

## 1. บทนำ

ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นปัญหาที่ได้รับความนิยมในการวิจัย โดยทั่วไปปัญหา VRP มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเส้นทางของยานพาหนะจากคลังไปยังลูกค้าซึ่งมีปริมาณความต้องการที่แตกต่างกัน อาจมียานพาหนะมากกว่า 1 ประเภทและยานพาหนะทุกชนิดจะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังสินค้า ซึ่งร้านค้าแก่สกรณีสึกขามีการจัดส่งสินค้าจากร้านค้าไปยังลูกค้าโดยมียานพาหนะ 2 ชนิดและสินค้า 3 ประเภท ซึ่งจัดเป็นปัญหา VRP โดยปัญหา VRP จะมีการใช้ข้อมูลต่าง ๆ ของลูกค้า เช่น ตำแหน่งลูกค้า ปริมาณสินค้าที่ต้องการ กรอบระยะเวลาที่สามารถส่งสินค้าได้ ซึ่งเราจะทราบข้อมูลเหล่านี้ล่วงหน้า แต่สำหรับร้านค้าแก่สความต้องการของลูกค้ามีความไม่แน่นอนอาจมีการสั่งซื้อจากลูกค้าอยู่ตลอดเวลา ทำให้เส้นทางที่ยานพาหนะต้องเดินทางเกิดการเปลี่ยนแปลงในภายหลังซึ่งลักษณะดังกล่าวจัดเป็นรูปแบบปัญหา ที่เรียกว่า ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problem: DVRP) หากสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดส่งให้กับร้านค้าแก่สได้ 1 ร้านหมายความว่าร้านค้าแก่สอื่น ๆ ภายในประเทศก็สามารถนำกระบวนการแก้ปัญหาไปใช้ได้ด้วยเช่นกัน

ปัญหา VRP ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาจนมีความหลากหลายมากขึ้น ปัญหา VRP

เป็นปัญหาประเภท NP-Hard [13] จากอดีตจนถึงปัจจุบันมีนักวิจัยได้ทำการศึกษาหลายท่าน จากที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยจำนวน 10 ฉบับ สามารถแบ่งกลุ่มได้ 4 กลุ่มดังนี้ โดยกลุ่มที่ 1 พุดถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) ในการหาคำตอบของปัญหา VRP และปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Travelling salesman problem: TSP) กลุ่มที่ 2 พุดถึงการตั้งค่าพารามิเตอร์ ACO กลุ่มที่ 3 พุดถึงปัญหา VRP ที่มีปัจจัยอื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น หน้าต่างเวลาและการเข้ามาของคำสั่งซื้อรูปแบบ DVRP และกลุ่มที่ 4 พุดถึงการแก้ปัญหา TSP และปรับปรุงคำตอบ ซึ่งทั้ง 10 ฉบับนี้ผู้วิจัยได้สังเกตเห็นถึงรูปแบบของการใช้โจทย์ในการแสดงการแก้ไขปัญหา 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 คือการใช้โจทย์ที่มีจำนวนเมืองน้อย ๆ เพื่ออธิบายให้เห็นถึงรูปแบบการทำงานของทฤษฎีที่ผู้วิจัยต้องการนำเสนอ รูปแบบที่ 2 คือการใช้โจทย์ที่มีปริมาณเมืองที่ต้องขนส่งจำนวนมาก รูปแบบนี้จะทำให้เห็นถึงศักยภาพของการนำไปใช้กับปัญหาจริง

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ ACO เพื่อแก้ไขปัญหา DVRP เพื่อจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะให้เหมาะสม โดยโจทย์ที่ผู้วิจัยจะนำมาใช้ในการแก้ปัญหจะเป็นโจทย์ในรูปแบบที่ 2

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การจัดเส้นทางขนส่ง

ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นการจัดเส้นทาง เริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า โดยลูกค้าแต่ละที่ ต้องไปถึงแค่ 1 ครั้ง ปริมาณความต้องการของสินค้ารวมในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินความจุของรถที่ใช้ในการขนส่ง มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการเดินทางรวมน้อยที่สุด [10]

แบบจำลองคณิตศาสตร์การจัดเส้นทางขนส่ง

Notations:

Indices:

$i$  = ดัชนีแทนลำดับเมืองที่  $i$

$j$  = ดัชนีแทนลำดับเมืองที่  $j$

$v$  = ดัชนีของยานพาหนะ

$p$  = ดัชนีช่วงเวลาในการเดินทาง

Input Parameters:

