บทที่ 4
แบบจำลองการจัดเส้นทางเดินเรือ

แบบจำลองการเดินเรือ คือแบบจำลองการเดินทางซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้สำหรับทำนายค่าปริมาณ และลักษณะการเดินทางของบุคคล หรือสินค้าเพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการขนส่ง โดยแบบจำลองการขนส่งที่นิยมใช้ในการวางแผนการขนส่ง คือ แบบจำลองชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน (Sequential Four-Step Model) อันประกอบด้วย

1. แบบจำลองการเกิดการเดินทาง (Trip Generation Model) คือ แบบจำลองที่ใช้สำหรับหาปริมาณการสร้างการเดินทาง และการดึงดูดการเดินทางของพื้นที่ศึกษา แบบจำลองนี้สามารถพัฒนาขึ้นโดยอาศัย ความสัมพันธ์ระหว่างการเกิดการเดินทางในพื้นที่ศึกษา ภายใต้ตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเดินทาง อันได้แก่ จำนวนประชากร การจ้างงาน รายได้ประชากร และจำนวนยานพาหนะภายในพื้นที่ศึกษา

2. แบบจำลองการกระจายการเดินทาง (Trip Distribution Model) คือ แบบจำลองที่ใช้สำหรับหาปริมาณการเดินทางระหว่างพื้นที่ แบบจำลองนี้สามารถพัฒนาขึ้นโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเกิดการเดินทางที่จุดกำเนิดการเดินทาง (Production Zone) ปริมาณการดึงดูดการเดินทาง (Attraction Zone) และค่าความห่าง (Separation) ซึ่งอาจจะเป็นในรูปค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

3. แบบจำลองการเลือกประเภทการขนส่ง (Model Split Model) คือ แบบจำลองที่ใช้สำหรับหาปริมาณ หรือสัดส่วนการเดินทางของประเภทการขนส่งต่าง ๆ ภายใต้พื้นที่ศึกษา แบบจำลองนี้สามารถพัฒนาขึ้นโดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณหรือสัดส่วนการเดินทางของประเภทการขนส่งต่าง ๆ กับปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจเลือกประเภทขนส่ง อันได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ระยะทาง ระยะเวลาในการเดินทาง ความสะดวกในการเดินทาง และความน่าเชื่อถือสำหรับประเภทการขนส่งนั้น ๆ

4. แบบจำลองการแจกแจงเส้นทาง (Trip Assignment Model) คือ แบบจำลองที่ใช้สำหรับคาดการหาปริมาณ การเดินทางภายในโครงข่ายที่ใช้ในการเดินทางระหว่างพื้นที่ แบบจำลองนี้สามารถพัฒนาขึ้นโดยการนำปริมาณการเดินทางที่ได้จากแบบจำลองข้างต้นทำการแจกแจงลงระบบโครงข่ายการขนส่ง ตามลักษณะอาศัยข้อมูลของระบบโครงข่าย และข้อมูลค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำหรับการศึกษานี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเลือกเส้นทางการขนส่งสินค้าระหว่างท่าเรือชายฝั่งในอ่าวไทย กับท่าเรือแหลมฉบัง โดยเรือ Container ชายฝั่ง ซึ่งเป็นการศึกษา โดยอาศัยแบบจำลองการแจกแจงเส้นทาง (Trip Assignment Model) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองชนิดต่อเนื่อง 4 ขั้นตอน

การพัฒนาแบบจำลองในการจัดเส้นทางเดินเรือที่สอดคล้องกับปัญหาที่ผ่านมายังไม่นิยมใช้ ทั้งนี้อาจเนื่องจาก

- ข้อจำกัดในเรื่องความรู้ ความเข้าใจต่อเรื่องคุณสมบัติของเรือ และประเภทของท่าเรือและร่องน้ำ
- ข้อจำกัดของตัวสินค้า ที่มีปริมาณไม่แน่นอน เพราะลักษณะของการขนส่งภายในประเทศนิยมใช้ทางถนนมากกว่า ทำให้สินค้าที่จะขนทางชายฝั่งมีไม่มาก และไม่สามารถประมาณการของอุปสงค์ของตู้ Container ได้

การออกแบบ แบบจำลองในการจัดเส้นทางเดินเรือให้สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นเป็นขั้นตอนที่สำคัญ โดยการศึกษานี้จะนำเทคนิคการหาค่าประหยัดได้ (Saving) มาจัดสร้างให้การเดินเรือมีความเหมาะสม และสามารถใช้งานได้จริง

การสร้างเส้นทางเดินเรือเบื้องต้นด้วยเทคนิคการหาค่าประหยัด

แบบจำลองในการจัดเส้นทางเดินเรือด้วยการหาค่าประหยัด จะมีหลักการพื้นฐานดังนี้ คือ

- คำนวณหาระยะทางที่สามารถประหยัดได้จากการเลือกเส้นทางในการเดินทางจากจุดตั้งต้น i ใด ๆ ไปยังจุดปลาย j ใด ๆ
- เรียงค่าการประหยัดจากมากไปน้อยโดยค่าประหยัดที่มีค่ามากจะมีโอกาสถูกนำเข้ามาอยู่ในเส้นทาง
- สร้างเส้นทางโดยพิจารณาคู่ลำดับของค่าประหยัดให้เข้ามาอยู่ในเส้นทางจนกระทั่งจัดเส้นทางได้ครบ และสอดคล้องกับข้อจำกัดต่าง ๆ

ในปัจจุบันเทคนิคการหาค่าการประหยัดมีวิธีการเลือกเส้นทางให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง 3 ประเภท คือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. Sequential-Saving Heuristic (SS) เป็นวิธีการหาเส้นทางทีละเส้นทางโดยการเพิ่มจุดส่งที่ไม่ได้อยู่ในเส้นทางให้เข้ามาอยู่ที่ปลายของเส้นทาง ด้วยค่าการประหยัดโดยเรียงลำดับจากค่ามากไปน้อย ทั้งนี้เส้นทางที่ได้ต้องคำนึงถึงข้อกำหนดต่าง ๆ วิธีการนี้มีข้อดี เนื่องจากเส้นทางที่ได้จากการวิเคราะห์แต่ละเส้นทาง จะมีการใช้เรืออย่างคุ้มค่า เพราะเส้นทางเรือจะมีการเพิ่มขึ้นใหม่ก็ต่อเมื่อสินค้าเกือบจะเต็มลำเท่านั้น แต่วิธีการนี้อาจมีข้อด้อย เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางอาจไม่ได้คำตอบที่มีค่าน้อยที่สุด

2. Parallel Saving Heuristic (PS) เป็นวิธีการสร้างเส้นทางโดยเริ่มจากการนำจุดส่ง 2 จุด ที่ไม่อยู่ในเส้นทาง แต่ทำให้มีค่าการประหยัดสูงสุด เข้ามาอยู่ในเส้นทางก่อน หลังจากนั้นจึงพิจารณาหาจุดส่ง 2 จุดถัดไป ที่มีค่าการประหยัดรองลงมา เข้ามาอยู่ในเส้นทาง โดยถ้าจุดส่งทั้ง 2 ไม่เคยถูกจัดอยู่ในเส้นทางมาก่อนก็ให้สร้างเป็นเส้นทางใหม่ แต่ถ้าหากมีจุดใดที่อยู่ในเส้นทางแล้วให้นำเส้นทางดังกล่าวมารวมกันโดยเส้นทางจะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัด วิธีดังกล่าวมีข้อดีคือ เส้นทางที่ได้จะมีความยุติธรรม เพราะมีการกระจายไปยังท่าเรืออื่น ๆ ดี และไม่กระจุกตัวกันแน่น จนทำให้เส้นทางบางเส้นทางมีจุดส่งแน่น หรือน้อยเกินไป

3. Generalized Saving Heuristic (GS) เป็นวิธีการที่พัฒนามาจากวิธี PS โดยพิจารณาว่านอกจากจะนำจุด 2 จุด ที่ไม่อยู่ในเส้นทางรวมเป็นเส้นทางเดียวกันได้แล้ว ยังมองว่า เป็นเส้นทางที่ได้จากวิธี PS อาจสามารถนำมารวมกันเพื่อสร้างเป็นเส้นทางใหม่ได้ ถ้าระยะในการขนส่งลดลงจากเดิม ดังนั้น วิธีการนี้จะต้องตรวจสอบการประหยัดที่เกิดขึ้นทุกครั้งจึงทำให้วิธีการนี้ใช้ระยะเวลาวิเคราะห์มากขึ้น

จากการเปรียบเทียบวิธีการ ในการออกแบบ แบบจำลองและความสามารถของแต่ละแบบ พบว่าวิธีที่เหมาะสมสำหรับงานศึกษานี้คือ วิธี SS เพราะว่า เท่าที่ค้นคว้ามา ยังไม่เคยมีการทำแบบจำลองเรือมาก่อน นอกจากนี้วิธีนี้ ยังช่วยให้ผู้ประกอบการระบุจำนวนเรือที่สามารถให้บริการได้ง่ายกว่า รวมทั้งวิธีการ ดังกล่าว ยังสามารถพัฒนาแบบจำลองได้ง่าย เพื่อให้ผู้สนใจศึกษาต่อ ทำการพัฒนาและปรับปรุงแบบจาก SS เป็น PS และเป็น GS ได้ในอนาคต

