# บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการจัดสรรระวางการขนส่งสินค้า (Slot Allocation) รวมไปถึงการจัดการระบบการรับจองระวาง ซึ่งงานวิจัยในเรื่องนี้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่ามีความแตกต่างกันทั้งเรื่องลักษณะปัญหา วิธีการในการแก้ปัญหา รวมไปถึงการหาค่าผลเฉลยของปัญหา

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรระวางการขนส่งสินค้าและการจัดการระบบการรับจองระวาง แสดงให้เห็นว่าการแก้ปัญหาการจัดสรรระวางการขนส่งสินค้าและการจัดการระบบการรับจองระวาง ส่วนใหญ่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการพิจารณาปัญหา นอกจากนี้ยังมีแนวทางในการแก้ปัญหาอื่นๆมาช่วยอีกด้วย

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงรายละเอียดเรื่องการจัดการรายได้ของสายการบิน การจัดการรายได้ของสายเรือ รายละเอียดของรูปแบบของแบบจำลอง แนวทางในการแก้ปัญหา และงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องรวมไปถึงวิธีการแก้ปัญหาของแต่ละงานวิจัยและศึกษาเรื่องการรับจองระวางด้วยวิธีการใช้ราคาประมูล

## 2.1 การจัดการรายได้ของสายการบิน

การจัดการรายได้ของสายการบินที่ได้รับความนิยมนั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน โดยการจัดการรายได้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ระดับการจัดการรายได้ของสายการบิน

| ระดับ | คำอธิบาย | ระยะเวลาการปฏิบัติ |
|---|---|---|
| แผนการ | ส่วนแบ่งการตลาดและการกำหนดราคา | รายไตรมาส หรือ รายปี |
| นโยบาย | การคำนวณที่นั่งที่มีการรับจองและการทำให้ข้อมูลทันสมัยอยู่เสมอ | รายวัน หรือ รายสัปดาห์ |
| การควบคุมการจอง | กำหนดว่าการจองไหนที่จะยอมรับหรือจะปฏิเสธ | ตามเวลาจริง |

**2.1.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดที่นั่งบนเครื่องบิน**

งานวิจัยของ Pak and Piersma [6] ได้กล่าวถึงวิธีการจัดที่นั่งบนเครื่องบิน (Seat Inventory Control) โดยแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของรูปแบบการจัดที่นั่งบนเครื่องบินระหว่างการจัดสรรที่นั่งจะจัดให้เหมาะสมในแต่ละเที่ยวแยกจากกันและการจัดสรรที่นั่งให้เหมาะสมพร้อมกันทั้งเครือข่าย โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. Single Leg Seat Inventory Control

การจัดสรรที่นั่งจะจัดให้เหมาะสมโดยที่ในแต่ละเที่ยวแยกจากกัน เช่น การเดินทางจาก A ไป C โดยผ่านจุด B จะประกอบด้วย 2 เที่ยวบิน คือเที่ยวบินที่ 1 จาก A ไป B ราคาตั๋ว 3,000 บาท และเที่ยวบินที่ 2 จาก B ไป C ราคาตั๋ว 2,000 บาท และราคาตั๋วจาก A ไป C เมื่อบินทั้ง 2 เที่ยวบินจะมีราคาตั๋ว 4,000 บาท การจัดสรรที่นั่งในวิธีนี้จะทำการกันที่นั่งจาก A ไป C ที่ราคาตั๋ว 4,000 บาท ไว้ก่อน โดยที่ไม่ได้คำนึงถึงรายได้รวมของระบบว่าหากจำหน่ายตั๋วจาก A ไป B และจาก B ไป C เป็น 2 เที่ยวบินแยกจากกันจะมีรายได้มากกว่าถึง 1,000 บาท งานวิจัยของ Belobaba [7] แนะนำวิธีค่าคาดหวังรายได้จากที่นั่งท้ายสุด (Expected Marginal Seat Revenue, EMSR) ในการจัดสรรจำนวนที่นั่งในแต่ละระดับราคาบนเครื่องบิน ซึ่งเป็นการกำหนดจำนวนที่นั่งในแต่ละระดับราคาที่จะต้องทำการป้องกันไว้สำหรับผู้โดยสารที่มีความต้องการซื้อตั๋วในระดับราคานั้น โดยจำนวนที่นั่งที่ป้องกันไว้จะขึ้นอยู่กับปริมาณความต้องการการเดินทาง

2. Network Seat Inventory Control

การจัดสรรที่นั่งให้เหมาะสมพร้อมกันทั้งเครือข่าย จากตัวอย่างที่กล่าวในการจัดสรรที่นั่งจะจัดให้เหมาะสมในแต่ละเที่ยวแยกจากกัน การจัดสรรที่นั่งให้เหมาะสมพร้อมกันทั้งเครือข่ายจะทำการกันที่นั่งของ 2 เที่ยวบินจาก A ไป B และ B ไป C ที่มีราคาตั๋วรวมกันเป็น 5,000 ไว้ก่อน ซึ่งจะเป็นการจัดสรรเพื่อให้รายได้รวมของระบบมากที่สุด งานวิจัยของ Glover et al. [8] ได้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดสรรที่นั่งเพื่อหาจำนวนที่นั่งในแต่ละเส้นทางในเครือข่ายเพื่อให้เกิดรายได้ของเครือข่ายมากที่สุด โดยที่พิจารณาถึงข้อจำกัดในเรื่องความสามารถในการให้บริการของเครื่องบินและความต้องการที่ได้ทำการพยากรณ์ไว้เป็นข้อจำกัดในส่วนของขอบบน

แบบจำลองการจัดที่นั่งผู้โดยสารบนเครื่องบิน (Passenger Mix Model) มีรูปแบบดังนี้

$x_p$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนผู้โดยสารที่เดินทางเที่ยวบินลำดับ $p$

$L$ คือ เซตของชุดเที่ยวบิน $(i)$

$P$ คือ เซตของชุดลำดับเที่ยวบิน $(p)$

$fare_p$ คือ ค่าโดยสารเฉลี่ยของเที่ยวบินลำดับ $p$

$D_p$ คือ ปริมาณความต้องการเดินทางของเที่ยวบินลำดับ $p$

$CAP_i$ คือ ความสามารถในการให้บริการของเที่ยวบิน i

$\delta_i^p$ มีค่าเป็น 1 เมื่อ $p$ เดินทางบนเที่ยวบิน $i$ และมีค่าเป็น 0 เมื่อในกรณีอื่น

$$Max \sum_{p \in P} fare_p x_p \qquad (2.1)$$

*Subject to*

$$\sum_{p \in P} \delta_i^p x_p \leq CAP_i \qquad \forall i \in L \qquad (2.2)$$

$$x_p \leq D_p \qquad \forall p \in P \qquad (2.3)$$

$$x_p \geq 0 \qquad (2.4)$$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

แบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้เกิดรายได้จากการขนส่งผู้โดยสารมากที่สุด โดยที่อสมการที่ (2.2) เป็นอสมการควบคุมจำนวนที่นั่งในการให้บริการ และอสมการที่ (2.3) จะควบคุมไม่ให้มีการขนส่งผู้โดยสารมากกว่าความต้องการในการเดินทาง

ในการจัดที่นั่งผู้โดยสารบนเครื่องบินยังสามารถสร้างแบบจำลองได้ในอีกรูปแบบหนึ่ง ซึ่งแบบจำลองนี้คือแบบจำลองแบบเส้นทาง (Key Path) โดยที่แบบจำลองแบบเส้นทาง เป็นดังนี้

$f_p$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงสัดส่วนที่นั่งที่ถูกดึงออกจากที่นั่งทั้งหมดที่ต้องการเดินทางบนตลาด $p$

$L$ คือ เซตของขาการเดินทาง $(j)$

$K$ คือ เซตของประเภทที่นั่ง $(k)$

$C_p^r$ คือ ต้นทุนในการขนส่งผู้โดยสารที่ต่างกันระหว่างตลาด $p$ และตลาด $r\ (C_r - C_p)$

$D_k$ คือ ปริมาณความต้องการเดินทางของเที่ยวบินประเภท $k$

$Q_j$ คือ ปริมาณความต้องการเดินทางทั้งหมดบนขาการเดินทาง $j$

$CAP_j$ คือ ความสามารถในการให้บริการของขาการเดินทาง $j$

$\delta_j^p$ มีค่าเป็น 1 เมื่อ $p$ เดินทางบนขาการเดินทาง $j$ และมีค่าเป็น 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น

$$Min \sum_{k \in K} \sum_{p \in Pk} C_p^r D_k f_p^r \qquad (2.5)$$

*Subject to*

$$-\sum_{k \in K} \sum_{r \in P^k} \delta_i^p D_k f^r{}_p + \sum_{k \in K} \sum_{r \in P^k} \delta_i^r D_k f^r{}_p \le CAP_j - Q_j \quad \forall j \in L \quad (2.6)$$

$$\sum_{r \in Pk} f^r{}_p \le 1 \quad \forall p \in P \quad (2.7)$$

$$f_p^r \ge 0 \quad \forall p \in P, \forall r \in P^k \quad (2.8)$$

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 18 มี.ค. 2555
เลขทะเบียน 246935
เลขเรียกหนังสือ

แบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการให้ต้นทุนที่จะสูญเสียเนื่องจากการที่ไม่สามารถขนส่งผู้โดยสารได้นั้นมีค่าน้อยที่สุด โดยที่อสมการที่ (2.6) เป็นอสมการควบคุมจำนวนที่นั่งในการให้บริการ และอสมการที่ (2.7) ควบคุมไม่ให้มีการขนส่งผู้โดยสารมากกว่าความต้องการในการเดินทาง

ข้อดีของแบบจำลองแบบเส้นทาง คือสามารถช่วยลดจำนวนสมการเงื่อนไขลงได้ โดยใช้เทคนิคกำเนิดแถว (Row Generation) มาช่วย โดยรายละเอียดของเทคนิคกำเนิดแถวจะกล่าวถึงภายหลัง

Kniker [9] ได้ทำการเสนอแบบจำลองการจัดที่นั่งบนเครื่องบินโดยการนำแบบจำลองแบบเส้นทาง มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$t_{p,f}^{r,g}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนผู้โดยสารที่ตัดสินใจเดินทางด้วยลำดับเที่ยวบิน $p$ ระดับราคาตั๋ว $f$ แต่ต้องเปลี่ยนไปเดินทางลำดับเที่ยวบิน $r$ ระดับราคาตั๋ว $g$

$L$ คือ เซตของเที่ยวบิน $(i)$

$P$ คือ เซตของลำดับเที่ยวบิน $(p)$

$J$ คือ เซตของระดับที่นั่ง $(j)$

$M$ คือ เซตของตลาด $(m)$

$F$ คือ เซตของทุกระดับราคาตั๋ว $(f,g,h)$

$F_j$ คือ เซตของส่วนย่อยของทุกระดับราคาตั๋วที่ใช้ระดับที่นั่ง $j$

$fare_{p,f}$ คือ ค่าโดยสารเฉลี่ยของลำดับเที่ยวบิน $p$ ระดับราคาตั๋ว $f$

$b_{p,f}^{r,g}$ คือ อัตราการเปลี่ยนไปใช้ทางเลือกอื่น ในที่นี้คือผู้โดยสารที่ตัดสินใจเดินทางด้วยลำดับเที่ยวบิน $p$ ระดับราคาตั๋ว $f$ แต่อยากที่จะเปลี่ยนไปเดินทางลำดับเที่ยวบิน $r$ ระดับราคาตั๋ว $g$ ($b_{p,f}^{r,g}$ เท่ากับ 1 เมื่อไม่มีการเปลี่ยนลำดับเที่ยวบินในการเดินทาง)

$D_{p,f}$ คือ ปริมาณความต้องการเดินทางของลำดับเที่ยวบิน $p$ ระดับราคาตั๋ว $f$

$CAP_{i,j}$ คือ ความสามารถในการให้บริการระดับที่นั่ง $j$ ของเที่ยวบิน $i$

$\delta_i^p$ มีค่าเป็น1 เมื่อ $p$ เดินทางบนเที่ยวบิน $i$ และมีค่าเป็น 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น

$$Min \sum_{(r,g)\in(P,F)} \sum_{(p,f)\in(P,F)\setminus(r,g)} (fare_{p,f} - b_{p,f}^{r,g} fare_{r,g}) t_{p,f}^{r,g} \quad (2.9)$$

*Subject to*

$$\sum_{(p,f)\in(P,F_j)} \sum_{(r,g)\in(P,F)\setminus(p,f)} \delta_i^p t_{p,f}^{r,g} - \sum_{(p,f)\in(P,F_j)} \sum_{(q,h)\in(P,F)\setminus(p,f)} \delta_i^p b_{p,h}^{p,f} \geq Q_{i,j} - CAP_{i,j} \quad \forall (i,j) \in (L,J) \quad (2.10)$$

$$\sum_{(r,g)\in(P,F)} t_{p,f}^{r,g} \leq D_{p,f} \quad \forall (p,f) \in (P,F) \quad (2.11)$$

$$t_{(p,f)}^{(r,g)} \geq 0 \quad \forall (p,f),(r,g) \in (P,F) \quad (2.12)$$

โดยที่

$$Q_i = \sum_{p \ni P} \delta_i^p D_p \quad (2.13)$$

แบบจำลองนี้ได้แบ่งต้นทุนออกเป็น 2 ส่วน คือต้นทุนในส่วนของผู้โดยสารที่ต้องการจะเดินทางแต่ไม่ได้เดินทางในลำดับเที่ยวบินที่ต้องการเนื่องจากเงื่อนไขเรื่องความสามารถในการให้บริการของเครื่องบินและต้นทุนในส่วนของการขนส่งผู้โดยสาร โดยวัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้เพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำที่สุด โดยมีอสมการเงื่อนไขที่ (2.10) เป็นข้อกำหนดในเรื่องความสามารถในการให้บริการของเครื่องบิน อสมการเงื่อนไขที่ (2.11) เป็นข้อกำหนดเรื่องความต้องการการเดินทาง และอสมการเงื่อนไขที่ (2.12) กำหนดให้จำนวนผู้โดยสารที่เดินทางไม่เป็นค่าติดลบ ในงานวิจัยนี้ ยังได้ใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์ ซึ่งรายละเอียดของเทคนิคการกำเนิดสดมภ์จะกล่าวถึงในส่วนท้ายของบทที่ 2 ต่อไป

งานวิจัยดังกล่าวได้ทำการทดลองโดยใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์ที่ต่างกัน 2 แบบ โดยวิธีที่ 1 (All) จะเป็นการใส่ทุกสดมภ์ที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลง (Reduced Cost) มีค่าเป็นลบ และวิธีที่ 2 (Best Column) จะเป็นการใส่ตัวแปร $t_{p,f}^{r^*,g^*}$ ที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงที่มีค่าน้อยที่สุด และใส่ตัวแปรเพิ่มทีละ

ตัวจนกว่าจะไม่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงที่เป็นค่าลบแล้วจึงจะทำการหยุดใส่ตัวแปรเพิ่ม ผลจากการทดลองพบว่าวิธีที่ 2 จะมีจำนวนสดมภ์ที่ใส่ในแบบจำลองน้อยกว่า ส่งผลให้จำนวนรอบในการแก้ปัญหาน้อยกว่าตามไป และยังใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์ร่วมกับเทคนิคการกำเนิดแถวมาช่วยในการแก้ปัญหาการจัดที่นั่งผู้โดยสารบนเครื่องบินที่คำนึงถึงการเปลี่ยนลำดับเที่ยวบินด้วย

สำหรับการจัดการที่นั่งบนเครื่องบินนั้นเป็นหนึ่งในวิธีที่นิยมมากสำหรับการจัดการรายได้เพื่อเพิ่มรายได้ให้แก่สายการบิน จากการทบทวนและศึกษางานวิจัยในอดีตของ Chiang et al. [10] เรื่องการจัดการรายได้ของอุตสาหกรรมต่างๆ รวมไปถึงอุตสาหกรรมการบิน พบว่าการจัดการรายได้ของสายการบินสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งงานวิจัยของChiang et al. [10] ได้นำการจัดที่นั่งผู้โดยสารบนเครื่องบินด้วยแบบจำลองปัญหาการจัดที่นั่ง (Passenger Mix model Problem) มาเป็นแนวทางในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ทางเรือ (Slot Allocation Problem)

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัย Barnhart et al. [11] ที่ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยเสนอแบบจำลองที่ผสมผสานระหว่างการจัดที่นั่งผู้โดยสารบนเครื่องบินในรูปแบบของแบบจำลองแบบเส้นทาง และการจัดประเภทเครื่องบินให้เหมาะสมในแต่ละเส้นทาง (Fleet Assignment Model) จะทำให้ได้แบบจำลองการจัดที่นั่งผู้โดยสารบนเครื่องบิน และการจัดประเภทเครื่องบินให้เหมาะสมในแต่ละเส้นทางในแบบจำลองเดียวกัน (Itinerary-Based Fleet Assignment Model) พบว่าผลการจัดที่นั่งผู้โดยสารอาจไม่สามารถหาค่าที่ดีที่สุดได้เมื่อแก้ปัญหาร่วมกับปัญหาการจัดประเภทเครื่องบิน เพราะสดมภ์และข้อจำกัดไม่ได้ถูกสร้างในต้นไม้ของวิธีแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการแก้ปัญหาในส่วนของการจัดประเภทเครื่องบินก่อน แล้วจึงแก้ปัญหาในส่วนของการจัดที่นั่งแก่ผู้โดยสารในขั้นตอนถัดไป

**2.2 การจัดการรายได้ของสายเรือ**

วิธีการในการจัดการรายได้ให้แก่สายเรือนั้นมีหลากหลายวิธีเช่นเดียวกันกับการจัดการรายได้ให้แก่สายการบิน โดยวิธีการจัดที่นั่งบนเครื่องบินเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมนำมาใช้และเป็นวิธีที่สามารถเพิ่มรายได้ให้แก่สายการบินได้จริง ดังนั้นการจัดการรายได้ของสายเรือจึงได้นำการจัดที่นั่ง

บนเครื่องบินมาประยุกต์ใช้กับการจัดสรรระวางการขนส่งสินค้าบนเรือ ซึ่งงานวิจัยนี้ก็ได้นำหลักการของการจัดที่นั่งบนเครื่องบินมาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์บนเรือเช่นกัน

โดยงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรระวางการขนส่งสินค้าทางเรือและการจัดเรือให้เหมาะสมกับเส้นทางเดินเรือมีอยู่หลายงานวิจัย ดังนี้

### 2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์บนเรือ

งานวิจัยของ Ting et al. [12] ได้เสนอกรอบความคิดของการบริหารจัดการการขนส่งสินค้าทางเรือที่มีตารางการเดินทางแน่นอน (Liner Shipping Revenue Management, LSRM) โดยนำแนวความคิดมาจากการจัดการรายได้ (Revenue Management) และสร้างแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์บนเรือ (Slot tAllocation Model) เพื่อให้เกิดผลกำไรจากการขนส่งสูงสุด โดยจะทำการคิดต้นทุนในส่วนของตู้เปล่าร่วมด้วย ซึ่งแบบจำลองจะพิจารณาถึงความสามารถในการให้บริการของเรือ รวมไปถึงข้อจำกัดของเรือ ความต้องการสินค้า และความต้องการตู้เปล่า โดยแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองจำนวนเต็ม และแก้ปัญหาด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด รายละเอียดของแบบจำลองมีดังนี้

$x_{ijk}^{f}$ คือตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนระวางตู้คอนเทนเนอร์สินค้าประเภท $k$ ที่ทำการขนส่งจากท่าเรือ $i$ ไปยังท่าเรือ $j$

$x_{ijk}^{e}$ คือตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนระวางตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท $k$ ที่ทำการขนส่งจากท่าเรือ $i$ ไปยังท่าเรือ $j$

$i$ คือดัชนีระบุท่าเรือที่ทำการบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ลงเรือ($i$ = 1,2,..., $m$)

$j$ คือดัชนีระบุท่าเรือที่นำตู้คอนเทนเนอร์ออกจากเรือ( $j$ =1,2,..., $n$)

$k$ คือดัชนีระบุประเภทตู้คอนเทนเนอร์ ($n$=1 สำหรับตู้คอนเทนเนอร์แห้ง 20 ฟุต $n$=2 สำหรับตู้คอนเทนเนอร์เย็น 20 ฟุต $n$=3

สำหรับตู้คอนเทนเนอร์แห้ง 40 ฟุต $n$=4 สำหรับตู้คอนเทนเนอร์เย็น 40 ฟุต)

$f$ คือ ดัชนีระบุว่าระวางเป็นตู้คอนเทนเนอร์สินค้า

$e$ คือ ดัชนีระบุว่าระวางเป็นตู้คอนเทนเนอร์เปล่า

$MC_{ijk}$ คือกำไรในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ประเภท $k$ จากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$ $MC_{ijk} = FR_{ijk} - VC_{ijk}$

$FR_{ijk}$ คือ รายได้จากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ประเภท $k$ จากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$VC_{ijk}$ คือ ต้นทุนจากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ประเภท $k$ จากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$EC_{ijk}$ คือ ต้นทุนจากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท $k$ จากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$IF_{ijk}$ คือ ตัวแปรปรับความสมดุลในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ประเภท $k$ จากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$$IF_{ijk} = \begin{cases} (F_{ijk} - F_{jik}) / F_{ijk} \; if \; F_{ijk} > F_{jik} \\ 0 \qquad\qquad\qquad if \; F_{ijk} > F_{jik} \\ 1 \end{cases}$$

$F_{ijk}$ คือ ปริมาณการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ประเภท $k$ จากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$CP$ คือ ความสามารถในการให้บริการของเรือ (TEU)

$DW$ คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักของเรือ (ตัน)

$W_{ijk}^{f}$ คือ น้ำหนักเฉลี่ยของตู้คอนเทนเนอร์ประเภท $k$ ที่ขนส่งสินค้าจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$W_{k}^{e}$ คือ น้ำหนักของตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท $k$

$RF$ คือ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์เย็นที่เรือสามารถขนส่งได้

$FE$ คือ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุต ที่เรือสามารถขนส่งได้

$D_{ijk}^{L}$ คือ จำนวนระวางตู้คอนเทนเนอร์ประเภท $k$ ที่ขนส่งจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$ ที่ทำสัญญาการส่งขั้นต่ำไว้

$D_{ijk}^{U}$ คือ จำนวนระวางความต้องการตู้คอนเทนเนอร์ประเภท $k$ ที่มากที่สุดที่ขนส่งจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$CI_{jk}$ คือ ความต้องการตู้คอนเทนเนอร์เปล่าประเภท $k$ ที่ท่าเรือ $j$

$$Max\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{4}(MC_{ijk}-IF_{ijk}EC_{ijk})x_{ijk}^{f}-EC_{ijk}x_{ijk}^{e} \quad (2.14)$$

*Subject to*

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{2}(x_{ijk}^{f}+x_{ijk}^{e})+2\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=3}^{4}(x_{ijk}^{f}+x_{ijk}^{e})\le CP \quad (2.15)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=1}^{4}(W_{ijk}^{f}x_{ijk}^{f}+W_{k}^{e}x_{ijk}^{e})\le DW \quad (2.16)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=2,4}x_{ijk}^{f}\le RF \quad (2.17)$$

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\sum_{k=3,4}(x_{ijk}^{f}+x_{ijk}^{e})\le FE \quad (2.18)$$

$$x_{ijk}^{f}\ge D_{ijk}^{L}\ ,for\ all\ i,j\ and\ k \quad (2.19)$$

$$x_{ijk}^{f}\le D_{ijk}^{L}\ ,for\ all\ i,j\ and\ k \quad (2.20)$$

$$\sum_{i=1}^{m}x_{ijk}^{e}\ge CI_{jk}\ ,for\ all\ \ j\ and\ k \quad (2.21)$$

$$x_{ijk}^{f}, x_{ijk}^{e}\ integer\ for\ all\ \ i,j\ and\ k \quad (2.22)$$

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้เพื่อหากำไรจากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่มากที่สุด โดยอสมการเงื่อนไขที่ (2.15), (2.16), (2.17) และ (2.18) เป็นข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการให้บริการของเรือ อสมการเงื่อนไขที่ (2.19) และ (2.20)เป็นข้อจำกัดเรื่องปริมาณการขนส่ง อสมการเงื่อนไขที่ (2.21)เป็นข้อจำกัดเรื่องความต้องการตู้เปล่า และเงื่อนไข (2.22)เป็นการกำหนดให้ตัวแปรเป็นจำนวนเต็ม

โดยงานวิจัยของ Ting et al. [12] ได้นำแบบจำลองไปทำการทดสอบการจัดระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ของเรือ 8 ลำและท่าเรือ 11 ท่ากับสายเรือของประเทศไต้หวัน มาทำการหาคำตอบด้วยการแก้ปัญหาเชิงเส้น ผลการทดลองพบว่าแบบจำลองนี้สามารถเพิ่มกำไรให้แก่สายเรือได้จริง โดยเพิ่มขึ้นถึง 338,930 ดอลล่าร์ จาก 2,420,110 ดอลล่าร์ เป็น 2,779,040 ดอลล่าร์ เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 14 และยังได้พิจารณาเพื่อตอบสนองครอบคลุมทั้งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าและตู้คอนเทนเนอร์เปล่า โดยที่เน้นพิจารณาถึงรายละเอียดของความสามารถในการให้บริการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ของเรือ ดังจะเห็นได้จากเงื่อนไขในแบบจำลอง และแบบจำลองนี้แก้ปัญหาด้วยแบบจำนวนเต็ม ดังนั้นหากเครือข่ายการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์มีขนาดใหญ่ขึ้น ตัวแปรมีขนาดเพิ่มขึ้น แต่การแก้ปัญหาในลักษณะนี้จะก่อให้เกิดความล่าช้าอย่างมากในการแก้ปัญหา

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยของ Chen et al. [13] นำเสนอแบบจำลองการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์บนเรือโดยจะกำหนดข้อจำกัดในเรื่องความสมดุลเพิ่มขึ้นมา คือจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมด (ตู้คอนเทนเนอร์สินค้าและตู้คอนเทนเนอร์เปล่า) ที่เข้าท่าเรือจะต้องเท่ากับจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดที่ออกจากท่าเรือ และเป็นแบบจำลองจำนวนจริง และแก้ปัญหาด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยแบบจำลองมีรูปแบบดังนี้

$X_{ij}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$Y_{ij}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่าจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$M$ คือ เซตของเส้นทางการเดินเรือ $(m)$

$N$ คือ เซตของท่าเรือ $(n)$

$R_{ij}$ คือ รายได้จากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$ ถ้าเป็นการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่า $R_{ij} = 0$

$C_{ij}$ คือ ต้นทุนการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$C'_{ij}$ คือ รายได้จากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$D_{ij}$ คือ ความต้องการการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$

$U_m$ คือ ความสามารถในการให้บริการการขนส่งบนเส้นทางการเดินเรือ $m$

$a_{ijm}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อเที่ยวการเดินเรือจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$ อยู่บนเส้นทางการเดินเรือ $m$ และเป็น 0 เมื่อเที่ยวการเดินเรือจากท่าเรือ $i$ ไปท่าเรือ $j$ ไม่อยู่บนเส้นทางการเดินเรือ $m$

$$Max \sum_i \sum_j \left( R_{ij} X_{ij} - C_{ij} Y_{ij} - C'_{ij} Y \right) \tag{2.23}$$