$N$  = จำนวนเมืองทั้งหมด

$V$  = จำนวนยานพาหนะทั้งหมด

$s_{ijvp}$  = ระยะทางจากเมือง  $i$  ไปเมือง  $j$  ของยานพาหนะ  $v$  และช่วงเวลา  $p$

$d_j$  = ปริมาณที่ยานพาหนะบรรทุก

$D_j$  = ความต้องการที่ปลายทางต้องการ

$C_{vp}$  = ความสามารถบรรจุของยานพาหนะ  $v$

Decision Variables:

$$x_{ijvp} = \begin{cases} 1, & \text{ถ้ามีการเดินทางจาก } i \text{ ไป } j \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

สูตร

$$\min \sum_{p=1}^P \sum_{v=1}^V \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N s_{ijvp} x_{ijvp}$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{p=1}^P \sum_{v=1}^V \sum_{i=1}^N x_{ijvp} = 1 : j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (1)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{v=1}^V \sum_{j=1}^N x_{ijvp} = 1 : i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{v=1}^V \sum_{i=1}^N x_{i0vp} \leq V \quad (3)$$

$$\sum_{p=1}^P \sum_{v=1}^V \sum_{j=1}^N x_{0jvp} \leq V \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{v=1}^V \sum_{p=1}^P d_j x_{ijvp} = D_j : j = 1, 2, 3, \dots, N \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N d_j x_{ijvp} \leq C_{vp} : v=1, 2, 3, \dots, V \\ P=1, 2, 3, \dots, P \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$$\forall p = 1, 2, \dots, P \quad \forall v = 1, 2, \dots, V$$

ข้อจำกัดที่ 1 และ 2 ระบุว่าหนึ่งเส้นทางเข้าและหนึ่งเส้นทางออกจากลูกค้า

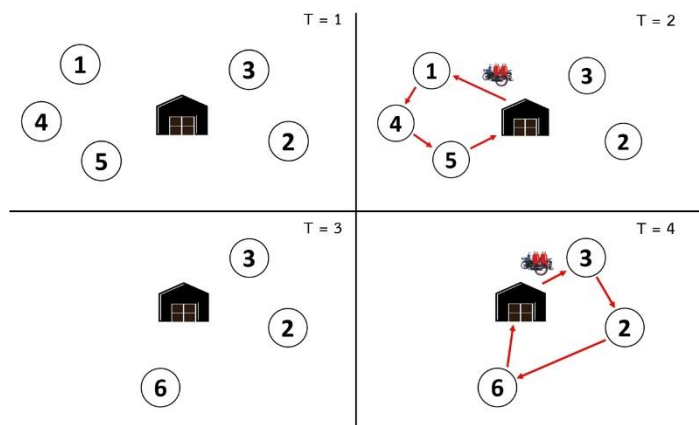
ข้อจำกัดที่ 3 และ 4 บ่งบอกว่าจำนวนยานพาหนะที่ออกจากจุดเริ่มต้นจะเท่ากับจำนวนยานพาหนะที่เข้ามายังจุดเริ่มต้น

ข้อจำกัดที่ 5 และ 6 กำหนดว่าเส้นทางจะต้องมีการเชื่อมต่อกันและความต้องการของลูกค้าในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่เกินความสามารถบรรจุสูงสุดของยานพาหนะที่ส่งออกไป

ข้อจำกัดที่ 7 แสดงเงื่อนไข

## 2.2 การจัดเส้นทางรถขนส่งแบบพลวัต

ปัญหา DVRP คือปัญหา VRP ที่ข้อมูลบางส่วนหรือทั้งหมดไม่ทราบล่วงหน้าและอาจมีการเปลี่ยนแปลงระหว่างการจัดเส้นทาง DVRP Model แบบดั้งเดิมถูกเสนอโดย Montemanni et al [4] ปัญหา DVRP มีคำสั่งซื้อที่อาจเข้ามาไม่ทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้น ทำให้อาจต้องเกิดการจัดเส้นทางหลายครั้ง ทุกครั้งที่เกิดการจัดเส้นทางจึงมองเป็นชุดของปัญหาการจัดเส้นทางแบบคงที่ (Static VRP) ตัวอย่าง DVRP แสดงในภาพที่ 2-1 ช่วงเวลาเริ่มต้นที่  $t=1$  มีลูกค้า 1,2,3,4 และ 5 ซึ่งรวมทั้งสิ้น 5 สถานที่  $t=2$  เกิดการจัดเส้นทางเพื่อไปส่งสินค้าในสถานที่ 1,4 และ 5 โดยสถานที่ 2 และ 3 ยังไม่มีการนำส่งสินค้า  $t=3$  มีคำสั่งซื้อเข้ามาเพิ่มคือ 6 ทำให้เกิดคำสั่งซื้อ รวม 3 สถานที่คือ 2,3 และ 6 ในช่วงเวลานี้  $t=4$  เกิดการจัดเส้นทางเพื่อไปส่งสินค้าในสถานที่ 2,3 และ 6



