บทที่ 4

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การพัฒนาแบบจำลองการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าแบบหลายจุดส่งนั้น จะต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ที่มีความซับซ้อนหลายข้อจำกัดด้วยกัน ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการสร้างแบบจำลอง วิธีการในการพิจารณาข้อจำกัดด้านต่างๆ เช่น น้ำหนักบรรทุกของเรือแต่ละลำ ขนาดบรรทุกของเรือแต่ละลำ ขนาดบรรทุกสำหรับตู้คอนเทนเนอร์เย็นของเรือแต่ละลำ อุปสงค์หรืออุปทานตู้คอนเทนเนอร์เปล่าแต่ละท่าเรือ กรอบเวลาในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่า และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ขนส่งแต่ละตลาด เป็นต้น รวมถึงกล่าวถึงรายละเอียดของการสร้างแบบจำลองสถานการณ์การรับจองระวาง

4.1 แบบจำลองคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา

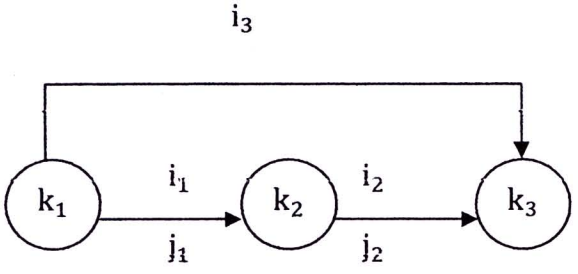
สมมตติฐานของแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์

1) ต้นทุนในการจัดการไม่เปลี่ยนแปลงตามความต้องการในการขนส่ง
2) ความต้องการในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าที่พยากรณ์มีความแน่นอน และถูกต้องแม่นยำ
3) น้ำหนักและรายได้ของตู้คอนเทนเนอร์แต่ละประเภทจะเป็นค่าเฉลี่ยสำหรับแต่ละตลาด
4) ความต้องการตู้คอนเทนเนอร์เปล่าในแต่ละท่าเรือเป็นค่าที่รู้แน่นอน
5) คาบเวลาในการวางแผน คือ 1 สัปดาห์

4.1.1 แบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐาน (Standard Model)

แบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐานจะมีแนวคิดคือ มีตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องการขนส่ง และมีเรือที่ว่างอยู่ แนวคิดของแบบจำลองนี้จะทำการเลือกตู้คอนเทนเนอร์ที่มีค่าระวางสูงใส่ลงในเรือ โดยที่จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ใส่ลงในเรือจะต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไขของความสามารถในการขนส่งของเรือ วัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้คือ เพื่อหากำไรสูงที่สุด

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีโครงสร้างเป็นแบบแบบจำลองการจัดที่นั่งสำหรับผู้โดยสารบนเครื่องบิน (Passenger Mix Model) ซึ่งประกอบไปด้วยจำนวนตู้คอนเทนเนอร์สินค้า ซึ่งจะพิจารณาตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมด 5 ประเภท คือตู้คอนเทนเนอร์ธรรมดา 20 ฟุต ตู้คอนเทนเนอร์ธรรมดา 40 ฟุต ตู้คอนเทนเนอร์เย็น 20 ฟุต ตู้คอนเทนเนอร์เย็น 40 ฟุต และตู้คอนเทนเนอร์สูงพิเศษ 40 ฟุต รวมถึงพิจารณาตู้คอนเทนเนอร์เปล่าที่ทำการขนส่ง โดยพิจารณาจากข้อจำกัดต่างๆ



รูปที่ 4.1 การขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ในแบบจำลอง

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงเส้นทางเดินเรือจากท่าเรือ k_1 ไปยังท่าเรือ k_2 ซึ่งใช้เส้นทางเดินเรือ j_1 และจากท่าเรือ k_2 ไปยังท่าเรือ k_3 ซึ่งใช้เส้นทางเดินเรือ j_2 จะพบว่าการเดินทาง 2 เส้นทาง คือ j_1 และ j_2 นั้นจะก่อให้เกิดตลาดในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ 3 ตลาด คือ i_1, i_2และ i_3

แบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่พัฒนาขึ้น มีรายละเอียดดังนี้

M คือ เซตของตลาดที่มีการให้บริการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ โดยมี m เป็นดัชนี

K คือ เซตของประเภทตู้คอนเทนเนอร์ ได้แก่ ตู้คอนเทนเนอร์ทั่วไปขนาด 20 และ 40 ฟุตและตู้คอนเทนเนอร์สูงพิเศษขนาด 20 ฟุต โดยมี k เป็นดัชนี

K' คือ เป็นสับเซตของเซต K โดยประกอบด้วยตู้คอนเทนเนอร์เย็นขนาด 20 และ 40 ฟุต โดยมี k' เป็นดัชนี

L คือ เซตของขาการเดินทางของเรือ โดยที่มีการกำหนดไว้หมดแล้ว โดยมี l เป็นดัชนี

T คือ เซตของช่วงเวลาย่อยในคาบการวางแผน โดยมี t เป็นดัชนี

δ_l^m มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อขาการเดินทาง l ขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สำหรับตลาด i และมีค่าเป็น 0 ในกรณีอื่น

DWT_l คือ น้ำหนักบรรทุกบนขาการเดินทาง l

η^k คือ เป็นตัวแปรปรับหน่วยตู้คอนเทนเนอร์ให้เป็นหน่วยมาตรฐาน (TEU) เช่น ตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุต จะมีค่าตัวแปรนี้เท่ากับ 2 เพราะตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุต จะเท่ากับตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 20 ฟุต 2 ตู้

N_l คือ ขนาดบรรทุกบนขาการเดินทาง l (TEU)

$N_l^{k'}$ คือ ขนาดบรรทุกของตู้คอนเทนเนอร์เย็นบนขาการเดินทาง l (TEU)

w^{km} คือ น้ำหนักเฉลี่ยของตู้คอนเทนเนอร์สินค้าประเภท k บนตลาด m

d^{km} คือ อุปสงค์ตู้คอนเทนเนอร์สินค้าประเภท k บนตลาด m

l^{km} คือ ตู้คอนเทนเนอร์สินค้าประเภท k ขั้นต่ำที่จำเป็นต้องขนส่งบนตลาด m

r^{km} คือ รายได้สุทธิของการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าประเภท k บนตลาด m (รายได้จากค่าระวาง – ต้นทุนในการเคลื่อนย้ายตู้)

c_l^k คือ ต้นทุนในการเคลื่อนย้ายตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท k ด้วยขาการเดินทาง l

c^{kp} คือ ต้นทุนในการเคลื่อนย้ายตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท k ที่ขาดของท่าเรือ p

λ_l^{pt} มีค่าเท่ากับ 1 (–1) เมื่อขาการเดินทาง l เข้าสู่ (ออกจาก) ท่าเรือ p ในช่วงเวลา t และมีค่าเท่ากับ 0 เมื่อไม่มีขาการเดินทางใดเดินทางเข้า สู่ท่าเรือนั้น หรือเดินทางออกจากท่าเรือนั้น