*Subject to*

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N} (a_{ijm} X_{ij} + a_{ijm} Y_{ij}) \le U \qquad \forall m \in M \tag{2.24}$$

$$X_{ij} \le D_{ij} \qquad \forall i.j \in N \tag{2.25}$$

$$(X_{ij} + Y_{ij}) - \sum_{j \in N} (X_{ji} + Y_{ji}) = 0 \qquad \forall i \in N \tag{2.26}$$

$$X_{ij} Y_{ij} \in N \cup \{0\} \qquad \forall i, j \in N \tag{2.27}$$

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้เพื่อหารายได้จากการขนส่งที่มากที่สุด อสมการเงื่อนไขที่ (2.24) เป็นข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการให้บริการการขนส่งของเรือ อสมการเงื่อนไขที่ (2.25) เป็นข้อจำกัดควบคุมไม่ให้การขนส่งมากเกินความต้องการการขนส่ง สมการเงื่อนไขที่ (2.26) เป็นข้อจำกัดเรื่องความสมดุลของตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าและออกจากท่าเรือ และเงื่อนไขที่ (2.27) เป็นข้อจำกัดของตัวแปร

จากงานวิจัยของ Chen et al. [13] พบว่าเมื่อนำแบบจำลองนี้ไปทดลองกับการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ของท่าเรือ 5 ท่าโดยการแก้ปัญหาแบบเชิงเส้น พบว่าแบบจำลองที่ไม่มีการพิจารณาเงื่อนไขส่วนของความสมดุลจะมีปริมาณตู้คอนเทนเนอร์เข้าและออกจากท่าเรือไม่เท่ากัน จะส่งผล

ให้เกิดปัญหาในเรื่องของตู้เปล่าที่ขาดหรือเกิน จะส่งผลให้การใช้ประโยชน์ของทรัพยากรของสายเรือมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบจำลองที่การพิจารณาเงื่อนไขส่วนของความสมดุลแต่ไม่ได้มีเงื่อนไขในส่วนของรายละเอียดมากนัก ซึ่งอาจต้องมีการเพิ่มเติมเงื่อนไขต่างๆ เมื่อนำแบบจำลองนี้ไปใช้ในการทำงานจริง

Wei and Hoon [14] เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีแบบแผนที่แน่นอนในการกำหนดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่จะขนส่งแต่ละเส้นทาง โดยที่แบบจำลองจะพิจารณาการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าเพียงอย่างเดียว ไม่มีการพิจารณาในส่วนของการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่า แต่มีการพิจารณาในส่วนของความสามารถในการให้บริการของท่าเรือเพิ่มขึ้นมา โดยศึกษาจากการจัดตารางการกระจายตู้คอนเทนเนอร์เพื่อให้เกิดผลกำไรของระบบสูงสุด โดยมีเส้นทางในการให้บริการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์อยู่แล้ว และยังเป็นแบบจำลองจำนวนจริงอีกด้วย โดยมีรูปแบบจำลองดังนี้

$x_{fr}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจจำนวนตู้คอนเทนเนอร์กลุ่มการเดินทาง $f$ ที่ทำการขนส่งบนเส้นทาง $r$ โดย $f \in F$ และ $r \in R$

$N$ คือ เซตของท่าเรือ

$A$ คือ เซตของเส้นทางที่เชื่อมระหว่างท่าเรือ

$F$ คือ เซตของกลุ่มการเดินทาง $f$ หรือชุดของความต้องการการเดินทางที่พยากรณ์ไว้

$R$ คือ เซตของเส้นทางการเดินทางของบริษัท $(r)$

$R_f$ คือ เซตของเส้นทางการเดินทางที่อยู่ในกลุ่มการเดินทาง $f \in F$

$S$ คือ เซตของการให้บริการของเรือ $(s)$

$E$ คือ เซตของประเภทและขนาดของคอนเทนเนอร์ที่ให้บริการ $(e)$

$F_i^o$ คือ เซตของกลุ่มการเดินทางที่เริ่มต้นที่ท่าเรือ $i$

$F_i^d$ คือ เซตของกลุ่มการเดินทางที่ปลายทางอยู่ที่ท่าเรือ $i$

$F_i$ คือ เซตของกลุ่มการเดินทางที่ท่าเรือ $i$ ไม่ได้เป็นทั้งจุดเริ่มต้นและจุดปลายทาง

$F_e$ คือ ชุดของกลุ่มการเดินทางที่ใช้คอนเทนเนอร์ให้เกิดประโยชน์ด้วยประเภทและขนาดคอนเทนเนอร์

$\rho_f$ คือ รายได้จากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์กลุ่มการเดินทาง $f$

$K_{f,r}$ คือ ต้นทุนของการขนส่ง

$d_f$ คือ ความต้องการของการขนส่ง

$p_r$ คือ จำนวนตู้คอนเทนเนอร์ขั้นต่ำที่ต้องการบนเส้นทาง $r$

$\alpha_{i,j}^{r,f}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อเส้นทาง $(i,j)$ อยู่บนเส้นทาง $r$ สำหรับกลุ่มการเดินทาง $f$ ซึ่ง $r \in R_f$ และมีค่าเป็น 0 สำหรับกรณีอื่น

$u_{i,j}$ คือ ความสามารถในการให้บริการการขนส่งของเที่ยวการเดินเรือ

$v_{i,j}$ คือ ความสามารถในการรับน้ำหนักของเที่ยวการเดินเรือ

$\delta_f$ คือ พารามิเตอร์บอกจำนวน TEU ที่ตู้คอนเทนเนอร์ของกลุ่มการเดินทาง $f$ ต้องการใช้ในการขนส่ง

$\varepsilon_f$ คือ น้ำหนักที่ตู้คอนเทนเนอร์ของกลุ่มการเดินทาง $f$ ต้องการ

$\beta_{i,s}^{r,f}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อบริการ $s$ เข้ามายังท่าเรือ $i$ โดยใช้เส้นทาง $r$ สำหรับกลุ่มกลุ่มการเดินทาง $f$ และมีค่าเป็น 0 สำหรับกรณีอื่น

$\gamma_{i,s}^{r,f}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อบริการ $s$ ออกจากท่าเรือ $i$ และ $(i,s)$ วิ่งอยู่บนเส้นทาง $r$ สำหรับกลุ่มการเดินทาง $f$ ซึ่ง $r \in R_f$ และมีค่าเป็น 0 สำหรับกรณีอื่น

$\lambda_{i,s}^{r,f}$ มีค่าเป็น 1 เมื่อมีบริการผ่านท่าเรือ $i$ และ $(i,s)$ วิ่งอยู่บนเส้นทาง $r$ สำหรับกลุ่มการเดินทาง $f$ ซึ่ง $r \in R_f$ และมีค่าเป็น 0 สำหรับกรณีอื่น

$$Max \sum_{f \in F} \sum_{r \in R_f} (\rho_f - K_{f,r}) x_{f,r} \qquad (2.28)$$

*Subject to*

$$\sum_{r\in R_f} x_{f,r} \le d_f \qquad \forall f \in F \tag{2.29}$$

$$\sum_{f\in F} x_{f,r} \ge p_r \qquad \forall r \in R \tag{2.30}$$

$$\sum_{f\in F}\sum_{r\in R_f} \delta_f x_{f,r} \alpha_{i,j}^{r,f} \le u_{i,j} \qquad \forall (i,j) \in A \tag{2.31}$$

$$\sum_{f\in F}\sum_{r\in R_f} \varepsilon_f x_{f,r} \alpha_{i,j}^{r,f} \le v_{i,j} \qquad \forall (i,j) \in A \tag{2.32}$$

$$\sum_{f\in F_i^o}\sum_{r\in R_f} x_{f,r}\gamma_{i,s}^{r,f} + \sum_{f\in F_i^d}\sum_{r\in R_f} x_{f,r}\beta_{i,s}^{r,f} + \sum_{f\in F_i}\sum_{r\in R_f} x_{f,r}\lambda_{i,s}^{r,f} \le \sigma w_{i,s} \tag{2.33}$$

$$\sum_{j\in N}\sum_{f\in F_e}\sum_{r\in R_f} x_{f,r}\alpha_{i,j}^{r,f} + \sum_{\substack{f\in F_i^d \\ f\in F_e}}\sum_{r\in R_f} x_{f,r} = \sum_{j\in N}\sum_{f\in F_e}\sum_{r\in R_f} x_{f,r}\alpha_{j,i}^{r,f} + \sum_{\substack{f\in F_i^o \\ f\in F_e}}\sum_{r\in R_f} x_{f,r}$$

$$\forall i \in N, \forall e \in E \tag{2.34}$$

$$x_{f,r} \ge 0 \qquad \forall f \in F, \forall r \in R \tag{2.35}$$

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้เพื่อให้กำไรมากที่สุด อสมการเงื่อนไขที่ (2.29) และ (2.30) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่ง อสมการเงื่อนไขที่ (2.31) และ (2.32) เป็นข้อจำกัดควบคุมความสามารถในการให้บริการการขนส่งทั้งปริมาณตู้และน้ำหนัก อสมการเงื่อนไขที่ (2.33) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าและออกท่าเรือไม่ให้เกินความสามารถในการให้บริการของท่าเรือ สมการเงื่อนไขที่ (2.34) เป็นข้อจำกัดควบคุมความสมดุลของจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าและออกท่าเรือ และอสมการเงื่อนไขที่ (2.35) เป็นข้อกำหนดเพื่อไม่ให้ตัวแปรเป็นค่าติดลบ