ภาพที่ 2-1 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางแบบพลวัต

## 2.3 ทฤษฎีระบบอาณานิคมมด

ทฤษฎีระบบอาณานิคมมดเป็นทฤษฎีที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของมด ระหว่างที่เดินทางกลับไประหว่างแหล่งอาหารและรัง มดจะทิ้งหลักฐานที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) ไว้บนพื้น มดส่วนใหญ่จะตัดสินใจเลือกทางเดินเส้นทางที่มีฟีโรโมนหนาแน่น [7] สำหรับ ACO มดทำการเลือกเส้นทางโดยมีกฎการเลือกอยู่ 2 กฎ โดยให้ค่า  $q_0$  เป็นเงื่อนไขการเลือกกฎ จากนั้นให้ทำการสุ่มตัวเลข  $q$  ( $q = 0 < q < 1$ ) ถ้า  $q < q_0$  ให้มดงานใช้กฎตามสมการที่ (8) และถ้า  $q > q_0$  ใช้กฎตามสมการที่ (9) [14]

$$s = \begin{cases} \arg \max_{u \in J_k(r)} \{[\tau(r, u)] \cdot [\eta(r, u)]^\beta\} & \text{if } q \leq q_0 \text{ (exploitation)} \\ s, & \text{otherwise (biased exploration)} \end{cases} \quad (8)$$

$$p^k(r, s) = \begin{cases} \frac{[\tau(r, s) \cdot \eta(r, s)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r, u) \cdot \eta(r, u)]^\beta} & \text{if } s \in j_k(r) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

ซึ่ง  $\tau$  คือค่า ฟิโรโมน

$\eta$  คือค่า ฮิวริสติก ซึ่งหาได้จาก  $1/d$  โดยที่  $d$  (11) คือระยะทางจากเมือง  $r$  ไป  $s$

$J_k(r)$  คือจำนวนสมาชิกของเมือง ที่มด  $k$  ต้องเดิน

$\beta$  คือค่า ถ่วงน้ำหนักฮิวริสติกส์

เมื่อเดินเสร็จเส้นทางนั้นจะถูกปรับปรุงสารฟิโรโมนทันที ซึ่งการปรับปรุงฟิโรโมนในครั้งแรกเรียกว่า “การปรับปรุงสารฟิโรโมนเฉพาะที่ (Local updating pheromone)” [14]

$$\tau(r, s) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau(r, s) + \rho \cdot \Delta\tau(r, s) \quad (10)$$

ซึ่ง  $\tau(r, s)$  คือค่า ฟิโรโมนจากเมือง  $r$  ไปเมือง  $s$

$\rho$  คืออัตราการระเหย

$\Delta\tau(r, s)$  คือ ค่าฟิโรโมนเริ่มต้น

และเมื่อมดทุกตัวเดินทางไปครบทุกเมืองแล้ว ให้นำเอาระยะทางโดยรวมของมดแต่ละตัวมาเปรียบกันเพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุด จากนั้นให้นำเอาเส้นทางที่สั้นที่สุดนั้นมาทำการปรับปรุงสารฟิโรโมนอีกครั้งหนึ่งซึ่งในครั้งนี่เรียกว่า “การปรับปรุงสารฟิโรโมนวงกว้าง (Global updating pheromone)” ดังสมการที่ (11) [14]

$$\tau(r, s) \rightarrow (1 - \alpha) \cdot \tau(r, s) + \alpha \cdot \Delta\tau(r, s)$$

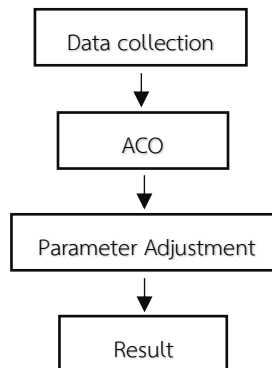
$$\Delta\tau(r, s) = \begin{cases} (L_{gb})^{-1}, & \text{if } (r, s) \in \text{globe} - \text{test} - \text{tour} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

