

วิธีฮิวริสติก GRASP สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ GRASP Heuristic for Vehicle Routing Problem

นิรันดร์ สมมุตี¹, ผศ. ดร. สมบัติ สิ้นธุเชาวน์¹

Received: August 2008; Accepted: October 2008

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle routing problem) ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) สำหรับการค้นหาคำตอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางรวมต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัด กระบวนการทำงานของ GRASP แบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข และระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ โดยวิธี 2-opt, Swap operator and Move exchanges ผลการทดสอบพบว่า วิธีฮิวริสติกที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี สามารถลดระยะทางขนส่งจากเดิม 154.8 กิโลเมตรต่อวัน ลดลงเหลือ 120.5 กิโลเมตรต่อวัน คิดเป็น 19.25%

คำสำคัญ : ฮิวริสติก GRASP ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ความต้องการสินค้าไม่แน่นอน

Abstract

This paper presents heuristic for solving the vehicle routing problem. We apply a Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) 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. GRASP consists of two phase. The first phase is to construct an initial feasible solution and in the second phases, the solution is improved by applying local search methods that are 2-opt, Swap and Move exchanges procedures. The computational results show that the proposed heuristic provides good solutions. The total distance can be decreased from 154.8 kilometers to 120.5 kilometers reduced by 19.25 %

Keywords : Heuristic GRASP, Vehicle routing problem, Uncertain demand

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
85 ถ.สถลมารค อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทรศัพท์: 0-4535-3300 โทรสาร: 0-4535-3333
E-mail: nisommut@hotmail.com¹

1. บทนำ (Introduction)

ในสภาวะราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลกระทบต่อภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมต่างๆ เป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งองค์กรที่ต้องอาศัยการขนส่งเป็นกิจกรรมหลักจะได้รับผลกระทบโดยตรง หากองค์กรเหล่านี้มีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่ไม่เหมาะสม จะทำให้ต้นทุนสูงขึ้น ส่งผลถึงศักยภาพในการแข่งขันลดลง

ณกร อินทร์พยุง (2548) กล่าวว่า ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ถือเป็นปัญหาส่วนหนึ่งของการจัดการด้านโลจิสติกส์ (Logistic) คือ ปัญหาการตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุดในการเคลื่อนย้ายวัตถุ โดยการหาวิธีการวางแผนจัดลำดับและเส้นทางของการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าหรือผู้บริโภคนั้นที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดเพื่อให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจในบริการ เป้าหมายสำคัญของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ คือ การพยายามออกแบบกลุ่มของยานพาหนะทุกคัน ให้มีการเดินทางโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดที่ศูนย์กระจายสินค้า (Depot) ยานพาหนะวิ่งไปตามเส้นทางที่จะส่งสินค้า โดยพิจารณาถึงเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ ด้วย เช่น เวลา, จำนวนยานพาหนะ, ระยะทาง เป็นต้น

ผู้วิจัยได้ศึกษาวิธีฮิวริสติก (Heuristic method) สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาปัญหาของการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งน้ำดื่มของโรงงานน้ำดื่มธารทิพย์ ซึ่งตั้งอยู่เลขที่ 51 หมู่ 8 ตำบลหนองครก อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ โดยขนส่งน้ำดื่มจากโรงงานไปยังลูกค้าที่มีทั้งหมด 73 ราย โรงงานมีรถกระบะบรรทุกจำนวน 3 คัน ความจุในการบรรทุกของรถแต่ละคันสูงสุด 75 ถึงความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน (Stochastic) ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงลดระยะทางการขนส่งให้มีระยะทางโดยรวมต่ำสุด โดยพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีการเกิดสินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) และกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Literature Reviews)

การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาหลายท่าน เช่น ในงานวิจัยของต่างประเทศ Feo and Resende (1995) อธิบายถึงองค์ประกอบของ GRASP โดยพัฒนาวิธีฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาเชิงการจัดหมวดหมู่ (Combinatorial optimization problem) ซึ่งแสดงแบบเป็นขั้นตอน (Step by Step) ในกระบวนการหาคำตอบของวิธี GRASP ฮิวริสติก ประกอบไปด้วย 2 ระยะคือ ระยะแรกคือ ขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น และระยะที่ 2 คือ ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ Kontoravdis and Bard (1995) นำเสนอวิธี GRASP เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถแบบมีกรอบเวลา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนยานพาหนะและระยะทางรวมต่ำสุด ลูกค้าแต่ละรายมีเงื่อนไขในการรับและส่งมอบสินค้า ยานพาหนะมีความจุจำกัด ผลที่ได้สามารถให้คำตอบ อยู่ในระดับที่ดี Resende (1995) นำเสนอการแก้ปัญหา Maximum Covering Problem (MCP) ด้วยวิธีฮิวริสติก GRASP กับการหาตำแหน่งที่ตั้งโรงงาน ทำให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียง Resende and Pitsoulis (2001) อธิบายถึง กระบวนการของวิธีฮิวริสติก GRASP ในขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Construction) และขั้นตอนการค้นหาคำตอบ (Local search) เพื่อปรับปรุงคุณภาพคำตอบ นอกจากนี้ยังอธิบายถึงกระบวนการพื้นฐานของฮิวริสติกและการใช้งานขั้นสูง Resende and Ribeiro (2004) กล่าวว่า สำหรับปัญหาเชิงการจัดหมวดหมู่ วิธี GRASP เป็นวิธีฮิวริสติกที่สามารถหาคำตอบที่มีคุณภาพดี โดยผู้วิจัยอธิบายกลยุทธ์ที่เป็นเครื่องมือสนับสนุนวิธีฮิวริสติก GRASP เปรียบเทียบระหว่างแบบเส้นทางเดินคู่ขนานอิสระ (Multiple-walk independent-thread) และแบบเส้นทางเดินร่วม (Multiple-walk cooperative - thread)

