บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

แบบแผนทางการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง "การจัดการความต่อเนื่องของการจัดส่งสินค้าภายใต้สถานการณ์อุทกภัยด้วยวิธีเชิงทนทาน " เป็นงานวิจัย เชิงปริมาณและเชิง คุณภาพ ประเภทวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ แขนง โลจิสติกส์และโซ่อุป ทาน (Logistic and Supply Chain) เพื่อเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาในการขนส่งสินค้าในขณะเกิดสภาวการณ์อุทกภัย สร้างเครื่องมือในการวางแผน และ ช่วยในการ จัดเส้นทางรถขนส่ง สินค้าให้แก่ ภาคอุตสาหกรรม เพื่อให้เกิดความต่อเนื่อง

กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย ประกอบด้วย โรงงานในพื้นที่ที่ประสบภัยพิบัติ และโรงงานที่อยู่นอกพื้นที่ภัยพิบัติแต่ได้รับผลกระทบ จากข้อมูล กระทรวงอุตสาหกรรมเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2554 พบว่ามีโรงงานที่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์อุทกภัยในปี 2554 มีมากกว่า 28,000 แห่ง จึงเลือกใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง และหาขนาดตัวอย่างจากสูตรของ Taro Yamane (1967) ซึ่งเป็นที่นิยมของนักวิจัยทั่วไป โดยกำหนดความเชื่อมั่นที่ 95% หรือความผิดพลาดไม่เกิน 5% ตามสมการต่อไปนี้

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \qquad (3.0)$$

เมื่อ n = จำนวนตัวอย่าง

N = จำนวนประชากร

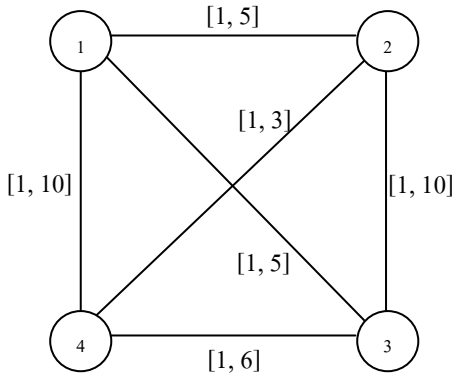
e = ค่าความคลาดเคลื่อน (0.05)

ดังนั้นกลุ่มตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณตามสมการ (3.0) จึงใช้จำนวนตัวอย่าง 400 ชุด จากกลุ่มเป้าหมาย คือ โรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย

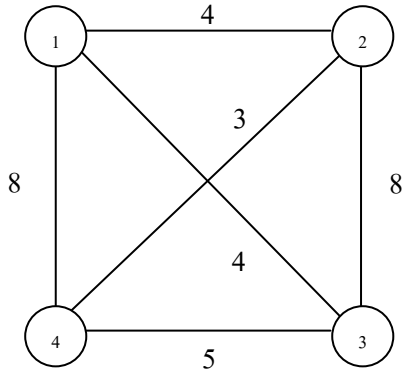
ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. สำรวจงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในด้านการจัดการภัยพิบัติทั้งในและต่างประเทศ ทฤษฎีการสร้างสถานการณ์ และหลักการเชิงทนทาน ซึ่งได้นำเสนอไว้ในบทที่ 2
2. จัดทำแบบสำรวจข้อมูลความเสียหายของภาคธุรกิจอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยกลุ่มเป้าหมายประชากร ประกอบด้วย โรงงานในพื้นที่ที่ประสบภัยพิบัติ และโรงงานที่อยู่นอกพื้นที่ภัยพิบัติแต่ได้รับผลกระทบ
3. วิเคราะห์ผล ที่ได้จากแบบสอบถามด้วยวิธีทางสถิติเชิงพรรณนา และสังเคราะห์ข้อเสนอแนะที่ได้รับจากแบบสอบถามปลายเปิด
4. นำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาในเบื้องต้น
5. ออกแบบการทดลองด้วยข้อมูลที่ได้จากการจำลองสถานการณ์
6. จำลองสถานการณ์ตัวอย่าง ของข้อมูลที่มีความไม่แน่นอน การสร้างรูปแบบของเวลาเดินทางที่ไม่แน่นอนอาศัยวิธีการสร้างสถานการณ์ โดยพิจารณา ปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าที่อยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ ตัวอย่างปัจจัยที่มีผลกระทบ ได้แก่ สภาพการจราจร การเกิดอุบัติเหตุ หรือสภาวะอากาศ เป็น ต้น การกำหนดสถานการณ์ที่ดีไม่ควรกำหนดเป็นสถานการณ์ที่ดีที่สุด หรือเลวร้ายที่สุด เนื่องจากอาจส่งผลกระทบต่อผลเฉลยที่ไม่เที่ยงตรง ผู้ตัดสินใจที่ดีควรสร้างสถานการณ์ตามความเป็นจริง โดยพิจารณาทีละปัจจัย หรือพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย อาจกระทำในลักษณะของการออกแบบการทดลอง (Design of Experiments) เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการขนส่ง และนำค่าตอบสนองที่ได้ (Response Values) มาใช้เป็นพารามิเตอร์ในการสร้างสถานการณ์ต่อไป

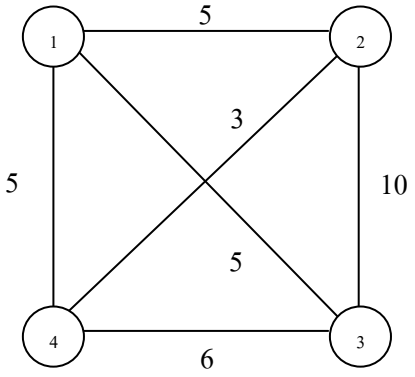
ตัวอย่างในการกำหนดสถานการณ์เพื่อนำไปสู่การหาผลเฉลยที่ครอบคลุมทุกสถานการณ์ แสดงดังภาพประกอบ 3-1 ถึง 3-3



ภาพประกอบ 3-1 ตัวอย่างช่วงเวลาที่ใช้ในการเดินทางขนส่งจากคลังสินค้า 1 ไปยังลูกค้า 3 จุด



ภาพประกอบ 3-2 ตัวอย่างการกำหนดสถานการณ์ที่ 1 กรณีการจราจรติดขัด



ภาพประกอบ 3-3 ตัวอย่างการกำหนดสถานการณ์ที่ 2 กรณีเกิดอุบัติเหตุ ณ เส้นทางระหว่างลูกค้า 2 และ 3

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองสร้างสถานการณ์ที่เกิดขึ้นแบบเสมือนจริง เพื่อให้ผู้ตัดสินใจในการใช้งาน หรือผู้ประกอบการ ได้มีแนวทางในการจัดการเมื่อประสบกับสภาการณ์จริงในอนาคตที่ไม่อาจคาดการณ์ได้ โดย สถานการณ์ดังกล่าวที่จำลองขึ้นจะเป็นตัวแทนของข้อมูลที่มีความไม่แน่นอนจากปัจจัยต่างๆ สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการสร้างสถานการณ์ของเวลาเดินทางจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า และระหว่างลูกค้า i ไป j ด้วยนิยามดังต่อไปนี้

นิยามที่ 1: สถานการณ์ทั้งหมด S คือ เวลาเดินทางที่เกิดขึ้นระหว่างเส้นทางจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า และระหว่างลูกค้า i ไป j โดยกำหนดเป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการเดินทางนิยามด้วย $[l_{ij}, u_{ij}]$ ซึ่ง l_{ij} คือ เวลาเดิ นทางต่ำสุด และ u_{ij} คือ เวลาเดินทางสูงสุด ในกรณีสถานการณ์พื้นฐาน (Base Case Scenario; s_b) โดย s_b คือ ค่าคาดหวังของ $[l_{ij}, u_{ij}]$ หรือเวลาเดินทางสำหรับกรณีสถานการณ์พื้นฐาน, $t_{s_b} = \frac{l_{ij} + u_{ij}}{2}$ สำหรับสถานการณ์อื่นๆ, t_s ถูกเลือกอย่างสุ่มจากการแจงแจงเอกรูป (Uniform Distribution), $u(l_{ij}, u_{ij})$

จากนิยามที่ 1 ทำให้สามารถสร้างเมทริกซ์ของค่าเวลาเดินทาง (Travel Times Cost Matrix) ได้ และความไม่แน่นอนเกิดจากการสร้างส ถานการณ์ s ซึ่งส่งผลให้ค่าในเมทริกซ์เปลี่ยนไปตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้น ขนาดของความไม่แน่นอนหรือเปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอนกำหนดด้วยค่าพารามิเตอร์, β ที่มีค่าอยู่ในช่วง $0 \le \beta \le 1$ ในกรณีที่มีการกำหนดเปอร์เซ็นต์ความไม่แน่นอน t_s จะถูกเลือกอย่างสุ่มจากการแจกแจงเอกรูป $u((1-\beta)t_{s_b}, (1+\beta)t_{s_b})$ จากขั้นตอนนี้ทำให้สามารถสร้างเวลาเดินทางที่ไม่แน่นอนจากคลังสินค้าไปลูกค้า และจากลูกค้า i ไป j

6.1 เลือกเกณฑ์ที่เหมาะสมในการตัดสินผลเฉลยเชิงทนทาน (Choice of Appropriate Robustness Criterion) ในงานวิจัยนี้ นำเสนอเกณฑ์การตัดสินผลเฉลยเชิงทนทาน 3 วิธี อันประกอบด้วย

6.1.1 สภาพทนทานสัมบูรณ์ (Absolute Robustness) เป็นตัววัดสมรรถนะ (Performance measure) ของผลเฉลย โดยการประเมินผ ลจากผลเฉลยที่ได้จากสถานการณ์ทั้งหมด และเลือกผลเฉลยที่มีค่ามากต่ำที่สุดเป็นตัวชี้บ่งความทนทาน (The Best Worst Case Performance) ตัวอย่างเช่น ค่าเหมาะที่สุดที่ได้จากการสร้างสถานการณ์ 4 สถานการณ์ ได้แก่

Z_{s_1} = 100, Z_{s_2} = 103, Z_{s_3} = 98 และ Z_{s_4} =99 และได้ผลเฉลยทั้งสิ้น 4 ทางเลือกจากสถานการณ์ทั้งหมด ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3-1 การหาผลเฉลยสภาพทนทานสัมบูรณ์ (Absolute Robustness Solution)

ผลเฉลย	สถานการณ์				$h_x(S)$ สูงสุด
	s_1	s_2	s_3	s_4	
x_1	100	105	110	108	110
x_2	103	103	119	121	121
x_3	110	112	98	110	112
x_4	115	105	104	99	115
$g_s(X)$ ต่ำสุด	100	103	98	99	110

จากตารางที่ 3-1 ค่า $h_x(S)$ ที่ต่ำที่สุด คือ 110 แสดงให้เห็นว่า x_1 คือ ผลเฉลยสภาพทนทานสัมบูรณ์ หมายความว่า เมื่อจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบ x_1 ในกรณีที่เกิดสถานการณ์ที่แย่ที่สุด เวลาเดินทางโดยรวมมีค่าไม่เกิน 110 ในขณะที่ทางเลือกอื่นใช้เวลาเดินทางโดยรวมมากกว่า 110 เพราะฉะนั้น x_1 คือ ค่าเหมาะสูงสุดต่ำสุด (Minimax Optimization) เพื่อให้เข้าใจมากขึ้น อาจกล่าวได้ว่า เหตุการณ์นี้เป็นช่วงเวลาที่เกิดขึ้นใน 1 วัน โดย s_1, s_2, s_3 และ s_4 แทนเวลาช่วงเช้า, สาย,บ่ายและเย็นที่สภาพการจราจรบนท้องแตกต่างกัน ตามลำดับ ส่วนผลเฉลย x_1, x_2, x_3 และ x_4 แทนเส้นทางเดินรถเส้นที่ 1,2,3 และ 4 ตามลำดับ ผลเฉลยที่ได้คือ x_1 หมายความว่า เมื่อจัดเส้นทางเดินรถแบบเส้นที่ 1 แม้ว่าจะต้องเจอกับสภาพการจราจรที่ติดขัดเพียงใด รถขนส่งสามารถส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ภายในเวลาไม่เกิน 110 นาที ในขณะที่เส้นทางอื่นๆ จะใช้เวลาเดินทางมากกว่า

6.1.2 ความแตกต่างทนทาน (Robust Deviation) การวัดสมรรถนะของผลเฉลย ประเมินจากความแตกต่างระหว่างค่าเหมาะที่สุดเชิงทนทาน และค่าเหมาะที่สุดในแต่ละสถานการณ์ จากนั้นเลือกผลต่างที่มีค่ามากต่ำที่สุดเป็นตัวบ่งชี้ความทนทาน การหาผลเฉลยความแตกต่างทนทาน แสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 การหาผลเฉลยความแตกต่างทนทาน (Robust Deviation Solution)

