

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า โดยใช้วิธีอาณานิคมมด

กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัด บ้านแพ้วกรุ๊ป

Solving Vehicle Routing Problem by Using ant Colony Optimization for Case Study of Ban Paeo Group Ltd.

จิตติวรดา ศรีสุวรรณดี สมบัติ สินธุเชาวน์

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ใช้วิธีอาณานิคมมดที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของมด สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า สำหรับวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม กรณีศึกษาห้างหุ้นส่วนจำกัดบ้านแพ้วกรุ๊ป ซึ่งทำการขนส่งสินค้าหลายชนิดให้กับลูกค้าที่มีความต้องการไม่แน่นอน สินค้าแต่ละชนิดมีขนาดและน้ำหนักที่แตกต่างกัน รถขนส่งสินค้ามีความจุที่จำกัด เวลารวมในการขนส่งสินค้าและให้บริการลูกค้าของแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินจำนวนชั่วโมงการทำงานของพนักงานตามกฎหมายแรงงาน วิธีอาณานิคมมดที่ผู้วิจัยนำเสนอมีปรับปรุงคำตอบโดยประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบ 3 วิธี ได้แก่ การย้ายตำแหน่ง, การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง และการสลับสองตำแหน่ง ดังนั้นผู้วิจัยจัดการความไม่แน่นอนของสินค้าโดยใช้ค่าความต้องการสินค้าเฉลี่ย พบว่าต้องขนส่งสินค้า 7 เที่ยวจึงจะให้บริการลูกค้าครบทุกราย โดยมีระยะทางรวม 373.64 กิโลเมตร คิดเป็นต้นทุนรวม 2,664.33 บาท เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพท์กับเส้นทางรถขนส่งปัจจุบันสามารถลดต้นทุนรวมได้ 5,398.26 บาท หรือคิดเป็น 66.95% แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้อย่างเหมาะสม

คำสำคัญ : ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งสินค้า วิธีอาณานิคมมด

Abstract

In this research, we used Ant Colony Optimization: ACO that simulates a food seeking behavior of ants to solve vehicle routing problems for small and medium-sized enterprises. The case study is Ban Phaeo Group Ltd. Demand from each customer is uncertain and the vehicle capacity is limited. Additionally the total time of delivery and customer service for each route must not exceed the working period that is required by the labor law. To improve the solution of VRP, three local search methods that are One Move, Exchange and 2-Opt Move are applied. Average customer demands are used for constructing vehicle routes. The result of this case shows that seven vehicle routes are constructed with the total travel distance of 373.64 kilometers and the total cost of 2,664.33 Baht. The experimental result from this cases is compared to the current vehicle routes. The total cost can be saved by 5,398.26 Baht or 66.95%. This shows that the propose method can suitably provide a good solution.

Keywords : vehicle routing problems, Ant Colony Optimization

1. บทนำ

ปัจจุบันองค์กรธุรกิจต่าง ๆ มีต้นทุนด้านพลังงานเพิ่มขึ้นเนื่องจากราคาเชื้อเพลิงราคาน้ำมันเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทำให้ธุรกิจและหน่วยงานต่าง ๆ ให้ความสำคัญในด้านค่าใช้จ่าย เพื่อลดต้นทุนในส่วนของพลังงานให้มากที่สุด จะเห็นได้ว่าโลจิสติกส์เข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้นในทั้งภาครัฐและเอกชน ต้นทุนการขนส่งสินค้าเป็นต้นทุนด้านโลจิสติกส์ที่มีความสำคัญที่สุดประเภทหนึ่ง ผู้บริหารแต่ละองค์กรจึงให้ความสำคัญในการบริหารจัดการเพื่อลดต้นทุนการขนส่งสินค้า ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับกิจกรรมการขนส่งสินค้าของกรณีศึกษาคือ ห้างหุ้นส่วนจำกัดบ้านแพ้วกรุ๊ป

