อัลกอริทึมระบบอาณานิคมมดสำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาด ภายใต้การขนส่งที่มีกรอบเวลาจำกัด

สุพรรณ สุดสนธิ์* อดิศักดิ์ สิงห์สั่งถ้ำ ชราวุฒิ น้อยทะรงค์ และ ยงยุทธ จันรอง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีระบบอาณานิคมมดร่วมกับขั้นตอนการปรับคุณภาพคำตอบในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาดและการขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) หาจำนวนพาหนะขนส่งในการใช้งานที่เหมาะสมที่สุด และ 2) หาระยะทางเดินทางที่ใช้งานโดยรวมที่สั้นที่สุดภายใต้เงื่อนไขระยะเวลาการเดินทางที่สั้นที่สุดการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งลักษณะนี้เป็นการวางแผนการใช้พาหนะขนส่งให้มีต้นทุนดำเนินการต่ำที่สุดจากพาหนะขนส่งที่มีหลายประเภทโดยในแต่ละประเภทมีการบรรทุกสินค้าที่จำกัดและให้การบริการลูกค้าอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัดผู้วิจัยใช้ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยวิธีการ 2-Opt และ Move-Exchange มาร่วมในการปรับปรุงคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากกระบวนการของวิธีระบบอาณานิคมมด วิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมาผู้วิจัยนำมาสร้างเป็นชุดการคำนวณโดย Microsoft visual studio C++ เวอร์ชั่น 6.0 และใช้การประมวลผล 5 ครั้งต่อหนึ่งปัญหา โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้ a = 1.60 b = 0.1 และ r = 0.1 ปัญหาในการทดสอบใช้ปัญหาของ Solomon จำนวน 15 ปัญหาคือ ปัญหากลุ่ม C1 R1 และ RC1 โดยกำหนดให้มีพาหนะขนส่ง 2 ประเภทคือ ประเภทที่ 1 (QA) มีความสามารถในการบรรทุกสินค้าได้สูงสุด 200 หน่วย และประเภทที่ 2 (QB) มีความสามารถในการบรรทุกสินค้าได้สูงสุด 100 หน่วยตามลำดับ ผลการวิจัยพบว่าวิธีระบบอาณานิคมมดร่วมกับขั้นตอนการปรับคุณภาพคำตอบนี้สามารถให้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่าการวิธีใช้โปรแกรมลินโกที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมาและมีคุณภาพคำตอบที่ดีในภาพรวมสูงถึง 1.47 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : วิธีระบบอาณานิคมมด, พาหนะขนส่งหลายขนาด, การขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมลอีสาน วิทยาเขตกาฬสินธุ์

* ผู้ติดต่อ, อีเมล์: suphan_sodsoon@hotmail.com รับเมื่อ 11 พฤศจิกายน 2557 ตอบรับเมื่อ 11 ธันวาคม 2558

Ant Colony System (ACS) Algorithm for Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows (FSMVRPTW)

Suphan Sodsoon* Adisak Singsangtham Charawut Noitarong and Yongyuth Junrong

Abstract

This study presented the Ant Colony System algorithm together with Local Search in solution of the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows (FSMVRPTW). The purposes of this study were 1) to minimize the number of tours (or vehicles), and 2) to minimize the total travel distance where the objective of minimization of the number of tours takes precedence over the minimization of the total travel time. The FSMVRPTW is the planning of using various types of vehicles for the lowest cost of transportation which each type of vehicles have to load the limited goods and distribute them to the customers under the limited time. The researcher integrated the 2-Opt and Move-Exchange methods in the procedures to improve the initial solutions received from the Ant colony algorithm. The researchers employed the developed method to build up the algorithm through the use of Microsoft visual studio C++ version 6.0 with the 5 times of calculation for each problem data set. The parameter was set as $a = 1.60$, $b = 0.1$, and $r = 0.1$ respectively. The 15 Solomon problems including C1, R1, and RC1 sets were employed. The vehicles in this study were classified into two types namely 1) QA which has the maximum load for 200 units, and type QB having the maximum load for 100 units. The results revealed that the Ant Colony System algorithm together with Local Search gave the better solution that using the LINGO software developed by the researchers with the high quality of solution in general at the level of 1.47 percent.

Keywords: Ant Colony System, Fleet Size and Mix Vehicle, Vehicle Routing Problem with Time Windows

---

Industrial Technology Department, Faculty of Agro-Industrial Technology Rajamangala University of Technology Isan, Kalasin Campus; Thailand 46000

* Corresponding author. E-mail: suphan_sodsoon@hotmail.com Received 11 November 2014, Accepted 11 December 2015

1. บทนำ

การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาดและการขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัดเป็นปัญหาที่น่าสนใจอย่างมากเนื่องจากสอดคล้องกับสภาพปัญหาจริงที่องค์กรธุรกิจกำลังเผชิญอยู่ในขณะนี้ เช่น มีช่วงเวลาให้พาหนะขนส่งเข้าถึงลูกค้าได้ถ้าพาหนะขนส่งไม่สามารถเข้าถึงลูกค้าได้ในช่วงเวลานั้นๆ ก็ไม่สามารถทำการขนส่งสินค้าได้อีกเลยในวันนั้นเนื่องจากมีปัญหาจราจรติดขัดอย่างหนักและยิ่งสภาพเศรษฐกิจโลกมีความผันผวนและส่งผลให้เกิดการปรับตัวราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงถือเป็นต้นทุนที่มีสัดส่วนมากที่สุดในบรรดาต้นทุนการขนส่งทั้งหมดเมื่อราคาน้ำมันเชื้อเพลิงสูงเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ผู้ประกอบการต้องแบกรับภาระสูงขึ้นตามไปด้วยฉะนั้นการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งจึงเป็นเรื่องที่สำคัญผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาดภายใต้กรอบเวลาการขนส่งที่จำกัด พร้อมทั้งพัฒนาวิธีค้นหาคำตอบที่เหมาะสมเพื่อให้ได้ทั้งจำนวนพาหนะขนส่งที่ใช้งานเหมาะสม และใช้ระยะทางโดยรวมที่สั้นที่สุด ผู้ประกอบการสามารถนำวิธีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้วางแผนการใช้เส้นทางขนส่งเพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานได้โดยขจัดเวลาที่ไม่จำเป็นออกไปและสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้ามากที่สุด

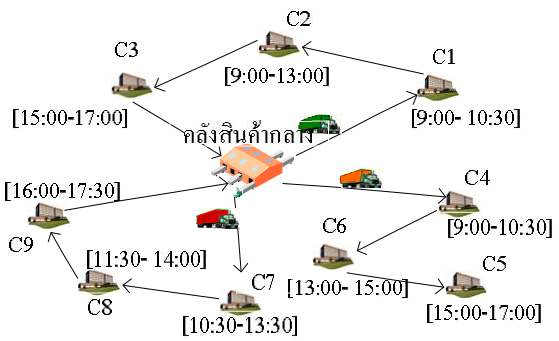
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาดแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม 1) เน้นศึกษาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาด (Heterogeneous fleet vehicle routing problem; HFVRP) และ 2) เน้นศึกษาทั้งขนาดพาหนะขนส่ง (Fleet size) และผสมปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง (Fleet size and mix vehicle routing problem; FSMVRP) ซึ่งทั้งสองกลุ่มมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันยกเว้นจำนวนพาหนะมีความแตกต่างกันหรือเป็นคนละประเภทกัน ส่วนใหญ่ปัญหา FSMVRP จะไม่มีการกำหนดจำนวนพาหนะขนส่งที่ใช้งาน เช่นในงานวิจัย Hoff, et.al [1] และ Baldacci, et.al [2] ส่วนงานวิจัย Choi and Tcha [3] และ Brandão [4] ทำการศึกษาและวางแผนกลยุทธ์เพื่อตัดสินใจว่าจะต้องมีการลงทุนเพิ่มหรือควรปรับลดจำนวนการใช้พาหนะขนส่งจึงจะทำให้แผนงานธุรกิจดำเนินไปด้วยความมีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงต้นทุนดำเนินการโดยรวมต่ำที่สุด งานวิจัย Baldacci and Mingozzi [5] ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งที่มีคลังสินค้ากลางมากกว่าหนึ่งแห่ง เรียกปัญหานี้ว่า ปัญหา Multi-Depot problem งานวิจัย Prins [6] ทำการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งทั้งรับ-ส่งสินค้า ซึ่งที่พาหนะขนส่งหนึ่งคัน อาจถูกนำไปใช้ได้ในหลายเส้นทางโดยที่พนักงานขับพาหนะขนส่งอาจจะไม่ใช่คนเดิมงานวิจัย Li [7] ทำการศึกษาปัญหาที่อนุญาตให้พาหนะขนส่งไม่ต้องวกกลับมายังคลังสินค้ากลางหลังจากให้บริการลูกค้าเสร็จเรียบร้อยแล้วในแต่ละเส้นทาง ซึ่งปัญหาลักษณะนี้จะเรียกว่า Open VRPในงานวิจัย Belmecheri [8] ศึกษาด้านข้อจำกัดชั่วโมงการทำงานของพนักงานขับพาหนะขนส่งเป็นสิ่งที่สำคัญ และควรนำมาพิจารณาร่วมในปัญหาด้วยเสมอ เนื่องจากในบางประเทศถูกควบคุมด้วยกฎหมายคุ้มครองแรงงานอย่างเคร่งครัดดังเช่นในงานวิจัย Belmecheri [8] และ Dullaert [9] นำข้อจำกัด