Y^{kpt} คือ อุปสงค์ตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท k ที่ท่าเรือ p ในช่วงเวลา t เป็นค่าบวก (ลบ) เมื่อต้องการตู้ (มีตู้เหลือ)

w^k คือ น้ำหนักของตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท k

x^{km} คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์สินค้าประเภท k ที่ทำขนส่งของตลาด i (TEU)

y_l^k คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท k ที่ขนส่งด้วยขาการขนส่งสินค้า l (TEU)

s^{kpt} คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท k ที่ขาดที่ท่าเรือ p ในช่วงเวลา t (TEU)

$$Max \quad z = \sum_{m\in M}\sum_{k\in K} r^{km} x^{km} - \sum_{l\in L}\sum_{k\in K} c_l^k y_i^k - \sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{k\in K} c^{kp} s^{kpt} \qquad (4.1)$$

Subject to

$$\sum_{m\in M}\sum_{k\in K} \delta_l^m w^{km} x^{km} + \sum_{k\in K} w^k y_l^k \le DWT_l \qquad \forall l \in L \qquad (4.2)$$

$$\sum_{m\in M}\sum_{k\in K} \eta^k \delta_l^m x^{km} + \sum_{k\in K} \eta^k y_l^k \le N_l \qquad \forall l \in L \qquad (4.3)$$

$$\sum_{m\in M} \delta_l^m x^{km} \le N_l^k \qquad \forall l \in L, \forall k \in K' \qquad (4.4)$$

$$\sum_{l\in L} \lambda_l^{pt} y_l^k + s^{kpt} \ge Y^{kpt} \qquad \forall k \in K, \forall p \in P, \forall t \in T \qquad (4.5)$$

$$x^{km} \ge l^{km} \qquad \forall k \in K, \forall m \in M \qquad (4.6)$$

$$x^{km} \le d^{km} \qquad \forall k \in K, \forall m \in M \qquad (4.7)$$

$$x^{km} \ge 0 \qquad \forall k \in K, \forall m \in M \qquad (4.8)$$

$$y_l^k \ge 0 \qquad \forall k \in K, \forall l \in L \qquad (4.9)$$

$$s^{kpt} \ge 0 \qquad \forall k \in K, \forall p \in P, \forall t \in T \qquad (4.10)$$

วัตถุประสงค์ของแบบจำลอง (4.1) คือ เพื่อหารายได้ที่เกิดจากการขนส่งที่มากที่สุด โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้ ได้แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ซึ่งในส่วนที่ 1 $\sum_{m\in M}\sum_{k\in K} r^{km}x^{km}$ นั้นเป็นรายได้สุทธิจากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ โดยส่วนที่ 2 $\sum_{l\in L}\sum_{k\in K} c_l^k y_l^k$ และส่วนที่ 3 $\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{k\in K} c^{kp}s^{kpt}$ เป็นต้นทุนในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่า จากสมการวัตถุประสงค์ของแบบจำลองจะพบว่าไม่มีส่วนของการคิดต้นทุนค่าบริหารจัดการ เพราะเรือมีลักษณะการเดินเรือที่วนซ้ำ อสมการเงื่อนไขที่ (4.2) เป็นเงื่อนไขควบคุมน้ำหนักบรรทุก อสมการเงื่อนไขที่ (4.3) เพื่อควบคุมขนาดบรรทุก อสมการเงื่อนไขที่ (4.4) เพื่อควบคุมขนาดบรรทุกของตู้คอนเทนเนอร์เย็น อสมการเงื่อนไขที่ (4.5) เพื่อควบคุมจำนวนการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่า อสมการเงื่อนไขที่ (4.6) เพื่อควบคุมปริมาณการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจะต้องมากกว่าปริมาณการส่งขั้นต่ำ อสมการเงื่อนไขที่ (4.7) เพื่อควบคุมปริมาณการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจะต้องไม่เกินความต้องการในการขนส่งสินค้า อสมการเงื่อนไขที่ (4.8), (4.9) และ (4.10) เพื่อควบคุมว่าตัวแปรไม่เป็นค่าติดลบ

จากแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐานจะพบว่าอสมการเงื่อนไขที่ (4.6) และ (4.7) เป็นอสมการเงื่อนไขที่มีจำนวนขึ้นกับจำนวนตลาด ซึ่งจำนวนตลาดจะมีรูปแบบการเพิ่มขึ้นแบบเอกซ์โปเนนเชียล ดังนั้นหากข้อมูลมีขนาดใหญ่จะทำให้แบบจำลองมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย และจะมีผลต่อการใช้ทรัพยากร และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอเสนอแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าแบบเส้นทาง ซึ่งมีโครงสร้างของแบบจำลองที่กระชับกว่า และเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคกำเนิดแถวเพื่อลดจำนวนอสมการเงื่อนไขชุดดังกล่าว

4.1.2 แบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบเส้นทาง (Key-Path Model)

หลักการของแบบจำลองแบบเส้นทาง คือ การมีตู้คอนเทนเนอร์อยู่บนเรืออยู่แล้ว ถ้าในกรณีที่ตู้คอนเทนเนอร์มีมากเกินกว่าความสามารถในการขนส่งของเรือ ก็จำเป็นที่จะต้องมีการนำตู้คอนเทนเนอร์ออกจากเรือ โดยการเลือกตู้คอนเทนเนอร์ออกจากเรือนั้นจะเลือกตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำรายได้น้อยที่สุดออกจากเรือ ซึ่งจะต่างจากหลักการของแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐานที่เป็นการเลือกตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำรายได้มากที่สุดขึ้นเรือ โดยมี

วัตถุประสงค์เพื่อหากำไรสูงที่สุด รูปแบบการสร้างแบบจำลองแบบเส้นทางนี้จะเป็นประโยชน์อย่างมากหากสามารถใช้งานร่วมกับเทคนิคการกำเนิดแถวในการแก้ปัญหา โดยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการแก้ปัญหาของแบบจำลองได้ ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนถัดจากนี้

ผู้วิจัยขอนำเสนอตัวแปรเพิ่มเติม ดังนี้

z^{km} คือ เป็นจำนวนตู้คอนเทนเนอร์สินค้าประเภท k บนตลาด m ที่ถูกเลือกออกจากเรือ

$\tilde{R}$ คือ รายได้ทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีข้อจำกัดใดๆ

$\widetilde{DWT}$ คือ น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นบนขาการเดินทางเมื่อไม่มีข้อจำกัดใดๆ

$\tilde{N}_l$ คือ ขนาดบรรทุกทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นบนขาการเดินทางเมื่อไม่มีข้อจำกัดใดๆ

$\tilde{N}_l^k$ คือ ขนาดบรรทุกของตู้คอนเทนเนอร์เย็นทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นบนขา การเดินทางเมื่อไม่มีข้อจำกัดใดๆ

$$x^{km} = d^{km} - z^{km} \tag{4.11}$$

$$\tilde{R} = \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} r^{km} d^{km} \tag{4.12}$$

$$\widetilde{DWT_l} = \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \delta_l^m w^{km} d^{km} \tag{4.13}$$

$$\widetilde{N}_l = \sum_{m \in M} \sum_{k \in K} \eta^k \delta_l^m d^{km} \tag{4.14}$$

$$\tilde{N}_l^k = \sum_{m \in M} \delta_l^m d^{km} \qquad \forall k \in K' \tag{4.15}$$