การกำหนดการทำงานของแบบจำลอง

การทำงานของแบบจำลองสามารถกำหนดขึ้นได้หลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสำคัญ ระดับของปัญหาและประเภทของข้อมูลที่จะนำเข้า รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ และข้อกำหนดต่าง ๆ รายละเอียดการทำงานของแบบจำลองประกอบไปด้วย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1. การสร้างเมตริกซ์ระยะทาง

เมตริกซ์ระยะทางเป็นศูนย์ข้อมูลนำเข้าที่สำคัญ สำหรับการจัดเส้นทาง และมีผลต่อความถูกต้องของคำตอบ โดยทั่วไปจะมี 2 รูปแบบ คือ เมตริกซ์แบบครึ่งชุด (Half-Matrix) และเมตริกซ์แบบเต็มชุด (Full Matrix) ซึ่งเมตริกซ์แบบครึ่งชุดเป็นเมตริกซ์ที่กำหนดให้ระยะทางจากจุดตั้งต้น i ใด ๆ ไปยังจุดปลาย j ใด ๆ มีค่าเท่ากับระยะในทิศทางกลับกัน คือ จากจุดตั้งต้น j ใด ๆ ไปยังจุดปลาย i ใด ๆ โดยเมตริกซ์แบบครึ่งชุดนี้จะช่วยลดขั้นตอนการคำนวณเส้นทางและจัดเส้นทางลงครึ่งหนึ่ง แต่การศึกษานี้ได้กำหนดให้เมตริกซ์ที่จะใช้วิเคราะห์เป็นแบบเต็มชุด (Full Matrix) เพราะต้องการให้แบบจำลองสามารถถูกนำไปใช้ในกรณีทั่วไปได้กว้างกว่า แม้ว่าจะทำให้การสร้างเมตริกซ์ และวิเคราะห์ช้าลง

2. การเลือกจุดส่งจุดแรก

ให้การเลือกจุดส่งจุดแรกให้เข้ามาอยู่ในเส้นทาง สามารถยึดหลักเกณฑ์ใด หลักเกณฑ์หนึ่งดังนี้

- เลือกจุดส่งเพียงจุดเดียวที่อยู่ไกลจากศูนย์ฯ มากสุด
- เลือกจุดส่งเพียงจุดเดียวที่อยู่ใกล้จากศูนย์ฯ มากสุด
- เลือกจุดส่งสองจุดที่มีค่าการประหยัดมากที่สุด

จากการเปรียบเทียบความเหมาะสมทั้ง 3 แบบ จะพบว่า การเลือกคู่จะคส่งที่ให้ค่าการประหยัดสูงสุดจะเป็นวิธีที่ดีที่สุด เนื่องจากได้ผสมผสานทั้งแนวคิดทั้ง 2 ข้อแรกเข้าด้วยกัน กล่าวคือ ค่าการประหยัดที่มีค่ามากมักอาจเกิดขึ้นจากจุดที่อยู่ไกลจากศูนย์ ฯ ก็ได้ หรือระยะทางที่ใกล้ศูนย์ฯ ก็อาจทำให้เกิดการประหยัดที่มีค่ามากได้หากคู่ลำดับทั้ง 2 อยู่ใกล้กัน

3. การลำดับการส่งภายในเส้นทาง

การหาลำดับการส่งสินค้า ในเส้นทางด้วยเทคนิคค่าการประหยัด เริ่มต้นด้วยการหาจุดส่ง 2 จุดที่ทำให้เกิดการประหยัดสูงสุด ซึ่งสมมติให้เป็น A และ B หลังจากนั้นจึงหาจุดส่งในลำดับถัดไปเข้ามาอยู่ในเส้นทาง ซึ่งสมมติให้เป็น C ซึ่งเราสามารถพิจารณา เพื่อเปรียบเทียบได้ 3 กรณี ดังนี้

3.1 หาค่าประหยัดจากการหาท่าเรือ C เข้ามาอยู่ในเส้นทางที่ปลาย A ที่มีค่ามากที่สุด ตัวแสดงในภาพที่ 25 นั่นคือ

$$S = [d_{1_{C1}} + d_{C1} + d_{1A} + d_{AB} + d_{B1}] - [d_{1_{C1}} + d_{C_1 A} + d_{AB} + d_{B1}]$$

$$S = d_{C_1 1} - d_{C_1 A} + d_{1A} \qquad (4\text{-}1)$$

3.2 หาค่าการประหยัดได้จากการหา ท่าเรือ C_2 เข้ามาอยู่ในเส้นทางที่ปลาย B ที่มีค่ามากที่สุด คือ แสดงในภาพที่ 4.1 นั่นคือ

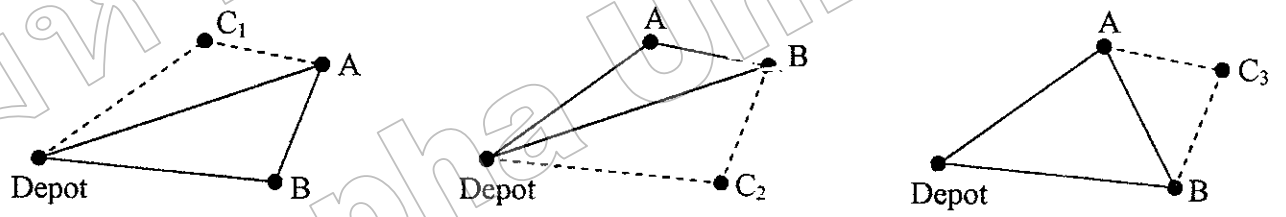
$$S = [d_{1C_2} + d_{C_2 1} + d_{1A} + d_{AB} + d_{B1}] - [d_{1A} + d_{AB_2} + d_{BC_2} + d_{C_2 1}]$$

$$= d_{1C_2} - d_{BC_2} + d_{B1_2} \qquad (4\text{-}2)$$

3.3 หาค่าการประหยัดได้จากการหาท่าเรือ C_3 เข้ามาอยู่ระหว่างปลาย A กับปลาย B ที่มีค่ามากที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 4.1 นั่นคือ

$$S = [d_{1C_3} + d_{C_3 1} + d_{1A} + d_{AB} + d_{B1}] - [d_{1A} + d_{AC_3} + d_{C_3 B} + d_{B1}]$$

$$S = d_{1C_3} + d_{C_3 1} + d_{AB} - d_{AC_3} - d_{C_3 B} \qquad (4\text{-}3)$$

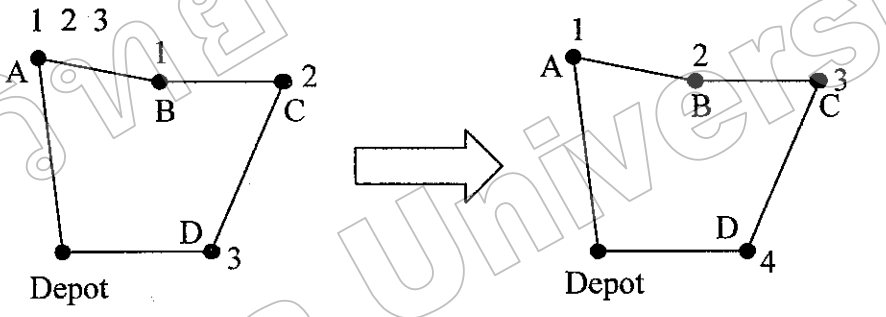


แบบที่ 1 แบบที่ 2 แบบที่ 3

ภาพที่ 25 รูปแบบการหาจุดส่งที่เหมาะสมกับการหาค่าการประหยัด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การศึกษาส่วนใหญ่ที่ผ่านมา จะพิจารณาจัดเส้นทางด้านข้างใด ข้างหนึ่งเท่านั้น โดยมักจะให้จุดส่งเข้ามาอยู่ที่ปลายที่อยู่ห่างจากศูนย์ฯ น้อยที่สุด และให้ปลายที่อยู่ห่างจากศูนย์ฯ มากที่สุดเป็นลำดับการส่งแรก เนื่องจาก เรือสามารถทำความเร็วในช่วงระยะทางไกลได้ดีกว่า ในช่วงสั้น นอกจากนี้ยังพบว่า เหตุที่เลือกเพียงปลายเดียว เนื่องจาก สามารถพัฒนาระบบได้ง่าย โดยเฉพาะในการจัดลำดับให้เริ่มต้นจาก 1,2, ... ไปจนกระทั่งเส้นทางถึงข้อจำกัดการจัดเส้นทาง แต่สำหรับการศึกษานี้จะพิจารณาให้ทดสอบกับปลายทั้ง 2 ข้าง ซึ่งวิธีนี้จะให้คำตอบที่ดีกว่า แต่จำเป็นต้องพัฒนา แบบจำลองให้ซับซ้อนขึ้นด้วยการให้แบบจำลองจัดลำดับเป็น 1,2, ... ออกไปทั้ง 2 ข้าง โดยปลายทั้ง 2 จะต้องเพิ่มขึ้นเท่า ๆ กัน หากปลายทางข้างใดไม่มีจุดส่งเข้ามาอยู่ในเส้นทางให้นำเลขที่ของจุดส่งเดิมมาใส่ไว้แทน และกระทำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง เส้นทางถึงข้อจำกัดที่กำหนด หลังจากนั้นจึงสร้างตัวแปรเพื่ออ่าน และจัดลำดับให้ถูกต้องอีก ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การเปลี่ยนข้อมูลการส่งจาก 2 ปลายเป็นลำดับการส่งในแต่ละเส้นทาง