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่าห้างหุ้นส่วนจำกัดบ้านแพ้วกรุ๊ปมีรถที่ใช้ในการขนส่งหลายขนาดและขนส่งสินค้าหลายชนิดงานวิจัยนี้จะเลือกรถกระบะที่ใช้ในการขนส่งนมกล่องยี่ห้อหนึ่งที่มีหลายขนาดความจุในเขตอำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานีเท่านั้น เนื่องจากมีร้านค้าอยู่เป็นจำนวนมากที่รถขนส่งต้องเดินทางไปส่งสินค้าและบริษัทมีการจัดเส้นทางรถขนส่งที่เป็นระบบและมีประสิทธิภาพ พนักงานขับรถจะเป็นผู้กำหนดเส้นทางรถขนส่งเองตามประสบการณ์และความเคยชิน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาปัญหาดังกล่าวและแก้ปัญหาโดยใช้วิธีเมตาฮิวริสติกเพื่อใช้ในการจัดเส้นทางรถขนส่งให้ระยะทางการขนส่งรวมสั้นลง อันจะส่งผลให้เกิดการประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ Vehicle Routing Problem (VRP) เป็นปัญหาด้านการขนส่งและโลจิสติกส์รูปแบบหนึ่งที่มีการศึกษามายาวนานกว่า และมีการค้นคว้าอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ทำให้ปัญหา VRP ได้รับความนิยมนิยมและมีการพัฒนาจนมีความหลากหลายมากขึ้นตามไปด้วยถึงแม้จะมีการศึกษามายาวนานก็ตามแต่ที่ว่ายังไม่มียุทธวิธีที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากความยากในการหาคำตอบของปัญหา จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาหลายท่านเช่น ในงานวิจัยของ

ต่างประเทศ Thangiah [1] ได้นำเสนอวิธีการผสมผสานระหว่างการอบอ่อน (Simulated Annealing) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) และการค้นหาแบบทาบ (Tabu Search) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา VRP ที่มีลูกค้าตั้งแต่ 100-417 ราย ซึ่งนับเป็นงานวิจัยที่เป็นต้นแบบในการพัฒนาขั้นตอนวิธีแบบผสมผสาน Beatrice et al. [2] ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับปัญหา VRP แบบมีหลายวัตถุประสงค์ โดยการหาจำนวนรถขนส่งน้อยที่สุดและผลรวมต้นทุนในการเดินทางขนส่งหรือระยะทางสั้นที่สุด โดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) และเทคนิคการเรียงลำดับแบบพาเรโต ซึ่งสามารถใช้แก้ปัญหาดังกล่าวได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ ส่วนงานวิจัยในประเทศได้แก่ นิรันดร์ และสมบัติ [3] นำเสนอวิธีฮิวริสติกสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ โดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกสำหรับการค้นหาคำตอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางรวมต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ผลการคำนวณพบว่าวิธีฮิวริสติกที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี

วิธีอาณานิคมมด Ant Colony Optimization (ACO) ได้ถูกนำมาเผยแพร่ครั้งแรกโดย Dorigo et al. [4] ซึ่งเป็นวิธีเมตาฮิวริสติกที่ประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของมดในธรรมชาติ ขั้นตอนวิธีการนี้เป็นการสังเกตพฤติกรรมของฝูงมดในการค้นหาอาหาร โดยมดจะมีการติดต่อสื่อสารส่งผ่านข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารด้วยฟีโรโมน ซึ่งจะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของแหล่งอาหารที่ค้นพบ โดยมดตัวอื่น ๆ จะตามรอยฟีโรโมนมายังแหล่งอาหารในที่สุด จากพฤติกรรมของมดดังกล่าวถูกนำมาสร้างเป็นขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ในการจำลองพฤติกรรมนี้ มดเทียมจะถูกสร้างขึ้นให้คล้ายคลึงกับสถานะแวดล้อมในการค้นหาพื้นที่ของผลเฉลยวัตถุประสงค์คือ ค้นหาให้เจอแหล่งอาหารที่มีคุณภาพและตัดแปลงความจำไว้ที่ฟีโรโมน โดยในประเทศไทยมีงานวิจัยที่นำหลักการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาคือ สุพรรณ และคณะ [5] นำเสนอวิธี ACO และขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap) การย้าย (Move) 2-

