวัดประสิทธิภาพฮิวริสติก จะเปรียบเทียบต้นทุนการขนส่งซึ่งพิจารณาจากระยะทางการขนส่งจากวิธีฮิวริสติกกับระยะทางการขนส่งปัจจุบันของโรงงานน้ำดื่มน้ำแข็งลานทองโดยพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีการเกิดสินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) และกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost) โดยกระบวนการทำงานของฮิวริสติก ที่นำเสนอนี้ทำการเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Dev-C++ 4 และทดสอบบนคอมพิวเตอร์ส่วนตัว (Personal computer; PC) หน่วยประมวลผลกลาง Pentium [R]4 CPU 3.06 GHz หน่วยความจำ 256 MB ทำงานบนโปรแกรมระบบปฏิบัติการ Windows XP

4.2 ข้อมูลการเดินรถของโรงงานกรณีศึกษา

โรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็ง ลานทอง ตั้งอยู่เลขที่ 229 หมู่ที่ 6 ตำบลคอนสาย อำเภอตระการพืชผล จังหวัดอุบลราชธานี มีศูนย์กระจายสินค้ากลางจำนวน 1 แห่ง ลูกค้าทั้งหมด 30 ราย รถกระบะบรรทุกสำหรับขนส่งน้ำและน้ำแข็งจำนวน 2 คัน ความจุในการบรรทุกของรถแต่ละคันไม่เท่ากัน ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน การจัดเส้นทางการขนส่งปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา รถคันที่ 1 ระยะทางการวิ่ง 47.31 กิโลเมตร รถคันที่ 2 ระยะทางการวิ่ง 48.26 กิโลเมตร รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การจัดเส้นทางการขนส่งวิธีปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา

สายส่ง	รถคันที่	การเดินทาง	ระยะทาง(กม.)	d_1+d_2	d_3	d_4	ระยะทางของรถ
1	1	0-1-2-3-4- 5-6-7-8-9-10-17-18-0	24.56	120	29		47.31
2	1	0-11-12-13-14-15-16-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-0	22.75	101	36		
3	2	0-1-2-3-4- 5-6-7-8-9-10-11-17-0	24.46			100	48.26
4	2	0-12-13-14-15-16-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-0	23.8			90	
รวม			95.57	121	65	190	95.57

4.2.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการขนส่งปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา

ในการคำนวณหาต้นทุนการขนส่งน้ำดื่มของโรงงานน้ำดื่มน้ำแข็งลานทอง จะประกอบด้วยทรัพยากรในการขนส่งหลัก 2 ประเภท ได้แก่

4.2.1.1 ต้นทุนจากการใช้รถกระบะบรรทุก

1) ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง

2) ค่าซ่อมบำรุงและเสื่อมสภาพ

3) ค่าภาษีและประกันภัย

4.2.1.2 ต้นทุนจากพนักงานประจำรถแต่ละคัน

ค่าใช้จ่ายทั้งสองส่วนนี้คิดออกมาเป็นค่าใช้จ่ายต่อหน่วยระยะทาง สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ ต้นทุนคงที่ (Fixed costs) เป็นต้นทุนที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณการใช้งาน จะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นแม้จะไม่มีการใช้รถเพื่อบรรทุก ค่าใช้จ่ายประเภทนี้ได้แก่ เงินเดือนพนักงานขับรถ ค่าภาษีและประกันภัย เป็นต้น ส่วนต้นทุนแปรผัน (Variable costs) เป็นต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปตามการขนส่ง จะมีค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการใช้รถและแปรผันตามปริมาณการ

เดินรถ ค่าใช้จ่ายประเภทนี้ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงและน้ำมันหล่อลื่น ค่าซ่อมบำรุงและเสื่อมสภาพ เป็นต้น

4.2.2 ต้นทุนการขนส่งปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา

กิจกรรมในการขนส่งของโรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง มีค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายแปรผัน ซึ่งในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการลดค่าใช้จ่ายจากการลดระยะทางรวมต่ำสุดเป็นเป้าหมายหลักในการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการขนส่ง รายละเอียดค่าใช้จ่ายของโรงงานกรณีศึกษาแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งของโรงงานกรณีศึกษา

ลำดับ	รายการค่าใช้จ่าย	จำนวนเงิน (บาท/เดือน)	เปอร์เซนต์
1	ต้นทุนคงที่ (Fixed cost)		
	- พนักงานขับรถ วันละ 200 บาท จำนวน 2คน	12,000 บาท	34.53
	- พนักงานส่งสินค้า วันละ 150 บาท จำนวน 2คน	9,000 บาท	25.90
	- ค่าภาษีประจำปี รถ 2 คันๆละ 1 ,050 บาท = 2,100 บาท/ปี (ที่มา : สำนักงานขนส่งจังหวัดอุบลราชธานี)	175 บาท	0.50
	- ค่าประกันภัย รถ 2 คันๆละ 967 บาท = 1,934 บาท/ปี (ที่มา : สำนักงานขนส่งจังหวัดอุบลราชธานี)	161.16 บาท	0.46
2	ต้นทุนแปรผัน (Variable costs)		
	- ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงลิตรละ 32 บาท อัตราสิ้นเปลือง		
	- รถกระบะไม่มีตู้แช่12 กม./ลิตร วิ่งวันละ 47.31 กม.	3,784.80 บาท	10.89
	- รถกระบะมีตู้แช่ 10 กม./ลิตร วิ่งวันละ 28.26 กม.	4,632.96 บาท	13.33
	- ค่าซ่อมบำรุงและเสื่อมสภาพ 10% ของราคารถ	5,000 บาท	14.39
	รวม	34,753.92 บาท	100

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าใช้จ่ายส่วนที่เกิดขึ้นมากที่สุดของโรงงานกรณีศึกษา คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากน้ำมันเชื้อเพลิงจำนวน 8,418 บาทต่อเดือนหรือวันละ 280.60 บาทต่อวัน

ซึ่งคิดเป็น 24.22% ของค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการขนส่ง ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนนี้มีผลโดยตรงมาจากระยะทางการขนส่งที่สูง หากสามารถลดระยะทางการขนส่งลงจะทำให้ค่าใช้จ่ายส่วนนี้ลดลง

4.3 ผลการทดสอบตัวแบบคณิตศาสตร์ด้วยวิธีฮิวริสติก

หลังจากผู้วิจัยได้สร้างตัวแบบคณิตศาสตร์เสร็จสิ้น ก็เข้าสู่กระบวนการการทดสอบตัวแบบคณิตศาสตร์และในการทดสอบครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดจำนวนสินค้าขึ้นบนยานพาหนะ โดยทำการทดสอบตามนโยบายที่กำหนดจำนวน 2 นโยบาย ดังนี้

4.3.1 นโยบายที่ 1 กำหนดจากความต้องการโดยเฉลี่ยของลูกค้าแต่ละราย ดังแสดงในตารางที่ ก.1 โดยเก็บข้อมูลความต้องการของลูกค้าแต่ละรายจำนวน 1 เดือน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยที่เป็นจำนวนเต็ม (Integer) ผู้วิจัยกำหนดการปัดจุดทศนิยมที่ได้จากค่าเฉลี่ยคือ ถ้าจุดทศนิยมระหว่าง 0.1-0.4 จะปัดลงและถ้าจุดทศนิยมระหว่าง 0.5-0.9 จะปัดขึ้น จากนั้นนำมากำหนดความจุรถแต่ละคันที่จะบรรทุกขึ้นบนยานพาหนะเพื่อให้มีค่าใช้จ่ายที่จากการบรรทุกสินค้าไปส่งลูกค้าแล้วเกิดกรณีสินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) หรือสินค้าเกินความต้องการ (Overload cost) เกิดขึ้นน้อยที่สุด การทดสอบนี้ผู้วิจัยได้กำหนดจำนวนรอบการคำนวณออกเป็น 4 ระดับ คือ 50 รอบ 100 รอบ 150 รอบ และ 200 รอบ

ตารางที่ 4.3 การทดสอบระดับที่ 1 จำนวน 50 รอบ

การทดสอบจำนวน 50 รอบครั้งที่ 1 (จำนวนรอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 25)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-5-6-8-9-10-7-30-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-27-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-3-4-11-7-5-9-10-8-6-30-1-0			94	18.08
4	2	0 -2 -28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-27-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.59

ตารางที่ 4.3 การทดสอบระดับที่ 1 จำนวน 50 รอบ (ต่อ)

การทดสอบจำนวน 50 รอบครั้งที่ 2 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 12)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-30-7-5-9-10-8-6-4-3-2-1-0	119	25		18.07
2	1	0 -29-27-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-3-4-11-7-5-9-10-8-6-30-1-0			94	18.08
4	2	0-2-28-27-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-26-23-22-24-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.60
การทดสอบจำนวน 50 รอบครั้งที่ 3 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 2)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-307-10-9-8-6-5-4-3-2-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-28-24-26-23-22-27-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-3-4-11-7-10-9-8-6-5-30-1-0			94	18.07
4	2	0-2-28-27-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-26-23-22-24-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.58

ตารางที่ 4.3 การทดสอบระดับที่ 1 จำนวน 50 รอบ (ต่อ)

การทดสอบจำนวน 50 รอบครั้งที่ 4 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 5)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-3-4-7-5-8-9-10-6-30-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-28-24-26-23-27-25-21-22-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.35
3	2	0-30-5-6-8-9-10-7-11-4-1-0			92	18.07
4	2	0-3-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-27-22-23-26-24-28-29-2-0			98	23.30
		รวม	221	65	190	82.78
การทดสอบจำนวน 50 รอบครั้งที่ 5 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 47)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-6-8-10-9-5-7-30-1-0	119	25		18.07
2	1	0-29-28-27-23-22-24-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.30
3	2	0-30-6-8-10-9-5-7-11-4-1-0			92	18.08
4	2	0-3-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-26-24-22-23-27-28-29-2-0			98	23.35
			221	65	190	82.80

ตารางที่ 4.4 การทดสอบระดับที่ 2 จำนวน 100 รอบ

การทดสอบจำนวน 100 รอบครั้งที่ 1 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 85)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-30-7-5-9-10-8-6-4-3-2-1-0	119	25		18.07
2	1	0 -29-28-24-26-23-22-27-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-5-6-8-9-10-7-11-4-3-1-0			92	18.37
4	2	0-30-28-27-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-26-23-22-24-29-0			98	23.05
			221	65	190	82.74
การทดสอบจำนวน 100 รอบครั้งที่ 2(รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 90)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-30-7-5-9-10-8-6-5-4-3-2-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-28-24-26-23-22-27-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-4-11-7-0-9-8-6-5-30-1-0			92	18.07
4	2	0-3-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-27-22-23-26-24-28-29-2-0			98	23.30
		รวม	221	65	190	82.68

ตารางที่ 4.4 การทดสอบระดับที่ 2 จำนวน 100 รอบ (ต่อ)

การทดสอบจำนวน 100 รอบครั้งที่ 3 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 97)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-5-6-8-9-10-7-30-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-28-24-26-23-22-27-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-3-4-11-7-10-9-8-6-5-30-1-0			94	18.07
4	2	0-2-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-16-12-27-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.58
การทดสอบจำนวน 100 รอบครั้งที่ 4 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 40)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-6-8-10-9-5-7-30-1-0	119	25		18.07
2	1	0-29-24-28-27-25-26-23-22-20-21-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-30-5-6-8-9-10-7-11-4-1-0			92	18.07
4	2	0-3-12-13-14-15-16-17-18-19-21-20-22-23-26-25-27-28-24-29-2-0			98	23.30
		รวม	221	65	190	82.69

ตารางที่ 4.4 การทดสอบระดับที่ 2 จำนวน 100 รอบ (ต่อ)

การทดสอบจำนวน 100 รอบครั้งที่ 5(จำนวนรอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 60)						
สายส่ง	รถคันที่	การเดินทาง	ความจุ			ระยะทาง
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-5-6-8-9-10-7-30-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-27-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-4-11-7-10-9-8-6-5-30-1-0			92	18.07
4	2	0-3-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-27-22-23-26-24-28-29-2-0			98	23.30
		รวม	221	65	190	82.68