ซึ่ง  $\alpha$  คือ ฟิโรโมนที่ลดลง โดยที่  $0 < \alpha < 1$

$L_{gb}$  คือ เส้นทางที่ดีที่สุดในรอบ

### 3. methodology

งานวิจัยฉบับนี้สามารถอธิบายลำดับการดำเนินงานได้ดังนี้

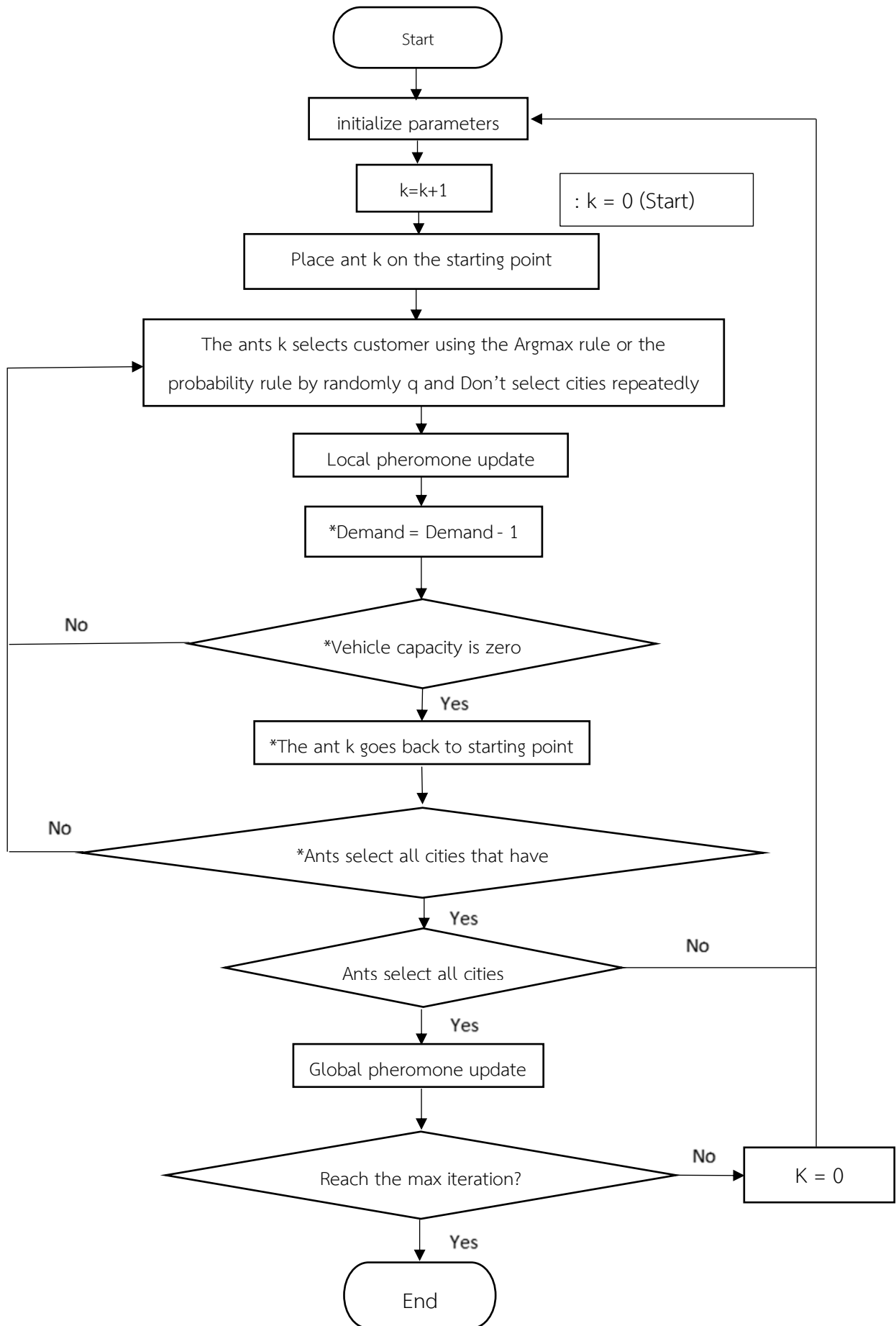


#### 3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลเริ่มจากการศึกษารูปแบบการขนส่งแก๊สของร้านกรณีศึกษา จากการเก็บข้อมูลพบว่า มีจำนวนลูกค้าต่อวันทั้งสิ้นเฉลี่ย 173 รายการต่อวัน มีรถที่ใช้ขนส่ง 2 ชนิด คือ ยานพาหนะประเภทรถจักรยานยนต์ซึ่งมีข้อจำกัดไม่สามารถขนส่งสินค้าประเภทถังแก๊สขนาด 48 กิโลกรัม และประเภทรถจักรยานยนต์แบบต่อพ่วงสำหรับสินค้าสามารถแยกออกได้เป็น 3 ประเภทตามขนาดของสินค้า ระยะทางที่ใช้ในการคำนวณใช้วิธีการคำนวณแบบยูคลิด (Euclidean distance) โดยพิกัดของลูกค้านำเข้าจาก Google Map เวลาเข้ามาของคำสั่งซื้อใช้เป็นข้อมูลในอดีตของร้านค้าแก๊สกรณีศึกษา รวมทั้งสิ้น 7 วัน 1212 รายการ

