



การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งยานพาหนะด้วยวิธีการ อาณานิคมมด กรณีศึกษา บริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด Solving Vehicle Routing Problem by Using Ant Colony Optimization Case Study in Jiaranai Drinking Water Company

ฐิตินันท์ ศรีสุวรรณดี¹*, ระพีพันธ์ ปิตาคะโส¹
 Thitinon Srisuwandee¹*, Rapeepan Pitakaso¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

* Correspondent author: thitinon@hotmail.com

บทคัดย่อ

องค์กรที่อาศัยการขนส่งเป็นกิจกรรมหลักอย่างกรณีศึกษาบริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม อำเภวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดการด้านการขนส่งที่เหมาะสม ทั้งนี้เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าและสร้างความพึงพอใจในการบริการ อีกทั้งยังเป็นการลดต้นทุนให้กับองค์กรอีกด้วย ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบอัลกอริทึม โดยประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดและการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี การย้ายลูกคาระหว่างเส้นทาง (Crossover-Move) การสลับสองตำแหน่ง (2-Opt) และการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One-Move) เพื่อแก้ปัญหการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ให้กับบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งมีรูปแบบปัญหาเป็นแบบเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-HARD) โดยความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัดและลูกค้า แต่ละรายมีความต้องการสินค้าไม่แน่นอนดังนั้นผู้วิจัยจึงจัดการความไม่แน่นอนด้วยหลักทางสถิติคือ ฐานนิยมและค่าเฉลี่ย ผลการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับ การจัดเส้นทางของผู้ประกอบการพบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี โดยสามารถลดระยะทางจากเดิม 584.25 กิโลเมตร เป็น 441.35 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 24.46%

Abstract

The organizations which use transportations for their main activity like the case study of Jiaranai drinking water company amphur Warinchamrap Ubonratchathani province. It is very important that needs the appropriate management of transportation to meet the needs for their customers, the satisfactions of services, and decreasing budgets. So, researcher designs and implements algorithm which using the application of Ant Colony Optimization (ACO) and improve the solution using Crossover-Move, 2-Opt, and One-Move heuristics to solve vehicle routing problem (VRP) in this case. The capacity of vehicle is limited and each customer has uncertain demand so we figure this problem by using mode and statistical average. The VRP has been known as an NP-hard problem. The experimental results compared to the current vehicle routes show that the proposed ACO with Crossover-

Move, 2-Opt, and One-Move heuristics provides good solutions. The total distance can be reduced from 584.25 kilometers to 441.35 kilometers or decreased by 24.46%.

คำสำคัญ: วิชานิคมมด การย้ายหนึ่งตำแหน่ง การย้ายลูกค้ำระหว่างเส้นทาง การสลับสองตำแหน่ง ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

Keywords: ant colony optimization, one-move, crossover-Move, 2-opt, vehicle routing problem

1. บทนำ

ปัจจุบันคงปฏิเสธไม่ได้ว่าพลังงานเป็นปัจจัยสำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานในการดำเนินชีวิตของมนุษย์เกือบจะทุกคน ซึ่งแหล่งพลังงานหลักของโลกในปัจจุบันคือ “แหล่งพลังงานน้ำมัน” และนับวันจะมีแนวโน้มการใช้ที่สูงขึ้นทั่วโลก สำหรับประเทศไทยเองมีแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงไม่เพียงพอ จึงจำเป็นต้องพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจากต่างประเทศ ดังนั้นเพื่อให้มั่นใจว่าในอนาคตประเทศไทยจะมีน้ำมันเชื้อเพลิงใช้กันอย่างพอเพียง แนวทางในการพัฒนาแผนพลังงานของประเทศ จึงต้องคำนึงถึงการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีการใช้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยจะต้องอาศัยความร่วมมือจากทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นภาครัฐหรือภาคเอกชนควรตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวที่เกิดขึ้นและควรหันมาให้ความสำคัญกับการแก้ปัญหาด้านพลังงานซึ่งปัญหาด้านการจัดการการขนส่งก็เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาด้านพลังงาน สำหรับองค์กรที่มีกิจกรรมการขนส่งเป็นกิจกรรมหลักขององค์กร หากมีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะที่ไม่เหมาะสมจะทำให้ต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิงจำนวนมาก จึงเป็นการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดนั้นอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดการด้านการขนส่งที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นจัดการด้านการขนส่งของบริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี โดยการประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimiza-

tion: ACO) และการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี การย้ายหนึ่งตำแหน่ง การย้ายลูกค้ำระหว่างเส้นทาง และการสลับสองตำแหน่ง เพื่อจัดเส้นทางรถขนส่งสำหรับยานพาหนะให้เหมาะสม ซึ่งเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิง และยังช่วยลดต้นทุนให้กับบริษัทกรณีศึกษา