ผลเฉลย	สถานการณ์				$h_x(S)$
	s_1	s_2	s_3	s_4	สูงสุด
x_1	0	2	12	9	12
x_2	3	0	21	22	22
x_3	10	9	0	11	11
x_4	15	2	6	0	15
$g_s(X)$ ต่ำสุด	0	0	0	0	11

จากตารางที่ 3-2 ค่า $h_x(S)$ ที่ต่ำที่สุด คือ 11 แสดงให้เห็นว่า x_3 คือ ผลเฉลยความแตกต่างทนทาน หมายความว่า เมื่อจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบ x_3 ในกรณีที่เกิดสถานการณ์ที่แย่ที่สุด ค่าความแตกต่างระหว่างผลเฉลยเชิงทนทาน กับค่าเหมาะที่สุดในกรณีเกิดสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด มีค่าไม่เกิน 11 ในขณะที่ทางเลือกอื่นให้ค่าความแตกต่างมากกว่า 11 เพราะฉะนั้น x_3 คือ ค่าเหมาะสูงสุดต่ำสุด

6.1.2 สภาพทนทานแบบสัมพัทธ์ (Relative Robustness) เป็นตัววัดสมรรถนะสภาพทนทานแบบสัมพัทธ์ที่ใกล้เคียงกับความแตกต่างทนทาน ต่างกันที่ผลเฉลยสภาพทนทานแบบสัมพัทธ์วัดจากเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลเฉลยเชิงทนทานที่ได้กับค่าเหมาะที่สุดที่เกิดขึ้นในแต่ละสถานการณ์ และเลือกเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่มีค่ามากต่ำสุด ดังตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 การหาผลเฉลยสภาพทนทานแบบสัมพัทธ์ (Relative Robustness Solution)

ผลเฉลย	สถานการณ์				$h_x(S)$
	s_1	s_2	s_3	s_4	สูงสุด
x_1	0.00	0.02	0.12	0.09	0.12
x_2	0.03	0.00	0.21	0.22	0.22
x_3	0.10	0.09	0.00	0.11	0.11
x_4	0.15	0.02	0.06	0.00	0.15
$g_s(X)$ ต่ำสุด	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11

จากตารางที่ 3-3 ค่า $h_x(S)$ ที่ต่ำที่สุด คือ 0.11 แสดงให้เห็นว่า x_3 คือ ผลเฉลยสภาพทนทานแบบสัมพัทธ์ ห มายความว่า เมื่อจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบ x_3 ในกรณีที่เกิดสถานการณ์ที่แย่ที่สุด เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างผลเฉลยเชิงทนทาน กับค่าเหมาะที่สุดในกรณีเกิดสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด มีค่าไม่เกิน 0.11 ในขณะที่ทางเลือกอื่นให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างมากกว่า 0.11 เพราะฉะนั้น x_3 คือ ค่าเหมาะสูงสุดต่ำสุด

เกณฑ์ตัดสินใจทั้ง 3 วิธีนี้ ถูกนำมาสร้างเป็นฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์สำหรับการหาผลเฉลยที่มีสภาพทนทานต่อความไม่แน่นอน โดยกำหนดให้ S คือ สถานการณ์ทั้งหมดที่ผ่านการวางแผนและออกแบบมาแล้วในหัวข้อที่ 1, t คือ เวลาเดินทาง และ t_s คือ เวลาเดินทางที่เกิดขึ้น ณ สถานการณ์ย่อย s, กำหนดให้ F_s คือ เซตของผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้ งหมดเมื่อสถานการณ์ s เกิดขึ้น โดยที่ X เป็นตัวแปรตัดสินใจ, $X \in F_s$ และประเมินคุณภาพของผลเฉลย X ด้วยฟังก์ชั่น $f(X,t_s)$, X_s^* คือ ผลเฉลยเหมาะที่สุด หรือเส้นทางการเดินรถที่ทำให้ค่าเวลาเดินทางโดยรวมต่ำสุดในแต่ละสถานการณ์ โดยมีค่าเวลาเดินทาง คือ t_s และกำหนดให้ Z_s คือ ค่าเวลาเดินทางต่ำสุดที่ได้จากผลเฉลย X_s^* ดังสมการที่ 3.1

$$Z_s = f(X_s^*, t_s) = \min_{X \in F_s} f(X, t_s) \tag{3.1}$$

จากสมการที่ 3.1 สามารถแก้ปัญหาได้ด้วยกำหนดการเชิงกำหนด (Deterministic Programming) ทั่วไป หรืออาจเรียกสมการ ที่ 3.1 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของส่วนโปรแกรมนับความทนทาน (Robust Counter Part) ซึ่งจำนวนรอบของการคำนวณค่าเหมาะที่สุดเท่ากับจำนวนของสถานการณ์ที่ผู้ตัดสินใจกำหนดขึ้น จากวัตถุประสงค์ย่อยนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัย ซึ่งกำหนดไว้ตามเกณฑ์ตัดสินใจ 3 แบบ คือ สภาพทนทานสัมบูรณ์ ความแตกต่างทนทาน และสภาพทนทานแบบสัมพัทธ์ นำมาสร้างเป็นวัตถุประสงค์หลักดัง สมการที่ 3.2 - 3.3 โดยมีเป้าหมายที่ค่าสูงสุด

สภาพทนทานสัมบูรณ์ : โดยที่ Z_A คือ ค่าสัมบูรณ์สูงสุด, X_A คือ ตัวแปรตัดสินใจของสภาพทนทานสัมบูรณ์, t_s คือ เวลาเดินทางในสถานการณ์ s, F_s คือ เซตของผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมดเมื่อสถานการณ์ s เกิดขึ้น โดยที่ $\bigcap_{s \in S} F_s \neq \phi$

$$Z_A = \max_{s \in S} f(X_A, t_s) = \min_{X \in \bigcap_{s \in S} F_s} \max_{s \in S} f(X, t_s) \tag{3.2}$$

ความแตกต่างทนทาน: โดยที่ Z_D คือ ค่าความแตกต่างสูงสุด, X_D คือ ตัวแปรตัดสินใจของความแตกต่างทนทาน

$$Z_D = \max_{s\in S}(f(X_D,t_s) - f(X_s^*,t_s)) = \min_{X\in\bigcap_{s\in S}F_s} \max_{s\in S}(f(X,t_s) - f(X_s^*,t_s)) \quad (3.3)$$

สภาพทนทานแบบสัมพัทธ์: โดยที่ Z_R คือ ค่าสัมพัทธ์สูงสุด, X_R คือ ตัวแปรตัดสินใจของความแตกต่างทนทาน

$$Z_R = \max_{s\in S}\frac{f(X_R,t_s) - f(X_s^*,t_s)}{f(X_s^*,t_s)} = \min_{X\in\bigcap_{s\in S}F_s} \max_{s\in S}\frac{f(X,t_s) - f(X_s^*,t_s)}{f(X_s^*,t_s)} \quad (3.4)$$

หากจัดรูปแบบสมการ 3.2-3.4 ให้อยู่ในรูปทั่วไป แสดงได้ดังสมการที่ 3.5-3.6

$$Z = \min\{h_x(S) \mid g_s(X) \le h_x(S), s\in S; X \in \bigcap_{s\in S}F_s\} \quad (3.5)$$

$$\text{โดยที่ } g_s(X) = \begin{cases} f(X,t_s) \\ f(X,t_s) - Z_s \\ \dfrac{f(X,t_s) - Z_s}{Z_s} \end{cases} \quad (3.6)$$

$h_x(S)$ คือ ค่ามากที่สุดที่ได้จากสถานการณ์ทั้งหมด ด้วยเกณฑ์การตัดสินใจผลเฉลยเชิงทนทาน $Z_A = f(X,t_s)$, $Z_D = f(X,t_s) - Z_s$ และ $Z_R = \dfrac{f(X,t_s) - Z_s}{Z_s}$ ดังนั้นค่าเหมาะที่สุดเชิงทนทาน $Z =$ ค่า $h_x(S)$ ต่ำสุดดังสมการที่ (3.5)

ซึ่งปัญหาในลักษณะนี้เรียกว่า ปัญหาการหาค่าเหมาะสูงสุดต่ำสุด (Minimax Optimization Problem) หมายถึง การหาค่า $h_x(S)$ ที่มีค่าสูงสุดจากสถานการณ์ที่กำหนดทั้งหมด จากนั้นเลือกผลเฉลย x_R จากผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ให้ค่า $h_x(S)$ ต่ำที่สุด เป็นผลเฉลยเชิงทนทาน และให้ค่าเหมาะที่สุดใกล้เคียงในกรณีเกิดสถานการณ์เลวร้ายที่สุด โดยตัวอย่างของการหาค่าเหมาะสูงสุดต่ำสุด แสดงดังตารางที่ 2-4 ซึ่งกำหนดสถานการณ์จำนวน 4 เหตุการณ์ และคำนวณค่าเหมาะสูงสุดต่ำสุดโดยใช้เกณฑ์ตัดสินใจทั้ง 3 เกณฑ์ ได้แก่ Z_A = 110, Z_D=11 และ Z_R=0.11 โดยมีผลเฉลยเชิงทนทานเป็น x_1, x_3 และ x_3 ตามลำดับ

7. สร้างรูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ ปัญหาในงานวิจัยนี้จัดเป็นปัญหา VRP แบบมีกรอบเวลา (Time Windows) หรือ VRPTW เมื่อพิจารณาเงื่อนไขในกรณีที่สามารถขนส่งสินค้าให้มีความต่อเนื่องได้ในขณะที่เส้นทางขนส่งถูกน้ำท่วม ทำให้ปัญหามีความซับซ้อน มากยิ่งขึ้น การสร้างรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์ จึงประกอบด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ และฟังก์ชั่นเงื่อนไข ที่สอดคล้องกับปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาด้วย ขั้นตอน วิธีแม่นตรง (Exact Algorithm), กำหนดการไม่ เชิงเส้น (Non-Linear Programming) หรือกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) อาจกระทำได้ยาก เนื่องจากสมการมีเป็นจำนวนมาก และมีความซับซ้อน การแก้ปัญหาทางตรงอาจใช้เวลานาน หรืออาจแก้ปัญหาไม่ได้เลย ซึ่งในหัวข้อนี้ได้แสดงรูปแบบปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ ในหัวข้อถัดไป การสร้างรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับ VRPTW ทั่วไป เป็นการสร้างรูปแบบกำหนดการเชิงกำหนด ดังต่อไปนี้

1) การใช้สัญกรณ์ (Notation) สำหรับปัญหา VRPTW

K : จำนวนรถขนส่งทั้งหมด $k = 1,2,...K$

H : จำนวนชนิดของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน $H = \{1,2,...K\}; k \in H$

N : จำนวนลูกค้าและคลังสินค้า

C_i : ลูกค้าคนที่ i โดยที่ $i = 2,3..., N$

C_1 : คลังสินค้า

d_i : ความต้องการสินค้าของลูกค้า i

y_{ik} : สัดส่วนความต้องการสินค้าของลูกค้า i ที่แบ่งแยกส่งสินค้าโดยรถขนส่ง k

q_k : ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง k

t_{ij} : เวลาเดินทางระหว่างลูกค้า i ไปยังลูกค้า j
โดยที่ $i, j = 1,..., N$, $i \neq j$ และ $i, j = 1$ คือ คลังสินค้า

e_i : เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้เร็วที่สุด (Earliest Arrival Time)

l_i : เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้ช้าที่สุด (Latest Arrival Time)

A_i : เวลาที่รถขนส่งมาถึงลูกค้า i (Arrival Time)

b_i : เวลาในการให้บริการลูกค้า i (Service Time)

w_{ij} : เวลารอคอยจากลูกค้า i ไป j (Waiting Time)
โดยที่ $w_{ij} = \max[e_j - (A_i + t_{ij}), 0]$, $i, j = 2,..., N$ และ $i \neq j$

M_k : เวลามากสุดที่อนุญาตให้รถขนส่งเดินทางให้บริการลูกค้าและกลับมายังคลังสินค้า (Maximum Route Time) โดยที่ $k = 1,2,...K$

2) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ารถขนส่ง } k \text{ ถูกจัดให้ส่งสินค้าจากลูกค้า } i \text{ ไป } j \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

y_{ik} : สัดส่วนความต้องการสินค้าของลูกค้า i ที่แบ่งแยกส่งสินค้าโดยรถขนส่ง k

3) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Z = \min \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k-1}^{K-1} t_{ij} X_{ijk} \tag{3.7}$$