จากสมการที่ (4.11) ถึง (4.15) จะทำให้ผู้วิจัยสามารถพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบเส้นทางได้ ดังนี้

$$Min \qquad \widetilde{z} = \sum_{m\in M}\sum_{k\in K} r^{km} z^{km} + \sum_{l\in L}\sum_{k\in K} c_l^k y_l^k + \sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{k\in K} c^{kp} s^{kpt} \qquad (4.16)$$

Subject to

$$\sum_{m\in M}\sum_{k\in K}\delta_l^m w^{km} z^{km} - \sum_{k\in K} w^k y_l^k \geq D\widetilde{W}T_l - DWT_l \qquad \forall l \in L \qquad (4.17)$$

$$\sum_{m\in M}\sum_{k\in K}\eta^k \delta_l^m z^{km} - \sum_{k\in K}\eta^k y_l^k \geq \widetilde{N}_l - N_l \qquad \forall l \in L \qquad (4.18)$$

$$\sum_{m\in M}\delta_l^m z^{km} \geq \widetilde{N}_l^k - N_l^k \qquad \forall l \in L, \forall k \in K' \qquad (4.19)$$

$$\sum_{l\in L}\lambda_l^{kpt} y_l^k + s^{kpt} \geq Y^{kpt} \qquad \forall k \in K, \forall p \in P, \forall t \in T \qquad (4.20)$$

$$z^{km} \leq d^{km} - l^{km} \qquad \forall k \in K, \forall m \in M \qquad (4.21)$$

$$z^{km} \leq d^{km} \qquad \forall k \in K, \forall m \in M \qquad (4.22)$$

$$z^{km} \geq 0 \qquad \forall k \in K, \forall m \in M \qquad (4.23)$$

$$y_l^k \geq 0 \qquad \forall k \in K, \forall l \in L \qquad (4.24)$$

$$s^{kpt} \geq 0 \qquad \forall k \in K, \forall p \in P, \forall t \in T \qquad (4.25)$$

โดยที่วัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้จะเปลี่ยนจากการหากำไรสูงสุดเป็นการหาต้นทุนที่ต่ำสุด โดยต้นทุนจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 $\sum_{m\in M}\sum_{k\in K} r^{km} z^{km}$ เป็นต้นทุนจากการที่ต้องเอาตู้คอนเทนเนอร์ที่เกินความสามารถในการให้บริการขนส่งออกจากเรือ ส่วนที่ 2 $\sum_{l\in L}\sum_{k\in K} c_l^k y_l^k$ และส่วนที่ 3 $\sum_{t\in T}\sum_{p\in P}\sum_{k\in K} c^{kp} s^{kpt}$ เป็นต้นทุนในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่า จากสมการวัตถุประสงค์ของแบบจำลองจะพบว่าไม่มีส่วนของการคิดต้นทุนค่าบริหารจัดการ เพราะเรือมีลักษณะการเดินเรือที่วนซ้ำซึ่งอสมการเงื่อนไขที่ (4.17), (4.18)และ (4.19) จะมีการประยุกต์อสมการที่ (4.13), (4.14)และ (4.15) เข้าไปที่ฝั่งขวาของแต่ละอสมการเงื่อนไขตามลำดับ โดยฝั่งขวาของอสมการเงื่อนไขที่ (4.17) จะกลายเป็นน้ำหนักบรรทุกบนขาการเดินทางหักออกจากน้ำหนักบรรทุกทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีเงื่อนไขใดๆ และอสมการเงื่อนไขที่ (4.18) และ (4.19) ก็จะกลายเป็นขนาด

บรรทุกทั้งหมดบนขาการเดินทางหักออกจากขนาดบรรทุกทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นเมื่อไม่มีเงื่อนไขใดๆ สำหรับตู้คอนเทนเนอร์ทุกประเภท และตู้คอนเทนเนอร์เย็นตามลำดับ และอสมการเงื่อนไขที่ (4.21) จะกลายเป็นการควบคุมขนาดบรรทุกที่จะทำการดึงออก แต่สำหรับอสมการเงื่อนไขอื่นที่เหลือจะยังคงเดิม

จากอสมการเงื่อนไขที่ (4.21) และ (4.22) จะพบทั้ง 2 อสมการนี้จะมีส่วนที่ซ้อนทับกันอยู่ โดยที่อสมการเงื่อนไขที่ (4.21) นั้นครอบคลุมเงื่อนไขของอสมการเงื่อนไขที่ (4.22) ได้ด้วย ทำให้แบบจำลองที่ผู้วิจัยนำเสนอนี้ไม่จำเป็นต้องมีอสมการเงื่อนไขที่ (4.22) ในอสมการเงื่อนไขแบบจำลอง ดังนั้นแบบจำลองที่ผู้วิจัยนำเสนอจะมีขนาดของแบบจำลองเล็กกว่าแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่มีสมการวัตถุประสงค์เป็นการหารายได้มากที่สุดที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน

จากต้นทุนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากสมการวัตถุประสงค์ จะสามารถนำต้นทุนดังกล่าวมาหากำไรสุทธิได้จากสมการเงื่อนไขที่ (4.26) ดังนี้