จากรูปจะเห็นได้ว่า ลำดับท่าเรือที่ 1 2 3 ในด้านซ้ายมือ คือ A ขณะที่ด้านขวามือจะมีลำดับการส่งคือ B C D เนื่องจากพบว่า ค่าการประหยัดของในด้านปลายขวามีค่าดีกว่าด้านซ้าย

สำหรับการศึกษานี้จะไม่พิจารณาหาค่าการประหยัดในกรณีที่ 3 เนื่องจากจำเป็นต้องพัฒนาแบบจำลองให้ซับซ้อนขึ้น เพื่อให้สามารถเปลี่ยนแปลงลำดับการส่งสินค้าได้ใหม่ ทุกครั้งที่มีการเพิ่มจุดส่งใหม่ เข้าไปทั้งนี้เพราะ ค่าการประหยัดในกรณีที่ 3 จะมีรูปแบบของสมการที่แตกต่างจากสองกรณีแรก ซึ่งจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำ และสร้างฐานข้อมูลมากขึ้น จนยากต่อการพัฒนา

3.4 การกำหนดข้อจำกัดพื้นที่ในการส่ง

ในสภาพความเป็นจริง ท่าเรือในแต่ละแห่งจะมีสภาพร่องน้ำแตกต่างกัน ท่าเรือบางท่าอาจมีระดับลึกมากในระดับ Seaport แต่บางท่าก็จะเป็น River Port ด้วยเหตุนี้ผู้ประกอบการจึงต้องพิจารณาถึงสภาพเขตการส่งในแต่ละแห่ง เพื่อสามารถเลือกใช้เรือและท่าเรืออย่างคุ้มค่าที่สุด

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

3.5 แนวคิดการเลือกใช้เรือ

โดยทั่วไปเทคนิคในการจัดเส้นทางเดินเรือมักกำหนดให้แบบจำลองสามารถ นำเรือเข้ามาใช้ในการจัดเส้นทางได้โดยไม่จำกัดจำนวนเรือ โดยถ้าเรือลำเดิมมีปริมาณบรรทุกถึงขอบเขต หรือข้อจำกัดให้จัดเส้นทางใหม่ก็จะให้เปลี่ยนลำใหม่ทันที วิธีดังกล่าวมีข้อเสียเนื่องจาก ในบางครั้งจำนวนเรือที่ใช้อาจมีมากกว่าจำนวนเรือที่มีอยู่จริง ดังนั้นการศึกษานี้ จึงกำหนดให้ใช้จำนวนเรือได้ไม่เกินจำนวนที่มีอยู่จริง

การปรับปรุงเส้นทาง

การปรับปรุงเส้นทางด้วยเทคนิคฮิวริสติกมีวัตถุประสงค์ที่จะนำเส้นทางที่มีอยู่แล้วมาปรับปรุงด้วยการผ่านกระบวนการค้นหา (Search Mechanism) โดยอาจจำแนกประเภทของการปรับปรุงเส้นทางตามวิธีการเคลื่อนย้ายจุดส่งในเส้นทาง ได้ดังนี้

1. การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง (Within-Routes)

1.1 พื้นฐานความคิดของวิธีการปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทาง

การปรับปรุงลำดับการส่งภายในเส้นทางเป็นขั้นตอนหนึ่งของการสร้างเส้นทางแบบผสมผสาน (Composite Procedure) ซึ่งการศึกษานี้เลือกใช้วิธีการปรับปรุงเส้นทางด้วยการเปลี่ยนเส้นทางการส่ง 2 เส้นทาง (Second Routes) ด้วยการทดลองย้ายลำดับการส่งแล้วตรวจสอบผลลัพธ์ จากการปรับปรุง แล้วใช้การแลกเปลี่ยนไปเป็นเส้นทางการส่ง 3 เส้นทาง (Triple Routes) ไปจนครบทุกเส้นทาง แนวคิดของการพัฒนาการปรับปรุงเส้นทางมีดังนี้

1.1.1 กำหนดให้ระบบโครงข่ายของเส้นทางให้เป็นเมตริกซ์ระยะทางแบบสมมาตร เนื่องจากทิศทางในการเดินทางมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม คือ จาก s_{i+1} ไป s_{il} จะเปลี่ยนทิศทางมาเป็น s_{il} ไป s_{i+1} ดังแสดงในภาพที่ 27 ซึ่งหากสมมติให้เมตริกซ์ เป็นแบบสมมาตรแล้วจะลดความซับซ้อนของปัญหาได้มาก โดยไม่ต้องคำนวณระยะทางในช่วงนั้น

1.1.2 กำหนดให้เลือกเส้นทางที่ต้องการที่จะปรับปรุงและจำนวนรอบในการปรับปรุง โดยการปรับปรุงเส้นทางแต่ละรอบ โดยสลับลำดับการส่ง และค้นหาลำดับที่ดีสุดที่ทำให้ระยะทางในการขนส่งมีค่าน้อย

1.2 ขั้นตอนการปรับปรุงเส้นทาง

1.2.1 เลือกเส้นทางที่ต้องการปรับปรุง และกำหนดจำนวนรอบของการปรับปรุง

1.2.2 เลือกจุดส่งที่ต้องการสลับ s_i และ $s_{i'}$ โดยเริ่มจากจุดส่งในลำดับแรกไปจนครบทุกจุดส่ง

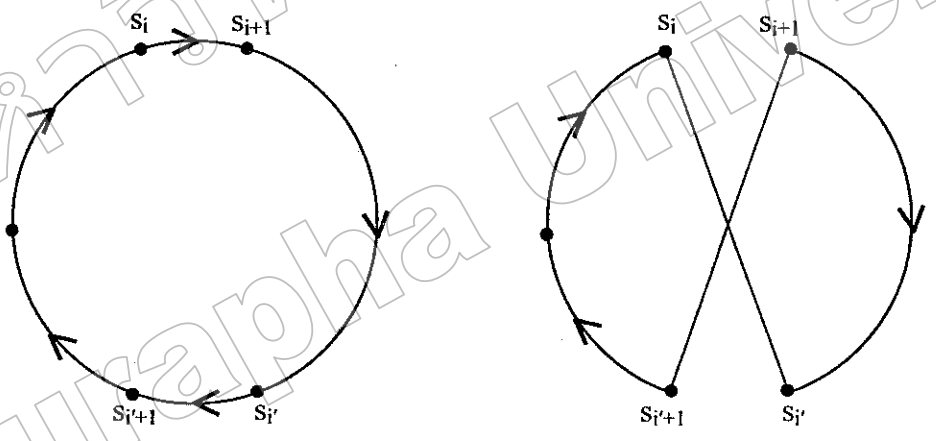
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

1.2.3 ทดลองสลับเส้นทางโดยเปลี่ยนเส้นทางจาก s_i ไปยังจุด s_{i+1} และเส้นทางจาก $s_{i'}$ ไป $s_{i'+1}$ เพื่อสร้างเส้นทางใหม่ คือเส้นทาง s_i ไป $s_{i'}$ และเส้นทางจาก s_{i+1} ไป $s_{i'+1}$ ดังแสดงในภาพที่ 27

1.2.4 ตรวจสอบระยะทางที่ได้จากการปรับปรุงเทียบกับระยะทางก่อนการปรับปรุง ดังสมการที่ 4-4 ถ้าการสลับลำดับการส่งไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขหรือข้อกำหนดในการเดินเรือ และทำให้เกิดการประหยัดในการปรับปรุงเส้นทาง ให้บันทึกจุดส่ง s_i และ s_i และค่าการประหยัด หลังจากนั้นจึงกลับไปทำขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งครบทุก ๆ จุดส่ง

$$d(s_i, s_{i+1}) + d(s_{i'}+s_{i'+1}) > d(s_i+s_{i'}) + d(s_{i+1},s_{i'+1}) \qquad (4\text{-}4)$$

1.2.5 ตรวจสอบหาจุดส่ง s_i และ $s_{i'}$ ที่ทำให้เกิดการประหยัดสูงสุดและสลับเส้นทางไปยังเส้นทางใหม่ หลังจากนั้นจึงเริ่มต้นปรับปรุงเส้นทางซ้ำในรอบใหม่ใน ขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งไม่สามารถปรับปรุงได้หรือครบตามจำนวนครั้งการปรับปรุงที่ได้กำหนดไว้



(x) (y)

ภาพที่ 27 การปรับปรุงเส้นทางด้วยวิธี 2- Routes

2. การปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่งระหว่างเส้นทาง

2.1 พื้นฐานความคิดในการปรับปรุงด้วยการแลกหรือย้ายจุดส่ง ระหว่างเส้นทางสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

2.1.1 Local Optimization Heuristic หรือ Local Improvement (LI) ซึ่งวิธีการอย่างง่ายที่นิยมใช้มากสุด ด้วยการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการย้ายจุดส่งไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ในแต่ละรอบ โดยมีขั้นตอนในการปรับปรุงเส้นทาง ดังนี้