4) ฟังก์ชั่นเงื่อนไข (Constraints Function)

$$\sum_{k=1}^{K-1} \sum_{j=2}^{N} X_{ijk} = K \qquad \text{สำหรับ } i = 1 \tag{3.8}$$

$$\sum_{k=1}^{K-1} \sum_{\substack{j=2 \\ j \neq i}}^{N} X_{ijk} = 1 \qquad \text{สำหรับ } i = 2,3,...,N \tag{3.9}$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq h}}^{N} X_{ihk} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq h}}^{N} X_{ijk} = 0 \qquad \text{โดยที่ } \forall h \in [1,N]; k \in [1,K-1] \tag{3.10}$$

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N - 1 \qquad \text{สำหรับ } i = 2,3,...,N; j = 2,3,...,N, i \neq j \tag{3.11}$$

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} d_i X_{ijk} \leq q_k \qquad \text{สำหรับ } \forall k \in [1,K-1] \tag{3.12}$$

$$\sum_{i=1}^{N} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{N} t_{ij} X_{ijk} \leq M_k \qquad \text{สำหรับ } \forall k \in [1,K-1] \tag{3.13}$$

$$t_0 = 0 \tag{3.14}$$

$$A_i + X_{ijk}(t_{ij} + b_i + w_{ij}) \le Ai \quad \text{สำหรับ } i, j \in [1, N]; i \ne j, k \in [1, K-1] \tag{3.15}$$

$$e_i \le t_{ij} \le l_i \quad \text{สำหรับ } k \in [1, K-1] \tag{3.16}$$

เงื่อนไขในสมการที่ (3.8) ประกันว่าจำนวนเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับจำนวนรถขนส่ง เงื่อนไขในสมการที่ (3.9)-(3.10) มีจำนวนรถขนส่ง 1 คันเท่านั้น ที่ไปรับสินค้าจากลูกค้า และเดินทางกลับยังคลังสินค้าเดิม เมื่อให้บริการลูกค้าในเส้นทางจนครบ เงื่อนไขในสมการที่ 3.11 ป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Sub-Tour) ขึ้นในผลเฉลยเงื่อนไขในสมการที่ (3.12) รถขนส่งต้องรับน้ำหนักไม่เกินความสามารถในการบรรทุก เงื่อนไขในสมการที่ (3.13) เวลาทั้งหมดที่รถขนส่งแต่ละคันใช้ในการเดินทางต้องไม่เกินเวลามากสุดที่อนุญาตให้รถขน ส่งเดินทางให้บริการลูกค้าและกลับมายังคลังสินค้าเริ่มต้น และเงื่อนไขในสมการที่ (3.15)-(3.16) การขนส่งสินค้าต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขของกรอบเวลา

8. พัฒนาขั้นตอนวิธีการด้วยเทค นิคฮิวริสติกส์และ เมต้าฮิวริสติกส์ ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์การแก้ปัญหา VRPTW นี้ ได้ดัดแปลงขั้นตอนวิธีแบบผสมผสาน (Hybrid Algorithm) เป็นขั้นตอนวิธีที่ผสมผสานระหว่างฮิวริสติกส์และเมต้าฮิว- ริสติกส์ โดยใช้วิธีฮิวริสติกส์การแทรกไปข้างหน้าแบบดัดแปลง หรือ “Modified Push-Forward Insertion Heuristic (MPFIH)” ในการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น และ ทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบการสลับสับเปลี่ยนค่าแลมด้า หรือ “λ-Interchange Local Search Descent (λ-LSD)” ซึ่งนำเสนอไว้โดย ธรินี มณีศรี (2552: 89-115)

การดัดแปลงดังกล่าวเพื่อให้ขั้นตอนวิธีสามาร ถประมวลผลได้ในกรณีที่มีรถบรรทุกสินค้าหลายขนาด ซึ่งทราบจำนวน (Number of Vehicles) และความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่แน่นอน (Vehicle Capacity) ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวทำให้ขั้นตอนวิธีแบบเดิมไม่สามารถประมวลผลได้

1) การใช้สัญกรณ์ (Notation) สำหรับขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์

K : จำนวนรถขนส่งทั้งหมด $k = 1,2,...K$

H : จำนวนชนิดของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน $H = \{1,2,...K\}; k \in H$

N : จำนวนลูกค้าและคลังสินค้า

C_i : ลูกค้าคนที่ i โดยที่ $i = 2,3..., N$

C_1 : คลังสินค้า

d_i : ความต้องการสินค้าของลูกค้า i

D_k : ความต้องการสินค้ารวมสำหรับรถขนส่ง k

q_k : ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง k

t_{ij} : เวลาเดินทางระหว่างลูกค้า i ไปยังลูกค้า j
โดยที่ $i, j = 1,..., N$, $i \neq j$ และ $i, j = 1$ คือ คลังสินค้า

e_i : เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้เร็วที่สุด (Earliest Arrival Time)

l_i : เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้ช้าที่สุด (Latest Arrival Time)

A_i : เวลาที่รถขนส่งมาถึงลูกค้า i (Arrival Time)

b_i : เวลาในการให้บริการลูกค้า i (Service Time)

w_{ij} : เวลารอคอยจากลูกค้า i ไป j (Waiting Time)
โดยที่ $w_{ij} = \max[e_j - (A_i + t_{ij}),0]$, $i, j = 2,..., N$ และ $i \neq j$

M_k : เวลามากสุดที่อนุญาตให้รถขนส่งเดินทางให้บริการลูกค้าและกลับมายังคลังสินค้า (Maximum Route Time) โดยที่ $k = 1,2,...K$

R_k : เส้นทางการเดินรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$

W_k : เวลารอคอยรวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Waiting Time)

B_k : เวลาให้บริการรวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Service Time)

O_k : เวลาล่วงเวลารวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Overtime)

L_k : เวลาล่าช้ารวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Tardiness)

T_k : เวลาเดินทางรวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Travel Times)

Tot_k : เวลาเดินทางรวมทั้งหมด (Overall of Total Travel Times)
หรือ $Tot_k = T_k + W_k + B_k$ สำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$

$F(X)$: ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์สำหรับเส้นทาง R_k

α : ค่าน้ำหนักโทษสำหรับกรณีเกิดเวลารอคอย

γ : ค่าน้ำหนักโทษสำหรับกรณีเกิดเวลาล่าช้า

η : ค่าน้ำหนักโทษสำหรับกรณีเกิดเวลาล่วงเวลา

2) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$F(X) = T_k + (\alpha \times W_k) + (\gamma \times L_k) + (\eta \times O_k) \quad (3.17)$$

สมการที่ 3.17 คือ ฟังชั่นวัตถุประสงค์ ที่แสดงเวลาเดินทางรวมที่สั้นที่สุด โดยขั้นตอนวิธียอมให้เกิดเวลารอคอย เวลาล่าช้า และเวลาล่วงเวลา ทั้งนี้เพื่อเป็นการผ่อนปรนให้ขั้นตอนวิธีสามารถค้นหาผลเฉลยที่ดีภายในเวลาที่ยอมรับได้ ตัวอย่างเช่น กำหนดค่าน้ำหนักโ ทษ α = 0.01, γ = 0.5 และ η = 0.05 หมายความว่า ขั้นตอนวิธียอมให้เกิดเวลารอคอยได้มากที่สุดจากค่าน้ำหนักโทษที่น้อยที่สุด และยอมให้เกิดเวลาล่าช้าน้อยที่สุด โดยการกำหนดค่าน้ำหนักโทษสูงที่สุดถึง 50 % ของเวลาล่าช้าที่เกิดขึ้น ซึ่งผลเฉลยที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าน้ำหนักโทษที่กำหนดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ตัดสินใจว่าต้องการให้ผลเฉลยมีความเข้มงวด หรือผ่อนปรนมากน้อยเพียงใด

ในงานวิจัยนี้มีการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาการจัดการความต่อเนื่องของการจัดส่งสินค้าภายใต้สภาวการณ์อุทกภัยด้วยวิธีการเชิงทนทาน หรือเรียกปัญหานี้ว่า “The Continuous Shipping under Flood Condition by Using the Robustness Approach” โดยเพิ่มเงื่อนไขเกี่ยวกับระดับน้ำที่ต่างกัน จะใช้ยานพาหนะต่างกัน เช่น ระดับน้ำสูงจากพื้นถน นประมาณ 0.5 เมตร จะใช้รถบรรทุก 4 ล้อ ระดับน้ำสูงจากพื้นถนนประมาณ 1 เมตร จะใช้รถบรรทุก 6 ล้อหรือรถบรรทุกที่มีขนาดใหญ่กว่า ส่วนกรณีที่รถบรรทุกขนาดใหญ่ไม่สามารถใช้เส้นทางขนส่งนั้นได้แล้ว จะเปลี่ยนยานพาหนะเป็นเรือ โดยมีขั้นตอนวิธีในการประมวลผลดังนี้

1) การสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Initial Solution) การสร้างผลเฉลยเริ่มต้นโดยใช้วิธีดัดแปลง MPFIH หรือเรียกวิธีนี้ใหม่ว่า “วิธีฮิวริสติกส์การแทรกไปข้างหน้าแบบดัดแปลง” หรือ “Modified Push-Forward Insertion Heuristic (MPFIH)” ซึ่งเป็นวิธีการแบ่งกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางไปพร้อมๆกัน (Simultaneous Route and Cluster Method) เช่นเดียวกับวิธีการเซฟวิ่ง แต่เปลี่ยนจากการเรียงลำดับค่าเซฟวิ่ง เป็นการเรียงลำดับค่า e_i จากน้อยไปมาก และเรียงลำดับค่า l_i จากมากไปน้อย จากนั้น เริ่มต้นจากการสร้างเส้ นทาง R_k โดยประมาณจำนวนรถขนส่งเริ่มต้นเท่ากับ K_{LB} สร้างเซตของกลุ่มลูกค้าเริ่มต้นจากกลุ่มลูกค้าที่มีค่า e_i น้อยที่สุด จำนวน

k ลำดับแรก และสร้างเซตของกลุ่มลูกค้าสิ้นสุดจากกลุ่มลูกค้าที่มีค่า l_i มากที่สุดจำนวน k ลำดับแรกเช่นกัน เพราะฉะนั้นเมทริกซ์ของเส้นทางเริ่มต้นจึงมีขนาดเท่ากับ $k \times 2$

$$R_k = \begin{bmatrix} C_{e1}\ C_{11}\ C_{12} \ldots C_{1n}\ C_{l1} \\ C_{e2}\ C_{21}\ C_{22} \ldots C_{2n}\ C_{l2} \\ \vdots\ \ \vdots\ \ \vdots\ \ \ldots\ \ \vdots\ \ \vdots \\ C_{ek}\ C_{k1}\ C_{k2} \ldots C_{kn}\ C_{lk} \end{bmatrix} \tag{3.18}$$

ในขั้นตอนเริ่มแรกนี้กำหนดให้ $k = K_{LB}$ โดยที่ C_{lk} คือเซตของกลุ่มลูกค้าเริ่มต้นที่มีค่า e_i น้อยที่สุด และ C_{mk} คือ เซตของกลุ่มลูกค้าสิ้นสุดจากกลุ่มลูกค้าที่มีค่า l_i มากที่สุด ขั้นตอนต่อไป คือ การหาเซตของลูกค้าแทรก C_{ik} ระหว่างเซตลูกค้าเริ่มต้นและลูกค้าสิ้นสุด โดยพิจารณาจากลูกค้าที่มีค่า e_i น้อยในลำดับถัดมาอีกจำนวน k ปม โดยในการแทรกแต่ละรอบมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

เงื่อนไขที่ 1: ค่าความต้องการสินค้ารวมในแต่ละเส้นทา ง หรือในแต่ละแถวของเมทริกซ์ไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งแต่ละคัน k , $D_k = \sum_{i=l}^{m} d_i \le q_k$

$$D_k = \begin{bmatrix} d_{e1}\ d_{11}\ d_{12} \ldots d_{1n}\ d_{l1} \\ d_{e2}\ d_{21}\ d_{22} \ldots d_{2n}\ d_{l2} \\ \vdots\ \ \vdots\ \ \vdots\ \ \ldots\ \ \vdots\ \ \vdots \\ d_{ek}\ d_{k1}\ d_{k2} \ldots d_{kn}\ d_{lk} \end{bmatrix} \le \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_k \end{bmatrix} \tag{3.19}$$

เงื่อนไขที่ 2 : เวลาเดินทางโดยรวมต้องไม่เกินกว่าเวลามากสุดที่อนุญาตให้รถขนส่งเดินทางให้บริการลูกค้าและกลับมายังคลังสินค้า, $Tot_k \le M_k$

$$Tot_k = \begin{bmatrix} Tot_1 \\ Tot_2 \\ \vdots \\ Tot_k \end{bmatrix} \le \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_k \end{bmatrix} \tag{3.20}$$

เงื่อนไขที่ 3 : ต้องไม่เกิดเวลาล่าช้าในแต่ละเส้นทาง หรือในแต่ละแถวของเมทริกซ์, $L_k = 0$

$$L_k = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_k \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \tag{3.21}$$

