การจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองภายใต้เงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ

นาย วิรุฬ กองเสริมทรัพย์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BULK CARGO VESSEL SCHEDULING UNDER PORT CONGESTION CONDITION

Mr. Viroon Kongsermsup

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าแทกองภายใต้เงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ
โดย	นายวิรุฬ กองเสริมทรัพย์
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำพล การุณสุนทวงษ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิรุฬ กองเสริมทรัพย์ : การจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองภายใต้เงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ. (BULK CARGO VESSEL SCHEDULING UNDER PORT CONGESTION CONDITION) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.มาโนช โลหเตปานนท์, 116 หน้า.

การขนส่งสินค้าทางทะเลเป็นรูปแบบการขนส่งสินค้าหลักของระบบการค้าระหว่างประเทศที่สร้างรายได้จำนวนมากให้แก่ประเทศ ประกอบกับลักษณะการลงทุนในธุรกิจเดินเรือที่มีมูลค่าสูงและภาวะการแข่งขันกันระหว่างผู้ประกอบการ ส่งผลให้การบริหารจัดการทรัพยากรเรือมีความสำคัญต่อธุรกิจเดินเรืออย่างมากทั้งในด้านของการลงทุนเพื่อจัดหาเรือใหม่และการบริหารจัดการเรือที่มีอยู่

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินเรือสำหรับเรือขนส่งสินค้าเทกองแบบเต็มลำ ภายใต้เงื่อนไขสภาวะการดำเนินงานจริง โดยแนวคิดในการแก้ปัญหาจะเป็นการควบรวมขั้นตอนการวางแผนจัดเส้นทางเดินเรือและการจัดตารางเดินเรือเข้ามาอยู่ในขั้นตอนการวางแผนเดียว นอกจากนี้ ยังคำนึงถึงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การดำเนินการจริงไม่สอดคล้องกับแผนตารางเดินเรือที่วางไว้ ปัญหาดังกล่าวยังก่อให้เกิดต้นทุนในด้านต่างๆ ทั้งในด้านต้นทุนดำเนินการและต้นทุนความเสี่ยง ในส่วนของการวิธีการแก้ปัญหาจะใช้วิธีกำเนิดสดมภ์และวิธีกำเนิดแถวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลย รวมไปถึงการทดสอบ และเปรียบเทียบผลการจัดตารางเดินเรือด้วยวิธีการเดิมกับผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองของงานวิจัยนี้

จากการทดสอบพบว่าแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองภายใต้เงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เวลาที่เหมาะสม และพบว่า 2 ใน 3 ของชุดปัญหาจากการดำเนินการจริงที่เคยเกิดขึ้นในอดีต จะสามารถแก้ได้ด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยตารางเดินเรือที่ได้ให้ผลกำไรที่มากกว่าและหลีกเลี่ยงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือได้ทั้งหมด

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2553

5170464521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS: SHIP ROUTING AND SCHEDULING, BULK CARGO, PORT CONGESTION, SET PARTITIONING, COLUMN GENERATION AND ROW GENERATION

VIROON KONGSERMSUP: BULK CARGO VESSEL SCHEDULING UNDER PORT CONGESTION CONDITION. ADVISOR: ASST.PROF.MANOJ LOHATEPANONT, Ph.D, 116 pp.

Sea shipping is a major mode of international freight transportation. The effective ship management is an important part of shipping, business because of its high capital investment and high market competition. The objective of this research is to develop a mathematical model and a solution approach for routing and scheduling of bulk cargo ship under the conditions of the real world operation, including port congestion. The concept of problem solving is to integrate both ship routing and ship scheduling to be a single planning process. Moreover, this research concerned about port congestion problem which leads operation phase to be inconsistent with the resulting schedule from planning phase. The problem also causes operating cost and risk cost. In term of solution approach, column generation and row generation are implemented in order to increase performance. Actual instances from the case study company will be experimented. Then, the resulting schedule from the model is compared with the actual schedule.

From the experiments, the developed mathematics model enables to efficiently solve the bulk cargo vessel scheduling problem with port congestion condition under an acceptable time usage. Furthermore, two of three problem sets from the case study company can be solved by the model and the resulting schedules can provide more profit and avoid all port congestion problems.

Department: Civil Engineering Student's Signature: .....

Field of Study: Civil Engineering Advisor's Signature: .....

Academic Year: 2010

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้ความรู้ คำชี้แนะ คอยให้คำปรึกษา และช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง ตลอดระยะเวลาจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี และขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ ศิริโสภณศิลป์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อำพล การุณสุนทวงษ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับความกรุณาที่สละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ทั้งยังให้คำปรึกษาอันมีค่ายิ่ง และตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณพี่เป็ป คุณคัชพล หะรินสุต เป็นอย่างสูงสำหรับความช่วยเหลือ ทั้งในส่วนของความรู้ความเข้าใจในธุรกิจการเดินเรือและประสบการณ์จากการดำเนินงานจริงที่ผู้วิจัยไม่สามารถหาได้จากในตำรา รวมทั้งคำแนะนำอันมีค่ายิ่งที่เป็นประโยชน์ในการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ รวมทั้งรุ่นพี่ภาควิชาวิศวกรรมขนส่งทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา ขอบคุณพี่นก ห้องธุรการภาควิชา และพี่เปรมที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ เป็นอย่างดี ตลอดช่วงเวลาที่ผู้วิจัยทำการศึกษาอยู่ให้สถาบันแห่งนี้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำเนิด คอยอบรมสั่งสอน และให้การสนับสนุน จนทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ความสามารถจนประสบความสำเร็จในการศึกษาในปัจจุบัน ทั้งยังคอยให้คำแนะนำอันจะเป็นแนวทางในการดำเนินชีวิตของผู้วิจัยในอนาคต และเตย ผู้ที่เป็นกำลังใจ เข้าใจ เห็นใจ และให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยตลอดช่วงเวลาที่ผ่านมา ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 ข้อมูลกรณีศึกษา 7

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 11

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 11

1.5 องค์ความรู้ที่ได้รับ 12

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 12

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

2.1 การขนส่งสินค้าทางทะเลระยะสั้น (Short Sea Shipping) 13

2.2 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต 14

2.3 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยในอดีตและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 28

บทที่ 4 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการแก้ปัญหา 31

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา 31

4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการแก้ปัญหา 34

4.3 วิธีการสร้างรูปแบบตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมด 35

4.4 สมการต้นทุนของการเดินเรือสำหรับบริษัทตัวอย่าง 56

4. 5 กระบวนการหาผลเฉลยของแบบจำลองคณิตศาสตร์ 59

บทที่ 5 ผลการทดสอบแบบจำลองและวิธีการแก้ปัญหา 63

5.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง 63

5.2 ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดปัญหาที่มีขนาดเล็กเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง 65

5.3 ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ 78

5.4 พฤติกรรมของการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์ 91

5.5 ผลการทดสอบชุดปัญหาการดำเนินการจริงของบริษัทตัวอย่าง 92

5.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหาการวางแผนอื่นๆ 98

บทที่ 6 สรุปผลการศึกษาและแนวทางการพัฒนาในอนาคต 105

6.1 สรุปผลการศึกษา 105

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 110

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

รายการอ้างอิง 111

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 114

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือและระยะเวลาจอดรอเทียบท่าสูงสุดที่ยอมได้ของกรณีตัวอย่าง 36

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของเรือขนส่งสินค้าในกรณีตัวอย่าง 38

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลลักษณะคำสั่งขนส่งสินค้าของกรณีตัวอย่าง 38

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลลักษณะคำสั่งขนส่งสินค้าของกรณีตัวอย่าง (ต่อ) 39

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดชุดปัญหาจำลองที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง 65

ตารางที่ 5.2 รายละเอียดของชุดปัญหา A-1 66

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-1 67

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดของชุดปัญหา A-2 69

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-2 69

ตารางที่ 5.6 รายละเอียดของชุดปัญหา A-3 72

ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-3 72

ตารางที่ 5.8 รายละเอียดของชุดปัญหา A-4 75

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-4 75

ตารางที่ 5.11 พฤติกรรมของแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่นของข้อมูลการขนส่ง 77

ตารางที่ 5.12 รายละเอียดชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ 78

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-1 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา 80

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-2 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา 80

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-3 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา 81

ตารางที่ 5.16 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาสำหรับชุดข้อมูลดำเนินการสมมุติ 83

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-4 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา 83

ตารางที่ 5.18 รายละเอียดของวิธีการหาผลเฉลยสำหรับชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ 88

ตารางที่ 5.19 ผลการทดสอบชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถวเทียบกับแบบจำลองขนาดเต็ม 90

ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-3 ด้วยวิธีการหาผลเฉลยวิธีต่างๆ 90

ตารางที่ 5.21 รายละเอียดของชุดปัญหาการดำเนินการจริงของบริษัทตัวอย่าง 93

ตารางที่ 5.22 เวลาในการหาผลเฉลยของชุดปัญหาการดำเนินการจริง 93

ตารางที่ 5.23 รายละเอียดของกระบวนการกำเนิดสดมภ์ของชุดปัญหาการดำเนินการจริง 94

ตารางที่ 5.24 รายละเอียดของกระบวนการกำเนิดแถวของชุดปัญหาการดำเนินการจริง 94

ตารางที่ 5.25 รายละเอียดของผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับแผนการดำเนินการจริง 95

ตารางที่ 5.26 รายละเอียดของชุดปัญหา D-1 99

ตารางที่ 5.27 รายละเอียดของการแก้ปัญหา D-1 และ D-1’ 100

หน้า

ตารางที่ 5.28 รายละเอียดของชุดปัญหา D-2 102

ตารางที่ 5.29 รายละเอียดของการแก้ปัญหา D-2 และ D-2' 103

ตารางที่ 5.30 รายละเอียดของปัญหา D-3 และ D-3' 104

ตารางที่ 6.1พฤติกรรมของแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่นของข้อมูลการขนส่ง 106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการขนส่งรูปแบบต่างๆ 2

รูปที่ 1.2 ปริมาณสินค้านำเข้าจำแนกตามรูปแบบการขนส่ง..... 3

รูปที่ 1.3 ปริมาณสินค้าส่งออกจำแนกตามรูปแบบการขนส่ง..... 3

รูปที่ 1.4 สัดส่วนต้นทุนในการประกอบธุรกิจการเดินเรือของบริษัทตัวอย่าง..... 6

รูปที่ 1.5 เส้นทางการเดินเรือที่พบเป็นประจำของบริษัทตัวอย่าง..... 8

รูปที่ 1.6 ปริมาณความต้องการเข้าใช้ท่าเรือที่จังหวัดสงขลาของบริษัทตัวอย่างจำแนกรายวัน .. 10

รูปที่ 2.1 สรุปขั้นตอนของเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ ในงานวิจัยของ Branhart et al. 22

รูปที่ 2.2 สรุปขั้นตอนของเทคนิคการกำเนิดแถวในงานวิจัยของ Boris Detienne et al. 23

รูปที่ 2.3 สรุปขั้นตอนของเทคนิคการกำเนิดแถวในงานวิจัยของ
Gongshu Wang & Lixin Tang..... 25

รูปที่ 4.1 โครงข่ายท่าเรือสำหรับขนส่งสินค้าของกรณีตัวอย่าง..... 37

รูปที่ 4. 2 รูปแบบของการให้บริการอุปสงค์ในการขนส่งสินค้าของเรือหมายเลข 1
ของกรณีตัวอย่าง..... 40

รูปที่ 4.3 ลำดับการให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าทั้งหมดของรูปแบบกลุ่มอุปสงค์ที่เลือกให้บริการ
รูปแบบที่ 4 (จากรูปที่ 4.2) ของเรือลำที่ 1 จากกรณีตัวอย่าง 40

รูปที่ 4.4 ตรวจสอบความเป็นได้ของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้า 2-3 ของกรณีตัวอย่าง
ซึ่งสามารถดำเนินการได้..... 42

รูปที่ 4.5 การตรวจสอบความเป็นได้ของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้า 4-3 ของกรณีตัวอย่างซึ่ง
ไม่สามารถดำเนินการได้..... 42

รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และจำนวนเรือขนส่งสินค้า..... 67

หน้า

รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือและจำนวนเรือขนส่งสินค้า..... 68

รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและจำนวนเรือขนส่งสินค้า 68

รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า..... 70

รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือและจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า..... 70

รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า 71

รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และจำนวนท่าเรือต้นทาง และปลายทาง..... 73

รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือและจำนวนท่าเรือต้นทาง และปลายทาง..... 73

รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและจำนวนท่าเรือต้นทางและปลายทาง..... 73

รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย.... 76

รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือและความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย 76

รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย..... 76

รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างผลกำไรต่อตัวแปรกำหนดความไม่แน่นอนของ ชุดปัญหา B-3..... 82

รูปที่ 5.15 จำนวนตัวแปรตัดสินใจและเวลาในการแก้ปัญหาของชุดปัญหาดำเนินการสมมุติ..... 85

รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่อง ของเวลาสำหรับชุดข้อมูลดำเนินการสมมุติ 85

รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และตัวแปรกำหนดความ ไม่ต่อเนื่องของเวลาสำหรับชุดข้อมูลดำเนินการสมมุติ 86

หน้า

รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาสำหรับชุดข้อมูลดำเนินการสมมุติ 86

รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเวลาในการแก้ปัญหาและตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาสำหรับชุดข้อมูลดำเนินการสมมุติ 87

รูปที่ 5.20 เวลาในการหาผลเฉลยของชุดปัญหา B-3 ด้วยวิธีหาผลเฉลยวิธีต่างๆ..... 89

รูปที่ 5.21 เวลาในการหาผลเฉลยและจำนวนรอบในการกำเนิดสดมภ์เทียบกับขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์..... 91

รูปที่ 5.22 ค่าของสมการวัตถุประสงค์และจำนวนแถวที่ถูกกำเนิดเข้าสู่แบบจำลองในแต่ละรอบของกระบวนการกำเนิดแถว 97

รูปที่ 5.23 ปริมาณเรือเข้าเทียบท่าสำหรับท่าเรือ SK ภายใต้ตารางเดินเรือที่เกิดขึ้นจริงในอดีต.... 97

รูปที่ 5.24 ปริมาณเรือเข้าเทียบท่าสำหรับท่าเรือ SK ภายใต้ตารางเดินเรือที่ได้จากแบบจำลอง.... 98

รูปที่ 5.25 การกระจายตัวของเรือขนส่งสินค้าที่ต้องการเข้าเทียบท่าเรือ SK โดยทำการผ่อนคลายเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือของปัญหา D-3 105

รูปที่ 5.26 การกระจายตัวของเรือขนส่งสินค้าที่ต้องการเข้าเทียบท่าเรือ SK ของปัญหา D-3 105

รูปที่ 5.27 การกระจายตัวของเรือขนส่งสินค้าที่ต้องการเข้าเทียบท่าเรือ SK ของปัญหา D-3’.... 106

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

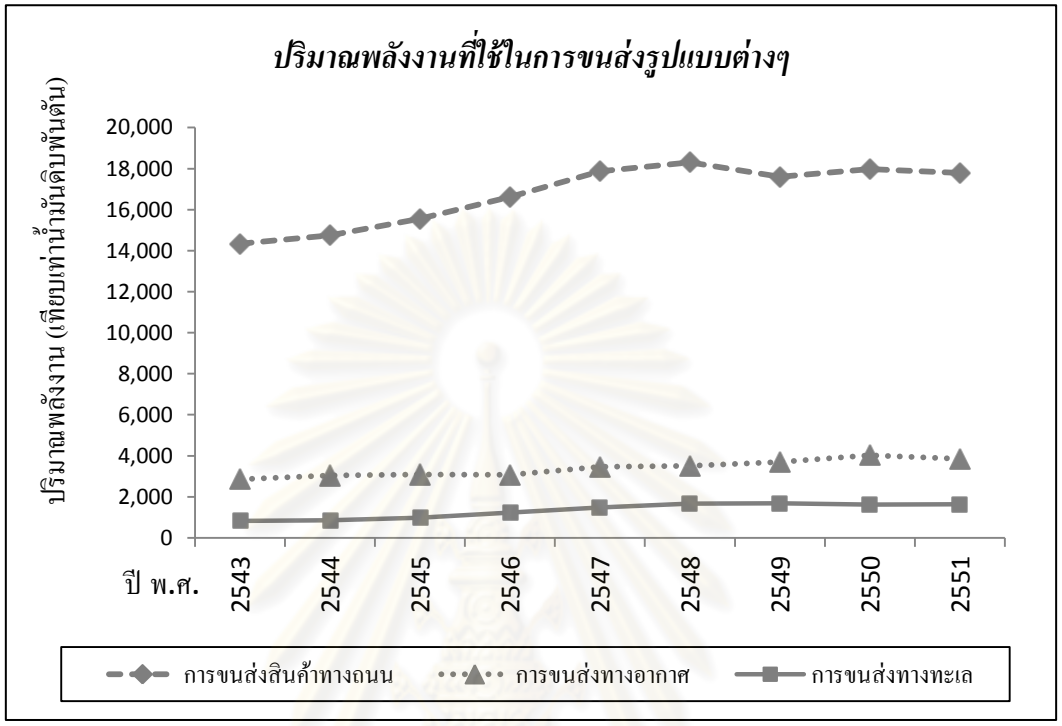
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การขนส่งสินค้าทางทะเลเป็นรูปแบบการขนส่งสินค้าที่มีความสำคัญอย่างมากในธุรกิจการค้าระหว่างประเทศ สาเหตุประการหนึ่งมาจากลักษณะเฉพาะของการขนส่งสินค้าทางทะเลที่สามารถทำการขนส่งสินค้าปริมาณมาก ในแต่ละรอบการขนส่งสินค้า รวมทั้งต้นทุนด้านเชื้อเพลิงในการขนส่งสินค้าต่อหน่วยมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการขนส่งสินค้าในรูปแบบอื่นๆ โดยเฉลี่ยน้ำมัน 1 ลิตรสำหรับการขนส่งสินค้าทางทะเลจะขนสินค้าได้ประมาณ 217 เมตริกตัน ในขณะที่การขนส่งทางถนนและทางรถไฟจะสามารถขนส่งได้เพียง 25.5 เมตริกตันและ 85.5 เมตริกตันตามลำดับ (ธนิต โสรัตน์, 2553) นอกจากนี้หากพิจารณาภาพรวมของการใช้พลังงานของรูปแบบการขนส่งแบบต่างๆ ของประเทศไทยจะพบว่าการขนส่งทางทะเลเป็นรูปแบบการขนส่งที่ใช้พลังงานน้อยที่สุด ดังที่แสดงในรูปที่ 1.1 อย่างไรก็ดีการขนส่งทางทะเลก็มีข้อเสียหลายประการที่ต้องทำการพิจารณาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น ระยะเวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้าที่มากกว่ารูปแบบการขนส่งสินค้าแบบอื่นๆ ความอ่อนไหวต่อสภาพอากาศและฤดูกาลที่จะส่งผลให้ระยะเวลาในการขนส่งสินค้ามีความแปรผันตามไปด้วย ประกอบกับการขนส่งสินค้าทางทะเลจะเป็นการขนส่งจากท่าเรือสู่ท่าเรือ ส่งผลให้การขนส่งสินค้าทางทะเลต้องดำเนินการร่วมกับการขนส่งสินค้าในรูปแบบอื่นๆ เสมอนอกจากนี้การขนส่งสินค้าทางทะเลจะมีการขนถ่ายสินค้าหลายต่อหลายครั้งตลอดกระบวนการขนส่งสินค้าจากต้นทางสู่ปลายทาง

ในประเทศไทย การขนส่งสินค้าทางทะเลเป็นรูปแบบการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากปริมาณสินค้านำเข้าและสินค้าส่งออกของประเทศร้อยละ 90 โดยประมาณจะถูกขนส่งทางทะเล รองลงมาเป็นการขนส่งสินค้าทางบกและทางอากาศโดยมีสัดส่วนประมาณร้อยละ 9 และร้อยละ 1 ตามลำดับ ดังที่แสดงในรูปที่ 1.2 และรูปที่ 1.3 ซึ่งจากข้อมูลในอดีตยังพบอีกว่าสัดส่วนดังกล่าวมีลักษณะเช่นเดิมมาเป็นระยะเวลานาน ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการขนส่งสินค้าทางทะเลที่มีต่อระบบการค้าระหว่างประเทศของประเทศไทย

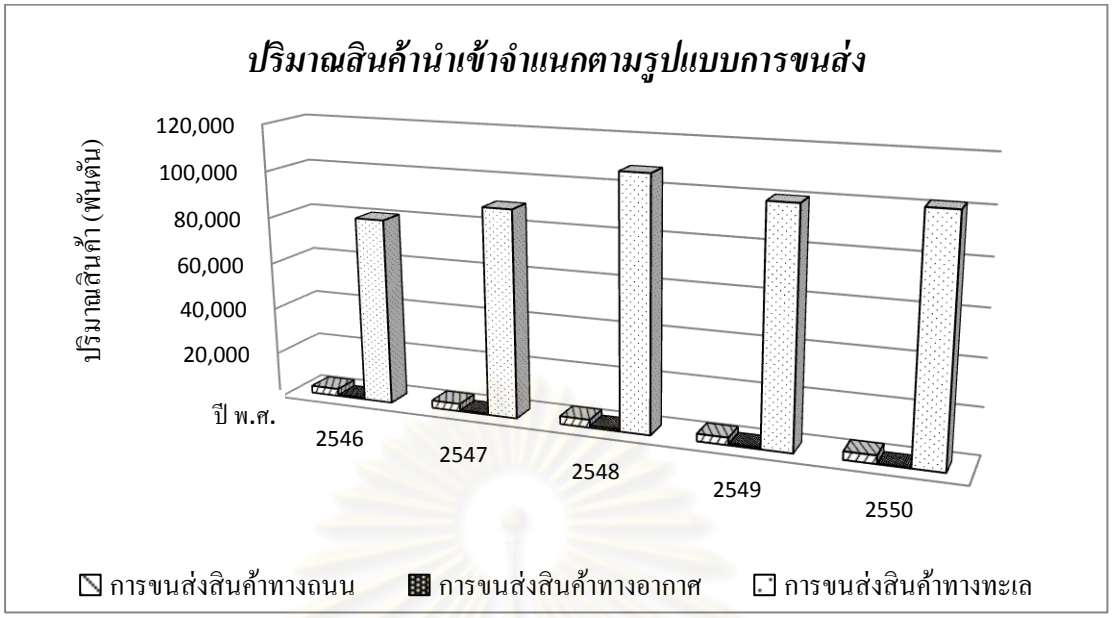
ตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคตอันเนื่องมาจากผลกระทบของต้นทุนด้านเชื้อเพลิงที่เพิ่มสูงขึ้น