งานวิจัยของ Wei and Hoon [14] เป็นเพียงการเสนอแบบจำลองการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ในแต่ละเส้นทางเท่านั้น ไม่ได้มีการนำเสนอทางด้านการทดลอง ดังนั้นจึงไม่สามารถสรุปผลใดๆ จากแบบจำลองได้ แต่แบบจำลองนี้ใช้วิธีแก้ปัญหาเชิงจำนวนจริง ดังนั้นถึงแม้ว่าปัญหาจะมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะไม่ส่งผลต่อการแก้ปัญหา

จากการศึกษาแบบจำลองทั้งสามที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นมีสมการวัตถุประสงค์เหมือนกัน คือเพื่อให้เกิดกำไรจากการขนส่งมากที่สุด

โดยที่งานวิจัยของ Ting et al. [12] จะเป็นการจัดสรรการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ของการเดินเรือแบบเที่ยวเดียวแต่งานวิจัยของ Chen et al. [13] และ Wei and Hoon [14] จะเป็นการจัดสรรการเดินเรือแบบเครือข่าย ทำให้ในแบบจำลองจากงานวิจัยทั้งสองนี้มีเงื่อนไขที่ควบคุมความสมดุลของปริมาณตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าและออกจากท่าเรือ และงานวิจัยของทั้ง Ting et al. [12] และ Chen et al. [13] จะมีการพิจารณาถึงการส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่าในแบบจำลองด้วย ในขณะที่แบบจำลองของ Wei and Hoon [14] นั้นไม่มีการพิจารณาในส่วนนี้

ในส่วนของเงื่อนไขในแบบจำลองนั้น งานวิจัยของ Ting et al. [12] และ Wei and Hoon [14] จะมีเงื่อนไขในแบบจำลองเหมือนกันในส่วนที่มีการกำหนดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์และน้ำหนักที่เรือสามารถขนส่งได้ และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่มากที่สุดและน้อยที่สุดในการขนส่งแต่ละตลาด ในขณะที่งานวิจัยของ Chen et al. [13] นั้นมีเงื่อนไขในการกำหนดจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เรือสามารถรับได้และจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่มากที่สุดในการขนส่งแต่ละตลาดเท่านั้น

งานวิจัยของ Ting et al. [12] ยังมีการพิจารณาเงื่อนไขในส่วนของรายละเอียดความสามารถในการให้บริการของเรือ เช่น จำนวนตู้คอนเทนเนอร์เย็นและจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ขนาด 40 ฟุต ที่เรือสามารถขนส่งได้ รวมถึงเงื่อนไขที่กำหนดให้ขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่าให้อย่างน้อยเพียงพอกับความต้องการ ซึ่งเป็นส่วนที่งานวิจัยของ Chen et al. [13] และ Wei and Hoon [14] ไม่ได้กล่าวถึง ในขณะที่งานวิจัยของ Wei and Hoon [14] ได้มีการพิจารณาเงื่อนไขจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดที่เข้าและออกจากท่าเรือที่ท่าเรือสามารถให้บริการได้ ซึ่งงานวิจัยของ Ting et al. [12] และ Chen et al. [13] ไม่ได้กล่าวถึงเช่นกัน

การแก้ปัญหาของแบบจำลองจากทั้งสามงานวิจัยนี้มีวิธีการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยของ Ting et al. [12] จะแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็ม ส่วนงานวิจัย Chen et al. [13] และ Wei and Hoon [14] จะแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนจริง ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วการแก้ปัญหาการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ทางเรือจะนิยมแก้ปัญหาด้วยด้วยแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนจริง

Ye et al. [15] นำเสนอแบบจำลองการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยพิจารณาปัญหา 2 ปัญหา คือ การจัดการการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์บนเรือในแต่ละเส้นทางโดยพิจารณาทั้งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าของและตู้คอนเทนเนอร์เปล่า และเป็นแบบจำลองจำนวนจริง โดยกำหนดให้มีตู้คอนเทนเนอร์ประเภทเดียวในการพิจารณาแต่มีหลายระดับราคาซึ่งแปรผันตามสินค้าภายในตู้คอนเทนเนอร์ และมีการกำหนดจำนวนเรือ ความสามารถในการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ของเรือ ท่าเรือที่ทำการขนส่งและเส้นทางการเดินทางการเดินเรือไว้แล้ว โดยการแก้ปัญหาของแบบจำลองจะกำหนดให้ตัวแปรเป็นจำนวนจริงแทนที่จะเป็นจำนวนเต็ม และปัญหาที่ 2 คือการกระจายเรือเข้าไปตามเส้นทางต่างๆ เพื่อให้ตอบสนองการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจากปัญหาที่ 1 ได้ โดยจะทำการสร้างแบบจำลอง 2 แบบ คือแบบจำลองที่รวมทั้ง 2 ปัญหาไว้ด้วยกัน (Joint Container Flow and Ship Deployment (JCS) Model) และแบบจำลองที่แยกคิดทีละปัญหา (Sequential Container Flow and Ship Deployment (SCS) Model) โดยแบบจำลองที่รวมปัญหา 2 ปัญหาไว้ด้วยกันมีรูปแบบดังนี้

$x_{od}^{r}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์สินค้าที่ส่งจากท่าเรือต้นทาง $o \in N$ ไปยังท่าเรือปลายทาง $d \in N$ โดยใช้เส้นทาง $r \in ROD_{od}$

$x_{odp}^{r}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนระดับราคา $p \in P$ ของการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าที่ส่งจากท่าเรือต้นทาง $o \in N$ ไปยังท่าเรือปลายทาง $d \in N$ โดยใช้เส้นทาง $r \in ROD_{od}$

$y_{od}^{r}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เปล่าที่ส่งจากท่าเรือต้นทาง $o \in N$ ไปยังท่าเรือปลายทาง $d \in N$ โดยใช้เส้นทาง $r \in ROD_{od}$

$w_{ij}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงความสามารถในการให้บริการขนส่งบนเส้นทาง $(i,j) \in A$

$\tilde{x}_{ods}^{ij}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์สินค้าที่ต้องการบนท่าเรือต้นทาง $o \in N$ ไปยังท่าเรือปลายทาง $d \in N$ ที่ขนส่งบนเส้นทาง $(i,j) \in A$ โดยเรือ $s \in S$

$\tilde{x}_{odps}^{ij}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์สินค้าระดับราคา $p \subset P$ ที่ต้องการบนท่าเรือต้นทาง $o \in N$ ไปยังท่าเรือปลายทาง $d \in N$ ที่ขนส่งบนเส้นทาง $(i,j) \in A$ โดยเรือ $s \in S$

$\tilde{y}_{ods}^{ij}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงจำนวนตู้คอนเทนเนอร์เปล่าที่ต้องการบนท่าเรือต้นทาง $o \in N$ ไปยังท่าเรือปลายทาง $d \in N$ ที่ขนส่งบนเส้นทาง $(i,j) \in A$ โดยเรือ $s \in S$

$I_{ls}$ คือ ตัวแปรตัดสินใจแสดงตัวแปรฐานสองเพื่อการตัดสินใจว่าเรือ $s \in S$ ถูกวิ่งอยู่ในรอบการเดินทาง $l \in L$

$\alpha$ คือ ค่าคาดหวังการใช้ประโยชน์ความสามารถในการขนส่งสินค้าของการขนส่งสินค้าที่ออกแบบไว้

$N$ คือ เซตของท่าเรือ

$A$ คือ เซตของเส้นทางเดินเรือ

$R$ คือ เซตของเส้นทางการขนส่งสินค้า

$L$ คือ เซตของรอบการเดินทาง

$S$ คือ เซตของเรือ

$P$ คือ เซตของระดับราคา

$OD_{pair}$ คือ เซตของคู่ท่าเรือต้นทางและปลายทาง

$N_i$ คือ เซตของท่าเรือที่ไม่คำนึงถึงท่าเรือ $i \in N$

$RA_{ij}$ คือ เซตของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ใช้เส้นทางเดินเรือ $(i,j) \in A, RA_{ij} \subset A$

$AR_r$ คือ เซตของเส้นทางเดินเรือที่อยู่บนเส้นทาง $r \in R, AR_r \subset A$

$LA_{ij}$ คือ เซตของรอบการเดินเรือที่อาจใช้เส้นทางเดินเรือ $(i,j) \in A, LA_{ij} \subset R$

$AL_l$ คือ เซตของเส้นทางเดินเรือที่ไม่ระบุรอบการเดินเรือ $l \in L, AL_l \subset A$