ตารางที่ 4.5 การทดสอบระดับที่ 3 จำนวน 150 รอบ

การทดสอบจำนวน 150 รอบครั้งที่ 1 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 12)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-6-8-10-9-5-7-30-1-0	119	25		18.07
2	1	0-29-24-28-27-25-26-23-22-20-21-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-4-11-7-10-9-8-6-5-30-1-0			92	18.07
4	2	0-3-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-27-22-23-26-24-28-29-2-0			98	23.30
		รวม	221	65	190	82.69
การทดสอบจำนวน 150 รอบครั้งที่ 2 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 2)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-5-6-8-9-10-7-30-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-27-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-3-4-11-7-10-9-8-6-5-30-1-0			94	18.07
4	2	0-2-28-27-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-26-23-22-24-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.58

ตารางที่ 4.5 การทดสอบระดับที่ 3 จำนวน 150 รอบ (ต่อ)

การทดสอบจำนวน 150 รอบครั้งที่ 3 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 65)						
สายส่ง	รถคันที่	การเดินทาง	ความจุ			ระยะทาง
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-30-7-10-9-8-6-5-4-3-2-1-0	119	25		18.06
2	1	0 -29-27-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-4-11-7-10-9-8-6-5-30-3-1-0			94	18.17
4	2	0-2-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-27-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.68
การทดสอบจำนวน 150 รอบครั้งที่ 4 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 47)						
สายส่ง	รถคันที่	การเดินทาง	ความจุ			ระยะทาง
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-30-7-5-9-10-6-8-4-3-2-1-0	119	25		18.13
2	1	0-29-24-28-27-25-26-23-22-20-21-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-30-5-6-8-9-10-7-11-4-1-0			92	18.07
4	2	0-3-12-13-14-15-16-17-18-19-21-20-22-23-26-25-27-28-24-29-2-0			98	23.3
		รวม	221	65	190	82.75

ตารางที่ 4.5 การทดสอบระดับที่ 3 จำนวน 150 รอบ (ต่อ)

การทดสอบจำนวน 150 รอบครั้งที่ 5(จำนวนรอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 124)						
สายส่ง	รถคันที่	การเดินทาง	ความจุ			ระยะทาง
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-6-8-10-9-5-7-30-1-0	119	25		18.07
2	1	0-29-28-24-26-23-22-27-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-3-4-11-8-6-10-9-5-7-30-1-0			94	18.21
4	2	0-2-28-27-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-26-23-22-24-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.73

ตารางที่ 4.6 การทดสอบระดับที่ 4 จำนวน 200 รอบ

การทดสอบจำนวน 200 รอบครั้งที่ 1 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 165)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-6-8-10-9-5-7-30-1-0	119	25		18.07
2	1	0-29-24-2-28-27-25-26-23-22-20-21-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-3-4-11-7-10-9-8-6-5-30-1-0			94	18.07
4	2	0-2-28-27-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-26-22-24-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.59
การทดสอบจำนวน 200 รอบครั้งที่ 2 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 47)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-5-6-8-9-10-7-30-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-28-24-26-23-22-27-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-1-30-6-8-10-9-5-7-11-4-3-0			94	18.08
4	2	0-2-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-27-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.59

ตารางที่ 4.6 การทดสอบระดับที่ 4 จำนวน 200 รอบ (ต่อ)

การทดสอบจำนวน 200 รอบครั้งที่ 3 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 124)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-30-7-10-9-8-6-5-4-3-2-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-28-24-26-23-22-27-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		2 3.25
3	2	0-3-4-11-7-5-9-8-6-5-30-1-0			94	18.07
4	2	0-2-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-13-12-27-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.58
การทดสอบจำนวน 200 รอบครั้งที่ 4 (รอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 140)						
สายส่ง	**รถคันที่**	**การเดินทาง**	**ความจุ**			**ระยะทาง**
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-9-10-8-6-5-7-30-1-0	119	25		18.07
2	1	0-29-27-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-3-4-11-7-10-9-8-6-5-1-0			92	18.07
4	2	0-30-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-27-29-2-0			98	23.55
		รวม	221	65	190	82.94

ตารางที่ 4.6 การทดสอบระดับที่ 4 จำนวน 200 รอบ (ต่อ)

การทดสอบจำนวน 200 รอบครั้งที่ 5(จำนวนรอบที่ดีที่สุดคือ รอบที่ 187)						
สายส่ง	รถคันที่	การเดินทาง	ความจุ			ระยะทาง
			d_1+d_2	d_3	d_4	
1	1	0-2-3-4-5-6-8-9-10-7-30-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-28-27-23-22-24-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.30
3	2	0-3-4-11-7-5-9-10-8-6-30-1-0			94	18.08
4	2	0-2-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-27-29-0			96	23.20
		รวม	221	65	190	82.64

จากตารางที่ 4.3- 4.6 แสดงผลทดสอบทั้ง 4 ระดับจำนวน 50 รอบ 100 รอบ 150 รอบ 200 รอบ พบว่าระยะทางที่ได้จากการทดสอบต่ำสุดคือ 82.58 กิโลเมตร

ตารางที่ 4.7 ผลการจัดเส้นทางยานพาหนะด้วยวิธีฮิวริสติกตามนโยบายที่ 1

สายส่ง	รถคันที่	การเดินทาง	ความจุ			ระยะทาง
			$d_1 + d_2$	d_3	d_4	
1	1	0-30-7-10-9-8-6-5-4-3-2-1-0	119	25		18.06
2	1	0-29-28-24-26-23-22-27-25-21-20-19-18-17-16-15-14-13-12-11-0	102	40		23.25
3	2	0-3-4-11-7-5-9-8-6-5-30-1-0			94	18.07
4	2	0-2-28-24-22-23-26-25-21-20-19-18-17-16-15-13-12-27-29-0			96	23.20
			221	65	190	82.58

จากตารางที่ 4.7 แสดงผลการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะขนส่งน้ำดื่มของโรงงานกรณีศึกษาด้วยวิธีฮิวริสติกตามนโยบายที่ 1 ซึ่งมีจำนวนลูกค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมด 30 ราย รถกระบะบรรทุกสำหรับขนส่งน้ำจำนวน 2 คัน แต่ละคันสามารถส่งสินค้าได้2 รอบ จึงสมมติได้ว่ารถเดินทางหนึ่งรอบให้เป็นรถหนึ่งคัน ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้รถหนึ่งคันส่งสินค้าได้ไม่เกินวันละ 2 รอบ ดังนั้นในการหาคำตอบจึงสามารถกำหนดให้มีรถ 4 คันได้ ในการหาคำตอบนี้จะกำหนดให้มีจำนวนรอบของการส่งสินค้าได้สูงสุด 4 รอบ ความจุในการบรรทุกของรถแต่ละคันมีค่าสูงสุดของความจุของรถแต่ละคัน ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน กระบวนการทำงานของฮิวริสติกแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible solution) และปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Improvement solution phase) ในระยะที่สอง ผลการทดสอบพบว่าวิธีฮิวริสติกให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี สามารถลดระยะทางขนส่งรวมจากเดิม 95.57 กิโลเมตรต่อวัน ลดลงเหลือ 82.58 กิโลเมตรต่อวัน การทดสอบฮิวริสติกตามนโยบายที่ 1 ผู้วิจัยพิจารณาความจุที่ได้จากการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณตามนโยบาย มาเปรียบเทียบกับความจุที่ได้จากการเก็บข้อมูลใหม่อีกครั้งจำนวน 2 วัน คือวันที่ 7 - 8 ธันวาคม 2553 ซึ่งหลังจากเก็บข้อมูลพบว่าจำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้ามากกว่าเดิมตามตารางที่ 4.6 โดยเปรียบเทียบค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของสายส่งแต่ละเส้นทางแล้วคำนวณหาค่าโทษ (Penalty cost) ซึ่งพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีการเกิด

สินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) และกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost) ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นตามนโยบายดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมจากผลการจัดเส้นทางตามนโยบายที่ 1 กับการเก็บข้อมูลใหม่

วันที่ 7 ธันวาคม 2553													
สายส่ง	ระยะทาง (กม.)	ค่าน้ำมัน (บาท)	ข้อมูลความจุ						จำนวนที่แตกต่าง		ค่าโทษ (บาท)		ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
			d_1+d_2		d_3		d_4						
			เดิม	ใหม่	เดิม	ใหม่	เดิม	ใหม่	ขาด	เกิน	S.t.	O.v.	
1	18.06	57.80	119	117	25	25			-	2	-	0.0088	57.8088
2	23.25	74.40	102	100	40	40			-		-	-	74.4088
3	18.07	57.82					94	92	-	2	-	0.0070	57.8207
4	23.20	74.24					96	96	-	-	-	-	74.24
รวม	82.58	264.24	221	217	65	65	190	188		4	0.0158		264.2783
วันที่ 8ธันวาคม 2553													
สายส่ง	ระยะทาง (กม.)	ค่าน้ำมัน (บาท)	ข้อมูลความจุ						จำนวนที่แตกต่าง		ค่าโทษ (บาท)		ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
			d_1+d_2		$d3$		d_4						
			เดิม	ใหม่	เดิม	ใหม่	เดิม	ใหม่	ขาด	เกิน	S.t.	O.v.	
1	18.06	57.80	119	116	25	24			-	5	-	0.0014	57.8014
2	23.25	74.40	102	100	40	39			-	3	-	0.0010	74.4010
3	18.07	57.82					94	93	-	1	-	0.00035	57.82035
4	23.20	74.24					96	95	-	1	-	0.0003	74.24035
รวม	82.58	264.24	221	216	65	63	190	188		10	-	0.0055	264.2631

จากตารางที่ 4.8 แสดงได้ว่าหลังจากการจัดเส้นทางยานพาหนะด้วยวิธีฮิวริสติกแล้วนำไปเปรียบกับข้อมูลใหม่ของโรงงานกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้กำหนดจุดทศนิยมของค่าใช้จ่ายจำนวน 2 ตำแหน่ง ในการสรุปทุกผลการทดสอบ เพื่อให้ง่ายต่อการบันทึกข้อมูล ผลการทดสอบพบว่าสามารถลดระยะทางรวมจากเดิม 95.57 กิโลเมตรต่อวัน ลดลงเหลือ 82.58กิโลเมตรต่อวันมีสายส่งเกิดขึ้น 4 เส้นทาง และเมื่อพิจารณาถึงค่าโทษ (Penalty cost) ที่เกิดขึ้นพบว่าวันที่ 7 ธันวาคม 2553 ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าโทษเกิดขึ้น จำนวน 0.02 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจาก 280.60บาทต่อวัน เหลือ 241.40 บาทต่อวัน ซึ่งลดลงจำนวน 39.18 บาทหรือคิดเป็น 14 % ของค่า

น้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนวันที่ 8 ธันวาคม 2553 ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าโทษเกิดขึ้นจำนวน 0.01 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจาก 280.60 บาทต่อวัน เหลือ 241.40 บาทต่อวัน ซึ่งลดลงจำนวน 39.19 บาทต่อวันหรือคิดเป็น 14 % ของค่าน้ำมันเชื้อเพลิง

4.3.2 นโยบายที่ 2 กำหนดจากการให้น้ำหนักของความต้องการต่ำสุดและความต้องการสูงสุดของลูกค้าแต่ละราย โดยนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาจำนวน 1 เดือน ตามตารางที่ ก.1 มาคำนวณหาจำนวนสินค้าของลูกค้าแต่ละรายที่บรรทุกบนยานพาหนะ ตามสมการที่ 3.11 จากบทที่ 3 การทดสอบนี้ผู้วิจัยได้กำหนดน้ำหนักความต้องการสูงสุดของลูกค้า (μ) และน้ำหนักความต้องการต่ำสุดของลูกค้า $(1-\mu)$ ออกเป็น 4 ระดับ รายละเอียดการดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.9 ระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุดและต่ำสุดของลูกค้า

ระดับน้ำหนักที่	น้ำหนักความต้องการสูงสุด (μ)	น้ำหนักความต้องการต่ำสุด $(1-\mu)$
1	0.2	0.8
2	0.4	0.6
3	0.6	0.4
4	0.8	0.2