$$z = \tilde{R} - \tilde{z} \tag{4.26}$$

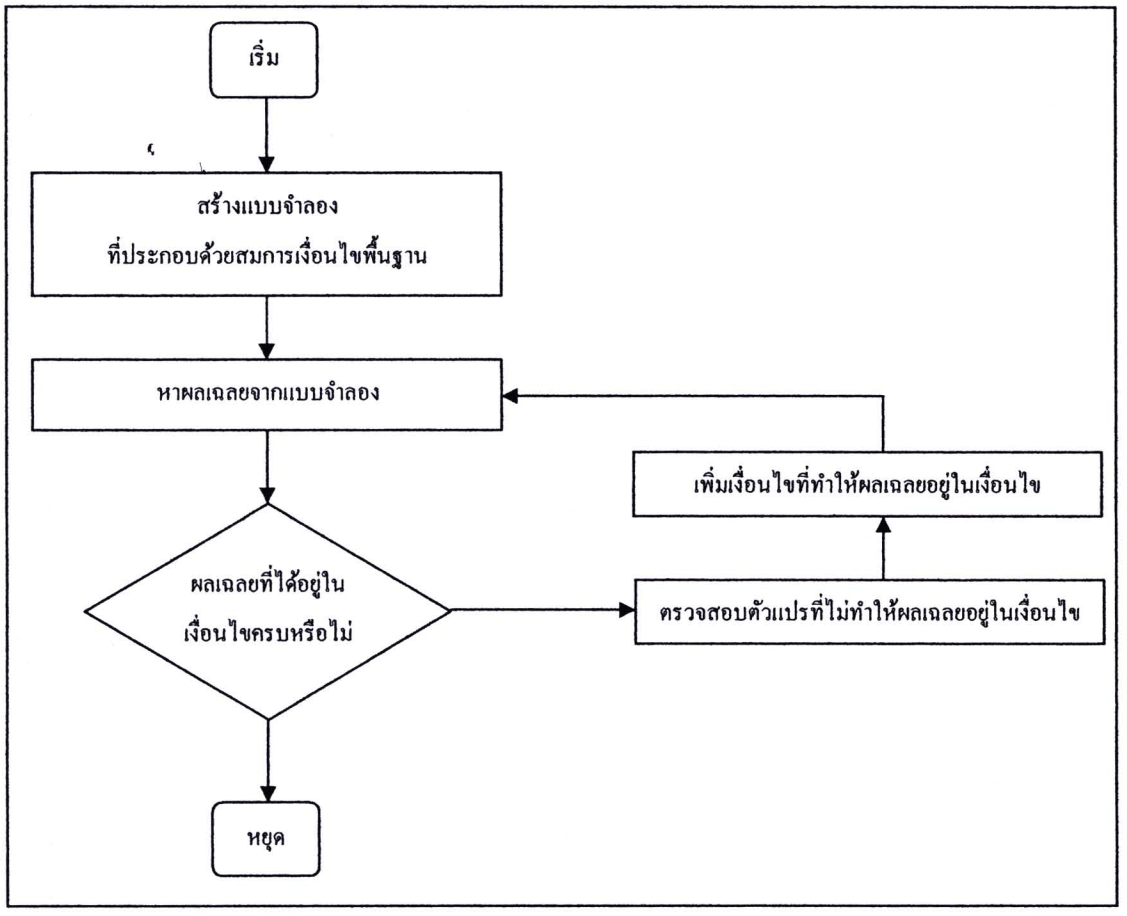
4.2 การแก้ปัญหาด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact Solution Method)

วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนี้จำเป็นต้องใช้ซอฟแวร์การหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimization Software) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยงานวิจัยชิ้นนี้จะทำแบบการใช้ไลบรารีที่เรียกใช้ได้ (Callable Library) ซึ่งเป็นการสร้างโปรแกรมเฉพาะของปัญหาเนื่องจากเป็นปัญหาขนาดใหญ่ยากแก่การป้อนข้อมูลเข้าคอมพิวเตอร์โดยตรงด้วยมือ และใช้ซอฟแวร์การหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ILOG CPLEX เป็นเครื่องมือสำหรับการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

อย่างไรก็ดี ปัญหาของงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการแก้ปัญหาด้วยกำหนดการเชิงจำนวนจริง (Linear Programming: LP) ซึ่งปัญหาที่เราทำนั้นมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ดังนั้นการแก้ปัญหาแบบจำลองขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่นาน จากการที่เราได้พัฒนาแบบจำลองแบบเป็นแบบเส้นทาง (Key-Path) ขึ้นมา ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงเสนอการใช้เทคนิคการกำเนิดแถวร่วมกับแบบจำลองแบบเส้นทางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา

4.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการแก้ปัญหาด้วยวิธีการกำเนิดแถว (Row Generation)

เนื่องจากลักษณะของแบบจำลองเป็นแบบจำลองขนาดใหญ่ และมีอสมการเงื่อนไขหลายสมการที่ไม่จำเป็นต้องใส่ลงในแบบจำลองแต่ก็ให้ผลเฉลยเหมือนกับการใส่ทุกอสมการเงื่อนไขลงในแบบจำลอง ดังนี้ผู้วิจัยจึงพิจารณาใช้เทคนิคการกำเนิดแถวมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนเทคนิคการกำเนิดแถว

วิธีการแก้ปัญหาการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดด้วยเทคนิคการกำเนิดแถวที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้มีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

1. สร้างแบบจำลองที่ประกอบด้วยอสมการเงื่อนไขพื้นฐาน
2. แก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยจากแบบจำลอง
3. ตรวจสอบว่าผลเฉลยที่ได้อยู่ในเงื่อนไขครบหรือไม่

4. ถ้าผลเฉลยอยู่ในเงื่อนไขครบหมดแล้ว จะหยุดการทำงาน แต่หากยังมีผลเฉลยที่ละเมิดเงื่อนไขจะต้องทำการเพิ่มอสมการเงื่อนไขนั้นๆ ลงในแบบจำลอง และทำการแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยใหม่

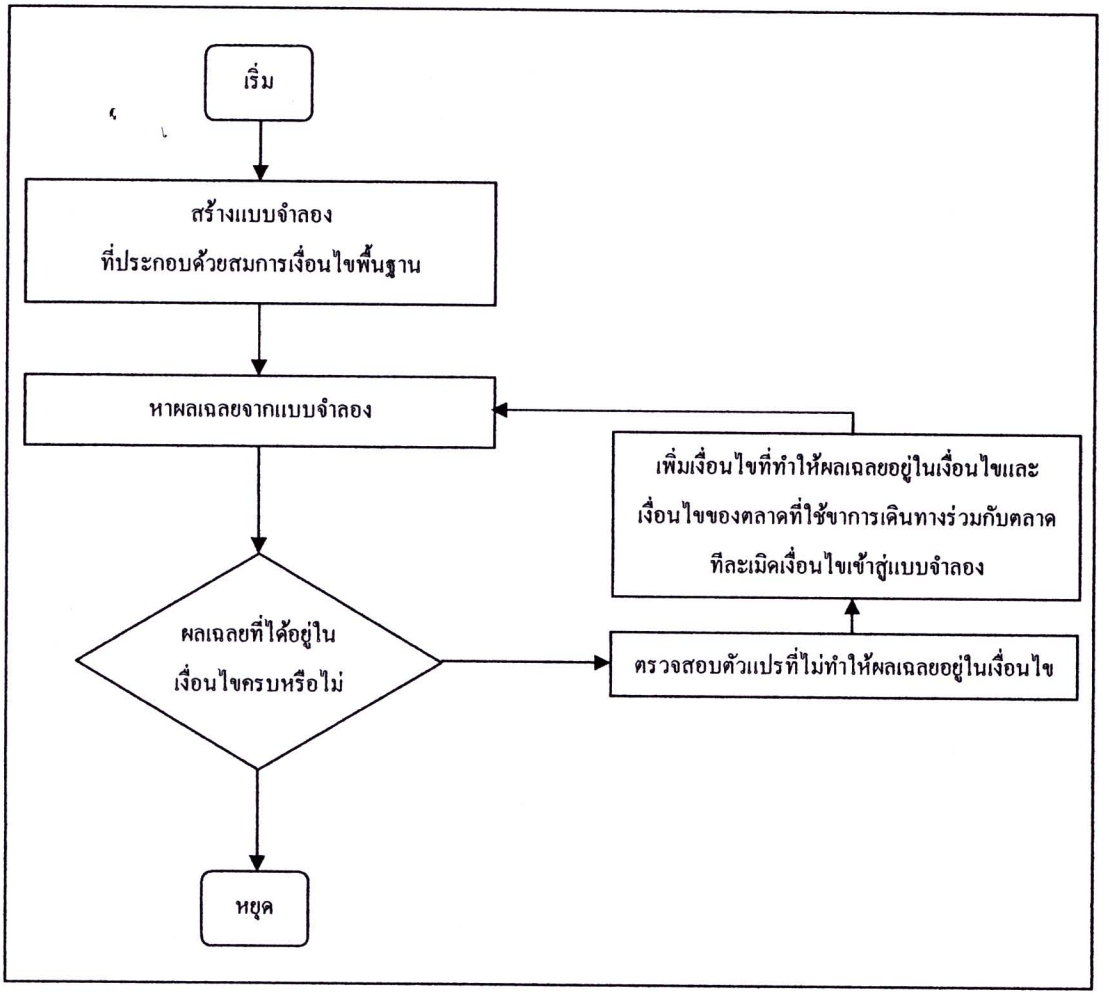
5. วนกลับไปที่ข้อ 3 และ 4 เพื่อตรวจสอบว่าผลเฉลยที่ได้อยู่ภายใต้เงื่อนไขครบหรือไม่ และเพิ่มอสมการเงื่อนไขที่ยังมีการฝ่าฝืนอยู่ลงในแบบจำลอง ทำจนกว่าจะไม่มีผลเฉลยใดฝ่าฝืนสมการเงื่อนไข จึงจะหยุด