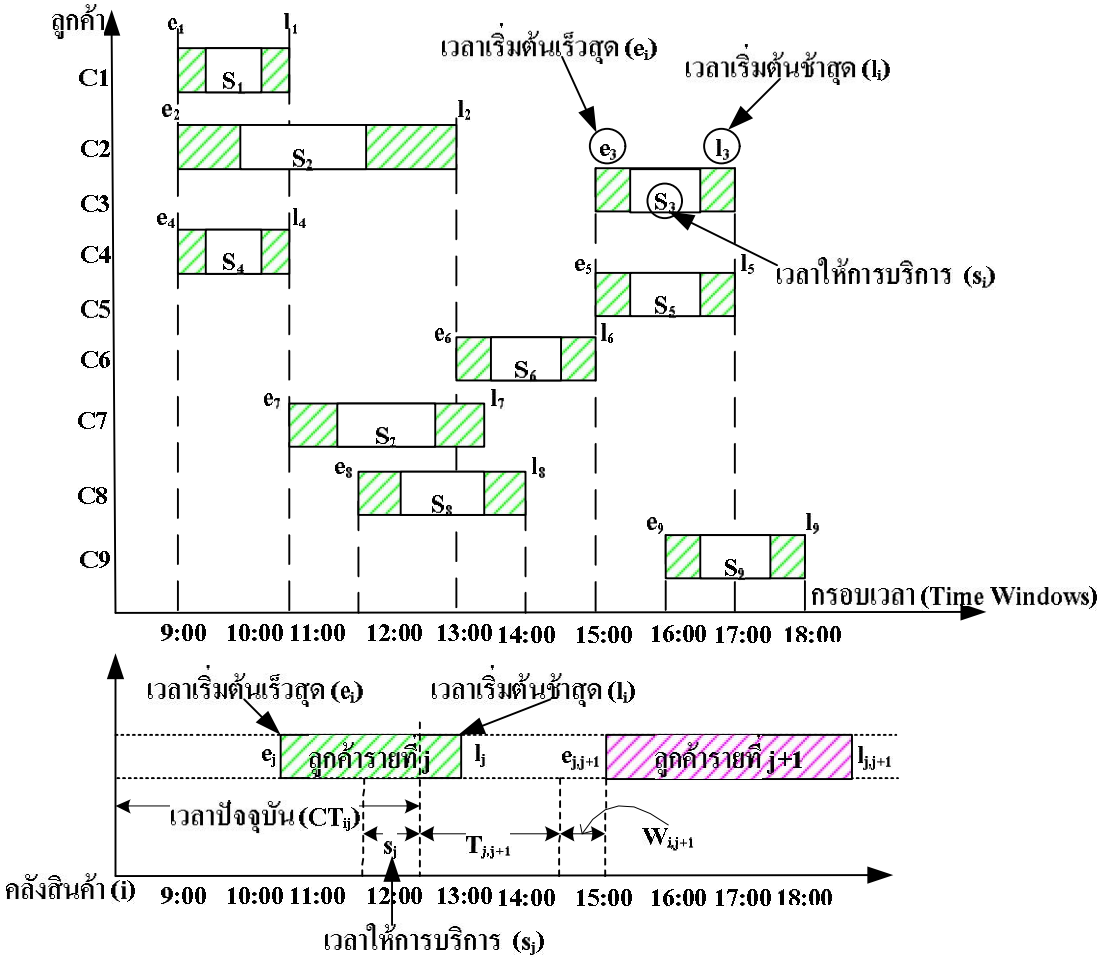
ด้านเวลามาพิจารณาร่วมในตัวปัญหา FSMVRP เรียกปัญหานี้ว่า “ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งที่ใช้พาหนะขนส่งที่แตกต่างกัน การจัดส่งสินค้าอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด (Fleet size and mix vehicle routing problem with time windows; FSMVRPTW)” นอกเหนือปัญหาดังกล่าวข้างต้น รูปแบบการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง หากเป็นการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งเพื่อจัดส่งสินค้าเพียงอย่างเดียวเรียกว่า Line-Haul แต่ถ้ามีสินค้าบางอย่างที่ต้องรับกลับจากลูกค้าเพื่อส่งกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าเรียกว่า Backhaul หรือถ้าหากนำปัญหาทั้งสองรูปแบบมาผสมผสานกันเรียกว่า Line-haul และ Backhaul ดังเช่นงานวิจัยของ De la Cruz [10] และ Guidolin de Campos [11] สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งหากมีการละเมิดเงื่อนไขใดๆ เกิดขึ้นในตัวปัญหาก็อาจใช้วิธีการเพิ่มโทษในตัวฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ก็ได้ เช่น กรณีเมื่อแบกน้ำหนักเกินกว่าข้อจำกัดของความจุสูงสุดพาหนะขนส่ง เป็นต้นดังเช่นงานวิจัยของ Belfiore and Yoshizaki [12]

2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหา VRPTW

รูปแบบการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด (Vehicle routing problem with time windows, VRPTW) ดังข่ายงานในรูปที่ 1 ประกอบด้วยคลังสินค้ากลางหนึ่งแห่ง ลูกค้ามีจำนวน 9 ราย คือตั้งแต่ลูกค้าที่ C1-C9 ลูกค้าแต่ละรายมีปริมาณความต้องการสินค้าที่แตกต่างกันแต่ทราบปริมาณที่แน่นอน ลูกค้าแต่ละรายมีกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้าอย่างชัดเจน เช่น ลูกค้ารายที่ C1 ต้องการสินค้าคือ ในช่วงเวลา 9.00 – 10.30 น. เท่านั้น ส่วนลูกค้ารายที่ C2 ต้องการสินค้าในช่วงเวลา 9.00-13.00 น. ตามลำดับ สำหรับการบรรทุกสินค้าในแต่ละเส้นทางนั้นพาหนะขนส่งต้องบรรทุกสินค้าได้ไม่เกินความสามารถบรรทุกสินค้าสูงสุดของพาหนะขนส่งแต่ละประเภท และการขนส่งสินค้าหรือการนำส่งสินค้าให้แก่ลูกค้านั้นให้นำส่งสินค้าเต็มจำนวนตามความต้องการไม่มีการแบ่งหรือทยอยจัดส่งการจัดส่งสินค้าให้เป็นไปตามลำดับเวลาในเส้นทาง