Sindhuchao S. (2003) นำเสนอวิธีฮิวริสติก GRASP เพื่อแก้ปัญหาระบบการเก็บรวบรวมสินค้าเข้าสู่คลังสินค้าเครือข่ายประกอบด้วยมีโกดังเก็บสินค้า 1 แห่ง ผู้ผลิตสินค้าตั้งกระจายกระจัดกระจาย ห่างกันและผลิตสินค้าที่ไม่เหมือนกัน สินค้าจะถูกรวบรวมจาก

ผู้ผลิตมาเก็บไว้ที่โกดังเก็บสินค้าส่วนกลาง ใช้ นโยบายกับสินค้าแบบปริมาณการสั่งซื้อที่ประหยัด (EOQ) คลังสินค้าส่วนกลางจะทำการเติมเต็มสินค้า โดยการส่งกลุ่มรถบรรทุกออกไปเก็บรวบรวมสินค้าตาม กลุ่มผู้ผลิต โดยที่รถบรรทุกแต่ละคันจะมีขีดจำกัดในการบรรทุกที่เท่ากัน และไม่สามารถเดินทางที่จะออกไปเก็บสินค้าได้เกินจำนวนครั้งสูงสุดที่กำหนดไว้ ได้มีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหา โดยการผสมผสาน การตัดสินใจในด้านพัสดุคงคลัง และด้านการขนส่ง เข้าด้วยกัน Pitakaso R. and Sindhuchao S. (2006) นำเสนอวิธีวิฤตติกร GRASP แก้ปัญหา Capacitated p - medians problem (CPMP) โดยใช้วิธีวิฤตติกร GRASP เลือกตำแหน่งของลูกค้าเพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้น และใช้กระบวนการวิ่งวนรอบพื้นฐาน (Iterated Local Search: ILS) เพื่อทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

สำหรับปัญหาที่มีการขนส่งที่มีความต้องการ ไม่แน่นอนมีนักวิจัยหลายท่านที่นำเสนอไว้ เช่น Karahan et al. (2006) ศึกษาเปรียบเทียบปัญหาการขนส่ง ประกอบด้วยปัญหา 2 ประเภทคือ ประเภทแรกเป็น ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของพนักงานขาย โดยมี เงื่อนไขเรื่องเวลาไม่แน่นอน (Stochastic timers) และ จำนวนลูกค้าไม่แน่นอน (Stochastic customers) ประเภทที่สองเป็นปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ โดยมีเงื่อนไขจำนวนลูกค้าไม่แน่นอน (Stochastic customers) และความต้องการของลูกค้าไม่แน่นอน (Stochastic demands) โดยพิจารณาถึงระดับของปัญหาจาก งานวิจัยท่านอื่น Laporte and Louveaux (1997) นำเสนอวิธีแก้ปัญหการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบ ไม่แน่นอน ด้วยวิธี Integer L-Shaped Method เพื่อให้ ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยศึกษาจากปัญหา 4 ชนิด ได้แก่ ปัญหาที่ 1 เวลาไม่แน่นอน, จำนวนยานพาหนะ m คัน ปัญหาที่ 2 จำนวนลูกค้าไม่แน่นอน, ยานพาหนะ 1 คัน ปัญหาที่ 3 จำนวนลูกค้าและความต้องการไม่แน่นอน, ยานพาหนะ m คัน และปัญหาที่ 4 ต้องการไม่แน่นอน, ยานพาหนะ 1 คัน Bianchi et al.(2004) นำเสนอวิธี เมตาวิฤตติกรสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยาน พาหนะแบบความต้องการไม่แน่นอน โดยจัดลำดับ

ลูกค้าในเส้นทาง เพื่อลดระยะทางการขนส่งต่ำสุด วิธี FR like สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุด

3. วิธีการวิจัย (Research Methods)

ในการวิจัยขั้นตอนเริ่มต้นผู้วิจัยทำการสร้าง แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ของ ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ รูปแบบ ของปัญหาคือพิจารณาเงื่อนไขความต้องการของลูกค้า แต่ละรายไม่แน่นอน (Stochastic Vehicle Routing Problem: SVRP) ศูนย์กระจายสินค้ากลาง 1 แห่ง (The Single - Depot Vehicle Routing Problem) จำนวน ลูกค้าหลายราย ใช้ขนาดการบรรทุกจำกัด ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยกำหนดการหาระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย โดยใช้วิธีวัดระยะทางจากโปรแกรม Point Asia แล้ว ทำการบันทึกระยะทางลงในตารางเมตริกยะทาง ผู้วิจัยได้ทดสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยการสุ่มวัด ระยะทางจริงระหว่างลูกค้าจำนวน 10 รายจาก เข็มไมล์รถยนต์ พบว่าระยะที่ได้มีความใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเมตริกยะทางดังแสดงในตารางที่ 1