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นปัญหาด้านการขนส่งและลอจิสติกส์รูปแบบหนึ่งที่มีการศึกษามายาวนานกว่า 40 ปี และมีการค้นคว้าอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ทำให้ปัญหา VRP ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาจนมีความหลากหลายมากขึ้นตามไปด้วยถึงแม้จะมีการศึกษามายาวนานก็ตามที่แต่ทว่ายังไม่มีวิธีการใดที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์แบบเนื่องจากความยากในการหาคำตอบของปัญหา จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาหลายท่านเช่น ในงานวิจัยของต่างประเทศ Thangiah (1) ได้นำเสนอวิธีการผสมผสานระหว่างการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) และการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search: TS) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา VRP ที่มีลูกค้าตั้งแต่ 100-417 ราย ซึ่งนับเป็นงานวิจัยที่เป็นต้นแบบในการพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบผสมผสาน Beatrice et al. (2) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับปัญหา VRP แบบมีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Problem) โดยการหาจำนวนรถขนส่งน้อยที่สุดและผลรวมต้นทุนในการเดินทางขนส่งหรือระยะทางสั้นที่สุด โดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) และเทคนิคการเรียงลำดับแบบพาเรโต (Pareto Ranking) ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ ส่วนงานวิจัยในประเทศได้แก่ นิรันดร์ และสมบัติ (3) นำเสนอวิธีวิธีวิฤตสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยาน

พาหนะ โดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP) สำหรับการค้นหาคำตอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางรวมต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัดพบว่าวิธีฮิวริสติกที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี จูตินนท์ และคณะ (4) ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติก Clarke-Wright Saving Heuristic และ Nearest Neighborhood Heuristic สำหรับการค้นหาคำตอบภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัด กระบวนการทำงานของฮิวริสติกแบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรก เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial Solution Phase) เพื่อพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข โดยวิธี Clarke-Wright Saving Heuristic และ Nearest Neighborhood Heuristic และระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคำตอบ โดยใช้โปรแกรม Lingo V.11 ผลการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางของผู้ประกอบการพบว่า วิธีฮิวริสติกที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี ไซยา และระพีพันธ์ (5) ใช้วิธีฮิวริสติก Nearest Neighborhood Heuristic และ Cluster first – route second ร่วมกับ Sweep Approach ในการแก้ปัญหา VRP พบว่า มีระยะทางในการขนส่งดีกว่าระยะทางที่เกิดจากเส้นทางเดิมที่โรงงานกรณีศึกษาใช้อยู่

วิธี ACO ได้ถูกนำมาเผยแพร่ครั้งแรกโดย Dorigo et al. (6) ซึ่งเป็นวิธีเมตาฮิวริสติกส์ที่ประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของบุรุษไปรษณีย์ (Traveling Salesman Problem: TSP) ขั้นตอนวิธีการนี้เป็นการสังเกตพฤติกรรมของฝูงมดในการค้นหาอาหาร โดยมดจะมีการติดต่อสื่อสารส่งผ่านข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารด้วยฟีโรโมน (Pheromone) ซึ่งจะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของแหล่งอาหารที่ค้นพบ โดยมดตัวอื่นๆ จะตามรอยฟีโรโมนมายังแหล่งอาหารในที่สุด จากพฤติกรรมของมดดังกล่าวถูกนำมาสร้างเป็นขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาการหาเชิงจัดการเพื่อหาคำเหมาะที่สุด ในการจำลองพฤติกรรมนี้มดเทียมจะถูกสร้างขึ้นให้คล้ายคลึงกับสถานะแวดล้อมในการค้นหา

พื้นที่ของผลเฉลยวัตถุประสงค์คือ ค้นหาให้เจอแหล่งอาหารที่มีคุณภาพและคัดแปลงความจำไว้ที่ฟีโรโมน โดยในประเทศมีงานวิจัยที่นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา สุพรรณ และคณะ (7) นำเสนอวิธี ACO และขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap) การย้าย (Move) 2-Opt และ 3-Opt อัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางรถขนส่ง (Multi Depot Vehicle Routing Problem: MDVRP) ซึ่งประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้อยู่ในเกณฑ์และใช้เวลาในการค้นหาคำตอบอย่างเหมาะสม