กระบวนการทดสอบตัวแบบคณิตศาสตร์นี้ในแต่ละรอบการทดสอบของแต่ละระดับ ผู้วิจัยกำหนดจำนวนครั้งของการทดสอบออกเป็น 4 ระดับละ คือ 50 รอบ 100 รอบ 150 รอบ และ 200 รอบ และกำหนดแต่ละระดับจะทดสอบจำนวน 5 ครั้ง ตามน้ำหนัก ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบตามระดับน้ำหนัก การทดสอบระดับที่ 1 จำนวน 50 รอบ

จำนวน 50 รอบ ครั้งที่ 1				
ระดับน้ำหนัก	**ระยะทาง(กม)**	**ความจุ**		
		d_1+d_2	$d3$	$d4$
(μ) = 0.2	82.47	176	53	167
(μ) = 0.4	82.89	208	64	184
(μ) = 0.6	107.72	236	82	212
(μ) = 0.8	117.64	271	103	236
	จำนวน 50 รอบ ครั้งที่ 2			
(μ) = 0.2	82.60	176	53	167
(μ) = 0.4	82.87	208	64	184
(μ) = 0.6	107.49	236	82	212
(μ) = 0.8	117.54	271	103	236
	จำนวน 50 รอบ ครั้งที่ 3			
(μ) = 0.2	82.25	176	53	167
(μ) = 0.4	82.80	208	64	184
(μ) = 0.6	107.82	236	82	212
(μ) = 0.8	117.51	271	103	236
	จำนวน 50 รอบ ครั้งที่ 4			
(μ) = 0.2	82.54	176	53	167
(μ) = 0.4	82.58	208	64	184
(μ) = 0.6	107.41	236	82	212
(μ) = 0.8	117.39	271	103	236
	จำนวน 50 รอบ ครั้งที่ 5			
(μ) = 0.2	82.29	176	53	167
(μ) = 0.4	82.75	208	64	184
(μ) = 0.6	107.26	236	82	212
(μ) = 0.8	117.46	271	103	236

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบตามระดับน้ำหนัก การทดสอบระดับที่ 2 จำนวน 100 รอบ

จำนวน 100 รอบ ครั้งที่ 1				
ระดับน้ำหนัก	ระยะทาง(กม)	ความจุ		
		d_1+d_2	$d3$	$d4$
(μ) = 0.2	82.78	176	53	167
(μ) = 0.4	82.64	208	64	184
(μ) = 0.6	107.84	236	82	212
(μ) = 0.8	117.84	271	103	236
	จำนวน 100 รอบ ครั้งที่ 2			
(μ) = 0.2	82.53	176	53	167
(μ) = 0.4	82.58	208	64	184
(μ) = 0.6	107.65	236	82	212
(μ) = 0.8	117.49	271	103	236
	จำนวน 100 รอบ ครั้งที่ 3			
(μ) = 0.2	82.25	176	53	167
(μ) = 0.4	82.82	208	64	184
(μ) = 0.6	107.62	236	82	212
(μ) = 0.8	117.54	271	103	236
	จำนวน 100 รอบ ครั้งที่ 4			
(μ) = 0.2	82.54	176	53	167
(μ) = 0.4	82.74	208	64	184
(μ) = 0.6	107.68	236	82	212
(μ) = 0.8	117.39	271	103	236
	จำนวน 100 รอบ ครั้งที่ 5			
(μ) = 0.2	82.29	176	53	167
(μ) = 0.4	82.59	208	64	184
(μ) = 0.6	107.84	236	82	212
(μ) = 0.8	117.58	271	103	236

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบตามระดับน้ำหนัก การทดสอบระดับที่ 3 จำนวน 150 รอบ

จำนวน 150 รอบ ครั้งที่ 1				
ระดับน้ำหนัก	**ระยะทาง(กม)**	**ความจุ**		
		d_1+d_2	$d3$	$d4$
(μ) = 0.2	82.52	176	53	167
(μ) = 0.4	82.73	208	64	184
(μ) = 0.6	107.24	236	82	212
(μ) = 0.8	117.68	271	103	236
	จำนวน 150 รอบ ครั้งที่ 2			
(μ) = 0.2	82.30	176	53	167
(μ) = 0.4	82.69	208	64	184
(μ) = 0.6	107.52	236	82	212
(μ) = 0.8	117.49	271	103	236
	จำนวน 150 รอบ ครั้งที่ 3			
(μ) = 0.2	82.41	176	53	167
(μ) = 0.4	82.48	208	64	184
(μ) = 0.6	107.29	236	82	212
(μ) = 0.8	117.82	271	103	236
	จำนวน 150 รอบ ครั้งที่ 4			
(μ) = 0.2	82.54	176	53	167
(μ) = 0.4	82.73	208	64	184
(μ) = 0.6	107.58	236	82	212
(μ) = 0.8	117.56	271	103	236
	จำนวน 150 รอบ ครั้งที่ 5			
(μ) = 0.2	82.31	176	53	167
(μ) = 0.4	82.75	208	64	184
(μ) = 0.6	107.69	236	82	212
(μ) = 0.8	117.62	271	103	236

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบตามระดับน้ำหนัก การทดสอบระดับที่ 4 จำนวน 200 รอบ

จำนวน 200 รอบ ครั้งที่ 1				
ระดับน้ำหนัก	ระยะทาง(กม)	ความจุ		
		d_1+d_2	$d3$	$d4$
(μ) = 0.2	82.22	176	53	167
(μ) = 0.4	82.80	208	64	184
(μ) = 0.6	107.65	236	82	212
(μ) = 0.8	117.52	271	103	236
	จำนวน 200 รอบ ครั้งที่ 2			
(μ) = 0.2	82.38	176	53	167
(μ) = 0.4	82.59	208	64	184
(μ) = 0.6	107.27	236	82	212
(μ) = 0.8	117.38	271	103	236
	จำนวน 200 รอบ ครั้งที่ 3			
(μ) = 0.2	82.37	176	53	167
(μ) = 0.4	82.87	208	64	184
(μ) = 0.6	107.79	236	82	212
(μ) = 0.8	117.42	271	103	236
	จำนวน 200 รอบ ครั้งที่ 4			
(μ) = 0.2	82.26	176	53	167
(μ) = 0.4	82.59	208	64	184
(μ) = 0.6	107.67	236	82	212
(μ) = 0.8	117.52	271	103	236
	จำนวน 200 รอบ ครั้งที่ 5			
(μ) = 0.2	82.51	176	53	167
(μ) = 0.4	82.65	208	64	184
(μ) = 0.6	108.10	236	82	212
(μ) = 0.8	117.54	271	103	236

จากตารางที่ 4.11-4.13 ผลการทดสอบที่มีระยะทางต่ำสุดคือการทดสอบจำนวน 200 รอบ ทดสอบครั้งที่ 1 ได้ระยะทางต่ำที่สุดคือ 82.22 กิโลเมตร

ตารางที่ 4.14 ผลการจัดเส้นทางยานพาหนะด้วยวิธีฮิวริสติกตามนโยบายที่ 2

สายส่ง	รถคันที่	การเดินทาง	ระยะทาง(กม.)	ความจุ			ระยะทาง
				$d_1 + d_2$	d_3	d_4	
1	1	0-30-5-9-10-6-8-4-3-1-0	17.85	80	16		41.11
2	1	0-2-29-28-27-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-26-23-22-27-7-11-0	23.26	96	37		
3	2	0-30-5-9-10-6-8-4-3-1-0	17.85			67	41.11
4	2	0-2-29-28-27-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-25-26-23-22-27-7-11-0	23.26			100	
รวม			82.22	176	53	167	82.22

ตารางที่ 4.15 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมจากผลการจัดเส้นทางตามนโยบายที่ 2 กับการเก็บข้อมูลใหม่

วันที่ 7 ธันวาคม 2553													
สายส่ง	ระยะทาง (กม.)	ค่าน้ำมัน (บาท)	ข้อมูลความจุ						จำนวนที่แตกต่าง		ค่าโทษ (บาท)		ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
			d_1+d_2		d_3		d_4						
			เดิม	ใหม่	เดิม	ใหม่	เดิม	ใหม่	ขาด	เกิน	S.t.	O.v.	
1	17.85	47.60	80	117	16	25	-	-	46	-	690	-	737.60
2	23.26	62.03	96	100	37	40	-	-	7	-	105	-	167.03
3	17.85	57.12	-	-	-	-	78	92	14	-	70	-	127.12
4	23.26	74.43	-	-	-	-	98	96	2	-	10	-	84.43
รวม	82.22	241.18	176	217	3	65	176	188	69	-	875		1,116.18
วันที่ 8 ธันวาคม 2553													
สายส่ง	ระยะทาง (กม.)	ค่าน้ำมัน (บาท)	ข้อมูลความจุ						จำนวนที่แตกต่าง		ค่าโทษ (บาท)		ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
			d_1+d_2		$d3$		d_4						
			เดิม	ใหม่	เดิม	ใหม่	เดิม	ใหม่	ขาด	เกิน	S.t.	O.v.	
1	17.85	47.60	80	116	16	24	-	-	44	-	660	-	189.12
2	23.26	62.03	96	100	37	39	-	-	6	-	90	-	92.43
3	17.85	57.12	-	-	-	-	78	93	15	-	75	-	132.12
4	23.26	74.43	-	-	-	-	98	95	3	-	15	-	89.43
รวม	82.22	241.18	176	216	53	63	176	188			786		503.10

การทดสอบฮิวริสติกตามนโยบายที่ 2 ผู้วิจัยจะนำผลลัพธ์ระยะทางรวมต่ำสุดที่ได้จากการทดสอบตามระดับน้ำหนักความต้องการทุกระดับมาคำนวณหาค่าโทษ (Penalty cost) แล้วเปรียบระยะทางการขนส่งของโรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง โดยผู้วิจัยเก็บข้อมูลอีกครั้งจำนวน 2 วัน ตามภาคผนวก ข.1 จากนั้นคำนวณเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ได้ โดยพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีการเกิดสินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) และกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost) ดังแสดงในตารางที่ 4.15

จากตารางที่ 4.15 แสดงผลการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งน้ำดื่ม น้ำแข็ง ของโรงงานกรณีศึกษาด้วยวิธีฮิวริสติกตามนโยบายที่ 2 ซึ่งมีจำนวนลูกค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมด 30 ราย กระบวนการทำงานของฮิวริสติกแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกเป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible solution)

และปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Improvement solution phase) ในระยะที่สอง ผู้วิจัยได้กำหนดจุดทศนิยมของค่าใช้จ่ายจำนวน 2 ตำแหน่ง เพื่อให้ง่ายต่อการบันทึกข้อมูล ผลการทดสอบพบว่า การจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติก มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดซึ่งได้จากการคำนวณ 50 รอบ 100 รอบ 150 รอบ และ200 รอบ คำนวณระดับละ 5 ครั้ง ระดับความต้องการของลูกค้า (μ) = 0.2 ในการทดสอบระดับที่ 200 รอบครั้งที่ 1 คือได้ระยะทางรวมเท่ากับ 82.22 กิโลเมตร สามารถลดค่าใช้จ่ายจากน้ำมันเชื้อเพลิงจาก 8,418บาทต่อเดือน ลดลงเหลือ 7,235.36 บาทต่อเดือน แต่มีค่าโทษที่สูงมากเช่นวันที่ 7 ธ.ค.54 มีค่าโทษสูงถึงวันละ 843 บาท หรือเดือนละ 25,290 บาท ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงมากกว่าค่าใช้จ่ายที่ลดลงส่วนน้ำหนัก (μ) = 0.4 ก็มีระยะทางลดลงน้อยมากและยังมีสินค้าที่ขาด และมีค่าใช้จ่ายรวมมากกว่าค่าใช้จ่ายที่ลดลง ส่วน (μ) = 0.6 และ (μ) = 0.8 ต้องใช้รถเพิ่มอีก 1 คัน และมีระยะทางเพิ่มอีก 1 เส้นทางผู้วิจัยจึงเลือกนโยบายที่ 1 เพื่อใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถต่อไป

4.4 สรุปผลการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางยานพาหนะด้วยวิธีฮิวริสติกกับโรงงานกรณีศึกษา