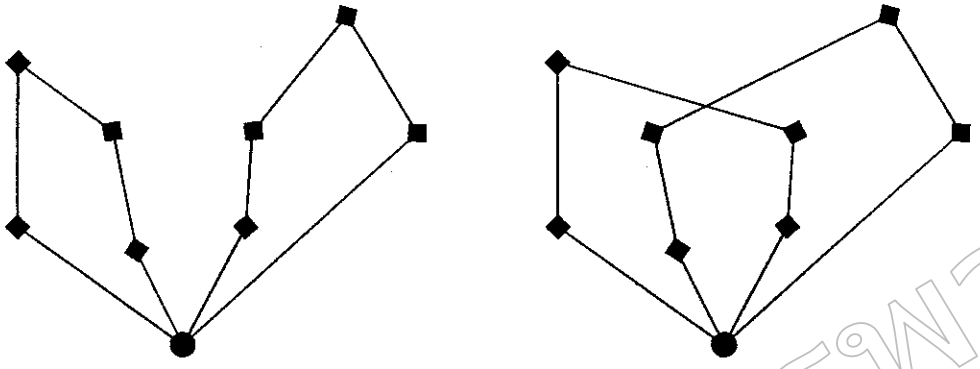
- เลือกเส้นทางที่จะปรับปรุงจำนวน 2 เส้นทาง โดยเริ่มต้นจากเส้นทางแรกและเปลี่ยนเส้นทางไปจนครบทุกเส้นทาง
- เริ่มทดลองแลกจุดส่งจากเส้นทางทั้งสอง โดยเริ่มต้นทางลำดับการส่งแรกจนถึงลำดับการส่งสุดท้ายและคำนวณหาผลลัพธ์จากการแลกจุดส่ง หลังจากนั้นจึงหาจุดส่งที่ทำให้เกิดการประหยัดระยะทางในการขนส่งมากที่สุด
- แลกจุดส่งไปยังจุดส่งใหม่ และกลับไปทำขั้นตอนแรกอีกจนครบทุกเส้นทาง

วิธีการนี้มีข้อด้อย เนื่องจากลำดับของเส้นทางใหม่ที่ได้ขึ้นอยู่กับเส้นทางที่เริ่มต้น ดังนั้น ถ้าค่าที่ได้จากการปรับปรุงไม่ดีขึ้นการปรับปรุงก็จะสิ้นสุดทันที

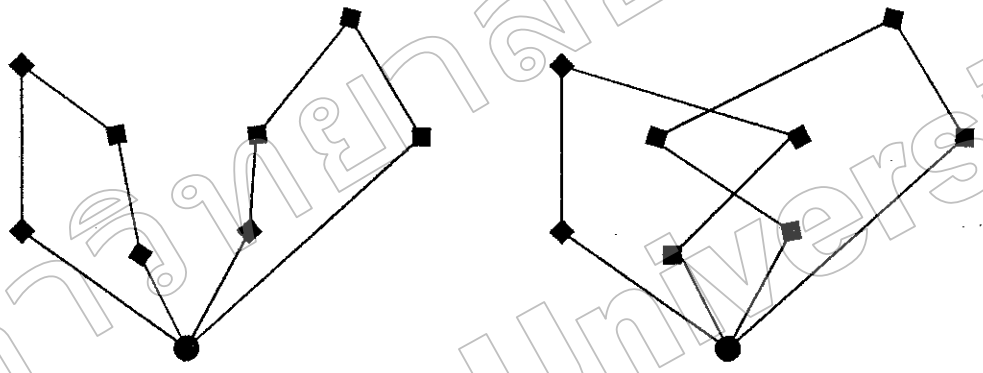
2.2.2 Global Optimization Heuristic ซึ่งเป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดข้อด้อยของวิธีเดิมด้วยการยอมรับเส้นทางต่าง ๆ ชั่วคราวก่อน แล้วจึงนำเส้นทางมาปรับปรุงต่อเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีขึ้น แต่มีความซับซ้อนและใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์นานขึ้น ซึ่งวิธีดังกล่าวเรียกว่า Metaheuristics

- String Cross เป็นการปรับปรุงระหว่างเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนเส้นทางโดยการข้ามทับเส้นทาง (Cross) ดังภาพที่ 28
- String Exchange เป็นการปรับปรุงระหว่างเส้นทางด้วยการแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทางที่ถูกเลือก ดังภาพที่ 29 ซึ่งอาจแลกจุดส่งครั้งละหลายจุดส่งก็ได้
- String Relocation เป็นการปรับปรุงเส้นทางด้วยการย้ายจุดส่งจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทาง มีผลทำให้เส้นทางบางเส้นทางมีจำนวนจุดส่งน้อยลง และอาจลดจำนวนเส้นทางลงได้ ดังแสดงในภาพที่ 30 โดยวิธีนี้สามารถย้ายจุดส่งครั้งละหลายจุดส่งก็ได้
- String Mix เป็นการปรับปรุงที่ผสมผสานวิธีการของ String Exchange และ String Relocation เข้าด้วยกัน เพื่อให้การปรับปรุงเส้นทางมีประสิทธิภาพมากที่สุด ด้วยการลดจุดส่งในเส้นทางพร้อมกับการแลกเปลี่ยนจุดส่งระหว่างเส้นทาง

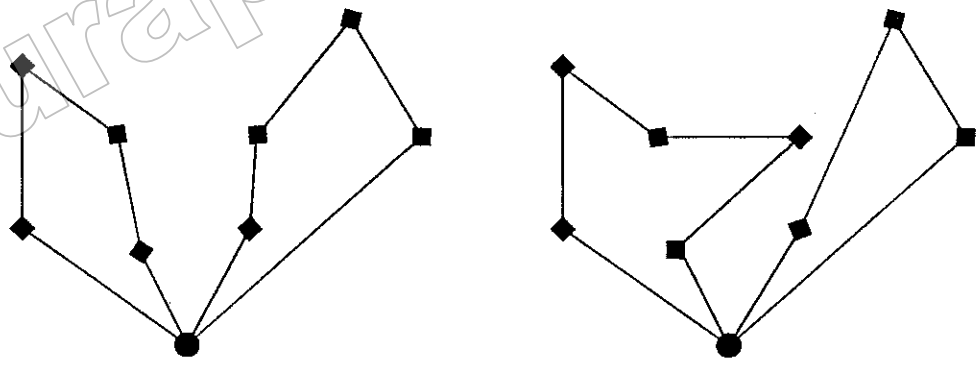
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 28 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Cross



ภาพที่ 29 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Exchange



ภาพที่ 30 การปรับปรุงเส้นทางแบบ String Relocation

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

กระบวนการแก้ปัญหา

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 เฟสคือ การสร้างเส้นทางเดี่ยว (Single Routes), การสร้างหลากหลายเส้นทาง (Multiple Routes) และการแก้ปัญหา SPP มีการเปลี่ยนแปลงขั้นตอนเริ่มต้นโดยเฉพาะในเฟสที่ 1 มีประเด็นที่เปลี่ยนแปลงคือ ประเด็นแรกเลือกทุกเส้นทางสำหรับเรือ Container ก่อนที่จะพิจารณาความแตกต่างในด้านความเร็วของการบริการ ประเด็นที่สองคือ การพิจารณาข้อจำกัดความลึกของน้ำทุกท่าเรือเป้าหมาย

กระบวนการแก้ปัญหานี้กำหนดให้ทุกท่าและ Depot เป็น

แต่ละท่า j มี Demand q_j และมีน้ำลึก h_j ระยะห่างระหว่างท่าเรือ i และ j เป็น d_{ij} ให้เรือมีขนาดบรรทุก Q, ความเร็ว S, อัตรากินน้ำลึก D, ต้นทุนคงที่ F และต้นทุนแปรผันต่อหน่วยเวลา V ในกรณีนี้ไม่รวมเวลาที่ต้องใช้ขนถ่ายสินค้า ณ ท่าเรือนั้น ๆ ดังนั้นระยะเวลาของเส้นทางจึงเป็นเวลาในการเดินเรือ กระบวนการแก้ปัญหาสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

การสร้าง Single Routes

ขั้นแรกสร้าง Single Routes โดยเป็นไปตามเงื่อนไขทุกข้อจำกัดเช่น ข้อจำกัดขนาดบรรทุกของเรือ, ความลึกของน้ำและระยะเวลาโดยมี Single Routes สำหรับเรือ Container เพื่อให้มั่นใจได้ว่าสามารถกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมได้ และเวลาเดินเรือในแต่ละเส้นทางต้องน้อยกว่าระยะเวลาที่กำหนดเอาไว้

วิธีของเฟสที่ 1 เริ่มจากคำนวณเวลาเดินทางระหว่างเมืองท่า (รวมทั้ง Depot) สำหรับเรือ

โดย d_{ij} คือระยะระหว่างท่าเรือ i กับ j

และ S คือความเร็วของเรือ Container

เวลาเดินทางระหว่างท่าเรือ i กับ j สามารถกำหนดได้เป็น

$$t_{ij} = \frac{d_{ij}}{S} \qquad (4\text{-}5)$$

ขั้นถัดมาสร้างซับเซตจากท่าต่าง ๆ โดยเพิ่ม Depot เป็นซับเซตอย่างน้อย 1 ท่า และของท่าทั้งหมดกำหนดให้ B เป็นจำนวนของการซับเซตที่สร้าง

Ω เป็นเซตของซับเซต (u = 1,……,B)

ในแต่ละซับเซต u มีลำดับของวิธีที่จะใช้ในการตรวจสอบสภาพขนาดบรรทุก ความลึกของน้ำ และเวลาความเป็นไปได้ของข้อจำกัดขนาดบรรทุกสามารถตรวจได้โดย