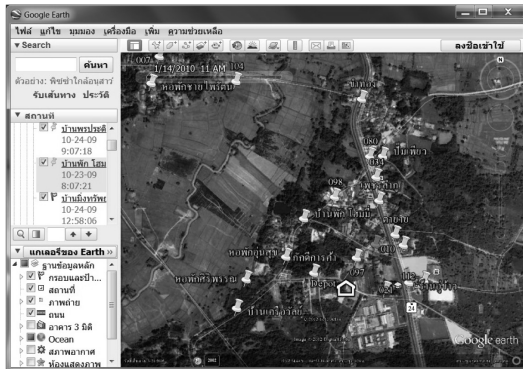
2. วิธีวิจัย

2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเริ่มจากศึกษารูปแบบการขนส่งน้ำดื่มของบริษัทกรณีศึกษา จากการเก็บข้อมูลพบว่า มีจำนวนลูกค้าทั้งสิ้น 201 ราย มีรถบรรทุกสำหรับขนส่งน้ำจำนวน 1 คัน รถบรรทุกสามารถบรรทุกน้ำดื่มได้ 50 ถัง/คัน ถนนที่ใช้ในการขนส่งแบ่งเป็น 2 ช่องทางจราจร ดังนั้นระยะทางไป-กลับ จะไม่เท่ากัน ลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้าไม่แน่นอน เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ผู้วิจัยหาค่าความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละราย จากหลักทางสถิติคือ ฐานนิยม (Mode) เนื่องจากหากลูกค้ารายนั้นทำการรับสินค้าในปริมาณที่ซ้ำกันอยู่บ่อยครั้งก็แสดงว่าลูกค้ารายนั้น ทำการรับสินค้าในปริมาณเท่ากันเป็นปกติ ในกรณีที่ลูกค้ารับสินค้าน้อยกว่าหรือมากกว่านั้น อาจเนื่องมาจากความผิดปกติ เช่น ลูกค้ามีการจัดงานแต่งงานหรืองานสังสรรค์ เป็นต้น จึงทำให้รับสินค้ามากกว่าปกติ หากใช้ค่าเฉลี่ยแทนความต้องการของลูกค้ารายนั้นแล้วจะทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้ แต่ถ้าไม่มีเลขซ้ำกันจะคิดโดยใช้หลักการหาค่าเฉลี่ย (Mean) ดังตารางที่ 1 การหาระยะทางของลูกค้าแต่ละรายใช้เครื่อง GPS รุ่น Garmin GPSMAP 60 Cx บันทึกจุดของลูกค้าแต่ละรายแล้วกำหนดตำแหน่งลงโปรแกรม Google Earth พร้อมทั้งสร้าง Distance Matrix ดังรูปที่ 1

ตารางที่ 1. ตัวอย่างการหาความต้องการสินค้าของลูกค้า

ลูกค้า	วันส่งสินค้า							Demand (ถัง)
	1	2	3	4	5	6	7	
A1	5	5	3	4	6	5	5	5
A2	8	2	4	9	10	7	5	$6.4 \approx 7$



รูปที่ 1. ตัวอย่างตำแหน่งของลูกค้า

ปัจจุบันเจ้าของกิจการจัดเส้นทางรถขนส่งด้วยประสบการณ์ของตนเอง โดยส่งสินค้าให้กับลูกค้าเป็นแบบรายสัปดาห์ ดังนั้นทุกสัปดาห์จะส่งสินค้าแบบเดียวกัน และลูกค้าบางรายจะมีวันส่งสินค้าที่ต่างจากกัน ซึ่งจำนวนลูกค้าที่ต้องไปส่งสินค้าในแต่ละวันแสดงดังตารางที่ 2

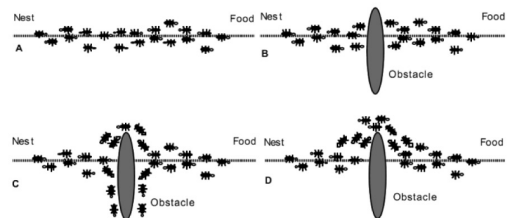
ตารางที่ 2. จำนวนลูกค้าในแต่ละวัน

Day	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
No.							
of customers	50	46	53	50	48	54	32

2.2 การประยุกต์วิธีอาณานิคมมดและการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ

วิธีอาณานิคมมดเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมกรหาอาหารของมดเป็นการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหาร โดยใช้ฟีโรโมนที่มด