รูปที่ 1 ข่ายงานปัญหา VRPTW



รูปที่ 2 กรอบเวลาพาหนะขนส่งให้บริการแก่ลูกค้า

รูปที่ 2 แสดงกรอบเวลาที่พาหนะขนส่งให้บริการแก่ลูกค้าทั้ง 9 ราย ลูกค้าแต่ละรายมีช่วงเวลาให้บริการที่แตกต่างกัน เช่น [e,l] ซึ่ง e เป็นช่วงเวลาที่พาหนะขนส่งให้บริการลูกค้าได้เร็วที่สุดชั่วโมงที่ e และช้าที่สุดชั่วโมงที่ l และพาหนะขนส่งมีเวลาหยุดเพื่อลำเลียงสินค้าขึ้น-ลงด้วยเวลา s เมื่อทราบข้อจำกัดดังกล่าวแล้ว การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหา FSMVRPTW ในรูปแบบของการโปรแกรมเชิงเส้นตรง (Linear programming; LP) ทำได้ดังนี้

2.2 สมมติฐานแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหา FSMVRPTW มีดังนี้

1) คลังสินค้ากลางมีเพียงแห่งเดียว

2) ลูกค้ามีจำนวนหลายราย แต่ละรายมีที่ตั้งชัดเจน

3) ทราบปริมาณความต้องการของลูกค้าแน่นอน

4) พาหนะขนส่งแต่ละประเภทมีให้ไม่จำกัดจำนวน

5) ไม่นำต้นทุนการใช้งานพาหนะขนส่งแต่ละประเภทมาร่วมพิจารณาในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.3แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหา FSMVRPTW

ก. พารามิเตอร์ (Parameters)

Q_k = ข้อจำกัดการบรรทุกสินค้าได้สูงสุด

d_i = ปริมาณความต้องการสินค้าลูกค้ารายที่ i

e_i = ช่วงเวลาให้บริการแก่ลูกค้ารายที่ i เร็วที่สุด

l_i = ช่วงเวลาให้บริการแก่ลูกค้ารายที่ i ช้าที่สุด

s_i = เวลาหยุดให้การบริการลูกค้ารายที่ i

dt_{ij} = ระยะทางระหว่างลูกค้ารายที่ i ไปยัง j

c_{ijk} = ค่าใช้จ่ายขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ i ไปยัง j โดยพาหนะขนส่งประเภทที่ k

V_{ijk} = ความเร็วในการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ i ไปยัง j โดยพาหนะขนส่งประเภทที่ k

T_{ik} = เวลาพาหนะขนส่งประเภทที่ k เดินทางไปยังลูกค้ารายที่ i

T_k = เวลาออกเดินทางพาหนะขนส่งประเภทที่ k

T_i = เวลาเริ่มต้นให้การบริการลูกค้ารายที่ i

ข. ตัวแปรตัดสินใจ (Decision variables)

$x_{ijk} \in \{0,1\}$ ถ้า $x_{ijk}= 1$ ให้มีการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ i ไปยัง j โดยพาหนะขนส่งประเภทที่ k กรณีอื่นๆ เท่ากับ 0

$y_{ik} \in \{0,1\}$ ถ้า $y_{ik}=1$ ให้พาหนะขนส่งประเภทที่ k ขนส่งสินค้าไปยังลูกค้ารายที่ i กรณีอื่นๆ เท่ากับ 0

$z_k \in \{0,1\}$ ถ้า $z_k=1$ มีการใช้พาหนะขนส่งประเภทที่ k กรณีอื่นๆ เท่ากับ 0

ค. สมการเป้าหมาย (Objective function)

$$\text{Min } Z= \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{k=1}^{K} c_{ijk}x_{ijk} \qquad (1)$$

ง. เงื่อนไขข้อจำกัด สมการขอบข่าย (Constraints)

1) ลูกค้าแต่ละรายให้ใช้เส้นทางได้เพียงเส้นทางเดียว

$$\sum_{k=1}^{K} y_{ik} = 1, \ \forall i, i \neq 1 \qquad (2)$$

2) เงื่อนไขห้ามใช้พาหนะขนส่งเกินจำนวนที่มีให้ได้

$$\sum_{k=1}^{K} y_{1k} \le K \qquad (3)$$

3) ลูกค้าแต่ละรายใช้พาหนะขนส่งได้เพียงประเภทเดียว

$$\sum_{j=1}^{N} x_{ijk} = y_{ik}, \forall i \in N, j \neq i, \forall k \in K \qquad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{N} x_{jik} = y_{ik}, \forall i \in N, j \neq i, \forall k \in K \qquad (5)$$

4) ข้อจำกัดด้านการบรรทุกสินค้าสูงสุดไม่เกินที่กำหนด

$$\sum_{i=1}^{N} d_i y_{ik} \le Q_k z_k, \ i \neq 1, \forall k \in K \qquad (6)$$

5) กรอบเวลาให้การบริการลูกค้าแต่ละราย

$$T_i \ge e_i, \ \forall i \qquad (7)$$

$$T_i \le l_i, \ \forall i \qquad (8)$$

6) เวลาพาหนะขนส่งเดินทางออกจากคลังสินค้ากลาง

$$T_{1k} \ge b_k \qquad (9)$$

7) เวลาพาหนะขนส่งเดินทางออกจากจุดที่ตั้งลูกค้า

$$T_i \ge b_{ik}, \ \forall i,j \in N, \ i \neq 1 \qquad (10)$$

8) ระยะเวลาโดยรวมในเดินทางของแต่ละเส้นทาง

$$b_{ik} + s_i + t_{ijk} - M(1 - x_{ijk}) \le b_{jk}, \qquad (11)$$
$$\forall i, j \in N, i \neq j, \forall k \in K$$

9) การเทียบหน่วยเวลา และค่าใช้จ่าย

$$T_{ijk} = dt_{ij} \qquad (12)$$
$$c_{ijk} = T_{ijk}, \forall ij \in N, \forall k \in K$$

10) ตัวแปรตัดสินใจ

$$z_k \in \{0,1\}, \forall k \qquad (13)$$
$$y_{ik} \in \{0,1\}, \forall ik$$
$$x_{ijk} \in \{0,1\}, \forall ijk$$

3. การพัฒนาอัลกอริทึมค้นหาคำตอบ

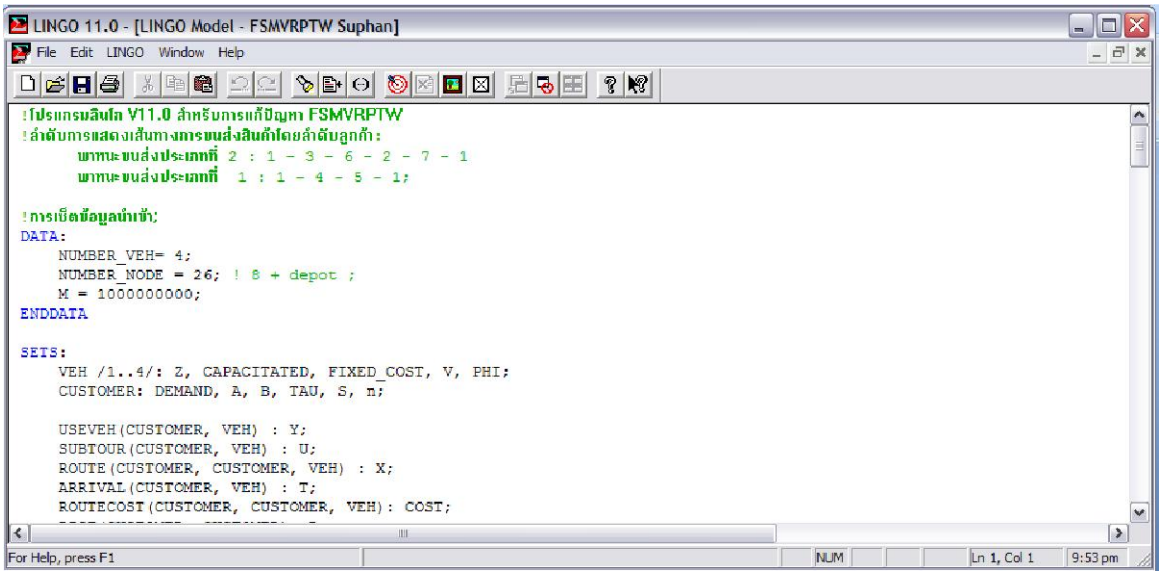
ผู้วิจัยทำการพัฒนาวิธีการค้นหาคำตอบในการแก้ปัญหา FSMVRPTW ภายใต้สภาพปัญหาและภายใต้เงื่อนไขเดียวกันทั้งหมดโดยแบ่งออกเป็น 2 วิธีการดังนี้ 1) วิธีค้นหาคำตอบโดยใช้โปรแกรมลินโก (Lingo programming) และ 2) วิธีค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมดรายละเอียดดังนี้

3.1 วิธีค้นหาคำตอบโดยใช้โปรแกรมลินโก

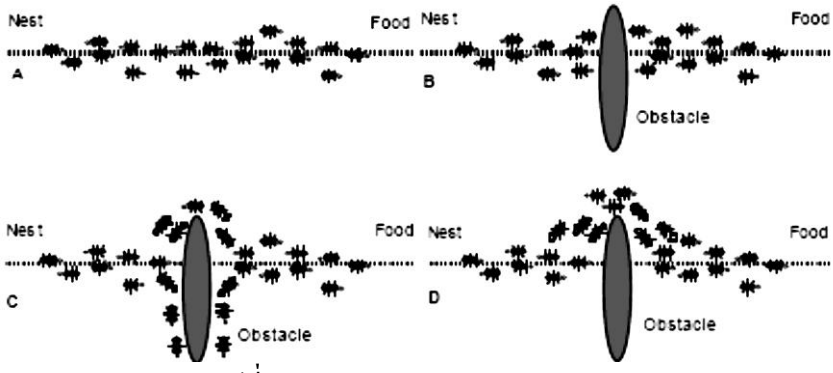
ผู้วิจัยนำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้นมาเขียนเป็นชุดคำสั่งการคำนวณตามโครงสร้างของภาษาโปรแกรมลินโกเวอร์ชั่น 11 ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการแก้ปัญหาเชิงเส้นตรง (Linear) และไม่เชิงเส้นตรง (Non-linear) สามารถรองรับข้อจำกัด (Constraints) ได้สูงสุดถึง 32,000 ข้อจำกัดและรองรับตัวแปร (Variables) ได้ถึง 100,000 ตัวแปรใช้หน่วยความจำเพียง 209,715,200 ไบต์ หรือประมาณ 209 เมกกะไบต์ (MB) ชุดคำสั่งการคำนวณดังในรูปที่ 3

3.2 วิธีค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีระบบอาณานิคมมด

ตามหลักทฤษฎีโดยธรรมชาติของมดมดจะพยายามหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากรังของมันไปยังแหล่งอาหารโดยอาศัยร่องรอยสารเคมีที่ทิ้งอยู่บนพื้นซึ่งเรียกว่า *"สารฟีโรโมน (Pheromone)"* ร่องรอยของสารฟีโรโมนที่อยู่บนพื้นนี้เกิดจากมดตัวก่อนหน้ามาพ่นทิ้งไว้และเมื่อมดตัวหลังเดินตามมาก็จะทำการเพิ่มฟีโรโมนลงบนพื้นอีกด้วยเหตุนี้เองสารฟีโรโมนจึงเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับการเลือกเส้นทางเดินของมดเพื่อข้ามสิ่งกีดขวาง (Obstacle) ดังรูปที่ 4



รูปที่ 3 โปรแกรมลินโกสำหรับการแก้ปัญหา FSMVRPTW



รูปที่ 4 ธรรมชาติการเดินทางของมด [13]

วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System; ACS) เป็นหนึ่งในวิธีตระกูลของอาณานิคมมด โดยวิธี ACS นี้ปรับปรุงมาจากวิธี Ant System วิธีการพอสังเขปดังนี้ เมื่อมดงานอยู่ที่เมือง r และมันกำลังที่จะเลือกพิจารณาว่าจะเลือกเดินทางไปเมืองใดในเซต s ซึ่งเป็นเซตเมืองที่มดงานยังไม่เคยเดินทางไปมาก่อน ดังนั้น จึงให้มดงานตัวที่ k ทำการเลือกเมืองโดยมีกฎการเลือกเมืองอยู่จำนวน 2 กฎวิธีการโดยให้ค่า q_o เป็นเงื่อนไขการเลือกกฎ เช่น $q_o = 0.5$ จากนั้นให้ทำการสุ่มตัวเลขจำนวนจริง q_o ที่มีค่าตั้งแต่ 0.1-0.99 ขึ้นมาหนึ่งตัวสมมติว่าถ้า $q < q_o$ ให้มดงานใช้กฎตามสมการที่ (14) และถ้า $q > q_o$ ให้มดงานใช้กฎตามสมการที่ (15) ดังนี้

1) ถ้ากรณีที่ $q < q_o$

$$s = \arg\max_{u \in J_k(r)} \{[t_{r,u}]^a * [h_{r,u}]^b\} \qquad (14)$$

2) กรณีอื่นๆ เมื่อ $q > q_0$

$$p^k(r,s) = \frac{[\tau(r,s)] * [\eta(r,s)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r,u)] * [\eta(r,u)]^\beta} \qquad (15)$$

τ ค่าสารฟีโรโมนบนเส้นทางเดินของมดงาน

$h = \frac{1}{d}$ h คือ ส่วนกลับระยะทางเชื่อมระหว่งเมือง r กับเมือง s หรือ d (r,s)

$J_k(r)$ เมืองที่มดงานตัวที่ k ยังไม่เคยเดินทางไปมาก่อนในเซตเมือง r

α พารามิเตอร์ความสำคัญระยะทาง ($\alpha > 0$)

β พารามิเตอร์ความสำคัญฟีโรโมน ($\beta > 0$)

กรณีที่มดงานเลือกเดินทางไปยังเมืองใด หรือเลือกเมืองใดเข้ามาในเส้นทางของมดงานได้แล้วให้ทำการปรับปรุงสารฟีโรโมนทันที ซึ่งการปรับปรุงฟีโรโมนในครั้งแรกเรียกว่า *"การปรับปรุงสารฟีโรโมนเฉพาะที่ (Local updating pheromone)"* ดังสมการที่ (16)

$$\tau_{(i,j)} = (1-\rho) * \tau_{(i,j)} + \rho * \tau_0 \qquad (16)$$

r อัตราการระเหยของสารฟีโรโมน

τ_0 สารฟีโรโมนเริ่มต้น (Initial pheromone)