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

$$q_u \leq Q \qquad (4\text{-}6)$$

q_u คือความต้องการทั้งหมดของทุกท่าขึ้นอยู่กับซับเซต u

และ Q คือขนาดบรรทุกของเรือ Container

ข้อจำกัดความลึกของน้ำสามารถกำหนดได้เป็น

$$h_j > D, \forall_j \varepsilon \Omega u \qquad (4\text{-}7)$$

h_j เป็นบริเวณน้ำลึกของท่า j ($j \varepsilon \Omega u$)

และ D คืออัตรากินน้ำลึกของเรือ Container

ข้อจำกัดของเวลาคือ

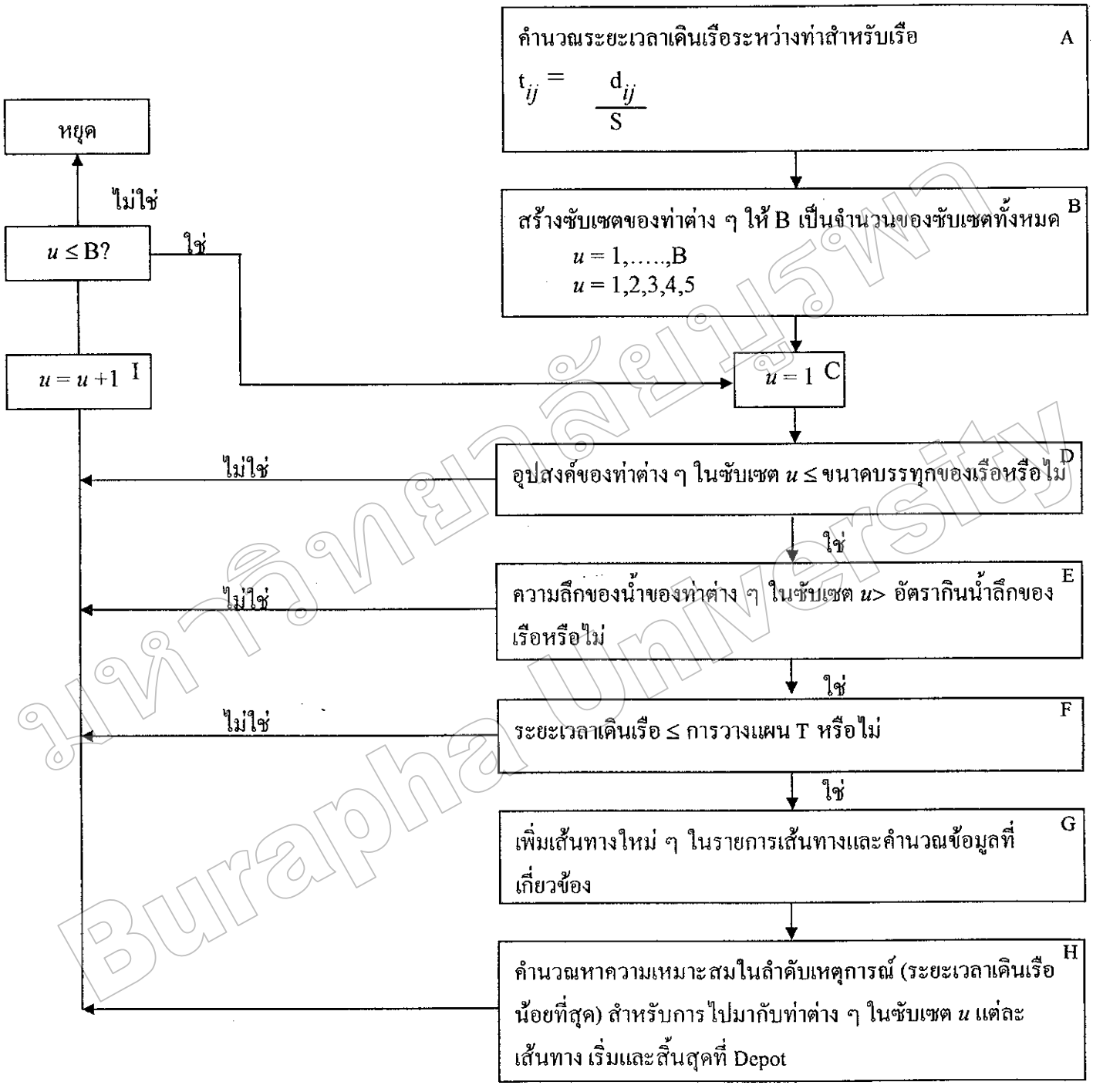
$$t_u \leq T \qquad (4\text{-}8)$$

t_u เป็นเวลาเดินเรือไปยังท่าเรือต่าง ๆ ในซับเซต u ที่เริ่มต้นและสิ้นสุดที่ Depot

T เป็นระยะเวลาที่กำหนดไว้

ถ้าเส้นทางมีความเป็นไปได้ที่จะรับทุก ๆ ข้อจำกัดเมื่อเส้นทางได้ถูกเพิ่มเข้าไปในเซตของเส้นทาง ข้อมูลทุกประเด็นที่เกี่ยวข้องของเส้นทางจะต้องถูกนำมาคำนวณเป็นเวลาเดินเรือ ต้นทุนคงที่ ต้นทุนแปรผัน และต้นทุนรวม ซึ่งมี Flowchart แสดง Single Routes ในภาพที่ 31

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 31 Flow Chart ของเฟสที่ 1

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จาก Flow Chart ในเฟสที่ 1

ในการศึกษาครั้งนี้ จะต้องทราบในระยะห่างระหว่างท่าเรือ และสถานีขนส่งสินค้าริมน้ำต่าง ๆ เพื่อนำไปคำนวณระยะเวลาการเดินเรือของเรือ Container ชายฝั่ง ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ระยะทางระหว่างท่าเรือและสถานีขนส่งสินค้าริมน้ำต่าง ๆ

หน่วยเป็นไมล์ทะเล

	แหลมฉบัง	มหาชัย	ประจวบ	สุราษฎร์ธานี	ขนอม	สงขลา
แหลมฉบัง	-	50	150	255	260	310
มหาชัย	50	-	160	280	285	390
ประจวบ	150	160	-	135	140	265
สุราษฎร์ธานี	255	280	135	-	175	255
ขนอม	260	285	140	175	-	140
สงขลา	310	390	265	255	140	-

- บล๊อค A หมายถึง ระยะเวลาเดินเรือระหว่างท่าสำหรับเรือ Container ชายฝั่ง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ระยะเวลาที่ใช้เดินทางระหว่างท่าเรือและสถานีขนส่งสินค้าริมน้ำ

หน่วยเป็นชั่วโมง

	แหลมฉบัง	มหาชัย	ประจวบ	สุราษฎร์ธานี	ขนอม	สงขลา
แหลมฉบัง	-	5	15	25.5	26.0	31
มหาชัย	5	-	16	28	28.5	39
ประจวบ	15	16	-	13.5	14	26.5
สุราษฎร์ธานี	25.5	28	13.5	-	17.5	25.5
ขนอม	26	28.5	14	17.5	-	14
สงขลา	31	39	26.5	25.5	14	-

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

- บล๊อค B ให้ท่าเรือและสถานีขนส่งริมน้ำทั้งหมด เป็นหมายเลขดังนี้ มหาชัย เป็นหมายเลข 1, ประจวบฯ เป็นหมายเลข 2, สุราษฎร์ธานี เป็นหมายเลข 3, ขนอม เป็นหมายเลข 4 และสงขลา เป็นหมายเลข 5 (และในที่นี้ 0 คือท่าเรือแหลมฉบัง)

- บล๊อค C คือ เริ่มใช้แหลมฉบังเป็นศูนย์กลาง ซึ่งลักษณะของเส้นทางในเฟสนี้เป็น Single Routes อย่างเดียว

- บล๊อค D แสดงอุปสงค์ที่จะเกิดขึ้นจากท่าเรือและสถานีขนส่งสินค้าริมน้ำทั้งหมดซึ่งแสดงในตารางที่ 19 การรับตู้ Container จากแต่ละท่าวางแผนไว้เที่ยวละ 3 วัน ซึ่งความสามารถในการบรรทุกของเรือ Container ชายฝั่ง มีขนาด 120 TEU

ตารางที่ 19 ปริมาณความต้องการส่งออกตู้ Container จากท่าเรือชายฝั่งมาท่าเรือแหลมฉบัง

	TEU / ปี	TEU / เดือน	TEU / วัน	TEU / 3 วัน
1. มหาชัย	7,665	630	21	63
2. ประจวบ	6,570	540	18	54
3. สุราษฎร์ธานี	10,440	870	29	87
4. ขนอม	3,960	330	11	33
5. สงขลา	13,878	1,156	39	117

- บล๊อค E ความลึกของน้ำในท่าเรือและสถานีขนส่งสินค้าริมน้ำ แสดงไว้ในตารางที่ 20

ตารางที่ 20 ความลึกของท่าเรือและสถานีขนส่งสินค้าริมน้ำ

ท่าเรือ	ความลึกของร่องน้ำ (เมตร)
แหลมฉบัง	>14
มหาชัย	6
ประจวบ	>12
สุราษฎร์ธานี	5
ขนอม	6
สงขลา	9