รูปที่ 1.1 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการขนส่งรูปแบบต่างๆ

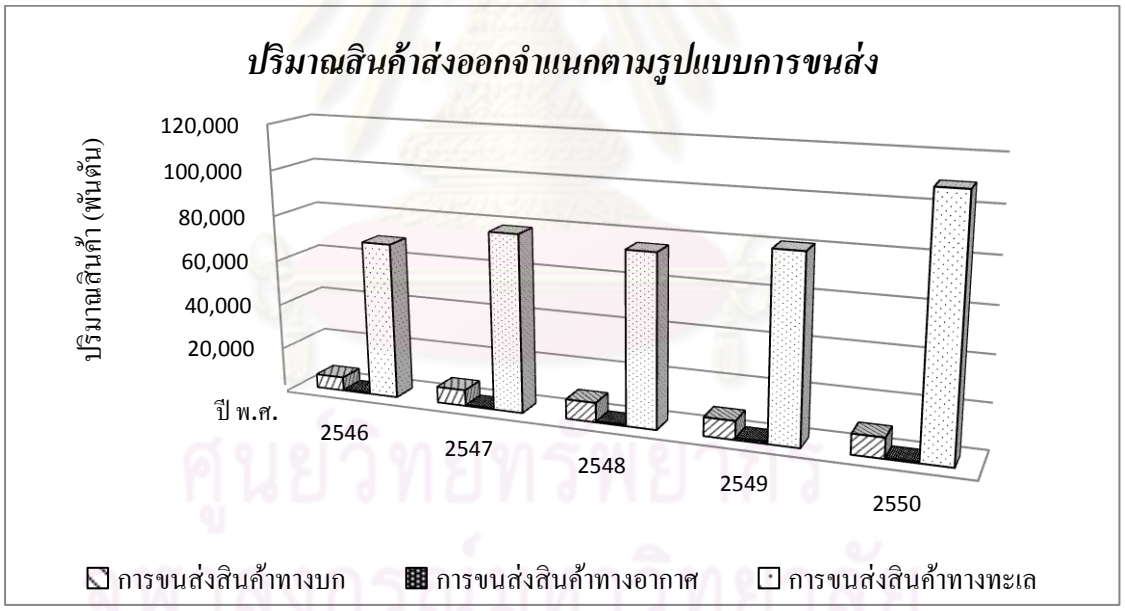
ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม

สำหรับลักษณะของประเทศไทยที่มีภูมิประเทศแบบชายฝั่งทั้งทางด้านตะวันออกและตะวันตกในบริเวณภาคใต้ของประเทศซึ่งมีพื้นที่ชายฝั่งรวมทั้งสิ้นมากกว่า 2,600 กิโลเมตร ซึ่งเป็นความได้เปรียบทางด้านภูมิศาสตร์ที่เอื้อต่อการประกอบกิจกรรมการขนส่งสินค้าทางทางทะเล โดยกิจกรรมส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นจะอยู่ในบริเวณฝั่งอ่าวไทยโดยจะครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งเกือบทั้งหมด ในขณะที่ชายฝั่งอันดามันจะเป็นการขนส่งสินค้าระหว่างจังหวัดเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของท่าเรือทางทะเลปัจจุบันประเทศไทยมีท่าเรือทางทะเลประมาณ 120 แห่ง โดยท่าเรือที่สำคัญที่ใช้ในการนำเข้าและส่งออกสินค้าของประเทศไทยจะประกอบด้วย ท่าเรือกรุงเทพ ท่าเรือแหลมฉบัง ท่าเรือสงขลา ท่าเรือมาบตาพุด ท่าเรือภูเก็ต ท่าเรือเชียงแสนและท่าเรือเชียงของ



รูปที่ 1.2 ปริมาณสินค้านำเข้าจำแนกตามรูปแบบการขนส่ง

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม



รูปที่ 1.3 ปริมาณสินค้าส่งออกจำแนกตามรูปแบบการขนส่ง

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารสำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม

ในส่วนของประเภทของการขนส่งสินค้าทางทะเลสามารถจำแนกได้ 2 ลักษณะ คือใช้ลักษณะของการขนส่งสินค้าเป็นเกณฑ์ในการการจำแนกและใช้รูปแบบของการว่าจ้างขนส่งสินค้าเป็นเกณฑ์ในการจำแนก (มารีนเนอร์ไทยดอทคอม, 2553) ซึ่งในส่วนของการจำแนกโดยใช้รูปแบบ

ของการขนส่งสินค้าเป็นเกณฑ์จะสามารถแบ่งลักษณะการขนส่งได้เป็น 3 ลักษณะ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การขนส่งสินค้าแบบเทกอง (Bulk Cargo Vessel) คือการขนส่งสินค้าแบบบรรทุกสินค้าลงบนตัวเรือโดยตรงซึ่งเป็นการขนส่งแบบดั่งเดิม (Conventional Type) มักจะเป็นการขนส่งจากต้นทางสู่ปลายทางโดยตรงไม่มีการขนส่งสินค้าขึ้นหรือลงเรือระหว่างทาง โดยทั่วไปจะเป็นการขนส่งแบบที่ไม่มีตารางเดินเรือแน่นอน สินค้าที่ขนส่งในลักษณะนี้จะแบ่งเป็นสินค้าเทกองแห้ง(Dry Bulk Cargo) และสินค้าเหลวบรรจุแท็งค์ (Liquid Tank Cargo)
2. การขนส่งแบบตู้คอนเทนเนอร์ (Container Vessel) เป็นการขนส่งสินค้าโดยสินค้าจะถูกบรรจุรวมอยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ โดยการขนส่งมักจะเป็นการขนส่งแบบโครงข่ายที่มีเส้นทางเดินเรือที่แน่นอน โดยใช้เรือขนาดใหญ่ (Mother Vessel) ในการขนส่งสินค้าไปยังท่าเรือหลักจากนั้นจึงใช้เรือขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นเรือลูก (Feeder) ในการขนสินค้าจากท่าเรือหลักไปยังท่าเรือรองที่ตั้งอยู่ในบริเวณนั้น
3. การขนส่งแบบผสมผสาน (Semi-Container Vessel) เป็นการขนส่งสินค้าที่แบ่งพื้นที่บรรทุกบนเรือออกเป็นสองส่วนเพื่อทำการขนส่งสินค้าเทกองและสินค้าบรรจุตู้คอนเทนเนอร์ โดยลักษณะการเดินเรือจะมีลักษณะเช่นเดียวกับเรือขนส่งสินค้าเทกองคือเป็นการขนส่งสินค้าโดยตรงจากท่าเรือต้นทางสู่ท่าเรือปลายทาง

ในส่วนของการจำแนกการขนส่งสินค้าทางทะเลโดยการใช้ลักษณะการว่าจ้างเป็นเกณฑ์ในการจำแนกจะสามารถจำแนกรูปแบบการว่าจ้างออกเป็น 2 รูปแบบหลักๆ ดังนี้

1. การว่าจ้างขนส่งสินค้าโดยเรือที่มีตารางการเดินเรือที่แน่นอน (Liner Service) การว่าจ้างในลักษณะนี้ ผู้ให้บริการขนส่งสินค้าจะทำการเดินเรือเข้าเทียบท่าตามวันและเวลาที่ระบุไว้ในตารางเดินเรือซึ่งตารางเดินเรือดังกล่าวจะมีลักษณะซ้ำเดิมในช่วงเวลาหนึ่งๆ โดยอัตราค่าบริการจะถูกกำหนดไว้แน่นอนสำหรับเส้นทางเดินเรือแต่ละเส้นทาง โดยผู้ว่าจ้างจะทำการเลือกเที่ยวเดินเรือที่เหมาะสมกับความต้องการขนส่งสินค้าของตนเองจากตารางเดินเรือที่กำหนดไว้โดยผู้ให้บริการ รูปแบบการว่าจ้างในลักษณะนี้ผู้ให้บริการจะทราบปริมาณสินค้าจริงที่จะขนส่งในแต่ละเส้นทางภาย

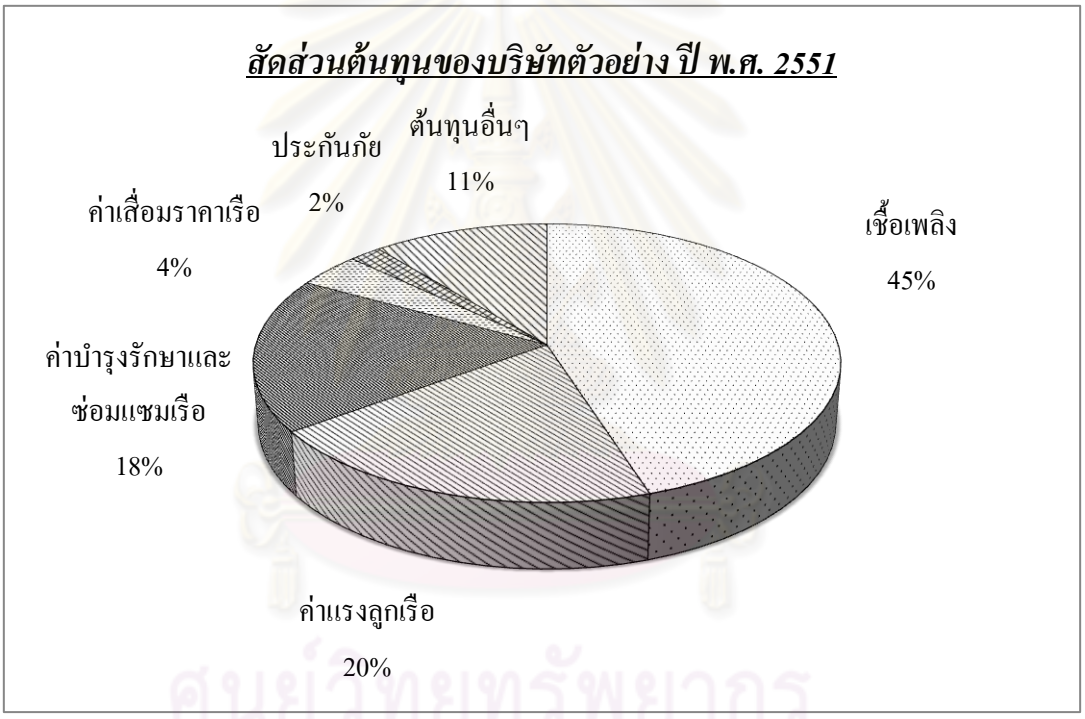
หลังจากการกำหนดตารางเดินเรือ ซึ่งการว่าจ้างขนส่งสินค้าในลักษณะนี้มักจะเป็นการขนส่งสินค้าแบบตู้คอนเทนเนอร์

2. การว่าจ้างแบบเช่าเหมาเรือ (Chartering Service) การว่าจ้างในลักษณะนี้ ผู้ให้บริการจะไม่มีตารางเดินเรือที่แน่นอน โดยตารางเดินเรือจะเปลี่ยนแปลงตามคำสั่งว่าจ้าง รวมทั้งอัตราค่าบริการจะถูกพิจารณาเป็นกรณีๆ ซึ่งในจุดนี้ผู้ให้บริการจะพิจารณาถึงคำสั่งขนส่งสินค้าเดิมที่มีอยู่ รวมทั้งตำแหน่งของเรือในโครงข่ายเพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมในการกำหนดราคาอัตราค่าบริการสำหรับคำสั่งว่าจ้างนั้นๆ ซึ่งการว่าจ้างในลักษณะนี้มักจะเป็นการขนส่งสินค้าแบบเทกอง ซึ่งสามารถจำแนกย่อยลงไปตามลักษณะการเช่าเหมาได้ดังต่อไปนี้

   - การเช่าเหมาเที่ยว (Voyage Charter) เป็นการเช่าเหมาเรือแบบเที่ยวเดียวเพื่อขนส่งสินค้าจากท่าเรือต้นทางสู่ท่าเรือปลายทางที่กำหนด ซึ่งในจุดนี้ต้นทุนในการเดินเรือที่จะพิจารณาในการกำหนดค่าบริการจะพิจารณาถึงการเดินเรือในเที่ยวกลับด้วยเพราะมีความเป็นไปได้ที่ผู้ประกอบการเดินเรือขนส่งจะไม่สามารถหาสินค้าให้กับการเดินเรือเที่ยวกลับได้
   - การเช่าเหมาเรือแบบเป็นระยะเวลา (Time Charter) เป็นการเช่าสิทธิ์การเดินเรือในช่วงเวลาหนึ่งๆ ซึ่งจะครอบคลุมถึงการว่าจ้างลูกเรือรวมทั้งการซ่อมบำรุงเรือให้สามารถปฏิบัติงานได้สมบูรณ์เท่านั้น ส่วนค่าใช้จ่ายในการเดินเรือจะตกเป็นภาระของผู้เช่าเรือที่จะต้องรับผิดชอบตามที่ได้ตกลงกันไว้ในสัญญาการเช่าเหมาเรือ
   - การเช่าเหมาเรือเปล่า (Demise Charter) การเช่าเหมาในลักษณะนี้จะเป็นการเช่าเหมาเฉพาะตัวเรือเท่านั้น โดยทั่วไปสัญญาเช่าเหมาลักษณะนี้จะครอบคลุมระยะเวลาที่ยาวนาน โดยผู้ให้บริการมีหน้าที่ส่งมอบเรือมาให้แก่ผู้เช่าเหมา ส่วนค่าใช้จ่ายในการเดินเรือตลอดจนการบำรุงดูแลรักษาเรือให้สามารถปฏิบัติงานได้เป็นภาระของผู้เช่าเหมา
   - การเช่าเหมาเรือแบบผสมผสาน (Hybrid Charter) การเช่าเหมาในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นจากการตกลงกันระหว่างผู้ให้บริการและผู้เช่าเหมา โดยรูปแบบสัญญา

เช่าเหมาจะมีลักษณะคาบเกี่ยวกันระหว่างรูปแบบการเช่าเหมาหลายลักษณะตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

- สัญญารับขนส่งทางทะเล (Contract of Affreightment, COA) การเช่าเหมาเรือเพื่อทำการขนส่งสินค้าจำนวนมากในช่วงเวลาที่กำหนด โดยในสัญญาจะระบุปริมาณสินค้าทั้งหมดที่จะต้องขนส่งรวมทั้งกำหนดเวลาที่จะทำการขนส่งเสร็จสิ้น ผู้ดำเนินการขนส่งสามารถแบ่งการขนส่งออกออกเป็นหลายเที่ยวภายใต้ช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในสัญญา ในส่วนของการรับผิดชอบค่าใช้จ่ายต่างๆ จะมีลักษณะเดียวกับการเช่าเหมาเที่ยว



รูปที่ 1.4 สัดส่วนต้นทุนในการประกอบธุรกิจการเดินเรือของบริษัทตัวอย่าง

ที่มา: ฝ่ายบัญชี บริษัทตัวอย่าง, ปี พ.ศ. 2551

สำหรับการประกอบธุรกิจเกี่ยวกับการเดินเรือขนส่งสินค้าทางทะเล การวางแผนเพื่อกำหนดเส้นทางและตารางเดินเรือเป็นขั้นตอนที่สำคัญประการหนึ่ง จากการศึกษาพบว่าการลงทุนในธุรกิจเดินเรือมีความเกี่ยวข้องกับเงินลงทุนมูลค่ามหาศาลทั้งในด้านการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการเดินเรือ ค่าเสื่อมสภาพเรือ และค่าแรงของลูกเรือ ซึ่งต้นทุนเหล่านี้เป็นต้นทุนส่วนหลักของต้นทุนทั้งหมดในการดำเนินการดังที่แสดงไว้ในภาพที่ 1.4 นอกจากนี้ การวางแผนการใช้ประโยชน์

ของเรือที่มีอยู่อย่างเหมาะสมยังสามารถลดต้นทุนสิ้นเปลืองที่เกิดจากการถือครองเรือจำนวนมากเกินความจำเป็น อีกทั้งช่วยให้การตัดสินใจในการลงทุนจัดหาเรือใหม่เป็นไปอย่างเหมาะสม ดังนั้นการวางแผนการใช้ประโยชน์ของเรือที่มีประสิทธิภาพจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อความอยู่รอดของธุรกิจ ทั้งในส่วนของการเพิ่มผลกำไรจากการลดต้นทุนส่วนที่ไม่จำเป็นและการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันระหว่างผู้ประกอบการทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ

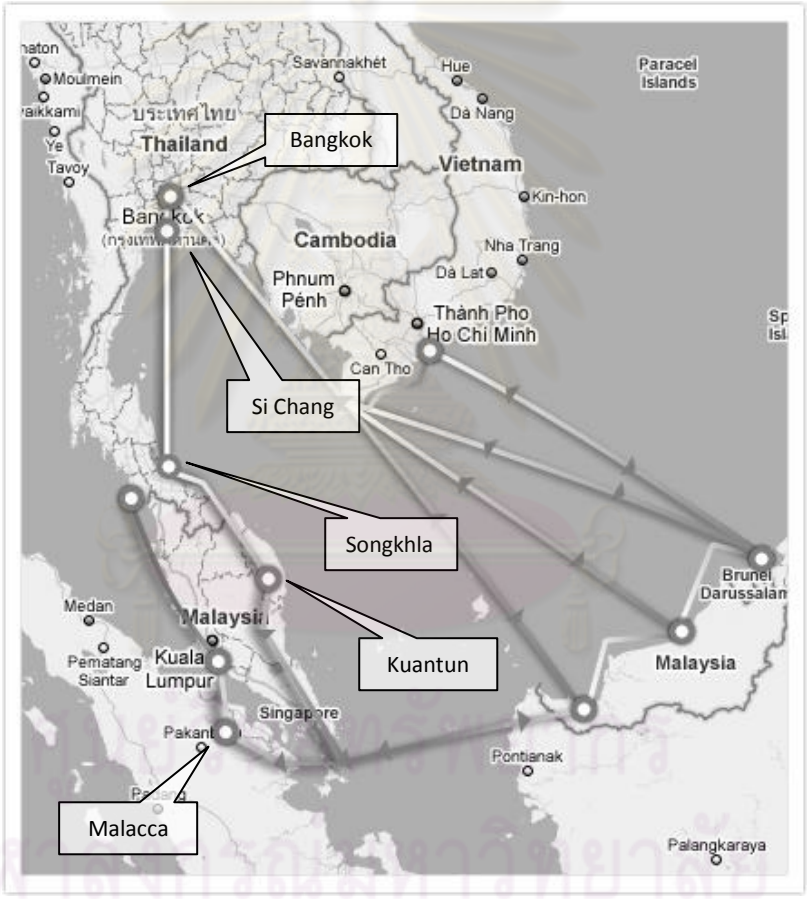
1.2 ข้อมูลกรณีศึกษา

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าทางทะเล โดยมีขอบเขตของงานวิจัยอยู่ภายใต้กรณีศึกษาของบริษัทตัวอย่างที่ให้บริการขนส่งสินค้าทางทะเลแบบเช่าเหมาเที่ยว (Voyage Charter) และสินค้าที่ทำการขนส่งเป็นแบบสินค้าเทกอง โดยขนส่งแบบเต็มลำ ซึ่งมีเส้นทางเดินเรือทั้งภายในและภายนอกประเทศ ซึ่งสินค้าที่ทำการขนส่งภายในประเทศจะเป็นสินค้าจำพวกสินค้าการเกษตร ปุ๋ย และเหล็กแผ่น ในส่วนของสินค้าที่ทำการขนส่งระหว่างประเทศจะเป็นสินค้าจำพวก ข้าว น้ำตาล แป้งสาลีและไม้แปรรูป โดยมีฝูงเรือให้บริการทั้งสิน 12 ลำ โดยมีท่าเรือ 2 แห่งที่อยู่ในการดูแลของบริษัทดังกล่าวซึ่งตั้งอยู่ในบริเวณท่าเรือกรุงเทพและบริเวณท่าเรือสงขลา

คำสั่งขนส่งสินค้าที่ได้รับจะมีลักษณะเป็นการขนส่งแบบมีกรอบเวลา (Time Window) ทั้งในส่วนของการรับสินค้าและส่งสินค้า กล่าวคือผู้ดำเนินการขนส่งสินค้าจะมีช่วงเวลาที่อนุญาตให้สามารถรับหรือส่งสินค้าที่ท่าเรือได้ และสำหรับกิจกรรมใดๆที่อยู่นอกเหนือจากกรอบเวลาที่กำหนดจะไม่ได้รับการอนุญาตให้ดำเนินการได้ โดยทั่วไปความกว้างของกรอบเวลาจะกว้างประมาณ 1 - 3 วันแต่ในบางกรณีกรอบเวลาอาจมีความกว้างมากกว่า 10 วันได้ ในส่วนของค่าจ้างขนส่งสินค้าจะเกิดจากการเจรจาเป็นกรณีๆไปโดยอ้างอิงจากค่าจ้างขนส่งในอดีตประกอบกับราคาเชื้อเพลิงในขณะนั้น สำหรับการเลือกรับบริการขนส่งสินค้าจะแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือคำสั่งขนส่งสินค้าที่ไม่สามารถปฏิเสธได้ อันเนื่องมาจากสาเหตุหลัก 2 ประการคือเป็นคำสั่งขนส่งสินค้าที่มีสัญญาผูกมัดระยะยาวหรือเป็นคำสั่งขนส่งสินค้าที่ผู้ดำเนินการต้องการรักษาฐานผู้ใช้บริการไว้จึงไม่เหมาะสมที่จะทำการปฏิเสธการว่าจ้าง ลักษณะคำสั่งขนส่งสินค้าแบบที่ 2 คือเป็นคำสั่งขนส่ง