### 3.2 ACO

ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุง ACO ต้นฉบับให้สามารถหาคำตอบของปัญหา DVRP ซึ่งมีรถขนส่งมากกว่า 1 ชนิดและสินค้ามากกว่า 1 ประเภท โดยการเพิ่มเงื่อนไขในการเลือกประเภทของรถ และเพิ่มความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกและประเภทสินค้า โดยตั้งเงื่อนไขว่าถ้ารถเมื่อส่งของจนน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 0 ต้องกลับมายังร้านค้า ซึ่งสามารถดูขั้นตอนการทำงานได้จากรูป....โดยในช่องที่มี สัญลักษณ์ \* คือ ส่วนที่เพิ่มเข้าไปจาก ACO ดั้งเดิม



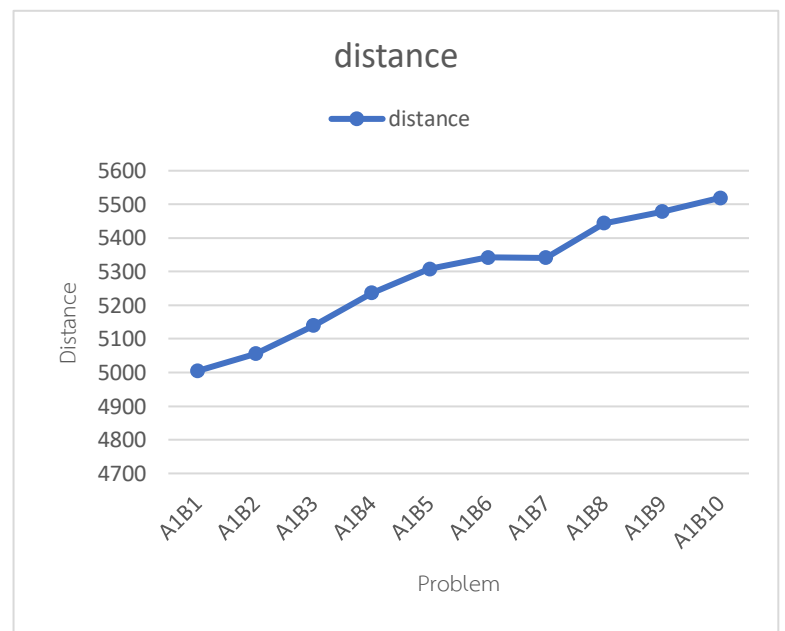
### 3.3 การตั้งค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่มีบทบาทต่อทฤษฎี ACO นั้นประกอบไปด้วย  $\rho$ ,  $\alpha$  และ  $\beta$  โดยค่า  $\rho$  คือค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมนโดยทั่วไปจะตั้งค่าให้อยู่ระหว่าง  $0 < \rho < 1$  ค่า  $\alpha$  คือค่าถ่วงน้ำหนักของค่าฟีโรโมน ค่า  $\beta$  คือค่าถ่วงน้ำหนักของค่าฮิวริสติกส์ สามารถอธิบายได้โดยการตั้งค่า 2 กรณี กรณีที่ 1 ให้ค่า  $\beta = 0$  และค่า  $\alpha > 0$  จะทำให้มดถูกอิทธิพลของฟีโรโมนชักจูงให้เลือกเดินไปยังเส้นทางที่มีค่าฟีโรโมนอยู่หนาแน่นและระยะทางความใกล้เคียงของความห่างแต่ละเมืองจะไม่มีผลต่อการเลือกเดิน กรณีที่ 2 ค่า  $\alpha = 0$  และค่า  $\beta > 0$  จะทำให้มดถูกอิทธิพลของระยะทางเป็นตัวกำหนดเส้นทางที่มดจะเลือกเดินโดยไม่มีอิทธิพลของฟีโรโมนเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งการเลือกเมืองปลายทางในรูปแบบนี้จะมีหลักการเช่นกันกับวิธีละโมภ (Greedy Algorithm)

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบว่าควรใช้ค่า  $\alpha$  และ  $\beta$  เท่าไหร่โดย 1 โจทย์ทำการวนซ้ำ 25 รอบและนำผลที่ได้มาเฉลี่ย ซึ่งแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่... Beta value for find shortest route