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

- บล๊อค F ได้อธิบายไว้แล้วในบล๊อค A

- บล๊อค H ในเฟสนี้เป็น Single Routes มีความเป็นไปได้ที่ อาจมีบาง Routes ที่เรือเข้าไปรับตู้ Container มากกว่า I ท่า หากยังอยู่ในเงื่อนไขเบื้องต้น ซึ่งจะแสดงต่อในรูปของ I

- บล๊อค G เมื่อครบรอบแล้วจึงเปลี่ยนเส้นทางของเรือไปยังประจวบ(หมายเลข 2) สุราษฎร์ธานี (หมายเลข 3) ขนอม (หมายเลข 4) และสงขลา (หมายเลข 5)

ผลลัพธ์ที่ได้จากเงื่อนไขเบื้องต้นในส่วนของ Single Routes นี้ได้ทั้งหมด 9 เส้นทาง

การสร้าง Multiple Routes

Multiple Routes หมายถึง เส้นทางที่มี 2 หรือ มากกว่า Single Routes แต่ละ Single Routes จะเป็นลำดับของการเริ่มเดินทางออกมาและกลับมาจอดที่ Depot ซึ่งมีวิธีการสร้าง ตามเฟสที่1

ในเฟสที่ 2 เริ่มจากการรวมกันของ Single Routes 2 เส้นทางจะเกิด Duble Routes ต่อจากนั้นใช้ Single Routes รวมเข้าไปใน Double Routes ก็จะเกิด Triple Routes ใช้วิธีนี้ดำเนินการจนกระทั่งไม่สามารถผลิตเส้นทางใหม่ ๆ ได้

การรวมกันของ 2 เส้นทางจะต้องพิจารณาความเป็นไปได้ของ 2 สภาวะเงื่อนไข เงื่อนไขแรกคือ ทั้ง 2 เส้นทางต้องไม่กลับมาพักที่ Node และเงื่อนไขที่สองคือ จำนวนเวลาเดินเรือทั้งหมดของทั้ง 2 เส้นทางต้องไม่เกินจากเวลาที่กำหนดให้

ให้ n เป็นชนิดของเส้นทาง เช่น n = 1 คือ Single Routes, n=2 คือ Double Routes สำหรับเรือ Container

R_n เป็นเซตของเส้นทางแบบ n

NR_n เป็นจำนวนเส้นทางทั้งหมดของเซต R_n

ให้ x และ y เป็นเส้นทางใน R_1 และ R_n

A_{jr} เป็นข้อจำกัดคู่ที่เท่ากับ 1 ถ้าเส้นทาง r บริการท่าเรือ j และเป็น 0 หากใช้แบบอื่น

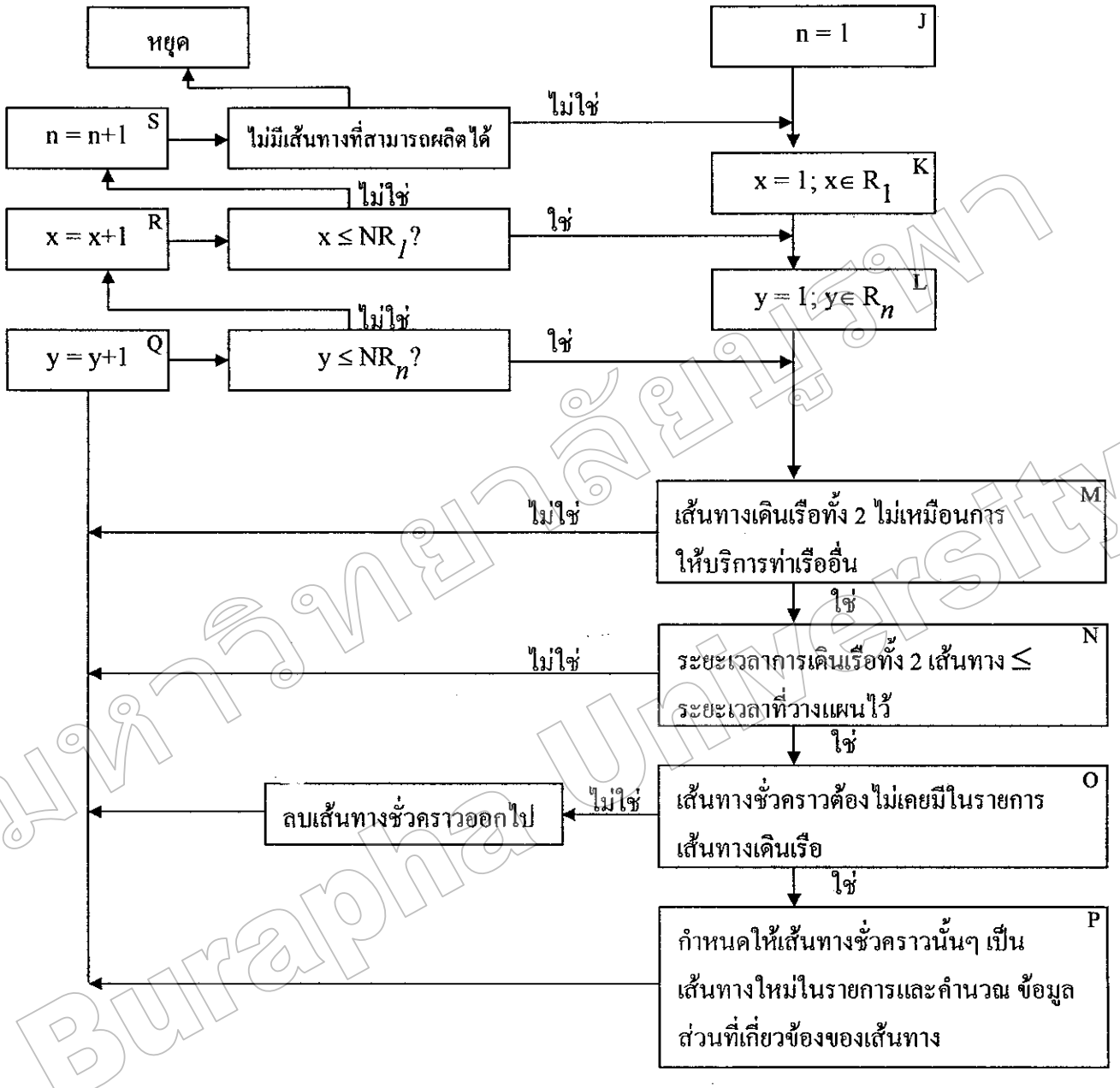
t เป็นเวลาเดินเรือสำหรับเส้นทาง r ซึ่งมีค่าดังนี้

$$\text{not } [(A_{jx} = 1) \text{ และ } (A_{jk} = 1)] \,, \forall_j \qquad (4\text{-}9)$$

$$t_x + t_y \leq T \qquad (4\text{-}10)$$

ระหว่างการสร้าง Multiple Routes ลักษณะพิเศษสำหรับ $n \geq 3$ มีเส้นทาง 2 หรือมากกว่าที่เกิดขึ้นมาได้ เส้นทางเหล่านี้ที่มีจำนวนมากจากการบริการในเซตของ Nodes ตัดเส้นทางที่ไม่จำเป็นออกไป ตรวจสอบวิธีการเพื่อรักษาเส้นทางที่มีค่าในเซตของเส้นทาง พิจารณาขั้นตอนของเฟสที่ 2 ในภาพที่ 32

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 32 Flow Chart ของเฟสที่ 2

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จาก Flow Chart ในเฟสที่ 2

- บล๊อค J หมายถึง การนำเส้นทางที่ได้จากเฟสที่ 1 จำนวน 9 เส้นทาง นำมาคิดทบ ซึ่ง Routes ที่ได้ออกมาในเฟสนี้จะเป็นได้ทั้ง Double Routes และมากกว่า Double Routes

- บล๊อค K และบล๊อค L คือการเปลี่ยนตัวกำหนดของ Routes ต่าง ๆ ที่ได้มา

- บล๊อค M การรวมเส้นทางที่เกิดขึ้น โดยไม่ซ้ำท่าเรือเดิม ซึ่งอาจทำให้เกิดการซ้ำของผลลัพธ์ของ Routes ที่ออกมาได้

- บล๊อค N ต้องอยู่ในเงื่อนไขเดิม คือกำหนดไว้ที่ 3 วัน หรือ 72 ชั่วโมง

- บล๊อค O และบล๊อค P ตรวจสอบว่าเรือยังอยู่ในเงื่อนไขเดิมครบถ้วน และเส้นทางที่ได้มาใหม่นั้นยังไม่เคยเกิดขึ้นมาก่อนหรือไม่เคยเกิดเส้นทางเดินเรือซ้ำ

- บล๊อค Q และบล๊อค R และบล๊อค S ทำการเปลี่ยนตัวแปรเพื่อให้ครอบคลุมในเงื่อนไข เพื่อกลับมาหาเส้นทางใหม่ ที่ยังทดสอบได้อยู่

ผลลัพธ์ที่ได้ จากเงื่อนไขเบื้องต้นในส่วนของ Multiple Routes นี้ได้ทั้งหมด 57 เส้นทาง

สูตรของ Set Partitioning Problem (SPP)

ให้ R เป็นเซตของเส้นทางที่จะได้รับการพิจารณารวมทั้ง Single และ Multiple Routes สำหรับเรือ Container

$R = Ur_n$

A_{ir} เป็นข้อกำหนดเท่ากับ 1 เพื่อใช้เส้นทาง r บริการท่าเรือ i, และเป็น 0 หากใช้แบบอื่น