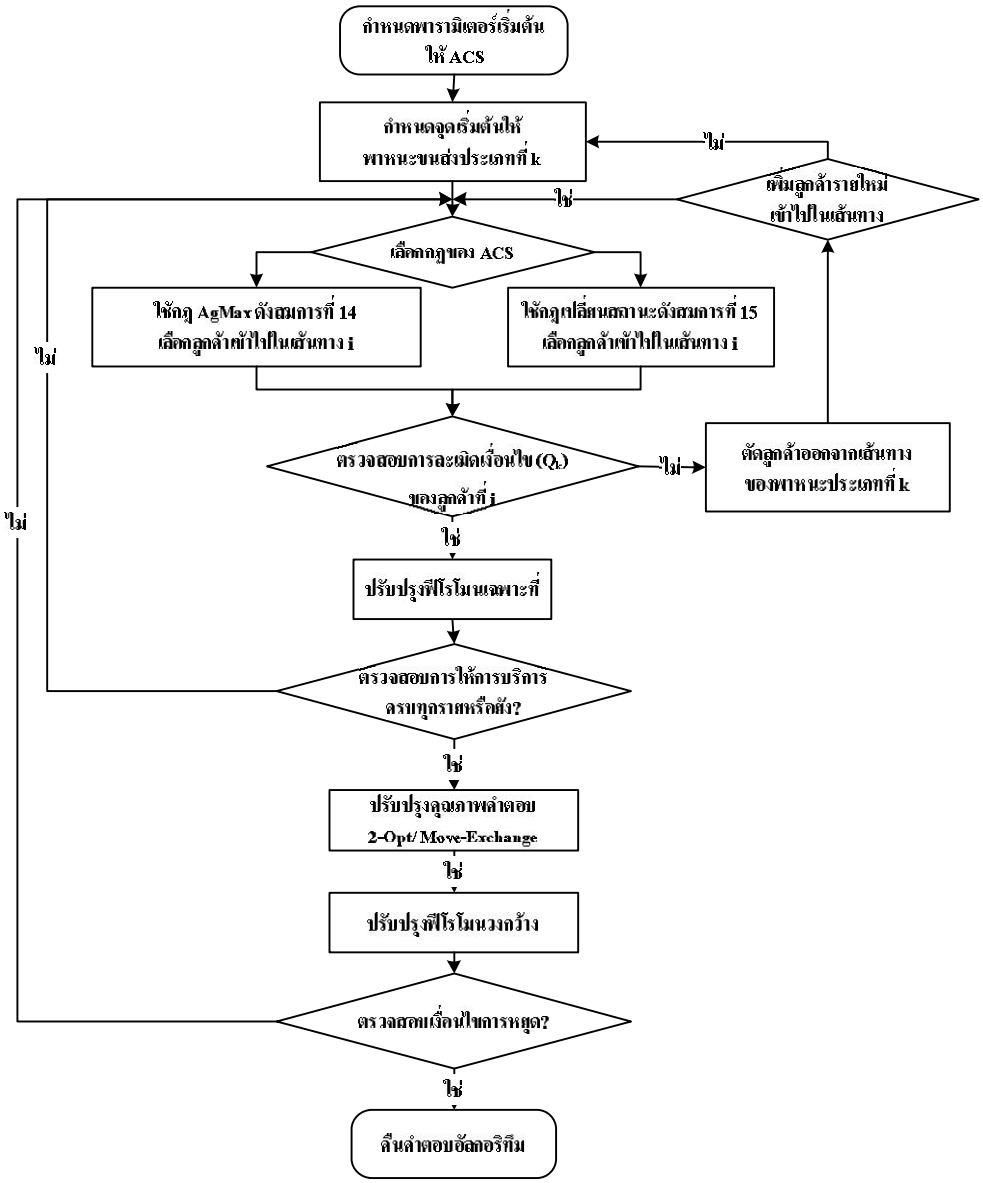
และเมื่อมดงานทุกตัวสร้างเส้นทางที่สมบูรณ์ หรือเดินทางไปครบทุกเมืองแล้ว ให้นำเอาระยะทางโดยรวมของมดงานแต่ละตัวมาเปรียบกันเพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุด จากนั้นให้นำเอาเส้นทางที่สั้นที่สุดนั้นมาทำการปรับปรุงสารฟีโรโมนอีกครั้งหนึ่งซึ่งในครั้งนี้เรียกว่า *"การปรับปรุงสารฟีโรโมนวงกว้าง (Global updating pheromone)"* ดังสมการที่ (17)

$$t_{ij} = (1- r)*t_{ij} + r*Vt_{ij} \quad (17)$$

$$Vt_{ij} = \begin{cases} (c_m)^{-1} & \text{if } (i,j)\in \text{Global best schedule} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

C_m คือ เส้นทางที่สั้นที่สุดจากมดงานจำนวน m ตัว

จากวิธีการหรือขั้นตอนการดำเนินการข้างต้นของวิธี ACS เมื่อผู้วิจัยนำวิธีการมาประยุกต์ใช้งานเพื่อการแก้ปัญหา FSMVRPTW นั้น สามารถเขียนเป็นผังการดำเนินการแก้ปัญหาหรือการค้นหาคำตอบได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผังการดำเนินการวิธี ACS-FSMVRPTW

รูปที่ 5 แสดงผังการดำเนินการแก้ปัญหาหรือการค้นหาคำตอบของ ACS-FSMVRPTW อธิบายได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : กำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง เช่น น้ำหนักความสำคัญระยะทาง (α) น้ำหนักความสำคัญสารฟีโรโมน (β) อัตราการระเหยสารฟีโรโมน (ρ) และจำนวนรอบกระทำซ้ำสูงสุด

ขั้นตอนที่ 2 : กำหนดให้พาหนะขนส่งแต่ละประเภทและมดแต่ละตัวประจำที่ ณ คลังสินค้ากลาง

ขั้นตอนที่ 3 : ในแต่ละรอบการคำนวณให้มดแต่ละตัวทำการสุ่มเลือกกฎตามสมการที่ (14) และ (15) แต่ทั้งนี้ผู้วิจัยประยุกต์สูตรเพื่อคำนวณ h_{ij} ใหม่เพิ่มเติมดังนี้

นิยาม

DT_j เวลาการเดินทางไปยังลูกค้าเมืองที่ j

$CT_{v,k}$ เวลาที่พาหนะขนส่งอยู่ ณ จุดปัจจุบัน

E_j เวลาเริ่มต้นให้บริการเร็วที่สุดเมืองที่ j

VT_{ij} ผลต่างเวลาเดินทางระหว่างเมือง i-j

D_{ij} ระยะทางเชื่อมระหว่างเมือง i-j.

สูตรคำนวณใหม่เพิ่มเติม

$$DT_j = \max(CT_{v,k} + t_{ij}, E_j)$$

$$VT_{ij} = DT_j - CT_{v,k}$$

$$D_{ij}^1 = VT^* (L_j - CT_{v,k})$$

$$D_{ij}^2 = \max(1, D_{ij}^1)$$

$$D_{ij}^3 = t_{ij}$$

$$h_{ij} = (1 / D_{ij}^2 + 1 / D_{ij}^3)$$

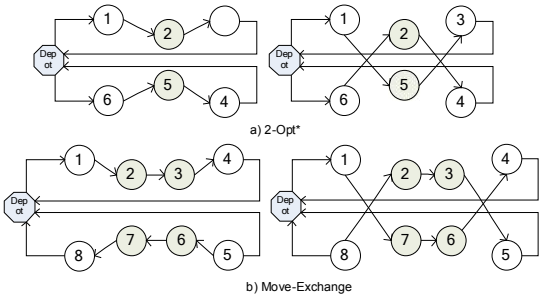
ขั้นตอนที่ 4 : หลังจากมดทำการเลือกลูกค้าได้แล้วให้ปรับปรุงสารฟีโรโมนตามสมการที่ (16) และคำนวณสินค้าสะสม (Q_{Sum}) ในเส้นทางระหว่างลูกค้า i และลูกค้า j และถ้า $Q_{Sum}(i,j) < Q_k$ ให้ข้ามไปทำในขั้นตอนที่ 5 กรณีอื่นๆ ให้คืนลูกค้า j ไว้ในบัญชีคู่แข่งขันแล้วข้ามไปทำขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 5 : คำนวณหาเวลา $T_{(i)}$ กรณีที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขให้ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 3 ซ้ำใหม่อีกครั้ง กรณีอื่นๆ ให้ข้ามไปทำในขั้นตอนที่ 6

ขั้นตอนที่ 6 : เพิ่มจำนวนพาหนะขนส่งแล้วให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 3 ซ้ำใหม่อีกครั้งเพื่อสร้างเส้นทางขนส่งใหม่ กรณีอื่นๆ ให้ข้ามทำขั้นตอนที่ 7

ขั้นตอนที่ 7 : คำนวณหาระยะทางโดยรวมของมดแต่ละตัวแล้วให้นำเฉพาะคำตอบที่ดีไปดำเนินการในขั้นตอนที่ 8

ขั้นตอนที่ 8 : ปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วย 2-Opt/Move-Exchangeเป็นการนำเอาคำตอบในขั้นตอนที่ 7 มาปรับปรุงเส้นทางการขนส่ง โดยนำเอาเมืองต่างๆ ในเส้นทางมาสลับเปลี่ยนตำแหน่งกัน เพื่อหาระยะทางโดยรวมที่ดีที่สุดดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ลักษณะดำเนินการแบบ 2-Opt/Move-Exchange

ขั้นตอนที่ 9 : เมื่อขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพคำตอบพบคำตอบที่ดีขึ้นกว่าคำตอบอันเดิมให้นำคำตอบนั้นมาทำการปรับปรุงฟีโรโมนวงกว้างตามสมการที่ (17).