จากเทคนิคการกำเนิดแถวที่กล่าวมา พบว่าหากผลเฉลยของตลาดใดมีการละเมิดอสมการเงื่อนไข หมายถึงขาการเดินทางที่ตลาดนั้นใช้ในการขนส่งนั้นมีการขนส่งเกินความสามารถในการให้บริการ จึงต้องมีการดึงตู้คอนเทนเนอร์ออกจากการขนส่ง ดังนั้นเมื่อมีการควบคุมไม่ให้ตลาดที่มีการดึงออกอยู่ในเงื่อนไขแล้ว จะทำให้ขาการเดินทางนั้นต้องไปดึงตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องการขนส่งออกจากตลาดอื่นแทน ซึ่งจะทำให้มีตลาดที่มีการดึงตู้คอนเทนเนอร์ออกจากการขนส่งใหม่มีโอกาสจะละเมิดสมการเงื่อนไข ทำให้ต้องมีการสร้างเงื่อนไขเพิ่มเข้าสู่แบบจำลองอีก ดังนั้นจะทำให้มีจำนวนรอบในการสร้างอสมการเงื่อนไขเข้าสู่แบบจำลองมีจำนวนมาก ซึ่งจะส่งผลถึงเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะมากตามไปด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอวิธีการสร้างอสมการเงื่อนไขกลับเข้าไปในแบบจำลองอีกแบบหนึ่ง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มอสมการเงื่อนไขทั้งหมดที่มีความสัมพันธ์กับผลเฉลยที่ละเมิดอสมการเงื่อนไขในรอบแรก ทำให้จำนวนอสมการเงื่อนไขที่ใส่เข้าไปในแบบจำลองอาจมีจำนวนมากกว่าจำนวนอสมการเงื่อนไขที่จำเป็น ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยขอเรียกแทนเทคนิคการสร้างแถวแบบนี้ว่าเทคนิคการกำเนิดแถวแบบที่ 2 ซึ่งจะทำการสร้างอสมการเข้าสู่แบบจำลองในแต่ละรอบโดยมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างแบบจำลองที่ประกอบด้วยอสมการเงื่อนไขพื้นฐาน
2. แก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยจากแบบจำลอง
3. ตรวจสอบว่าผลเฉลยที่ได้อยู่ในเงื่อนไขครบหรือไม่
4. ถ้าผลเฉลยอยู่ในเงื่อนไขครบหมดแล้ว จะหยุดการทำงาน แต่หากยังมีผลเฉลยที่ละเมิดเงื่อนไข จะต้องทำการเพิ่มอสมการเงื่อนไขนั้นๆ ลงในแบบจำลอง โดยการเพิ่มอสมการเงื่อนไขลงในแบบจำลองจะทำโดยตรวจสอบก่อนว่าผลเฉลยนั้นตัวที่ละเมิดเงื่อนไขมีการใช้ขาการเดินทาง

ร่วมกับตลาดใดบ้าง เราจะทำการเพิ่มอสมการเงื่อนไขของตลาดที่ใช้ขาการเดินทางร่วมกับตลาดที่มีการละเมิดเงื่อนไขทั้งหมดเข้าสู่แบบจำลอง และจึงทำการแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยใหม่

5. วนกลับไปที่ข้อ 3 และ 4 เพื่อตรวจสอบว่าผลเฉลยที่ได้อยู่ภายใต้ไขครบหรือไม่ และเพิ่มอสมการเงื่อนไขที่ยังมีการฝ่าฝืนอยู่ลงในแบบจำลอง ทำจนกว่าจะไม่มีผลเฉลยใดฝ่าฝืนสมการเงื่อนไข จึงจะหยุด



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนเทคนิคการกำเนิดแถวแบบที่ 2

4.4 การจัดการรับจองระวาง

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าทั้ง 2 รูปแบบที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะพบว่าสมมติฐานของแบบจำลองทั้ง 2 แบบนั้น จะมีสมมติฐานที่ว่าความต้องการในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์มาพร้อมกันทั้งหมด แต่ในความเป็นจริงแล้วความ

ต้องการการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าไม่ได้มาพร้อมกันทั้งหมด งานวิจัยนี้จึงมีการสร้างแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation) เพื่อจำลองการตัดสินใจในการรับจองระวางของสายเรือ จากที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 วิธีการรับจองระวางที่งานวิจัยนี้สนใจคือ การรับจองระวางจากราคาประมูล (Bid Pricing) ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการทำแบบจำลองสถานการณ์ เพื่อเปรียบเทียบผลจากการรับจองระวางระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้า และผลการรับจองระวางจากแบบจำลองสถานการณ์

4.4.1 การรับจองระวางจากราคาประมูล (Bid Pricing)

จะรับจองระวางจากราคาประมูลมีหลักการคือ หากรายได้ที่เกิดจากการรับจองระวางมากกว่าราคาประมูล ซึ่งเทียบได้กับทฤษฎีออพติไมเซชัน (Optimization) คือเมื่อราคามากกว่าค่าใช้จ่ายที่ลดลง (Reduced Cost) จะทำการรับจองระวางนั้นทันที โดยจะพิจารณาคู่กับจำนวนระวางที่ยังเหลือว่างอยู่ในแต่ละขาการเดินทาง

การคำนวณหาราคาประมูลจะหาได้จากการแก้ปัญหาแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ และนำราคาเงา (Shadow Pricc) ที่ได้จากอสมการเงื่อนไขนั้นมาทำการหาราคาประมูล

ราคาเงา หมายถึงมูลค่าของคำตอบ (Objective Function Value) ที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าด้านขวาของอสมการเงื่อนไข (Right Hand Side) 1 หน่วย

โดยผู้วิจัยได้กำหนดตัวแปรเพื่อแสดงราคาเงาของอสมการแต่ละชุด ดังนี้

π_l คือ ราคาเงาของอสมการเงื่อนไขชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่ง