Opt และ 3-Opt อัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าแบบหลายแห่งและการจัดเส้นทางขนส่ง ซึ่งประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดี จูตินนท์ และระพีพันธ์ [6] ประยุกต์ใช้วิธี ACO และการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธี การย้ายลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Crossover-Move) การสลับสองตำแหน่ง (2-Opt) และการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One-Move) เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ โดยความจุของยานพาหนะมีจำนวนจำกัดและลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้าไม่แน่นอนซึ่งมีการจัดการความไม่แน่นอนด้วยหลักทางสถิติคือ ฐานนิยมและค่าเฉลี่ย ผลการทดสอบพบว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี

3. วิธีวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

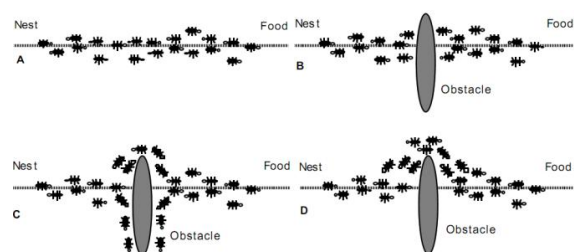
การเก็บรวบรวมข้อมูลเริ่มจากศึกษาปัญหาของการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่งของ ห้างหุ้นส่วนจำกัดบ้านแพ้วกรุ๊ปซึ่งตั้งอยู่เลขที่ 260 หมู่ 9 ตำบลแสนสุข อำเภอวารินชำราบ จังหวัดอุบลราชธานี จากการเก็บข้อมูลพบว่า มีรถขนส่งสินค้าจำนวนหลายคัน ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาเฉพาะรถขนส่งนมกล่องยี่ห้อหนึ่งในเขตอำเภอเมืองจังหวัดอุบลราชธานีเท่านั้น ซึ่งขนส่งสินค้า 6 ชนิด โดยเริ่มจากจุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้า 188 ราย โดยใช้รถบรรทุก 1 คัน ความต้องการสินค้าแต่ละชนิดของลูกค้าแต่ละรายไม่แน่นอน ผู้วิจัยหาค่าความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายจากหลักทางสถิติคือ ค่าเฉลี่ย ดังตารางที่ 1 พนักงานส่งสินค้ามีด้วยกัน 2 คนคือคนขับและพนักงานขายสินค้า รถจะเดินทางออกจากจุดกระจายสินค้าเพื่อส่งสินค้าตามเส้นทางที่คนขับเลือกเองตามอำเภอใจ การหาระยะทางของลูกค้าแต่ละรายใช้โปรแกรม Google Earth พร้อมทั้งสร้าง Distance Matrix

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการหาความต้องการสินค้าของลูกค้า

ลูกค้า	วันส่งสินค้า							Demand (หีบ)
	1	2	3	4	5	6	7	
A1	5	5	3	4	6	5	5	$4.7 \approx 5$
A2	8	2	4	9	10	7	5	$6.4 \approx 7$

3.2 การประยุกต์วิธีอาณานิคมมดและการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ

วิธีอาณานิคมมดเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมกรหาอาหารของมดเป็นการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหาร โดยใช้ฟีโรโมนที่มดวางไว้ระหว่างทางเพื่อใช้ในการสื่อสารกับมดตัวอื่น ๆ ในฝูง ซึ่งสามารถอธิบายการใช้ฟีโรโมนในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหารของมดได้ดังนี้ เริ่มแรกในการเดินออกจากรังของมดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร หากเส้นทางในการเดินทางไปสู่แหล่งอาหารมีหลายเส้นทางด้วยกันเนื่องจากว่าไม่มีร่องรอยใดที่แสดงให้เห็นว่าเส้นทางไหนดีกว่ากัน พวกมดจึงจำเป็นต้องสุ่มเลือกเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง ดังนั้นแต่ละเส้นทางจึงมีโอกาสเท่ากันที่มดแต่ละตัวในฝูงจะเลือกเส้นทางนั้นเพื่อเดินไปยังแหล่งอาหาร จึงสันนิษฐานได้ว่าในแต่ละเส้นทางมีมดที่เลือกเดินจำนวนเท่ากันทุกเส้นทาง สมมติว่ามดแต่ละตัวเดินทางด้วยความเร็วใกล้เคียงกัน มดที่เดินในเส้นทางที่สั้นกว่าจะใช้เวลาน้อยกว่ามดที่เดินในเส้นทางที่ไกลกว่า เนื่องจากฟีโรโมนมีคุณสมบัติสามารถระเหยไปได้เมื่อระยะเวลาผ่านไป ดังนั้นในเส้นทางที่สั้นกว่าจะมีความเข้มข้นของฟีโรโมนมากกว่า จากพฤติกรรมของมดมดจะเลือกเดินตามกลิ่นฟีโรโมนที่แรงหรือเข้มข้นกว่า จึงส่งผลให้มดตัวที่เดินตามหลังมาจะเลือกเส้นทางที่สั้นกว่า และท้ายที่สุดมดทุกตัวก็จะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อเดินไปยังแหล่งอาหาร แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเดินทางของมดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร

(ที่มา: Dorigo M, Maniezzo V and Colormi A, 1996)

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยออกแบบขั้นตอนต่าง ๆ ของอัลกอริทึมที่ใช้ในการค้นหาคำตอบดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับ ACO ทั้งหมด ได้แก่ เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ 18 ชั่วโมง ซึ่งเป็นการกำหนดให้โปรแกรมค้นหาคำตอบ เมื่อครบ 18 ชั่วโมง โปรแกรมจะหยุดค้นหาคำตอบ จำนวนประชากรมด (Ant Population) เท่ากับ 188 ตัว, กำหนดค่าฟีโรโมน (Pheromone: τ) เริ่มต้นที่ 1 เท่ากันหมด ยกเว้น การเชื่อมเมืองเดียวกัน เช่น เมือง 1-1 จะมีค่าเป็นศูนย์ เนื่องจากไม่สามารถดำเนินการเชื่อมได้, อัตราการระเหยของค่าฟีโรโมน (Evaporation Rate: ρ) เท่ากับ 0.02, ค่าพารามิเตอร์ (α) เท่ากับ 5 และพารามิเตอร์ (β) เท่ากับ 2

ขั้นตอนที่ 2 สร้างคำตอบเริ่มต้นจากพารามิเตอร์ที่ตั้งไว้ กำหนดให้มดอยู่ที่เมือง i กำลังที่จะเลือกที่จะเดินทางไปเมืองใด และกำหนดให้เมืองที่มดเลือกไป 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 $\eta(i, j) = 1/\delta(i, j)$ คือ ส่วนกลับของระยะทาง $\delta(i, j)$ คือ ระยะทางระหว่างเมือง i และเมือง j
 $\tau(i, j)$ คือ ค่าฟีโรโมนของเส้นทางเมือง i ไปเมือง j
 J คือ เซตของเมืองที่ยังไม่ถูกเลือกเข้าไปอยู่ในเส้นทางใด ๆ

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

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

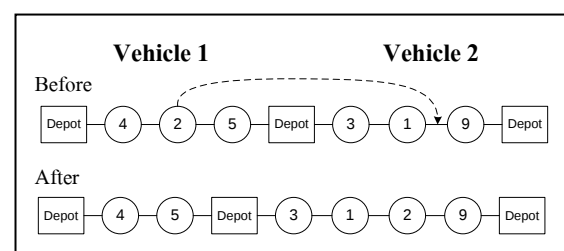
จากสมการที่ (1) เป็นสมการหาความน่าจะเป็นในการที่แต่ละเมืองมีโอกาสถูกเลือกเป็นเมืองที่จะเดินทางไป โดยค่า $[\tau(i, j)]^\alpha [\eta(i, j)]^\beta$ เรียกว่าค่าความน่าสนใจ (Attractiveness) หากมีค่ามาก ความน่าจะเป็นที่มดจะเลือกไปเมืองนั้นจะมีค่าสูง เมืองใดที่ค่าความน่าสนใจต่ำ ความน่าจะเป็นที่มดจะเลือกไปเมืองนั้นก็จะต่ำด้วย แต่ทั้งนี้ทั้งนั้น ผลรวมของความน่าจะเป็นทั้งหมดของเมืองที่มดยังไม่ได้ไปมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อได้ความน่าจะเป็นแล้วจะใช้หลักการ

