

## วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีศึกษา: โรงงานน้ำดื่มธารทิพย์

สุพรรณ สูดสนธิ<sup>\* 1)</sup> และ สมบัติ สินธุเขาวาน<sup>2)</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีเมต้าฮิวริสติก สำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะขนส่ง (Vehicle routing problem ซึ่งเป็นปัญหาเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-Hard) ผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน สำหรับการค้นหาคำตอบโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระยะทางโดยรวมต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายที่แน่นอน ความจุของยานพาหนะมีจำกัด กระบวนการทำงานของ MMAS แบ่งเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกการสร้างคำตอบเริ่มต้น (Initial solution phase) ซึ่งพิจารณาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข ระยะที่สองเป็นการปรับปรุงคุณภาพคำตอบ โดยวิธี 2-opt/ Swap operator และ Move exchanges และการปรับปรุงฟีโรโมน ผลการทดสอบวิธีการพบว่า วิธีเมต้าฮิวริสติกที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดีที่สุดสามารถลดระยะทางจากเดิม 154.8 กิโลเมตรต่อวัน เหลือ 119.3 กิโลเมตรต่อวัน คิดเป็น 29.59 % โดยที่ใช้เวลาประมวลผลที่เหมาะสม

**คำสำคัญ:** วิธีเมต้าฮิวริสติก, วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน, การจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง

---

<sup>\* 1)</sup> อาจารย์, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000 อีเมลล์: suphan\_sodsoon@hotmail.com

<sup>2)</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, จังหวัดอุบลราชธานี, 40002, อีเมลล์: somsin@rocketmail.com

## Max-Min Ant System to Solve Vehicle Routing Problem Case Study: THANTIP Factory of Drinking Water

Suphan Sodsoon <sup>\*1)</sup> and Sombat Sindhuchao <sup>2)</sup>

### Abstract

This research was presented meta-heuristic for solving the vehicle routing problem. The problems were a combinatorial optimization and NP-hard problem. The Max-Min Ant System (MMAS) was applied to solve for solutions in order to minimize the total distance traveled. The demand of each customer was certain and the vehicle capacity was limited. MMAS consisted of three phases. The first was to construct an initial feasible solution and the second; the solution was improved by applying local search methods. There were 2Opt; Swap operator and Move exchanges procedure. Finally, pheromone updating. The computation results showed the proposed heuristic provided good solution by reducing travel distance from 154.3 kilometer per day to 119.3 kilometer per day (29.59% reduced) and it was a reasonable computational time.

**Keywords:** Meta-heuristic, Max-Min Ant System, Vehicle routing problem

---

\* <sup>1)</sup> Lecturer, Industrial Technology, Rajamangala University of Technology Isan, Kalasin Campus, Kalasin 46000, E-mail: suphan\_sodsoon@hotmail.com

<sup>2)</sup> Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Ubon Ratchathani University, Ubon Ratchathani, 34190, E-mail: somsin@rocketmail.com

**1. บทนำ (Introduction)**

การขนส่งเป็นปัญหาที่มีบทบาทสำคัญในการบริหารจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน กิจกรรมการขนส่งสามารถบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการดำเนินงานขององค์กรได้ ต้นทุนการขนส่งขององค์กรธุรกิจโดยทั่วไปอยู่ประมาณ 5%-20% ของต้นทุนโดยรวม ดังนั้นองค์กรธุรกิจจึงพยายามหาแนวทางเพื่อลดต้นทุนการขนส่งในทุกวิถีทาง ดังจะเห็นได้จากผู้ประกอบการมีการสั่งซื้อโปรแกรม การวิจัยการจัดเส้นทางขนส่งมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ต้นทุนการกระจายสินค้าต่ำที่สุด ลูกค้าได้รับสินค้าในเวลาที่เหมาะสมและพึงพอใจมากที่สุดในการสั่งซื้อแต่ละครั้ง การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในอดีตจนถึงปัจจุบัน สรุปพอสังเขปดังนี้ ในอดีตมีนักวิจัยพัฒนาวิธีหาคำตอบด้วยวิธีที่ดีที่สุด(Exact Method) การพัฒนาวิธีทางคณิตศาสตร์ (Binato,S., 2002) ตลอดจนทั้งวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติก เช่น วิธี Tabu Search:TS วิธี Simulated Annealing:SA วิธี Ant Colony Optimization:ACO (Sodsoon S. and Sindhuchao S., 2007) หรือแม้แต่วิธี Iterated Local Search (Pitakaso, R. and Sindhuchao, S., 2006)