ขั้นตอนที่ 10 : ให้มดงานดำเนินการตามขั้นตอนที่ 2-9 ไปจนกระทั่งรอบกระทำซ้ำเท่ากับจำนวนรอบกระทำซ้ำสูงสุดตามที่กำหนดไว้เป็นอันสิ้นสุดของกระบวนการ ACS-FSMVRPTW

4. ผลการทดสอบ

ผู้วิจัยนำอัลกอริทึม ACS-FSMVRPTW มาสร้างเป็นรูปแบบการคำนวณโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual studio C++ เวอร์ชั่น 6.0 ทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Pentium Intel (R) Core™ 2Dual CPU 2.20 Ghz 0.99 Gb of RAM การทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

4.1ทดสอบหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การทดสอบเพื่อหาพารามิเตอร์ใช้งาน ACS ในแก้ปัญหา FSMVRPTW โดยผู้วิจัยเลือกทดสอบกับปัญหา C101 ของ Solomon อ้างอิงจากเว็ปไซต์ [14] เป็นปัญหาที่มีลูกค้าจำนวน 25 ราย พาหนะขนส่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ QA ความสามารถบรรทุกสินค้าสูงสุด คือ 200 หน่วย และ QB ความสามารถบรรทุกสินค้าสูงสุด คือ 100 หน่วยซึ่งพาหนะขนส่งแต่ละประเภทมีให้โดยไม่จำกัดจำนวน รอบกระทำซ้ำสูงสุดเท่ากับ 100 รอบ ปัจจัยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับ ACS มี 2 ระดับ คือค่าต่ำและค่าสูงดังนี้ ปัจจัยที่ 1 น้ำหนักความสำคัญระยะทาง (β) อยู่ระหว่าง 1-5 ปัจจัยที่ 2 พารามิเตอร์ร่องรอยสารฟีโรโมน 1-5 และปัจจัยที่ 3 อัตราการระเหยฟีโรโมนอยู่ระหว่าง 0-1.0 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ระดับปัจจัยการทดสอบพารามิเตอร์

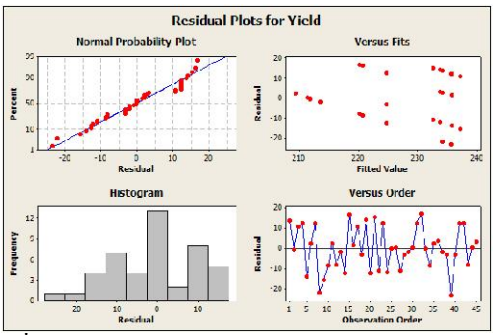
ปัจจัย (Factors)	ระดับของปัจจัย	
	ต่ำ (-)	สูง (+)
1.น้ำหนักความสำคัญระยะทาง (β)	1	5
2.น้ำหนักความสำคัญฟีโรโมน (α)	1	5
3.อัตราการระเหยฟีโรโมน (ρ)	0	1.0

จากนั้นผู้วิจัยทำการออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียล 2^kเพื่อทดสอบหาระดับปัจจัยพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยกำหนดทำ Replicate จำนวน 2 ครั้ง ระดับความเชื่อมั่น 95% แผนการทดลองได้เท่ากับ 36 การทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แผนการทดลองเพื่อหาพารามิเตอร์

ครั้งที่	ค่า Alpha	ค่า Beta	ค่า Rho	ผลลัพธ์ (Yield)
1	1	5	0.545	200.313
2	5	1	0.545	211.58
3	3	3	0.545	211.58
4	3	3	0.545	221.637
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
35	3	3	0.545	191.814
36	1	5	0.545	206.718

ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติพารามิเตอร์จากตารางที่ 2 การตรวจสอบการกระจายเป็นแบบแจกแจงปกติและค่าสัมบูรณ์ส่วนตกค้างพบว่าไม่มีสิ่งใดผิดปกติดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 การกระจายตัวและค่าสัมบูรณ์ของพารามิเตอร์

การวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะที่สุดของปัจจัยทดสอบโดยใช้ฟังชั่น Response optimizationพบว่าได้สมการวิเคราะห์เชิงถดถอยดังสมการที่ (19) และดังในรูปที่ 8

$$Yield = 199 + 0.84Alpha + 2.40Beta - 4.32Rho \quad (19)$$

Regression Analysis: Yield versus Alpha, Beta, Rho

The regression equation is

Yield = 199 + 0.84 Alpha + 2.40 Beta - 4.32 Rho

Predictor	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	199.083	6.516	30.55	0.000	
Alpha	0.840	1.283	0.65	0.517	1.000
Beta	2.398	1.283	1.87	0.071	1.000
Rho	-4.324	5.768	-0.75	0.459	1.000

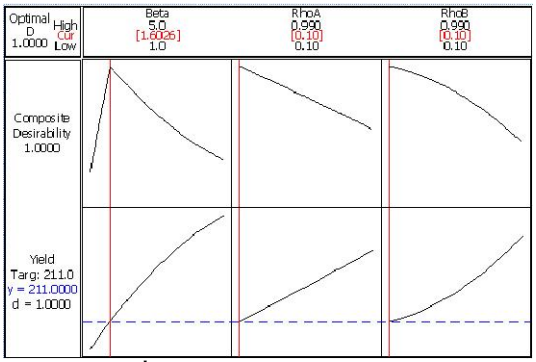
S = 10.2668 R-Sq = 12.3% R-Sq(adj) = 4.1%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	3	472.3	157.4	1.49	0.235
Residual Error	32	3373.1	105.4		
Total	35	3845.4			

รูปที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ ACS+FSMVRPTW

การวัดความพึงพอใจผลตอบนั้นมีความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์และได้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังนี้ ค่า a = 1.60 b = 0.1 และ r = 0.1 ตามลำดับ ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

4.2 การทดสอบปัญหา ACS-FSMVRPTW

ผลการทดสอบวิธี ACS-FSMVRPTW ผู้วิจัยทดลองกับปัญหาของ Solomon ที่มีจำนวนลูกค้าสูงสุด 25 ราย จำนวน 15 ปัญหาในแต่ละปัญหามีพาหนะขนส่ง 2 ประเภท คือ QA= 200 และ QB=100 หน่วย ตามลำดับ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ใช้งาน ACS มีดังนี้ a = 1.60 b = 0.1 และค่า r = 0.1 ในแต่ละปัญหาทำการทดสอบจำนวน 10 ครั้ง ผลการทดสอบด้วยวิธี ACS และโปรแกรมลินโกดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 คำตอบที่ได้จากวิธีACS-FSMVRPTW และโปรแกรมลินโก (Lingo)

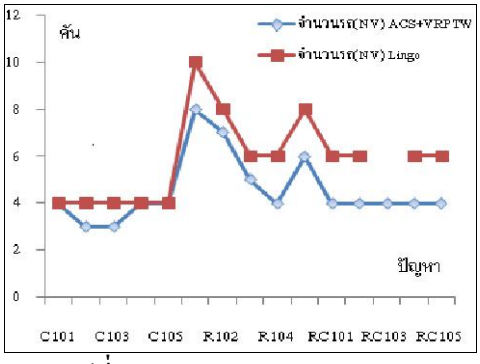
คำตอบจากวิธีระบบอาณานิคมมด (ACS-FSMVRPTW)						คำตอบจากการหาค่าที่ดีที่สุดโปรแกรมลินโก				
ปัญหา	QA	QB	LT	RT	CPU.Time	QA	QB	LT	CPU.Time	Gap%
C101	2	2	212.18	2857.93	00:00:25.10	2	2	211.60	3.00:00:00	0.27
C102	2	1	226.44	2476.44	00:00:25.10	2	2	204.41	3.00:00:00	10.78
C103	2	1	234.6	2491.4	00:00:35.44	2	2	104.08	3.00:00:00	125.39
C104	2	2	214.36	2470.52	00:00:38.77	2	2	357.59	3.00:00:00	*-40.05**
C105	2	2	212.18	2788.93	00:00:39.64	2	2	211.6	3.00:00:00	0.27
R101	4	4	612.31	964.37	00:00:29.52	5	5	618.34	3.00:00:00	*-0.98**
R102	4	3	573.98	934.07	00:00:54.83	4	4	580.93	3.00:00:00	*-1.2**
R103	3	2	470.16	804.8	00:00:43.70	3	3	589.08	3.00:00:00	*-20.19**
R104	2	2	432.55	749.48	00:00:54.68	3	3	579.95	3.00:00:00	*-25.42**
R105	3	3	537.52	813.52	00:00:42.95	4	4	531.54	3.00:00:00	1.13
RC101	2	2	478.62	728.62	00:00:33:02	3	3	462.18	3.00:00:00	3.56
RC102	2	2	414.16	664.16	00:00:33.39	3	3	503.9	3.00:00:00	*-17.81**
RC103	*2*	*2*	*399.61*	*649.61*	*00:00:39.10*			NA (หาค่าไม่ได้)		
RC104	2	2	375.62	632.77	00:00:38.97	3	3	541.01	3.00:00:00	*-30.57**
RC105	2	2	418.43	710.87	00:00:38.88	3	3	563.97	3.00:00:00	*-25.81**
ผลรวม	23.00	23.00	5812.72	20737.49	565.00	41.00	41.00	6060.18	42.00	*-20.63**
ค่าเฉลี่ย	1.64	1.64	386.65	1434.85	36.67	2.93	2.93	432.87	3.00	**-1.47**
NV (คัน)	3.29 หรือ 4					5.86 หรือ 6				