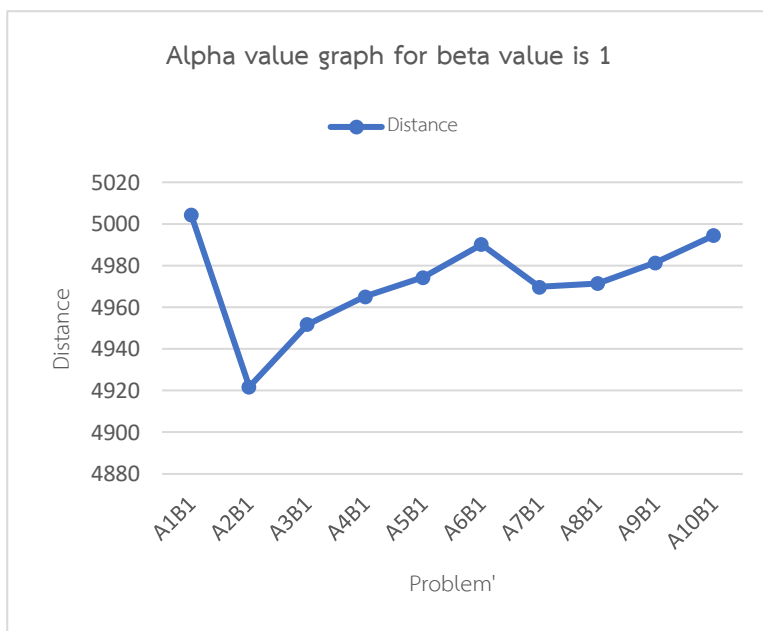
Alpha=1,Rho=0.5,Ant=10,Itelation=10,City=169			
Problem	repeat	Beta	Distance average
A1B1	25	1	5004.50
A1B2	25	2	5056.00
A1B3	25	3	5139.33
A1B4	25	4	5236.00
A1B5	25	5	5307.67
A1B6	25	6	5342.33
A1B7	25	7	5340.67
A1B8	25	8	5444.33
A1B9	25	9	5478.17
A1B10	25	10	5519.17



รูปที่... Graph for Beta value

ตารางที่.... Alpha value for find shortest route

Beta=1,Rho=0.5,Ant=10,Iteration=10, City=169			
Problem	repeat	Alpha	Distance average
A1B1	25	1	5004.50
A2B1	25	2	4921.83
B3B1	25	3	4951.83
A4B1	25	4	4965.17
A5B1	25	5	4974.33
A6B1	25	6	4990.17
A7B1	25	7	4969.83
A8B1	25	8	4971.50
A9B1	25	9	4981.50
A10B1	25	10	4994.50