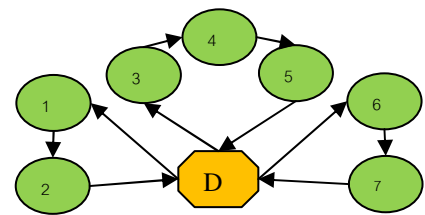
รายงานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วยงาน 6 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่ 2 อธิบายสถานะปัญหา ส่วนที่ 3 วิธีอาณานิคม ส่วนที่ 4 วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน ส่วนที่ 5 ผลการทดลองและส่วนที่ 6 สรุปผลการทดลอง

**2. สถานะของปัญหา (Statement of the problem)**

โรงงานงานผลิตน้ำดื่มธารทิพย์ ตั้งอยู่ที่อำเภอเมือง จังหวัดศรีสะเกษ ลูกค้าทั้งหมด 73 ราย กระจายอยู่ตามพื้นที่ต่างๆ เช่น ตัวจังหวัด อำเภอและหมู่บ้าน พาหนะขนส่งน้ำดื่มที่ใช้มีขนาดและรูปแบบเดียวกันทั้งหมด (Identical vehicle) จำนวน 3 คัน

แต่ละคันสามารถบรรทุกสินค้าสูงสุดได้ครั้งละ 75 ถัง/คัน ข้อมูลโรงงานกรณีศึกษาดังแสดงในตารางที่ 1-2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การจัดเส้นทางขนส่งที่ใช้ระยะทางโดยรวมที่ต่ำที่สุด

การสร้างแบบจำลองสภาพของปัญหามีดังนี้ กราฟ  $G = (V, E)$  เมื่อ  $V = \{v_0, v_1, v_2, \dots, v_n\}$  ด้านเชื่อมแทนด้วยเซต  $E = \{(v_i, v_j) | v_i, v_j \in V, i < j\}$  กำหนดให้  $v_0$  คือ โหนดของโรงงานผลิตน้ำดื่ม รถบรรทุกสินค้ามีจำนวน  $m$  คัน แต่ละคันมีขนาดการบรรทุกสินค้าสูงสุด คือ  $Q$  ขนส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่  $i$  ไปจนถึงรายที่  $n$  โดยที่  $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$  ลูกค้าแต่ละรายต้องใช้พาหนะขนส่งเพียงคันเดียว จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของรถแต่ละคันอยู่ที่โรงงาน ระยะทางการขนส่งจากจุด  $v_i$  ไปยังจุด  $v_j$  แทนด้วย  $d_{ij}$  (ระยะทางที่สมมาตร) จำนวนสายส่งมีตั้งแต่  $R_1, \dots, R_m$  ดังแสดงในรูปที่ 1 ต้นทุนหรือระยะทางของ สายส่งแทนด้วย  $R_i \in \{v_0, v_1, \dots, v_{k+1}\}$  เมื่อ  $v_j \in V$  และ  $v_0 \in v_{k+1} = 0$



**รูปที่ 1 ลักษณะของการแบ่งสายส่ง**

ระยะทางรวมของสายส่งแต่ละเส้นทาง ดังสมการที่ (1) ระยะทางโดยรวมของการใช้เส้นทางโรงงาน ( $s$ ) ดังสมการที่ (2)

$$Dist(R_i) = \sum_{j=0}^k d_{ij+1} \tag{1}$$

$$D_{vp}(s) = \sum_{i=1}^m Dist(R_i) \tag{2}$$

ตารางที่ 1 เมตริกซ์ระยะทางระหว่างลูกค้ากับโรงงาน

From \ To	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

หน่วยวัดระยะทาง: กิโลเมตร (กม.)