สินค้าขาจรที่ผู้ดำเนินการขนส่งสามารถเลือกปฏิเสธการว่าจ้างได้ในกรณีที่ไม่สามารถเจรจาค่าจ้างขนส่งได้หรือผู้ดำเนินการพิจารณาแล้วว่าการขนส่งสินค้าดังกล่าวไม่มีความคุ้มค่า

ลักษณะการเดินเรือขนส่งสินค้าจะระยะทางสั้น (Short Sea Shipping) โดยต้นทางและปลายทางของการขนส่งสินค้าจะอยู่ในบริเวณทวีปเอเชียดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 1.5 ซึ่งจะขนส่งสินค้าจากต้นทางไปยังปลายทางของสินค้าโดยไม่มีการจอดที่ท่าเรืออื่นเพื่อทำการขนส่งสินค้าเพิ่มหรือนำสินค้าลงโดยเรือที่ทำการขนส่งสินค้าเสร็จและยังไม่มีคำสั่งขนส่งสินค้าคำสั่งถัดไปจะทำการเดินเรือกลับมายังท่าเรือของบริษัทที่บริเวณท่าเรือกรุงเทพหรือท่าเรือสงขลา

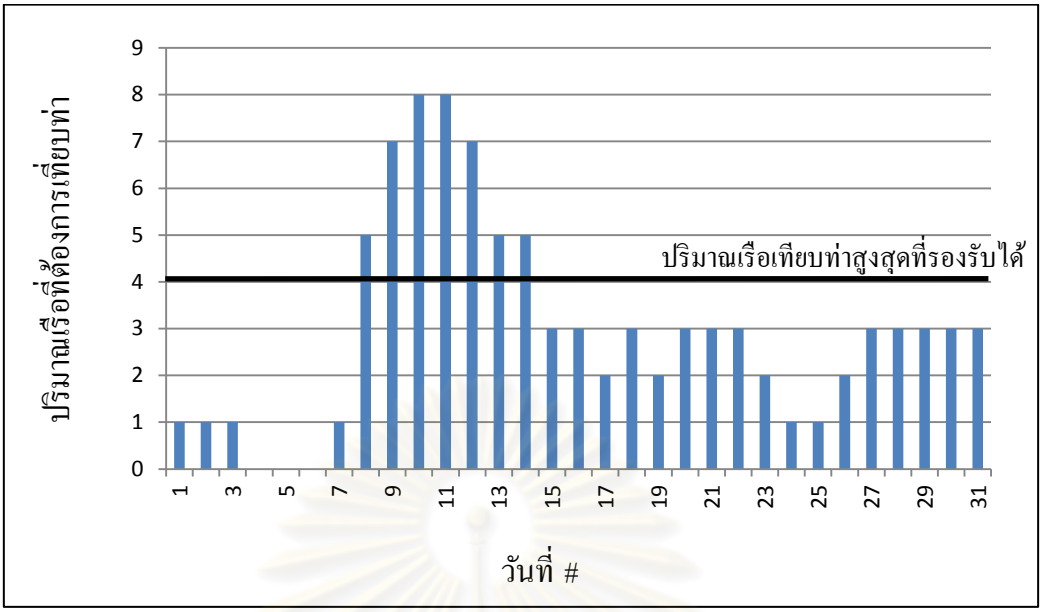


รูปที่ 1.5 เส้นทางการเดินเรือที่พบเป็นประจำของบริษัทตัวอย่าง

โดยปกติคำสั่งขนส่งสินค้าจะทราบล่วงหน้าไม่เกิน 4 สัปดาห์ และเนื่องจากเป็นธุรกิจการเดินเรือแบบเช่าเหมาเที่ยวที่ไม่มีตารางเดินเรือที่แน่นอน การวางแผนตัดสินใจที่เกิดขึ้นจะต้องอ้างอิงจากข้อมูลสถานะปัจจุบันของเรือแต่ละลำ อย่างไรก็ดีในปัจจุบันการวางแผนจะอาศัยการตัดสินใจของผู้วางแผนเป็นหลัก ซึ่งมีแนวคิดในการตัดสินใจเป็นแบบเชิงละโมบ (Greedy Method)

ประกอบกับประสบการณ์ของผู้วางแผน เพื่อกำหนดราคาและตารางการเดินเรือของเรือแต่ละลำ ส่งผลให้ตารางเดินเรือในปัจจุบันมีลักษณะเป็นตารางเดินเรือที่สามารถดำเนินการได้ แต่ไม่สามารถยืนยันได้ว่าเป็นตารางเดินเรือดีที่สุด เนื่องจากขาดการพิจารณาถึงภาพรวมโครงข่ายทั้งหมดและบ่อยครั้งที่ต้องประสบกับปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือซึ่งส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางและความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยไม่จำเป็น นอกเหนือจากต้นทุนที่เกิดจากความล่าช้าแล้ว ความคับคั่งที่เกิดขึ้นยังเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ไม่สามารถดำเนินงานได้ตรงตามตารางเดินเรือที่วางไว้ รวมทั้งความล่าช้าที่เกิดขึ้นอาจส่งผลกระทบไปยังการสินค้าอื่นๆที่ต้องทำการขนส่งในตารางเดินเรือ ซึ่งสาเหตุสำคัญของปัญหาความล่าช้าดังกล่าวล้วนมีสาเหตุมาจากการความไม่สอดคล้องกันระหว่างการวางแผนตารางเดินเรือและการวางแผนเข้าใช้พื้นที่บริเวณท่าเรือ

"ความคับคั่งบริเวณท่าเรือ" ในงานวิจัยนี้จะหมายถึงสภาพที่มีเรือต้องการเทียบท่ามากกว่าความสามารถในการบริการของท่าเรือในช่วงเวลาใดๆ จากรูปที่ 1.6 ซึ่งแสดงถึงปริมาณความต้องเข้าใช้ท่าเรือสงขลาจำแนกรายวันจะพบว่าช่วงวันที่ 8 ถึงวันที่ 14 ปริมาณความต้องการเทียบท่าเรือมีมากกว่าความสามารถในการรองรับได้ของท่าเรือส่งผลให้เรือส่วนเกินต้องทำการเทียบท่าบริเวณปากอ่าวหรือพื้นที่ใกล้เคียงซึ่งมีความเสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุและอาจทำให้เกิดความล่าช้าในการขนส่งสินค้าได้ นอกจากนี้หากพิจารณาปริมาณของเรือที่ต้องการเข้าเทียบท่าในช่วงเวลาที่ประสบปัญหาความคับคั่งพบว่าในบางช่วงเวลามีปริมาณเอต้องการเข้าเทียบท่าสูงถึง 2 เท่าของความสามารถในการรองรับการเข้าเทียบท่า โดยแนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวจะสามารถทำได้โดยการกระจายปริมาณความต้องการเทียบท่าในช่วงที่เกิดปัญหาออกไปยังช่วงเวลาอื่นๆที่ยังไม่ประสบปัญหาภายใต้ความสอดคล้องของกรอบเวลาขนส่งสินค้า ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการวางแผนการใช้พื้นที่บริเวณท่าเรือจะเกิดขึ้นหลังจากตารางเดินเรือถูกกำหนดแล้วและเป็นการวางแผนในระดับดำเนินการที่เกิดขึ้นบริเวณท่าเรือ ซึ่งส่งผลให้ในบางกรณีการวางแผนการใช้พื้นที่บริเวณท่าเรือในระดับดำเนินการไม่เพียงพอที่จะหลีกเลี่ยงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือได้



รูปที่ 1.6 ปริมาณความต้องการเข้าใช้ท่าเรือที่จังหวัดสงขลาของบริษัทตัวอย่างจำแนกรายวัน

ที่มา: บริษัทตัวอย่าง ข้อมูลสำรวจ ณ เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2552

ในการเดินเรือจะมีการเข้าเทียบท่าเรือทั้งในส่วนที่เป็นท่าเรือส่วนตัวและท่าเรือที่ดำเนินการโดยบุคคลภายนอกซึ่งมีการใช้พื้นที่ร่วมกันของผู้ประกอบการเดินเรือๆหลายผู้ประกอบการ ในส่วนของท่าเรือส่วนตัว การวางแผนการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือจะสามารถดำเนินการได้อย่างเต็มที่เนื่องจากจะทราบปริมาณความต้องการในการเข้าเทียบท่าเรือในช่วงเวลาต่างๆ แต่ในกรณีของท่าเรือที่ดำเนินการโดยบุคคลภายนอกที่ไม่สามารถพิจารณาถึงความคับคั่งบริเวณท่าเรือได้ครอบคลุมทั้งหมด เนื่องจากไม่ทราบข้อมูลแผนการเดินเรือของผู้ประกอบการอื่นๆที่จะเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือในช่วงเวลาเดียวกัน แต่จากการเก็บข้อมูลจากบริษัทตัวอย่างพบว่าข้อมูลในส่วนนี้สามารถคาดการณ์ได้จากข้อมูลในอดีต แนวโน้มของปริมาณสินค้าในแต่ละฤดูกาล รวมทั้งสอบถามแนวโน้มการเข้าใช้ท่าเรือในช่วงเวลาต่างๆได้จากท่าเรือที่จะเข้าเทียบท่า เพื่อนำมากำหนดปริมาณเรือที่เหมาะสมสำหรับการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือในช่วงเวลาต่างๆ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการประยุกต์ใช้ศาสตร์ด้านการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) เข้ามาแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือโดยพิจารณาถึงเงื่อนไขต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการปฏิบัติงานจริง โดยการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์รวมทั้งขั้นตอนในการแก้ปัญหาจัดตารางเดินเรือจะอาศัยข้อมูลจากบริษัทตัวอย่างที่ให้บริการเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองแบบเต็มลำ โดยมีรายละเอียดตามที่กล่าวถึงในหัวข้อ 1.2 เป็นกรณีศึกษาสำหรับงานวิจัย

อย่างไรก็ดีในขั้นตอนการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้ข้อมูลเกี่ยวกับการกำหนดค่าบริการที่ผู้ประกอบการจะได้รับจากการขนส่งสินค้าประกอบการวางแผนจัดตารางเดินเรือ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาให้ค่าบริการมีค่าคงที่และได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้า

อนึ่ง งานวิจัยนี้ไม่ครอบคลุมการพัฒนาในด้านโปรแกรมกราฟิกเพื่อส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface - GUI) เนื่องจากเป็นลักษณะการพัฒนาที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับจุดประสงค์ของงานวิจัยโดยตรง อย่างไรก็ดีการพัฒนาด้านกราฟิกส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานสามารถดำเนินการได้ภายหลังโดยอาศัยข้อมูลและแบบจำลองจากงานวิจัยนี้ได้โดยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญโดยตรง

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาวิธีการรวมขั้นตอนการวางแผนจัดเส้นทางเดินเรือและการจัดตารางเดินเรือเข้ามาอยู่ในขั้นตอนการวางแผนเดียวโดยคำนึงถึงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือ
2. พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการการจัดตารางเดินเรือโดยพิจารณาถึงความคับคั่งบริเวณท่าเรือและเงื่อนไขอื่นๆ ที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการปฏิบัติงานจริง
3. เปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลการจัดตารางเดินเรือด้วยวิธีการเดิมและการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 องค์ความรู้ที่ได้รับ

1. การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือด้วยวิธีหาผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยอาศัยกระบวนการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) และเทคนิคการกำเนิดแถว (Row Generation)

2. การพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือโดยพิจารณาเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ

3. การพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อสร้างรูปแบบผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Candidate Solution) เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการแบ่งเซต (Set Partitioning Problem)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถลดต้นทุนดำเนินการในการเดินเรือขนส่งสินค้า ที่มีสาเหตุมาจากการวางแผนตารางเดินเรือที่ไม่มีประสิทธิภาพ รวมทั้งความสิ้นเปลืองที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงอย่างไม่เหมาะสมซึ่งจะส่งผลดีในด้านของการประหยัดพลังงานและอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม

2. พัฒนาการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และหลักการทางด้านการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวางแผนจัดตารางเดินเรือเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับธุรกิจการให้บริการเดินเรือขนส่งสินค้า จากการศึกษาทำให้ทราบว่ามีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนจัดตารางเดินเรือจำนวนมากที่มีความแตกต่างกันในรายละเอียด ทั้งในรูปแบบการพัฒนาแบบจำลอง วิธีการในการแก้ปัญหา รวมทั้งเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดเพิ่มเติมเพื่อให้การแก้ปัญหามีความสอดคล้องกับสถานการณ์จริง

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินเรือโดยการหาเฉลยแบบแม่นตรงโดยส่วนใหญ่จะพิจารณาปัญหาดังกล่าวในรูปของปัญหาการแบ่งเซต โดยเซตของปัญหาคือเส้นทางการเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเรือทุกๆ ลำ วัตถุประสงค์ของปัญหาจะเป็นการคัดเลือกตารางเดินเรือที่เหมาะสมที่สุดของเรือแต่ละลำเพื่อให้สินค้าทั้งหมดถูกขนส่งโดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุดหรือได้รับผลกำไรสูงสุด ในบทนี้ผู้วิจัยจะนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของการขนส่งสินค้าทางทะเลระยะสั้นที่เป็นลักษณะของกรณีศึกษาของการวิจัย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกอง และงานวิจัยอื่นๆที่มีความเกี่ยวข้อง

2.1 การขนส่งสินค้าทางทะเลระยะสั้น (Short Sea Shipping)

นิยามการขนส่งทางทะเลระยะสั้นสามารถนิยามได้โดยกว้างว่าคือการขนส่งสินค้าทางทะเลที่มีท่าเรือต้นทางและท่าเรือปลายทางอยู่ในทวีปเดียวกันโดยไม่มีการเดินเรือข้ามมหาสมุทร[x] ซึ่งจะกล่าวรวมทั้งการขนส่งสินค้าที่เป็นการขนส่งภายในประเทศและระหว่างประเทศ การขนส่งทางทะเลระยะสั้นมีข้อได้เปรียบหลายประการเมื่อเทียบกับรูปแบบการขนส่งอื่นๆ เช่น ต้นทุนในการดำเนินการมีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปการขนส่งรูปแบบอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการขนส่งทางบกที่เป็นระบบขนส่งหลักของการขนส่งสินค้าภายในประเทศ นอกจากนี้การขนส่งทางทะเลมีต้นทุนในส่วนของโครงสร้างพื้นฐานและค่าเสื่อมสภาพของยานพาหนะที่ต่ำกว่า อีกทั้งการขนส่งทางทะเลมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสูงเนื่องจากเป็นการขนส่งที่มีการสิ้นเปลืองพลังงาน

ต่ำ แต่อย่างไรก็ดีการขนส่งทางทะเลระยะสั้นโดยทั่วไปจะต้องกระทำร่วมกับการขนส่งทางถนนที่สามารถเข้าถึงต้นทางและปลายทางได้ดีกว่า ส่งผลให้ตลอดการขนส่งต้องมีจุดเชื่อมต่อระหว่างรูปแบบการขนส่งหลายจุด นอกจากนี้ การขนส่งทางทะเลจะมีความอ่อนไหวต่อสภาพอากาศและใช้เวลาในการขนส่งมากกว่าการขนส่งทางถนน (Blonk, 1994), (Fagerholt and Christiansen, 2002)

นอกเหนือจากความคุ้มค่าที่เกิดขึ้นจากความได้เปรียบของการขนส่งทางทะเล การขนส่งทางทะเลระยะสั้นยังทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างการขนส่งทางบกภายในประเทศกับการขนส่งทางทะเลข้ามทวีป โดยการขนส่งทางทะเลยระยะสั้นจะทำการขนส่งสินค้าจากท่าเรือลูกที่กระจายตัวอยู่ตามชายฝั่งไปยังท่าเรือที่เป็นศูนย์กลางการขนส่งสินค้าระหว่างทวีป ซึ่งในจุดนี้การขนส่งทางทะเลระยะสั้นจะมีข้อได้เปรียบสูงมากเมื่อเทียบกับระบบการขนส่งอื่นๆ [4]

2.2 การทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีต

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกับการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือ

การทบวนงานวิจัยในเบื้องต้น ผู้วิจัยพบว่างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางและกำหนดตารางเวลาสำหรับธุรกิจขนส่งทางทะเลมีปริมาณน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการขนส่งรูปแบบอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับรูปแบบการขนส่งทางบทและทางอากาศ โดย Ronan (1982, 1983) ได้นำเสนอบทความเกี่ยวกับการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินเรือและตารางเดินเรือ โดยได้อภิปรายถึงสาเหตุที่ทำให้งานวิจัยในหัวข้อดังกล่าวมีปริมาณน้อย โดยสาเหตุที่งานวิจัยดังกล่าวได้อภิปรายไว้จะประกอบด้วย ความไม่แน่นอนของลักษณะการเดินเรือทางทะเลและสภาวะของตลาดอุปสงค์ ความยืดหยุ่นของดำเนินการเดินเรือทางทะเล รวมทั้งลักษณะการประกอบธุรกิจที่เป็นแบบดั้งเดิมมาช้านานซึ่งยากต่อการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงรูปแบบการดำเนินการ งานวิจัยในช่วงต้นของหัวข้อดังกล่าวจะเป็นเกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าของกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิต ที่ทำการขนส่งสินค้าที่ตนเองเป็นเจ้าของ โดยการขนส่งสินค้าเป็นกระบวนการหนึ่งในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมขุดเจาะน้ำมันดิบ จากนั้นแนวโน้มของงานวิจัยในกลุ่มหัวข้อนี้จึงย้ายมายัง ธุรกิจการ

ให้บริการขนส่งสินค้าทั้งในส่วนของการขนส่งในลักษณะของสินค้าเทกองและสินค้าตู้คอนเทนเนอร์

Christiansen et al. (2007) ได้กล่าวถึงรายละเอียดของความแตกต่างระหว่างการขนส่งสินค้าในลักษณะของตู้คอนเทนเนอร์และสินค้าเทกอง โดยการขนส่งสินค้าเทกองจะมีลักษณะตารางเดินเรือที่ไม่ตายตัว มีความยืดหยุ่นและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามลักษณะอุปสงค์ในการว่าจ้างขนส่งสินค้า นอกจากนี้การขนส่งสินค้าเทกองจะมีลักษณะเป็นการขนส่งสินค้าเต็มลำ ในขณะที่การขนส่งสินค้าแบบตู้คอนทนเนอร์จะมีการกำหนดตารางเดินเรือที่แน่นอนก่อนที่จะทราบอุปสงค์ในการว่าจ้างขนส่งสินค้า โดยตารางเดินเรือและระวางค่าจ้างขนส่งสินค้าจะถูกประกาศให้ผู้ว่าจ้างทราบ นอกจากนี้การขนส่งสินค้าแบบตู้คอนเทนเนอร์ ผู้ให้บริการสามารถรวมสินค้าจากหลายผู้ว่าจ้างไว้บนเรือขนส่งสินค้าลำเดียวกันได้

การแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองแบบเต็มลำเป็นปัญหาที่มีความหลากหลาย ทั้งในส่วนของแนวคิดของการปัญหา รายละเอียดเฉพาะของปัญหาที่สอดคล้องกับสภาพการดำเนินการจริงที่แตกต่างกันไป อีกทั้งการขนส่งสินค้าเทกองแบบเต็มลำมีความเหมาะสมทั้งในส่วนของการเดินทางระยะไกลเพื่อขนส่งระหว่างทวีปและการเดินเรือระยะสั้นเพื่อขนส่งสินค้าภายในทวีป ทำให้ขนาดปัญหาที่ทำการวิเคราะห์มีขนาดแตกต่างกันไป ซึ่งทำให้แนวคิดในการแก้ปัญหาแต่ละวิธีมีความเหมาะสมกับปัญหาแต่ละลักษณะที่แตกต่างกัน

Appelgren (1969, 1971) ได้เสนองานวิจัยที่บุกเบิกแนวคิดในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินเรือขนส่งสินค้าของธุรกิจให้บริการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองมีพื้นฐานมาจากแบบแบบจำลองการแบ่งเซต และอาศัยเทคนิคกำเนิดสดมภ์ในการหาผลเฉลย นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่นๆที่ทำการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือโดยอาศัยแบบจำลองการแก้ปัญหาแบ่งเซตร่วมกับเทคนิคกำเนิดสดมภ์ โดยแบบจำลองปัญหาการแบ่งเซต จะมีรายละเอียดดังนี้

Objective Function

Min
$$\sum_{k\in K}\sum_{r\in R} c_r^k x_r^k \tag{1.4}$$

Subject to

$$\sum_{k\in K}\sum_{r\in R} \alpha_{ir}^k x_r^k = 1 \qquad \forall i \in I \tag{1.5}$$

$$\sum_{r\in R} x_r^k \le 1 \qquad \forall k \in K \tag{1.6}$$

$$x_r^k \in \{0,1\} \qquad \forall r \in R, \forall k \in K \tag{1.7}$$

โดยที่ R^k คือเซตของตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเรือ k โดยมี r เป็นดัชนี

K คือเซตของเรือทั้งหมดที่ให้บริการ โดยมี k เป็นดัชนี

I คือเซตของสินค้าที่ต้องจัดส่งทั้งหมด โดยมี i เป็นดัชนี

C_r^k คือต้นทุนในการเดินเรือ k ตามตารางเดินเรือ r

α_{ir}^k มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อตารางเดินเรือ r ของเรือ k ทำการขนส่งสินค้า i และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

x_r^k มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกตารางเดินเรือ r ให้กับเรือ k และมีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ

จากแบบจำลองดังกล่าว สมการวัตถุประสงค์ 2.4 แสดงถึงการหาค่าต่ำที่สุดของต้นทุนรวมทั้งหมดจากการการเดินเรือขนส่งสินค้าทุกๆ ลำ สมการเงื่อนไข 2.5 เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้สินค้าแต่ละชิ้นต้องได้รับการขนส่ง และสมการเงื่อนไข 2.6 เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้เรือแต่ละลำถูกกำหนดตารางเดินเรือได้สูงสุดเพียง 1 ตารางเดินเรือ และสมการเงื่อนไข 2.7 เป็นเงื่อนที่กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวแบบไบนารี่

แนวคิดในการแก้ปัญหาจะใช้เทคนิคกำเนิดสดมภ์ในการเพิ่มประสิทธ์ภาพของปัญหา เนื่องจากธรรมชาติของการปัญหาแบ่งเซตที่มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจหรือสดมภ์เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ดีการแก้ปัญหาแบบจำลองที่มีลักษณะเป็นปัญหาแบ่งเซต ซึ่งจะประกอบด้วยขั้นตอนการ

สร้างคำตอบที่เป็นไปได้ (Candidate Solution) เพื่อใช้เป็นตัวแปรตัวสินใจสำหรับแบบจำลองและใช้ในกระบวนการกำเนิดสดมภ์ ซึ่งกระบวนการสร้างสดมภ์นั้นสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะหลักๆ คือ การสร้างสดมภ์ที่เป็นไปได้ล่วงหน้า (Priori-Column Generation) และ การสร้างสดมภ์ในขณะหาผลเฉลย (Delayed Column Generation) ซึ่งแต่ละวิธีล้วนมีความเหมาะสมกับปัญหาที่มีลักษณะแตกต่างกัน

Brown et al. (1987), Christiansen and Fagerholt (2002), Sherali et al. (1999), Bausch et al.(1998) และ Brønmo et al. (2007) ได้ทำการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองเต็มลำภายใต้สภาพแวดล้อมการดำเนินการที่แตกต่างกัน โดยอาศัยแบบจำลองการแก้ปัญหาแบ่งเซตร่วมกับเทคนิคกำเนิดสดมภ์ โดยการสร้างสดมภ์ที่เป็นไปได้ล่วงหน้า ซึ่งจะทำการสร้างสดมภ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดก่อนการหาผลเฉลยของแบบจำลอง จากนั้นจึงอาศัยวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อเลือกสดมภ์ที่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ เข้าสู่แบบจำลอง จนกระทั่งไม่พบสดมภ์ที่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้อีกต่อไปจึงสิ้นสุดกระบวนการแก้ปัญหา

Nemhauser and Yu (1972) และ Brønmo et al. (2007) ได้ทำการวิจัยโดยใช้วิธีกำหนดการพลวัต (Dynamic Programming) ในการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือสำหรับสินค้าเทกอง โดย Nemhauser and Yu อาศัยวิธีกำหนดการพลวัตและการพัฒนาโปรแกรมที่มีลักษณะกำเนิดซ้ำ (Recursion Programming) ในการหาผลเฉลย ในขณะที่ Brønmo et al. จะอาศัยวิธีกำหนดการพลวัตสำหรับการกำเนิดสดมภ์ให้แก่แบบจำลองในขณะที่ทำการหาผลเฉลย ในแต่ละรอบของกระบวนการกำเนิดสดมภ์

Fisher and Rosenwein (1989) ได้ทำการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองเต็มลำ โดยอาศัยแบบจำลองการแก้ปัญหาการแบ่งเซตร่วมกับเทคนิคกำเนิดสดมภ์ แต่จะใช้วิธีฮิวริสติกร่วมกับวิธีผ่อนคลายของลากรานจ์ (Lagrangian Relaxation) ในการหาผลเฉลยของแบบจำลอง เช่นเดียวกันกับ Kim and Lee (1997) ที่ใช้วิธีฮิวริสติกในการแก้ปัญหาหลักที่เป็นปัญหาการแบ่งเซต แต่ในขั้นตอนการกำเนิดสดมภ์จะใช้วิธีการแก้ปัญหากราฟอวัฏจักรระบุทิศทาง (Directed Acyclic Graph) ในการกำเนิดสดมภ์เข้าสู่แบบจำลอง

นอกจากการประยุกต์ใช้วิธีฮิวรีสติกในการแก้ปัญหาหลักที่เป็นปัญหาแบ่งเซตแล้ว วิธีฮิวรีสติกยังสมารถนำมาใช้ในการสร้างตารางเดินเรือโดยตรง ซึ่ง Korsvik et al. (2008) ได้ทำการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองโดยประยุกต์ใช้แนวคิดในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถบรรทุกของ Cordeau and Laporte (2003) และ Cordeau et al. (2001) ซึ่งเป็นวิธีหาผลเฉลยแบบฮิวรีสติกที่มีพื้นฐานมาจากวิธีการค้นหาทาบู (Tabu Search Heuristics) โดยการสร้างตารางเดินเรือเริ่มต้นด้วยวิธีการละโมบ (Greedy Method) จากนั้นจึงทำการสับเปลี่ยนเส้นทางเดินเรือเพื่อพัฒนาผลเฉลยจนกระทั่งผลเฉลยมีคุณภาพเพียงพอและสอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแนวคิดในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดตารางเดินรถได้อย่างเหมาะสม ในขณะที่ Bronmo et al. (2007) ได้ทำการวิจัยโดยอาศัยวิธีฮิวรีสติกในการสร้างตารางเดินเรือโดยตรงเช่นเดียวกัน วิธีการหาผลเฉลยแบบฮิวรีสติกโดยจะแบ่งวิธีการฮิวรีสติกออกเป็น 2 ส่วน คือ วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดเฉพาะแห่งแบบเร็ว (Quick Local Search Heuristics) ซึ่งเป็นกระบวนการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดโดยการสับเปลี่ยนภายในเรือ และ วิธีการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดเฉพาะแห่งแบบขยาย (Extended Local Search Heuristics) เพื่อใช้ในหาผลเฉลยที่ดีที่สุดเฉพาะแห่งโดยการสับเปลี่ยนระหว่างเรือ ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะเริ่มต้นด้วยการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นแบบสุ่มจำนวนมากเพื่อเป็นการขยายพื้นที่ค้นหา (Search Space) จากนั้นจึงใช้กระบวนการฮิวรีสติกทั้ง 2 แบบ เข้าไปปรับปรุงผลเฉลยเริ่มต้นแต่ละแบบ ซึ่งการแก้ปัญหาดังกล่าวจะเริ่มต้นจากผลเฉลยเริ่มต้นจำนวนมากซึ่งวิธีการนี้จะช่วยหลีกเลี่ยงปัญหาจากการที่ผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดเฉพาะแห่ง (Local Optima Solution) ซึ่งในการวัดประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาจะทำได้โดยการเปรียบเทียบผลเฉลยกับวิธีการหาผลเฉลยแบบแม่นตรงที่ใช้แบบจำลองการแก้ปัญหาการแบ่งเซตพบว่าวิธีการดังกล่าวให้ผลเฉลยที่ดีภายใต้เวลาในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมและมีความคงทนมากกว่าเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น

นอกจากการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือด้วยวิธีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แล้ว ผู้วิจัยยังพบวิธีการอื่นๆที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เช่น งานวิจัยของ O'Brien and Crane (1959) และ Olson et al. (1969) ที่ได้ทำการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือสำหรับเรือขนส่งสินค้าเทกองโดยการใช้ซอฟแวร์เชิงพาณิชย์จำลองสถานการณ์จริงของการเดินเรือเพื่อสร้างตารางเดินเรือที่ดีที่สุดในช่วงเวลาที่พิจารณา

นอกเหนือจากการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าแบบทั่วไปแล้ว ยังพบงานวิจัยอื่นๆที่เป็นการต่อยอดปัญหาพื้นฐานโดยการพิจารณาเพิ่มเติมเงื่อนไขที่สอดคล้องกับสภาพการดำเนินการจริง หรือการควบรวมกระบวนการวางแผนอื่นๆเข้ามาพิจารณาในขั้นตอนเดียวกัน เช่น งานวิจัยของ Fagerholt (2003) ที่เป็นงานวิจัยเพื่อพัฒนาแบบจำลองในการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือภายใต้เงื่อนไขกรอบเวลาอย่างอ่อน (Soft Time Windows) โดยที่แบบจำลองจะถูกดัดแปลงให้ผู้ดำเนินการสามารถว่าจ้างเรือขนส่งสินค้าอื่นให้มาทำการขนส่งสินค้าแทนในกรณีที่ทำให้เกิดความคุ้มค่ามากกว่า รวมทั้งข้อจำกัดด้านกรอบเวลาที่แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือกรอบเวลาอย่างแข็งที่ไม่สามารถฝ่าฝืนได้ (Hard Time Windows) และกรอบเวลาแบบอ่อนที่สามารถฝ่าฝืนได้ (Soft Time Window) ซึ่งในส่วนของกรอบเวลาแบบอ่อนจะมีต้นทุนเพิ่มแปรผันตามระยะเวลาที่ฝ่าฝืน และในส่วนของต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจะพิจารณาได้ในหลายรูปแบบ ทั้งในกรณีที่ต้นทุนเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้นกับระยะเวลาที่ฝ่าฝืนซึ่งมีความซับซ้อนมาก แต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้แนวคิดการแก้ปัญหาแบบแบ่งเซตในการหาผลเฉลย ส่งผลให้สามารถคำนวณต้นทุนในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อความซับซ้อนในการหาผลเฉลย สำหรับขั้นตอนการแจกแจงตารางเดินเรือที่เป็นไปได้จะมีลักษณะเป็นการสร้างสดมภ์ล่วงหน้าก่อนการหาผลเฉลย

ในส่วนของการควบรวมกระบวนการวางแผนอื่นๆเข้ามาพิจารณาในขั้นตอนเดียวกันนั้น Christiansen and Nygreen (1998) และ Fox and Herden (1999) ได้เสนองานวิจัยที่เป็นการต่อยอดปัญหาการจัดตารางเดินเรือพื้นฐาน โดยพิจารณาปัญหาการจัดการสินค้าคงคลัง (Inventory Control) เข้ามารวมไว้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้า ซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนให้ครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือ

Cordeau et al. (2007) ทำการวิจัยการจัดสรรพื้นที่ให้บริการบริเวณท่าเรือ Gioia Tauro ในประเทศอิตาลี (Service Allocation Problem) ซึ่งท่าเรือหลักในการขนส่งสินค้าประเภทตู้คอนเทนเนอร์บริเวณทะเลเมดิเตอร์เรเนียน ในการวางแผนการจัดสรรพื้นที่การให้บริการบริเวณท่าเรือจะมีลักษณะเป็นการวางแผนในเชิงปฏิบัติการ (Tactical Planning) เพราะข้อมูลในการเข้าเทียบท่าเรือจะถูกำหนดไว้ล่วงหน้า โดยขั้นตอนการแก้ปัญหาจะใช้วิธีการฮิวริสติกในการหาผลเฉลยสำหรับ

ปัญหาขนาดเล็กและใช้วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ เนื่องจากวิธีฮิวรีสติกไม่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีได้

Lee and Chen (2009) ได้ทำการวิจัยเพื่อแก้ปัญหาในการตารางการเข้าใช้พื้นที่จอดเรือ ซึ่งตารางการเข้าใช้ดังกล่าวจะระบุหรือการครอบครองพื้นที่จอดเรือในช่วงเวลาต่างที่ทำการพิจารณาโดยข้อมูลการเข้าเทียบท่าของเรือจะทราบล่วงหน้าอยู่ก่อนแล้ว ในส่วนของแบบจำลองในการแก้ปัญหาจะมีลักษณะเป็นปัญหาการแบ่งเซต โดยทำการแจกแจงรูปแบบการเข้าจอดของเรือทั้งหมดที่เป็นไปได้เพื่อใช้เป็นผลเฉลยที่เป็นไปได้สำหรับแบบจำลองการแบ่งเซต และในขั้นตอนการหาผลเฉลยจะใช้วิธีหาผลเฉลยแบบฮิวรีสติกในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

งานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความคับคั่งบริเวณท่าเรือส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการจัดสรรพื้นที่และลำดับในการเข้าใช้บริการของการขนส่งสินค้าที่มีลักษณะเป็นตู้คอนเทนเนอร์ และขั้นตอนการวิเคราะห์จะกระทำหลังจากกระบวนการวางแผนจัดตารางเดินเรือและไม่พบว่ามีงานวิจัยใดที่ทำการพิจารณาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าร่วมกับความคับคั่งบริเวณท่าเรือ เนื่องจากโดยทั่วไปท่าเรือจะรองรับการเทียบท่าจากผู้ประกอบการเดินเรือหลายรายทำให้กระบวนการวางแผนการใช้ท่าเรือถูกแยกออกจากกระบวนการวางแผนตารางเดินเรือ

2.2.3 เทคนิคการแตกกิ่งและการตัดและการกำหนดราคา (Branch and Cut and Price, BCP)

เทคนิคการแตกกิ่งและการตัดและการกำหนดราคา (Branch and Cut and Price, BCP) เป็นเทคนิคในการแก้ปัญหาที่มีแนวคิดมาจากการใช้เทคนิคการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตร่วมกับการเทคนิคแก้ปัญหาแบบตัดระนาบ (Cutting Plane Method) และการแก้ปัญหาแบบกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบผ่อนคลายกำหนดการเชิงเส้นที่เกิดขึ้นในทุกๆ ขั้นตอนการแตกกิ่งซึ่งจะส่งผลถึงภาพรวมการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

วิธีการตัดระนาบเป็นเทคนิคในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม โดยอาศัยการแก้ปัญหาแบบผ่อนคลายกำหนดการเชิงเส้นร่วมกับการเพิ่มสมการเงื่อนไขเพื่อให้ผลเฉลยที่ได้เป็นจำนวนเต็ม ซึ่งข้อดีของวิธีดังกล่าวคือการคงไว้ซึ่งการหาผลเฉลยแบบกำหนดการเชิงเส้นที่สามารถหาผลเฉลยได้ง่ายและใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการหาผลเฉลยของปัญหากำหนดการเชิง

จำนวนเต็ม แต่โดยปกติแล้ววิธีการการตัดระนาบไม่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเชิงจำนวนเต็มขนาดใหญ่เนื่องจากข้อจำกัดในการกำหนดสมการเงื่อนไขเพิ่มเติมให้กับปัญหา แต่กระบวนการดังกล่าวจะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตเพื่อให้การแตกกิ่งแต่ละครั้งได้ผลเฉลยที่เป็นจำนวนเต็มส่งผลให้จำนวนรอบและเวลาในการแก้ปัญหามีค่าลดลง

เทคนิคการหาผลเฉลยแบบกำเนิดสดมภ์เป็นเทคนิคที่ใช้การเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยสำหรับปัญหาที่มีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก โดยจะทำการพิจารณาเฉพาะตัวแปรที่จำเป็นต่อการหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหาเท่านั้น โดยอาศัยการคำนวณราคาเงา (Shadow Price) และต้นทุนลด (Reduced Cost) ในการระบุว่าตัวแปรตัดสินใจใดที่จำเป็นต่อการพิจารณา ซึ่งเทคนิคการหาผลเฉลยแบบกำเนิดสดมภ์จะถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มแบบผ่อนคลายกำหนดการเชิงเส้นที่เกิดขึ้นในทุกๆ ขั้นตอนการแตกกิ่งเช่นเดียวกันกับวิธีตัดระนาบที่ได้กล่าวถึงข้างต้น

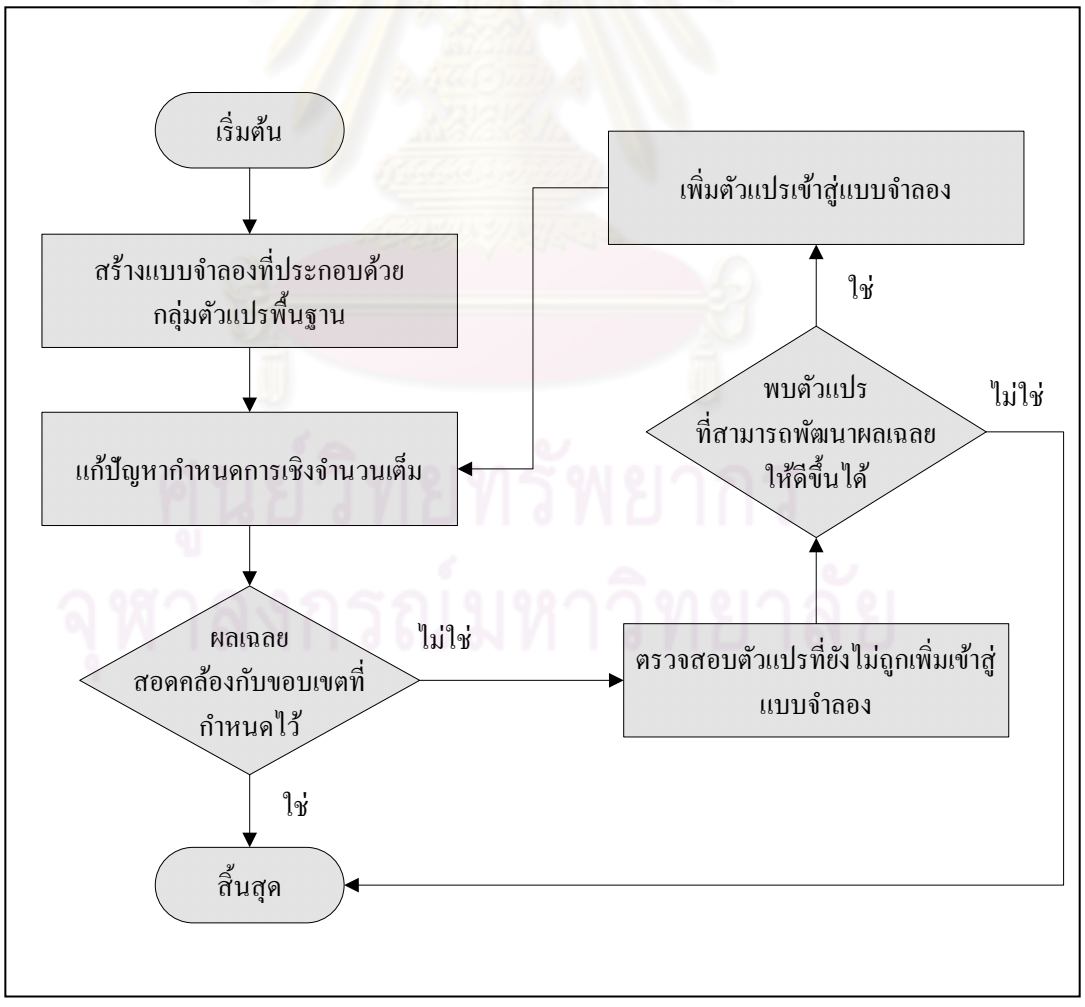
ความซับซ้อนที่เกิดขึ้นจากประยุกต์ใช้วิธีการตัดระนาบร่วมกับเทคนิคการหาผลเฉลยแบบกำเนิดสดมภ์คือการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสมการเงื่อนไขที่อาจเปลี่ยนแปลงไปในทุกๆ ครั้งที่มีการแตกกิ่ง ส่งผลให้โครงสร้างการคำนวณราคาเงามีการเปลี่ยนแปลงและทำให้การคำนวณต้นทุนลดมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น Miller (2010)

2.2.4 เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์สำหรับปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มขนาดใหญ่

Branhart et al. (1998) ได้กล่าวถึงวิธีการหาผลเฉลยแบบกำเนิดสดมภ์ว่าเป็นวิธีการที่ช่วยลดระยะเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหารูปแบบกำหนดการเชิงเส้นขนาดใหญ่ (Large-Scale Linear Programming) ซึ่งมีจำนวนตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก แนวคิดของวิธีการนี้จะมีแนวคิดในการลดปัญหาขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง และทำการแก้ปัญหาขนาดเล็กหลายต่อหลายครั้งเพื่อให้ผลเฉลยที่ได้สอดคล้องกับขอบเขตที่กำหนดไว้

โดยการแก้ปัญหาการแบ่งเซตแบบหาผลเฉลยแม่นตรงด้วยวิธีการหาผลเฉลยแบบกำเนิดสดมภ์ สำหรับปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) จะเริ่มจากการกำหนดกลุ่ม