หากเงื่อนไขในการแทรกเป็นไปตามสมการ 3.19-3.21 ขั้นตอนวิธีการนี้จะยอมให้แทรกเซตของลูกค้า C_{kn} เข้าไปยังเมทริกซ์ในสมการที่ 3.18 และตัดลูกค้าที่ได้รับการแทรกเรียบร้อยแล้วออกจากกลุ่มลูกค้าที่เหลือ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเลือกลูกค้าซ้ำเดิมอีก การแทรกจะกระทำเช่นเดียวกันไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีการผิดเงื่อนไขแม้เพียงข้อใดข้อหนึ่ง หรือเกิดขึ้นเฉพาะเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง กระบวนการแทรกที่ละเซตของกลุ่มลูกค้าจะหยุดลงทันที จากนั้นขั้นตอนวิธีการจะพิจารณาแทรกลูกค้าทีละปม โดยเลือกแทรกลูกค้า C_i ที่ยังคงเหลืออยู่ และจัดให้แทรกลงในเส้นทางหรือแถวของเมทริกซ์ที่ยังไม่ผิดเงื่อนไข จนกว่าไม่สามารถแทรกได้ ขั้นตอนวิธีการจึงยอมให้สร้างเส้นทางใหม่ขึ้นเป็น $k+i$, $i = 1,2,...,n$ โดยที่ n คือ จำนวนเส้นทางทั้งหมดที่เพิ่มขึ้นจาก K_{LB} ขั้นตอนวิธีการจะเสร็จสิ้นก็ต่อเมื่อลูกค้าทั้งหมดถูกจัดให้อยู่ในเส้นทางทั้งหมด โดยขั้นตอนวิธีการทางคอมพิวเตอร์มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เรียงลำดับค่า e_i จากน้อยไปมาก และเรียงลำดับค่า l_i จากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเมทริกซ์ R_k เริ่มต้น, $k = K_{LB}$

ขั้นตอนที่ 3 สร้างเซต C_{lk} ที่มีค่า e_i น้อยที่สุด และเซต C_{mk} ที่มีค่า l_i มากที่สุดจำนวน k ลำดับแรก

ขั้นตอนที่ 4 ตัดค่า e_i ของเซต C_{lk} และ C_{mk} ออก เพื่อป้องกันการเลือกซ้ำปมเดิม

ขั้นตอนที่ 5 เลือกเซต C_{ik} ที่มีค่า e_i น้อยที่สุดใน k ลำดับถัดมา

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไข $D_k = \sum_{i=l}^{m} d_i \leq q_k$, $Tot_k \leq M_k$ และ $L_k = 0$ ในแต่ละเส้นทาง หรือแต่ละแถวของเมทริกซ์ R_k ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขทุกแถวให้ไปขั้นตอนที่ 7 ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขให้ไปขั้นตอนที่ 9

ขั้นตอนที่ 7 แทรกเซต C_{ik} ที่เป็นไปตามเงื่อนไขระหว่างเซต C_{lk} และ C_{mk} และ

ทำตามขั้นตอนที่ 4-6

ขั้นตอนที่ 8 เมื่อเซต C_{ik} ทั้งหมดถูกจัดเข้าสู่เส้นทาง R_k จนครบเป็นอันจบขั้นตอนวิธีการ MPFIH

ขั้นตอนที่ 9 เลือก C_i ที่เหลือที่มีค่า e_i น้อยในลำดับถัดมา

ขั้นตอนที่ 10 ตรวจสอบเงื่อนไข $D_k = \sum_{i=l}^{m} d_i \le q_k$, $Tot_k \le M_k$ และ $L_k = 0$ ในแต่ละเส้นทาง หรือแต่ละแถวของเมทริกซ์ R_k ที่เหลือ ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขให้ไปขั้นตอนที่ 11 ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขให้ไปขั้นตอนที่ 14

ขั้นตอนที่ 11 แทรก C_i ในเส้นทางที่เป็นไปตามเงื่อนไข

ขั้นตอนที่ 12 ตัดค่า e_i ของ C_i ออก เพื่อป้องกันการเลือกซ้ำปมเดิม ทำตามขั้นตอนที่ 9-12

ขั้นตอนที่ 13 เมื่อ C_i ทั้งหมดถูกจัดเข้าสู่เส้นทาง R_k จนครบเป็นอันจบขั้นตอนวิธีการ MPFIH

ขั้นตอนที่ 14 เพิ่มเส้นทางใหม่เป็น R_{k+i}, $i = 1,2,...,n$ และทำตามขั้นตอนที่ 9-13

2) การปรับปรุงผลเฉลย (Improving Solution)

ช่วงที่ 1 ปรับปรุงผลเฉลยโดยขั้นตอนวิธีค้นหาเฉพาะที่แบบกำหนดค่าแลมด้า (λ-LSD)

ขั้นตอนวิธีการ λ-LSD เป็นขั้นตอนวิธีการค้นหาค่าเหมาะเฉพาะที่ (Local Search) มีความหมายเดียวกับวิธีการค้นหาข้างเคียง (Neighborhood Search) หรือวิธีการปรับปรุงวนซ้ำ (Iterative Improvement) เป็นการหาค่าฟังชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด ในขอบเขตที่กำหนด ในกรณีของงานวิจัยนี้ ใช้ขั้นตอนวิธีการ λ-LSD สำหรับค้นหาผลเฉลยปรับปรุงโดยการสลับสับเปลี่ยนระหว่าง 2 เส้นทาง วิธีการนี้อาจทำให้เสียเวลามากเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ผลเฉลยที่ได้อาจเป็นค่าเหมาะที่สุด หรือค่าเหมาะที่สุดใกล้เคียง

เมื่อได้ผลเฉลยเริ่มต้นจากวิธี MPFIH แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การปรับปรุงผลเฉลยที่ได้จากการค้นหาในแต่ละรอบการวนซ้ำให้มีคุณภาพ หรือมีค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ดีขึ้นเรื่อยๆ การค้นหาผลเฉลยจะกระทำต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าคุณภาพของผลเฉลยจะไม่เปลี่ยนแปลง หรือไม่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นอีกได้ หรือครบจำนวนรอบการวนซ้ำที่กำหนด ซึ่งผลเฉลยที่ได้ต้องมีการปรับปรุงค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ หรืออย่างน้อยต้องเท่ากับค่าเดิมที่ได้จากผลเฉลยเริ่มต้น

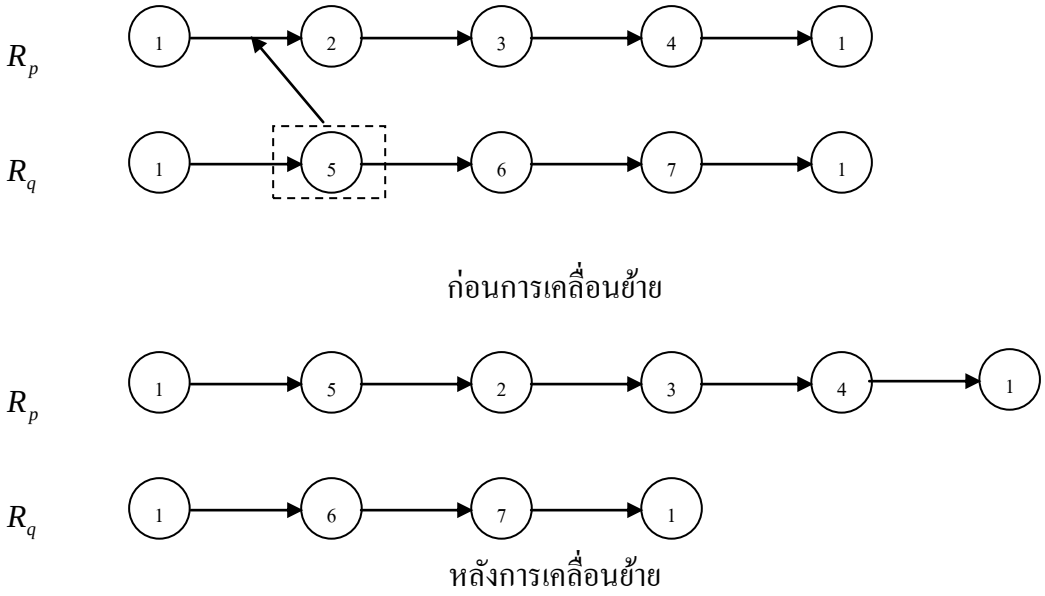
ขั้นตอนวิธีเริ่มจากผลเฉลยเริ่มต้น $X = \{R_1,...R_p,...R_q,...,R_k\}$ โดยที่ R แทนเส้นทางในแต่ละแถวของผลเฉลย X หรืออาจแสดงในรูปของเมทริกซ์ดังสมการที่ 3.22

$$X = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{p1} & C_{p2} & \cdots & C_{pn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{q1} & C_{q2} & \cdots & C_{qn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{k1} & C_{k2} & \cdots & C_{kn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_p \\ \vdots \\ R_q \\ \vdots \\ R_k \end{bmatrix} \qquad (3.22)$$

โดยที่ R_p คือ เซตของกลุ่มลูกค้าที่ให้บริการโดยรถขนส่ง p และ R_q คือ เซตของกลุ่มลูกค้าที่ให้บริการโดยรถขนส่ง q ตามลำดับ การหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ สร้างจากการสลับสับเปลี่ยนปมลูกค้าระหว่างคู่ของแถว R_p และ R_q (R_p, R_q) ซึ่งแทนที่เซตย่อย $X_1 \subseteq R_p$ ที่มีขนาด $|X_1| \leq \lambda$ ด้วยเซตย่อย $X_2 \subseteq R_q$ ที่มีขนาด $|X_2| \leq \lambda$ เพื่อให้เกิดเซตของเส้นทางใหม่จำนวน 2 เส้นทาง คือ $R_p{}' = (R_p - X_1) \cup X_2, R_q{}' = (R_q - X_2) \cup X_1$ และผลเฉลยข้างเคียงใหม่ คือ $X = \{R_1,...R_p{}',...R_q{}',...,R_k\}$ ซึ่งผลเฉลยข้างเคียง $N_\lambda(X)$ ทั้งหมด คือ เซตของผลเฉลย X' ที่เป็นไปได้ และถูกสร้างขึ้นโดยวิธี LSD ซึ่งมีการกำหนดค่าจำนวนเต็ม λ

ลำดับการค้นหาผลเฉลยถูกเลือกจากการจัดคู่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (All Possible Combination) ของคู่ลำดับ (R_p, R_q) ซึ่งจำนวนที่เป็นไปได้ในการจับคู่ทั้งหมดเท่ากับ $\frac{K \times (K-1)}{2}$ ทางเลือก โดยที่ K คือ จำนวนเส้นทางทั้งหมด ตัวอย่างเช่น กรณีมี 3 เส้นทาง ประกอบด้วย R_1, R_2 และ R_3 เพราะฉะนั้นทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด คือ $\frac{3 \times (3-1)}{2} = 3$ ได้แก่คู่ลำดับ (R_1, R_2), (R_1, R_3) และ (R_2, R_3) นอกจากนี้ในแต่ละคู่ลำดับ (R_p, R_q) ต้องกำหนดลำดับในการค้นหาผลเฉลย (Search Order) สำหรับการย้ายลูกค้าจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง หรือสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งกันในแต่ละคู่ลำดับ โดยเลือกใช้โครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงที่มีค่า $\lambda = 1$ และ $\lambda = 2$ สาเหตุที่ไม่เลือกค่าที่มากไปกว่านี้เนื่องจากอาจทำให้ขั้นตอนวิธีการเสียเวลามาก เมื่อผลเฉลยที่เป็นไปได้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น การดำเนินการของวิธี λ-LSD ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลักๆ ที่ดำเนินการระหว่าง 2 เส้นทาง คือ การย้ายลูกค้าบางปมออกจากเส้นทางหนึ่ง ไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง (Shift Operation) และ การสลับสับเปลี่ยนลูกค้าบางปม

ระหว่างเส้นทาง 2 เส้นทาง (Exchange Operation) โดยการดำเนินการกำหนดด้วยคู่ลำดับ (0, 1) , (1, 0), (1, 1), (0, 2), (2, 0), (1, 2), (2, 1) และ (2, 2) หรือเรียกคู่ลำดับเหล่านี้ ว่า “ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (Move Operator)” โดยจำนวนของตัวดำเนินการขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า λ ซึ่งในกรณีนี้กำหนดค่า $\lambda = 1$ และ $\lambda = 2$ จึงเกิดตัวดำเนินการทั้งสิ้น 8 ตัวด้วยกัน ซึ่งแต่ละตัวมีการดำ เนินการที่แตกต่างกัน ดังตัวอย่าง ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 1) สำหรับเส้นทาง (R_p, R_q) หมายถึง การย้ายลูกค้าจำนวน 1 ปม ออกจากเส้นทาง R_q ไปแทรกยังเส้นทาง R_p แสดงดังภาพประกอบ 3-4