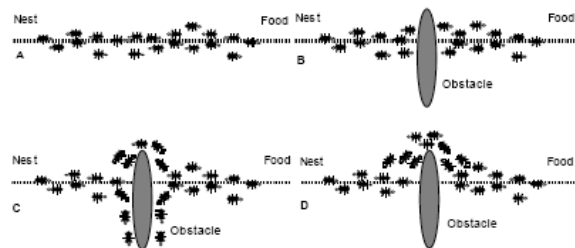
ตารางที่ 2 ปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายโดยเฉลี่ย

ID. customers	Avg. demand	ID. customers	Avg. demand	ID. customers	Avg. demand	ID. customers	Avg. demand
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	4	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		

หน่วยวัดสินค้า: ถัง

3. การหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีอาณานิคมมด

การหาค่าที่เหมาะสมด้วยอาณานิคมมดเป็นเทคนิคที่ได้จากการเฝ้าสังเกตพฤติกรรมของมด โดยธรรมชาติของมด มดจะเดินทางออกจากรังของมันไปยังแหล่งอาหารเพื่อขนอาหารกลับมายังรังของมัน การเดินทางจะอาศัยร่องรอยของสารเคมีตัวหนึ่งที่เรียกว่าฟีโรโมน (Pheromone) ร่องรอยสารเคมีที่ปรากฏอยู่บนพื้นเกิดจากมดตัวอื่นๆ เดินทางก่อนหน้านี้มาพ่นทิ้งไว้ และเมื่อมดตัวที่เดินตามมาที่หลังก็จะทำการพ่นสารฟีโรโมนซ้ำอีกครั้ง กรณีที่เป็นเส้นทางที่มดใช้เป็นเส้นทางหลักหรือใช้เดินทางอยู่บ่อยครั้ง ความเข้มข้นของสารเคมีนี้จะสูงมาก ในทางตรงกันข้าม ถ้าหากเส้นทางใดที่มดไม่ใช้แล้วสารเคมีที่เคยพ่นทิ้งไว้ก็จะระเหยไปตามธรรมชาติ จนในที่สุดก็จะไม่เหลือทิ้งไว้เลย ฉะนั้นฟีโรโมนจึงถือได้ว่าเป็นข้อมูลสำคัญของ พฤติกรรมมด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ธรรมชาติการเดินทางของมด

ที่มา: Dorigo, et al., 1996

จากรูปที่ 2A อธิบายได้ว่าในสภาวะปกติ มดจะเดินทางเป็นเส้นตรงกรณีที่ไม่มีความขัดขวางเส้นทางการเดินทาง รูปที่ 2B ถ้ามดเจอสสิ่งกีดขวาง มดจะทำการตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดิน โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่มอย่างละเท่ากัน ดังในรูปที่ 2C จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปมดจะเริ่มเรียนรู้จากสารเคมี โดยจะเลือกเดินทางข้ามสิ่งกีดขวางเฉพาะเส้นทางที่สั้นที่สุดเท่านั้น จากหลักการดังกล่าว Dorigo., et al., (1996) จึงได้มีการเลียนแบบพฤติกรรมของมด

มาใช้แก้ปัญหา TSP เป็นคนแรก ระยะเวลาเรียกว่า วิธีระบบมด (Ant System: AS) ในปัจจุบันมีนักวิจัยจำนวนมากที่สนใจศาสตร์ทางด้านนี้และทำการประยุกต์เทคนิคการหาคำตอบเพิ่มเติมเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม เช่น วิธีอาณานิคมมด วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน เป็นต้น

#### 4. วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน

วิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน คิดค้นโดย Stützle, T. and Dorigo, M. (1999) มีความแตกต่างจากวิธีระบบมดคือ กำหนดช่วงการใช้ฟีโรโมนแบบสูงและต่ำ โดยนำค่าเฉพาะคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้นมาทำการปรับปรุงฟีโรโมนใหม่เพื่อป้องกันความถี่ซ้ำของกระบวนการเข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดและป้องกันการวนซ้ำ โดยที่ไม่ออกจากพื้นที่เดิมไปค้นหาคำตอบที่ดีกว่าเดิม (Local optima) ระบบมดแบบแม็ก-มิน มีขั้นตอนสำคัญอยู่ 3 ขั้นตอนอธิบายได้ดังนี้

##### ก. กฎเปลี่ยนสถานะ (State transition rule)

กำหนดให้มดอยู่ที่เมือง  $r$  และกำลังที่จะเลือกว่าจะเดินทางไปเมืองใด ให้เมืองที่มดเลือกเดินทางไปแทนด้วย  $S$  โดยมดจะเลือกเมืองตาม สมการที่ (3)

$$V = \begin{cases} \frac{[\tau(r,s)][\eta[r,s]^\beta]}{\sum_{s \in J_k} [\tau(r,s)][\eta[r,s]^\beta]} & \text{if } s \in J_k(r) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$\beta$  = ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ( $\beta > 0$ )