วางไว้ระหว่างทางเพื่อใช้ในการสื่อสารกับมดตัวอื่นๆ ในฝูง ซึ่งสามารถอธิบายการใช้ฟีโรโมนในการหาหะยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหารของมดได้ดังนี้ เริ่มแรกในการเดินออกจากรังของมดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร หากเส้นทางในการเดินทางไปสู่แหล่งอาหารมีหลายเส้นทางด้วยกัน เนื่องจากว่าไม่มีร่องรอยใดที่แสดงให้เห็นว่าเส้นทางไหนดีกว่ากัน พวกมดจึงจำเป็นต้องสุ่มเลือกเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง ดังนั้นแต่ละเส้นทางจึงมีโอกาสเท่ากันที่มดแต่ละตัวในฝูงจะเลือกเส้นทางนั้นเพื่อเดินไปยังแหล่งอาหาร จึงสันนิษฐานได้ว่าในแต่ละเส้นทางมีมดที่เลือกเดินจำนวนเท่ากันทุกเส้นทาง สมมติว่ามดแต่ละตัวเดินทางด้วยความเร็วใกล้เคียงกัน มดที่เดินในเส้นทางที่สั้นกว่าจะใช้เวลาน้อยกว่ามดที่เดินในเส้นทางที่ไกลกว่า เนื่องจากฟีโรโมนมีคุณสมบัติสามารถระเหยไปได้เมื่อระยะเวลาผ่านไป ดังนั้นในเส้นทางที่สั้นกว่าจะมีความเข้มข้นของฟีโรโมนมากกว่า จากพฤติกรรมของมดจะเลือกเดินตามกลิ่นฟีโรโมนที่แรงหรือเข้มข้นกว่า จึงส่งผลให้มดตัวที่เดินตามหลังมาจะเลือกเส้นทางที่สั้นกว่า และท้ายที่สุดมดทุกตัวก็จะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อเดินไปยังแหล่งอาหารแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. การเดินทางของมดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร(8)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยออกแบบขั้นตอนต่างๆ ของอัลกอริทึมที่ใช้ในการค้นหาคำตอบดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ ACO ทั้งหมด ได้แก่ จำนวนรอบที่ต้องการวนซ้ำ (Iteration) 2,500 รอบ จำนวนประชากรมด (Ant Population) เท่ากับ 4 ตัว, กำหนดค่าฟีโรโมน (Pheromone: τ) เริ่มต้นที่ 1 เท่ากันหมด ยกเว้น การเชื่อมเมืองเดียวกัน

เช่น เมือง 1-1 จะมีค่าเป็นศูนย์เนื่องจากไม่สามารถดำเนินการเชื่อมต่อได้ อัตราการระเหยของค่าฟีโรโมน (Evaporation Rate: ρ) เท่ากับ 0.02, ค่าพารามิเตอร์ (α) เท่ากับ 5 และพารามิเตอร์ (β) เท่ากับ 5

ขั้นตอนที่ 2 สร้างคำตอบเริ่มต้นจากพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้ กำหนดให้หมอคอยที่เมือง i กำลังที่จะเลือกที่จะเดินทางไปเมืองใด และกำหนดให้เมืองที่หม่อเลือกไป แทนด้วย j

$$p(i, j) = \frac{[\tau(i, j)]^\alpha [\eta(i, j)]^\beta}{\sum_{j=1}^J [\tau(i, j)]^\alpha [\eta(i, j)]^\beta} \quad (1)$$

$$cumpop(i, j) = \sum_{k=1}^J p(i, k) \quad (2)$$

โดยที่ $\eta=1/\delta(i, j)$ คือ ส่วนกลับของระยะทาง

$\delta(i, j)$ คือ ระยะทางระหว่างเมือง i และเมือง j

J คือ เซตของเมืองที่ยังไม่ถูกเลือกเข้าไปอยู่ในเส้นทางใด ๆ

$p(i, j)$ คือ ความน่าจะเป็นของการเลือกเมือง j เมื่อหมอคอยที่เมือง i

$cumpop(i, j)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมของการเลือกเมือง j เมื่อหมอคอยที่เมือง i