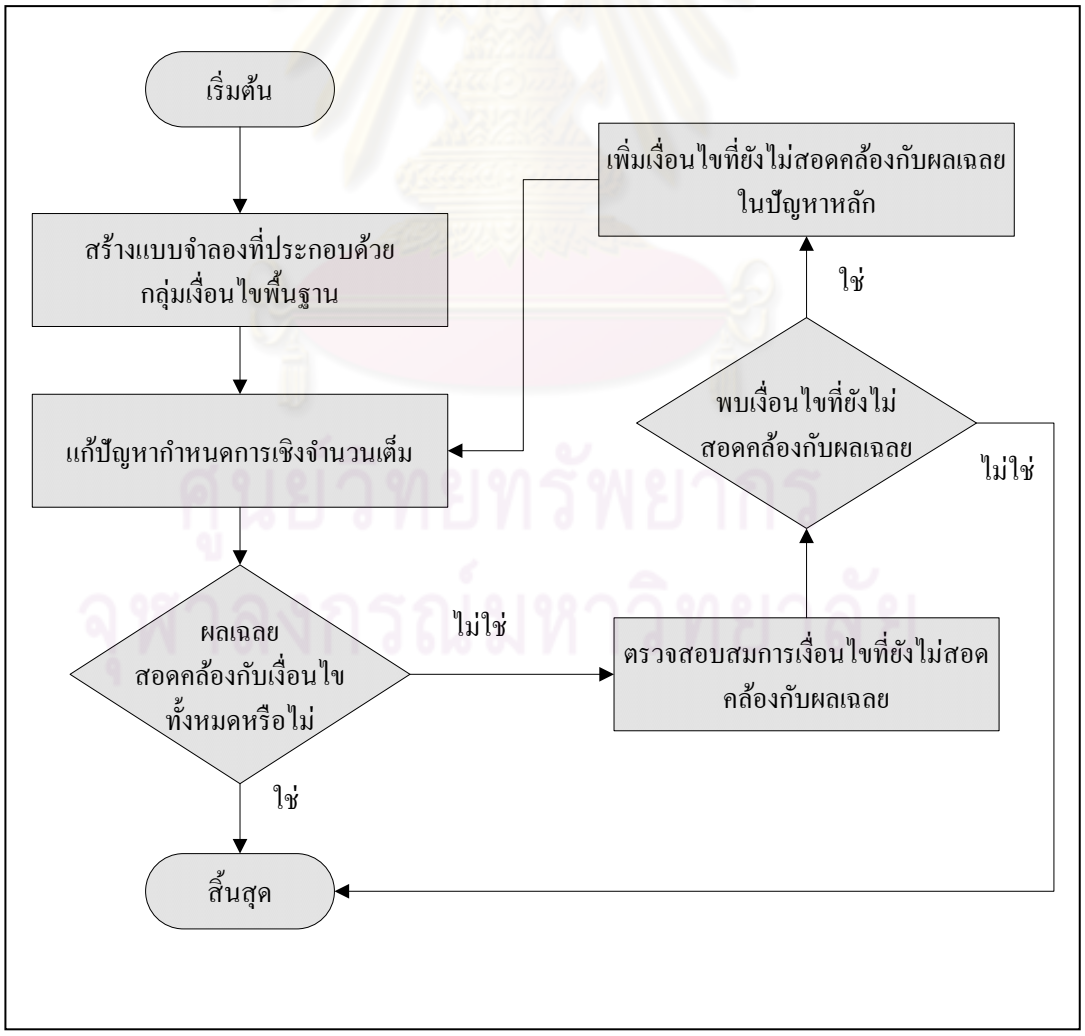
ตัวแปรพื้นฐานที่คาดว่ามีความสำคัญต่อการหาผลเฉลย และทำการแก้ปัญหากำหนดจากเชิงจำนวนเต็มดังกล่าวเพื่อหาค่าผลเฉลยของปัญหาภายใต้กลุ่มตัวแปรพื้นฐานข้างต้น จากนั้นจึงตรวจสอบค่าผลเฉลยที่ได้ว่ามีความแตกต่างจากขอบเขตที่กำหนดไว้โดยการแก้ปัญหาด้วยวิธีการผ่อนคลายกำหนดการเชิงเส้นหรือไม่ ซึ่งหากผลเฉลยที่ได้ข้างต้นมีความสอดคล้องกับขอบเขตที่กำหนดไว้ กระบวนการแก้ปัญหาจะสิ้นสุดลง แต่หากว่าผลเฉลยที่ได้ไม่สอดคล้องกับขอบเขตที่กำหนดไว้ การแก้ปัญหาจะเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบตัวแปรอื่นๆ ที่อยู่นอกเหนือจากกลุ่มตัวแปรพื้นฐาน เพื่อค้นหาตัวแปรที่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้ จากนั้นจึงทำการเพิ่มตัวแปรดังกล่าวเข้าสู่แบบจำลอง แล้วทำการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มอีกครั้งภายใต้กลุ่มตัวแปรตัดสินใจใหม่ ดำเนินการเช่นนี้ไปจนกระทั้งผลเฉลยที่ได้มีความสอดคล้องกับขอบเขตที่กำหนดไว้หรือไม่มีตัวแปรใดๆ ที่สามารถพัฒนาผลเฉลยได้อีกและยังไม่ถูกเพิ่มเข้าไปในแบบจำลอง โดยแผนผังแสดงการทำงานของงานวิจัยดังกล่าวถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนของเทคนิคการกำเนิดสดมภ์ ในงานวิจัยของ Branhart et al. [26]

2.2.5 เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดแถวสำหรับปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มขนาดใหญ่

Detienne et al. (2009) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดตารางทำงานของพนักงานซึ่งแบบจำลองที่ใช้ในการแก้ปัญหามีจำนวนสมการเงื่อนไขจำนวนมาก งานวิจัยดังกล่าวจึงใช้เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีกำเนิดแถวในการปัญหา โดยขั้นตอนของการแก้ปัญหาจะเริ่มต้นจากการกำหนดปัญหาที่ประกอบด้วยกลุ่มสมการเงื่อนไขพื้นฐาน จากนั้นจึงทำการแก้ปัญหาดังกล่าวแล้วพิจารณาผลเฉลยที่ได้ว่ามีการฝ่าฝืนเงื่อนไขอื่นๆ ที่ยังไม่ถูกระบุลงในปัญหาหรือไม่ หากมีการฝ่าฝืนเกิดขึ้นจะทำการเพิ่มเงื่อนไขดังกล่าวเข้าสู่แบบจำลอง จากนั้นจึงทำการแก้ปัญหาอีกครั้งทำเช่นนี้จนกระทั่งไม่มีสมการเงื่อนไขใดถูกฝ่าฝืนหรือสมการเงื่อนไขทั้งหมดถูกบรรจุลงในปัญหา โดยแผนผังแสดงการทำงานของงานวิจัยดังกล่าวถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.2 สรุปขั้นตอนของเทคนิคการกำเนิดแถวในงานวิจัยของ Detienne et al. (2009)

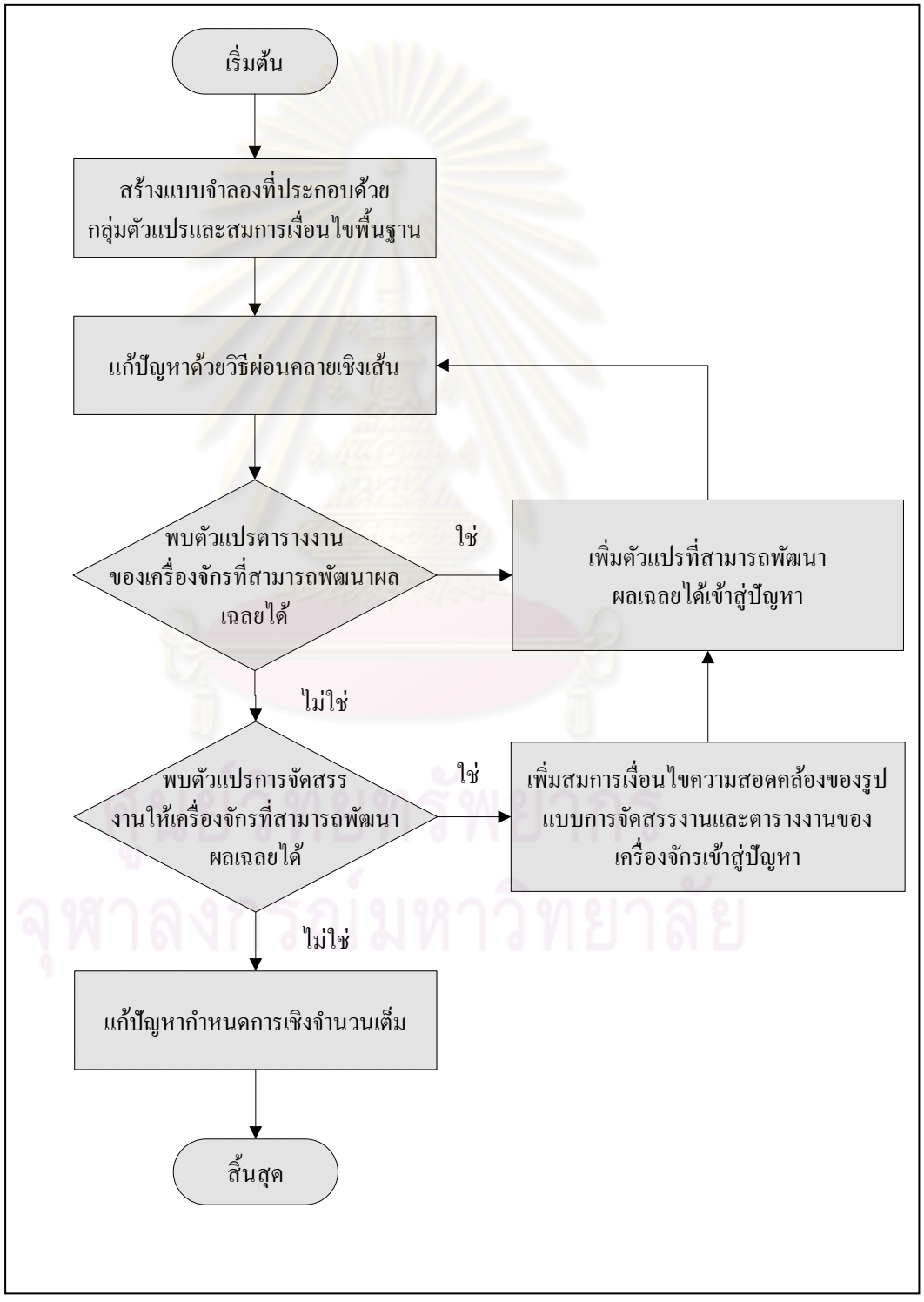
โดยทั่วไปแล้วเทคนิคการหาผลเฉลยแบบกำเนิดแถวไม่มีความจำเป็นต่อการแก้ปัญหาการแบ่งเซตแบบปกติเพราะสมการเงื่อนไขของปัญหาจะมีปริมาณไม่มาก แต่ในการแก้ปัญหาแบ่งเซตแบบดัดแปลงที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีสมการเงื่อนไขจำนวนมากส่งผลให้การประยุกต์ใช้การหาผลเฉลยแบบกำเนิดแถวสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้จะทำการหาผลเฉลยของปัญหาโดยอาศัยซอฟแวร์ออฟติไมเซชั่นเป็นเครื่องมือหลัก ซึ่งการเข้าถึงขั้นตอนการแตกกิ่งของซอฟแวร์ออฟติไมเซชั่นมีความซับซ้อนมากและมีความเกี่ยวข้องกับการพัฒนาโปรแกรมขั้นสูงซึ่งอยู่นอกเหนือจากขอบเขตของงานวิจัย ดังนั้นงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้วิธีการหาผลเฉลยแบบกำเนิดสดมภ์และวิธีการกำเนิดแถวภายนอกขั้นตอนการแตกกิ่งในลักษณะเดียวกับที่กล่าวถึงไว้ในหัวข้อ 2.5.3 และ 2.5.4

2.2.6 เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดแถวและกำเนิดสดมภ์สำหรับปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็มขนาดใหญ่

Wang and Tang (2010) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักในโรงงาน โดยงานวิจัยดังกล่าวจะทำการบูรณาการขั้นตอนการวางแผนจัดสรรกลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิตให้แก่เครื่องจักร รวมเข้ากับการวางแผนกำหนดตารางการทำงานของเครื่องจักร โดยแนวคิดในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการแก้ปัญหาแบ่งเซตแบบสองชั้น (Two-Stage Set Partitioning Problem) ซึ่งมีปริมาณของตัวแปรและสมการเงื่อนไขเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเมื่อเทียบกับขนาดของปัญหา ตัวแปรตัดสินใจของปัญหาดังกล่าวจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ ตัวแปรตัดสินใจในการเลือกจัดสรรกลุ่มสินค้าให้เครื่องจักรแต่ละเครื่องที่เป็นไปได้ทั้งหมด และตัวแปรตัดสินใจในการเลือกใช้ตารางการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเครื่องจักรทุกๆเครื่อง โดยสมการวัตถุประสงค์ของปัญหาคือการเลือกรูปแบบการจัดสรรกลุ่มสินค้าและตารางงานเพื่อให้ต้นทุนดำเนินการมีค่าน้อยที่สุด โดยมีสมการเงื่อนไขควบคุมให้การเลือกตัวแปรทั้งสองกลุ่มให้มีความสอดคล้องกัน นอกจากนี้ปัญหาดังกล่าวมีกลุ่มตัวแปรตัดสินใจสองกลุ่มที่มีความสัมพันธ์กันอยู่ กระบวนการกำเนิดสดมภ์จึงถูกแบ่งเป็นสองระดับ โดยมีกระบวนการกำเนิดแถวคอยควบคุมทิศทางของกระบวนการกำเนิดสดมภ์ทั้งสองระดับมีความสอดคล้องกัน

ผลสรุปจากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถว สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อหาผลเฉลยของปัญหาที่จำนวนตัวแปรและจำนวนสามารถเงื่อนไขจำนวนมาก โดยค่าคำตอบของสมการวัตถุประสงค์ที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกับค่าคำตอบที่ดีที่สุด โดยใช้เวลาในการหาผลเฉลยที่เหมาะสม



รูปที่ 2.3 สรุปขั้นตอนของเทคนิคการกำเนิดแถวในงานวิจัยของ Wang and Tang (2010)

2.3 สรุปผลการทบทวนงานวิจัยในอดีตและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนงานวิจัยในอดีตพบว่าการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือมีแนวทางในการแก้ปัญหาใน 2 ลักษณะคือการแก้ปัญหาด้วยการหาผลเฉลยแม่นตรงและการหาผลเฉลยด้วยวิธีฮิวรีสติก โดยการหาผลเฉลยแม่นตรงจะใช้แบบจำลองการแก้ปัญหาแบ่งเซตเป็นพื้นฐานในการแก้ปัญหาโดยมีการเพิ่มเติมสมการเงื่อนไขให้กับแบบจำลองการแบ่งเซตและการสร้างเซตคำตอบที่เป็นไปได้ให้สอดคล้องกับลักษณะของปัญหาที่ทำการวิเคราะห์ นอกจากนี้ในกระบวนการแก้ปัญหาจะอาศัยวิธีการแก้ปัญหาแบบกำเนิดสดมภ์ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา ทั้งในลักษณะการสร้างสดมภ์ที่เป็นไปได้ล่วงหน้าและการสร้างสดมภ์ขณะหาผลเฉลย สำหรับการประยุกต์ใช้วิธีฮิวรีสติกจะ 2 ลักษณะคือนำมาใช้หาผลเฉลยของแบบจำลองแก้ปัญหาการแบ่งเซตและใช้ในการสร้างตารางเดินเรือโดยตรง ซึ่งมีพื้นฐานการแก้ปัญหาในลักษณะเดียวกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem) โดยมีการสร้างผลเฉลยเบื้องต้นขึ้นก่อนแล้วใช้การดำเนินการฮิวรีสติกในการพัฒนาผลเฉลยให้ดีขึ้น ในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความคับคั่งบริเวณท่าเรือจะมุ่งเน้นในการจัดสรรพื้นที่ในการให้บริการบริเวณท่าเรือและลำดับในการเข้าใช้ท่าเรือของเรือขนส่งสินค้าประเภทตู้คอนเทนเนอร์เป็นส่วนใหญ่ และขั้นตอนการวิเคราะห์ความคับคั่งบริเวณท่าเรือจะกระทำหลังจากกระบวนการวางแผนจัดตารางเดินเรือเสร็จสิ้น และจากการทบทวนงานวิจัยในอดีต ไม่พบว่ามีงานวิจัยใดที่ทำการพิจารณาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าร่วมกับความคับคั่งบริเวณท่าเรือ เนื่องจากโดยทั่วไปท่าเรือจะรองรับการเทียบท่าจากผู้ประกอบการเดินเรือหลายรายทำให้กระบวนการวางแผนการใช้ท่าเรือถูกแยกออกจากกระบวนการวางแผนตารางเดินเรือ แต่จากการเก็บข้อมูลการดำเนินการจริงของบริษัทตัวอย่างพบว่าข้อมูลในส่วนนี้สามารถประมาณการจากข้อมูลในอดีตหรือทราบค่าประมาณจากการขอข้อมูลจากท่าเรือที่จะเข้าเทียบท่าได้

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการแก้ปัญหาด้วยการหาผลเฉลยแบบแม่นตรงโดยพิจารณาเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือเป็นส่วนหนึ่งของสมการเงื่อนไขของแบบจำลองแก้ปัญหาการแบ่งเซต โดยขั้นตอนการแก้ปัญหาจะอาศัยการเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์แบบสร้างสดมภ์ที่เป็นไปได้ล่วงหน้า เนื่องจากมีความซับซ้อนน้อยกว่า สามารถดำเนินการขนานกันโดยใช้คอมพิวเตอร์หลายเครื่องลดเวลาในการดำเนินการ อีกทั้งวิธีการกำเนิดสดมภ์แบบดังกล่าวยังสะดวก

ต่อการนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับงานวิจัยในอนาคต นอกจากนี้ยังประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดแถวเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิให้การหาผลเฉลยในส่วนของการเพิ่มขึ้นของสมการเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ ซึ่งในอดีตยังไม่พบว่ามีงานวิจัยที่ใช้เทคนิคทั้ง 2 วิธีนี้ร่วมกันในการแก้ปัญหาจัดตารางเดินเรือด้วยแบบจำลองการแบ่งเซต เนื่องจากโดยปกติแล้วแบบจำลองแบ่งเซตจะมีจำนวนสมการเงื่อนไขน้อยซึ่งไม่เหมาะสมที่จะนำมาหาผลเฉลยโดยใช้เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีกำเนิดแถว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการพัฒนาแบบจำลองและขั้นตอนการปัญหาการจัดตารางเดินเรือสำหรับเรือขนส่งสินค้าเทกองแบบเต็มลำ ภายใต้เงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ โดยตารางเดินเรือที่ได้จะเป็นตารางเดินเรือที่ดีที่สุดภายใต้วัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ รวมทั้งมีความสอดคล้องกับเงื่อนไขในการดำเนินงานจริง ซึ่งตารางเดินเรือที่ได้จะระบุถึงเส้นทางในการเดินเรือและเวลาในการเดินทางเข้าและออกจากท่าเรือแต่ละแห่ง โดยข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองจะประกอบด้วยข้อมูลสองส่วนคือ ข้อมูลที่จำลองขึ้นมาจากพื้นฐานการดำเนินงานจริงและข้อมูลที่ได้จากกรณีศึกษาของบริษัทตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่เป็นกรณีศึกษาจะสามารถนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในการดำเนินงานจริงเพื่อประเมินประสิทธิภาพของการแก้ปัญหา โดยขั้นตอนการวิจัยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดของรูปแบบการดำเนินงานและแนวคิดในการตัดสินใจเกี่ยวกับการวางแผนจัดตารางเดินเรือ
2. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นของการดำเนินงานในปัจจุบัน รวมทั้งแนวทางการแก้ไขในเบื้องต้น
    - ปัญหาการเดินเรือเที่ยวเปล่าเป็นระยะทางไกลหลังจากทำการขนส่งสินค้า
    - ปัญหาความไม่พอเพียงของเรือขนส่งสินค้า
    - ปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือที่ส่งผลกระทบทั้งในส่วนของต้นทุนดำเนินการและความล่าช้าของการขนส่งสินค้า
3. ศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องเพื่อวิเคราะห์หาแนวทางการแก้ปัญหาดังที่กล่าวในบทที่ 1 และ บทที่ 2
4. เก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นในการทำวิจัย
    - เส้นทางเดินเรือที่ให้บริการอยู่ในปัจจุบัน
    - ข้อจำกัดในแต่ละด้านของเรือขนส่งสินค้า

- ข้อจำกัดในแต่ละด้านของท่าเรือแต่ละแห่ง
- ข้อมูลเกี่ยวกับจุดอ่อนและจุดแข็งของการเดินเรือไปยังท่าเรือปลายทางต่างๆ
- ข้อมูลในส่วนของการพิจารณาต้นทุนการดำเนินการขนส่งสินค้า

5. พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าที่สอดคล้องกับเงื่อนไขการดำเนินงานจริง

6. การพัฒนาวิธีการแจกแจงตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเรือทุกๆ ลำ โดยตารางเดินเรือที่เป็นไปได้แต่ละแบบจะเป็นผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Candidate Solution) ของเรือแต่ละลำสำหรับนำไปใช้ร่วมกับแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุดของปัญหา

7. การคำนวณต้นทุนดำเนินการสำหรับตารางเดินเรือ รวมทั้งการครอบครองพื้นที่บริเวณท่าเรือในแต่ละช่วงเวลาสำหรับตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมดแต่ละแบบ ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้จะนำไปใช้ร่วมกับแบบจำลองข้างต้นในการหาผลเฉลยที่ดีที่สุด

8. การหาผลเฉลยจะเป็นการหาผลเฉลยแบบแม่นตรง (Exact Solution) ด้วยวิธีการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) ด้วยซอฟแวร์ออฟติไมเซชั่น และใช้เทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์ (Column Generation) ร่วมกับเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดแถว (Row Generation)

9. การพัฒนาเครื่องมือที่ใช้ในการหาหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้ซอฟท์แวร์ ILOG CPLEX Version 12.1 ซึ่งเป็นซอฟแวร์ออฟติไมเซชั่นเชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพสูงและสามารถแก้ปัญหาขนาดใหญ่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะใช้งานร่วมกับการพัฒนาซอฟแวร์คอมพิวเตอร์ภาษา C# ในลักษณะของไลเบอรี่เรียกใช้ (Callable Library) โดยมีโปรแกรม Microsoft Visual C# 2008 Express เป็นเครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรม

10. การทดสอบแบบจำลองในงานวิจัยนี้ จะแบ่งการทดสอบแบบจำลองออกเป็น 2 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- การทดสอบแบบจำลองกับกรณีศึกษาแบบต่างๆ ซึ่งสร้างขึ้นจากพื้นฐานการดำเนินการจริง เพื่อทำการศึกษาลักษณะของแบบจำลองภายใต้ปัญหาที่มีลักษณะแตกต่างกัน
- การทดสอบแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลจริง ซึ่งในส่วนนี้จะอาศัยข้อมูลคำสั่งขนส่งสินค้าจริงในอดีตของบริษัทตัวอย่างมาเป็นข้อมูลทดสอบสำหรับแบบจำลองที่ 1 และแบบจำลองที่ 2 โดยผลเฉลยที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลการดำเนินการจริงที่เกิดขึ้น

11. การวิเคราะห์ผลการทดสอบและการประยุกต์ใช้แบบจำลอง

12. สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะการพัฒนางานวิจัยในอนาคต และเผยแพร่ผลงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และวิธีการแก้ปัญหา

การพัฒนาแบบจำลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางเดินเรือด้วยวิธีการแก้ปัญหาแบ่งเซตจะประกอบด้วยกระบวนการแก้ปัญหา 2 ส่วนคือ การสร้างรูปแบบของผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Candidate Solution) และส่วนของการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้แก้ปัญหาแบ่งเซต (Set Partitioning Problem) ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการสร้างรูปแบบตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเรือทุกๆ ลำภายใต้เงื่อนไขการดำเนินงานจริง เพื่อใช้เป็นผลเฉลยที่เป็นไปได้สำหรับแบบจำลอง และรายละเอียดของการสร้างแบบจำลองสำหรับแก้ปัญหาแบ่งเซต รวมทั้งการรายละเอียดอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ มีโครงสร้างเป็นแบบจำลองการแก้ปัญหาการแบ่งเซต (Set Partitioning Model) โดยได้ทำการเพิ่มเติมสมการเงื่อนไขอื่นๆ ที่จำเป็น เพื่อให้แบบจำลองมีความสอดคล้องกับสภาพการดำเนินงานจริง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

<u>สมมติฐาน</u>

1. คำสั่งขนส่งสินค้าแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ คำสั่งขนส่งสินค้าที่ต้องให้บริการ และคำสั่งขนส่งสินค้าที่เลือกปฏิเสธได้
2. รายได้ของการขนส่งสินค้าแต่ละคำสั่งขนส่งสินค้า มีค่าคงที่และถูกกำหนดไว้ก่อนหน้า
3. เวลาที่ใช้ในการเดินทางขึ้นกับท่าเรือต้นทางและปลายทางเท่านั้น ไม่ขึ้นกับเรือและสินค้าที่ทำการขนส่ง
4. เวลาในการขนถ่ายสินค้าจะขึ้นกับลักษณะสินค้าเท่านั้น ไม่ขึ้นกับเรือและท่าเรือที่ทำการขนส่ง

5. ต้นทุนในการเทียบท่าเพื่อรอคำสั่งขนส่งสินค้าจะประกอบด้วยต้นทุนด้านพลังงาน ต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเข้าเทียบท่าเรือ และต้นทุนความเสี่ยงในการจอดรอที่ท่าเรือภายนอก ซึ่งต้นทุนด้านพลังงานจะขึ้นกับเรือขนส่งสินค้า ต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเข้าเทียบท่าเรือจะขึ้นกับท่าเรือและเรือที่ทำการเทียบท่า ต้นทุนด้านความเสี่ยงจะขึ้นกับท่าเรือที่จอดรอเท่านั้นไม่ขึ้นกับเรือและสินค้าบนเรือ
6. การจอดรอที่ท่าเรือจะต้องอยู่ภายใต้ระยะเวลารอคอยสูงสุดซึ่งขึ้นกับท่าเรือเท่านั้น ไม่ขึ้นกับเรือและสินค้าบนเรือ
7. ท่าเรือกรุงเทพไม่มีความจุด้านความสามารถในการให้บริการของท่าเรือ รวมทั้งไม่มีข้อจำกัดเกี่ยวกับระยะเวลารอคอยสูงสุด

<u>นิยามของปัญหา</u>

ปัญหาการจัดตารางเดินเรือเพื่อทำการขนส่งสินค้า มีจุดประสงค์เพื่อให้ได้ผลกำไรสูงสุด โดยคำสั่งขนส่งสินค้าจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ คำสั่งขนส่งสินค้าที่ต้องให้บริการ และคำสั่งขนส่งสินค้าที่สามารถปฏิเสธได้ ภายใต้เงื่อนไขในการดำเนินงานจริง ดังนี้

- เงื่อนไขด้านความจุของเรือขนส่งสินค้าทั้งในส่วนน้ำหนักและปริมาตร
- เงื่อนไขความสามารถในการเดินเรือข้ามประเทศ
- เงื่อนไขปริมาณการขนส่งสินค้าสูงสุดในช่วงเวลาที่พิจารณา
- เงื่อนไขความสอดคล้องของเวลาในการเดินเรือ และกรอบเวลาในการรับและส่งสินค้า รวมทั้งระยะเวลารอคอยสูงสุดที่ยอมได้
- เงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือที่ให้บริการเฉพาะเรือขนส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่างเท่านั้น

<u>แบบจำลองคณิตศาสตร์</u>

Max
$$z = \sum_{k \in K} \sum_{r \in R^k} C_t^k x_r^k \tag{4.1}$$

Subject to
$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in R^k} \alpha_{sr}^k x_r^k = 1 \qquad \forall s \in S' \tag{4.2}$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in R^k} \alpha_{sr}^k x_r^k \le 1 \qquad \forall s \in S \tag{4.3}$$

$$\sum_{r \in R^k} x_r^k \le 1 \qquad \forall k \in K \qquad (4.4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{r \in R^k} \delta_{rt}^{kp} x_r^k + o_t^p \le M_t^p \qquad \forall p \in P, \forall t \in T \qquad (4.5)$$

$$x_r^k \in \{0,1\} \qquad \forall k \in K, \forall r \in R^k \qquad (4.6)$$

เซต

P คือเซตของท่าเรือทั้งหมด โดยมี p เป็นดัชนี

S คือเซตของสินค้าขาจรที่สามารถปฏิเสธการขนส่งได้ โดยมี s เป็นดัชนี

S' คือเซตของสินค้าที่ไม่สามารถปฏิเสธการขนส่งได้ โดยมี s' เป็นดัชนี

K คือเซตของเรือขนส่งสินค้า โดยมี k เป็นดัชนี

R^k คือเซตของตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเรือ k โดยมี r เป็นดัชนี

T คือเซตของช่วงเวลาตลอดคาบการวางแผนที่ถูกแบ่งออกเป็นช่วงเวลาย่อยๆ ซึ่งขึ้นกับตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา โดยเซต T จะมี t เป็นดัชนี

พารามิเตอร์

h คือตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของช่วงเวลา (Time Discretization) ถูกนิยามโดยจำนวนชั่วโมงที่จะถูกพิจารณารวมเป็นหน่วยเดียวกัน เช่น h = 6 ชั่วโมง หมายถึงการพิจารณาแบ่งช่วงเวลาใน 1 วันออกเป็น 4 ช่วง

o_t^p คือปริมาณเรือคาดการณ์ของผู้ดำเนินการอื่นที่จะเข้าเทียบท่าเรือ p ในช่วงเวลา t

M_t^p คือปริมาณเรือเทียบท่าสูงสุดที่ท่าเรือ p สามารถให้บริการได้ในช่วงเวลา t

α_{sr}^k มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อสินค้า s ถูกให้บริการโดยตารางเดินเรือ r ของเรือ k;
มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น

δ_{rt}^{kp} มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อตารางเดินเรือ r ของเรือ k ทำการเทียบท่าเรือ p ที่ช่วงเวลา t;
มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น

c_r^k คือต้นทุนดำเนินการจากการเดินเรือ k ด้วยตารางเดินเรือ r

v_s คือรายได้จากการให้บริการขนส่งสินค้า s

C_r^k คือผลกำไรจากการเดินเรือ k ด้วยตารางเดินเรือ r

โดยที่ $C_r^k = \sum_{s \in S \cup S'} \alpha_{sr}^k v_s - c_r^k$

ตัวแปรตัดสินใจ

x_r^k มีค่าเท่า 1 เมื่อเรือ k เลือกเดินเรือด้วยตารางเดินเรือ r;
มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อเป็นกรณีอื่น

จากแบบจำลองดังกล่าว สมการวัตถุประสงค์ 4.1 แสดงถึงการหาค่าสูงสุดของผลกำไรจากการเดินเรือขนส่งสินค้า อสมการเงื่อนไข 4.2 คือเงื่อนไขที่กำหนดให้ต้องทำการขนส่งสินค้าสำหรับคำสั่งขนส่งสินค้าที่ไม่สามารถปฏิเสธการให้บริการได้ สมการเงื่อนไข 4.3 คือเงื่อนไขที่กำหนดให้เลือกส่งสินค้าได้ไม่เกิน 1 ครั้งสำหรับคำสั่งขนส่งสินค้าที่เลือกปฏิเสธการให้บริการได้ อสมการเงื่อนไข 4.4 คือเงื่อนไขที่กำหนดให้เรือแต่ละลำถูกกำหนดตารางเดินเรือได้สูงสุดเพียง 1 ตารางเดินเรือ อสมการเงื่อนไข 4.5 เป็นเงื่อนไขที่ระบุไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ช่วงเวลาใดๆ ที่พิจารณามีปริมาณเรือต้องการเทียบท่ามากกว่าความสามารถในการให้บริการของท่าเรือ และสมการเงื่อนไข 4.6 เป็นเงื่อนไขที่กำหนดให้ตัวแปรตัดสินใจ x_r^k เป็นตัวแปรแบบไบนารี

4.2 ข้อมูลที่ใช้ในการแก้ปัญหา

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะประกอบด้วยข้อมูล 4 ส่วนหลักคือ ข้อมูลคำสั่งขนส่งสินค้า ข้อมูลเรือขนส่งสินค้า ข้อมูลท่าเรือ และข้อมูลต้นทุนในการดำเนินการ โดยข้อมูลแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

- ข้อมูลคำสั่งขนส่งสินค้า
  - ท่าเรือต้นทาง
  - ท่าเรือปลายทาง
  - วันและเวลาในการรับสินค้า
  - วันและเวลาในการส่งสินค้า
  - ระยะเวลาในการขนถ่ายสินค้า
  - รายได้ที่ได้จากการขนส่งสินค้า
  - ปริมาณสินค้าที่ต้องจัดส่ง
  - สามารถปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าได้หรือไม่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- ข้อมูลเรือขนส่งสินค้า
    - ความจุของเรือขนส่งสินค้าทั้ง
    - เวลาที่เรือพร้อมให้บริการในตอนเริ่มต้น
    - ท่าเรือที่เรือพร้อมให้บริการในตอนเริ่มต้น
    - ความสามารถในการเดินเรือระหว่างประเทศ
    - อัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงชนิดต่างๆของเรือขนส่งสินค้า
    - ต้นทุนในการจอดรอที่ท่าเรือ
    - ต้นทุนในการขนถ่ายสินค้า
    - ต้นทุนในการดำเนินการอื่นๆ
- ข้อมูลท่าเรือ
    - ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือแต่ละแห่ง
    - ระยะเวลาจอดรอสูงสุดที่ยอมได้
    - ความสามารถในการให้บริการของท่าเรือและปริมาณของเรือขนส่งสินค้าที่ดำเนินการโดยผู้ประกอบการรายอื่น
- ข้อมูลต้นทุนเชื้อเพลง
    - ราคาน้ำมันดีเซล
    - ราคาน้ำมันเตา (Bunker Oil)
    - ราคาน้ำมันหล่อลื่น

4.3 วิธีการสร้างรูปแบบตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมด

จากแบบจำลองที่กล่าวถึงในหัวข้อ 4.3 ตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลองคือ ตัวแปร x_r^k ซึ่งหมายถึงการตัดสินใจเลือกใช้ตารางเดินเรือที่ k ของเรือลำที่ r หรือไม่ ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างรูปแบบตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเรือทุกๆ ลำ โดยงานวิจัยนี้จะใช้การวิธีการสร้างรูปแบบตารางเดินเรือด้วยวิธีจำลองสถานการณ์ โดยทำการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสถานการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากนั้นจึงเลือกเก็บรูปแบบตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ที่มีความสอดคล้องกับเงื่อนไขการดำเนินงานจริง ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

- เงื่อนไขด้านความจุของเรือขนส่งสินค้าทั้งในส่วนของน้ำหนักและปริมาตร
- เงื่อนไขความสามารถในการเดินเรือข้ามประเทศ
- เงื่อนไขปริมาณการขนส่งสินค้าสูงสุดในช่วงเวลาที่พิจารณาของเรือแต่ละลำ
- เงื่อนไขความสอดคล้องของเวลาในการเดินเรือและกรอบเวลาในการรับและส่งสินค้า รวมทั้งระยะเวลารอคอยสูงสุดที่ยอมได้

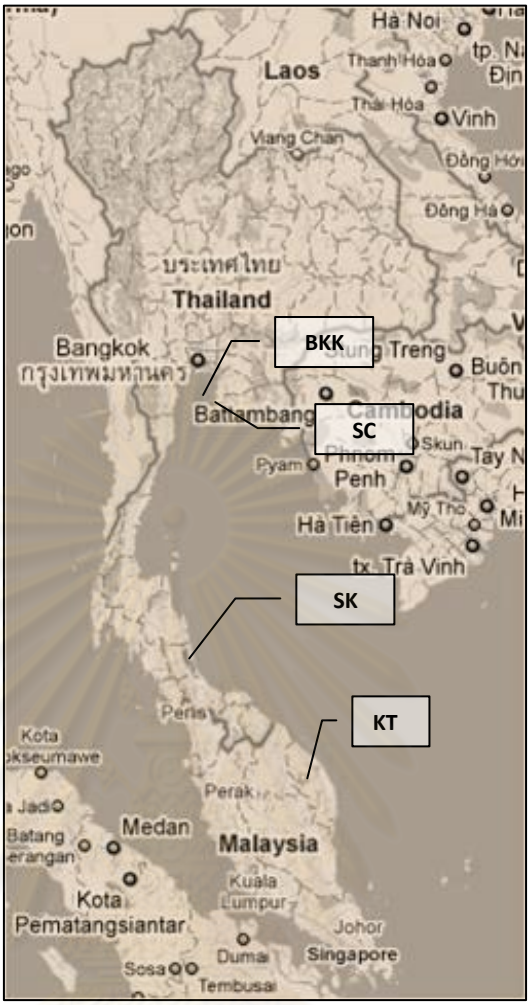
โดยแนวคิดในการพัฒนาโปรแกรมเพื่อสร้างรูปแบบตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมด ผู้วิจัยจะขออธิบายในลักษณะของการยกตัวอย่างและอธิบายรายละเอียดประกอบ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการติดตามและทำความเข้าใจ

4.3.1 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการการสร้างรูปแบบตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมด

พิจารณากรณีตัวอย่างโครงข่ายท่าเรือสำหรับขนส่งสินค้าที่ประกอบด้วยท่าเรือ 4 แห่ง อันประกอบด้วย ท่าเรือกรุงเทพ (BKK), ท่าเรือสีชัง (SC), ท่าเรือสงขลา (SK) และท่าเรือกวนตัน (KT) ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1 โดยระยะเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือจะขึ้นกับท่าเรือต้นทางและท่าเรือปลายทางเท่านั้นไม่ขึ้นกับสินค้าบนเรือและลักษณะของเรือ อีกทั้งระยะเวลาที่ใช้จะมีค่าเท่ากันทั้งขาขึ้นและขาล่อง ซึ่งรายละเอียดของระยะเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือและระยะเวลาจอดรอเทียบท่าสูงสุดที่ยอมได้จะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยระยะเวลาจอดรอเทียบท่าสูงสุดที่ยอมได้คือระยะเวลาที่เรือสามารถเทียบท่าเพื่อรอทำกิจกรรมที่ท่าเรือก่อนและหลังกรอบเวลาในการรับหรือส่งสินค้า ซึ่งท่าเรือกรุงเทพเป็นท่าเรือหลักของผู้ประกอบการจึงทำให้ไม่มีข้อจำกัดในด้านการจอดรอ

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือและระยะเวลาจอดรอเทียบท่าสูงสุดที่ยอมได้ของกรณีตัวอย่าง

ระยะเวลาในการเดินทาง (ชั่วโมง)	BKK	SC	SK	KT
BKK	0	48	72	240
SC	48	0	48	256
SK	72	48	0	148
KT	240	256	148	0
ระยะเวลารอคอยสูงสุด (ชั่วโมง)	∞	48	24	48



รูปที่ 4.1 โครงข่ายท่าเรือสำหรับขนส่งสินค้าของกรณีตัวอย่าง

ในส่วนของคุณสมบัติของเรือขนส่งสินค้า นอกเหนือจากคุณสมบัติทางกายภาพของเรือขนส่งสินค้าแล้ว สถานะเริ่มต้นของเรือขนส่งสินค้าก็เป็นข้อมูลที่จำเป็นในการวางแผนจัดตารางเดินเรือ เนื่องจากลักษณะการจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าแบบเช่าเหมาลำที่มีตารางเดินเรือซึ่งยืดหยุ่นและสามารถปรับปรุงได้ตลอดเวลา(Rolling Planning) ส่งผลให้เรือทุกๆลำอาจจะไม่อยู่ในสภาพพร้อมให้บริการได้ในตอนต้นของคาบการวางแผน ดังนั้นข้อมูลคุณสมบัติของเรือจะประกอบด้วย ความจุสินค้า (ตัน) ความสามารถในการเดินเรือออกนอกประเทศ เวลาที่เรือพร้อมดำเนินการ และท่าเรือที่พร้อมให้บริการ โดยข้อมูลคุณสมบัติสำหรับกรณีตัวอย่างจะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติของเรือขนส่งสินค้าในกรณีตัวอย่าง

หมายเลขเรือ	ความจุเรือ (ตัน)	สามารถเดินเรือออกนอกประเทศ	เรือพร้อมให้บริการที่ท่าเรือ	เรือพร้อมให้บริการภายใน (ชั่วโมง)
1	1,600	ได้	BKK	24
2	1,600	ได้	SK	24
3	2,000	ไม่ได้	SK	0

จากการศึกษาข้อมูลการดำเนินการจริง พบว่าความจุของเรือขนส่งสินค้าจะถูกจำกัดด้วยความจุในเชิงน้ำหนักมากกว่าเชิงปริมาตรของสินค้า อีกทั้งการวัดปริมาณสินค้าในการดำเนินการจริงจะพิจารณาเฉพาะน้ำหนักของสินค้าเท่านั้น ดังนั้นการพิจารณาความจุในเชิงปริมาตรจึงจะพิจารณาเฉพาะสินค้าบางประเภทที่มีปริมาตรมากๆ เมื่อเทียบกับน้ำหนัก เช่น กากถั่วและเมล็ดพืชบางชนิดเท่านั้น นอกจากนี้ ปริมาตรของสินค้าที่น้ำหนักเท่ากันแต่ทำการขนส่งในช่วงฤดูกาลที่แตกต่างกันก็จะมีปริมาตรไม่เท่ากันอีกด้วย ดังนั้น ข้อจำกัดในเชิงปริมาตรของเรือขนส่งสินค้าจะถูกระบุมาพร้อมกับคำสั่งขนส่งสินค้าว่าสินค้าใดไม่สามารถขนส่งได้ด้วยเรือลำใดบ้าง

ในส่วนของคำสั่งขนส่งสินค้าจะประกอบด้วยข้อมูลในสองส่วนคือ ข้อมูลในส่วนของลักษณะคำสั่งขนส่งสินค้าที่ประกอบด้วย น้ำหนักของสินค้า(ตัน) ลักษณะของสัญญาว่าจ้าง และหมายเลขเรือที่ไม่สามารถทำการขนส่งสินค้าได้ สำหรับข้อมูลในอีกส่วนคือข้อมูลเกี่ยวกับท่าเรือต้นทาง และท่าเรือปลายทางของคำสั่งขนส่งสินค้า กรอบเวลาในการรับและส่งสินค้า รวมทั้งเวลาในการขนสินค้าขึ้นและลงจากเรือ ดังที่แสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลลักษณะคำสั่งขนส่งสินค้าของกรณีตัวอย่าง

หมายเลขคำสั่งขนส่งสินค้า	น้ำหนักสินค้า (ตัน)	ลักษณะสัญญา	เรือที่ไม่สามารถขนส่งได้
1	1,000	ปฏิเสธไม่ได้	2,3
2	1,300	ปฏิเสธไม่ได้	-
3	1,000	ปฏิเสธได้	-
4	800	ปฏิเสธไม่ได้	-
5	2,000	ปฏิเสธได้	-

ตารางที่ 4.4 ข้อมูลลักษณะคำสั่งขนส่งสินค้าของกรณีตัวอย่าง (ต่อ)

หมายเลขคำสั่งขนส่งสินค้า	**ต้นทาง**	EP Date	LP Date	LT **(ชั่วโมง)**	**ปลายทาง**	ED Date	LD Date	UT **(ชั่วโมง)**
1	KT	8	10	24	SC	12	15	24
2	BKK	1	3	24	SK	6	7	24
3	SC	10	11	24	SK	13	15	24
4	BKK	18	20	24	SC	23	25	24
5	SC	15	17	24	SK	21	24	24

โดยที่ EP คือเวลาเร็วที่สุดที่สามารถรับสินค้าได้ที่ท่าเรือต้นทาง (Earliest Pickup Date)

LP คือเวลาช้าที่สุดที่สามารถรับสินค้าได้ที่ท่าเรือต้นทาง (Latest Pickup Date)

LT คือ เวลาที่ใช้ในการขนสินค้าขึ้นเรือที่ท่าเรือต้นทาง (Loading Time)