$\tau$  = ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น

$\eta = 1/d(r,s)$  = ส่วนกลับของระยะทาง

$\delta(r,s)$  = ระยะทางระหว่างเมือง  $r$  และเมือง  $s$

$J_k(r)$  = เซตเมืองที่มดตัวที่  $k$  ยังไม่ได้เดินทางไป

$V$  = สัดส่วนความน่าจะเป็น (proportional-rule)

จากสมการที่ (3) จะเห็นได้ว่ามดจะเลือกเมือง  $s$  โดยเมือง  $s$  นี้ ได้จากการสุ่มเลือกเมืองตามสมการที่ (3) มดจะหาความน่าจะเป็นของเมืองที่ยังไม่ไปภายในบัญชีคู่แข่ง ความน่าจะเป็นที่มดจะเลือกไปเมืองนั้นจะมีค่าสูง เมืองใดที่ให้ค่าความน่าจะเป็นต่ำมดจะเลือกไปเมืองนั้นก็ต่ำด้วย แต่ทั้งนี้ผลรวมของความน่าจะเป็น

ทั้งหมดของเมืองที่มดยังไม่ได้ไปมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมดได้ค่าความน่าจะเป็นครบทุกเมืองภายในบัญชีคู่แข่งแล้วมดจะทำการเลือกโดยวิธีสุ่มว่าจะไปเมืองใดอีกครั้งหนึ่ง

##### ข. การปรับปรุงฟีโรโมนวงกว้าง เมื่อมดทุกตัว

สร้างทางเดินจนครบหมดแล้ว ก็ทำการปรับคุณภาพคำตอบ ดังในหัวข้อ 4.2 จากนั้นก็จะทำการปรับปรุงปริมาณการใช้ฟีโรโมนตามสมการที่ (4) ให้แก่เส้นทางที่ดีที่สุดเท่านั้น เพื่อเป็นการเสริมเส้นทางนั้นให้เด่นชัดขึ้น

$$\tau_{r,s} \leftarrow \rho \cdot \tau_{r,s} + \rho \cdot \Delta \tau_{r,s}^{best} \quad (4)$$

เมื่อ  $\Delta \tau_{r,s}^{best} = 1/f(s^{best})$  ให้  $f(s^{best})$  คือ ค่าของระยะทางที่ดีที่สุดวงกว้าง  $f(s^{ib})$  เป็นคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละรอบกระทำซ้ำ แต่ถ้าหากไม่ต้องการปรับปรุงฟีโรโมนทุกรอบกระทำซ้ำก็เลือกเฉพาะค่าที่ดีที่สุดของรอบกระทำซ้ำใหญ่ที่ให้ค่าที่ดีที่สุด (Global best) ก็ได้ ในฟังก์ชัน  $f(s^{gb})$  โดยการปรับปรุงฟีโรโมนแต่ละครั้งจะต้องมีการกำหนดช่วงให้ใช้  $\tau_{max}$  และ  $\tau_{min}$  เช่น ถ้าหาก  $\tau_i > \tau_{max}$  กำหนดให้  $\tau_i = \tau_{max}$  ทางตรงกันข้าม ถ้าหาก  $\tau_i < \tau_{min}$  ให้  $\tau_i = \tau_{min}$  เหล่านี้เป็นต้น ตัวอย่างการแก้ปัญหาด้วยวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน สมมติว่ามีโรงงานผลิต 1 แห่ง ลูกคามีจำนวน 8 ราย ตั้งแต่โหนดที่ 1-8 (A,B,...H) และโหนดของโรงงาน คือ โหนดที่ D1 การบรรจรถทุกสินค้าของพาหนะขนส่งสูงสุด ( $Q_k$ ) = 50 หน่วย ข้อมูลดังตารางที่ 3

#### 4.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 1 คือ การสร้างคำตอบเริ่มต้นตามสมการที่ (3) ลำดับแรกให้มดตัวที่ 1 อยู่ที่ D1 ใช้ฟีโรโมนเริ่มต้น  $\tau(r,s) = 0.5$  เท่ากันทุกเส้นเชื่อม มดตัวที่ 1 ทำการพิจารณาเมืองทั้งหมดที่มันยังไม่เคยเดินทางไป ในเซต  $J_k(D_1) = \{A,B,C,D,E,F,G,H\}$  จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของเมืองทั้งหมด จากผลคูณระหว่างค่าฟีโรโมนกับค่าส่วนกลับระยะทางยกกำลังเบต้ากับเมืองที่สนใจจะหาอาหารด้วยผลรวมของผลคูณระหว่างค่าฟีโรโมนกับค่าส่วนกลับระยะทางยกกำลังเบต้าทั้งหมด การคำนวณหาสายส่งอธิบายได้ดังนี้