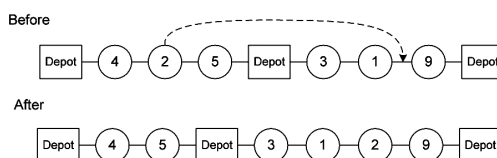
จากสมการที่ [1] เป็นสมการหาความน่าจะเป็นในการที่แต่ละเมืองมีโอกาสถูกเลือกเป็นเมืองที่จะเดินทางไป โดยเมืองที่มีค่าผลคูณระหว่างค่าฟีโรโมนยกกำลังแอลฟา กับค่าส่วนกลับระยะทางยกกำลังเบต้า หรือเรียกว่าค่าความน่าสนใจ (Attractiveness) มาก ความน่าจะเป็นที่หม่อจะเลือกไปเมืองนั้นจะมีค่าสูง เมืองใดที่ค่าความน่าสนใจต่ำ ความน่าจะเป็นที่หม่อจะเลือกไปเมืองนั้นก็ต่ำด้วย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นผลรวมของความน่าจะเป็นทั้งหมดของเมืองที่หม่อยังไม่ได้ไปมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อได้ความน่าจะเป็นแล้วจะใช้หลักการของวงกลมรูเล็ตต์วีล (Roulette Wheel) มาใช้ในการสุ่มหาเมืองที่จะเดินทางไป โดยหาความน่าจะเป็นสะสมดังสมการที่ [2] ความน่าจะเป็นสะสมได้จากผลรวมของความน่าจะเป็นของเมืองในลำดับแรกของลำดับของคู่แข่ง (Candidate list: CL) จนกระทั่งถึงเมืองที่ j จากนั้นสุ่มตัวเลขมาหนึ่งตัวซึ่งมีค่า

อยู่ระหว่าง $\{0,1\}$ หากตัวเลขสุ่มตกอยู่ในช่วงใดจะเลือกเมืองนั้นเป็นลำดับถัดจากเมืองที่ i

หม่อแต่ละตัวจะเริ่มเดินทางออกจาก Depot จากนั้นจะเลือกลูกค้ารายถัดไปจากบัญชีคู่แข่งตามกฎในสมการที่ [1], [2] และจะเดินทางกลับ Depot เมื่อสินค้าหมดแล้วจึงออกเดินทางจาก Depot ใหม่อีกครั้งจนกว่าจะเดินทางไปยังลูกค้าครบทุกรายจึงจะถือว่าได้คำตอบเริ่มต้นของหม่อหนึ่งตัว โดยกำหนดหม่อมีทั้งหมด 4 ตัว ผู้วิจัยเลือกหม่อตัวที่ให้ค่าผลรวมระยะทางการใช้ยานพาหนะขนส่งทุกคันรวมกันมีค่าน้อยที่สุด ในการออกไปผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ

ขั้นตอนที่ 3 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบ (Local Search) ใช้วิธีการ One-Move, Crossover-Move และ 2-Opt

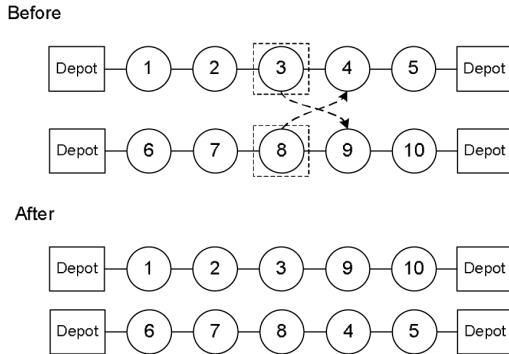
One-Move เป็นการย้ายลูกค้าหนึ่งรายจากสับเซตหนึ่งไปยังอีกสับเซตหนึ่ง โดยไม่มีการย้ายแบบสลับหรือย้ายภายในสับเซตตัวเองดังแสดงในรูปที่ 3 และการย้ายจะต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข ในงานวิจัยนี้ลูกค้าจะถูกเลือกและย้ายไปแทรกในเส้นทางอื่นที่ไม่ใช่เส้นทางเดิมที่ลูกค้ารายนั้น ในทุกๆ ตำแหน่งเท่าที่จะเป็นไปได้ แล้วบันทึกค่าระยะทางที่เกิดขึ้นไว้เพื่อเลือกตำแหน่งที่ย้ายแล้วดีที่สุด จากนั้นทำซ้ำการย้ายลูกค้าจนกว่าจะไม่สามารถลดระยะทางได้