การกำหนดข้อมูลความต้องการของลูกค้า ผู้วิจัยกำหนดจากความต้องการของลูกค้าแต่ละราย ที่เก็บข้อมูลระยะเวลา 1 เดือน แล้วหาค่าเฉลี่ยความ ต้องการของลูกค้าแต่ละราย จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มา เป็นข้อมูลในการบรรทุกสินค้าไปยังลูกค้าเพื่อแก้ไข ปัญหา ข้อมูลความต้องการเฉลี่ยของลูกค้าแต่ละราย ดังแสดงในตารางที่ 2

ผู้วิจัยประยุกต์ใช้วิธีวิฤตติกร GRASP แก้ไข ปัญหาซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 อ่านข้อมูลนำเข้าซึ่งประกอบด้วย จำนวนลูกค้า ความจุของยานพาหนะ ระยะทาง และ ความต้องการของลูกค้าแต่ละราย

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดให้ $k = 1$ เริ่มกระบวนการ วิ่งวนรอบหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 3 สร้างคำตอบเริ่มต้นด้วยกระบวนการสุ่มลูกค้าที่อยู่ในบัญชีรายชื่อลูกค้า (Restricted Candidate List) ที่ยังไม่ถูกจัดกลุ่มและมีค่าระยะที่เป็น ไปตามเงื่อนไข

ตารางที่ 1 ตัวอย่างเมตริกระยะทางของโรงงานกรณีศึกษา

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10.....	73
0	0	0.4	2.0	1.7	2.5	2.9	3.2	2.7	3.1	3.3	3.7.....	7.4
1	0.4	0	1.6	1.3	2.7	3.0	3.3	2.5	2.8	2.8	3.5.....	7.0
2	2.0	1.6	0	0.7	2.4	2.7	3.0	1.9	1.3	1.4	2.1.....	5.7
3	1.7	1.3	0.7	0	1.5	1.8	2.0	1.3	1.4	1.5	2.2.....	6.6
4	2.5	2.7	2.4	1.5	0	0.4	0.6	0.2	0.7	0.9	1.1.....	5.4
5	2.9	3.0	2.7	1.8	0.4	0	2.5	0.6	1.1	1.3	1.5.....	5.8
6	3.2	3.3	3.0	2.0	0.6	2.5	0	0.9	1.4	1.6	1.8.....	6.0
7	2.7	2.5	1.9	1.3	0.2	0.6	0.9	0	0.6	0.8	1.5.....	5.2
8	3.1	2.8	1.3	1.4	0.7	1.1	1.4	0.6	0	0.2	0.7.....	4.7
9	3.3	2.8	1.4	1.5	0.9	1.3	1.6	0.8	0.2	0	0.7.....	4.5
10	3.7	3.5	2.1	2.2	1.1	1.5	1.8	1.5	0.7	0.7	0.....	5.0
.
.
73	7.4	7.0	5.7	6.6	5.4	5.8	6.0	5.2	4.7	4.5	5.0.....	0

ตารางที่ 2 ข้อมูลความต้องการเฉลี่ยของลูกค้าแต่ละราย

รหัสลูกค้า	ความต้องการเฉลี่ย (ถัง)						
C1	4	C21	12	C41	13	C61	4
C2	7	C22	4	C42	3	C62	4
C3	4	C23	4	C43	13	C63	16
C4	4	C24	4	C44	8	C64	4
C5	4	C25	4	C45	3	C65	4
C6	4	C26	4	C46	17	C66	8
C7	3	C27	7	C47	3	C67	4
C8	2	C28	3	C48	4	C68	4
C9	4	C29	13	C49	3	C69	5
C10	4	C30	5	C50	4	C70	4
C11	4	C31	4	C51	4	C71	4
C12	3	C32	6	C52	14	C72	8
C13	4	C33	5	C53	4	C73	12
C14	4	C34	13	C54	4		
C15	4	C35	4	C55	7		
C16	3	C36	15	C56	4		
C17	4	C37	4	C57	4		
C18	5	C38	24	C58	12		
C19	4	C39	6	C59	4		
C20	4	C40	4	C60	14		

ขั้นตอนที่ 4 ปรับปรุงคุณภาพคำตอบให้ดีขึ้น จากคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap operator), วิธีการย้ายตำแหน่ง (Move Exchanges) และวิธี 2-opt

ขั้นตอนที่ 5 อัปเดต (Update) คำตอบ และให้ $k = k+1$ ถ้า $k < M$ (จำนวนรอบของการหาคำตอบ) ให้ไปที่ขั้นตอนที่ 3 มิฉะนั้นแล้ว ไปที่ขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 คืนค่าคำตอบ

3.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model)

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบความต้องการไม่แน่นอน (Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands; VRPSD) สามารถอธิบายได้จากกราฟ $G = (V, A, D)$ เมื่อ $V = \{0, 1, \dots, n\}$ 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) และ โดยที่ $D = \{d_{ij} : i, j \in V, i \neq j\}$ คือ ระยะทางระหว่างเมือง i ไปยังเมือง j เมตริกระยะทางเป็นแบบสมมาตร (Symmetric) ยานพาหนะแต่ละคันมีความจุจำกัด Q โดยขนส่งสินค้าไปยังเมืองต่างๆ เพื่อให้มีระยะทางรวมต่ำสุด จำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าจะทราบเมื่อยานพาหนะเดินทางไปยังเมืองนั้นๆ ยิ่งลูกค้าแล้วเท่านั้น ผู้วิจัยได้กำหนดพารามิเตอร์ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังนี้