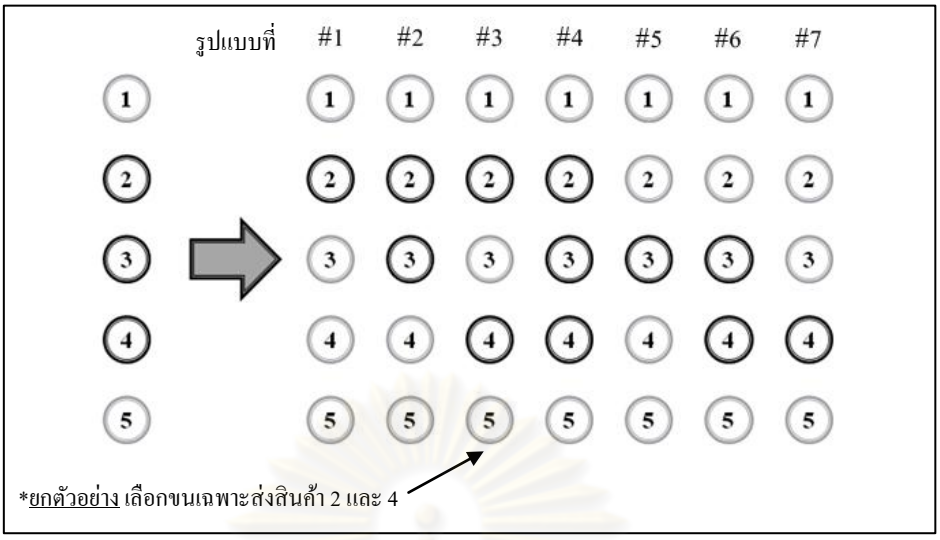
ED คือ เวลาเร็วที่สุดที่สามารถรับสินค้าได้ที่ท่าเรือปลายทาง (Earliest Delivery Date)

LD คือ เวลาช้าที่สุดที่สามารถรับสินค้าได้ที่ท่าเรือปลายทาง (Latest Delivery Date)

UT คือ เวลาที่ใช้ในการขนสินค้าลงจากเรือที่ท่าเรือปลายทาง (Unloading Time)

4.3.2 การแจกแจงรูปแบบของกลุ่มอุปสงค์ที่เลือกให้บริการของเรือขนส่งสินค้า

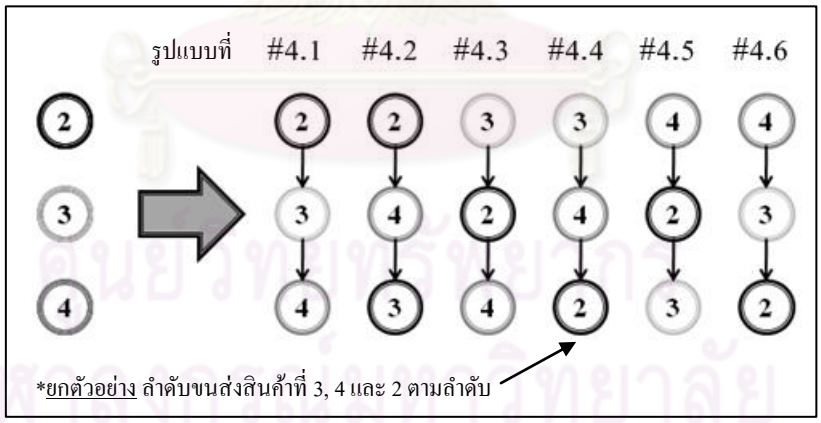
ขั้นตอนนี้เป็นการแจกแจงรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของกลุ่มอุปสงค์ในการขนส่งสินค้าที่เลือกให้บริการสำหรับเรือขนส่งสินค้าทุกๆลำ โดยจะทำการพิจารณาตัดอุปสงค์ในการขนส่งสินค้าที่เรือไม่สามารถให้บริการได้โดยพิจารณาจากความจุ ความสามารถในการเดินเรือออกนอกประเทศ และข้อจำกัดทางด้านเวลาที่เรือพร้อมให้บริการ จากกรณีตัวอย่างที่กล่าวถึงในหัวข้อ 4.3.1 หากทำการพิจารณาเรือหมายเลข 1 ซึ่งพร้อมให้บริการที่ท่าเรือ BKK ในวันที่ 1 จะพบว่าเรือลำดังกล่าวไม่สามารถทำการเดินเรือไปรับสินค้าตามคำสั่งขนส่งสินค้าหมายเลข 1 ได้ เนื่องจากไม่สามารถเดินเรือเพื่อไปรับสินค้าได้ทันกรอบเวลา นอกจากนี้ หากพิจารณาความจุของเรือขนส่งสินค้าจะพบว่าเรือหมายเลข 1 ไม่สามารถให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 5 ได้ ดังนั้นคำสั่งขนส่งสินค้าที่เรือหมายเลข 1 สามารถให้บริการได้คือ คำสั่งขนส่งสินค้าที่ 2, 3 และ 4 เท่านั้น โดยรูปแบบของการกลุ่มอุปสงค์ที่เลือกให้บริการของเรือหมายเลข 1 จะมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปแบบของการให้บริการอุปสงค์ในการขนส่งสินค้าของเรือหมายเลข 1 ของกรณีตัวอย่าง

4.3.3 การแจกแจงรูปแบบของลำดับการให้บริการในกลุ่มอุปสงค์

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการพิจารณาแจกแจงรูปแบบของลำดับการให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าที่เรือสามารถให้บริการได้ จากรูปที่ 4.2 เป็นการพิจารณารูปแบบกลุ่มอุปสงค์ที่เลือกให้บริการรูปแบบที่ 4 ซึ่งเป็นรูปแบบที่เรือหมายเลข 1 จะให้บริการขนส่งตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 2, 3 และ 4 โดยรูปแบบทั้งหมดของลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ลำดับการให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าทั้งหมดของรูปแบบกลุ่มอุปสงค์ที่เลือกให้บริการรูปแบบที่ 4 (จากรูปที่ 4.2) ของเรือลำที่ 1 จากกรณีตัวอย่าง

ขั้นตอนต่อมาจะเป็นการพิจารณาความเป็นไปได้ของลำดับการให้บริการทุกๆ รูปแบบว่ามีความสอดคล้องกับกรอบเวลาและเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือต้นทางและปลายทางหรือไม่ โดยจะพิจารณาทีละคู่คำสั่งขนส่งสินค้า ยกตัวอย่าง เช่น การพิจารณาลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 4.1 (จากรูปที่ 4.3) ซึ่งมีลำดับการขนส่งสินค้า 2-3-4 ดังนั้นคู่ของคำสั่งขนส่งสินค้าที่ต้องพิจารณาจะ

ประกอบด้วยคู่คำสั่งขนส่งสินค้า 2-3 และคู่คำสั่งขนส่งสินค้า 3-4 โดยเงื่อนไขที่จะระบุว่าลำดับขนส่งสินค้าดังกล่าวไม่สามารถดำเนินการได้จะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

- กรณีกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าของคู่ลำดับการขนส่งสินค้าอยู่ใกล้เกินไป
- กรณีกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าอยู่ห่างเกินไปแต่ไม่มากพอที่จะเดินเรือไปรอยังท่าเรือหลักได้

<u>กรณีกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าของคู่ลำดับการขนส่งสินค้าอยู่ใกล้เกินไป</u>

ในกรณีที่ลำดับขนส่งสินค้าไม่สามารถดำเนินการได้ เนื่องจากกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าของคู่ลำดับการขนส่งสินค้าอยู่ใกล้เกินไป จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าอย่างน้อย 1 คู่ ที่ไม่สามารถให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าของคู่ลำดับตัวหน้าได้ก่อนที่กรอบเวลาในการขนส่งสินค้าของคู่อันดับตัวหลังจะสิ้นสุดลง โดยเงื่อนไขสามารถเขียนเป็นอสมการเงื่อนไขได้ ดังนี้

$$ED'+UT'+BL'^{\rightarrow}{}''< LP'' \qquad (4.7)$$

โดยที่ ED' คือเวลาเร็วที่สุดที่เรือจะเริ่มขนสินค้าลงจากเรือ (Earliest Delivery Date) ที่ท่าเรือปลายทางของคู่ลำดับคำสั่งสินค้าที่ตัวหน้า

UT' คือระยะเวลาที่ใช้ในการขนสินค้าลงจากเรือ (Unloading Time) ที่ปลายทางของคู่ลำดับคำสั่งสินค้าที่ตัวหน้า

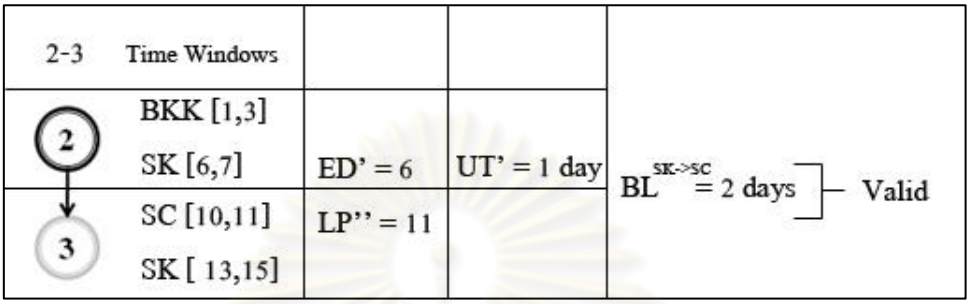
$BL'^{\rightarrow}{}''$ คือระยะเวลาในการเดินเรือเที่ยวเปล่า (Ballast Leg) จากท่าเรือปลายทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าที่อยู่ก่อนหน้าไปยังท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหลัง

LP'' คือเวลาช้าที่สุดที่เรือจะเริ่มทำการขนส่งสินค้าขึ้นเรือ (Latest Pickup Date) ที่ท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหลัง

<u>หมายเหตุ</u> สำหรับการอ้างถึงการเดินทางระหว่างท่าเรือ ตัวแปรที่มี ‘ เป็นตัวอักษรยก จะเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับท่าเรือซึ่งอยู่ก่อนหน้าและตัวแปรที่มี “ เป็นตัวอักษรยก จะเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับท่าเรือซึ่งอยู่ตามหลัง

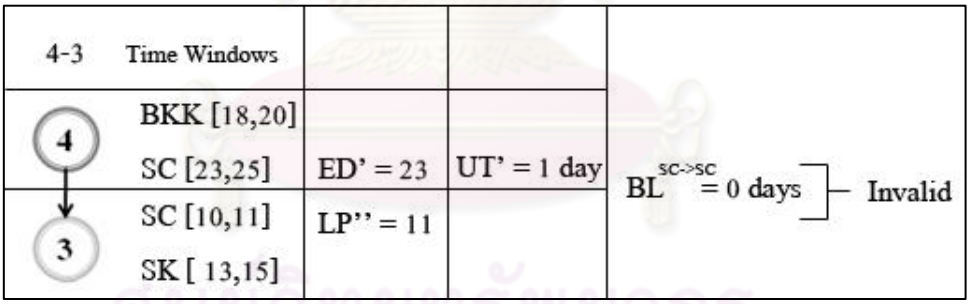
จากอสมการเงื่อนไขที่ 4.7 ผลบวกทางด้านซ้ายของอสมการจะเป็นเวลาที่เร็วที่สุดที่เรือจะสามารถเข้าเทียบท่าเพื่อทำการขนสินค้าขึ้นเรือตามคำสั่งขนส่งสินค้าของคู่ลำดับขนส่งสินค้าตัวหลัง ในขณะที่ LP'' คือ เวลาที่ช้าที่สุดที่เรือสามารถเข้าเทียบท่าเพื่อทำการรับสินค้าได้ตามกรอบ

เวลาขนส่งสินค้า ดังนั้น หากอสมการดังกล่าวเป็นเท็จ แสดงว่าไม่มีโอกาสที่เรือจะสามารถทำการขนส่งสินค้าตามลำดับขนส่งสินค้านี้ได้ และลำดับการขนส่งสินค้านี้จะถูกตัดออกจากการพิจารณาในขั้นตอนถัดไป โดยผลการพิจารณาลำดับขนส่งสินค้า 2-3 ซึ่งเป็นคู่ลำดับที่สอดคล้องกับกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าและสามารถดำเนินการได้จริงจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 การตรวจสอบความเป็นได้ของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้า 2-3 ของกรณีตัวอย่างซึ่งสามารถดำเนินการได้

สำหรับตัวอย่างของลำดับขนส่งสินค้าที่ไม่สามารถดำเนินการได้จริงเนื่องจากความไม่สอดคล้องของกรอบเวลาและจะถูกตัดออกจากการพิจารณาในขั้นตอนถัดไปคือ กรณีของลำดับขนส่งสินค้า 4-3 ซึ่งรายละเอียดการพิจารณาจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การตรวจสอบความเป็นได้ของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้า 4-3 ของกรณีตัวอย่างซึ่งไม่สามารถดำเนินการได้

<u>กรณีกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าอยู่ห่างเกินไปแต่ไม่มากพอที่จะเดินเรือไปรอยังท่าเรือหลักได้</u>

ในกรณีที่กรอบเวลาในการขนส่งสินค้าของคู่ลำดับการขนส่งสินค้าอยู่ห่างกัน เรือขนส่งสินค้าต้องทำการเทียบท่าเพื่อรอรับสินค้าจากท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับขนส่งสินค้าตัวหลัง โดยการจอดรอของเรือจะสามารถทำได้ 2 ลักษณะ คือ จอดรอที่ท่าเรือปลายทางของคู่ลำดับตัวหน้า และจอดรอที่ท่าเรือต้นทางของคู่อันดับตัวหลัง ซึ่งหากช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าเกินกว่าช่วงเวลาจอดรอ

สูงสุดที่ยอมได้ เรือจำเป็นต้องเดินทางกลับมารอยังท่าเรือหลัก จากนั้นจึงทำการเดินเรือจากท่าเรือหลักเพื่อไปรับสินค้าที่ท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับขนส่งสินค้าตัวหลังเมื่อถึงเวลาที่เหมาะสม อย่างไรก็ดี การดำเนินการในลักษณะนี้จะไม่สามารถทำได้ถ้ากรอบเวลาขนส่งสินค้าของคู่อันดับอยู่ใกล้กันมากเกินไปจนไม่สามารถเดินเรือไปจอดรอที่ท่าเรือหลักและเดินเรือกลับมารับสินค้าได้ทัน โดยเงื่อนไขดังกล่าวสามารถเขียนเป็นอสมการเงื่อนไขได้ ดังนี้

$$LD'+UT'+MWT'+BL'^{\rightarrow}{}'' < EP''-MWT'' \tag{4.8}$$

AND

$$(ED'+UT')-LP'' \geq BL'^{\rightarrow 0}+BL^{0\rightarrow}{}'' \tag{4.9}$$

โดยที่ LD' คือเวลาช้าที่สุดที่เรือจะเริ่มขนสินค้าลงจากเรือได้ที่ท่าเรือปลายทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหน้า

UT' คือระยะเวลาที่ใช้ในการขนสินค้าลงจากเรือที่ปลายทางของคู่ลำดับคำสั่งสินค้าที่ตัวหน้า

MWT' คือระยะเวลารอคอยสูงสุดที่ยอมได้ของท่าเรือปลายทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหน้า

$BL'^{\rightarrow}{}''$ คือระยะเวลาในการเดินทางจากท่าเรือปลายทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหน้าไปยังท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหลัง

EP'' คือเวลาเร็วที่สุดที่เรือจะเริ่มขนสินค้าขึ้นเรือได้ที่ท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหลัง

MWT'' คือระยะเวลารอคอยสูงสุดที่ยอมได้ของท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหลัง

ED' คือเวลาเร็วที่สุดที่เรือจะเริ่มขนสินค้าลงจากเรือได้ที่ท่าเรือปลายทางของคู่ลำดับคำสั่งสินค้าที่ตัวหน้า

$BL'^{\rightarrow 0}$ คือระยะเวลาในการเดินทางจากท่าเรือปลายทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหน้าไปยังท่าเรือหลัก

$BL^{0\rightarrow}{}''$ คือระยะเวลาในการเดินทางจากท่าเรือหลักไปยังท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหลัง

จากอสมการเงื่อนไขที่ 4.8 $LD'+UT'+MWT'+BL'^{\rightarrow}{}''$ คือเวลาที่ช้าที่สุดที่เรือจะเดินทางไปถึงท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหลังซึ่งพิจารณารวมถึงการจอดรอนานที่สุดที่ท่าเรือปลายทางของคู่คำสั่งขนส่งสินค้าตัวหน้าแล้วและ $EP''-MWT''$ คือเวลาที่เร็วที่สุดที่เรือ

สามารถเข้าเทียบท่าเพื่อจอดรอที่ท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าตัวหลัง ดังนั้น หากอสมการ 4.8 เป็นจริงแสดงว่ากรอบเวลาขนส่งสินค้าของคู่ลำดับอยู่ห่างกันจนเกินไป จึงต้องพิจารณาอสมการ 4.9 เพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ในการเดินเรือกลับไปรอยังท่าเรือหลักก่อนที่จะเดินเรือกลับมารับสินค้าตามคู่ลำดับขนส่งสินค้าตัวหลัง โดยที่ $(ED'+UT)$ คือเวลาที่เร็วที่สุดที่จะขนส่งสินค้าลงจากเรือที่ท่าเรือปลายทางของคู่ลำดับตัวหน้า และ LP'' คือเวลาที่ช้าที่สุดที่จะเริ่มขนสินค้าลงเรือที่ท่าเรือต้นทางของคู่ลำดับขนส่งสินค้าตัวหลัง ด้วยเหตุนี้ พจน์ทางด้านซ้ายของอสมการคือช่วงเวลากว้างที่สุดระหว่างกรอบเวลาขนส่งสินค้าทั้งสอง ในขณะที่พจน์ทางด้านขวาขางอสมการคือระยะเวลาในการเดินเรือจากท่าเรือปลายทาง ดังนั้น หากอสมการนี้เป็นจริงแสดงว่าระยะห่างระหว่างกรอบเวลาทั้งสองไม่เพียงพอต่อการเดินเรือกลับไปรอที่ท่าเรือหลัก เมื่อพิจารณาอสมการทั้งสองหากอสมการ 4.8 เป็นจริงและ อสมการ 4.9 เป็นเท็จ แสดงว่าคู่อันดับของคำสั่งขนส่งสินค้านี้ไม่สามารถดำเนินการได้จริงและจะถูกตัดออกจากการพิจารณาในขั้นตอนถัดไป ยกตัวอย่างการพิจารณาลำดับขนส่งสินค้า 2-5 ซึ่งเป็นคู่ลำดับที่ระยะห่างระหว่างกรอบเวลามีค่ามากเกินกว่าที่เรือจะจอดรอที่ท่าเรือได้ จึงต้องทำการพิจารณาความเป็นไปได้ในการเดินเรือกลับมารอที่ท่าเรือหลัก พอที่จะเดินเรือกลับมารอที่ท่าเรือหลักก่อนได้ โดยมีรายละเอียดในการพิจารณาอสมการเงื่อนไขที่ 4.8 ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.6 และรายละเอียดในการพิจารณาอสมการเงื่อนไขที่ 4.9 ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.7

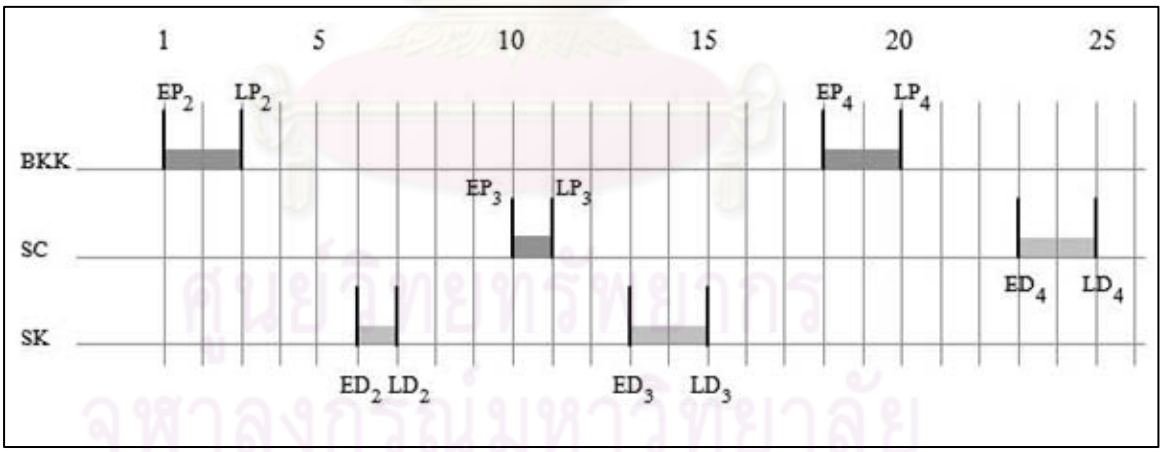
2-5 Time Windows				
2 BKK [1,3] SK [6,7]	LD'= 7	UT' = 1 day	MWT' = 1 day	$BL^{SK>SC}$ = 2 days — Valid
5 SC [15,17] SK [21,24]	EP''=15		MWT''= 1 day	

รูปที่ 4.6 การตรวจสอบความเป็นได้ของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้า 2-5 ของกรณีตัวอย่างซึ่งสามารถดำเนินการได้ในลักษณะที่มีการเดินเรือกลับไปรอยังท่าเรือหลัก

2-5 Time Windows				
2 BKK [1,3] SK [6,7]	ED' = 6	UT' = 1 day	$BL^{SC->BKK}$ = 2 days	Valid
5 SC [15,17] SK [21,24]	LP''=17		BL^{BKK-SK} = 2 days	

รูปที่ 4.7 การตรวจสอบความเป็นได้ของคู่ลำดับคำสั่งขนส่งสินค้า 2-5 ของกรณีตัวอย่างซึ่งสามารถดำเนินการได้ในลักษณะที่มีการเดินเรือกลับไปรอยังท่าเรือหลัก (ต่อ)