การทดสอบประสิทธิภาพฮิวริสติก ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลระยะทางการเดินทางของเส้นทางการขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกกับระยะทางการเดินทางของเส้นทางการขนส่งของโรงงานกรณีศึกษา โดยกระบวนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอนี้ทำการเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Dev-C++ 4 และทดสอบบนคอมพิวเตอร์ส่วนตัว(Personal computer; PC) หน่วยประมวลผลกลาง Pentium [R] 4 CPU 3.06 GHz หน่วยความจำ 256 MB และทำงานบนโปรแกรมระบบปฏิบัติการ Windows XP โดยทำการทดสอบปัญหา ซึ่งโรงงานกรณีศึกษามีลูกค้าทั้งหมด 30 ราย รถกระบะบรรทุกสำหรับขนส่งน้ำดื่ม- น้ำแข็ง จำนวน 2 คัน แต่ละคันสามารถส่งสินค้าได้หลายๆ รอบ จึงสมมติได้ว่า รถเดินทางหนึ่งรอบให้เป็นรถหนึ่งคัน ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้รถหนึ่งคันส่งสินค้าได้ไม่เกินวันละ 2 รอบ ดังนั้นในการหาคำตอบจึงสามารถกำหนดให้มีรถ 4 คันได้ ในการหาคำตอบนี้จะกำหนดให้มีจำนวนรอบของการส่งสินค้าได้สูงสุด 4 รอบ ความจุในการบรรทุกของรถแต่ละคันมีค่าสูงสุดตามค่าความจุที่โรงงานกำหนด ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ผลการทดสอบพบว่าค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นตามนโยบายที่ 1 (บรรทุกสินค้าตามความต้องการเฉลี่ยของลูกค้า) ลดลงและมีค่าโทษที่น้อยมากและเหมาะสมในการนำไปใช้ปรับเส้นทางการเดินรถต่อไป

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาและพัฒนาประยุกต์ใช้วิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedures; GRASP สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง ภายใต้เงื่อนไขความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ขนาดการบรรทุกจำกัด ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์สำหรับการแก้ปัญหาดังกล่าวให้มีประสิทธิภาพของฮิวริสติกอยู่ในเกณฑ์ที่ดีและใช้ระยะเวลาประมวลผลที่เหมาะสม ซึ่งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจัดเส้นทางโดยวิธีฮิวริสติกกับการจัดเส้นทางแบบเดิมของโรงงานกรณีศึกษา โดยกระบวนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอนี้ทำการเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Dev-C++ 4 และทดสอบบนคอมพิวเตอร์ส่วนตัว (Personal computer; PC) หน่วยประมวลผลกลาง Pentium [R]4 CPU 3.06 GHz หน่วยความจำ 256 MB และทำงานบนโปรแกรมระบบปฏิบัติการ Windows XP โดยทำการทดสอบปัญหากับโรงงานกรณีศึกษาซึ่งมีลูกค้าทั้งหมด 30 ราย รถกระบะบรรทุกสำหรับขนส่งน้ำจำนวน 2 คัน แต่ละคันสามารถส่งสินค้าได้หลายๆ รอบ จึงสมมติได้ว่า รถเดินทางหนึ่งรอบให้เป็นรถหนึ่งคัน ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้รถหนึ่งคันส่งสินค้าได้ไม่เกินวันละ 4 รอบ ดังนั้นในการหาคำตอบจึงสามารถกำหนดให้มีรถ 4 คันได้ ในการหาคำตอบนี้จะกำหนดให้มีจำนวนรอบของการส่งสินค้าได้สูงสุด 4 รอบ ความจุในการบรรทุกของรถแต่ละคันมีค่าสูงสุดจำนวน ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน กำหนดรอบการหาคำตอบด้วยวิธี GRASP กระบวนการทำงานของฮิวริสติกแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible solution) โดยใช้ฮิวริสติกการแทรก (Insertion heuristic) สร้างเส้นทางเริ่มต้น จากนั้นใช้ฮิวริสติก 2-opt ปรับปรุงเส้นทางและปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการย้ายตำแหน่งลูกค้า 1 ราย (One move operator) และวิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า (Exchanges customer) ในระยะที่สอง ผลการวิจัยพบว่าควรเลือกนโยบายที่ 1เพื่อใช้ในการปรับปรุงเส้นทางใหม่ เพราะมีค่าใช้จ่ายลดลง มากที่สุด เช่นสุ่มเก็บข้อมูลใหม่ในวันที่ 7 และ 8 ธันวาคม 2553 พบว่า วันที่ 7 ธันวาคม 2553 ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าโทษเกิดขึ้นจำนวน 0.02 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจาก 280.60 บาทต่อวันเหลือ 241.40บาทต่อวัน ซึ่งลดลงจำนวน 39.20 บาทต่อวัน ถ้าหากคิดเป็นเดือนจะมีค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากเดิม 8,418บาทต่อเดือน เหลือ 7235.36 บาทต่อเดือน ลดลง 1,182.64 บาทต่อเดือน คิดเป็น 14 % ส่วนวันที่

8 ธันวาคม 2553 ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าโทษเกิดขึ้นจำนวน 0.02 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจาก 280.60 บาทต่อวัน เหลือ 241.40 บาทต่อวัน ซึ่งลดลงจำนวน 39.20 บาทต่อวัน ถ้าหากคิดเป็นเดือนจะมีค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากเดิม 8,418 บาทต่อเดือน ลดลงเหลือ 7,235.36 บาทต่อเดือน ลดลง 1,182.64 บาทต่อเดือน คิดเป็น 14 %

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางของการวิจัยในอนาคต

สำหรับงานวิจัยที่ควรจะทำการศึกษาและพัฒนาสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง ภายใต้เงื่อนไขความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ในอนาคตควรจะมุ่งเน้นทำการศึกษาในหัวข้อต่างๆ ดังนี้

5.2.1.1 ควรศึกษาถึงการลดต้นทุนเกี่ยวกับการขนส่งทั้งระบบโลจิสติกส์ เพื่อให้สามารถลดต้นทุนได้มากที่สุด

5.2.1.2 ใช้ฮิวริสติกวิธีต่างๆ ที่ประสิทธิภาพสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง เช่น วิธี Ant system, Genetic algorithm: GA เป็นต้น

5.2.1.3 ควรใช้เทคนิคการจำลองแบบปัญหา (Simulation) ในการแก้ปัญหา ซึ่งจะมีการทดสอบหลายนโยบาย โดยทำการเปลี่ยนปริมาณสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย

5.2.1.4 พิจารณาสร้างรูปไแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi objective functions) เพื่อให้สามารถใช้ค่าระยะทางและความต้องการสินค้าของลูกค้าที่มีความไม่แน่นอน ในการจัดเส้นทางการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

การท่าเรือแห่งประเทศไทย. การบริหารต้นทุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง. http://www1.port.co.th/knowledge/logistics/logistics2.html. 12 กรกฎาคม, 2550

กัญชลา สุคตาชาติ. (2550). "ไดนามิกโปรแกรมมิงสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งที่ทำให้เวลาเฉลี่ยอยู่ในระบบน้อยที่สุด เมื่อเวลาพร้อมในการส่งสินค้าของลูกค้าไม่เท่ากัน", การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. โรงแรม Royal Phuket City จังหวัดภูเก็ต 24 - 26 ตุลาคม, 2550.

กฤษฎา จำรัส, ประวิทย์ วโนทยาโรจน์ และวีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์. (2546). การปรับปรุงประสิทธิภาพการขนส่งและกระจายสินค้าของวิสาหกิจอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดย่อมในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (กรณีศึกษาโรงงานขนมปังและเบเกอรี่). วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ, ศลิษา ภมรสถิต และจักรกฤษณ์ ดวงพัสตรา. (2544). การจัดการโลจิสติกส์. กรุงเทพมหานคร : แมครอ-ฮิลอินเตอร์เนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์, อิงค์.

จตุรวิทย์ กล่อมใจขาว. (2545). การพัฒนาระบบช่วยการตัดสินใจของปัญหาการหาเส้นทางการเดินรถ กรณีศึกษา บริษัทขนส่งพัสดุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยมหิดล.

เชฎฐา ชำนาญหล่อ และศุภชัย ปทุมนากุล. (2546). การจัดสรรรถบรรทุกขนส่งอ้อยสำหรับเขตพื้นที่เพาะปลูกอ้อย เมื่อสามารถปรับเปลี่ยนปริมาณการตัดอ้อยในแต่ละเดือนได้. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชยธัช เผือกสามัญ และปวีณา เชาวลิตวงศ์. (2546). ฮิวริสติกสำหรับปัญหาเรื่องการเดินทางของพนักงานขายที่มีทั้งการรับและส่งมอบสินค้า. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยยา นุรักษ์เข. (2541). การเส้นทางขนส่งขนมในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล กรณีศึกษา : ห้าง โอ ซี ซัพพลาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ณกร อินทร์พยุง. (2548). การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ธีระศักดิ์ ชุมละออ, เจริญชัย โขมพัตราภรณ์ และอัษฎา จิระประยุกต์เลิศ. (2549). "วิธีฮิวริสติกเพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งสำหรับรถที่มีความจุจำกัดในปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบมีกรอบเวลา" การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงาน. โรงแรมหลุยส์ แทเวิร์น หลักสี่ กรุงเทพฯ : 31 สิงหาคม - 1 กันยายน, 2549.

บุริม นิลแป้น และพงษ์ชัย จิตตะมัย. (2550). "การวางแผนการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลอย่างมีประสิทธิภาพ", การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. โรงแรม Royal Phuket City จังหวัดภูเก็ต 24 - 26 ตุลาคม, 2550.

พงศ์พัฒน์ โตตระกูล, ปวีณา เชาวลิตวงศ์ และวิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ. (2547). "การค้นหาคำตอบแบบฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเวชภัณฑ์ในระบบการกระจายเวชภัณฑ์ของโรงพยาบาล", การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. โรงแรมดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่ 20 – 22 ตุลาคม, 2547.

วีรพัฒน์ เศรษฐ์สมบูรณ์, ศุภกฤษฎิ์ ช่วยชูหนู และวิเรขา มีแหยม. (2547). "การหาเส้นทางและจำนวนยานยนต์ที่เหมาะสมเพื่อลดค่าใช้จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงในการขนส่งและกระจายสินค้า", การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. โรงแรมดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่ 20 – 22 ตุลาคม, 2547.

สิทธิศักดิ์ เตชะเมธีกุล และพรเทพ อนุสสรนิติสาร. (2549). "การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์แบบคู่ขนานในการค้นหาทาบู", การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงาน. โรงแรมหลุยส์ แทเวิร์น หลักสี่ กรุงเทพฯ 31 สิงหาคม - 1 กันยายน, 2549.

สุพรรณ สุดสนธิ์ และคณะ. (2550). "วิธีอาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบสำหรับปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางการขนส่ง", การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. โรงแรม Royal Phuket City จังหวัดภูเก็ต 24 - 26 ตุลาคม, 2550.

สุพรรณ สุดสนธิ์ และสมบัติ สินธุเชาวน์. (2549). "การประยุกต์วิธีการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในภาคธุรกิจการขนส่งและลอจิสติกส์", การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล กรุงเทพฯ 17 - 19 ธันวาคม, 2549.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สุรพงษ์ ศิริกุลวัฒนา. (2548). "การแก้ปัญหาการออกแบบเครือข่ายเพื่อความอยู่รอดด้วยวิธี GRASPW", การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงาน. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ กรุงเทพฯ 1 - 2 กันยายน, 2548.

อรรถพล สมุทคุปติ์ และคมกฤต เล็กสกุล. (2547). "การจัดเส้นทางการขนส่งและกระจายสินค้า", การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. โรงแรมดวงตะวัน จังหวัดเชียงใหม่ 20 – 22 ตุลาคม, 2547.

นิรันด์ นามสมมุติ (2551). วิธีฮิวริสติก GRASP สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

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

Bentley, J.L. (1992). "Fast algorithm for geometric traveling salesman problem", ORSA Journal on computing. 4: 387 - 411.

Bianchi, L. and et al. (2004). The 8th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN VIII) will be held in Birmingham. 18 - 22 September, 2004.

Binato, S. and et al. (2002). A GRASP for job shop scheduling. Essays and surveys on Metaheuristics Kluwer Academic Publishers. pp. 58 - 79.

Blasum, U. and Hochstattle, W. (2002). Application of the Branch and Cut Method to the Vehicle Routing Problem. Universitat zu Koln.