3.1.1 การกำหนดพารามิเตอร์

Z = Vehicle routing cost + Penalty cost

K = จำนวนยานพาหนะทั้งหมด

N = จำนวนโหนดทั้งหมด

Q = ความจุของยานพาหนะ

R_k = ระยะทางรวมของรถคันที่ K

λ = ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการบรรทุกสินค้าไปส่งที่โหนดแล้วเกิดกรณีสินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) หรือ สินค้าเกินความต้องการ (Overload cost)

d_i = ความต้องการสินค้าจริงของโหนด ซึ่งมีความต้องการไม่แน่นอนในแต่ละวัน และ $d_0 = 0$

C_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางระหว่างโหนด i และโหนด j โดยพิจารณาเฉพาะค่าใช้จ่ายจากระยะทางรวมเท่านั้น ไม่รวมถึงค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

โดยกำหนดตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี (Binary) คือ

q_i = ปริมาณสินค้าของโหนด i ที่บรรทุกบนยานพาหนะ และ $q_0 = 0$

$X_{ij}^k = 1$ ถ้ายานพาหนะ K ขนส่งสินค้าระหว่างลูกค้า i และไปยังลูกค้า j = 0 ในกรณีอื่น ๆ

3.1.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$\text{Min} Z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K C_{ij} X_{ij}^k + \sum_{k=1}^K \lambda \left| \sum_{j=0}^N \sum_{i=0}^N X_{ij}^k (q_i - d_i) \right| \quad (1.1)$$

สมการข้อข้อย่อย (Subject to)

$$\sum_{j=0}^N \sum_{i=1}^K X_{ij}^k = 1 \quad \forall j \in \{1, \dots, N\} \quad (1.2)$$

$$\sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K X_{ij}^k = 1 \quad \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad (1.3)$$

$$\sum_{i=0}^N X_{ip}^k - \sum_{j=0}^N X_{pj}^k = 0 \quad \forall p \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (1.4)$$

$$\sum_{i=0}^N q_i \left(\sum_{j=0}^N X_{ij}^k \right) \leq Q \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (1.5)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{0j}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (1.6)$$

$$\sum_{i=1}^N X_{i0}^k \leq 1 \quad \forall k \in \{1, \dots, K\} \quad (1.7)$$

$$\lambda = 3 \quad \sum \sum X_{ij}^k (q_i - d_i) < 0 \quad \text{for all } K \quad (1.8)$$

$$\lambda = 0.00374 R_k \quad \sum \sum X_{ij}^k (q_i - d_i) > 0 \quad \text{for all } K \quad (1.9)$$

$$X_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall ij \in \{1, \dots, N\}, k \in \{1, \dots, K\} \quad (1.10)$$

สมการข้อข้อย่อยที่ (1.1) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลักเพื่อให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางต่ำที่สุด สมการข้อข้อย่อยที่ (1.2) และ (1.3) คือประกันว่าลูกค้าแต่ละรายรับบริการจากยานพาหนะเพียง

คันเดียว สมการข้อที่ (1.4) ประกันว่าเมื่อยานพาหนะเข้ามายังจุดส่งสินค้าแล้วยานพาหนะจะออกจากจุดส่งสินค้านั้น สมการข้อที่ (1.5) ยานพาหนะขนส่งสินค้าทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินข้อจำกัด สมการข้อที่ (1.6) และ (1.7) ประกันว่ายานพาหนะขนส่งแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น สมการข้อที่ (1.8) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นกรณีสินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) คือ กำไรต่อถังๆ ละ 3 บาท สมการข้อที่ (1.9) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นกรณีสินค้าเกินความต้องการ (Overload cost) สมการข้อที่ (1.10) แสดงการเชื่อมโยงกันระหว่างโหนด i และ j โดยเป็นได้สองอย่างคือ ได้รับการเชื่อมโยงกับไม่ได้รับการ เชื่อมโยง

เมื่อยานพาหนะแต่ละคันเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าจนครบทุกรายแล้ว แต่สินค้าไม่พอต่อความต้องการ จะมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น (Shortage cost) จากกำไรต่อถังคูณด้วยจำนวนถังที่ขาด ซึ่งโรงงานกรณีศึกษามีผลกำไรทั้งสิ้นถึงละ 3 บาท ส่วนกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า จะมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น (Overload cost) คือ ค่าน้ำมันส่วนเพิ่มที่เกิดขึ้นจากน้ำมันบรรทุก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลวันที่ 12 กรกฎาคม 2551 ในเว็บไซต์สาระท่าเรือการท่าเรือแห่งประเทศไทย กล่าวในหัวข้อการบริหารต้นทุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่งว่า การเพิ่มน้ำมันบรรทุกจากน้ำหนักบรรทุกปกติจะทำให้สิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้น 0.05-0.06 ลิตร/กม. ในทุกๆ 10 ตัน ฉะนั้นการคิดค่าใช้จ่ายต้นทุนการขนส่งในส่วนของโรงงานกรณีศึกษาสามารถหาได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 & \text{อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มทุกๆ 10 ตัน} \\
 &= \frac{0.05 + 0.06}{2} \\
 &= 0.055 \quad \text{ลิตร/กม.} \\
 &= 0.0055 \quad \text{ลิตร/กม./ตัน} \\
 & \text{อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มต่อน้ำดื่ม 1 ถัง} \\
 & \text{หนัก 20 กก.} = 0.02 \quad \text{ตัน} \\
 &= 0.02 \times 0.0055 \\
 &= 0.00011 \quad \text{ลิตร/กม./ตัน}
 \end{aligned}$$

ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงลิตรละ 34 บาท ค่าใช้จ่ายส่วนที่เพิ่มขึ้นจากการบรรทุกน้ำดื่มกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้าคือ $0.00011 \times 34 = 0.00374$ บาทต่อถังต่อกิโลเมตร

3.2 การพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่ดีเพียงพอ (Heuristic Method)

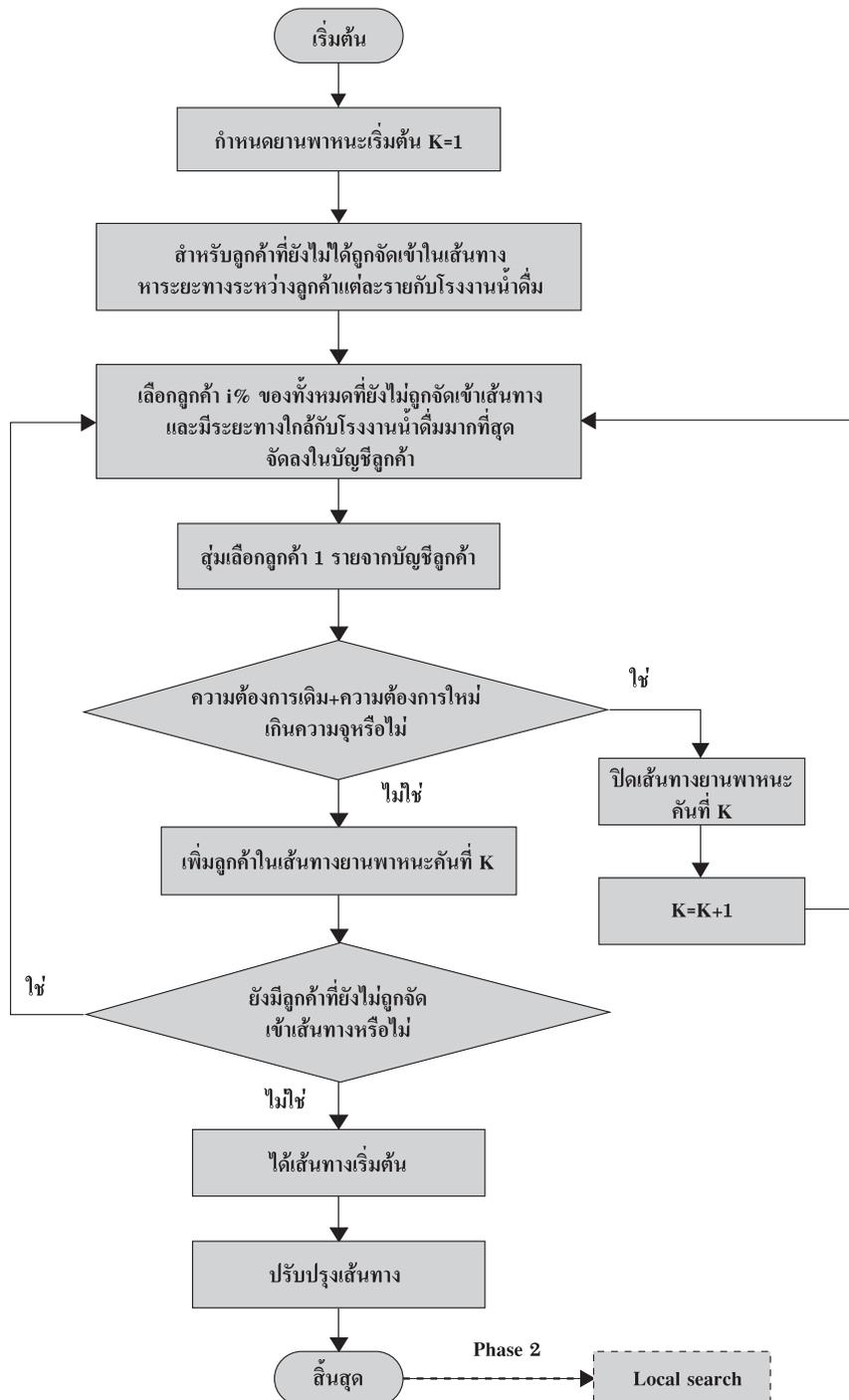
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคำตอบที่ดีเพียงพอสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ผู้วิจัยนำเสนอวิธีฮิวริสติกโดยแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกใช้วิธีฮิวริสติก GRASP สร้างคำตอบเริ่มต้น และปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี 2-opt, Swap และ Move operation ในการค้นหาคำตอบที่มีคุณภาพในการแก้ปัญหาซึ่งมีขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution)

ในกระบวนการวิ่งวนซ้ำเพื่อสร้างคำตอบเริ่มต้น จะพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible solution) การเลือกเส้นทางและอัปเดต (Update) เส้นทางของลูกค้าเมื่อพบคำตอบที่ดีในแต่ละการวิ่งวนรอบกระทำซ้ำ ซึ่งจะพิจารณาลูกค้าจัดเข้าในเส้นทางจากบัญชีรายชื่อลูกค้า