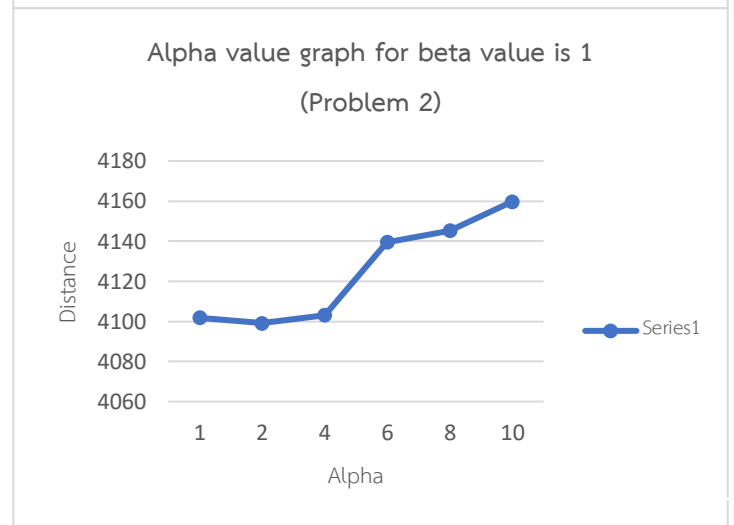
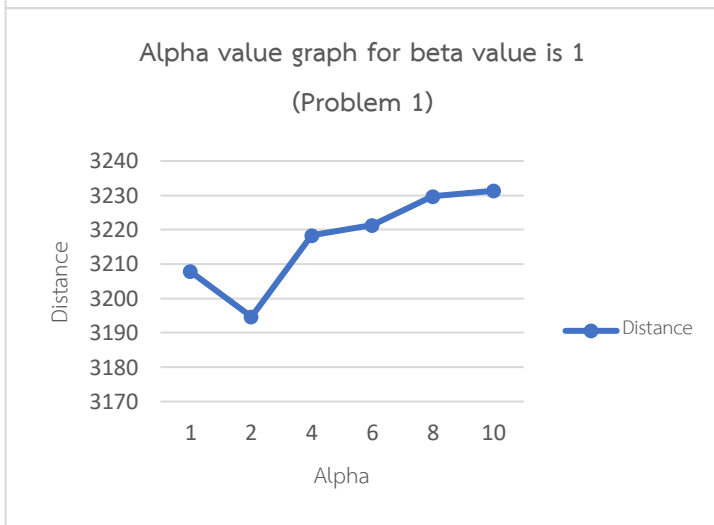
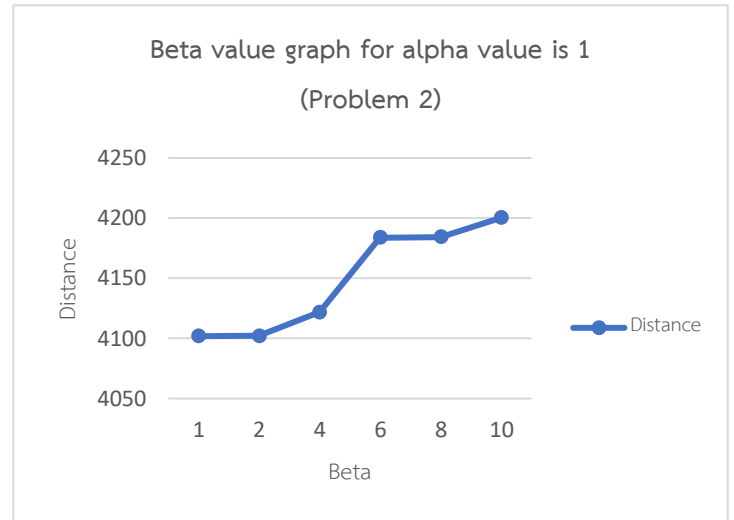
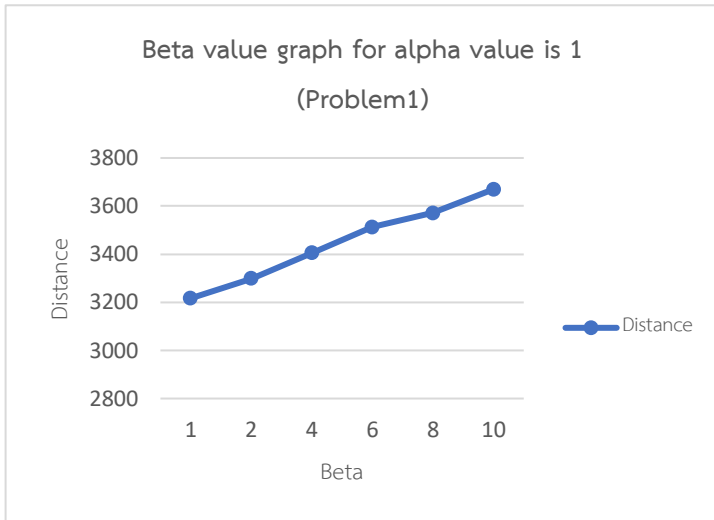


รูปที่... Graph for Alpha value

ซึ่งจากการทดสอบได้ผลว่า ควรตั้งค่า  $\alpha = 2$  และ  $\beta = 1$  เพื่อให้ได้ผลคำตอบที่ดีที่สุด นอกจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการนำค่าพารามิเตอร์ไปทดสอบกับอีก 2 โจทย์ ซึ่งได้ผลว่าพารามิเตอร์  $\alpha = 2$  และ  $\beta = 1$  ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดี สามารถดูได้จาก รูปที่.... และ รูปที่