รูปที่ 3. การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี One-Move

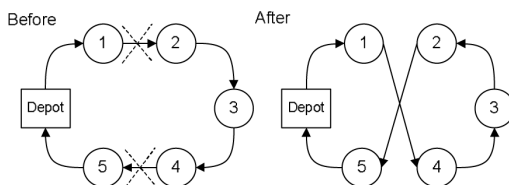
Crossover-Move เป็นการย้ายลูกค้าระหว่างเส้นทางย่อย โดยการเลือกลูกค้ามาสองรายจากสองเส้นทาง แล้วทำการสลับลูกค้าทั้งหมดที่อยู่ถัดจากลูกค้ารายที่เลือกนั้น จากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง ดังนั้นส่วนต้นของเส้นทางแรกจะถูกเชื่อมด้วยส่วนท้ายของเส้นทางที่สองและในขณะเดียวกันส่วนต้นของเส้นทางที่สองจะถูกเชื่อมเข้ากับส่วนท้ายของเส้นทางแรกนั่นเอง

การย้ายจะย้ายทุกๆ ตำแหน่งที่เป็นไปได้แล้วบันทึกค่าระยะทางรวมที่เกิดขึ้นไว้เพื่อเลือกตำแหน่งที่ย้ายแล้วดีที่สุด จากนั้นทำซ้ำการย้ายลูกค้าจนกว่าจะไม่สามารถย้ายลูกค้าได้แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4. การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี Crossover-Move

2-Opt เป็นการย้ายลูกค้าเฉพาะภายในเส้นทางเดิมเท่านั้น โดยเริ่มจากการเลือกเส้นทางเชื่อมระหว่างลูกค้าสองเส้นทางที่ไม่อยู่ติดกันแล้วสลับเส้นทางการเชื่อมต่อทั้งสองเส้นทางนั้น ซึ่งจะทำให้ลำดับของลูกค้าระหว่างสองจุดที่ถูกเลือกนั้นถูกเรียงกลับในทิศทางกันข้าม การย้ายจะย้ายทุกๆ ตำแหน่งที่เป็นไปได้แล้วบันทึกค่าระยะทางรวมที่เกิดขึ้นไว้เพื่อเลือกตำแหน่งที่ย้ายแล้วดีที่สุด จากนั้นทำซ้ำการย้ายลูกค้าจนกว่าจะไม่สามารถย้ายลูกค้าได้แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5. การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี 2-Opt

ขั้นตอนที่ 4 การปรับค่าฟีโรโมนในงานวิจัยนี้ मदตัวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแล้วให้ผลเฉลยของเส้นทางที่ดีที่สุดเท่านั้นจึงจะสามารถปล่อยฟีโรโมนได้ เพื่อสร้างความเด่นชัดให้กับเส้นทางนั้น

$$\tau(i, j) = (1 - \rho)(\tau(i, j)) \quad (3)$$

$$\tau(i, j) = (1 - \rho)(\tau(i, j)) + g \quad (4)$$

โดยที่ ρ คือ อัตราการระเหยของค่าฟีโรโมน ซึ่งมีค่า $0 \leq \rho \leq 1$

g คือ ส่วนกลับของระยะทางรวมของเส้นทางที่สั้นที่สุดในรอบนั้นๆ

ค่าฟีโรโมนจะถูกปรับตามสมการที่ [3] ถ้าสมการที่สร้างเส้นทางที่ดีที่สุดไม่ได้เดินทางผ่านจุดเชื่อมนั้น และค่าฟีโรโมนจะถูกปรับตามสมการที่ [4] ถ้าสมการนั้นเดินทางผ่านจุดเชื่อม คำตอบที่ดีเพียงพจากอัลกอริทึมนี้เป็นคำตอบที่ได้จากการทำงานของกลไกทั้ง 4 ขั้นตอน และกระทำซ้ำตามเงื่อนไขที่กำหนด

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

ผู้วิจัยนำวิธีอาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบไปเขียนชุดคำสั่งด้วยโปรแกรม Dev C++ version 4.9.9.2 และทดสอบอัลกอริทึมด้วยคอมพิวเตอร์รุ่น Intel(R) Core(TM)2 Duo CPU T5900 @2.20 GHz Ram 2 GB. ซึ่งการจัดเส้นทางแต่ละวันทดลองเป็นจำนวน 10 ครั้ง โดยเลือกคำตอบที่มีระยะทางสั้นที่สุด ทำการวัดประสิทธิภาพเทียบคำตอบกับเส้นทางปัจจุบัน ภาพรวมของคำตอบทั้งหมดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. ผลการทดลองจากอัลกอริทึม (หน่วยระยะทางเป็นกิโลเมตร)