Bodin, L. and Golden B. (1981). "Classification in vehicle routing and scheduling", Network. 11: 97 - 108.

Bodin, L. and et al. (1983). "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews", Computers & Operations Research. 10(2): 67 - 211.

Boudia, M., Ould louly, M. and Prins, C. (2005). GRASP for the combined optimization of production and distribution. The sixth meta heuristics international conference. Vienna Austria 22 - 26 August, 2005.

Braysy, O. (2001). "Genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows", Special issue on Bioinformatics and Genetic algorithm.
http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-JSJC200608076.htm. January, 2011.as

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Cano, J.R. and et al. (2002). A GRASP algorithm for clustering. IBERRAMIA 2002. 8th Ibero-American Conference on AI Seville Spain. 214 - 223.

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

Corbera'n, A., Marti, R. and Sanchis, J.M. (2002). "A GRASP heuristic for the mixed Chinese postman problem", European Journal of Operational Research. 142: 70 - 80.

Cordeau, J. and Laporte, G. (2002). Tabu search heuristics for the vehicle routing problem. Canada research chair in distribution management and GREAD.

Christofides, N. (1976). "The vehicle routing problem", RAIRO. 10: 55 - 70.

_____. (1985). "Vehicle routing", Lawler, E.L. and et al. eds. The Traveling Salesman Problem. U.K: John Wiley and Sons Chichester.

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

Danusaputro, S., Lee, C. and Martin-Vega, L. (1990). "An Efficient Algorithm for Drilling Printed Circuit Boards", Computers and Industrial Engineering. 18: 145 - 151.

Feo, T. and Resende ,M. (1995). "Greedy randomized adaptive search procedure", Journal of Global Optimization. 6: 109 - 133.

Filipec, M., Skrlec, D. and Krajcar, S. (1998). " An efficient implementation of genetic algorithms for constrained vehicle routing problem". International conference. 3: 2231-2236.

Fisher, M. L. (1994). "Optimal solution of vehicle routing problems using minimum K-Trees", Operations Research. 626 - 642.

Gen, M. and Cheng, R. (1997). Genetic algorithms and engineering design. USA: John Wiley & Sons.

Ghiani, G. and Laporte, G. (1999). "Euerian location problems", Networks. 34: 291-302.

Gillett, B. and Miller, L. (1974). "A heuristic algorithm for vehicle dispatch problem", Operations Research. 22: 340 - 349.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

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

Golden, B. and Stewart, W. (1985). Empirical Analysis of Heuristics. In The Traveling Salesman Problem. New York: Wiley-Interscience

Holmes, R.A. and Parker, R.G. (1976). "A Vehicle scheduling procedure based upon saving and solution perturbation scheme", European Journal of Operation Research. 27: 83 - 92.

Karahan, A., Demirel, T. and Demirel, N.C. (2006). "Comparing some method to solve stochastic vehicle routing problem", Proceedings of 5th International Symposium on Intelligent Manufacturing system. 29 - 31 May,

Kontoravdis, G. and Bard, J. (1995). "A GRASP for the vehicle routing problem with time windows", ORSA Journal on computing. 7: 10 - 23.

Laporte, G. and Louveaux, F.A. (1997). "Solving stochastic routing problem with the integer L-Shaped method", Les Cahiers du GERAD. 97 - 25.

Laporte, G. and Nobert, Y. (1981). "An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location", European Journal of Operational Research. 6: 224 - 226.

Laporte, G., Nobert, Y. and Arpin, D. (1986). "An exact algorithm for solving a capacitated location-routing problem", Annals of Operations Research. 6: 293 - 310.

Laporte, G., Nobert, Y. and Pelletier, P., (1983). "Hamiltonian location problems", European Journal of Operational Research. 12:82-89.

Laporte, G., Nobert, Y. and Taillefer, S. (1988). "Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems", Transportation Science. 22: 161 - 172.

Lawler, E.L. and et al. (1987). "The Traveling Salesman Problem ", UK: John Wiley & Sons.

Levy, L. and Bodin, L. (1989). "The arc oriented location routing problem", INFOR 27: 74 - 94.

Lin, S. (1965). "Computer solutions of the traveling salesman problem", The Bell System Technical Journal. 44(11): 2245 - 2269.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Lin, S. and Kemighan, B. W. (1973). "An effective heuristic algorithm for the Traveling Salesman Problem", Operation Research. 21: 498 - 516.

Osman, I. H. (1993a). "Vehicle Routing and Scheduling: Applications Algorithms and Developments", Proceedings of the International Conference on Industrial Logistics, Rennes, France.

Pitakaso, R. and Sindhuchao, S. (2006). "GRASP with iterated local search heuristic for Capacitated P-median problem",Apiems.p.514-520. Bangkok: Intercontinental Hotel.

Resende, M. (1995). "Computing approximate solutions of the maximum covering problem with GRASP", Journal of Heuristics. 4: 161 - 177.

Resende,M. and Pitsoulis, L. (2001) "Greedy randomized adaptive search procedures", AT&T Labs Research Technical Report. www.htt.//Resende.com.January,2011.as

Resende, M. and Ribeiro, C. (2002). " Greedy randomized adaptive search procedures ", AT& Labs Research Technical Report.www.htt.//att en.htm.com . January, 2011.as

_____. (2004). " Parallel greedy randomized adaptive search procedures", AT&T Labs Research Technical Report. www.htt.//att labs.com January, 2011.as

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

Sindhuchao, S. (2005). "A simulated annealing algorithm for an integrated inventory-routing problem", Prooceeding of IE Network National Conference, p.3-5. Bangkok Queen Sirikit National Convention Center.

_____. (2005). "A heuristic for minimizing inventory and transportation costs of a multi-item inventory-routing system", Proceeding of the Operations Research Coorperative Research Network in Thailand (OR-CRN). P.59-66. Bangkok.National Institute of Development Administration (NIDA).

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

_____. (2006). "A Very Large Scale Neighborhood (VLSN) Search Algorithm for an Inventory-Routing Problem", Proceeding of the Operations Research Network of Thailand (OR-NET). P.169-176 .Bangkok. Louis'Taver Hotel.

Sindhuchao, S. and et al. (2003). "A GRASP heuristic for an integrated inventory-routing problem", Proceeding of IE Network Conference. P.741-746. Chiang Mai : Duang Tawan Hotel.

Sodsoon, S. and Sindhuchao, S. (2007). "A Max Min ant system for multi-depot routing problem",. The International Conference on Operation Research and Supply Chain Management. Pp. 1165 - 1174.

Tan, K.C., Lee, L.H. and Zhu, K.Q. (1999). " Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows", Singapore : National University of Singapore.

Thangiah, S.R., Nygard K.E. and Juell, P.L. (1990). "A genetic algorithm system for vehicle routing with time windows", IEEE Conference on Artificial Intelligence Application pp. 115 - 132.

Thangiah, S.R. (1995). "Vehicle routing with time windows using Genetic algorithms", Applications Handbook of Genetic Algorithms: New Frontiers.

www.htt.//Thangiah.com January, 2011.as

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ข้อมูลความต้องการน้ำดื่ม น้ำแข็งของลูกค้า โรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็ง ลานทอง

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลความต้องการน้ำแข็งหลอด(d_1)ของลูกค้า โรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง

รหัสลูกค้า	เดือน ตุลาคม 2553																													Demand เฉลี่ย	q_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
C1	9	10	9	8	9	9	9	8	10	9	9	9	9	9	8	9	9	9	9	9	9	8	10	9	9	9	9	9	9	9	8.96	9
C2	8	8	8	9	7	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	7	9	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	9	8	8.00	8
C3	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10.03	10
C4	6	6	6	6	6	6	8	8	6	6	6	4	4	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6	6	7	6	6	6	6	5.96	
C5	7	7	7	7	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7.06	7
C6	7	7	7	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8	5	7	7	7	7	7	7	7	7.00	7
C7	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	6	7	10	8	8	9	9	9	8.74	9
C8	4	4	5	5	5	5	5	5	7	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.96	5
C9	10	10	10	11	10	11	11	10	10	10	10	10	9	10	10	10	10	10	10	12	10	8	10	10	10	10	10	12	10	8	10.0	10
C10	10	10	10	11	9	9	9	9	10	11	11	11	10	10	10	10	10	10	10	10	11	12	8	8	12	10	10	10	10	10	10.03	10
C11	10	10	10	12	8	7	8	9	12	12	12	12	10	10	10	10	12	10	8	12	10	10	10	10	10	10	8	10	10	10	10.06	10
C12	5	5	5	4	4	4	4	4	2	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	2	5	5	6	4	4	4	4	4	3.96	4
C13	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	3	2	2	2	2	2.06	2
C14	1	1	1	1	0	0	0	0	0	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1.00	1
C15	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	2	2	4	4	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3.00	3
C16	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	2	2	2	3	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2.16	2
C17	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	4	4	4	4	6	5	4	5	5	5	5	5	5	5.10	5
C18	2	2	2	2	2	2	3	3	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.03	2
C19	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.03	2
C20	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.00	2
C21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	0.96	1
C22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.03	1
C23	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	3	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.03	2
C24	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	3	2	2	3	4	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.96	2
C25	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.96	2
C26	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	2	1	2	2	1	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.03	3
C27	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.96	1

รหัสลูกค้า	ชนิดสินค้า น้ำแข็งหลอด(d_1)เดือน ตุลาคม 2553 (ต่อ)																													Demand เฉลี่ย	q_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
C28	2	2	2	3	3	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.00	2
C29	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	2	2	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2.03	2
C30	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.96	2

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลความต้องการน้ำแข็งบด (d_2)

รหัสลูกค้า	เดือน ตุลาคม 2553																														Demand เฉลี่ย	q_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
C1	8	8	8	6	6	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8.06	8
C2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.96	2
C3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.00	2
C4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	3	3	1	1	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	3	3	2	2	1	2.03	2
C5	2	2	2	2	2	2	4	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.93	2
C6	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1.96	2
C7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.06	1
C8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.03	1
C9	12	9	9	9	9	10	10	9	9	9	10	10	12	9	9	9	8	12	12	10	10	10	10	10	10	9	9	9	10	10	9.76	10
C10	5	5	5	5	6	6	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	6	6	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.96	5

C11	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	4	5	5	5	5	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.96	5
C12	3	3	3	3	5	5	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2.96	3
C13	10	10	10	10	9	9	9	9	9	12	12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9	9.90	10
C14	10	10	10	10	11	10	12	8	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	12	10	10	8	11	10	10	10	10.06	10
C15	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	1	0	1.00	1
C16	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1.03	1
C17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	1
C18	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1.70	2
C19	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2.00	2
C20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.96	1
C21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	2	1	1.03	1
C22	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1.06	1

2

รหัสลูกค้า	ข้อมูลความต้องการน้ำแข็งบด (d_j) เดือน ตุลาคม 2553																													Demand เฉลี่ย	q_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
C23	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.10	1
C24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.96	1
C25	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1.96	2
C26	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1.93	2
C27	3	3	3	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	4	4	4	3	3	3	3	3	3	2.90	3
C28	4	4	4	4	4	5	5	5	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4.06	4
C29	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1.93	2
C30	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	0	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.06	1

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลความต้องการน้ำดื่ม 0.6 ลิตร(d_3)ของลูกค้า โรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง

รหัสลูกค้า	เดือน ตุลาคม 2553																														Demand เฉลี่ย	q_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
C1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	3	3	2	2	2	2	2	1.96	2
C2	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	3	3	2	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4.00	4
C3	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	4	4	4	5	5	5	6	7	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.06	5
C4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.90	2
C5	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.96	2
C6	2	2	2	2	2	2	2	4	4	1	1	1	2	2	2	2	2	4	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1.96	2
C7	3	3	3	3	5	5	2	2	1	1	1	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2.93	3
C8	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	5	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.93	2
C9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.11	1
C10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1.03	1
C11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	1
C12	3	2	2	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	2	2	2	2	2	4	3	3	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3.00	3
C13	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2.00	2
C14	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.00	2
C15	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	4	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2.03	2
C16	3	3	2	2	2	4	4	1	1	5	2	2	2	2	1	1	2	2	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	2.73	3
C17	3	3	3	3	3	3	4	1	4	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2.96	3
C18	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.06	2
C19	2	2	2	2	2	2	1	1	4	4	2	2	3	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.00	2
C20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	4	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.93	2
C21	2	2	2	2	2	2	2	1	4	3	1	4	3	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.03	2
C22	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	1
C23	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.93	2
C24	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2.06	2
C25	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1.96	2
C26	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1.96	2
C27	2	2	2	2	2	2	2	4	5	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.00	2
C28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	3	3	3	4	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2.93	3
C29	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	4	1	1	1	4	4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1.90	2