ผู้วิจัยใช้วิธี Greedy Randomized Adaptive Search Procedure; GRASP โดยในเฟสแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้นของเส้นทางยานพาหนะแต่ละคัน ซึ่งสร้างเส้นทางด้วยวิธีการสุ่มเส้นทางที่มีคำตอบที่เป็นไปได้ในแต่ละการวนรอบ โดยไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งต้องหาระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายกับโรงงานน้ำดื่มกรณีศึกษา จากนั้นเลือกลูกค้า $i\%$ ของทั้งหมดที่ยังไม่ถูกจัดเข้าเส้นทางและมีระยะทางใกล้กับโรงงานน้ำดื่มมากที่สุดจัดลงในบัญชีลูกค้า เมื่อ $i = 10, 20, \dots, 90$ แล้วสุ่มเลือกลูกค้าจำนวน 1 รายจากบัญชีลูกค้าเข้าในเส้นทางโดยพิจารณาด้านความจุของยานพาหนะ ถ้าความต้องการเดิมรวมกับความต้องการของลูกค้ารายใหม่ที่จะจัดเข้าเส้นทางเกินความจุของยานพาหนะ ก็ทำการปิดเส้นทางแล้วพิจารณาลูกค้าเข้าเส้นทางของยานพาหนะคันถัดไป ถ้าความต้องการเดิมรวมกับความต้องการของลูกค้ารายใหม่ที่จะจัดเข้าเส้นทางไม่เกินความจุของยานพาหนะ ก็เพิ่มลูกค้าเข้าในเส้นทาง

จากนั้น ทำการตรวจสอบว่ายังมีลูกค้ำที่ยังไม่ได้จัดเข้า
เส้นทางหรือไม่ ถ้ายังมีก็ทำการเลือกลูกค้ำจัดลงใน
บัญชีรายชื่อ ลูกค้ำใหม่แล้วทำขั้นตอนต่อไป ถ้าไม่มีก็
จะได้เส้นทางเริ่มต้น รายละเอียดการสร้างเส้นทางเริ่ม
ต้นแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การสร้างเส้นทางเริ่มต้นด้วยวิธี GRASP

3.2.2 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Improvement solution)

หลังจากได้เส้นทางเริ่มต้นจาก Phase 1 ก็เข้าสู่กระบวนการใน Phase 2 ผู้วิจัยจะทำการประยุกต์การปรับปรุงคุณภาพคำตอบโดยการใช้เทคนิคฮิวริสติกการค้นหา (Search algorithm) ในรูปแบบต่างๆ เช่น วิธีการย้ายตำแหน่ง (Move Exchanges) วิธีการสลับตำแหน่ง (Swap Operator) และ วิธี 2-opt เพื่อทำการสลับเปลี่ยนลูกค้าจากตำแหน่งที่ i กับตำแหน่งลูกค้าที่ j ในระหว่างสับเซต และจำนวนสับเซตที่เป็นชุดคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible of solutions) ทั้งหมดที่ได้จากขั้นตอนของวิธี GRASP เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (To improve the solution quality) ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบสามารถอธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 สุ่มเลือกลูกค้า 1 รายจากเส้นทางเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 ตรวจสอบความต้องการโดยรวมกับความต้องการใหม่เกินความจุของยานพาหนะหรือไม่ ถ้าเกินก็ให้พิจารณาย้ายลูกค้ารายต่อไป แต่ถ้าไม่เกินก็ไปในขั้นตอนที่ 3

ขั้นตอนที่ 3 ย้ายสลับตำแหน่งลูกค้าระหว่างเส้นทางการย้ายสลับลูกค้าทำให้ระยะทางรวมลดลงมิฉะนั้นแล้วให้ไปที่ขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 4 อพเทมเส้นทางที่ดีที่สุด

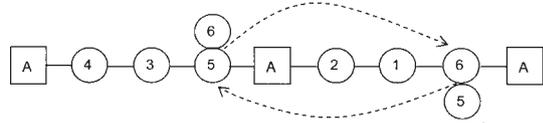
ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบว่ามีลูกค้าที่ยังไม่ย้ายสลับตำแหน่งหรือไม่ ถ้ามีก็เริ่มทำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-5 อีกครั้งจนกว่าจะครบ ถ้าไม่มีก็สิ้นสุดการทำ Local search

สำหรับขั้นตอนของการวิธีการปรับปรุงคุณภาพคำตอบในแต่ละวิธีนั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

ก. วิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap Operator)

การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap Operator) ผู้วิจัยกำหนดลำดับการค้นหาสำหรับการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า 1 ราย ระหว่างสับเซต โดยที่ใช้ตัวดำเนินการเท่ากับ $(1,1)$ หมายถึง การสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า 1 รายที่ถูกเชื่อมกันอยู่ในเส้นทาง

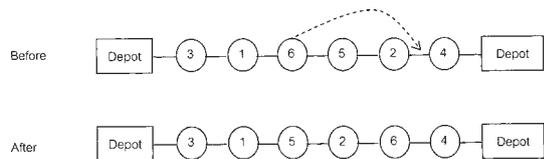
ขนส่งจากสับเซตหนึ่งไปยังอีกสับเซตหนึ่งไปยังอีกสับเซตหนึ่งแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงตัวดำเนินการ Swap $(1,1)$

ข. วิธีการย้ายตำแหน่ง (Move Exchanges)