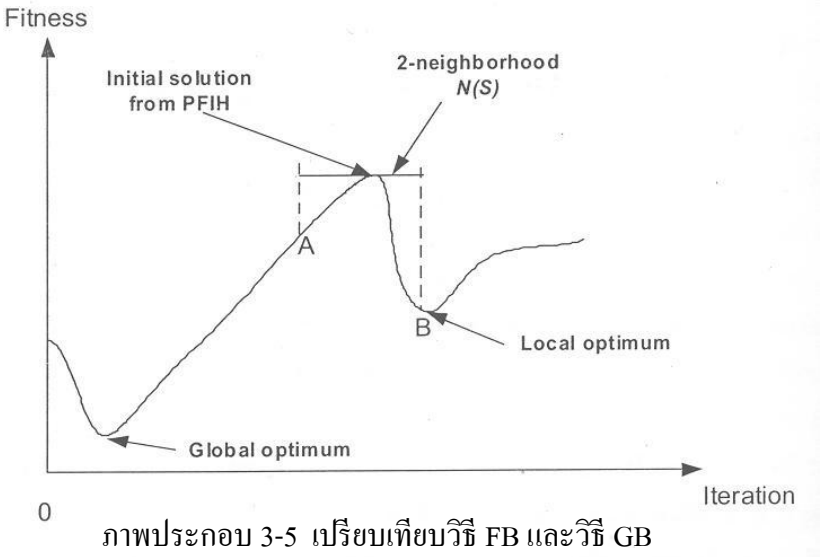
ภาพประกอบ 3-4 ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 1)

จากลักษณะการโยกย้ายและสลับสับเปลี่ยนของตัวดำเนินการดัง ภาพประกอบ 3-4 ในแต่ละครั้งของการดำเนินการ จะได้เส้นทางใหม่เกิดขึ้น 2 เส้น โดยทั้งสองเส้นทางจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $D_k = \sum_{i=l}^{m} d_i \le q_k$ สังเกตได้ว่าการใช้ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 1), (1, 0) และ (1, 1) น่าจะมีประสิทธิภาพเพียงพอแล้วสำหรับการเคลื่อนย้ายผลเฉลยจากหนึ่ง ไปยังอีกตัวหนึ่งภายในผลเฉลยข้างเคียงที่กำหนด อย่างไรก็ตามการใช้ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย ที่มีทั้งการโยกย้ายและสลับสับเปลี่ยนจำนวนปมลูกค้าระหว่างเส้นทาง 2 เส้น เช่น (0, 2), (2, 0), (1, 2), (2, 1) และ (2, 2) จะช่วยเพิ่มโอกาสในการหาผลเฉลยที่ดีขึ้นโดยไม่ขัดแย้ง กับเงื่อนไข และไม่ทำให้ขั้นตอนวิธีการใช้เวลาในการค้นหาผลเฉลยมากเกินไป ในงานวิจัยนี้จึงนำหลักการการผสมผสานระหว่างตัวดำเนินการเคลื่อนย้ายแบบต่างๆ มาดำเนินการตามลำดับที่กำหนด โดยจัดลำดับการทำงานดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ลำดับการทำงานของตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8
ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย	(0, 1)	(1, 0)	(1, 1)	(0, 2)	(2, 0)	(2, 1)	(1, 2)	(2, 2)

ตัวดำเนินการเหล่านี้จะถูกใช้ในการโยกย้ายและสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งของลูกค้าระหว่างเส้นทาง (R_p, R_q) เพื่อสร้างกลุ่มเส้นทางใหม่ หรือ ผลเฉลยใหม่ ขั้นตอนต่อไป คือ การเลือกผลเฉลยที่มีการเคลื่อนย้ายโดยตัวดำเนินการทั้ง 8 ตัว วิธีการเลือกผลเฉลยที่ได้จากตัวดำเนินการที่ดีที่สุดจากกลุ่มของผลเฉลยที่มีอยู่ (Candidate Move) นั้นมีหลายวิธี อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เลือกใช้กลยุทธ์ในการเลือกตัวดำเนินการตัวแรกที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีกว่าผลเฉลยปัจจุบัน (ในกรณีนี้หมายถึงค่าเดินทางรวมที่ต่ำลง) 2 วิธี คือ กลยุทธ์ที่เรียกว่า "ดีที่สุดเป็นตัวแรก (First Best: FB)" ซึ่งกลยุทธ์นี้ ถึงแม้ไม่ได้ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดจากตัวดำเนินการทั้งหมด แต่ให้ผลเฉลยที่ยอมรับได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว และอีกกลยุทธ์หนึ่งเรียกว่า "ดีที่สุดจากทั้งหมด (Global Best: GB) ที่ต้องดำเนินการให้ครบทุกตัวดำเนินการเคลื่อนย้ายและเลือกผลเฉลยที่ดีที่สุด กลยุทธ์นี้ถึงแม้จะให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการค้นหาค่อนข้างยาวนาน ซึ่งทำให้เสียเวลาโดยไม่จำเป็น อย่างไรก็ตามการเลือกกลยุทธ์แบบ FB อาจไม่ได้ให้คำตอบที่แย่กว่ากลยุทธ์แบบ GB เสมอไป แสดงดังภาพประกอบ 3-5



ภาพประกอบ 3-5 เปรียบเทียบวิธี FB และวิธี GB

ที่มา: ณกร อินทร์พยุง (2548: 25)

จากภาพสังเกตได้ว่าในกรณีที่เลือกใช้กลยุทธ์แบบ GB ทิศทางการหาผลเฉลย (Search Direction) จะค่อยๆ เคลื่อนย้ายจากจุด A มาที่จุด B ซึ่งผลเฉลยที่ได้ให้ค่าเหมาะสุดเฉพาะที่ ขั้นตอนวิธีการไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีกว่านี้ได้อีกภายในผลเฉลยข้างเคียงที่กำหนด $N(S)$ และเมื่อทำหาค้นหาจนครบรอบการวนซ้ำที่กำหนด ขั้นตอนวิธีการจะประกาศว่าจุด B คือ ผลเฉลยที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด ซึ่งจาก ภาพประกอบ 3-5 พบว่าจุด B ไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะที่สุด เป็นเพียงค่าเหมาะสุดเฉพาะที่เท่า นั้น ในอีกกรณีหนึ่ง หากเลือกใช้กลยุทธ์แบบ FB ขั้นตอนวิธีการอาจจะยอมรับ ผลเฉลยที่จุด A เป็นจุดแรกที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีกว่าผลเฉลยปัจจุบัน (Current Solution) จากนั้นขั้นตอนวิธีการจะค้นหาผลเฉลยที่ดีขึ้นต่อไป และเคลื่อนเข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (Global Optimum) ได้ ขั้นตอนวิธี λ-LSD แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ผลเฉลย X สำหรับ VRPTW ที่ได้จากขั้นตอนวิธี MPFIH เป็นผลเฉลยปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 2 เลือกผลเฉลย $X' \in N_\lambda(X)$ ตามกลยุทธ์การเคลื่อนย้ายตัวดำเนินการแบบ FB

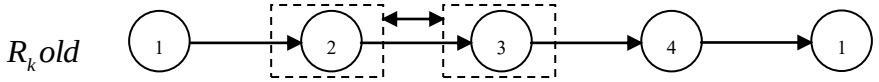
ขั้นตอนที่ 3 ถ้า $F(X') < F(X)$, ให้ยอมรับผลเฉลย X' และดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 2 ถ้าไม่ใช่ ให้ดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 ถ้าผลเฉลยข้างเคียงภายในพื้นที่ $N_\lambda(X)$ ถูกค้นหาจนครบทุกความเป็นไปได้ และไม่มีผลเฉลยใดให้ค่า $F(X')$ ที่ต่ำกว่าผลเฉลยปัจจุบัน ให้ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 5 ถ้าไม่ใช่ให้ดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 2

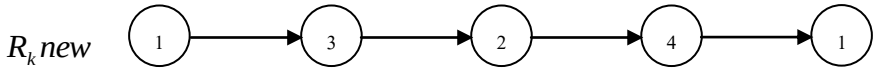
ขั้นตอนที่ 5 สิ้นสุดวิธีการ λ-LSD

ช่วงที่ 2 ปรับปรุงผลเฉลยโดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)

หลังจากได้ผลเฉลยที่ดี ที่สุดจากตัวดำเนินการเคลื่อนย้ายระหว่าง 2 เส้นทาง (R_p, R_q) แล้ว ขั้นตอนวิธีการจะทำการสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าทีละ 1 คู่ หรือ 2 ปมใดๆ ภายในเส้นทางเดียวกันตั้งแต่ $R_1, R_2, ..., R_k$ เพื่อเพิ่มโอกาสในการหาผลเฉลยที่ดีกว่า โดยขั้นตอนนี้ไม่ จำเป็นต้องคำนึงถึงเงื่อนไข $D_k = \sum_{i=l}^{m} d_i \le q_k$ เนื่องจากผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนการเคลื่อนย้ายตัวดำเนินการ ได้จำกัดเงื่อนไขนี้ไว้ในแต่ละเส้นทางแล้ว ขั้นตอนนี้จึงเป็นการทดลองสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าภายในเส้นทางเดียวกันเท่านั้น แสดงดังภาพประกอบ 3-6



ก่อนการสลับสับเปลี่ยน



หลังการสลับสับเปลี่ยน

ภาพประกอบ 3-6 การสลับสับเปลี่ยนภายในเส้นทาง

จากภาพประกอบ 3-6 จำนวนผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมดในพื้นที่การค้นหาผลเฉลย คือ $n!$ โดยที่ n คือ จำนวนลูกค้าทั้งหมด ที่ต้องการสลับสับเปลี่ยนภายในเส้นทาง R_k ตัวอย่างเช่น กรณีมีลูกค้าจำนวน 3 ปม ที่ต้องการสลับสับเปลี่ยน เพราะฉะนั้นทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด คือ $3! = 3 \times 2 \times 1 = 6$ อย่างไรก็ตาม ใ นการเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาผลเฉลยของขั้นตอนวิธีการต้องใช้โครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงที่ดีด้วย อันได้แก่ โครงสร้างต้องง่ายต่อการทำงานในเชิงการเขียนโปรแกรม การประมวลผล และโครงสร้างจะต้องครอบคลุมผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมด และนำไปสู่ค่าเหมาะที่สุด หรือค่าเหมาะที่สุดใกล้เคียง

ในกระบวนการทำงานจริงของขั้นตอนวิธีการ อาจไม่สามารถสร้างพื้นที่ในการค้นหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมดได้ เนื่องจากจำนวนทางเลือกที่เพิ่มขึ้นแบบแฟคทอเรียล ซึ่งอาจต้องใช้เวลายาวนานในการหาผลเฉลยเมื่อจำนวนลูกค้าเพิ่มมากขึ้น แนวคิดในการลดพื้นที่ผลเฉ ลย จึงเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญ โดยกำหนดเป็นโครงสร้างในการสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งของลูกค้าภายในเส้นทาง ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการสลับสับเปลี่ยนแบบทีละคู่ (Pair-Wise Exchange) นั่น คือ การสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างลูกค้า 2 ปมใดๆ ภายในเส้นทางเดียวกัน ซึ่งจำนวนทางเลือกของผลเฉลยเท่ากับ $\frac{n(n-1)}{2}$ จากปัญหาเดิมที่มีลูกค้าจำนวน 3 ปม ภายในเส้นทาง ทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ $\frac{3(3-1)}{2} = 3$ ซึ่งในกรณีสามารถลดพื้นที่ในการค้นหาผลเฉลยได้ถึง 50% จากนั้นขั้นตอนวิธีการจะทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าทีล ะคู่ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีขึ้น หากไม่สามารถปรับปรุงผลเฉลยได้ ขั้นตอนวิธีการจะยังคงผลเฉลยปัจจุบันไว้

ในช่วงที่ 2 ของการปรับปรุงผลเฉลยนี้ ใช้ขั้นตอนวิธี GA ถูกคิดค้นขึ้นเป็นครั้งแรกเมื่อประมาณปี ค .ศ. 1975 โดย John Holland แนวคิดนี้เลียนแบบขั้นตอนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติตามคำกล่าวของนักวิทยาศาสตร์ที่ชื่อ Charles Darwin “เผ่าพันธุ์ที่มีความแข็งแรงที่สุดเท่านั้นที่จะสามารถดำรงชีวิตอยู่ต่อไปได้” เนื่องจากมีคุณสมบัติการเลียนแบบการถ่ายทอดทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งจะนำค่าที่เหมาะสมที่ สุดจากประชากรรุ่นก่อนมาใช้ในการพิจารณาในการหาคำตอบของประชากรรุ่นถัดมา ซึ่งจะนำถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมจากบรรพบุรุษไปสู่รุ่นลูกหลานโดยใช้ค่า Fitness Function ที่สอดคล้องกับ ObjectiveFunction ในการพิจารณาหาคำตอบโดยมีการพิจารณาว่า โครโมโซมใดควรที่จะนำมาสืบ สายพันธุ์ หรือไม่ควรนำมาสืบสาย จะทำให้สามารถหาคำตอบที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดที่สมบูรณ์ได้ วิธีนี้จึงเป็นวิธีที่ค่อนข้างแพร่หลายและถูกนำไปใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจในวงการธุรกิจและอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย มีโครงสร้างไม่สลับซับซ้อน และมีความยืดหยุ่นมาก (Generalisation) ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ได้ทันที หรือเพียงแค่ดัดแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ประชากร (Population) = จำนวนโครโมโซมทั้งหมด

x = ยีน (Gene)