C30	1	1	1	1	1	0	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.06	1

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลความต้องการน้ำดื่มถัง 20 ลิตร(d_4)ของลูกค้า โรงงานน้ำดื่ม น้ำแข็งลานทอง

รหัสลูกค้า	เดือน ตุลาคม 2553																														Demand เฉลี่ย	q_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
C1	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3.90	4
C2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2.93	3
C3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	4	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2.03	2
C4	12	12	12	12	14	15	14	15	12	12	10	10	10	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12.00	12
C5	12	12	12	12	12	14	14	12	10	11	14	12	12	15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12.20	12
C6	12	12	11	11	12	12	12	14	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12.00	12
C7	10	10	10	10	10	10	10	8	8	9	12	12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.96	10
C8	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	8	15	12	13	14	8	8	8	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10.03	10
C9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12	12	12	8	8	9	10	10	10	8	12	14	12	10	10	10	10	10	10.23	10
C10	10	10	10	10	10	10	10	12	12	8	7	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.93	10
C11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	8	8	9	9	12	10	12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	9.93	10
C12	2	2	2	2	2	2	4	4	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2.00	2
C13	6	6	6	6	6	6	6	7	7	5	5	3	4	6	6	6	8	9	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6.00	6
C14	4	4	4	4	4	4	4	5	5	2	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	6	7	4	4	4	4	4	4	4	4.06	4
C15	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	8	5	6	6	6	6.03	6
C16	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	9	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	5	8	8	7	7	7	7	7	7.03	7
C17	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	8	8	4	4	5	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5.03	5
C18	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	5	3	7	4.93	5
C19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	7	8	4	4	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.96	5
C20	5	3	2	1	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	7	9	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4.90	5
C21	10	10	10	10	11	11	10	12	9	8	7	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12	11	10	8	8	10	10	10	10	9.90	10
C22	2	2	2	2	3	4	5	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.03	2
C23	2	2	2	2	2	2	2	2	3	4	1	1	5	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.03	2
C24	12	12	12	12	10	12	10	12	12	12	12	12	12	12	12	14	12	11	12	12	12	12	13	12	12	12	12	12	12	12	11.93	12
C25	2	2	2	2	2	2	1	1	1	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.00	2

C26	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	4	1	1	3	2	2	1	2	2	2	2	1.96	2
C27	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5	4	4	4	4	4	4	6	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4.06	4
C28	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	4	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.03	2
C29	12	12	10	13	12	12	12	12	14	11	12	12	12	13	12	15	10	12	10	9	9	12	12	12	12	12	12	12	12	12	11.80	12
C30	2	2	2	2	2	1	1	3	4	5	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2.06	2

ภาคผนวก ข

ข้อมูลความจุ ตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ)

ตารางที่ ข.1 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_1

C 1					C 2					C 3				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	10	0.8	8	8	0.2	9	0.8	7	7	0.2	11	0.8	9	9
0.4	10	0.6	8	9	0.4	9	0.6	7	8	0.4	11	0.6	9	10
0.6	10	0.4	8	9	0.6	9	0.4	7	8	0.6	11	0.4	9	10
0.8	10	0.2	8	10	0.8	9	0.2	7	9	0.8	11	0.2	9	11
C 4					C 5					C 6				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	8	0.8	4	5	0.2	8	0.8	6	6	0.2	8	0.8	5	6
0.4	8	0.6	4	6	0.4	8	0.6	6	7	0.4	8	0.6	5	6
0.6	8	0.4	4	7	0.6	8	0.4	6	7	0.6	8	0.4	5	7
0.8	8	0.2	4	7	0.8	8	0.2	6	8	0.8	8	0.2	5	7
C 7					C 8					C 9				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	10	0.8	8	8	0.2	7	0.8	4	5	0.2	12	0.8	8	9
0.4	10	0.6	8	9	0.4	7	0.6	4	5	0.4	12	0.6	8	10
0.6	10	0.4	8	9	0.6	7	0.4	4	6	0.6	12	0.4	8	10
0.8	10	0.2	8	10	0.8	7	0.2	4	6	0.8	12	0.2	8	11
C 10					C 11					C 12				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	12	0.8	8	9	0.2	12	0.8	7	8	0.2	6	0.8	2	3
0.4	12	0.6	8	10	0.4	12	0.6	7	9	0.4	6	0.6	2	4
0.6	12	0.4	8	10	0.6	12	0.4	7	10	0.6	6	0.4	2	4
0.8	12	0.2	8	11	0.8	12	0.2	7	11	0.8	6	0.2	2	5

ตารางที่ ข.1 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_1

C 13					C 14					C 15				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	3	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1	0.2	4	0.8	2	2
0.4	3	0.6	1	2	0.4	2	0.6	1	1	0.4	4	0.6	2	3
0.6	3	0.4	1	2	0.6	2	0.4	1	2	0.6	4	0.4	2	3
0.8	3	0.2	1	3	0.8	2	0.2	1	2	0.8	4	0.2	2	4
C 16					C 17					C 18				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	4	0.8	2	2	0.2	6	0.8	4	4	0.2	3	0.8	1	1
0.4	4	0.6	2	3	0.4	6	0.6	4	5	0.4	3	0.6	1	2
0.6	4	0.4	2	3	0.6	6	0.4	4	5	0.6	3	0.4	1	2
0.8	4	0.2	2	4	0.8	6	0.2	4	6	0.8	3	0.2	1	3
C 19					C 20					C 21				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	3	0.8	1	1	0.2	3	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1
0.4	3	0.6	1	2	0.4	3	0.6	1	2	0.4	2	0.6	1	1
0.6	3	0.4	1	2	0.6	3	0.4	1	2	0.6	2	0.4	1	2
0.8	3	0.2	1	3	0.8	3	0.2	1	3	0.8	2	0.2	1	2
C 22					C 23					C 24				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	2	0.8	1	1	0.2	3	0.8	1	1	0.2	4	0.8	1	2
0.4	2	0.6	1	1	0.4	3	0.6	1	2	0.4	4	0.6	1	2
0.6	2	0.4	1	2	0.6	3	0.4	1	2	0.6	4	0.4	1	3
0.8	2	0.2	1	2	0.8	3	0.2	1	3	0.8	4	0.2	1	4

ตารางที่ ข.1 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_1

C 25					C 26					C 27				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	2	0.8	1	1	0.2	3	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1
0.4	2	0.6	1	1	0.4	3	0.6	1	2	0.4	2	0.6	1	1
0.6	2	0.4	1	2	0.6	3	0.4	1	2	0.6	2	0.4	1	2
0.8	2	0.2	1	2	0.8	3	0.2	1	3	0.8	2	0.2	1	2
C 28					C 29					C 30				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	3	0.8	1	1	0.2	3	0.8	1	1	0.2	3	0.8	1	1
0.4	3	0.6	1	2	0.4	3	0.6	1	2	0.4	3	0.6	1	2
0.6	3	0.4	1	2	0.6	3	0.4	1	2	0.6	3	0.4	1	2
0.8	3	0.2	1	3	0.8	3	0.2	1	3	0.8	3	0.2	1	3

ตารางที่ ข.2 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_2

C 1					C 2					C 3				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	9	0.8	6	7	0.2	4	0.8	1	2	0.2	3	0.8	1	1
0.4	9	0.6	6	7	0.4	4	0.6	1	2	0.4	3	0.6	1	2
0.6	9	0.4	6	8	0.6	4	0.4	1	3	0.6	3	0.4	1	2
0.8	9	0.2	6	9	0.8	4	0.2	1	4	0.8	3	0.2	1	3
C 4					C 5					C 6				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	3	0.8	1	1	0.2	4	0.8	1	2	0.2	2	0.8	1	1
0.4	3	0.6	1	2	0.4	4	0.6	1	2	0.4	2	0.6	1	1
0.6	3	0.4	1	2	0.6	4	0.4	1	3	0.6	2	0.4	1	2
0.8	3	0.2	1	3	0.8	4	0.2	1	4	0.8	2	0.2	1	2
C 7					C 8					C 9				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	2	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1	0.2	6	0.8	4	4
0.4	2	0.6	1	1	0.4	2	0.6	1	1	0.4	6	0.6	4	5
0.6	2	0.4	1	2	0.6	2	0.4	1	2	0.6	6	0.4	4	5
0.8	2	0.2	1	2	0.8	2	0.2	1	2	0.8	6	0.2	4	6
C 10					C 11					C 12				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	6	0.8	4	4	0.2	6	0.8	4	4	0.2	5	0.8	2	3
0.4	6	0.6	4	5	0.4	6	0.6	4	5	0.4	5	0.6	2	3
0.6	6	0.4	4	5	0.6	6	0.4	4	5	0.6	5	0.4	2	4
0.8	6	0.2	4	6	0.8	6	0.2	4	6	0.8	5	0.2	2	4

ตารางที่ ข.2 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_2

C 13					C 14					C 15				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	12	0.8	9	10	0.2	12	0.8	8	9	0.2	2	0.8	1	1
0.4	12	0.6	9	10	0.4	12	0.6	8	10	0.4	2	0.6	1	1
0.6	12	0.4	9	11	0.6	12	0.4	8	10	0.6	2	0.4	1	2
0.8	12	0.2	9	11	0.8	12	0.2	8	11	0.8	2	0.2	1	2
C 16					C 17					C 18				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	2	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1	0.2	3	0.8	1	1
0.4	2	0.6	1	1	0.4	2	0.6	1	1	0.4	3	0.6	1	2
0.6	2	0.4	1	2	0.6	2	0.4	1	2	0.6	3	0.4	1	2
0.8	2	0.2	1	2	0.8	2	0.2	1	2	0.8	3	0.2	1	3
C 19					C 20					C 21				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	3	0.8	1	1	0.2	1	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1
0.4	3	0.6	1	2	0.4	1	0.6	1	1	0.4	2	0.6	1	1
0.6	3	0.4	1	2	0.6	1	0.4	1	1	0.6	2	0.4	1	2
0.8	3	0.2	1	3	0.8	1	0.2	1	1	0.8	2	0.2	1	2
C 22					C 23					C 24				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	2	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1	0.2	1	0.8	1	1
0.4	2	0.6	1	1	0.4	2	0.6	1	1	0.4	1	0.6	1	1
0.6	2	0.4	1	2	0.6	2	0.4	1	2	0.6	1	0.4	1	1
0.8	2	0.2	1	2	0.8	2	0.2	1	2	0.8	1	0.2	1	1

ตารางที่ ข.2 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_2

C 25					C 26					C 27				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	2	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1	0.2	4	0.8	2	2
0.4	2	0.6	1	1	0.4	2	0.6	1	1	0.4	4	0.6	2	3
0.6	2	0.4	1	2	0.6	2	0.4	1	2	0.6	4	0.4	2	3
0.8	2	0.2	1	2	0.8	2	0.2	1	2	0.8	4	0.2	2	4
2C 28					C 29					C 30				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	5	0.8	3	3	0.2	2	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1
0.4	5	0.6	3	4	0.4	2	0.6	1	1	0.4	2	0.6	1	1
0.6	5	0.4	3	4	0.6	2	0.4	1	2	0.6	2	0.4	1	2
0.8	5	0.2	3	5	0.8	2	0.2	1	2	0.8	2	0.2	1	2