**รอบที่ 1** มดตัวที่ 1 มดมีโอกาสที่จะเลือกเมือง F และ H เพราะว่ามีค่าความน่าจะเป็นที่สูง ครั้งแรกนี้ สมมติให้มดเลือกได้เมือง F ดังนั้นสายส่งที่ได้คือ R1-F ระยะทาง 0.5 กม. สิ้นค้ารวมเท่ากับ 3 หน่วย

**รอบที่ 2** คำนวนหาค่าความน่าจะเป็นใหม่ โดยที่ตัดลูกค้าที่อยู่เมือง F ออก จะเหลือลูกค้าเพียง 7 ราย

โอกาสที่มดจะเลือกเดินทางต่อไป คือ เมือง H ฉะนั้นสายส่งที่ได้ คือ R1-D-F-H ระยะทาง 1.1 กม. สิ้นค้ารวม 12 หน่วย

**ตารางที่ 3** ระยะทางระหว่างโรงงานผลิตที่ D1 กับลูกค้า 8 ราย

โรงงานผลิต		ชื่อลูกค้าหรือเมือง								ความต้องการสินค้า ( $d_j$ )	
ระยะทาง	D1	A	B	C	D	E	F	G	H		
D1	0										$\infty$
A	1.2	0									10
B	0.6	0.7	0								7
C	0.6	0.7	0.2	0							13
D	1.1	0.5	0.4	0.5	0						19
E	1.2	0.6	0.6	0.6	0.3	0					26
F	0.5	0.7	0.5	0.5	0.6	0.7	0				3
G	1.1	1.6	1.2	1.2	1.4	1.4	0.9	0			5
H	0.5	1.4	1.0	1.0	1.1	1.3	0.6	0.7	0		9

หน่วยวัดระยะทาง: กิโลเมตร (กม.)

**รอบที่ 4** ตัดลูกค้าที่อยู่เมือง C ออกไป คำนวนหาค่าความน่าจะเป็นของเมือง A B D E และ G ใหม่โอกาสที่มดจะสุ่มเลือกได้ คือ เมือง B สูง เนื่องจากว่ามีค่าความน่าจะเป็นสูง สมมติว่ามดสุ่มเลือกได้เมือง B สายส่งที่ได้ คือ R1-F-H-C-B ระยะทางรวม 1.3 กม. สิ้นค้ารวม 32 หน่วย

**รอบที่ 5** คำนวนหาค่าความน่าจะเป็นของเมือง A-D-E-G โอกาสที่มดจะเลือกได้เมือง D และ G สูง สมมติว่ามดสุ่มเลือกได้เมือง D สายส่งที่ได้ คือ R1-F-H-C-B-D ระยะทางรวม 3.7 กม. สิ้นค้ารวม 51 หน่วย แต่พาทะชนส่งสามารถบรรทุกสินค้าได้สูงสุดไม่เกิน 50 หน่วยเท่านั้น ฉะนั้นเมืองที่มดสามารถเดินทางต่อจากเมือง B ได้นั้น จะต้องมียานสินค้าไม่เกิน 18 หน่วยเท่านั้น จึงจะถือว่าไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข ดังนั้นรอบการคำนวณครั้งนี้ถ้ามดสุ่มเลือกได้เมือง D จะถือว่าขัดแย้งกับเงื่อนไข มดจะต้องทำการสุ่มเลือกเมืองใหม่อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งโอกาสที่มดจะสุ่มเลือกได้เมือง G ก็ย่อมมีโอกาสที่สูงเช่นกัน เพราะมีค่าความน่าจะเป็นที่สูงรองจากเมือง D

**รอบที่ 6** คำนวนหาค่าความน่าจะเป็นเมือง A D E พบว่าจำนวนสินค้าที่จะบรรจุในสายส่งได้นั้นต้องไม่เกินข้อกำหนด คือ ไม่เกิน 18 หน่วยเท่านั้น ดังนั้นในครั้งนี้มีมดจะต้องเลือกได้เมือง A เท่านั้น จึงจะถือว่า

ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข สายส่งที่ได้ คือ 1 R1-F-H-C-B-G-A ระยะทางรวม 5.1 กม. และสิ้นค้ารวม 47 หน่วย เมื่อไม่สามารถเลือกเมืองใดๆ มาเชื่อมในเส้นทางได้อีกจึงถือว่าสายส่ง R1 สมบูรณ์