Chromosome 1	x	x	x	x	x
Chromosome 2	x	x	x	x	x
Chromosome 3	x	x	x	x	x
Chromosome *n*	x	x	x	x	x

ภาพประกอบ 3-7 ลักษณะของประชากร ยีน และโครโมโซม

องค์ประกอบหลักของ Genetic Algorithm มีรายละเอียดดังนี้

1) โครงสร้างคำตอบแบบโครโมโซม (Chromosome Endcoding) สิ่งสำคัญในการเริ่มต้นเมื่อเราตัดสินใจที่จะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบของปัญหาการตัดสินใจหนึ่งๆ นั้นก็คือ การสร้างแนวคิดที่จะแปลงชุดข้อมูลของคำตอบให้อยู่ในรูปแบบของยีนและโครโมโซม

ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญตัวหนึ่งในการบ่งบอกว่าคุณภาพของคำตอบที่ได้จะดีหรือไม่ โดยทั่วไปการแปลงชุดของคำตอบให้อยู่ในรูปแบบของยีนและโครโมโซม จะใช้โครงสร้าง 3 ลักษณะ คือ

- โครงสร้างแบบไบนารี (Binary Endcoding) คือการเขียนแทนชุดของคำตอบด้วยตัวเลข 0 หรือ 1 ประกอบกันเป็นแนวยาวตามจำนวนของยีน สมมติว่าโครโมโซมคือการกำหนดการทำงานของรถบรรทุกคันหนึ่งๆ ยีนแต่ละตัวคือตัวแปรในการตัดสินใจว่ารถบรรทุกคันนั้นจะไปรับสินค้าที่ลูกค้าแต่ละคนหรือไม่ ถ้ารถบรรทุกถูกกำหนดให้ไปรับสินค้าที่ลูกค้าคนนั้นให้มีค่าเท่ากับ 1 และถ้ารถบรรทุกไม่ได้ถูกกำหนดให้ไปรับสินค้าที่ลูกค้าคนนั้นให้มีค่าเท่ากับ 0

Customer No.	1	2	3	4	5	6
Chromosome	0	1	1	0	1	0

ภาพประกอบ 3-8 โครงสร้างแบบไบนารี
ที่มา: ณกร (2548)

จากรูปเราจะเห็นได้ว่า ชุดของโครโมโซมคือคำตอบในการกำหนดภาระงานของรถบรรทุกคันนี้ นั่นคือ รถบรรทุกถูกกำหนดให้ไปรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 2, 3 และ 5 เท่านั้น เพราะยีนมีค่าเท่ากับ 1 (ส่วนลูกค้าคนที่ 2, 4 และ 6 จะไม่ถูกให้บริการโดยรถคันนี้ แต่จะถูกให้บริการโดยรถบรรทุกคันอื่นเป็นต้น)

- โครงสร้างแบบการวางสลับเปลี่ยนลำดับ (Permutation Endcoding) มักจะใช้ในโครงสร้างของปัญหาที่เป็นการเรียงคำสั่ง (Ordering) หรือเป็นลำดับ (Sequence) เช่น

Sequence No.	1	2	3	4	5	6
Chromosome	2	5	3	1	6	4

ภาพประกอบ 3-9 โครงสร้างแบบการวางสลับเปลี่ยนลำดับ

ตัวอย่างของปัญหาการตัดสินใจที่ใช้ในโครงสร้างของโครโมโซมลักษณะนี้เช่น ปัญหาการเลือกเส้นทางของบุรุษไปรษณีย์ จากรูป นั่นคือ เราจะได้คำตอบที่บุรุษไปรษณีย์จะต้องเดินทางไปเมืองที่ 2 เป็นลำดับแรกและต่อมาเดินทางไปเมืองที่ 5 เป็นลำดับที่ 2 จนกระทั่งเดินทางไปที่เมืองที่ 4 เป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งในงานวิจัยเลือกใช้โครงสร้างนี้ เนื่องจ ากสามารถเห็นภาพและเข้าใจได้ง่ายตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น

- โครงสร้างแบบการใช้ค่าของตัวแปร (Value Endcoding) ในปัญหาการตัดสินใจบางอย่าง เราต้องการคำตอบในรูปแบบของโครโมโซมที่เป็นค่าของตัวแปรนั้นๆ เลย ซึ่งค่าของตัวแปรอาจจะอยู่ในรูปแบบ Variable เช่น (a, b, c, d, e, f,…, z) หรือ ค่าของตัวแปรใดๆ ก็ตามในตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 3-10

Variable	a	b	c	d	e	f
Chromosome	0.15	4.06	3.49	5.29	1.21	9.45

ภาพประกอบ 3-10 โครงสร้างแบบการใช้ค่าของตัวแปร

สังเกตได้ว่า โครโมโซมที่ใช้ค่าของตัวแปร ให้ค่าของตัวแปรที่เป็นตัวแทนจำนวนจริง (Real Number) อย่างไรก็ตาม ในกรณีนี้ยังคงถือว่า ตัวแปรการตัดสินใจนี้มีค่าแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Value) เพราะค่าของตัวแปรแต่ละตัวที่อยู่ในแต่ละตำแหน่งของมันมีค่าไม่ต่อเนื่อง

2) การกำหนดประชากรเริ่มต้น (Initial Population) เป็นลักษณะที่เป็นต้นแบบหรือต้นกำเนิดที่จะนำเข้าไปในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยการสุ่มเลือกสร้างประชากรต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการ ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการของ GA โดยประชากรกลุ่มแรก หรือประชากรต้นกำเนิดจะเกิดจากการสุ่มเลือกขึ้นมาจาก กลุ่มของประชากรทั้งหมดที่มีอยู่ โดยในการสุ่มเลือกจะทำการสุ่มตามจำนวนของประชากรที่ได้กำหนดไว้

3) การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือค่าฟิตเนส (Evaluation of fitness function) ฟังก์ชันที่ใช้ในการประมาณว่าเส้นทางแต่ละเส้นทางเลือก นั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ โครโมโซมทุกตัวจะต้องมีค่าซึ่งบ่งบอกถึงความเหมาะสมที่จะพิจารณาว่าสมควรนำไปสืบสายพันธุ์ต่อหรือไม่สมควรดังนั้นจึงต้องมีการให้ค่าความเหมาะสมกับแต่ละโครโมโซมเพื่อนำค่าความ

เหมาะสมไปพิจารณาโดยใช้สมการหาค่าความเหมาะที่สอดคล้องกับปัญหา สรุปได้ ว่าค่าความเหมาะสม คือตัวที่ใช้ประเมินว่าแต่ละเส้ นทางเลือก Solution นั้นมีความเหมาะสม หรือสามารถใช้แก้ปัญหาได้ดีเพียงใด

ค่า fitness ของปัญหาที่เป็นค่าระยะทางทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทาง โดยทั่วไปสามารถประมาณหาระยะทาง (Euclidean Distance) ได้เมื่อเราทราบจุดพิกัด (หรือคู่อันดับในแกน x และ y) ของเมืองต่างๆ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 3.23

$$\text{Fitness} = \sum_{i=1}^{n} \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \qquad (3.23)$$

โดยที่ x_i, y_i คือ คู่อันดับ (หรือจุดพิกัด) ของเมือง i

4) ตัวดำเนินการวิวัฒนาการทางพันธุกรรม (Genetic Operator) เป็นขั้นตอนในการสร้างพันธุกรรมรุ่นถัดไป (Next Generation) ได้แก่ การเลือกโครโมโซม (Chromosome Selection), การข้ามฟาก(Crossover) และ การผ่าเหล่า(Mutation)

- การเลือกโครโมโซม (Chromosome Selection) โดยทั่วไปวิธีการเลือกโครโมโซมสามารถกระทำได้หลายวิธีซึ่งอาศัยแนวคิดทฤษฎีความน่าจะเป็นและสถิติเป็นหลัก แต่มีแนวคิดพื้นฐาน 2 วิธีที่มีลักษณะไม่ยุ่งยากซับซ้อนและถูกใช้บ่อยๆ ได้แก่

1) การเลือกโครโมโซมโดยใช้วงล้อของสัดส่วนค่าฟิตเนส (Roulette Wheel Selection) สมมติว่า ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมเพื่อแก้ปัญหาการเลือกเส้นทางของรถขนส่ง โดยมีจำนว น เมืองที่จะต้องเดินทางไปทั้งหมดเท่ากับ 5 เมือง และใช้โครงสร้างของโครโมโซมแบบการวางสลับเปลี่ยนลำดับ ซึ่งจะได้จำนวนโครโมโซมทั้งหมด (หรือทางเลือกของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด) เท่ากับ 5! = 5×4×3×2×1 = 120 โครโมโซม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า จำนวนโครโมโซม 120 โครโมโซมนี้ เป็นประชากร (Population) ของคำตอบ โดยทั่วไป เมื่อใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการหาคำตอบ จะไม่สามารถพิจารณาจำนวนโครโมโซมทั้งหมด 120 โครโมโซมเพื่อที่จะวิวัฒนาการสู่ประชากรรุ่นถัดไปได้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกโครโมโซมบางตัวเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า ประชากรตัวอย่าง (Sample Population) เพื่อเป็นตัวแทนของโครโมโซมทั้งหมด และจำนวนประชากรตัวอย่างนั้น โดยทั่วไป จะกำหนดเป็นค่าพารามิเตอร์ค่าหนึ่ง ซึ่งบางครั้งอาจจะเรียกว่า ขนาดของประชากร (Population Size)

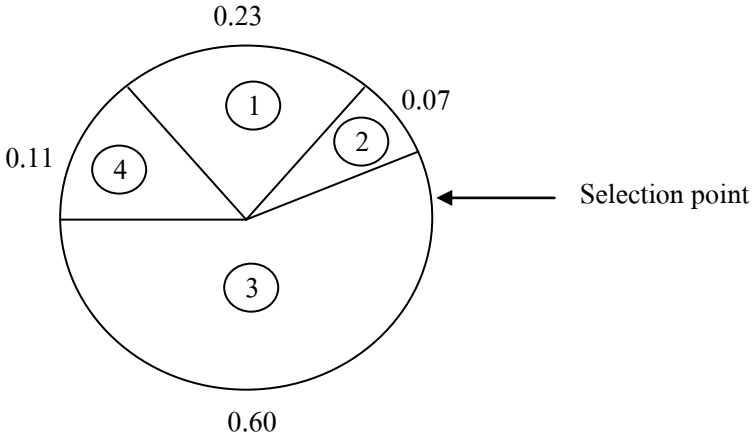
สมมติว่า กำหนดขนาดของประชากรเท่ากับ 4 (นั่นคือจำนวนโครโมโซมเท่ากับ 4 ตัว) ซึ่งมีค่ายีนและฟิตเนส ดังแสดงในตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 ค่ายีนและค่าฟิตเนสของโครโมโซมตัวอย่างทั้ง 4 ตัว

Chromosome	Genes	Fitness f (km)	$f \div \sum f$	Probability P_s
1	12345	169	6.92	0.23
2	13524	576	2.03	0.07
3	54231	54	18.28	0.60
4	31542	361	3.24	0.11
		$\sum f$ = 1,170	$\sum$ = 30.47	$\sum$ = 1

ก่อนกระบวนการผสมยีน อาจจะเลือกโครโมโซมทั้ง 4 ตัวในตาราง มาใช้ในการผสมยีนโดยการข้ามฟากโดยตรง แต่ในหลายๆ ครั้ง มักจะทำการผลิตประชากรรุ่นนั้นขึ้นมาใหม่ก่อน (Reproduction) เพื่อจะได้ยีน (โครโมโซม) ที่มีคุณภาพดีมาใช้ในการผสมพันธุ์ ส่วนยีน (โครโมโซม) ที่คุณภาพไม่ดีก็จะถูกทิ้งและตายลงไป