ของวงกลมรูเล็ตต์วีล (Roulette Wheel) มาใช้ในการสุ่มหาเมืองที่จะเดินทางไป โดยหาความน่าจะเป็นสะสมดังสมการที่ (2) ความน่าจะเป็นสะสมของเมืองที่ j ได้จากผลรวมของความน่าจะเป็นของเมืองตั้งแต่ลำดับแรกในบัญชีรายชื่อของลำดับของคู่แข่งกัน (Candidate list) จนกระทั่งถึงเมืองลำดับที่ j จากนั้นสุ่มตัวเลขมาหนึ่งตัวซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $\{0,1\}$ หากตัวเลขสุ่มตกอยู่ในช่วงใดจะเลือกเมืองนั้นเป็นลำดับถัดจากเมืองที่ i

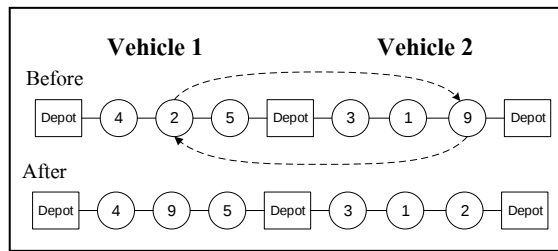
มดแต่ละตัวจะเริ่มเดินทางออกจาก Depot จากนั้นจะเลือกลูกค้ารายถัดไปจากบัญชีคู่แข่งกันตามกฎในสมการที่ (1), (2) และจะเดินทางกลับ Depot เมื่อสินค้าหมด แล้วจึงออกเดินทางจาก Depot ใหม่อีกครั้งจนกว่าจะเดินทางไปยังลูกค้าครบทุกรายจึงจะถือว่าได้คำตอบเริ่มต้นของมดหนึ่งตัว โดยกำหนดมดมีทั้งหมด 188 ตัว ผู้วิจัยเลือกมดตัวที่ให้ค่าผลรวมระยะทางการใช้ยานพาหนะขนส่งทุกคันรวมกันมีค่าน้อยที่สุด ในการออกไปผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ

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

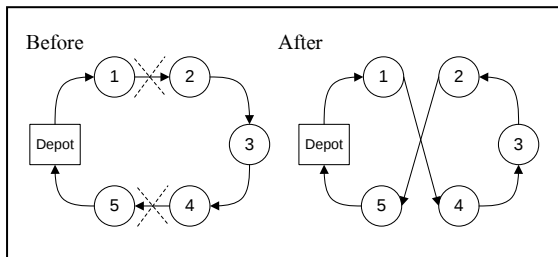
การย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One-Move) เป็นการย้ายลูกค้าหนึ่งรายจากสับเซตหนึ่งไปยังอีกสับเซตหนึ่ง โดยไม่มีการย้ายแบบสลับหรือย้ายภายในสับเซตตัวเองและการย้ายจะต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขดังแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งลูกค้า 2 ย้ายออกจากรถคันที่ 1 เข้าไปอยู่กับรถคันที่ 2 ในงานวิจัยนี้ลูกค้าจะถูกเลือกและย้ายไปแทรกในเส้นทางอื่นที่ไม่ใช่เส้นทางเดิมของลูกค้ารายนั้น ในทุก ๆ ตำแหน่งเท่าที่จะเป็นไปได้ แล้วบันทึกค่าระยะทางที่เกิดขึ้นไว้เพื่อเลือกตำแหน่งที่ย้ายแล้วดีที่สุด จากนั้นทำซ้ำการย้ายลูกค้าจนกว่าจะไม่สามารถลดระยะทางได้



รูปที่ 3 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่ง (One-Move)



รูปที่ 4 การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Exchange)



รูปที่ 5 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วย
วิธีการสลับสองตำแหน่ง (2-Opt)

การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Exchange) เป็นการสลับลูกค้าสองรายจากสองเส้นทาง การสลับเปลี่ยนตำแหน่งจะถูกสลับในทุก ๆ ตำแหน่งที่เป็นไปได้จากนั้นบันทึกค่าระยะทางรวมที่เกิดขึ้น เลือกตำแหน่งที่สลับแล้วดีที่สุด การสลับเปลี่ยนตำแหน่งจะหยุดเมื่อทุก ๆ ตำแหน่งที่สามารถสลับได้ส่งผลให้ระยะทางรวมเพิ่มขึ้นหรือเท่าเดิมแสดงดังรูปที่ 4 ซึ่งลูกค้า 2 ย้ายจากรถคันที่ 1 ไปอยู่กับรถคันที่ 2 และลูกค้า 9 ย้ายจากรถคันที่ 2 ไปอยู่กับรถคันที่ 1

การสลับสองตำแหน่ง (2-Opt) การย้ายแบบ 2-Opt นี้เป็นการย้ายลูกค้าภายในเส้นทางพาหนะขนส่งเดียวกันเท่านั้น โดยเริ่มจากการเลือกลูกค้า 2 ราย ที่อยู่ในเส้นทางเดียวกันและไม่อยู่ติดกัน กำหนดให้ i แทนลำดับในการเดินทางไปของลูกค้าที่ถูกเลือกแรกและ j แทนลำดับในการเดินทางไปของลูกค้าที่ถูกเลือกที่สอง ทำการตัดเส้นเชื่อมระหว่างลูกค้าลำดับที่ i กับ $i+1$ และ j กับ $j+1$ จากนั้นลูกค้าที่อยู่ลำดับก่อนหน้า j จะถูกเรียงใหม่ในทิศทางตรงกันข้ามจนถึงลูกค้าลำดับที่ $i+1$ ขั้นตอนสุดท้ายคือ ทำการเชื่อมลูกค้า $i+1$ กับ $j+1$ ก็จะจบกระบวนการและได้เส้นทางใหม่ออกมาแสดงดังรูปที่ 5 สำหรับการย้ายจะทำการย้ายในทุก ๆ ตำแหน่งที่สามารถย้ายได้แล้วบันทึกค่าระยะทางรวมที่เกิดขึ้นไว้เพื่อเลือกย้ายในตำแหน่งที่ย้าย

แล้วดีที่สุด จากนั้นทำการย้ายจนกระทั่งไม่สามารถลดระยะทางได้อีก

ขั้นตอนที่ 4 การปรับค่าฟีโรโมนในงานวิจัยนี้มดตัวที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพคำตอบแล้วให้ผลเฉลยของเส้นทางที่ดีที่สุดเท่านั้นจึงจะสามารถปล่อยฟีโรโมนได้ 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 อัตราการระเหยของค่าฟีโรโมนซึ่งมีค่า

$$0 \leq \rho \leq 1$$

g คือ ส่วนกลับของระยะทางรวมของเส้นทางที่สั้นที่สุดในรอบนั้น ๆ

ค่าฟีโรโมนจะถูกปรับตามสมการที่ (3) ถ้ามดที่สร้างเส้นทางที่ดีที่สุดไม่ได้เดินทางผ่านจุดเชื่อมนั้น และค่าฟีโรโมนจะถูกปรับตามสมการที่ (4) ถ้ามดตัวนั้นเดินทางผ่านจุดเชื่อม ค่าตอบที่ดีเพียงพอจากอัลกอริทึมนี้ เป็นค่าตอบที่ได้จากการทำงานของกลไกทั้ง 4 ขั้นตอน และกระทำซ้ำตามเงื่อนไขที่กำหนด