ตารางที่ ข. 3 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_3

C 1					C 2					C 3				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	3	0.8	1	1	0.2	5	0.8	2	3	0.2	7	0.8	4	5
0.4	3	0.6	1	2	0.4	5	0.6	2	3	0.4	7	0.6	4	6
0.6	3	0.4	1	2	0.6	5	0.4	2	4	0.6	7	0.4	4	6
0.8	3	0.2	1	3	0.8	5	0.2	2	4	0.8	7	0.2	4	6
C 4					C 5					C 6				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	2	0.8	1	1	0.2	4	0.8	1	2	0.2	4	0.8	1	2
0.4	2	0.6	1	1	0.4	4	0.6	1	2	0.4	4	0.6	1	2
0.6	2	0.4	1	2	0.6	4	0.4	1	3	0.6	4	0.4	1	3
0.8	2	0.2	1	2	0.8	4	0.2	1	4	0.8	4	0.2	1	4
C 7					C 8					C 9				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	5	0.8	1	2	0.2	5	0.8	1	2	0.2	2	0.8	1	1
0.4	5	0.6	1	3	0.4	5	0.6	1	3	0.4	2	0.6	1	1
0.6	5	0.4	1	3	0.6	5	0.4	1	3	0.6	2	0.4	1	2
0.8	5	0.2	1	4	0.8	5	0.2	1	4	0.8	2	0.2	1	2
C 10					C 11					C 12				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	2	0.8	1	1	0.2	1	0.8	1	1	0.2	4	0.8	2	2
0.4	2	0.6	1	1	0.4	1	0.6	1	1	0.4	4	0.6	2	3
0.6	2	0.4	1	2	0.6	1	0.4	1	1	0.6	4	0.4	2	3
0.8	2	0.2	1	2	0.8	1	0.2	1	1	0.8	4	0.2	2	4

ตารางที่ ข.3 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_3

C 13					C 14					C 15				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	3	0.8	1	1	0.2	2	0.8	1	1	0.2	4	0.8	1	2
0.4	3	0.6	1	2	0.4	2	0.6	1	1	0.4	4	0.6	1	2
0.6	3	0.4	1	2	0.6	2	0.4	1	2	0.6	4	0.4	1	3
0.8	3	0.2	1	3	0.8	2	0.2	1	2	0.8	4	0.2	1	4
C 16					C 17					C 18				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	5	0.8	1	2	0.2	4	0.8	1	2	0.2	4	0.8	1	2
0.4	5	0.6	1	3	0.4	4	0.6	1	2	0.4	4	0.6	1	2
0.6	5	0.4	1	3	0.6	4	0.4	1	3	0.6	4	0.4	1	3
0.8	5	0.2	1	4	0.8	4	0.2	1	4	0.8	4	0.2	1	4
C 19					C 20					C 21				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	4	0.8	1	2	0.2	4	0.8	1	2	0.2	4	0.8	1	2
0.4	4	0.6	1	2	0.4	4	0.6	1	2	0.4	4	0.6	1	2
0.6	4	0.4	1	3	0.6	4	0.4	1	3	0.6	4	0.4	1	3
0.8	4	0.2	1	4	0.8	4	0.2	1	4	0.8	4	0.2	1	4
C 22					C 23					C 24				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	2	0.8	1	1	0.2	3	0.8	1	1	0.2	3	0.8	1	1
0.4	2	0.6	1	1	0.4	3	0.6	1	2	0.4	3	0.6	1	2
0.6	2	0.4	1	2	0.6	3	0.4	1	2	0.6	3	0.4	1	2
0.8	2	0.2	1	2	0.8	3	0.2	1	3	0.8	3	0.2	1	3

ตารางที่ ข.3 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_3

C 25					C 26					C 27				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	4	0.8	1	2	0.2	4	0.8	1	2	0.2	5	0.8	1	2
0.4	4	0.6	1	2	0.4	4	0.6	1	2	0.4	5	0.6	1	3
0.6	4	0.4	1	3	0.6	4	0.4	1	3	0.6	5	0.4	1	3
0.8	4	0.2	1	4	0.8	4	0.2	1	4	0.8	5	0.2	1	4
2C 28					C 29					C 30				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	5	0.8	1	2	0.2	4	0.8	1	2	0.2	2	0.8	1	1
0.4	5	0.6	1	3	0.4	4	0.6	1	2	0.4	2	0.6	1	1
0.6	5	0.4	1	3	0.6	4	0.4	1	3	0.6	2	0.4	1	2
0.8	5	0.2	1	4	0.8	4	0.2	1	4	0.8	2	0.2	1	2

ตารางที่ ข.4 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_4

C 1					C 2					C 3				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	5	0.8	3	3	0.2	3	0.8	2	2	0.2	4	0.8	1	2
0.4	5	0.6	3	4	0.4	3	0.6	2	2	0.4	4	0.6	1	2
0.6	5	0.4	3	4	0.6	3	0.4	2	3	0.6	4	0.4	1	3
0.8	5	0.2	3	5	0.8	3	0.2	2	3	0.8	4	0.2	1	4
C 4					C 5					C 6				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	15	0.8	10	11	0.2	15	0.8	10	11	0.2	14	0.8	11	12
0.4	15	0.6	10	12	0.4	15	0.6	10	12	0.4	14	0.6	11	12
0.6	15	0.4	10	13	0.6	15	0.4	10	13	0.6	14	0.4	11	13
0.8	15	0.2	10	14	0.8	15	0.2	10	14	0.8	14	0.2	11	13
C 7					C 8					C 9				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	12	0.8	8	9	0.2	15	0.8	7	9	0.2	14	0.8	8	9
0.4	12	0.6	8	9	0.4	15	0.6	7	10	0.4	14	0.6	8	10
0.6	12	0.4	8	10	0.6	15	0.4	7	12	0.6	14	0.4	8	12
0.8	12	0.2	8	11	0.8	15	0.2	7	13	0.8	14	0.2	8	13
C 10					C 11					C 12				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	10	0.8	7	8	0.2	12	0.8	8	9	0.2	4	0.8	1	2
0.4	10	0.6	7	8	0.4	12	0.6	8	9	0.4	4	0.6	1	2
0.6	10	0.4	7	9	0.6	12	0.4	8	10	0.6	4	0.4	1	3
0.8	10	0.2	7	9	0.8	12	0.2	8	11	0.8	4	0.2	1	4

ตารางที่ ข.4 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_4

C 13					C 14					C 15				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	9	0.8	3	4	0.2	7	0.8	1	2	0.2	8	0.8	5	6
0.4	9	0.6	3	5	0.4	7	0.6	1	3	0.4	8	0.6	5	6
0.6	9	0.4	3	7	0.6	7	0.4	1	5	0.6	8	0.4	5	7
0.8	9	0.2	3	8	0.8	7	0.2	1	6	0.8	8	0.2	5	7
C 16					C 17					C 18				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	9	0.8	5	6	0.2	8	0.8	4	5	0.2	7	0.8	3	4
0.4	9	0.6	5	7	0.4	8	0.6	4	6	0.4	7	0.6	3	5
0.6	9	0.4	5	7	0.6	8	0.4	4	6	0.6	7	0.4	3	5
0.8	9	0.2	5	8	0.8	8	0.2	4	7	0.8	7	0.2	3	6
C 19					C 20					C 21				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	8	0.8	3	4	0.2	9	0.8	1	3	0.2	12	0.8	7	8
0.4	8	0.6	3	5	0.4	9	0.6	1	4	0.4	12	0.6	7	9
0.6	8	0.4	3	6	0.6	9	0.4	1	6	0.6	12	0.4	7	10
0.8	8	0.2	3	7	0.8	9	0.2	1	7	0.8	12	0.2	7	11
C 22					C 23					C 24				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	5	0.8	1	2	0.2	5	0.8	1	2	0.2	14	0.8	11	12
0.4	5	0.6	1	3	0.4	5	0.6	1	3	0.4	14	0.6	11	12
0.6	5	0.4	1	3	0.6	5	0.4	1	3	0.6	14	0.4	11	13
0.8	5	0.2	1	4	0.8	5	0.2	1	4	0.8	14	0.2	11	13

ตารางที่ ข.4 ความจุตามระดับน้ำหนักความต้องการสูงสุด-ต่ำสุดของลูกค้า (μ) สำหรับสินค้า d_4

C 25					C 26					C 27				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	4	0.8	1	2	0.2	4	0.8	1	2	0.2	6	0.8	3	4
0.4	4	0.6	1	2	0.4	4	0.6	1	2	0.4	6	0.6	3	4
0.6	4	0.4	1	3	0.6	4	0.4	1	3	0.6	6	0.4	3	5
0.8	4	0.2	1	4	0.8	4	0.2	1	4	0.8	6	0.2	3	5
2C 28					C 29					C 30				
μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i	μ	D_{max}	$1-\mu$	D_{min}	q_i
0.2	4	0.8	1	2	0.2	14	0.8	9	10	0.2	5	0.8	1	2
0.4	4	0.6	1	2	0.4	14	0.6	9	11	0.4	5	0.6	1	3
0.6	4	0.4	1	3	0.6	14	0.4	9	12	0.6	5	0.4	1	3
0.8	4	0.2	1	4	0.8	14	0.2	9	13	0.8	5	0.2	1	4