ตารางที่ 3-5 คำนวณค่าความน่าจะเป็น (Probability: P_s) ในการเลือกโครโมโซมที่จะนำมาผสมพันธ์โดยการข้ามฟากโดยใช้ค่าฟิตเนสของโครโมโซมอันนั้นหารด้วยผลรวมของค่าฟิตเนสทั้งหมด ซึ่งสามารถนำเอาค่าที่ได้ไปสร้างวงล้อความน่าจะเป็น ในการเลือกโครโมโซมทั้ง 4 ดังแสดงในภาพประกอบ 3-11



ภาพประกอบ 3-11 วงล้อความน่าจะเป็นในการเลือกโครโมโซม

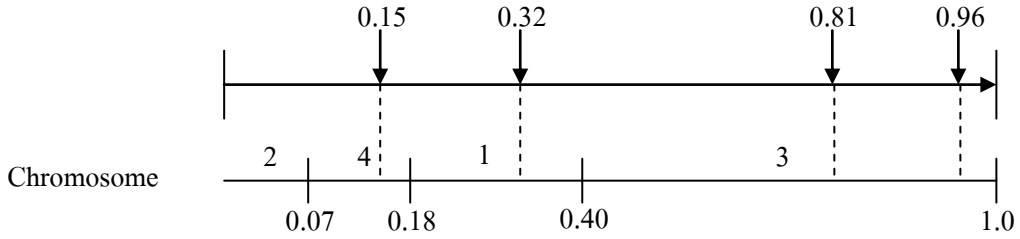
หลังจากนั้นทำการหมุนวงล้อจำนวน 4 ครั้ง เมื่อโครโมโซมใดตกอยู่ที่จุด Selection pointจะทำการเลือกโครโมโซมอันนั้น ดังนั้น โครโมโซมตัวหนึ่งๆ อาจสามารถถูกเลือกได้มากกว่า 1 ครั้งก็ได้ โครโมโซมที่มีความน่าจ ะเป็น (P_s) สูงจะมีโอกาสที่ถูกเลือกมากกว่าโครโมโซมที่มีความน่าจะเป็น (P_s) น้อย เพื่อที่จะทำให้ได้โครโมโซมที่มีคุณภาพดีในการวิวัฒนาการของพันธุกรรมรุ่นถัดไป

บางครั้งอาจจะเรียงค่าฟิตเนสและค่าความน่าจะเป็น (P_s) ในการเลือกโครโมโซมจากน้อยไปหามาก ดังแสดงในตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-6 ค่าฟิตเนสและค่าความน่าจะเป็นในการเลือกโครโมโซม

Chromosome	2	4	1	3
Fitness	576	361	169	64
Probability P_s	0.07	0.11	0.23	0.60
Cumulative	0.07	0.18	0.40	1.0

ต่อจากนั้น สร้างตัวเลขสุ่ม (Random Number) จำนวน 4 ตัว ซึ่งมีค่าจาก 0 ถึง 1 โดยอิสระต่อกัน สมมติว่า ตัวเลข 4 ตัวที่สุ่มได้ ได้แก่ 0.81, 0.32, 0.15 และ 0.96 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-12 การสุ่มตัวเลขในการเลือกโครโมโซม

ภายหลังจากการ Reproduction จะได้โครโมโซมที่ถูกสุ่มมากที่สุดไปใช้ในขั้นตอนการผสมยีน (Crossover และ Mutation) ต่อไป ในบางครั้ง การหาคำตอบโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมอาจจะไม่ใช้ขั้นตอน Reproduction ก็ได้ อาจจะใช้โครโมโซมที่เลือกมาจำนวน 4 ตัวเดิมเพื่อใช้ในการผสมยีนโดยตรง

2) การเลือกโครโมโซมแบบ Tournament สามารถกล่าวคร่าวๆ ได้ 2 แบบ คือ

แบบที่ 1

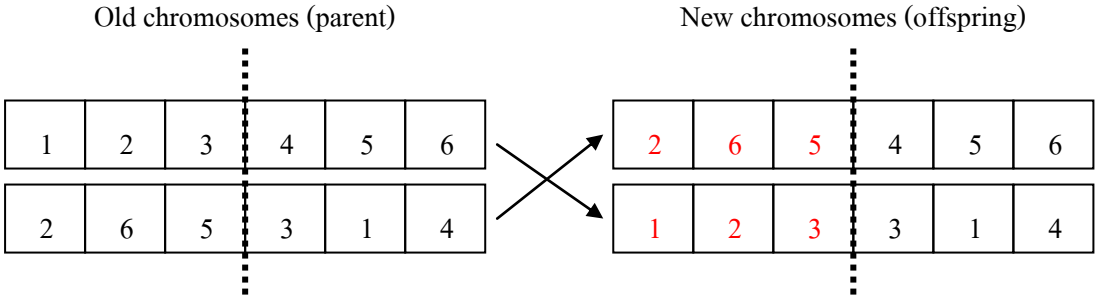
- เลือกโครโมโซม 2 ตัวใดๆ โดยการสุ่ม
- สร้างตัวเลขสุ่มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมา 1 ตัว
- ถ้าตัวเลขสุ่มที่ได้มีค่าน้อยกว่าค่า r ให้เลือกโครโมโซมตัวแรกที่เลือกมา ถ้าตัวเลขสุ่มที่ได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า r ให้เลือกโครโมโซมตัวที่สอง (ค่า r เป็นค่าพารามิเตอร์ระหว่าง 0 และ 1) และกระทำซ้ำในการเลือกโครโมโซมตัวถัดไป

แบบที่ 2

- เลือกโครโมโซม 2 ตัวใดๆ โดยการสุ่ม
- พิจารณาค่าโครโมโซมตัวที่มีค่าฟิตเนสมากกว่าจะถูกเลือก
- ขั้นตอนจะถูกกระทำซ้ำในการเลือกโครโมโซมตัวถัดไป

- การผสมยีนโดยการข้ามฟาก (Crossover) จะเกิดขึ้นโดยการสลับสับเปลี่ยนค่าของยีนระหว่างโครโมโซม 2 ตัวหรือมากกว่า ในประชากรรุ่นบรรพบุรุษ (Parent population) ซึ่งจะทำให้เราได้ประชากรรุ่นลูก (Offspring population) 2 อันใหม่ การควบคุมการเกิดการข้ามฟาก

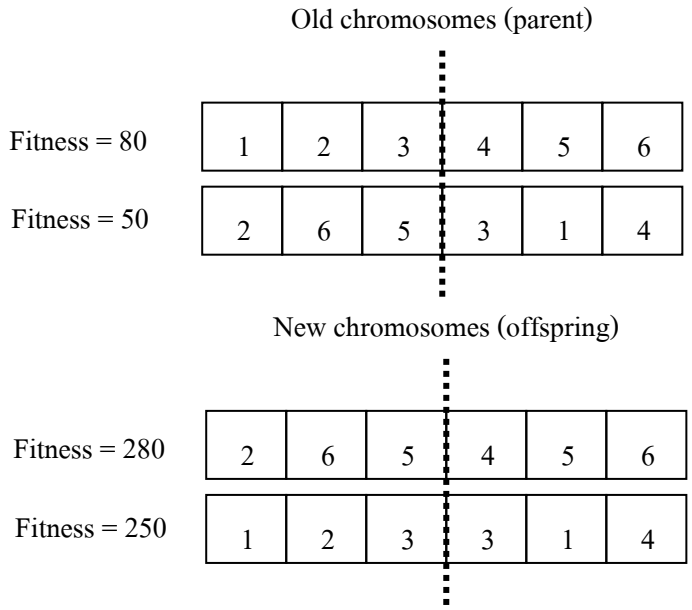
อาจจะนำค่าความน่าจะเป็นการข้ามฟากมาใช้ (Crossover population: P_c) ตัวอย่างเช่น $P_c = 0.7$ นั่นคือ ทำการสุ่มตัวเลข (Random number) ขึ้นมา 1 ค่า ระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้าค่าสุ่มที่ได้มีค่าน้อยกว่า 0.7 จะอนุญาตให้วิธีเชิงพันธุกรรมทำการผสมยีนแบบข้ามฟาก



ภาพประกอบ 3-13 การผสมยีนโดยการข้ามฟาก

จากภาพประกอบ 3-13 จะเห็นได้ว่า โครโมโซมชุดใหม่ (Offspring) ที่ได้เป็นโครโมโซมที่รถขนส่งต้องเดินไปเมืองที่1 และเมืองที่ 3 ซ้ำกันถึงสองครั้ง และไม่ได้เดินทางไปเมืองที่ 5 และ 6 เลย การข้ามฟากแบบทั่วไปใช้ไม่ได้ในกรณีนี้ เพราะคำตอบที่ได้หลังจากการข้ามฟากต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Feasible solution) ที่รถขนส่งจะต้องส่งของให้ครบทุกเมือง

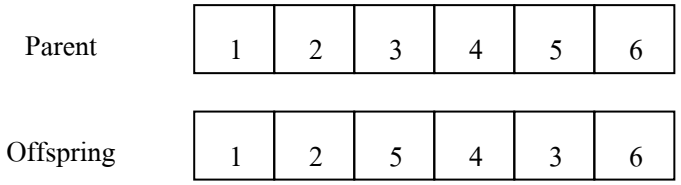
อย่างไรก็ตาม ปัญหาการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนขนาดใหญ่ เราไม่สามารถออกแบบหรือดัดแปลงวิธีการผสมยีนเพื่อให้ได้ Offspring ที่ไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขได้โดยง่าย ในกรณีนี้ มักจะอนุญาตให้ Offspring ที่ได้เป็นคำตอบที่ขัดแย้งกับเงื่อนไข (Infeasible solution) แต่จะต้องเพิ่มน้ำหนักโทษ (Penalty weight: w) เข้าไว้ในค่าฟิตเนสของ Offspring ที่ให้คำตอบขัดแย้งกับเงื่อนไขด้วย สมมติว่า กำหนดให้ค่าของน้ำหนักโทษ เมื่อรถขนส่งเดินทางไปที่เมืองใดๆ เกินกว่า 1 ครั้ง w = 100 (เพิ่มค่า 100 เข้าไปในค่าฟิตเนสต่อการแวะเยี่ยมเมืองเกินกว่า 1 ครั้ง) และสมมติค่าฟิตเนสของ Parent 1 และ Parent 2 เท่ากับ 80 กิโลเมตร และ 50 กิโลเมตร ตามลำดับ



ภาพประกอบ 3-14 การเพิ่มโทษสำหรับ Offspring ที่ขัดแย้งกับเงื่อนไข

จากภาพประกอบ 3-14 จะเห็นได้ว่าก่อนการข้ามฟาก Parent 2 ให้ค่าฟิตเนสที่ดีกว่า Parent 1 และหลังผสมยีนโดยการข้ามฟาก Offspring 1 และ Offspring 2 ให้ค่าฟิตเนสที่แย่กว่าบรรพบุรุษ ซึ่งมีสาเหตุมาจากกระบวนการข้ามฟากที่ไม่ดี สังเกตได้ว่า วิธีการเพิ่มน้ำหนักโทษให้โครโมโซมที่ขัดแย้งกับเงื่อนไขนั้นสามารถทำได้โดยง่ายและรวดเร็ว แต่การกำหนดค่าน้ำหนักโทษที่เหมาะสมนั้นไม่สามารถใช้วิธีทางทฤษฎีใดๆ ได้เลย

- การผสมยีนโดยการผ่าเหล่า (Mutation) เกิดขึ้นหลังจากการข้ามฟากเสร็จสิ้น โดยสุ่มเลือกเมือง 2 เมืองใดๆ ที่ไม่ซ้ำกันมาสลับตำแหน่งกัน เช่น สุ่มเลือกเมือง 2 เมืองขึ้นมา ได้แก่ เมืองที่ 3 และเมืองที่ 5 จากนั้นสลับตำแหน่งกัน ดังภาพประกอบ 3-15



ภาพประกอบ 3-15 การผสมยีนแบบผ่าเหล่า

6) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Parameter) ประกอบด้วย ขนาดของประชากร Population size, ความน่าจะเป็นของ Crossover, ความน่าจะเป็นของ Mutation และจำนวนโครโมโซมที่ใช้ในการสร้างรุ่นถัดไป

โดยสรุปขั้นตอนวิธีการ GA มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเมทริกซ์ t_{s_b} โดยที่ $t_{ij} = \sqrt{x^2 + y^2}$ กำหนดพารามิเตอร์ค่าปรับโทษในฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ คือ α = 0.01 γ = 0.1 และ η = 0.05 กำหนดพารามิเตอร์สำหรับ GA คือ จำนวนรอบการวนซ้ำ = 100 จำนวนประชากรเริ่มต้น = 100 อัตราการผสมยีนส์ข้ามฟาก (Crossover Rate; P_c) = 0.7 และอัตราการผสมยีนส์ผ่าเหล่า (Mutation Rate; P_m) = 0.3

ขั้นตอนที่ 2 สร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้น $F(x, t_{s_b}); x \in X$