4. ผลการวิจัยและอภิปราย

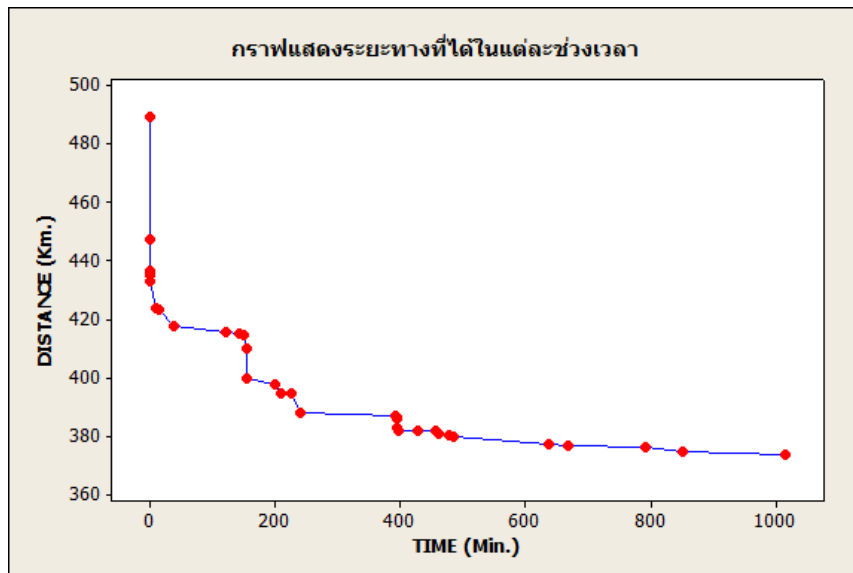
ผู้วิจัยนำวิธีอาณานิคมมดและขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบไปเขียนชุดคำสั่งด้วยโปรแกรม Dev C++ และทดสอบอัลกอริทึมด้วยคอมพิวเตอร์รุ่น Intel(R) CoreTM2 Duo CPU E8400 @ 3.0 GHz Ram 2 GB. การเดินทางในแต่ละเส้นทางจะต้องใช้เวลาในการดำเนินการทั้งเวลาขับรถและเวลาให้บริการลูกค้ารวมกันต้องไม่เกิน 8 ชั่วโมงทำงานต่อวัน จากการเก็บข้อมูล เวลาการให้บริการลูกค้าเฉลี่ยรายละ 10 นาที และพนักงานขับรถด้วยความเร็วเฉลี่ย 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทดลองนี้มีการทดลองซ้ำจำนวน 8 ครั้ง โดยเลือกคำตอบที่มีระยะทางสั้นที่สุด ดังตารางที่ 3 มีระยะทางน้อยสุด 373.64 กิโลเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางการขนส่งในปัจจุบันคือ 1,913.47 กิโลเมตร จะสามารถลดระยะทางได้ 1,539.83 กิโลเมตร เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าจริงของผู้ประกอบการให้ค่าผลต่างระหว่างค่าความต้องการสินค้าเฉลี่ยกับค่าความต้องการสินค้าจริงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบวิธีอาณานิคมมด
แสดงระยะทางของการทดลองซ้ำ 8 ครั้ง

ครั้งที่	จำนวน เส้นทาง	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	ระยะเวลาที่พบ คำตอบ
1	7	388.736	9 ชั่วโมง 4 นาที
2	7	385.309	10 ชั่วโมง 54 นาที
3	7	376.69	17 ชั่วโมง 30 นาที
4	7	377.695	15 ชั่วโมง 7 นาที
5	7	401.89	3 ชั่วโมง 18 นาที
6	7	388.12	17 ชั่วโมง 44 นาที
7	7	387.906	17 ชั่วโมง 23 นาที
8	7	373.64	16 ชั่วโมง 55 นาที

ตารางที่ 4 ผลต่างระหว่างค่าความต้องการสินค้า
เฉลี่ยกับค่าความต้องการสินค้าจากการขนส่งจริง

เส้นทางที่	สินค้าชนิดที่ (หีบ)					
	1	2	3	4	5	6
1	1	28	21	13	1	7
2	10	22	23	9	12	5
3	-6	20	27	-7	-5	3
4	15	17	27	4	-2	1
5	7	24	8	10	-7	-4
6	3	20	24	0	4	2
7	-7	36	27	6	9	3
รวมเลขลบ	-13	0	0	-7	-14	-4



รูปที่ 6 กราฟแสดงคำตอบที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาของการทดลองครั้งที่ 8