หมายเหตุ NV= จำนวนพาหนะขนส่งทั้งหมด (คัน)
QA= จำนวนพาหนะขนส่งประเภท A
QB= จำนวนพาหนะขนส่งประเภท B
LT= ระยะทางโดยรวม
RT= เวลาโดยรวม
CPU.Time= เวลาประมวลผล (วินาที)
ACS-FSMVRPTW หมายถึง ค่าคำตอบที่ค้นพบได้จากวิธีการ ACS-FSMVRPTW
Lingo-FSMVRPTW หมายถึง ค่าคำตอบที่ค้นพบได้จากวิธีการโปรแกรมลินโก
เปอร์เซ็นต์ Gap % = (ACSBest – LingoBest) / LingoBest x 100

ตารางที่ 3 แสดงค่าคำตอบที่ได้เปรียบเทียบระหว่างวิธี ACS-FSMVRPTW กับวิธีโปรแกรมลินโกในกรณีการทดสอบปัญหา FSMVRPTW โดยใช้โปรแกรมลินโกนั้นผู้วิจัยทำการทดลองแก้ปัญหาทั้ง 15 ปัญหาแล้วพบว่าที่ 48 ชั่วโมงยังไม่สิ้นสุดกระบวนการคำนวณ ฉะนั้นจึงกำหนดให้โปรแกรมลินโกประมวลเพียง 3 ชั่วโมงต่อปัญหา คำตอบที่ได้จึงไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดแต่มีสถานะเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solution) เท่านั้นส่วนปัญหา RC103 นั้นโปรแกรมลินโกไม่สามารถค้นหาคำตอบได้และสถานะคำตอบไม่ขึ้นเป็นสถานะคำตอบที่เป็นไปได้ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบผลการทดลองเพียง 14 ปัญหาเท่านั้น ส่วนกรณีวิธี ACS-FSMVRPTW ประมวลผลที่ 100 รอบกระทำซ้ำ

4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบปัญหา ACS-FSMVRPTW

ด้านจำนวนการใช้งานพาหนะขนส่ง (NV) โดยเฉลี่ยทั้ง 14 ปัญหา พบว่า วิธี ACS ใช้พาหนะขนส่งทั้งหมด 3.29 หรือประมาณ 4 คันแบ่งเป็นพาหนะขนส่งประเภท QA จำนวน 1.64 คัน และ QB จำนวน 1.64 คันหรืออย่างละ 2 คัน ส่วนวิธีโปรแกรมลินโกใช้พาหนะขนส่งทั้งหมด 5.86 หรือประมาณ 6 คันแบ่งเป็นประเภท QA จำนวน 2.93 คัน และ QB จำนวน 2.93 คันหรืออย่างละ 3 คันภาพรวมการใช้พาหนะขนส่งมีเส้นแนวโน้มภาพรวมของการใช้พาหนะขนส่งดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 จำนวนพาหนะขนส่ง (NV)

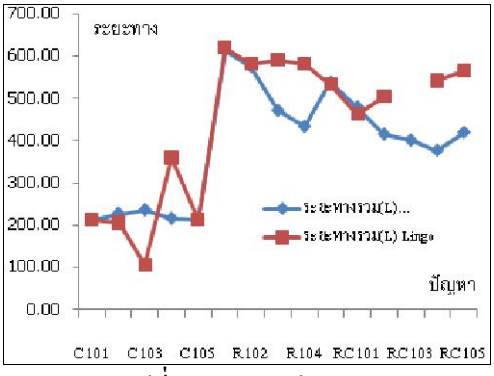
ส่วนระยะทางโดยรวมเฉลี่ยจากทั้งหมด 14 ปัญหา วิธี ACS ให้ระยะทางโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 386.65 กิโลเมตร โปรแกรมลินโกให้ระยะทางโดยรวมเฉลี่ย 432.87 กิโลเมตรซึ่งวิธี ACS ให้ระยะทางที่ดีกว่าโปรแกรมลินโกจำนวน 8 ปัญหา ประกอบด้วย C104 R101 R102 R103 R104 RC102 RC104 และ RC105 โดยสังเกตุจากค่า Gap% ที่ติดลบ แต่สำหรับปัญหา C101 C102 C103 C105 R105 และ RC101 วิธี ACS ให้คำตอบที่มีคุณภาพด้อยกว่าวิธีโปรแกรมลินโก สำหรับในภาพรวมทั้งหมดวิธี ACS ให้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่าโปรแกรมลินโกเพียงเล็กน้อยคือ 1.47% แต่สำหรับการใช้เวลาประมวลผลของวิธี ACS นั้นสามารถลดเวลาประมวลผลลงได้ถึง 99.66 % ดังนี้

$$CPU.Time = \left(\frac{36.67 - (3x60x60)}{(3x60x60)}\right) * 100$$

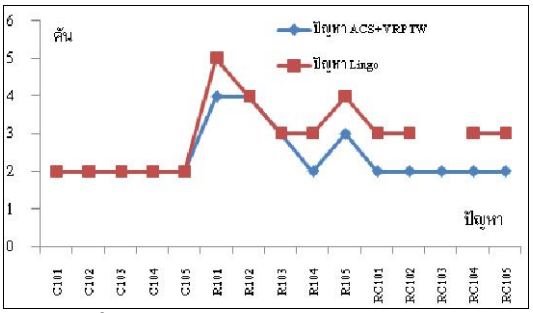
$$99.66\%$$

ภาพรวมของการใช้ระยะทางโดยรวม (LT) ดังแสดงในรูปที่ 11 ส่วนในด้านการเปรียบเทียบจำนวนการใช้พาหนะขนส่งโดยแยกเป็นแต่ละประเภท ดังในรูปที่ 12-13 แต่ทั้งนี้ในการเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบระหว่างวิธี ACS กับวิธีโปรแกรมลินโกไม่ได้แสดงว่า ในทุกค่าคำตอบในการแก้ปัญหา FSMVRPTW วิธี ACS จะให้คุณภาพคำตอบที่ดีกว่าวิธีโปรแกรมลินโกเสมอไป เพียงแต่เป็นการเปรียบเทียบกับเมื่อโปรแกรมลินโกประมวลผลที่เวลา 3 ชั่วโมงเท่านั้นเพื่อให้เห็นถึงข้อจำกัดบางประการที่โปรแกรมลินโกไม่สามารถนำไปใช้งานกับกรณีปัญหาข่ายงานขนาดใหญ่ได้ แต่วิธี ACS นั้นสามารถนำไปประยุกต์ในงานกับขนาดใหญ่ได้และให้คุณภาพคำตอบที่ดี ซึ่งมีคุณภาพคำตอบที่ใกล้เคียง