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ $F(x, t_{s_b})$ ของกลุ่มประชากรเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 4 เลือกโครโมโซมบรรพบุรุษ (Parent) โดยใช้วิธีเลือกวงล้อรูเลท (Roulette Wheel Selection) ที่คำนวณค่าความน่าจะเป็นในการเลือกโครโมโซมจากสัดส่วนฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

ขั้นตอนที่ 5 สร้างตัวเลขสุ่มเพื่อเลือกวิธีการผสมยีนส์ในแต่ละรอบการวนซ้ำ

ขั้นตอนที่ 5.1 ถ้าตัวเลขสุ่มน้อยกว่า P_c=0.7 เลือกวิธีผสมยีนส์ข้ามฟาก จากนั้น

ขั้นตอนที่ 5.2 ถ้าตัวเลขสุ่มน้อยกว่า P_m=0.3 เลือกวิธีผสมยีนส์ผ่าเหล่า

ขั้นตอนที่ 6 ประเมินค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ $F(x, t_{s_b})$ ของประชากรรุ่นลูก (Offsprings)

ขั้นตอนที่ 7 เพิ่มประชากรรุ่นลูกในกลุ่มประชากรเริ่มต้น และคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการเลือกโครโมโซม

ขั้นตอนที่ 8 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 3-7 และสิ้นสุดขั้นตอนวิธีการเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขการหยุด

9. ทดลองใช้เทคนิคที่พัฒนาขึ้นกับข้อมูล จากปัญหาเทียบเคียง (Benchmarking Problem) งานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลจากปัญหาเทียบเคียง (Benchmarking Problem) สำหรับปัญหา VRPTW ที่สร้างขึ้นโดย Marius Solomon (Solomon, 2005) จำนวน 18 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 6 ประเภท คือ R1, R2, C1, C2, RC1, และ RC2 ซึ่งในแต่ละตัวอย่างประกอบด้วย คลังสินค้าจำนวน 1 เมือง

และลูกค้าจำนวน 25, 50 และ 100 เมือง สำหรับปัญหา VRPTW ของ Solomon นี้เป็นที่นิยมสำหรับนักวิจัยที่พัฒนาขั้นตอนวิธีการและต้องการเปรียบเทียบผล โดย Solomon ได้ออกแบบปัญหานี้ออกเป็น 6 ประเภท ตามปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของขั้นตอนวิธีในการจัดเส้นทาง และการจัดตารางการเดินรถขนส่ง ซึ่งปัจจัยต่างๆ ประกอบด้วย ตำแหน่งและการกระจายของข้อมูล ข้อจำกัดความสามารถของรถขนส่งในการให้บริการลูกค้า เปอร์เซ็นต์ข้อจำกัดทางด้ านเวลาที่กำหนดโดยลูกค้า ความเข้มงวดและตำแหน่งของกรอบเวลา โดยที่ปัญหาในกลุ่ม R1 และ R2 ถูกกำหนดตำแหน่งและการกระจายอย่างสุ่ม กลุ่ม C1 และ C2 มีการแบ่งกลุ่มลูกค้าแล้ว และกลุ่ม RC1 และ RC2 เป็นการผสมผสานระหว่างแบบสุ่มและแบบจัดกลุ่มแล้ว ปัญหาในกลุ่ม R1, C1 และ RC1 เป็นลักษณะการจัดตารางเดินรถแบบสั้น (Short Scheduling Horizon) โดยมีจำนวนลูกค้าไม่มากภายในเส้นทางหนึ่งๆ (ประมาณ 5 ถึง 10 เมือง) ส่วนในกลุ่ม R2, C2 และ RC2 เป็นลักษณะการจัดตารางเดินรถแบบยาว (Long Scheduling Horizon) โดยมีลูกค้าจำนวนมากอยู่ในเส้นทางหนึ่ง ๆ (มากกว่า 30 เมือง) ที่ให้บริการโดยรถขนส่งเพียงคันเดียว การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าจะเหมือนกันสำหรับปัญหาเดียวกันในแต่ละกลุ่ม R, C และ RC ต่างกันที่การกำหนดช่วงกว้างของกรอบเวลา ซึ่งบางกลุ่มจะมีช่วงของกรอบเวลาแคบมาก โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรอบเวลา คือ 25%, 50%, 75% และ 100% สำหรับเวลาเดินทางในแต่ละเมืองกำหนดให้เท่ากับระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance) $t_{ij} = \sqrt{x^2 + y^2}$ ในกรณีที่ต้องการพิจารณาปัญหาที่มีขนาดเล็กลง เช่น 25 หรือ 50 เมือง สามารถเลือกได้จากลูกค้าในลำดับที่ 25 และ 50 เมืองแรกตามลำ ดับ โดยทุกปัญหาถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน คือ มีจำนวนแถวเท่ากับจำนวนคลังสินค้าและจำนวนลูกค้า และ 7 สดมภ์

สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้ข้อมูลลูกค้าจำนวน 25 เมือง มียานพาหนะทั้งหมด 4 ประเภท ได้แก่ รถบรรทุกขนาดใหญ่สำหรับระดับน้ำที่สูงจากพื้นถนน 1.5 เมตร รถบรรทุกข นาดกลางสำหรับระดับน้ำที่สูงจากพื้นถนน 1 เมตร รถบรรทุกขนาดเล็กสำหรับระดับน้ำที่สูงจากพื้นถนน 0.5 เมตร เรือเล็กสำหรับระดับน้ำที่สูงจากพื้นถนน 2 เมตรขึ้นไป โดยแบ่งความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถสำหรับปัญหาแต่ละประเภท ดังนี้ ปัญหาประเภท R1 รถบรรทุกขนาดใหญ่มีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 200 หน่วย รถบรรทุกขนาดกลางมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 100 หน่วย รถบรรทุกขนาดเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 50 หน่วย เรือเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 25 หน่วย ปัญหาประเภท R2 รถบรรทุกขนาดใหญ่มีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 1000 หน่วย รถบรรทุกขนาดกลางมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 500 หน่วย รถบรรทุกขนาดเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 250 หน่วย เรือเล็กมี

ความสามารถในการบรรทุกสินค้า 125 หน่วย ปัญหาประเภท C1 รถบรรทุกขนาดใหญ่มีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 200 หน่วย รถบรรทุกขนาดก ลางมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 100 หน่วย รถบรรทุกขนาดเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 50 หน่วย เรือเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 25 หน่วย ปัญหาประเภท C2 รถบรรทุกขนาดใหญ่มีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 700 หน่วย รถบรรทุกขนาดกลางมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 350 หน่วย รถบรรทุกขนาดเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 175 หน่วย เรือเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 83 หน่วย ปัญหาประเภท RC1 รถบรรทุกขนาดใหญ่มีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 200 หน่วย รถบรรทุกขนาดกลางมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 100 หน่วย รถบรรทุกข นาดเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 50 หน่วย เรือเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 25 หน่วย ปัญหาประเภท RC2 รถบรรทุกขนาดใหญ่มีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 1000 หน่วย รถบรรทุกขนาดกลางมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 500 หน่วย รถบรรทุกขนาดเล็กมีความสามารถในการบ รรทุกสินค้า 250 หน่วย เรือเล็กมีความสามารถในการบรรทุกสินค้า 125 หน่วย

การขนส่งสินค้ากรณีน้ำท่วมในสถานการณ์จริงนั้น เวลาที่ใช้ในการขนส่งจะเพิ่มขึ้นหลายเท่าตัวตามระดับน้ำ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดเวลาในการขนส่งสินค้าตามระดับน้ำ ดังนี้ ระดับน้ำที่สูงจาก พื้นถนน 0.5 เมตร ใช้เวลาเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ 3 เท่า ระดับน้ำที่สูงจากพื้นถนน 1 เมตร ใช้เวลาเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ 4 เท่า ระดับน้ำที่สูงจากพื้นถนน 1.5 เมตร ใช้เวลาเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ 5 เท่า ระดับน้ำที่สูงจากพื้นถนน 2 เมตร ใช้เวลาเพิ่มขึ้นจากสถานการณ์ปกติ 6 เท่า

ตารางที่ 3-7 ตัวอย่างปัญหา VRPTW จำนวน 25 เมือง (ความสามารถบรรทุกสินค้า =100 หน่วย)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการ	กรอบเวลา		เวลาในการ
	X	Y	สินค้า	เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	ให้บริการ
1	70	70	0	0	24	0
2	33	78	20	2	10	1
3	59	52	20	1	12	1
4	10	137	30	1	5	1
5	4	28	10	3	7	1
6	25	26	20	10	17	1
7	86	37	10	12	18	1
8	1	109	10	15	22	1
9	6	135	40	18	22	1
10	32	79	20	1	5	1
11	24	26	20	2	3	1
12	86	36	20	15	18	1
13	95	35	10	19	22	1
14	63	50	10	10	24	1
15	100	106	10	2	6	1
16	99	112	20	5	9	1
17	36	135	10	6	10	1
18	57	59	10	10	12	1
19	8	124	10	11	18	1
20	85	106	20	12	19	1
21	103	69	30	3	5	1
22	109	131	20	8	10	1
23	43	140	10	9	18	1
24	115	134	30	22	24	1
25	98	70	10	5	10	1
26	112	67	10	6	18	1

10. วิเคราะห์ผลการทดลอง

11. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

อุปกรณ์และเครื่องมือการวิจัย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค (Notebook Computer) Core 2 T5550 1.83 GHz. หน่วยความจำ 2.00 Gb. ความจุฮาร์ดดิสก์ 160 Gb.

2. โปรแกรม MATLAB

3. โปรแกรม MS-EXCEL

4. แบบสอบถามจำนวน 1 ชุด แบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป ประกอบด้วยรายละเอียดเกี่ยวกับ ชื่อบริษัท/หน่วยงาน ประเภทหน่วยงาน ประเภทธุรกิจ / อุตสาหกรรม ข้อมูลการอยู่ในพื้นที่ประสบอุทกภัย

ตอนที่ 2 ลักษณะการขนส่งสินค้าภายใต้สภาวการณ์เกิดอุทกภัย ตั้งแต่เมษายน-ธันวาคม พ.ศ. 2554 (กรณีอยู่ในพื้นที่ประสบภัย) ประกอบด้วยข้อมูลเกี่ยวกับ ช่วงเวลาที่หน่วยงานเริ่มได้รับผลกระทบจากสภาวการณ์อุทกภัยจนกระทั่งสิ้นสุด ลักษณะการส่งสินค้าในช่วงประสบอุทกภัย

ตอนที่ 3 ลักษณะการขนส่งสินค้าภายใต้สภาวการณ์เกิดอุทกภัย ตั้งแต่เมษายน-ธันวาคม พ.ศ. 2554 (กรณีไม่อยู่ในพื้นที่ประสบภัย) โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับผลกระทบจากอุทกภัยต่อการขนส่งสินค้า ถึงแม้ว่าบริษัทจะไม่อยู่ในพื้นที่ประสบภัย

ตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การรวบรวมข้อมูลวิจัย

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลของผู้ประกอบการโดยใช้แบบสอบถาม และแบบสอบถามออนไลน์ โดยใช้วิธี ลงพื้นที่โรงงานในนิคมอุตสาหกรรมต่างๆ งานแฟร์ต่างๆ ที่มีผู้ประกอบการจำนวนมาก การส่งแบบสอบถามออนไลน์ผ่าน e-mail และ facebook

2. การใช้ข้อมูลเทียบเคียงจากปัญหา VRPTW

การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม และข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดย ข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม แบ่งออกเป็น 4 ตอน มีรายละเอียดในการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไป โดยใช้สถิติวิเคราะห์ค่าความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percentage)

ตอนที่ 2 ลักษณะการขนส่งสินค้าภายใต้ สภาวการณ์ เกิดอุทกภัย ตั้ง แต่ เมษายน - ธันวาคม พ.ศ. 2554 (กรณีอยู่ในพื้นที่ประสบภัย) โดยใช้สถิติวิเคราะห์ค่าความถี่ (Frequency) ร้อยละ (Percentage) วิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของกลุ่มตัวอย่าง

ตอนที่ 3 ลักษณะการขนส่งสินค้าภายใต้ สภาวการณ์ เกิดอุทกภัย ตั้งแต่ เมษายน - ธันวาคม พ.ศ. 2554 (กรณีไม่อยู่ในพื้นที่ประสบภัย) โดยใช้สถิติวิเคราะห์ค่าความถี่ (Frequency) และร้อยละ (Percentage)

ตอนที่ 4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ใช้การ สังเคราะห์จากข้อคำถามปลายเปิดเพื่อสรุปผลการวิจัย

ส่วนข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลที่ได้จากการประมวลผลโดยใช้ขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นจากงานวิจัย โดยวิธีการจำลองสถานการณ์น้ำท่วม เพื่อหาผลเฉลยเชิงทนทานซึ่งให้ผลเฉลยเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทาง และจำนวนพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า