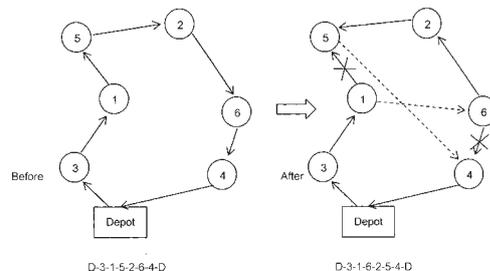
ตัวดำเนินการ Move Exchanges $(1,0)$ หมายถึงการย้ายลูกค้า 1 ราย จากสับเซตหนึ่งไปยังสับเซตหนึ่ง โดยที่ไม่มีการย้ายแบบสลับภายในสับเซตตัวเอง ดังแสดงในรูปที่ 3 ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติก Move Exchanges ซึ่งเป็นขั้นตอนการกระทำซ้ำเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงคำตอบหนึ่งไปยังอีกคำตอบหนึ่งภายในเนบอร์ฮูด



รูปที่ 3 แสดงตัวดำเนินการ Move operator $(1,0)$

ค. วิธี 2-opt

ในรายละเอียด 2-Opt จะทำการสลับเปลี่ยน (Swap) ลูกค้ากันภายในเส้นทางเดียวที่เป็นไปได้ โดยจะทำการสลับเปลี่ยนลูกค้า 2 รายหรือ 2 ด้าน อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า 2-Exchanges ซึ่งลำดับลูกค้าภายในเส้นทางขนส่งจะถูกเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธี 2-opt ฮิวริสติก

4. ผลการวิจัย (Results)

การทดสอบประสิทธิภาพฮิวริสติก ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบผลระยะทางการเดินทางของเส้นทางขนส่งที่ได้จากฮิวริสติกกับระยะทางการเดินทางของเส้นทางขนส่งของโรงงานกรณีศึกษา โดยกระบวนการทำงานของฮิวริสติกที่นำเสนอนี้ทำการเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Dev-C++ 4 และทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์ รุ่น Pentium [R]4, CPU 3.06 GHz, Ram 256 MB บน Windows XP โดยทำการทดสอบปัญหา โรงงานกรณีศึกษามีลูกค้าทั้งหมด 73 ราย รถกระบะบรรทุกสำหรับขนส่งน้ำจำนวน 3 คัน แต่ละคันสามารถส่งสินค้าได้หลายๆ รอบ จึงสมมติได้ว่ารถเดินทางหนึ่งรอบให้เป็นรถหนึ่งคัน ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดให้รถหนึ่งคันส่งสินค้าได้ไม่เกินวันละสามรอบ ดังนั้นในการหาคำตอบจึงสามารถกำหนดให้มีรถ 9 คันได้ ในการหาคำตอบนี้จะกำหนดให้มีจำนวนรอบของการส่งสินค้าได้สูงสุด 6 รอบ ความจุในการบรรทุก

ของรถแต่ละคันมีค่าสูงสุด 75 ถัง ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่คงที่ กำหนดรอบการหาคำตอบด้วยวิธี GRASP เป็นจำนวน 100 รอบ ผลการวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 3

การทดสอบฮิวริสติก ผู้วิจัยพิจารณาความจุที่ได้จากการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดสอบมาเปรียบเทียบกับความจุที่ได้จากการเก็บข้อมูลใหม่อีกครั้งจำนวน 1 วัน คือวันที่ 10 กันยายน 2551 ซึ่งหลังจากเก็บข้อมูลพบว่าจำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้าเพิ่มขึ้นจากเดิม 447 ถัง เป็น 450 ถัง โดยเปรียบเทียบค่าน้ำมันเชื้อเพลิงของสายส่งแต่ละเส้นทางแล้วคำนวณหาค่าโทษ (Penalty cost) ซึ่งพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีการเกิดสินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) และกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost) ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นตามนโยบายดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลจัดเส้นทางขนส่งวิธีปัจจุบันกับวิธีฮิวริสติก

สายส่ง	การจัดเส้นทางปัจจุบัน			สายส่ง	การจัดเส้นทางวิธีฮิวริสติก		
	การเดินทาง	ระยะทาง (กม.)	ความจุ (ถัง)		การเดินทาง	ระยะทาง (กม.)	ความจุ (ถัง)
1	0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-0	23.2	75	1	0-34-20-0	1.8	17
2	0-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-0	27.9	74	2	0-20-21-22-52-54-23-53-55-55-63-0	27.9	74
3	0-33-34-35-36-37-38-39-40-0	10.9	75	3	0-64-43-27-46-49-50-51-45-14-42-13-12-3-0-	22.8	73
4	0-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-0	36.3	75	4	0-36-32-10-41-28-31-30-29-1-0	14.7	67
5	0-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-0	39.5	75	5	0-24-57-66-67-68-69-70-71-72-73-18-17-26-19-0	18.8	74
6	0-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-0	17	73	6	0-11-44-16-15-47-48-62-61-60-59-58-37-65-0	38.1	72
				7	0-2-38-25-39-40-9-8-7-6-4-5-35-33-0	11.6	75
	รวม	154.8	447		รวม	120.5	447

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมจากผลการจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติกกับข้อมูลใหม่ของโรงงานการศึกษา