C_r เป็นต้นทุนสำหรับเส้นทาง r (ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนแปรผัน)

X_r เป็นตัวแปรคู่ซึ่งจะเท่ากับ 1 ถ้าเส้นทาง r ได้รับเลือกในผลลัพธ์ที่เหมาะสม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

Minimize $\sum_{r \in R} C_r x_r$ (4-11)

Subject to $\sum_{r \in R} A_{ir} x_r = 1 , \forall_i \in N$ (4-12)

$X_r \in \{0,1\} \forall_r \in R$ (4-13)

1. ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) ของงานวิจัยนี้ คือ ต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งรวมต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผันของแต่ละเที่ยวเรือ พิจารณาจากสมการ 4-11

2. ข้อจำกัด (Constriant) พิจารณาจากสมการ 4-12

2.1 Ship's Capacity คือ เรือ Container ชายฝั่ง มีขนาดบรรทุกเพียงพอกับอุปสงค์ของแต่ละท่าเรือ ซึ่งในที่นี้ Ship's Capacity มีขนาด 120 TEU

2.2 Port's Water Depth คือ เรือ Container ชายฝั่งมีอัตรากินน้ำลึกน้อยกว่าความลึกของแต่ละท่าเรือ ซึ่งในที่นี้ เรือมีอัตรากินน้ำลึก 4.0 เมตร

2.3 Time คือระยะเวลาในการเดินทางของเรือต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับที่วางแผนการเดินทาง ซึ่งในที่นี้ เรือมีความเร็ว 10 น็อต (Knot)

3. ข้อจำกัดตามสมการ 4-13 คือกำหนดให้เป็นตัวแปรคู่ ผลลัพธ์ที่เหมาะสมใช้วิธีเลขจำนวนเต็ม (Binary)

การคำนวณต้นทุนของเรือ Container ชายฝั่ง สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 21

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 21 ต้นทุนของเรือสินค้า (Suprayogi)

Ship' Size (DWT)	Fixed Cost per DWT (USS/Year)	Variable Cost per DWT (USS/Year)
100	99.53	29.35
200	99.11	29.32
500	97.87	29.20
1000	95.86	29.02
2000	92.07	28.65
3000	88.39	28.27
5000	82.33	27.61
10000	69.98	26.03

ซึ่งเมื่อพิจารณาเรือของโครงการนี้ จะพบว่าเป็นเรือขนาด 3,000 เดทเวทตัน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ต้นทุนของเรือ Container ชายฝั่ง (อัตราแลกเปลี่ยนที่ 40 บาทต่อ 1 เหรียญสหรัฐอเมริกา)

Type (DWT)	Capacity (TEU)	Draft (m)	Speed (knot)	Fixed Cost (บาท / ปี)	Voyage Cost (บาท / ปี)
3000	120	4.0	10.00	10,606,800	3,392,400

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

จากตารางที่ 22 ใน Fixed Cost จะเป็นต้นทุนของการต่อสร้างเรือ ต่อลำ สำหรับ Variable Cost นั้นจะประกอบไปด้วย

- Crew's Wages (Crew's Wage, Overhead)
- Ship's Store (Consumables, Ship Chandleries)
- Fuel (for Main and Aux. Engines, Bunkering Fee)
- Lubricant (for Main and Aux. Engines, Bunkering Fee)
- Repair and Maintenance (Docking Fee, Spare Parts, Inspection Fee)
- Insurance
- Administration Expenses (Remuneration, Salary of Staff, etc)
- Others (Compensation at Accident, Library, etc)

ผลลัพธ์ที่ได้

จากการทำ Single Routes และ Multiple Routes เบื้องต้น เมื่อนำมาคิดโดยใช้ SPP จะทำให้ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 23

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 23 ผลลัพธ์ของเส้นทางเดินเรือ

Route Number	Route Type	Port Serviced by Each Route					Single Routes Included									T.E.U.	Total Sailing Time (ชม.)	Fixed Cost ต่อเดือน	Variable Cost 387.26 บาท/ชม.	Total Cost
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	63	10.00	871,791.90	3,872.60	**875,664.50**
2	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	54	30.00	871,791.90	11,617.80	**883,409.70**
3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	87	51.00	871,791.90	19,750.26	**891,542.16**
4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	33	52.00	871,791.90	20,137.52	**891,929.42**
5	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	117	62.00	871,791.90	24,010.12	**895,802.02**
6	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	117	36.00	871,791.90	13,941.36	**885,733.26**
7	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	96	59.50	871,791.90	23,041.97	**894,833.87**
8	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	87	55.00	871,791.90	21,299.30	**893,091.20**
9	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	120	69.00	871,791.90	26,720.94	**898,512.84**
10	2	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	117	40.00	871,791.90	15,490.40	**887,282.30**
11	2	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	150	61.00	871,791.90	23,622.86	**895,414.76**
12	2	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	96	62.00	871,791.90	24,010.12	**895,802.02**
13	2	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	180	72.00	871,791.90	27,882.72	**899,674.62**

Bangkok University Library

ตารางที่ 23 (ต่อ)

Route Number	Route Type	Port Serviced by Each Route					Single Routes Included									T.E.U.	Total Sailing Time (ชม.)	Fixed Cost ต่อเดือน	Variable Cost 387.26 บาท/ชม.	Total Cost
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
14	2	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	150	65.00	871,791.90	25,171.90	**896,963.80**
15	2	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	141	81.00	871,791.90	31,368.06	**903,159.96**
16	2	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	87	82.00	871,791.90	31,755.32	**903,547.22**
17	2	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	171	92.00	871,791.90	35,627.92	**907,419.82**
18	2	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	150	89.50	871,791.90	34,659.77	**906,451.67**
19	2	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	174	99.00	871,791.90	38,338.74	**910,130.64**
20	2	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	120	103.00	871,791.90	39,887.78	**911,679.68**
21	2	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	204	113.00	871,791.90	43,760.38	**915,552.28**
22	2	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	204	87.00	871,791.90	33,691.62	**905,483.52**
23	2	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	183	110.50	871,791.90	42,792.23	**914,584.13**
24	2	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	174	106.00	871,791.90	41,049.56	**912,841.46**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 23 (ต่อ)

Route Number	Route Type	Port Serviced by Each Route					Single Routes Included									T.E.U.	Total Sailing Time (ชม.)	Fixed Cost ต่อเดือน	Variable Cost 387.26 บาท/ชม.	Total Cost
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
25	2	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	150	114.00	871,791.90	44,147.64	**915,939.54**
26	2	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	150	88.00	871,791.90	34,078.88	**905,870.78**
27	2	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	234	98.00	871,791.90	37,951.48	**909,743.38**
28	2	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	213	116.50	871,791.90	45,115.79	**916,907.69**
29	2	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	204	117.00	871,791.90	45,309.42	**917,101.32**
30	2	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	237	131.00	871,791.90	50,731.06	**922,522.96**
31	2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	237	105.00	871,791.90	40,662.30	**912,454.20**
32	3	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	204	91.00	871,791.90	35,240.66	**907,032.56**
33	3	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	150	92.00	871,791.90	35,627.92	**907,419.82**
34	3	1	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	234	102.00	871,791.90	39,500.52	**911,292.42**
35	3	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	237	109.00	871,791.90	42,211.34	**914,003.24**
36	3	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	183	113.00	871,791.90	43,760.38	**915,552.28**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Burapha University

ตารางที่ 23 (ต่อ)

Route Number	Route Type	Port Serviced by Each Route					Single Routes Included									T.E.U.	Total Sailing Time (ชม.)	Fixed Cost ต่อเดือน	Variable Cost 387.26 บาท/ชม.	Total Cost
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
37	3	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	267	123.00	871,791.90	47,632.98	**919,424.88**
38	3	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	237	116.00	871,791.90	44,922.16	**916,714.06**
39	3	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	213	124.00	871,791.90	48,020.24	**919,812.14**
40	3	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	267	127.00	871,791.90	49,182.02	**920,973.92**
41	3	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	300	141.00	871,791.90	54,603.66	**926,395.56**
42	3	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	204	144.00	871,791.90	55,765.44	**927,557.34**
43	3	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	258	133.00	871,791.90	51,505.58	**923,297.48**
44	3	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	267	150.55	871,791.90	58,301.99	**930,093.89**
45	3	0	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	291	161.00	871,791.90	62,348.86	**934,140.76**
46	3	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	258	143.00	871,791.90	55,378.18	**927,170.08**
47	3	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	204	144.00	871,791.90	55,765.44	**927,557.34**
48	3	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	0	267	146.50	871,791.90	56,733.59	**928,525.49**

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 23 (ต่อ)

Route Number	Route Type	Port Serviced by Each Route					Single Routes Included									T.E.U.	Total Sailing Time (ชม.)	Fixed Cost ต่อเดือน	Variable Cost 387.26 บาท/ชม.	Total Cost
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
49	3	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	237	143.50	871,791.90	55,571.81	**927,363.71**
50	3	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	237	165.00	871,791.90	63,897.90	**935,689.80**
51	3	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	237	139.00	871,791.90	53,829.14	**925,621.04**
52	3	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	321	149.00	871,791.90	57,701.74	**929,493.64**
53	3	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	300	172.50	871,791.90	66,802.35	**938,594.25**
54	3	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	291	168.00	871,791.90	65,059.68	**936,851.58**
55	3	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	267	150.00	871,791.90	58,089.00	**929,880.90**
56*	3	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	354	167.00	871,791.90	64,672.42	**936,464.32**
57	4	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	237	143.00	871,791.90	55,378.18	**927,170.08**
58	4	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	321	153.00	871,791.90	59,250.78	**931,042.68**
59	4	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	267	154.00	871,791.90	59,638.04	**931,429.94**
60	4	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	354	170.00	871,791.90	65,834.20	**937,626.10**