σ_l คือ ราคาเงาของอสมการเงื่อนไขชุดควบคุมน้ำหนักบนเรือในการขนส่ง

μ_l คือ ราคาเงาของอสมการเงื่อนไขชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เย็นในการขนส่ง

α_l คือ ราคาเงาของอสมการเงื่อนไขชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่งขั้นต่ำ

β_l คือ ราคาเงาของอสมการเงื่อนไขชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่ง

ราคาประมูลที่คิดจากการแก้ปัญหาของแบบจำลองจะสนใจเพียงอสมการเงื่อนไขชุดที่ควบคุมน้ำหนักในการขนส่ง จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่ง และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เย็นในการขนส่งเท่านั้นที่นำมาพิจารณาในการคิดราคาประมูล

กรณีที่การขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าบางตลาดที่มีการขนส่งโดยใช้ขาการเดินทางหลายขา ราคาประมูลจะได้จากผลรวมของราคาเงาของทุกขาการเดินทางที่ใช้ในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าสำหรับตลาดนั้นๆ

โดยที่เงื่อนไขในการรับจองตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจะมีการรับจองได้นั้นก็ต่อเมื่อตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำการจองเข้าเงื่อนไขดังต่อไปนี้

4.4.1.1 การหาราคาประมูลจากแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐาน

1. ราคาประมูลของการรับจองตู้คอนเทนเนอร์แบบธรรมดา

$$\bar{c}^{km} = r^{km} - \sum_{l \in L} \delta_{\mathrm{l}}^{\mathrm{m}} (\eta^{k} \pi_{l} + w^{km} \sigma_{l}) \tag{4.27}$$

สมการที่ (4.27) คือสมการของสมการของรายได้ที่เพิ่มขึ้น (Marginal Profit) ของแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐานสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ธรรมดา

จากทฤษฎีออพติไมเซชัน คือจะมีการรับจองก็ต่อเมื่อรายได้มากกว่าผลรวมของราคาเงา

$$\sum_{l \in L} \delta_{\mathrm{l}}^{\mathrm{m}} (\eta^{k} \pi_{l} + w^{km} \sigma_{l}) \tag{4.28}$$

โดยสมการ (4.28) คือผลรวมของราคาเงา หรือราคาประมูลสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ธรรมดา ซึ่งรวมถึงตู้คอนเทนเนอร์แห้ง 20 ฟุต ตู้คอนเทนเนอร์แห้ง 40 ฟุต และตู้คอนเทนเนอร์สูงพิเศษ 40 ฟุต โดยที่ราคาประมูลสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ธรรมดานี้จะประกอบด้วยราคาเงาที่มาจากอสมการชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ขนส่ง และชุดอสมการควบคุมน้ำหนักที่ขนส่งบนเรือ

การรับจองระวางด้วยวิธีนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ รายได้ที่เกิดจากการรับจองระวางมากกว่าราคาประมูล

$$r^{km} > \sum_{l \in L} \delta_l^m (\eta^k \pi_l + w^{km} \sigma_l) \qquad (4.28)$$

โดยในการรับจองระวางจะต้องพิจารณาทั้งราคาประมูลควบคู่ไปกับจำนวนระวางที่ยังเหลือว่างอยู่ในแต่ละขาการเดินทางด้วย

2. ราคาประมูลของการรับจองตู้คอนเทนเนอร์แบบเย็น

$$\bar{c}^{km} = r^{km} - \sum_{l \in L} \delta_l^m (\eta^k \pi_l + w^{km} \sigma_l + \mu^{km}) \qquad (4.29)$$

สมการที่ (4.29) คือสมการของรายได้ที่เพิ่มขึ้น (Marginal Profit) ของแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐานสำหรับตู้คอนเทนเนอร์เย็น

จากทฤษฎีออพติไมเซชัน คือจะมีการรับจองก็ต่อเมื่อรายได้มากกว่าผลรวมของราคาเงา

$$\sum_{l \in L} \delta_l^m (\eta^k \pi_l + w^{km} \sigma_l + \mu^{km}) \qquad (4.30)$$

โดยสมการ (4.30) คือผลรวมของราคาเงา หรือราคาประมูลสำหรับตู้คอนเทนเนอร์เย็น โดยที่ราคาประมูลสำหรับตู้คอนเทนเนอร์เย็น ซึ่งจะประกอบด้วยราคาเงาที่มาจากอสมการชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ขนส่ง อสมการชุดควบคุมน้ำหนักที่ขนส่ง และอสมการชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เย็นบนเรือ

ซึ่งจะเห็นว่ามีการคิดราคาประมูลของการรับจองตู้คอนเทนเนอร์แบบเย็น จะมีการนำนำราคาเงาของอสมการเงื่อนไขชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เย็นบนเรือเข้ามาร่วมด้วย

การรับจองระวางด้วยวิธีนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ รายได้ที่เกิดจากการรับจองระวางมากกว่าราคาประมูล

$$r^{lm} > \sum_{l \in L} \delta_l^m (\eta^t \pi_l + w^{lm} \sigma_l + \mu^{lm}) \qquad (4.31)$$

โดยในการรับจองระวางจะต้องพิจารณาทั้งราคาประมูลควบคู่ไปกับจำนวนระวางที่ยังเหลือว่างอยู่ในแต่ละขาการเดินทางด้วย

และราคาเงาที่ใช้จะต้องมีการปรับให้มีความทันสมัยอยู่เสมอ ในงานวิจัยนี้จะมีการรับจองระวางล่วงหน้าได้ 4 สัปดาห์ โดยจะมีการปรับค่าราคาเงาเป็นรายสัปดาห์สำหรับ 3 สัปดาห์แรก และปรับค่าราคาเงาเป็นรายวันสำหรับสัปดาห์สุดท้าย

การรับจองระวางมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) นำแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์มาทำการหาผลเฉลย

2) นำราคาเงาที่ได้จากการแก้ปัญหาแบบจำลองมาคำนวณหาราคาประมูลสำหรับการรับจองระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ในแต่ละตลาด