Day	No. of Customers	เส้นทางปัจจุบัน	Ant	Ant_1	Ant_2	Ant_3	Ant_4	Ant_5	Ant_6
Mon	50	90.942	76.898	67.419	67.436	67.088	66.349	67.329	66.697
Tue	46	95.254	84.151	73.448	73.452	72.603	72.43	73.723	72.473
Wed	53	88.751	78.419	65.946	67.227	65.812	65.726	67.227	65.724
Thu	50	82.258	68.91	62.265	61.497	61.428	61.785	62.206	61.966
Fri	48	87.615	87.45	74.988	74.965	74.473	74.656	75.386	74.623
Sat	54	84.311	67.401	58.052	58.434	57.633	57.984	58.052	58.752
Sun	32	55.115	46.089	42.52	42.52	42.42	42.42	42.52	42.42
Total Distance (Km.)		584.246	509.318	444.638	445.531	441.457	441.35	446.443	442.655
ระยะทางลดลงจากเส้นทางเดิม (%)			12.82%	23.90%	23.74%	24.44%	24.46%	23.59%	24.23%

Ant คือ วิธีอาณานิคมมดแต่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ

Ant_1 คือ Ant > One-Move > Crossover-Move > 2-opt Ant_4 คือ Ant > Crossover-Move > 2-opt > One-Move

Ant_2 คือ Ant > One-Move > 2-opt > Crossover-Move Ant_5 คือ Ant > 2-opt > One-Move > Crossover-Move

Ant_3 คือ Ant > Crossover-Move > One-Move > 2-opt Ant_6 คือ Ant > 2-opt > Crossover-Move > One-Move

จากผลการทดสอบอัลกอริทึมพบว่าวิธีอาณานิคมมดปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการ Crossover-Move, 2-opt แล้ว One-Move จะส่งผลให้เกิดระยะทางรวมสั้นที่สุด โดยเมื่อเทียบกับเส้นทางเดิมแล้วสามารถลดระยะทางจากเดิม 584.25 กิโลเมตร เป็น 441.35 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 24.46% เพื่อให้มั่นใจว่าวิธีการที่ได้ออกแบบมานั้นจะมีประสิทธิภาพเมื่อไปแก้ปัญหาที่มีขนาดลูกค้าใหญ่กว่าหรือเล็กกว่า ผู้วิจัยจึงได้นำชุดปัญหาที่ทราบคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อทำการวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น โดยนำชุดปัญหา Augerat et al. และ Christofides and Eilon มาจากเว็บไซต์ VRP Web (9) จำนวน 14 ปัญหา วิธีอาณานิคม

มดปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการ Crossover-Move, 2-opt แล้ว One-Move ทดสอบด้วยพารามิเตอร์ Iteration = 2,500 รอบ, Ant Population = 4 ตัว, $\tau = 1$, $\rho = 0.02$, $\alpha = 5$ และ $\beta = 5$ แต่ละปัญหาทดลองเป็นจำนวน 5 ครั้ง ทำการวัดประสิทธิภาพเทียบคำตอบใน VRP Web ภาพรวมของคำตอบทั้งหมดดังตารางที่ 4 แต่ละปัญหามีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างของคำตอบ (%Gap) มากที่สุดเท่ากับ 1.44% และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความต่างของคำตอบเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.00%-1.71% ดังนั้นวิธีอาณานิคมมดปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการ Crossover-Move, 2-opt แล้ว One-Move มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบและยังใช้เวลาประมวลผลอย่างเหมาะสม

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบกับชุดปัญหา VRP ขนาดต่างๆ 14 ปัญหาของเว็บไซต์ The VRP Web (9)

Instance Name	No. of Customers	Vehicle Capacity	Optimal Value	ACO : Best solution			ACO : Average solution		
				Objective Value	Time (Sec.)	%Gap	Objective Value	Time (Sec.)	%Gap
A-n32-k5	32	100	784	784	11.17	0.00%	784	11.881	0.00%
A-n33-k5	33	100	661	661	11.232	0.00%	661	12.283	0.00%
A-n33-k6	33	100	742	742	9.875	0.00%	742	11.122	0.00%
A-n48-k7	48	100	1073	1073	36.8	0.00%	1073	38.569	0.00%
A-n53-k7	53	100	1010	1010	49.811	0.00%	1015.2	53.155	0.51%
A-n54-k7	54	100	1167	1167	55.115	0.00%	1169.2	57.361	0.19%
A-n55-k9	55	100	1073	1073	51.901	0.00%	1073.8	56.587	0.07%
A-n63-k10	63	100	1315	1320	61.043	0.38%	1324	78.237	0.68%
B-n50-k7	50	100	741	741	14.82	0.00%	741	36.641	0.00%
B-n50-k8	50	100	1313	1315	26.208	0.15%	1319	40.594	0.46%
E-n76-k8	76	180	735	738	115.877	0.41%	738.8	118.207	0.52%
E-n76-k10	76	140	832	844	124.613	1.44%	846.2	134.590	1.71%
E-n101-k8	101	200	817	817	149.027	0.00%	818.4	163.862	0.17%
E-n101-k14	101	112	1077	1088	236.965	1.02%	1091.4	266.314	1.34%