$ROD_{od}$ คือ เซตของเส้นทางการขนส่งสินค้าที่สามารถเติมอยู่ในความต้องการการขนส่งสินค้าระหว่าง $OD_{pair}(o,d) \in OD_{pair}, ROD_{od} \subset R$

$AOD_{od}$ คือ เซตของเส้นทางการเดินทางที่เป็นเส้นทางขนส่งสินค้าระหว่างที่ $OD_{pair}(o,d) \in OD_{pair}, AOD_{od} \subset R$

$ODA_{ij}$ คือ เซตของคู่ท่าเรือต้นทางและปลายทางที่ใช้เส้นทางการเดินทาง $(i,j) \in A$ โดยอย่างน้อยมี 1เส้นทาง $ODA_{ij} \subset OD_{pair}$

$P^r_{od}$ คือ ฟังก์ชันของรายได้จากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าระหว่าง $OD_{pair}(o,d) \in OD_{pair}$ โดยใช้เส้นทาง $r \in ROD_{od}$

$P^r_{odp}$ คือ ค่าธรรมเนียมที่สายเรือคิดสำหรับการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ 1 ตู้ ที่ระดับราคา $p \in P$ ระหว่าง $OD_{pair}(o,d) \in OD_{pair}$ โดยใช้เส้นทาง $r \in R$

$cf^r$ คือ ต้นทุนขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าบนเส้นทาง $r \in R$

$cf^r_p$ คือ ต้นทุนขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าที่ระดับราคา $p \in P$ บนเส้นทาง $r \in R$

$ce^r$ คือ ต้นทุนขนส่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่าบนเส้นทาง $r \in R$

$cs_{ls}$ คือ ต้นทุนการจัดการของเรือ $s \in S$ บนรอบการเดินทาง $l \in L$ ภายในช่วงการวางแผนครึ่งปี

$d_{odp}$ คือ ความต้องการการขนส่งที่ระดับราคา $p \in P$ $OD_{pair}(o,d) \in OD_{pair}$

$T$ คือ ช่วงเวลาในการวางแผน

$t_{ijs}$ คือ ระยะเวลาที่เรือ $s \in S$ เดินทางบนเส้นทางการเดินเรือ $(i,j) \in A$

$T_{ij}$ คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่เดินทางบนเส้นทางการเดินเรือ $(i,j) \in A$, $T_{ij} = (\sum_s t_{ijs}) / No.of\ ships$

$f_{ls}$ คือ ความถี่ที่เรือ $s \in S$ เดินทาง ถ้าการเดินทางของเรืออยู่ในรอบการเดินทาง $l \in L$, $f_{ls} = T / (\sum_{(i,j) \in AL_l} t_{ijs})$

$sc_s$ คือ ความสามารถในการให้บริการการขนส่งของเรือ $s \in S$

$pc_i$ คือ ความสามารถในการให้บริการของท่าเรือ $i \in N$ ในช่วงเวลาการวางแผนครึ่งปี

$$Max \sum_{(o,d)} \sum_{r} \sum_{p} P^r_{odp} x^r_{odp} - \sum_{(o,d)} \sum_{r} \sum_{p} cf^r_p x^r_{odp} - \sum_{(o,d)} \sum_{r} ce^r y^r_{od} - \sum_{l} \sum_{s} cs_{ls} I_{ls.} \quad (2.36)$$

*Subject to*

$$\sum_{r} x^r_{odp} \le d_{odp}, \ \forall (o,d) \in ODpair \qquad \forall p \in P \quad (2.37)$$

$$\sum_{o \in N_k} \sum_{r \in ROD_{(ok)}} (\sum_{p} x^r_{okp} + y^r_{ok}) = \sum_{d \in N_k} \sum_{r \in ROD_{(kd)}} (\sum_{p} x^r_{kdp} + y^r_{kd}) \quad \forall k \in N \quad (2.38)$$

$$\sum_{o \in N_k} \sum_{r \in ROD_{(ok)}} (\sum_{p} x^r_{okp} + y^r_{ok}) + \sum_{d \in N_k} \sum_{r \in ROD_{(kd)}} (\sum_{p} x^r_{kdp} + y^r_{kd}) \le pc_k \quad \forall k \in N \quad (2.39)$$

$$\sum_{s} \tilde{x}^{ij}_{odps} = \sum_{r \in ROD_{od} \cap RA_{ij}} x^r_{odp} \quad \forall (o,d) \in ODpair \forall p \in P, \forall (i,j) \in AOD_{od} \quad (2.40)$$

$$\sum_{s} \tilde{y}^{ij}_{ods} = \sum_{r \in ROD_{od} \cap RA_{ij}} y^r_{od} \quad \forall (o,d) \in ODpair, \ \forall (i,j) \in AOD_{od} \quad (2.41)$$

$$\sum_{(o,d) \in ODA(i,j)} (\sum_{p} \tilde{x}^{ij}_{odps} + \tilde{y}^{ij}_{ods}) \le \sum_{l \in LA(ij)} I_{ls} f_{ls} sc_s \qquad \forall (i,j) \in A, \forall s \in S \quad (2.42)$$

$$\sum_{l} I_{ls} \le 1 \qquad \forall s \in S \quad (2.43)$$

$$\tilde{x}^r_{odp} \ge 0 \tilde{y}^r_{od} \ge 0 \quad (2.44)$$

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองเพื่อให้เกิดผลกำไรมากที่สุด อสมการเงื่อนไขที่ (2.37) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่ง สมการเงื่อนไขที่ (2.38) เป็นข้อจำกัดควบคุมความสมดุลของจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าและออกจากท่าเรือ อสมการเงื่อนไขที่ (2.39) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าและออกจากท่าเรือ สมการเงื่อนไขที่ (2.40) และ (2.41) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องการให้เท่ากับจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ควรจะ

ขนส่ง อสมการเงื่อนไขที่ (2.42) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดที่ขนส่ง อสมการเงื่อนไขที่ (2.43) เป็นข้อจำกัดควบคุมเรือสามารถวิ่งได้บนรอบการเดินทางเดียว และ อสมการเงื่อนไขที่ (2.44) เป็นข้อจำกัดควบคุมไม่ให้ตัวแปรมีค่าติดลบ

แบบจำลองที่ 2 ที่มีการแยกคิดปัญหาเป็น 2 ส่วน จึงมีแบบจำลอง 2 แบบจำลอง โดยส่วนที่ 1 จะเป็นแบบจำลองสำหรับการหาการขนส่งสินค้าในแต่ละเส้นทางให้เหมาะสม และส่วนที่ 2 จะเป็นแบบจำลองสำหรับการกำหนดรูปแบบการเดินทางของเรือเพื่อให้รองรับการขนส่งสินค้าจากแบบจำลองส่วนที่ 1 ซึ่งได้แบ่งแบบจำลองดังกล่าวออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1

$$Max \sum_{(o,d)} \sum_{r} \sum_{p} P^{r}_{odp} x^{r}_{odp} - \sum_{(o,d)} \sum_{r} \sum_{p} cf^{r}_{p} x^{r}_{odp} - \sum_{(o,d)} \sum_{r} ce^{r} y^{r}_{od} \qquad (2.45)$$

*Subject to*

$$\sum_{r} x^{r}_{odp} \le d_{opd} \qquad \forall (o,d) \in ODpair, p \in P \qquad (2.46)$$

$$\sum_{o \in N_k} \sum_{r \in ROD_{(ok)}} (\sum_{p} x^{r}_{okp} + y^{r}_{ok}) = \sum_{d \in N_k} \sum_{r \in ROD_{(kd)}} (\sum_{p} x^{r}_{kdp} + y^{r}_{kd}) \qquad \forall k \in N \qquad (2.47)$$

$$\sum_{o \in N_k} \sum_{r \in ROD_{(ok)}} (\sum_{p} x^{r}_{okp} + y^{r}_{ok}) + \sum_{d \in N_k} \sum_{r \in ROD_{(kd)}} (\sum_{p} x^{r}_{kdp} + y^{r}_{kd}) \le pc_k \quad \forall k \in N \qquad (2.48)$$

$$\sum_{(o,d) \in ODA(i,j) r \in ROD_{od} \cap RA_{ij}} (x^{r}_{odp} + y^{r}_{od}) = w_{ij} \qquad \forall (i,j) \in A \qquad (2.49)$$

$$\sum_{(i,j)} w_{ij} \tau_{ij} \le \sum_{s} \alpha T \square sc_s \qquad (2.50)$$

$$x^{r}_{odp} \ge 0, y^{r}_{od} \ge 0, w_{ij} \ge 0 \qquad (2.51)$$

วัตถุประสงค์ของแบบจำลองส่วนที่ 1 เพื่อให้เกิดกำไรมากที่สุดโดยที่ยังไม่ได้คำนึงถึงค่าปฏิบัติการของเรือ อสมการเงื่อนไขที่ (2.46) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่ง สมการเงื่อนไขที่ (2.47) เป็นข้อจำกัดควบคุมความสมดุลของจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าและออกจากท่าเรือ อสมการเงื่อนไขที่ (2.48) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่เข้าและออกจากท่าเรือ สมการเงื่อนไขที่ (2.49) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์บนเส้นทางการ

เดินทาง อสมการเงื่อนไขที่ (2.50) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดที่ขนส่งในช่วงเวลาหนึ่ง และอสมการเงื่อนไขที่ (2.51) เป็นข้อจำกัดควบคุมไม่ให้ตัวแปรมีค่าติดลบ