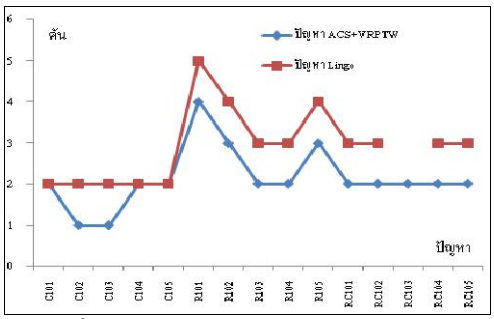
กับวิธีโปรแกรมลินโกที่เป็นวิธีการที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solution) ตัวอย่างของเส้นทางพาหนะขนส่งที่ได้จากวิธี ACS ดังแสดงในรูปที่ 14-16



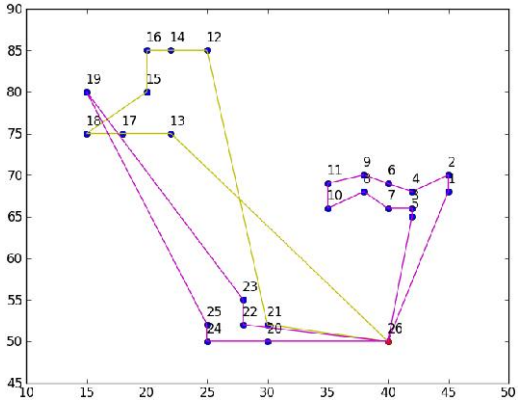
รูปที่ 11 ระยะทางโดยรวม (LT)



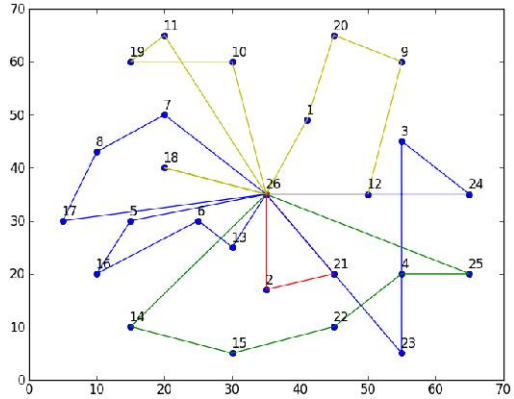
รูปที่ 12 จำนวนพาหนะขนส่งประเภท QA



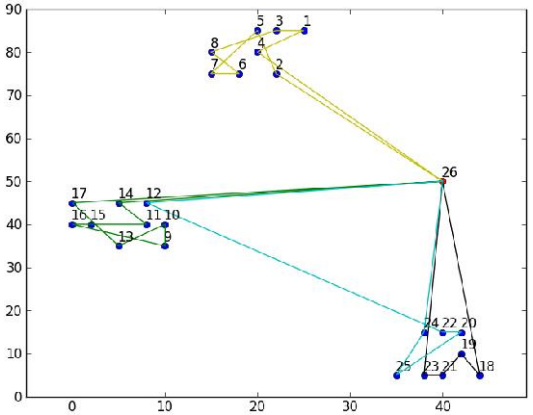
รูปที่ 13 จำนวนพาหนะขนส่งประเภท QB



รูปที่ 14 เส้นทางพาหนะขนส่งปัญหา C101



รูปที่ 15 เ ส้นทางพาหนะขนส่งปัญหา R101



รูปที่ 16 เส้นทางพาหนะขนส่งปัญหา RC101

5. สรุปผล

สรุปผลการศึกษาและสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง โดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาดภายใต้กรอบเวลาการขนส่งที่จำกัดได้ดังนี้

1) ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธี ACS ในการแก้ปัญหา FSMVRPTW มีดังนี้ ค่าน้ำหนักความสำคัญสารฟีโรโมน (α) เท่ากับ 1.60 ค่าน้ำหนักความสำคัญระยะทาง (β) เท่ากับ 0.1 และค่าอัตราการระเหยสารฟีโรโมน (ρ) เท่ากับ 0.1 ตามลำดับ

2) วิธี ACS ที่พัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้การแก้ปัญหา FSMVRPTW สามารถให้คุณภาพคำตอบทั้งจำนวนการใช้พาหนะขนส่งและการใช้ระยะทางโดยรวม เมื่อเทียบกับโปรแกรมลินโกประมวลผลที่ 3 ชั่วโมงนั้นพบว่าคุณภาพคำตอบดีกว่าโปรแกรมลินโกเพียงเล็กน้อยเท่านั้นคือ 1.47% แต่สามารถลดเวลาการประมวลลดลงได้ถึง 99.66% ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความมีประสิทธิภาพด้านการใช้งาน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้กับสภาพปัญหาที่มีข่ายงานขนาดใหญ่ได้และมีนัยสำคัญว่าวิธีของ ACS ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมานี้สามารถให้คำตอบที่มีคุณภาพที่ดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งต้นทุนด้านน้ำมันเชื้อเพลิง และสามารถขนส่งสินค้าเพื่อตอบสนองความต้องการลูกค้าที่รวดเร็ว และลูกค้าเกิดความพึงพอใจมากที่สุด

3) ข้อเสนอแนะการทำวิจัยในอนาคต ถ้าหากมีการในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพเส้นทางที่ดีกว่าวิธี 2-Opt/Move-Exchange มาร่วมกับวิธี ACSก็ยิ่งจะทำให้คำตอบที่ได้รับมีคุณภาพมากยิ่งขึ้นกว่าเดิม เช่น มีการผสมผสานการปรับปรุงเส้นทาง (Hybrid local search) โดยร่วมกันระหว่างการปรับปรุงระหว่างเส้นทาง (Inter-Route) และภายในเส้นทาง (Intra-Route) ไปพร้อมๆ กัน เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2556 จากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณหน่วยงานที่ให้การสนับสนุนทุนการวิจัยไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] A. Hoff, H. Andersson, M. Christiansen, G. Hasle and A. Lokketangen, "Industrial aspects and literature survey: fleet composition and routing", Computers & Operations Research 37, 2010, pp. 2041-2061.

[2] R. Baldacci, M. Battarra and V. Daniele, "Routing a heterogeneous fleet of vehicles", Technical Report DEISOR.INGCE 1, 2007.

[3] E. Choi and D.W. Tcha, "A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem", Computers & Operations Research 34, 2007, pp. 2080-2095.

[4] J. Brandão, "A tabu search algorithm for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem", Computers & Operations Research 38, 2011, pp. 140-151.

[5] R. Baldacci and A. Mingozzi, "A unified exact method for solving different classes of vehicle routing problems", Mathematical. Programming 120, 2009, pp. 347-380.

[6] C. Prins, "Efficient heuristics for the heterogeneous fleet multitrip VRP with application to a large-scale real case", Journal of Mathematical Modeling and Algorithms 1, 2002, pp. 135-150.

[7] X. Li, S.C. Leung and P. Tian, "A multistart adaptive memory-based tabu search algorithm for the heterogeneous fixed fleet open vehicle routing problem", Expert Systems with Applications 39, 2012, pp. 365-374.

[8] F. Belmecheri, C. Prins, F. Yalaoui and L. Amodeo, "Particle swarm optimization algorithm for a vehicle routing problem with heterogeneous fleet, mixed backhauls, and time windows", Journal of Intelligent Manufacturing 24(4), 2013, pp. 775-789.

[9] W. Dullaert, G.K. Janssens, K. Sörensen and B. Vernimmen, "New heuristics for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows", Journal of the Operational Research Society 53, 2002, pp. 1231-1238.

[10] J.J. De la Cruz, C.D. Paternina-Arboleda, V. Cantillo and J. R. Montoya-Torres, "A two-pheromone trail ant colony system-tabu search approach for the heterogeneous vehicle routing problem with time windows and multiple products", Journal of Heuristics 19(2), 2013, pp. 233-252.

[11] G. Guidolin de Campos, H.T. Yoshizaki and P. P. Belfiore, "Genetic algorithms and parallel computing for a heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and split deliveries", XII ICIEOM - Fortaleza, 2006

[12] P. Belfiore and H.T. Yoshizaki, "Heuristic methods for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows and split deliveries", Computers& Industrial Engineering 64, 2013, pp. 589-601.

[13] M. Dorigo and L.M. Gambardela, Ant colonies for the traveling salesman problem 43, 1997, pp.73–81.

[14] J. Homberger, Extended Solomon's VRPTW instances,Available:http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/multivrpinfo.html, 3 Sep 2014.