%Gap = [(Solution of Algorithm – Optimal Value) / Optimal Value] x 100

4. สรุป

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยนำเสนอวิธีอาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มของบริษัทกรณีศึกษาพบว่าทุกอัลกอริทึมที่ออกแบบให้ผลเฉลยคำตอบของระยะทางต่ำกว่าเส้นทางปัจจุบันที่เจ้าของกิจการดำเนินการเอง ซึ่งวิธีอาณานิคมมดปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการ Crossover-Move, 2-opt แล้ว One-Move ให้ผลเฉลยของระยะทางต่ำที่สุด โดยสามารถลดระยะทางจากเดิม 584.25 กิโลเมตร เป็น 441.35 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 24.46%

สำหรับค่าความต้องการของลูกค้าที่กำหนดขึ้นมานี้ อาจมีผลต่อการประมวลผลและประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา เนื่องจากค่าความต้องการของลูกค้า

เป็นพารามิเตอร์อีกหนึ่งตัวที่ต้องใช้ในการประมวลผลหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง หากทำการประมาณค่าความต้องการของลูกค้าผิดพลาดการนำผลเฉลยที่ได้ไปใช้งานจริงอาจไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควร ดังนั้นจึงควรพิจารณาและกำหนดค่าที่เหมาะสมสำหรับปัญหาประเภทนี้ เพื่อให้สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะในอนาคตผู้วิจัยจะได้พัฒนาวิธี Differential Evolution Algorithm แก้ปัญหาการเลือกสถานที่และจัดเส้นทางขนส่ง สำหรับวิธีอาณานิคมมดมีพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องอยู่หลายค่าด้วยกันที่มีผลต่อการค้นหาคำตอบของแต่ละปัญหา โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่แตกต่างกันอาจมีค่าที่แตกต่างกันด้วย จึงควรทดสอบเพื่อเลือกค่าที่เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้โดยได้รับคำปรึกษาแนะนำจาก ผศ.ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส และได้รับความร่วมมือในการให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยจากผู้จัดการและพนักงานของบริษัทเจียรนัยน้ำดื่มจำกัด ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยอุบลราชธานีที่ให้การสนับสนุนเงินงบประมาณ

6. เอกสารอ้างอิง

1. Thangiah S. A Hybrid Genetic Algorithms, Simulated Annealing and Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows. 3rd Practical Handbook of Genetic Algorithms.1999; 347-381.
2. Beatrice O, Brian J and Franklin H. Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows. Applied Intelligence. 2006;24(1): 17-30.
3. Sommut N, Sindhuchao S. GRASP Heuristic for vehicle routing problem. RMUTI Journal. 2008;2(1): 3-13. Thai.
4. Srisuwandee T, Khumhan T, Moonsan P, Pitakaso R. Develop algorithm to solve transportation route Case study of Jiaranai drinking water company Ubonratchathani. Proceedings of the IE Network Conference; 2010 Oct 13-15; UbonRatchathani, Sunee Grand Hotel and convention center; 2010. P. 219. Thai.
5. Chaiya C and Pitakaso R. Heuristic Approach to Solve Transportation Problem for Drinking Water Case Study Numderm Rainbow Factory. Proceedings of the IE Network Conference; 2010 Oct 13-15; UbonRatchathani, Sunee Grand Hotel and convention center; 2010. P. 212. Thai.
6. Dorigo M, Maniezzo V and Colomi A. The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents. IEEE Transactions on systems, 1996;22(2): 340-349.
7. Sodsoon S, Sindhuchao S, Pitakaso R, Pathumnakul S. An ant colony optimization (ACO) and solution improvement procedures for multi-depot vehicle routing problem. Proceedings of the IE Network Conference; 2007 Oct 24-26; Phuket, Royal Phuket City Hotel; 2007. P. 81. Thai.
8. Dorigo M. and Gambardella L. M. Ant colonies for the traveling salesman problem. BioSystems. 1997;43: 73-81..
9. Bernabé D. The VRP web[internet]. 2012[updated 2007 March; cited 2012 Mar 15]. Available from: <http://neo.lcc.uma.es/radi-aeb/WebVRP/>