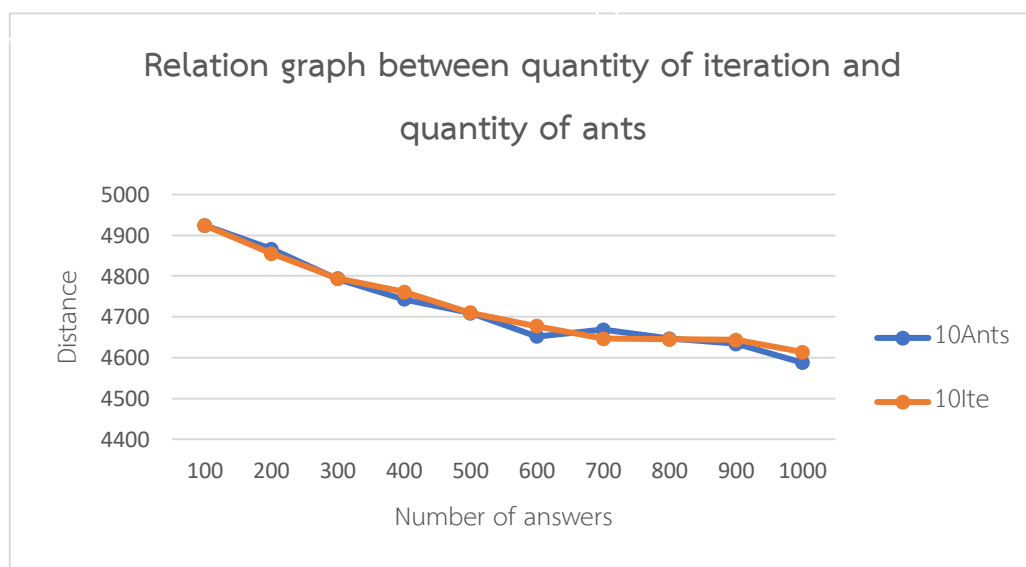
จากนั้นผู้วิจัยได้ทดสอบต่อในเรื่องของค่า จำนวนมดและจำนวนรอบที่มดแต่ละตัวเดิน โดย กราฟ 10ant หมายถึงการคงค่า ant ไว้ที่ 10 และ ปรับค่า iteration ตั้งแต่ 10 ถึง 100 โดยเพิ่มขึ้นทีละ 10 และกราฟ 10ite หมายถึง การคงค่า iteration ไว้ที่ 10 และปรับจำนวนมดเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 10 ถึง 100 โดยเพิ่มทีละ 10 จำนวนของคำตอบคือ ผลคูณของ ant คูณกับ iteration ซึ่งจากการทดลอง พบว่ายังมีการหาคำตอบเพิ่มมากขึ้นไม่ว่าจะเกิดจากการตั้งค่า Iteration ให้สูง หรือการตั้งค่า Ant ให้สูง จะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีมากขึ้นดังรูปที่.....





รูปที่... กราฟการทดสอบกับโจทย์ที่ 1

รูปที่... กราฟการทดสอบกับโจทย์ที่ 2



รูปที่... กราฟความสัมพันธ์ Iteration and ant

#### บทที่ 4 Result

การทดสอบปัญหาการจัดเส้นทางแบบ  
พลวัตนี้ได้ใช้พารามิเตอร์เดียวกับที่ได้ทำการทดสอบ  
ไปในบทที่ 4 คือ  $\alpha = 2$  และ  $\beta = 1$  ส่วนค่า  
Iteration ตั้งอยู่ที่ 100 Ant ตั้งอยู่ที่ 10 นอกจากนั้น  
แล้วผู้วิจัยได้ทำนำเข้าข้อมูลของร้านค้าแก๊ส  
กรณีศึกษาเพื่อทำการทดสอบอัลกอริทึม จากนั้นนำ  
ผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการปัจจุบันที่  
ร้านค้าแก๊สกรณีศึกษาใช้งาน คือ เมื่อมีคำสั่งซื้อ  
ร้านค้าแก๊สกรณีศึกษาจะจัดการขนส่งเพื่อส่งมอบ  
สินค้าให้กับลูกค้าทันทีด้วยยานพาหนะ 1 คัน ต่อ 1  
คำสั่งซื้อ ซึ่งการคำนวณระยะทางในกรณีที่ 1 คือ  
ระยะทางจากวิธีดั้งเดิม กรณีที่ 2 คือระยะทางจาก  
การใช้อัลกอริทึมระบบอาณานิคมมดที่ผ่านการ  
ปรับปรุง ซึ่งผลลัพธ์สามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้  
ตารางที่ 4-1 ผลการทดสอบ

Problem	Case 1	Case 2
1	649.4	298.0
2	803.4	406.9
3	815.6	456.5
4	746.8	422.0
5	855.4	459.4
6	806.4	421.1
7	862.8	475.0

จากตารางจะเห็นได้ว่า ระยะทางจากกรณีที่ 2 จะได้  
ระยะทางที่สั้นลงจาก กรณีที่ 1

อย่างไรก็ดีสำหรับงานวิจัยฉบับนี้ได้มีงานละ  
เว้นเวลารอคอยสำหรับลูกค้า ซึ่งในอนาคตสามารถ

นำเวลารอคอยมาประเมินร่วมเพื่อหาช่วงเวลาที่เหมาะสม  
ในการกำหนดให้อัลกอริทึมทำงานจัดเส้นทาง  
การขนส่ง