วันที่ 10 กันยายน 2551									
สายส่ง	ระยะทาง (กม.)	ค่าน้ำมัน (บาท)	ข้อมูลความจุ (ถัง)		จำนวนที่แตกต่าง (ถัง)		ค่าโทษ (บาท)		ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)
			เดิม	ใหม่	ขาด	เกิน	Shortage	Overload	
1	1.8	6.12	17	19	2	-	6	-	12.12
2	12.7	43.18	69	68	-	1	-	0.13	43.32
3	11.6	39.44	75	75	-	-	-	-	39.44
4	18.8	63.92	74	74	-	-	-	-	63.92
5	22.8	77.52	73	72	-	1	-	0.13	77.65
6	38.1	129.54	72	73	1	-	3	-	132.54
7	14.7	49.98	67	69	2	-	6	-	55.98
รวม	120.5	409.7	447	450	5	2	15.26		424.96

จากตารางที่ 4 แสดงได้ว่าหลังจากการจัดเส้นทางยานพาหนะด้วยวิธีฮิวริสติกแล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลใหม่ของโรงงานการศึกษา ผู้วิจัยได้กำหนดจุดศุขนิยมของค่าใช้จ่ายจำนวน 2 ตำแหน่ง ในการสรุปผลการทดสอบ เพื่อให้ง่ายต่อการบันทึกข้อมูลผลการทดสอบพบว่า สามารถลดระยะทางรวมจากเดิม 154.8 กิโลเมตรต่อวัน ลดลงเหลือ 120.5 กิโลเมตรต่อวัน มีสายส่งเกิดขึ้น 7 เส้นทาง และเมื่อพิจารณาถึงค่าโทษ (Penalty cost) ที่เกิดขึ้นพบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีค่าโทษเกิดขึ้นจำนวน 15.26 บาท สามารถลดค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจาก 526.32 บาทต่อวัน เหลือ 424.96 บาทต่อวัน ซึ่งลดลงจำนวน 101.36 บาทต่อวัน ถ้าหากคิดเป็นเดือนจะมีค่าใช้จ่ายจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงจากเดิม 15,789.60 บาทต่อเดือน เหลือ 12,748.80 บาทต่อเดือนลดลง 3,040.80 บาทต่อเดือน คิดเป็น 19.25%

5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากที่ผู้วิจัยได้ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ วิทยาลัยการศึกษาน้ำตมธารทิพย์ โดยประยุกต์วิธี Greedy Randomized Adaptive Search

Procedure (GRASP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางรวมต่ำสุดซึ่งมีจำนวนลูกค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมด 73 ราย กระบวนการทำงานของฮิวริสติกแบ่งเป็น 2 ระยะเวลาคือ ระยะเวลาแรก สร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible solution) และปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Improvement solution phase) โดยวิธี 2-opt, Swap และ Move exchanges ในระยะที่สองพบว่าการจัดเส้นทางด้วยวิธีฮิวริสติก ผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในระดับที่ดี สามารถลดระยะทางรวมจากเดิม 154.8 กิโลเมตรต่อวัน ลดลงเหลือ 120.5 กิโลเมตรต่อวัน คิดเป็น 18.6%

6. เอกสารอ้างอิง

การทำเรือแห่งประเทศไทย. (2550). การบริหารต้นทุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง. ประเภทของสื่อ [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 12 กรกฎาคม 2550. จาก <http://www1.port.co.th/knowledge/logistics/logistics2.html>. 12 July, 2007.

- ณกร อินทร์พยุง. (2548). การแก้ปัญหาการตัดสินใจ
ในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์.
กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- Bianchi, L. and et al. (2004). Metaheuristics for
the vehicle routing problem with stochastic
demands. **The 8th International
Conference on Parallel Problem Solving
from Nature (PPSN VIII) will be held in
Birmingham.** UK: 18-22 September,
2004. pp.450-460.
- Feo, T. and Resende, M. (1995). Greedy
randomized adaptive search procedure,
Journal of Global Optimization. Vol. 6,
pp. 109-133.
- 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 Manufac
turing system.** 29-31 May, 2006 pp. 757-
766.
- Kontoravdis, G. and Bard, J. (1995). A GRASP
for the vehicle routing problem with time
windows. **ORSA Journal on computing.**
Vol. 7, pp. 10-23.
- Laporte, G. and Louveaux, F.A. (1997). **Solving
stochastic routing problem with the
integer L-Shaped method.** In feet
management and logistics. Kluwer
Academic Publishers, Boston.
- Pitakaso, R. and Sindhuchao, S. (2006). GRASP
with iterated local search heuristic for
Capacitated P-median problem. **The 7th
Asian Pacific Industrial Engineering and
Management Systems Conference
(APIEMS 2006),** Intercontinental Hotel
Bangkok. 17-20 December, 2006 pp. 514-
520.
- Resende, M. (1998). Computing approximate
solutions of the maximum covering
problem with GRASP, **Journal of
Heuristics** Vol. 4, pp. 161-177.
- Resende, M. and Pitsoulis, L. (2001) **Greedy
randomized adaptive search procedures.**
AT&T Labs Research Technical Report. E.
Alba (ed.) John wiley and sons. pp. 1-20.
- Resende, M. and Ribeiro, C (2004). **Parallel
greedy randomized adaptive search
procedures.** AT&T Labs Research
Technical Report. E. Alba (ed.) John wiley
and sons. pp. 1-28.
- Sindhuchao, S. and et al. (2003). A GRASP
heuristic for an integrated inventory-routing
problem. **Proceeding of IE Network
Conference** Duang Tawan Hotel Chiang
Mai. Vol. 1, 20-22 October, 2004 pp. 741-
746.