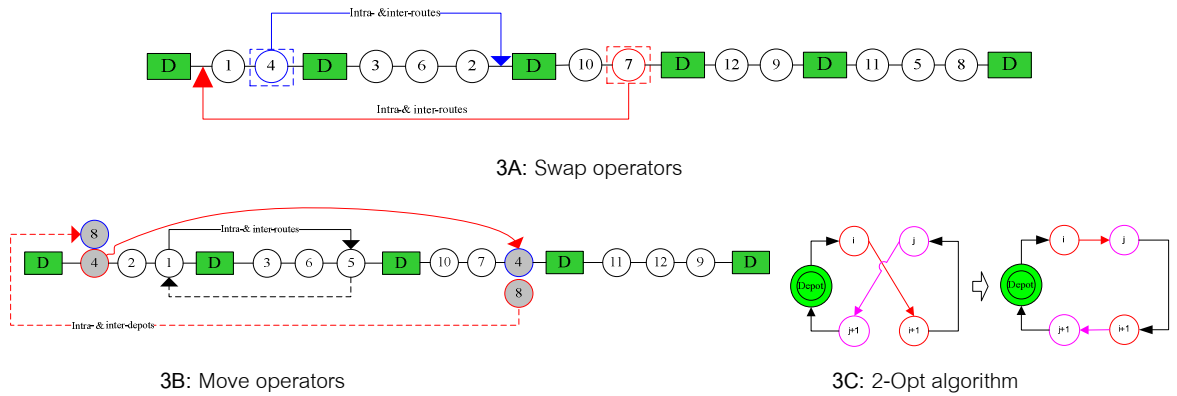
**สายส่งที่ R2** คำนวนหาค่าความน่าจะเป็นของเมืองที่เหลือจากสายส่งที่ R1 คือเมือง D และ E ตามกฎเปลี่ยนสถานะตามสมการที่ (3) พบว่าโอกาสของเมือง E จะถูกเลือกมากกว่าเมือง D ฉะนั้นสายส่งที่ได้ คือ R2-D-E-R2 จำนวนสินค้า 1.1 กม. สิ้นค้ารวม 45 หน่วย ดังนั้นจึงได้เส้นทางวงปิดที่สมบูรณ์ในการขนส่งสินค้าครบทั้ง 8 ราย ใน 2 เส้นทางดังนี้ สายส่งที่ 1: R1-F-H-C-B-G-A-R1 ระยะทางรวม 6.3 กม. สิ้นค้ารวม 47 หน่วย และสายส่งที่ 2: R2-D-E-R2 ระยะทางรวม 1.1 กม. สิ้นค้ารวม 45 หน่วย

**4.2 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบ** หลังจากที่ได้เส้นทางเริ่มต้นจากขั้นตอนที่ 1 ก็เข้าสู่กระบวนการขั้นตอนที่ 2 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบ โดยมีการประยุกต์ใช้เทคนิคการค้นหาฮิวริสติกในรูปแบบต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณภาพคำตอบที่ดีกว่าคำตอบที่ทราบในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 3

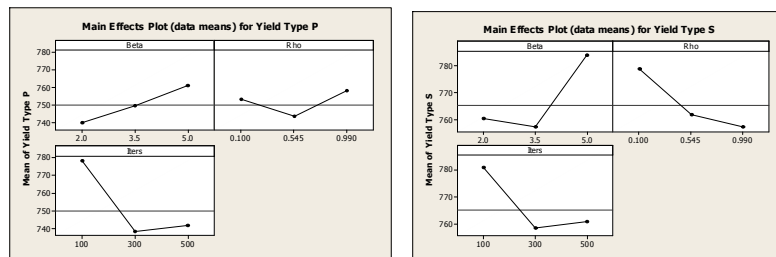
การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap Operator) คือ การสลับตำแหน่งคู่ลำดับลูกค้าในคำตอบที่ละ 1 ราย ระหว่างสับเซตและภายในสับเซตเดียวกันที่ถูกเชื่อมกันอยู่

ในเส้นทางขนส่ง ดังแสดงในรูปที่ 3A ส่วน Move Exchanges คือ วิธีการย้ายลูกค้าจากตำแหน่งเดิมออกไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง โดยที่ไม่มีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งกัน เหมือนกับวิธีสลับเปลี่ยนตำแหน่ง แสดงในรูปที่ 3B และวิธี 2-Opt มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับวิธีการสลับเปลี่ยน

ตำแหน่ง กระทำได้โดยการย้ายสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้ากันทีละ 2 ราย ภายในเส้นทางเดียวหรือระหว่างเส้นทางที่เป็นไปได้ หรืออาจเรียกว่า 2-Exchanges ดังแสดงในรูปที่ 3C



รูปที่ 3 การปรับปรุงคุณภาพคำตอบ



รูปที่ 4 การใช้งานพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 5 การจัดเส้นทางขนส่งวิธีปัจจุบันโรงงาน

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

ที่มา: นිරันดร สมมติ และ ผศ.ดร.สมบัติสินธุ์เชาวน์., 2552

ตารางที่ 6 การจัดเส้นทางขนส่งวิธี GRASP

สายส่ง	ลำดับลูกค้าสายส่ง	ระยะทาง (km)	ความจุ (unit)
1	DC 23 53 54 52 22 21 20 35 3 36 DC	12.6	69
2	DC 2 38 39 68 67 59 60 61 62 37 DC	29	75
3	DC 1 29 30 31 28 41 10 32 9 8 7 6 4 5 DC	17.1	73
4	DC 40 11 27 16 44 19 25 66 58 57 24 56 55 DC	21.9	73
5	DC 65 69 70 71 72 73 18 17 43 26 64 DC	16.1	67
6	DC 33 12 13 42 14 15 45 48 47 46 49 51 50 34 DC	28	74
7	DC 63 DC	1.2	16
ระยะทางโดยรวม(km)		125.9	447

ที่มา: นිරันดร สมมติ และ ผศ.ดร.สมบัติสินธุ์เชาวน์., 2552

ตารางที่ 7 การจัดเส้นทางทางรถขนส่งวิธี MMAS

สายส่ง	ลำดับลูกค้าสายส่ง	ระยะทาง (km)	ความจุ (unit)
1	DC 24 57 62 61 60 59 58 67 68 66 37 65 DC	30.3	70
2	DC 63 56 55 53 23 54 52 22 21 DC	12.7	69
3	DC 12 13 42 14 45 51 50 49 46 48 47 15 16 44 64 DC	32	74
4	DC 29 30 31 28 41 10 32 6 4 5 35 20 DC	16.7	72
5	DC 3 8 9 17 18 73 72 71 70 69 39 36 DC	16.8	73
6	DC 34 33 DC	1.9	18
7	DC 40 11 27 26 43 19 25 38 2 DC	8.9	71
ระยะทางโดยรวม(km)		119.3	447

ตารางที่ 8 เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด

ผลการทดลอง	ระยะทางโดยรวม (km)	%RPD
การจัดเส้นทางโรงงานกรณีในปัจจุบัน	154.8	29.76%
ผลจากการจัดการเส้นทางวิธี GRASP	125.9	5.53%
ผลจากการจัดเส้นทางวิธี MMAS	119.3	0.00%

การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด; BT = คำตอบที่ต่ำสุดจากวิธีการ; BKS = คำตอบที่ทราบจากวิธีการอื่นๆ (%RPD = (BT- Obj.-BKS)/BKS)\*100%

5. ผลการทดลอง (Computational Results)

ผู้วิจัยเขียนชุดคำสั่งวิธีการค้นหาคำตอบและการปรับปรุงคุณภาพคำตอบด้วยโปรแกรม Visual C++ 6.0 ทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์ระบบปฏิบัติการ Windows XP รุ่น Pentium [R]4, CPU 3.06 GHz, Ram 256 MB ออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองตามกระบวนการทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab R14 ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

5.1 ผลการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การทดสอบหาระดับการใช้งานของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากวิธีระบบมดแบบแม็ก-มิน เพื่อให้มีความสามารถในการค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องประกอบด้วย  $\alpha, \beta, \rho$  จำนวนรอบกระทำซ้ำ ( $I^{Max}$ ) ตลอดทั้งทดสอบวิธีการสร้างคำตอบเริ่มต้น มี 2 แบบ คือ แบบคู่ขนาน (P: คือ สร้างสายส่งแบบพร้อมกันในทุกสายส่ง) และแบบลำดับ (S: คือ สร้างเส้นทางทีละสายส่ง) เป็นต้น ผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4 ผลการวิเคราะห์กราฟผลกระทบปัจจัยหลัก จากการทดสอบทั้ง 3 ปัจจัย 2 ระดับ พบว่าควรใช้ระดับ  $\beta = 2.0$ ,  $\rho = 0.545$  และ  $I^{Max} = 300$  การสร้างคำตอบแบบ S (แบบ) เหมาะสมที่สุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไปใช้ในการแก้ปัญหาของกรณีศึกษา ผลลัพธ์ที่ได้