Burapha University

ตารางที่ 23 (ต่อ)

Route Number	Route Type	Port Serviced by Each Route					Single Routes Included									T.E.U.	Total Sailing Time (ชม.)	Fixed Cost ต่อเดือน	Variable Cost 387.26 บาท/ชม.	Total Cost
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	6	7	8	9					
61	4	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	300	165.00	871,791.90	63,897.90	**935,689.80**
62	4	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	354	178.00	871,791.90	68,932.28	**940,724.18**
63	4	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	291	195.00	871,791.90	75,515.70	**947,307.60**
64	4	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	354	201.55	871,791.90	78,052.25	**949,844.15**
65	4	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	354	201.00	871,791.90	77,839.26	**949,631.16**
66	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	354	205.00	871,791.90	79,388.30	**951,180.20**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
Burapha University

ตารางที่ 23 ให้ผลลัพธ์ของเรือ Container ชายฝั่ง ซึ่งมีจำนวน 66 เส้นทางที่เกิดขึ้นซึ่งมีทั้ง Single และ Multiple Routes แต่ละแถวแสดง 1 เส้นทาง ซึ่งแถวที่ 1 ถึง 9 เป็น Single Routes และส่วนที่เหลือเป็น Multiple Routes คอลัมน์แรกในตารางแสดงจำนวนเส้นทาง และในคอลัมน์สองแสดงชนิดของเส้นทาง เช่น 1 คือ Single Routes , 2 คือ Double Routes , 3 คือ Trible Routes , 4 เป็น Fourth Times Routes , 5 เป็น Fifth Times Routes เป็นต้น

ท่าเรือที่ให้บริการในแต่ละเส้นทางดูได้จากจำนวนต่าง ๆ ในคอลัมน์ 3 ถึง 7 โดย หมายเลข 1 คือ สถานีขนส่งสินค้า ริมน้ำสมุทรสาคร 2 คือ ท่าเรือประจวบ 3 คือ ท่าเรือ เอ็น พี มารีน (สุราษฎร์ธานี) 4 คือ สถานีขนส่งสินค้าริมน้ำ นครศรีธรรมราช และ 5 คือ ท่าเรือสงขลา สำหรับผลลัพธ์ที่ปรากฏนั้น หากเป็น หมายเลข 1 สำหรับแต่ละท่าที่แถวนอน (เส้นทาง) แสดงว่าเป็นท่าเรือที่ให้บริการในเส้นทางนั้น และเป็น 0 หากเป็นทางอื่น เช่น เส้นทางที่ 7 ให้บริการในท่าที่ 2 และ 4

ในคอลัมน์ที่ 8 ถึง 16 แสดง Single Routes ที่รวมในแต่ละเส้นทาง หมายเลข 1 แสดง Single Routes ที่รวมในเส้นทาง และหมายเลข 0 หากเป็นเส้นทางอื่น เช่น เส้นทางที่ 31 , 35 และ 57 ซึ่งทั้งหมดให้บริการท่าเดียวกันคือ โดยเส้นทางที่ 31 เป็น Double Routes ของ Single Routes 6 และ 9 สำหรับเส้นทางที่ 35 จะเป็น Triple Routes และเส้นทางที่ 57 จะเป็น Four Times Routes

ในคอลัมน์ที่ 17 แสดงถึงจำนวนตู้ Container (TEU) ที่เรือสามารถจะขนได้ ซึ่งเรือ Container จะขนได้น้อยที่สุดใน Single Route ที่ 4 คือ 33 TEU และแสดงขนได้มากที่สุดใน Triple Routes ที่ 56 และ Fourth Times Routes ที่ 60 , 62 , 64 และ 64 และมี Fifth Times Routes ที่ 65 ซึ่งจะสามารถขนได้ถึง 354 TEU

ในคอลัมน์ที่ 18 ถึง 21 แสดงข้อมูลของแต่ละเส้นทาง เช่น เวลาเดินเรือ , ต้นทุนคงที่ , ต้นทุนแปรผัน และต้นทุนรวม เวลาเดินเรือมีหน่วยเป็นชั่วโมง ดังนั้น ต้นทุนรวมที่ได้จึงเป็นต้นทุนคงที่ ซึ่งมีหน่วยเป็นบาทต่อเดือน และต้นทุนแปรผันซึ่งมีหน่วยเป็นบาทต่อชั่วโมง

การแก้ปัญหาโดยใช้สูตร SPP ได้ผลลัพธ์ คือ

1. มีเส้นทางที่เกิดขึ้น 596 เส้นทาง แต่เมื่อพิจารณาตามข้อจำกัดต่าง ๆ แล้วจะพบว่ามีเพียง 66 เส้นทาง เท่านั้น มีอยู่ภายใต้ข้อจำกัด ดังกล่าว ดังตารางที่ 24

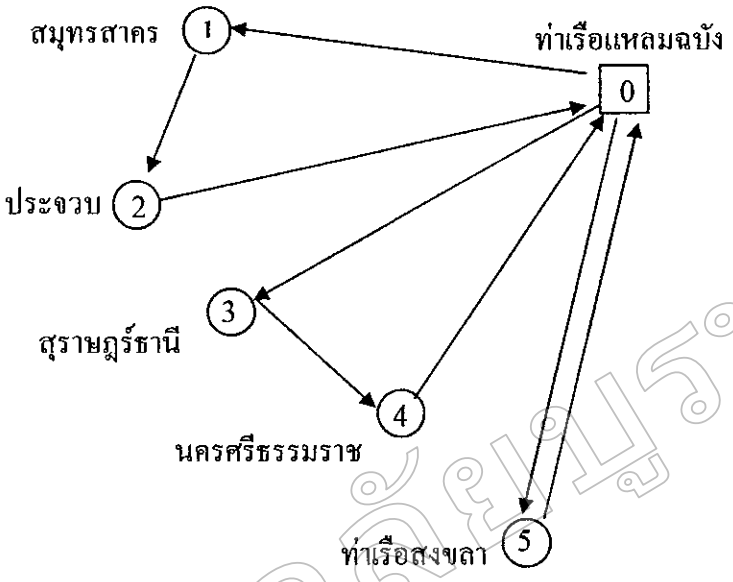
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 24 แสดง Route Type แบบต่าง ๆ

Route Type	จำนวนเส้นทาง ทั้งหมด	อยู่ภายใต้ ข้อจำกัด	อยู่นอก ข้อจำกัด	ปัญหาที่เกิดขึ้น
1	15	9	6	เรือจะบรรทุกเกิน 120 TEU
2	35	22	13	แล่นซ้ำในท่าที่วิ่งเข้าไปแล้ว
3	231	25	206	แล่นซ้ำในท่าที่วิ่งเข้าไปแล้ว,ซ้ำเส้นทางที่เกิดไปแล้วบางครั้งมากกว่า 3 Routes บางครั้งน้อยกว่า 3 Routes
4	279	9	270	แล่นซ้ำในท่าที่วิ่งเข้าไปแล้ว,ซ้ำเส้นทางที่เกิดไปแล้วบางครั้งมากกว่า 4 Routes บางครั้งน้อยกว่า 4 Routes
5	36	1	35	แล่นซ้ำในท่าที่วิ่งเข้าไปแล้ว,ซ้ำเส้นทางที่เกิดไปแล้วบางครั้งน้อยกว่า 5 Routes
	596	66	530	

2. ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่ได้ คือ เส้นทางหมายเลข 56 เส้นทางนี้มี 3 Single Routes ซึ่งเส้นทางแรกคือ 0-1-2-0 เส้นทางที่ 2 คือ 0-3-4-0 และเส้นทางที่ 3 คือ 0-5-0 ซึ่งใช้เวลาในการเดินเรือทั้งหมด 167 ชม. และมีต้นทุนสำหรับเส้นทางนี้ คือ 936,464.32 บาท ดังแสดงไว้ในภาพที่ 33

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University



ภาพที่ 33 เส้นทางที่เหมาะสม

ในผลลัพธ์ที่ได้มานี้สามารถยืนยันได้ว่า เส้นทางที่ 56 เหมาะสม หากพิจารณาในกลุ่มของ Triple Routes แล้ว จะพบว่าไม่มีเส้นทางไหนที่ขนได้ 354 TEU เท่าเส้นทางที่ 56 และหากพิจารณา ในเส้นทางที่ 53 และ 54 จะพบว่า ขนส่งตู้ Container ได้เพียง 321 TEU และ 294 TEU แต่มีต้นทุนรวม สูงกว่าเส้นทางที่ 56 คือ อยู่ในอัตราที่ 938,594.25 บาท และ 936,851.58 บาท ตามลำดับ สำหรับในเส้นทางที่ 60 , 62 , 64 , 65 และ 66 จะพบว่า ทุกเส้นทางที่กล่าวมา ขนได้ เท่ากับเส้นทางที่ 56 แต่ต้นทุนรวม สูงกว่า เส้นทางที่ 56 ทุกเส้นทาง

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University