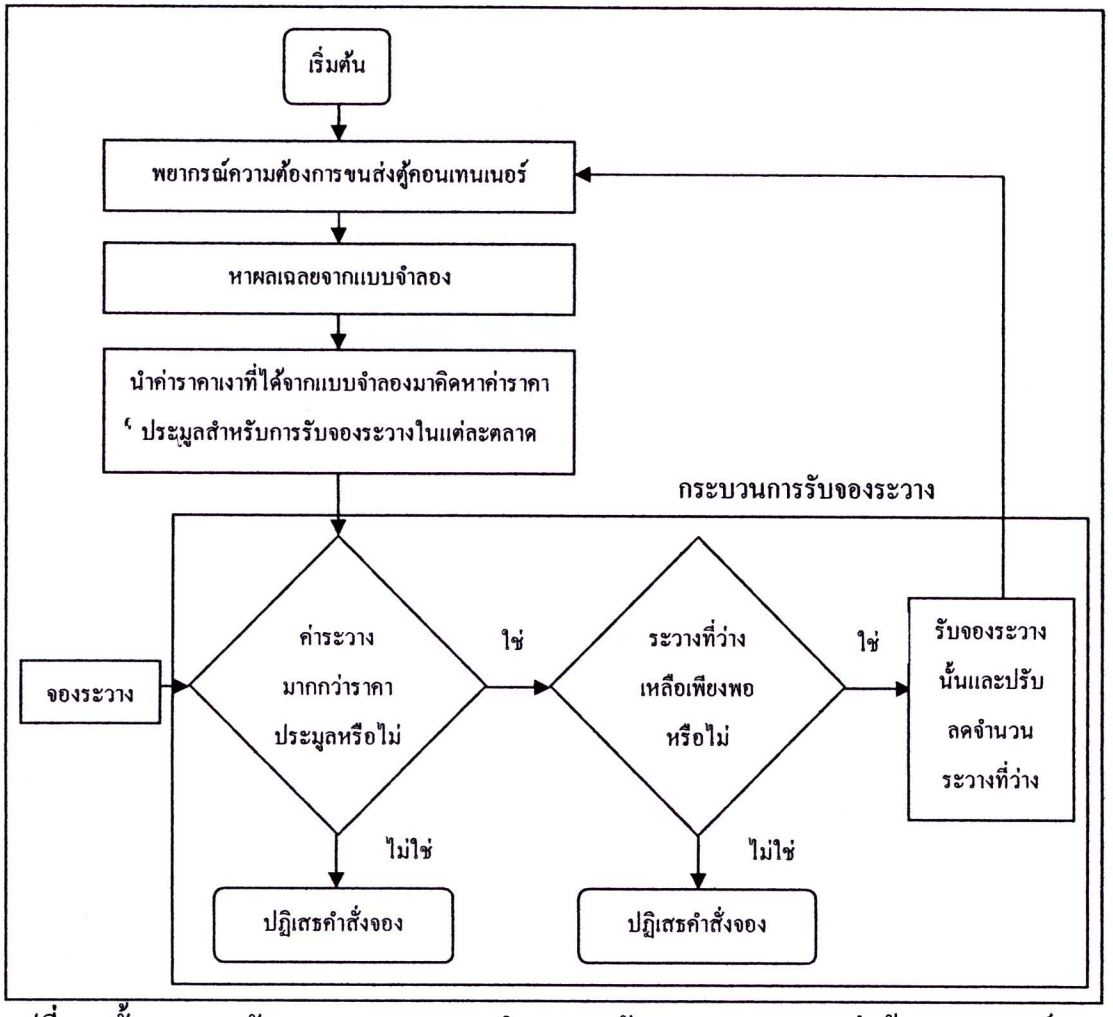
3) เมื่อมีคำสั่งจองระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เข้ามา จะตรวจสอบว่าราคาค่าระวางของตู้คอนเทนเนอร์ที่ทำการจองเข้ามานั้นมีค่ามากกว่าราคาประมูลหรือไม่ หากราคาค่าระวางน้อยกว่าหรือเท่ากับราคาประมูล จะปฏิเสธคำสั่งจองนั้นทันที

4) หากราคาค่าระวางมากกว่าราคาประมูล จะตรวจสอบต่อว่ายังมีระวางที่ว่างเหลือเพียงพอหรือไม่ หากระวางที่ว่างเหลือไม่เพียงพอ จะทำการปฏิเสธคำสั่งจองนั้นทันที

5) หากระวางที่ว่างยังเหลือเพียงพอกับความต้องการการขนส่ง จะรับการจองระวางการขนส่งนั้น และระบบจะปรับลดจำนวนระวางที่ว่างลง

6) ทำการหาผลเฉลยด้วยแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ใหม่ เพื่อปรับค่าราคาเงาให้มีความทันสมัย

ผู้วิจัยขอสรุปขั้นตอนการรับจองระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ เป็นผังงานดังนี้



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการรับจองระวางจากแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐาน

4.4.1.2 การหาราคาประมูลจากแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบเส้นทาง

1. ราคาประมูลของการรับจองตู้คอนเทนเนอร์แบบธรรมดา

$$\bar{c}^{km} = r^{km} - \sum_{l \in L} \delta_l^m (\eta^t \pi_l + w^{km} \sigma_l) \qquad (4.32)$$

สมการที่ (4.32) คือสมการของค่าใช้จ่ายที่ลดลง (Reduced Cost) ของแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐานสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ธรรมดา

จากทฤษฎีออพติไมเซชัน คือจะมีการรับจองก็ต่อเมื่อรายได้น้อยกว่าผลรวมของราคาเงา ซึ่งเมื่อทำการตีความการตอบรับของตัวแปรดึงออก จะหมายถึงการปฏิเสธ ดังนั้นเมื่อรายได้น้อยกว่าผลรวมของราคาเงาจะทำการปฏิเสธการจองระวาง และทำการรับจองระวางก็ต่อเมื่อรายได้มากกว่าผลรวมของราคาเงา

$$\sum_{l \in L} \delta_1^{\mathrm{m}} (\eta^k \pi_l + w^{km} \sigma_l) \tag{4.33}$$

โดยสมการ (4.33) คือผลรวมของราคาเงา หรือราคาประมูลสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ธรรมดา ซึ่งรวมถึงตู้คอนเทนเนอร์แห้ง 20 ฟุต ตู้คอนเทนเนอร์แห้ง 40 ฟุต และตู้คอนเทนเนอร์สูงพิเศษ 40 ฟุต โดยที่ราคาประมูลสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ธรรมดานี้จะประกอบด้วยราคาเงาที่มาจากอสมการชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ขนส่ง และชุดอสมการควบคุมน้ำหนักที่ขนส่งบนเรือ

ดังนั้นการรับจองระวางจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ รายได้ที่เกิดจากการรับจองระวางมากกว่าราคาประมูล

$$r^{km} \; > \; \sum_{l \in L} \delta_1^{\mathrm{m}} (\eta^k \pi_l + w^{km} \sigma_l) \tag{4.34}$$

โดยในการรับจองระวางจะต้องพิจารณาทั้งราคาประมูลควบคู่ไปกับจำนวนระวางที่ยังเหลือว่างอยู่ในแต่ละขาการเดินทางด้วย

2. ราคาประมูลของการรับจองตู้คอนเทนเนอร์แบบเย็น

$$\bar{c}^{km} \; = \; r^{km} - \sum_{l \in L} \delta_1^{\mathrm{m}} (\eta^k \pi_l + w^{km} \sigma_l + \mu^{km}) \tag{4.35}$$

สมการที่ (4.32) คือสมการของค่าใช้จ่ายที่ลดลง (Reduced Cost) ของแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบมาตรฐานสำหรับตู้คอนเทนเนอร์ธรรมดา

จากทฤษฎีออพติไมเซชัน คือจะมีการรับจองก็ต่อเมื่อรายได้น้อยกว่าผลรวมของราคาเงา ซึ่งเมื่อทำการตีความการตอบรับของตัวแปรดึงออก จะหมายถึงการปฏิเสธ ดังนั้นเมื่อรายได้น้อยกว่าผลรวมของราคาเงาจะทำการปฏิเสธการจองระวาง และทำการรับจองระวางก็ต่อเมื่อรายได้มากกว่าผลรวมของราคาเงา

$$\sum_{l \in L} \delta_l^m (\eta^k \pi_l + w^{km} \sigma_l + \mu^{km}) \qquad (4.36)$$