ส่วนที่ 2

$$Min \sum_{l} \sum_{s} cs_{ls} I_{ls} \tag{2.52}$$

*Subject to*

$$\sum_{s} \tilde{x}^{ij}_{odps} = \sum_{r \in ROD_{od} \cap RA_{ij}} x^{r*}_{odp} \quad \forall (o,d) \in ODpair, \forall p \in P, \forall (i,j) \in AOD_{od} \tag{2.53}$$

$$\sum_{s} \tilde{y}^{ij}_{ods} = \sum_{r \in ROD_{od} \cap RA_{ij}} y^{r*}_{od} \quad \forall (o,d) \in ODpair, \forall (i,j) \in AOD_{od} \tag{2.54}$$

$$\sum_{(o,d) \in ODA(i,j)} (\sum_{p} \tilde{x}^{ij}_{odps} + \tilde{y}^{ij}_{ods}) \le \sum_{l \in LA(ij)} I_{ls} f_{ls} sc_{s} \quad \forall (i,j) \in A, \forall s \in S \tag{2.55}$$

$$\sum_{l} I_{ls} \le 1 \quad \forall s \in S \tag{2.56}$$

$$\tilde{x}^{ij}_{odps} \ge 0, \tilde{y}^{ij}_{ods} \ge 0, I_{ls} \text{ is binary} \tag{2.57}$$

ทั้งนี้วัตถุประสงค์ของแบบจำลองในส่วนที่ 2 เพื่อให้เกิดค่าปฏิบัติการของเรือทั้งระบบต่ำที่สุด สมการเงื่อนไขที่ (2.53) และ (2.54) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องการให้เท่ากับจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ควรจะขนส่ง อสมการเงื่อนไขที่ (2.55) เป็นข้อจำกัดควบคุมจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ทั้งหมดที่ขนส่ง อสมการเงื่อนไขที่ (2.56) เป็นข้อจำกัดควบคุมเรือสามารถวิ่งได้บนรอบการเดินทางเดียว และอสมการเงื่อนไขที่ (2.57) เป็นข้อจำกัดควบคุมไม่ให้ตัวแปรมีค่าติดลบและเป็นตัวแปรเลขฐานสอง

ดังนั้นเมื่อได้ผลเฉลยจากส่วนที่ 1 จะนำผลเฉลยที่ได้นั้นมาใช้เป็นเงื่อนไขในการแก้ปัญหาส่วนที่ 2 ต่อไป และการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดจากทั้ง 2 ส่วนของแบบจำลองนั้นสามารถทำได้โดยนำผลเฉลยของส่วนที่ 2 ซึ่งเป็นค่าปฏิบัติการของเรือที่ต่ำที่สุดมาหักออกจากผลกำไรสุทธิจากการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ในส่วนที่ 1 จะทำให้ได้ผลลัพธ์ คือ กำไรสุทธิของทั้งระบบ

การนำแบบจำลองทั้งสองมาทำการทดสอบกับข้อมูลตัวอย่างที่ประกอบด้วยเรือ 3 ลำและท่าเรือ 3 ท่า จากนั้นนำมาทำการแก้ปัญหาเชิงเส้นตรง ซึ่งผลของการทดสอบแบบจำลองพบว่าแบบจำลองที่รวมทั้ง 2 ปัญหาไว้ด้วยกันจะสามารถเพิ่มประโยชน์ในเรื่องความสามารถในการให้บริการขนส่งมากกว่าแบบจำลองที่แยกคิดทีละปัญหาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โดยแบบจำลองที่รวมทั้ง 2 ปัญหาไว้ด้วยกันจะสามารถก่อให้เกิดกำไร 11,664,730 หน่วย ซึ่งมากกว่าผลกำไรจากแบบจำลองที่แยกคิดทีละปัญหาที่ได้กำไรเพียง 10,744,730 หน่วย

Yc et al. [15] ได้พิจารณาเพื่อตอบสนองครอบคลุมทั้งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าและตู้คอนเทนเนอร์เปล่า โดยพิจารณาตู้คอนเทนเนอร์ประเภทเดียวแต่มีหลายระดับราคาซึ่งขึ้นอยู่กับสินค้าภายในตู้คอนเทนเนอร์ โดยการทำแบบนี้สามารถเปรียบได้กับการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์หลายประเภท และยังได้พิจารณาในส่วนของความสามารถในการให้บริการของท่าเรือ รวมถึงการพิจารณาจัดเรือให้เหมาะสมกับเส้นทางการเดินเรือ และแบบจำลองนี้แก้ปัญหาด้วยแบบจำนวนจริงในส่วนของการจัดการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ แต่ในส่วนของการจัดเรือให้เหมาะสมในแต่ละเส้นทางนั้นจะแก้ปัญหาด้วยแบบจำลองที่เป็นจำนวนเต็มแบบเลขฐานสอง ซึ่งส่วนนี้จะทำให้เวลาในการแก้ปัญหานานขึ้นเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น

**2.3 แนวทางในการแก้ปัญหา**

เป็นการนำศาสตร์ทางด้านการวิจัยการดำเนินงาน (Operations Research) มาประยุกต์ใช้ในการช่วยแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยที่เหมาะสม สามารถแบ่งออกเป็น 2 แนวทางใหญ่ๆ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

**2.3.1 วิธีฮิวริสติคส์**

วิธีฮิวริสติคส์ (Heuristic Method) เป็นวิธีการหาผลเฉลยโดยการใช้หลักความคิดเพื่อประมาณผลเฉลยที่มีคุณภาพยอมรับได้ รูปแบบการหาผลเฉลยประเภทนี้จะมีจุดเด่นอยู่ที่ความรวดเร็วในการคำนวณ ผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยที่ดีแต่ไม่สามารถจะสรุปได้ว่าเป็นผลเฉลยที่ดีที่สุด การพิจารณาวิธีการทางฮิวริสติคส์นี้จะขึ้นกับหลักความคิดของผู้พัฒนารูปแบบการแก้ปัญหาเป็นหลักในแบบจำลองหนึ่งๆ อาจมีรูปแบบการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติคส์ที่แตกต่างกันได้มากมาย เช่น

งานวิจัยของ Lee et al. [16] เสนอวิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method) ในการแก้ปัญหาการจัดการรายได้ของอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าทางทะเลแบบเที่ยวเดียว โดยเสนอนโยบายที่เหมาะสมในการจัดสรรระวางการขนส่งสินค้าบนเรือซึ่งปัญหานี้เป็นปัญหาการผสมผสานกำหนดการเชิงเส้น (Mixed-Integer Linear Programming Problem)

**2.3.2 วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด**

วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Exact Solution Method) เป็นการหาผลเฉลยด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ซึ่งผลเฉลยที่ได้มักจะมีคุณภาพดีกว่ารูปแบบวิธีฮิวริสติกส์ การแก้ปัญหารูปแบบนี้จำเป็นต้องใช้คอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการประมวลผลเพื่อหาผลเฉลย และเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยอาจมากกว่าวิธีการแบบฮิวริสติกส์ ดังนั้นวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนี้นั้นเหมาะกับปัญหาที่มีขนาดเล็ก โดยเป็นการแก้ปัญหาเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดในการแก้ปัญหา วิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้รับความนิยมนั้นมีด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีซิมเพล็กซ์, วิธีแตกกิ่ง เป็นต้น

ยิ่งไปกว่านั้นการแก้ปัญหาด้วยวิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดนี้ ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาแบบผ่อนคลาย (Relaxation) เพื่อกำหนดขอบเขตผลเฉลยจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมี 2 วิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ ลากรานเกียนแบบผ่อนคลาย (Lagrangean Relaxation) และ กำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลาย (Linear Program Relaxation) ซึ่งในแต่ละวิธีการสามารถเลือกใช้เทคนิคต่างๆ เข้าช่วย เช่น การใช้เทคนิคกำเนิดสดมภ์ (Column Generation Technique) จากงานวิจัยของ Kniker [9] และการใช้เทคนิคกำเนิดแถว (Row Generation Technique) เพื่อให้สามารถหาค่าคำตอบได้รวดเร็วขึ้น ดังจะกล่าวถึงรายละเอียดในลำดับถัดไป

วิธีกำเนิดสดมภ์เป็นวิธีที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ (Large-Scale Linear Programs) ซึ่งเหมาะกับปัญหาที่มีตัวแปรจำนวนมาก การหาค่าผลเฉลยด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์สำหรับแบบจำลองรูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มนั้นเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลองของปัญหาหลักที่เป็นไปได้เริ่มต้น และหาค่าผลเฉลยด้วยเทคนิคการแตกกิ่งและจำกัดขอบเขต (Branch and Bound)