จากตารางที่ 4 ตัวเลขที่ติดลบหมายถึงจำนวนสินค้าที่ขนส่งไปไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าจึงทำให้เกิดค่าเสียโอกาส หากตัวเลขมีค่าเป็นบวกหมายถึงจำนวนสินค้าที่ขนส่งไปเกินความต้องการของลูกค้า โดยที่ค่าใช้จ่ายในการเสียโอกาสมีค่าเท่ากับ จำนวนสินค้าที่ขนส่งไปไม่เพียงพอ คูณกับกำไรต่อหน่วยสินค้า ซึ่งกำไรต่อหีบของสินค้าชนิดที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มีค่าเท่ากับ 39, 48, 20, 32, 15 และ 40 ตามลำดับ ดังนั้นค่าใช้จ่ายในการเสียโอกาสมีค่าเท่ากับ $(13 \times 39) + (7 \times 32) + (14 \times 15) + (4 \times 40) = 1,101$ บาท สำหรับค่าน้ำมันเชื้อเพลิงนั้น สามารถคำนวณได้จาก ค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง 0.1395 ลิตรต่อกิโลเมตร คูณกับระยะทาง 373.64 กิโลเมตร แล้วคูณกับราคาน้ำมัน ณ วันที่ 1

มิถุนายน พ.ศ. 2561 ราคา 29.99 บาทต่อลิตร จะได้ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเท่ากับ 1,563.33 บาท ดังนั้นต้นทุนรวมจึงเท่ากับ ค่าเสียโอกาสบวกกับค่าน้ำมันเชื้อเพลิงเป็น 2,664.33 บาท และสามารถคำนวณต้นทุนของผู้ประกอบการได้จาก ระยะทางการขนส่งในปัจจุบันคือ 1,913.47 กิโลเมตร คูณกับค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง แล้วคูณกับราคาน้ำมัน จะได้ต้นทุนของผู้ประกอบการเท่ากับ 8,062.59 บาท

จากรูปที่ 6 กราฟแสดงระยะทางในแต่ละช่วงเวลาของการค้นหาคำตอบในการทดลองครั้งที่ 8 ที่มีค่าระยะทางต่ำที่สุด จะเห็นได้ว่าคำตอบที่ได้มีค่าระยะทางต่ำกว่าเส้นทางของผู้ประกอบการตั้งแต่เริ่มค้นหาคำตอบ แต่เนื่องด้วยคำตอบนั้นไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ผู้วิจัยจึงกำหนดระยะเวลา

ในการค้นหาคำตอบ เมื่อเวลาผ่านไป 16 ชั่วโมง 55 นาที จึงได้คำตอบ 373.64 กิโลเมตร เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในการทดลองค้นหาคำตอบ 8 ครั้ง

5. สรุป

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาและพัฒนาวิธีอาณานิคมมด และปรับปรุงคุณภาพคำตอบ เพื่อหาคำตอบที่ดีกว่าคำตอบ ณ ปัจจุบัน สรุปได้ว่าวิธีอาณานิคมมด ที่ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาขึ้นมาแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งกรณีศึกษา สามารถค้นหาค่าเฉลยที่มีต้นทุนต่ำกว่าผู้ประกอบการคือ 2,664.33 บาท เมื่อเทียบกับต้นทุนของผู้ประกอบการคือ 8,062.59 บาท สามารถลดต้นทุนได้ 5,398.26 บาท หรือคิดเป็น 66.95%

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Thangiah, "A Hybrid Genetic Algorithms, Simulated Annealing and Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows," 3rd Practical Handbook of Genetic Algorithms, pp. 347-381, 1999.
- [2] B. Ombuki, B. Ross and F. Hanshar, "Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows," Applied Intelligence, vol.24, no.1, pp. 17-30, February, 2006.
- [3] N. Sommut and S. Sindhuchao, "GRASP Heuristic for vehicle routing problem," RMUTI Journal, vol.2, no.1, pp. 3-13, January, 2009.
- [4] M. Dorigo, V. Maniezzo and A. Coloni, "Ant system: optimization by a colony of cooperating agents," IEEE Transactions on systems, vol.26, no.1, pp. 29-41, February, 1996.
- [5] S. Sodsoo, S. Sindhuchao, R. Pitakaso and S. Pathumnakul, 2007, "An ant colony optimization and solution improvement procedures for multi-depot vehicle routing problem," in Proceeding of the IE-NETWORK, pp.81.
- [6] T. Srisuwandee and R. Pitakaso, "Solving Vehicle Routing Problem by Using Ant Colony Optimization Case Study in Jiaranai Drinking Water Company," KRU Research Journal, vol.17, no.5, pp.706-714, October, 2555.