โดยสมการ (4.36) คือผลรวมของราคาเงา หรือราคาประมูลสำหรับตู้คอนเทนเนอร์เย็น โดยที่ราคาประมูลสำหรับตู้คอนเทนเนอร์เย็น ซึ่งจะประกอบด้วยราคาเงาที่มาจากอสมการชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ขนส่ง อสมการชุดควบคุมน้ำหนักที่ขนส่ง และอสมการชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เย็นบนเรือ

ซึ่งจะห็นว่ามีการคิดราคาประมูลของการรับจองตู้คอนเทนเนอร์แบบเย็น จะมีการนำนำราคาเงาของอสมการเงื่อนไขชุดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เย็นบนเรือเข้ามาร่วมด้วย

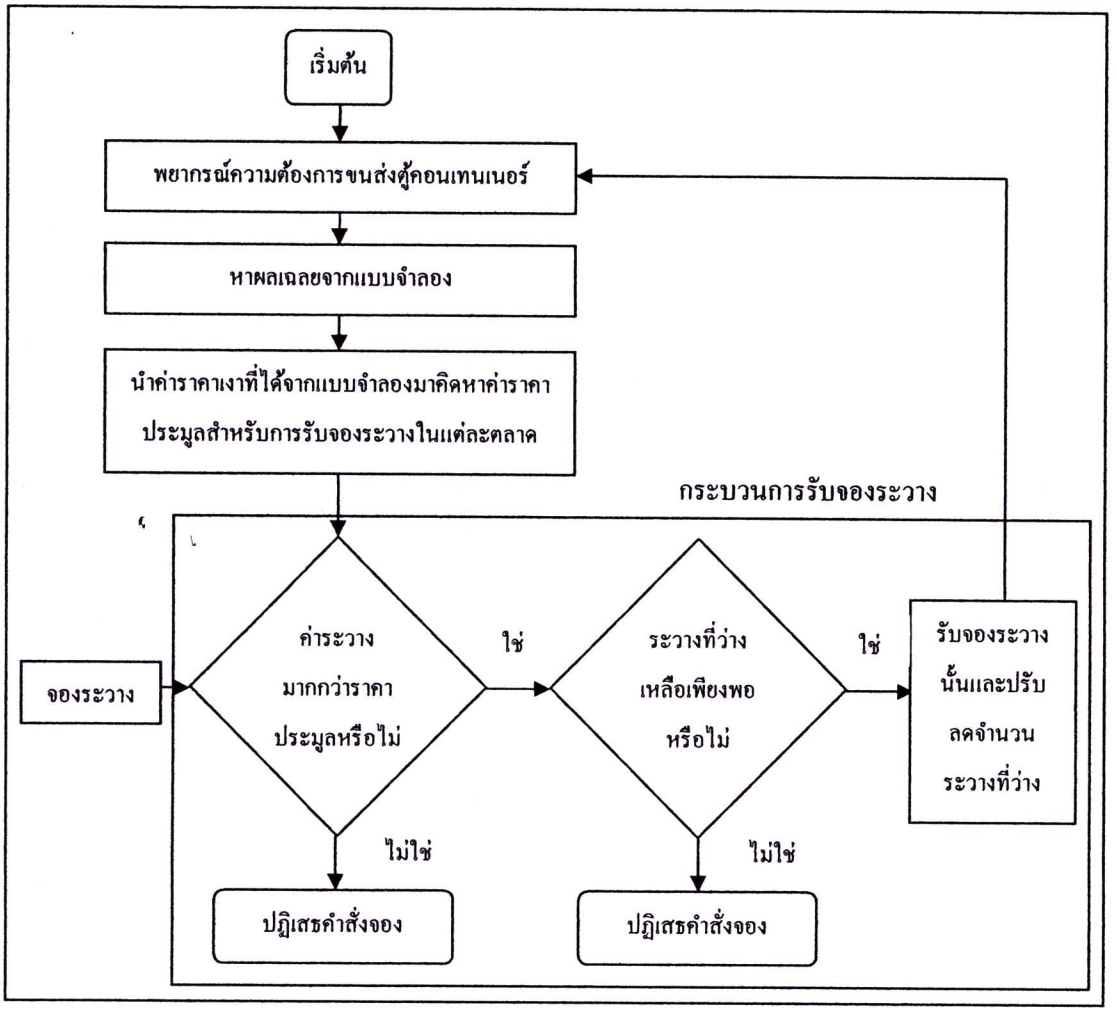
ดังนั้นการรับจองระวางจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ รายได้ที่เกิดจากการรับจองระวางมากกว่าราคาประมูล

$$r^{km} > \sum_{l \in L} \delta_l^m (\eta^k \pi_l + w^{km} \sigma_l + \mu^{km}) \qquad (4.37)$$

โดยในการรับจองระวางจะต้องพิจารณาทั้งราคาประมูลควบคู่ไปกับจำนวนระวางที่ยังเหลือว่างอยู่ในแต่ละขาการเดินทางด้วย

และราคาเงาที่ใช้จะต้องมีการปรับให้มีความทันสมัยอยู่เสมอ ในงานวิจัยนี้จะมีการรับจองระวางล่วงหน้าได้ 4 สัปดาห์ โดยจะมีการปรับค่าราคาเงาเป็นรายสัปดาห์สำหรับ 3 สัปดาห์แรก และปรับค่าราคาเงาเป็นรายวันสำหรับสัปดาห์สุดท้าย

การรับจองระวางมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการรับจองระวางจากแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์แบบเส้นทาง

จากเงื่อนไขการใช้ราคาประมูลในการรับจองระวางจากแบบจำลองการจัดสรรระวางแบบมาตรฐาน และแบบจำลองการจัดสรรระวางแบบเส้นทาง จะเห็นว่าเงื่อนไขในการรับจองจากทั้ง 2 แบบจำลองนั้นมีเงื่อนไขที่เหมือนกัน คือจะรับจองเมื่อรายได้ที่จะได้รับจากการรับจองระวางมีค่ามากกว่าราคาประมูล

วิธีการในการปรับค่าราคาเงาให้มีความทันสมัย 2 วิธี

1) การปรับค่าราคาเงาตามช่วงเวลา (Periodic Review) เป็นการปรับค่าราคาเงาตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้

2) การปรับค่าราคาเงาตามค่าคงที่ที่กำหนดไว้ (Constant Review) เป็นการปรับค่าราคาเงาเมื่อถึงจุดที่กำหนดไว้ โดยที่ไม่สนใจช่วงเวลา เช่น กำหนดว่าจะมีการปรับค่าราคาเงาเมื่อมีคำสั่งการจองระวางเข้ามาครบ 10 คำสั่ง หรือกำหนดว่าจะมีการปรับค่าราคาเงาเมื่อมีจำนวนการรับจองระวางครบร้อยละ 20 ของจำนวนระวางทั้งหมดที่ขาการเดินทางขนส่งได้