หลังจากนั้นจึงจะนำผลเอาเฉลยที่ได้มาตรวจสอบกับว่ามีส่วนต่างจากขอบเขตของผลเฉลยที่หาจากการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นแบบผ่อนคลายมากกว่าที่กำหนดหรือไม่ ถ้าอยู่ในขอบเขตแล้วก็จบการทำงาน แต่ถ้าเกินกว่าขอบเขตที่ตั้งไว้ต้องทำการตรวจสอบต่อไปว่ามีตัวแปรใดที่สามารถทำให้ผลเฉลยมีค่าลดลงได้หรือไม่ ถ้ามีก็จะเพิ่มตัวแปรกลุ่มนั้นเข้าไปในแบบจำลองส่วนหลัก และทำการแก้ปัญหากำหนดเชิงจำนวนเต็มอีกครั้ง จนกระทั่งไม่มีตัวแปรใดที่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีกว่าเดิมได้ แล้วจะถือว่าเป็นการสิ้นสุดกระบวนการหาผลเฉลย เห็นได้ว่าวิธีกำเนิดสดมภ์สามารถช่วยลดขนาดของปัญหาในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดลงได้อย่างมาก

จาก์การศึกษาการใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์ ของ Kniker [9] ได้ทำการทดลอง โดยใช้เทคนิคกำเนิดสดมภ์ด้วยวิธีที่ต่างกัน 2 แบบ คือวิธีที่ 1 (All) จะเป็นการใส่ทุกสดมภ์ที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลง (Reduced Cost) มีค่าเป็นลบ วิธีที่ 2 (Best Column) จะเป็นการใส่ตัวแปรที่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงที่มีค่าน้อยที่สุด และใส่ตัวแปรเพิ่มทีละตัวจนกว่าจะไม่มีค่าใช้จ่ายที่ลดลงที่เป็นค่าลบแล้วจึงหยุดใส่ตัวแปรเพิ่ม ผลจากการทดลองพบว่าวิธีที่ 2 จะมีจำนวนสดมภ์ที่ใส่ในแบบจำลองน้อยกว่า ส่งผลให้จำนวนรอบในการแก้ปัญหาน้อยกว่าตามไป และยังใช้เทคนิคการกำเนิดสดมภ์ร่วมกับเทคนิคการกำเนิดแถวมาช่วยในการแก้ปัญหาการจัดที่นั่งผู้โดยสารบนเครื่องบินที่คำนึงถึงการเปลี่ยนลำดับเที่ยวบินด้วย

วิธีกำเนิดแถวเป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ (Large-Scale Linear Programs)ได้ การหาค่าผลเฉลยด้วยเทคนิคการกำเนิดแถวสำหรับแบบจำลองรูปแบบกำหนดการเชิงจำนวนเต็มนั้นเริ่มต้นจากการสร้างแบบจำลอง โดยมีสมการเงื่อนไขของปัญหาหลักอยู่ในแบบจำลองชุดเริ่มต้น และหาค่าผลเฉลย หลังจากนั้นนำผลเฉลยที่ได้มาตรวจสอบกับว่ามีคำตอบจากแบบจำลองชุดเริ่มต้นอยู่ในเงื่อนไขทั้งหมดของแบบจำลองหรือไม่ ถ้าอยู่ในเงื่อนไขแล้วก็จบการทำงาน แต่ถ้าไม่อยู่ในสมการเงื่อนไขใดก็ตาม จะทำการเพิ่มสมการเงื่อนไขนั้นเข้าไปเป็นสมการเงื่อนไขในแบบจำลอง และทำการหาผลเฉลยใหม่ทำจนกระทั่งไม่มีคำตอบจากแบบจำลองที่ละเมิดสมการเงื่อนไข ซึ่งวิธีกำเนิดแถวจะเป็นวิธีที่นำมาช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการหาผลเฉลยสำหรับงานวิจัยนี้ โดยขั้นตอนการกำเนิดแถวจะกล่าวถึงในรายละเอียดภายหลัง

และเนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์นั้นมีสมมติฐานของแบบจำลองคือ ความต้องการการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้ามีเข้ามาพร้อมกันทั้งหมด ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดสรรระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าจึงสามารถเลือกรับจองระวางที่มีราคาสูง เพื่อทำให้รายได้รวมของทั้งระบบมีค่ามากที่สุด แต่ในความเป็นจริงความต้องการการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้านั้นไม่ได้เข้ามาพร้อมกันทั้งหมด ดังนั้นผู้วิจัยจึงขอเสนอแบบจำลองสถานการณ์สำหรับการรับจองระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้า เพื่อศึกษาผลจากการรับจองระวางการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์สินค้าในสถานการณ์จริง โดยกระบวนการในการรับจองระวางนี้จะเรียกว่า กระบวนการควบคุมการจอง (Booking Control)

## 2.3 การควบคุมการจอง (Booking Control)

เป็นกระบวนการในการกำหนดว่าระวางที่ทำการจองเข้ามาว่าระวางใดควรจะรับจอง และระวางใดควรจะปฏิเสธ ซึ่งรูปแบบในการทำการควบคุมการจองที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้คือ วิธีการรับจองระวางจากราคาประมูล (Bid Pricing)

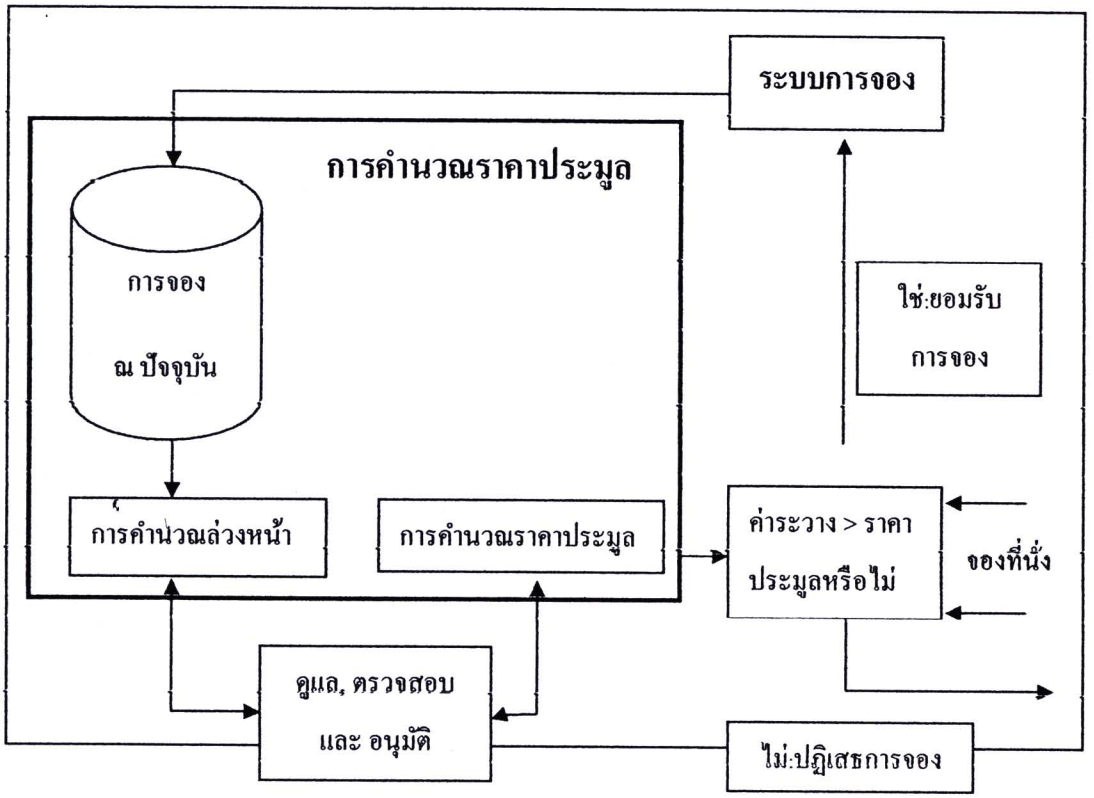
### 2.3.1 การรับจองระวางจากราคาประมูล (Bid Pricing)

หลักการของการรับจองระวางจากราคาประมูล คือทรัพยากรที่มีจำนวนจำกัดควรจะมีการใช้ก็ต่อเมื่อในกรณีที่ราคาสูงกว่าต้นทุนค่าเสียโอกาสของทรัพยากรนั้น โดยที่ราคาประมูลสำหรับทรัพยากร คือต้นทุนค่าเสียโอกาสของทรัพยากรนั้น ดังนั้นจะมีการยอมรับการจองก็ต่อเมื่อรายได้ที่เกิดจากการรับจองระวางมากกว่าต้นทุนค่าเสียโอกาสที่เกิดขึ้น หรือราคาประมูลนั่นเอง

ขั้นตอนการรับจองระวางจากราคาประมูล

1. หาราคาประมูลของแต่ละขาการเดินทาง ซึ่งรายละเอียดการหาราคาประมูลจะกล่าวถึงในภายหลัง

2. นำค่าระวางมาเปรียบเทียบกับผลรวมของราคาประมูล ถ้า ค่าระวางมากกว่าหรือเท่ากับราคาประมูล ก็ยอมรับการจองระวางนั้น




รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการรับจองระวางจากราคาประมูล

ราคาประมูลจะควบคุมกลไกเพื่อบอกให้แน่ใจเพียงแค่ว่าเราจะไม่รับธุรกิจที่มีผลต่างระหว่างราคาขายกับต้นทุน (Margin) น้อยกว่าต้นทุนค่าเสียโอกาส แต่มันไม่สามารถบอกถึงราคาตลาดอย่างถูกต้องได้