จากการประเมินเวลาประมวลผลโปรแกรมแสดงได้ดังในตารางที่ 4

5.2 ผลการทดสอบวิธี MMAS

ในตารางที่ 5 แสดงข้อมูลการจัดเส้นทางขนส่งของโรงงานกรณีศึกษาในปัจจุบัน ตารางที่ 6 ผลการจัดเส้นทางรถขนส่งจากวิธี GRASP และตารางที่ 7 ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธี MMAS

6. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งด้วยวิธี MMAS แบ่งเป็น 3 ระยะคือ การสร้างคำตอบเริ่มต้น การปรับปรุงคุณภาพคำตอบ และการปรับปรุงฟีโรโมน การจัดเส้นทางสายส่งให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี สามารถลดระยะทางการขนส่งจากเดิม 154.8 กิโลเมตร/วัน เหลือเพียง 119.30 กิโลเมตร/วัน คิดเป็น 29.59% งานวิจัยในอดีตใช้วิธี GRASP ระยะทางลดลงจากเดิมเพียง 125.9 กิโลเมตร/วัน คิดเป็น 18.6% ซึ่งเป็นคำตอบที่ด้อยกว่าวิธี MMAS และรอบรถทุกของโรงงานมีเพียง 3 คัน แต่ถ้าหากพิจารณาการใช้งานแล้วรถ 1 คัน สามารถถูกใช้งานได้มากกว่า 1 เส้นทางได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งทำให้สามารถใช้รถบรรทุกสินค้าในจำนวนเท่าเดิม แต่ให้ระยะทางโดยรวมที่สั้นลงและประหยัดต้นทุนดำเนินการได้อีกด้วย กล่าวอีกนัยหนึ่งว่ารถบรรทุกทั้ง 3 คัน ของโรงงาน มีค่าเฉลี่ยการใช้งาน



ประมาณ 39.766 กิโลเมตร/วัน ซึ่งเป็นระยะทางที่ไม่สูงมากนักหรือเป็นระยะทางที่เหมาะสมด้วย

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี MMAS ที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพมากกว่าการจัดเส้นทางของโรงงานกรณีศึกษาที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบันและดีกว่าวิธีของ GRASP ในอนาคตถ้าหากมีการปรับปรุงคุณภาพคำตอบให้ดียิ่งขึ้นด้วยวิธี A Very Large-Scale Neighborhood (VLSN) search ก็จะทำให้สามารถลดการใช้ระยะทางลงได้อีก

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ คุณนิรันดร สมมติและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมบัติ สินธุ์เขาวน ที่อนุเคราะห์ข้อมูลเพื่อการทดลองและตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่ง

### เอกสารอ้างอิง (References)

นิรันดร สมมติ และ สมบัติสินธุ์เขาวน., (2552) วิธีฮิวริสติก GRASP สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะกรณีศึกษา: โรงงานน้ำดื่มธารทิพย์. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ปี 2 ฉบับที่ 2 , กรกฎาคม พ.ศ. 2552, หน้า 1-8.

Binato,S., Hery,W.J., Loewenstem, D.M., and Resends, M.G.C.,(2002) A GRASP for job shop scheduling. Metaheuristics, Kluwer Academic Publishers, pp. 58-79.

Dorigo, M., Maniezzo, V. and Colomi, A. (1996) Ant system: Optimization by a colony of cooperating agents, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B, Vol. 26, 29-41.

Pitakaso, R. and Sindhuchao, S., (2006). GRASP with iterated local search heuristic for Capacitated P-median problem. Apiems.

Suphan Sodsoon and Sombat Sindhuchao.,(2007). Ant Colony Optimization and Solution Improvement Procedure for Solving the Multi-Depot Vehicle Routing Problem. The 8<sup>th</sup> Asian Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference, Kaohsiung City, Taiwan.

Stützle, T. and Dorigo, M. (1999) ACO algorithms for the quadratic assignment problem, In D. Corne, M. Dorigo and F. Glover, editors, New Ideas in Optimization, McGraw-Hill.