ภาคผนวก ค
ข้อมูลตารางเมตริกระยะทางระหว่างลูกค้าและโรงงาน

เมตริกระยะทางระหว่างลูกค้าและโรงงาน

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
		4.50	5.50	6.50	7.50	8.50	8.60	8.68	8.72	8.82	9.65	8.30	9.05	9.25	10.25	10.30	10.75	10.95	11.15	9.50	9.36	9.10	9.50	9.90	9.00	9.21	9.22	9.02	8.90	8.60	7.70	2.ร้านคอนมากมาย
1	4.50		1.00	2.00	3.00	4.00	4.10	4.18	4.16	4.32	5.15	4.20	4.55	4.75	5.75	5.80	5.25	6.45	6.65	5.00	4.80	4.60	5.00	5.40	5.00	4.89	4.88	4.68	4.40	4.10	3.20	3.ร้านปิ๋มม่วงเตียค
2	5.50	1.00		1.00	2.00	3.00	3.10	3.18	3.22	3.32	4.15	3.45	3.85	4.05	5.05	5.10	5.55	5.75	6.00	4.55	4.35	4.20	4.30	4.70	3.80	4.00	4.05	3.85	3.10	3.00	2.30	4.ร้านค้าขนส่ง
3	6.50	2.00	1.00		1.00	2.00	2.10	2.18	2.22	2.32	3.15	1.90	2.30	2.50	3.50	3.55	4.25	4.55	4.75	3.98	3.78	3.58	3.70	4.10	3.65	3.85	3.95	3.75	3.10	3.00	1.30	5.ร้านเจ๊ไหม
4	7.50	3.00	2.00	1.00		1.00	1.10	1.18	1.22	1.32	2.15	0.90	1.30	1.50	2.50	2.55	3.25	3.55	3.75	2.98	2.98	2.58	2.70	2.10	2.65	2.85	2.95	2.75	2.10	2.00	0.30	6.ร้านสมหมาย
5	8.50	4.00	3.00	2.00	1.00		0.10	0.18	0.22	0.32	1.15	0.20	0.70	0.90	1.90	1.95	2.65	2.95	3.15	1.35	1.15	0.95	1.10	1.40	0.80	0.90	0.91	0.71	0.60	0.50	0.50	7.ร้านพันแสน
6	8.60	4.10	3.10	2.10	1.10	0.10		0.80	0.12	0.30	0.39	0.30	0.55	0.75	1.75	1.80	2.50	2.80	3.25	1.45	1.25	1.05	1.00	1.45	0.55	0.75	0.76	0.50	0.50	0.40	0.60	8.ร้านเดือนเพ็ญ
7	8.68	4.18	3.18	2.18	1.18	0.18	0.80		0.42	0.50	0.59	0.21	0.46	0.66	1.66	1.71	2.35	2.55	3.00	1.00	1.15	0.90	0.85	1.30	0.30	0.70	0.71	0.40	0.40	0.30	0.60	9.ร้านจูดี้
8	8.72	4.16	3.22	2.22	1.22	0.22	0.12	0.42		0.35	0.45	0.40	0.45	0.65	1.65	1.70	2.34	2.54	1.99	1.29	1.44	0.89	0.84	1.40	0.80	0.80	0.81	0.50	0.50	0.40	0.80	10.ร้านหมูน้อย
9	8.82	4.32	3.32	2.32	1.32	0.32	0.30	0.50	0.35		0.10	0.70	0.75	0.95	1.95	2.00	2.64	2.84	3.29	2.59	1.44	1.19	1.14	1.70	1.10	1.10	1.11	0.80	0.80	0.70	1.00	11.ร้านกุ๊ก 24 น.
10	9.65	5.15	4.15	3.15	2.15	1.15	0.39	0.59	0.45	0.10		0.80	0.85	1.05	2.05	2.10	2.74	2.94	3.39	2.69	1.54	1.29	1.24	1.80	1.20	1.20	1.20	0.90	0.90	0.80	1.10	12.ร้านกาแฟ
11	8.30	4.20	3.45	1.90	0.90	0.20	0.30	0.21	0.40	0.70	0.80		0.35	0.55	1.55	1.60	2.24	2.44	2.69	0.95	0.97	0.85	0.85	1.25	0.65	0.70	0.80	0.55	0.40	0.30	0.60	13.ร้านอิงอร
12	9.05	4.55	3.85	2.30	1.30	0.70	0.55	0.46	0.45	0.75	0.85	0.35		0.20	1.20	1.25	1.89	2.04	1.85	1.05	0.85	0.75	0.95	1.35	0.75	0.60	0.61	0.25	0.70	0.60	0.90	14.ร้านหน้าบ้านคอน
13	9.25	4.75	4.05	2.50	1.50	0.90	0.75	0.36	0.65	0.95	10.50	0.55	0.20		1.00	1.05	1.80	2.10	2.35	0.65	0.90	0.70	1.25	1.65	0.90	0.60	0.59	0.45	0.70	0.75	1.20	15.ร้านกองทุนบ้านคอน
14	10.25	5.75	5.05	3.50	2.50	1.90	1.75	1.66	1.65	1.95	2.05	1.55	1.20	1.00		0.20	0.95	1.25	1.50	1.45	1.70	1.90	1.90	2.10	1.90	1.55	1.50	1.60	1.80	1.75	2.10	16.ร้านหน้าโรงเรียนบ้านคอน
15	10.30	5.80	5.10	3.55	2.55	1.95	1.80	1.71	1.70	2.00	2.10	1.60	1.25	1.05	0.20		0.75	1.05	1.30	1.25	1.50	1.70	1.90	2.30	2.05	1.90	1.85	1.50	1.70	1.80	2.20	17.ร้านค่านานุค 1
16	10.75	6.25	5.55	4.25	3.25	2.65	2.50	2.35	2.34	2.64	2.74	2.24	1.89	1.80	0.95	0.75		0.30	0.55	0.95	1.20	1.40	1.50	1.90	1.05	1.40	1.35	1.60	1.90	2.00	2.60	18.ค่านานุค2
17	10.95	6.45	5.75	4.55	3.55	2.95	2.80	2.55	2.54	2.84	2.94	2.44	2.04	2.10	1.25	1.05	0.30		0.20	0.80	1.05	1.25	1.35	1.75	1.55	1.35	1.40	1.60	1.80	1.90	2.50	19.ร้านหน้าโรงพยาบาล
18	11.15	6.65	6.00	4.75	3.75	3.15	3.25	3.00	1.99	3.29	3.39	2.69	1.85	2.35	1.50	1.03	0.55	0.20		1.05	1.25	1.40	1.65	2.05	1.75	1.55	1.60	1.80	2.00	1.90	2.50	20.มุมสาลหลักเมือง
19	9.50	5.00	4.55	3.98	2.98	1.35	1.45	1.00	1.29	2.59	2.69	0.95	1.05	0.65	1.45	1.25	0.95	0.80	1.05		0.20	0.35	0.60	1.00	0.70	0.50	0.55	0.75	0.95	1.05	1.85	21.ร้านคลังตระกูล
20	9.36	4.80	4.35	3.78	2.98	1.15	1.25	1.15	1.14	1.44	1.54	0.97	0.85	0.90	1.70	1.50	1.20	1.05	1.25	0.20		0.15	0.25	0.65	0.65	0.35	0.40	0.50	0.80	0.85	1.50	22.ร้านเนื้อย่างเพชรถ้ำพูน
21	9.10	4.60	4.20	3.58	2.58	0.95	1.05	0.90	0.89	1.19	1.29	0.85	0.75	0.70	1.90	1.70	1.40	1.25	1.40	0.35	0.15		0.50	0.90	0.40	0.20	0.25	0.45	0.60	0.65	1.45	23.ร้าน สนง.การศึกษาขต 2
22	9.50	5.00	4.30	3.70	2.70	1.10	1.00	0.85	0.84	1.14	1.24	0.85	0.95	1.25	1.90	1.90	1.50	1.35	1.65	0.60	0.25	0.50		0.40	0.40	0.65	0.70	0.45	0.65	0.70	1.50	24.ร้านสิงห์ โต
23	9.90	5.40	4.70	4.10	2.10	1.40	1.45	1.30	1.40	1.70	1.80	1.25	1.35	1.65	2.10	2.30	1.90	1.75	2.05	1.00	0.65	0.90	0.40		0.80	1.05	0.10	0.35	0.50	0.55	1.35	25.ร้านประชานิยม
24	9.00	5.00	3.80	3.65	2.65	0.80	0.55	0.30	0.80	1.10	1.20	0.65	0.75	0.90	1.90	2.05	1.05	1.55	1.75	0.70	0.65	0.40	0.40	0.80		0.50	0.10	0.45	0.25	0.30	1.10	26.ร้านมิตรสัมพันธ์
25	9.21	4.89	4.00	3.85	2.85	0.90	0.75	0.70	0.80	1.10	1.20	0.70	0.60	0.60	1.55	1.90	1.40	1.35	1.55	0.50	0.35	0.20	0.65	1.05	0.50		0.05	0.20	0.35	0.40	1.20	27.กองทุน ม.4
26	9.22	4.88	4.05	3.95	2.95	0.91	0.76	0.71	0.81	1.11	1.20	0.80	0.61	0.59	1.50	1.85	1.35	1.40	1.60	0.55	0.40	0.25	0.70	0.10	0.10	0.05		0.20	0.45	0.50	1.30	28.ร้านบิ๊กบาย
27	9.02	4.68	3.85	3.75	2.75	0.71	0.50	0.40	0.50	0.80	0.90	0.55	0.25	0.45	1.60	1.50	1.60	1.60	1.80	0.75	0.50	0.45	0.45	0.35	0.45	0.20	0.20		0.25	0.30	1.10	29.ร้านพงษ์พัช
28	8.90	4.40	3.10	3.10	2.10	0.60	0.50	0.40	0.50	0.80	0.90	0.40	0.70	0.70	1.80	1.70	1.90	1.80	2.00	0.95	0.80	0.60	0.65	0.50	0.25	0.35	0.45	0.25		0.25	0.85	30.ปิ๋มบางจาก
29	8.60	4.10	3.00	3.00	2.00	0.50	0.40	0.30	0.40	0.70	0.80	0.30	0.60	0.75	1.75	1.80	2.00	1.90	2.10	1.05	0.85	0.65	0.70	0.55	0.30	0.40	0.50	0.30	0.25		0.80	0.โรงงานน้ำดื่มบ้านซึงสานทอง
30	7.70	3.20	2.30	1.30	0.30	0.50	0.60	0.60	0.80	1.00	1.10	0.60	0.90	1.20	2.10	2.20	2.60	2.50	2.90	1.85	1.50	1.45	1.50	1.35	1.10	1.20	1.30	1.10	0.85	0.80		

ภาคผนวก ง
การจัดเส้นทางแบบเดิมของโรงงานกรณีศึกษา

ตารางที่ ง.1 การจัดเส้นทางแบบเดิมโรงงานกรณีศึกษา

เส้นทางที่ 1 รถคันที่ 1 (ความจุ d_1+d_2 =120 กระสอบ, d_3 =29 โหล) ระยะทาง 24.56 กิโลเมตร

รหัสลูกค้า	ชื่อร้านค้า/สถานที่
C0	Depot
C1	ร้านนาย ดี ดี
C2	ร้านดอนมากมาย
C3	ร้านปั๊มม่วงเคือค
C4	ร้านค้าขนส่ง
C5	ร้านเจ๊ไหม
C6	ร้านสมหมาย
C7	ร้านพันแสน
C8	ร้านเดือนเพ็ญ
C9	ร้านจูดี้
C10	ร้านหมูน้อย
C17	ร้านคำนามูล 1
C18	ร้านคำนามูล 2
C0	Depot

ตารางที่ ง.2 การจัดเส้นทางแบบเดิมโรงงานกรณีศึกษา

เส้นทางที่ 2 รถคันที่ 1 (ความจุ d_1+d_2 =101 กระสอบ, d_3 =36 โหล) ระยะทาง 22.75 กิโลเมตร

รหัสลูกค้า	ชื่อร้านค้า/สถานที่
C0	Depot
C11	ร้าน กุ๊ก 24 น.
C12	ร้ารกาแฟ
C13	ร้านอิงอร
C14	ร้านหน้าบ้านดอนทับช้าง
C15	ร้านกองทุนบ้านดอนทับช้าง
C16	ร้านหน้าโรงเรียนบ้านดอนทับช้าง
C19	ร้านหน้าโรงพยาบาล
C20	มุมศาลหลักเมือง
C21	ร้านครังตระกูล
C22	ร้านเนื้อย่างเพชรลำพูน
C23	ร้าน สนง.การศึกษาเขต 2
C24	ร้านสิงโต
C25	ร้านประชานิยม
C26	ร้านมิตรสัมพัธ์
C27	ร้านกองทุน ม.4
C28	ร้านบิ๊กบาย
C29	ร้านพงษ์พันธ์
C30	ปั๊มบางจาก
C0	Depot

ตารางที่ ง.3 การจัดเส้นทางแบบเดิมโรงงานกรณีศึกษา

เส้นทางที่ 3 รถคันที่ 2 (ความจุ $d_4 = 100$ ถัง) ระยะทาง 24.46 กิโลเมตร

รหัสลูกค้า	ชื่อร้านค้า/สถานที่
C0	Depot
C1	ร้านนาย ดี ดี
C2	ร้านคอนมากมาย
C3	ร้านปั๊มม่วงเดือด
C4	ร้านค้าขนส่ง
C5	ร้านเจ๊ไหม
C6	ร้านสมหมาย
C7	ร้านพันแสน
C8	ร้านเดือนเพ็ญ
C9	ร้านจูดี้
C10	ร้านหมูน้อย
C11	ร้านกุ๊ก 24 น.
C17	ร้านคำนามูล 1
C0	Depot

ตารางที่ ง.4 การจัดเส้นทางแบบเดิมโรงงานกรณีศึกษา

เส้นทางที่ 4 รถคันที่ 2 (ความจุ d_4 = 90 ถัง) ระยะทาง 23.80 กิโลเมตร

รหัสลูกค้า	ชื่อร้านค้า/สถานที่
C0	Depot
C12	ร้ารกาแฟ
C13	ร้านอิงอร
C14	ร้านหน้าบ้านดอนทับช้าง
C15	ร้านหน้าบ้านดอนทับช้าง
C16	ร้านหน้าโรงเรียนบ้านดอนทับช้าง
C18	ร้านคำนามูล 2
C19	ร้านหน้าโรงพยาบาล
C20	มุมศาลหลักเมือง
C21	ร้านครังตระกูล
C22	ร้านเนื้อย่างเพชรลำพูน
C23	ร้าน สนง.การศึกษาเขต 2
C24	ร้านสิงโต
C25	ร้านประชานิยม
C26	ร้านมิตรสัมพัธ์
C27	ร้านกองทุน ม.4
C28	ร้านบิ๊กบาย
C29	ร้านพงษ์พันธ์
C30	ปั๊มบางจาก
C0	Depot

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายพิพัฒชัย ชอบงาม
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรีครุศาสตรบัณฑิต (อุตสาหกรรมศิลป์) สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร พ.ศ. 2535-2539
ประวัติการวิจัย	การสร้างเครื่องบด และผสมดินสำหรับ ผลิตเครื่องปั้นดินเผา ปริญญานิพนธ์ สถาบันราชภัฏกำแพงเพชร 2539
ประวัติการทำงาน	อาจารย์ โรงเรียนเทคโนโลยีบริหารธุรกิจรักไทย เขมราฐ 2548– ปัจจุบัน จังหวัดอุบลราชธานี
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	รองผู้อำนวยการฝ่ายกิจการนักเรียนนักศึกษา โรงเรียนเทคโนโลยีบริหารธุรกิจรักไทย เขมราฐ อำเภอเขมราฐ จังหวัดอุบลราชธานี