พิจารณาลำดับขนส่งสินค้า 2-3-4 ซึ่งผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขทางด้านกรอบเวลาขนส่งสินค้าและระยะเวลาในการเดินทางระหว่างท่าเรือแล้วจะสามารถยืนยันได้ว่าลำดับขนส่งสินค้าดังกล่าวจะสามารถจะสามารถให้ตารางเดินเรือที่เป็นไปได้อย่างน้อย 1 ตารางเดินเรือ โดยสามารถเขียนแผนผังเวลาและสถานที่ (Time-Space Diagram)ได้ดังรูปที่ 4.8 นอกจากนี้ ยังสามารถระบุเส้นทางเดินเรือจากลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าได้ เนื่องจากคำสั่งขนส่งสินค้าแต่ละคำสั่ง จะถูกระบุท่าเรือต้นทางและปลายทางที่แน่นอนอยู่แล้ว ดังนั้น หากทราบลำดับในการขนส่งสินค้าก็จะทราบลำดับในการเข้าเทียบท่าเรือด้วย ซึ่งลำดับในการเข้าเทียบท่าเรือด้วยก็คือเส้นทางเดินเรือนั่นเอง



รูปที่ 4.8 แผนผังเวลาและสถานที่ของคำสั่งขนส่งสินค้าสำหรับลำดับขนส่งสินค้า 2-3-4

หมายเหตุ ตัวห้อยที่ปรากฏใต้ตัวแปรหมายถึงหมายเลขคำสั่งขนส่งสินค้า เช่น EP_2 หมายถึงเวลาที่เร็วที่สุดที่สามารถขนสินค้าขึ้นเรือได้ตามคำสั่งขนส่งสินค้าหมายเลข 2

4.3.4 การสร้างกรอบเวลาสำหรับเรือขนส่งสินค้า

พิจารณาคำสั่งขนส่งสินค้าแต่ละคำสั่งจะพบว่ากรอบเวลาในการขนส่งสินค้าจะเป็นอิสระต่อกัน ในขั้นตอนการพิจารณาลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าในหัวข้อ 4.3.3 ก็เป็นการพิจารณาในลักษณะที่กรอบเวลาของคำสั่งขนส่งสินค้ามีความอิสระต่อกัน แต่เมื่อนำคำสั่งขนส่งสินค้ามาเรียงต่อกันเพื่อสร้างตารางเดินเรือ กรอบเวลาขนส่งสินค้าของแต่ละคำสั่งขนส่งสินค้าจะมีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลกระทบของกรอบเวลาขนส่งสินค้าก่อนหน้า รวมทั้งความยืดหยุ่นในการเข้าเทียบท่าก่อนถึงกรอบเวลาขนส่งสินค้าและการจอดรอที่ท่าเรือหลังจากทำกิจกรรมที่ท่าเรือเสร็จ สาเหตุเหล่านี้ล้วนส่งผลให้กรอบเวลาในการเดินเรือมีความแตกต่างจากกรอบเวลาขนส่งสินค้า ในขั้นตอนนี้ จะเป็นการพิจารณาสร้างกรอบเวลาในการเดินเรือเข้าเทียบท่าเรือแต่ละท่าเรือตลอดเส้นทางเดินเรือ

ในการอธิบายขั้นตอนในการสร้างกรอบเวลาในการเดินเรือ ผู้วิจัยได้นิยามตัวแปรต่างๆ เพิ่มเติมจากหัวข้อที่แล้วเพื่อใช้ในการอ้างอิงดังนี้

$EDep$	คือเวลาที่เร็วที่สุดที่เรือจะสามารถเดินทางออกจากท่าเรือ (Earliest Departure)
$LDep$	คือเวลาที่ช้าที่สุดที่เรือจะสามารถเดินทางออกจากท่าเรือ (Latest Departure)
$EArv$	คือเวลาที่เร็วที่สุดที่เรือจะสามารถเดินทางมาถึงท่าเรือ (Earliest Arrival)
$LArv$	คือเวลาที่ช้าที่สุดที่เรือจะสามารถเดินทางมาถึงท่าเรือ (Latest Arrival)
$LL^{\mapsto"}$	คือระยะเวลาในการเดินเรือเที่ยวหนัก (Loaded Leg) จากท่าเรือต้นทางไปยังท่าเรือปลายทาง
LT	คือระยะเวลาที่ใช้ในการขนสินค้าขึ้นเรือที่ท่าเรือต้นทาง (Loading Time)

<u>หมายเหตุ</u> ตัวแปรอื่นๆให้ใช้นิยามเดียวกันกับหัวข้อ 4.3.3 และการอ้างถึงการเดินทางระหว่างท่าเรือ ตัวแปรใดที่มี · เป็นตัวอักษรยก จะเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับท่าเรือที่อยู่ก่อนหน้า และตัวแปรใดที่มี " เป็นตัวอักษรยก จะเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับท่าเรือที่อยู่ตามหลัง

สำหรับขั้นตอนการพิจารณากรอบเวลาสำหรับการเดินเรือเพื่อขนส่งสินค้าตามลำดับขนส่งสินค้า จะเป็นการพิจารณาจากท่าเรือสู่ท่าเรือไล่เรียงกันไปตามลำดับขนส่งสินค้าในลักษณะของการวิเคราะห์แบบไปข้างหน้า (Forward Analysis) โดยกรอบเวลาการเดินเรือเข้าเทียบท่าเรือที่สนใจจะขึ้นกับกรอบเวลาในการเดินเรือของท่าเรือก่อนหน้า และขึ้นกับกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าของท่าเรือถัดไป โดยกรอบเวลาของการเดินเรือจะพิจารณาแยกตามกรณีดังต่อไปนี้

<u>เวลาเร็วที่สุดที่สามารถเดินเรือออกจากท่าเรือ</u>

- ในกรณีเดินเรือเที่ยวหนักหลังจากรับสินค้าที่ท่าเรือต้นทาง

$$EDep' = Max[(Max(EArv', EP') + LT'), (ED'' - MWT'' - LL'^{\rightarrow}'')] \quad (4.10)$$

- ในกรณีเดินเรือเที่ยวเบาหลังจากส่งสินค้าที่ท่าเรือปลายทาง

$$EDep' = Max[(Max(EArv', ED') + UT'), (EP'' - MWT'' - BL'^{\rightarrow}'')] \quad (4.11)$$

<u>เวลาช้าที่สุดที่สามารถเดินเรือออกจากท่าเรือ</u>

- ในกรณีเดินเรือเที่ยวหนักหลังจากรับสินค้าที่ท่าเรือต้นทาง

$$LDep' = Min[(Min(LArv', LP') + LT' + MWT'), (LD'' - LL'^{\rightarrow}'')] \quad (4.12)$$

- ในกรณีเดินเรือเที่ยวเบาหลังจากส่งสินค้าที่ท่าเรือปลาย

$$LDep' = Min[(Min(LArv', LD') + UT' + MWT'), (LP'' - BL'^{\rightarrow}'')] \quad (4.13)$$

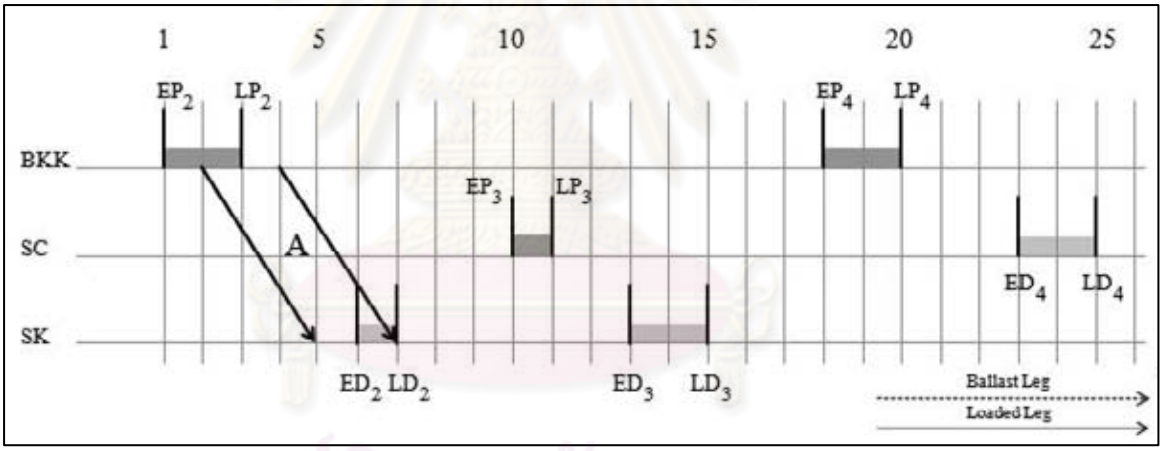
จากสมการที่ 4.10 ถึง 4.13 เราจะสามารถสร้างกรอบเวลาในการเดินเรือจากลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าที่ได้จากขั้นตอนการแจกแจงลำดับคำสั่งขนส่งสินค้าหัวข้อที่ 4.3.3 โดยผู้วิจัยขอยกตัวอย่างลำดับขนส่งสินค้า 2-3-4 ที่ผ่านการพิจารณาแล้วว่าสามารถดำเนินการได้จริงมาใช้เป็นกรณีตัวอย่าง เพื่ออธิบายการพิจารณาสร้างกรอบเวลาในการเดินเรือ เริ่มต้นจากสมการที่ 4.10 เราจะสามารถคำนวณเวลาเร็วที่สุดที่เรือสามารถออกจากท่าเรือ BKK ภายหลังขนสินค้าขึ้นเรือตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 2 แล้ว ดังนี้

$$EDep' = Max[(Max(1,1) + 1), (5 - 1 - 3)] = 2$$

และเราจะสามารถคำนวณเวลาช้าที่สุดที่เรือสามารถออกจากท่าเรือ BKK ภายหลังขนสินค้าขึ้นเรือตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 2 ได้จากสมการ 4.12 ดังนี้

$$LDep' = Min[(Min(1,3)+1+\infty),(7-3)] = 4$$

นิยามของกรอบเวลาผู้วิจัยได้นิยามให้อยู่ในรูปของ [ID, TWS, TWE, ORG, DES, N+] โดยที่ ID คือรหัสของกรอบเวลาในการเดินเรือ, TWS คือ เวลาเริ่มต้นของกรอบเวลา, TWE คือ เวลาสิ้นสุดของกรอบเวลา, ORG คือท่าเรือต้นทาง, DES คือท่าเรือปลายทาง และ N+ คือลักษณะของการเดินเรือว่าเป็นเที่ยวหนักหรือเที่ยวเบาและเป็นการเดินเรือของคำสั่งขนส่งสินค้าใด โดย N คือหมายเลขคำสั่งขนส่งสินค้าและ โดยที่เครื่องหมายบวก (+) คือการเดินเรือเที่ยวหนัก และเครื่องหมายลบ (–) คือการเดินเรือเที่ยวเบา ดังนั้น กรอบเวลาในการเดินเรือจากท่าเรือ BKK เพื่อไปส่งสินค้ายังท่าเรือ SK ตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 2 จะมีกรอบเวลาเป็น [A, 2, 4, BKK, SK, 2+] ดังที่แสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 กรอบเวลาในการเดินเรือจากท่าเรือ BKK เพื่อไปส่งสินค้ายังท่าเรือ SK ตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 2

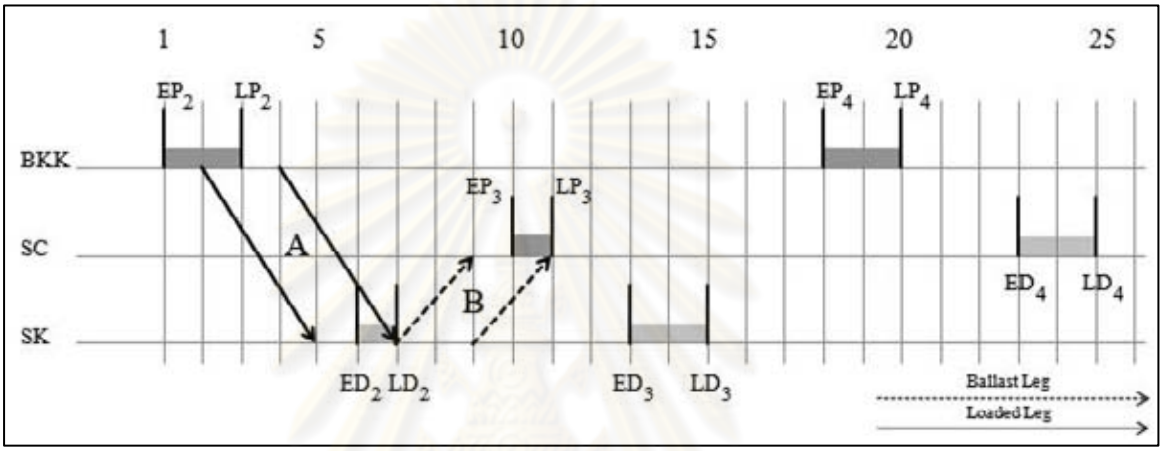
พิจารณากรอบเวลาในการเดินเรือถัดมาคือ กรอบเวลาในการเดินเรือเที่ยวเปล่าหลังจากทำการขนสินค้าลงจากเรือที่ท่าเรือปลายทาง SK ตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 2 เพื่อไปรับสินค้าที่ท่าเรือ SC ตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 3 โดยเราจะใช้สมการที่ 4.11 เพื่อคำนวณหาเวลาเร็วที่สุดที่เรือสามารถออกจากท่าเรือ SK ได้ดังนี้

$$EDep' = Max[(Max(5,6)+1),(10-1-2)] = 7$$

และเราจะสามารถคำนวณเวลาช้าที่สุดที่เรือสามารถออกจากท่าเรือ SK หลังจากทำการขนสินค้าลงจากเรือได้จากสมการ 4.13 ดังนี้

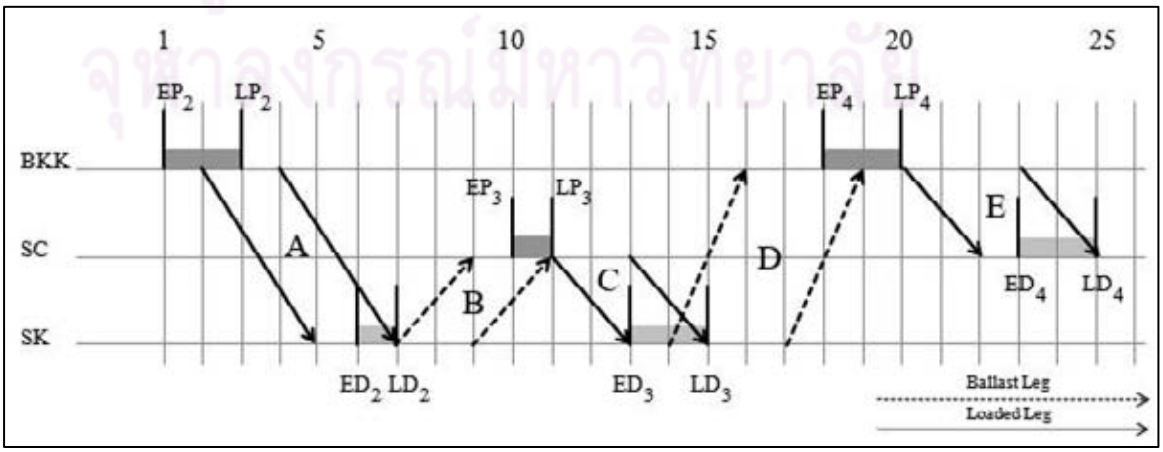
$$LDep' = Min[(Min(7,7)+1+2),(11-2)] = 9$$

ดังนั้น กรอบเวลาในการเดินเรือเพื่อรับสินค้าที่ท่าเรือ SK ตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 2 เพื่อไปรับสินค้าที่ท่าเรือ SC ตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 3 จะมีกรอบเวลาเป็น [B, 7, 9, SK, SC, 3-] ดังที่แสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กรอบเวลาในการเดินเรือจากท่าเรือ SK เพื่อไปรับสินค้ายังท่าเรือ SC ตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 3

ขั้นตอนในการพิจารณากรอบเวลาในการเดินเรือของการเดินเรือในเที่ยวอื่นๆจะมีรูปแบบเช่นเดียวกับที่ได้นำเสนอเป็นตัวอย่างไปข้างต้น โดยกระบวนการจะมีลักษณะซ้ำเดิมต่อไปเรื่อยๆ จนถึงเที่ยวการเดินเรือสุดท้าย จากลำดับคำสั่งขนส่งสินค้า 2-3-4 กรอบเวลาในการเดินเรือของเรือหมายเลข 1 จะมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กรอบเวลาในการเดินเรือของเรือหมายเลข 1 สำหรับลำดับขนส่งสินค้าที่ 2-3-4

กรอบเวลาในการเดินเรือเหล่านี้จะเป็นขอบเขตของทางเลือกที่เป็นไปได้ในการสร้างทางเลือกในการเดินทางระหว่างท่าเรือต้นทางและท่าเรือปลายทางแต่ละแห่ง ซึ่งปริมาณทางเลือกที่เป็นไปได้ในกรอบเวลาเดินเรือจะขึ้นกับตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของช่วงเวลา (Time Discretization) วิธีการในการสร้างทางเลือกที่เป็นไปได้ในการเดินทางจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

4.3.5 การสร้างทางเลือกที่เป็นไปได้ในการเดินทางระหว่างท่าเรือ

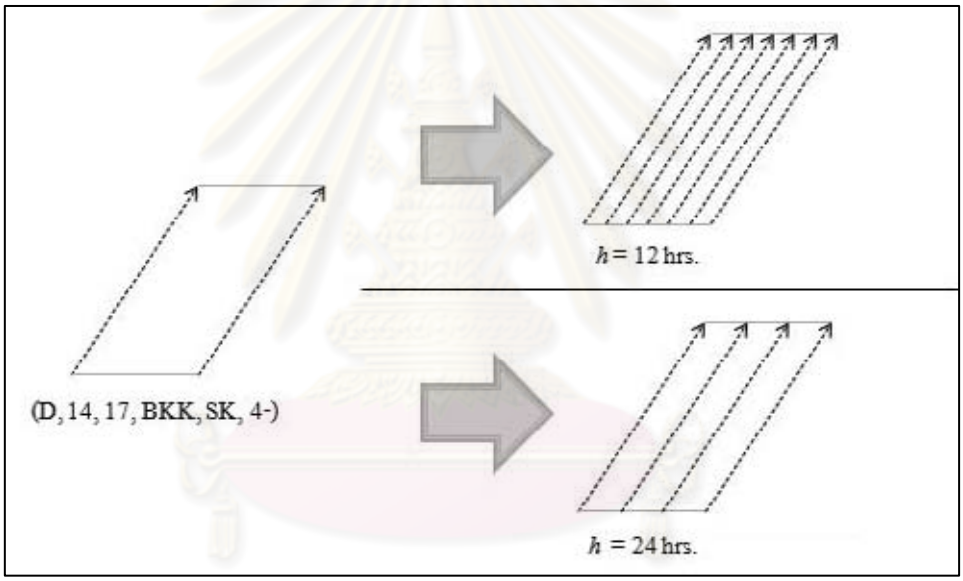
ในขั้นตอนการสร้างทางเลือกที่เป็นไปได้ในการเดินเรือระหว่างท่าเรือจะเริ่มต้นจากกรอบเวลาในการเดินเรือที่พิจารณาจากหัวข้อ 4.3.4 ซึ่งจะทำการพิจารณากรอบเวลาในการเดินเรือทีละกรอบเวลา โดยแนวคิดในการแจกแจงทางเลือกที่เป็นไปได้ในการเดินเรือจะเปรียบเสมือนการเติมกรอบเวลาในการเดินเรือด้วยเส้นเชื่อมที่มีความหมาย แทนการเดินเรือที่ระบุเวลาจากท่าเรือต้นทางถึงท่าเรือปลาย โดยเส้นเชื่อมดังกล่าว คือทางเลือกที่เป็นไปได้ในการเดินทางระหว่างท่าเรือ โดยผู้วิจัยได้นิยามเส้นเชื่อมหรือทางเลือกในการเดินเรือให้อยู่ในรูปของ [ID, ARV, ORG, DES, N+] โดยที่ ID คือรหัสของทางเลือกในการเดินเรือ, ARV คือ เวลาออกจากท่าเรือต้นทาง, ORG คือ ท่าเรือต้นทาง, DES คือท่าเรือปลายทาง และ N+ คือลักษณะของการเดินเรือว่าเป็นเที่ยวหนักหรือเที่ยวเบาและเป็นการเดินเรือของคำสั่งขนส่งสินค้าใด โดย N คือหมายเลขคำสั่งขนส่งสินค้า โดยที่เครื่องหมายบวก (+) คือการเดินเรือเที่ยวหนัก และเครื่องหมายลบ (–) คือการเดินเรือเที่ยวเบา ซึ่งความละเอียดของเส้นเชื่อมที่จะเติมลงในกรอบเวลาจะขึ้นกับตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของช่วงเวลา (Time Discretization) หากตัวแปรดังกล่าวมีค่าน้อยลงจะส่งผลให้ทางเลือกในการเดินเรือระหว่างท่าเรือมีมากขึ้น โดยการคำนวณหาจำนวนทางเลือกในการเดินเรือสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.14 โดยกำหนดให้ h เป็นตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของช่วงเวลา

$$nArcs = \left[1 + (\left\lfloor \frac{TWE}{h} \right\rfloor - \left\lceil \frac{TWS}{h} \right\rceil)\right] + \left\lceil [\frac{TWE}{h} - Mod(\frac{TWE}{h})] \right\rceil + \left\lceil \frac{TWS}{h} - Mod(\frac{TWS}{h}) \right\rceil \quad (4.14)$$

สมการที่ 4.14 จะครอบคลุมการคำนวณหาจำนวนทางเลือกในการเดินเรือได้ในทุกๆ กรณี แต่ในกรณีที่กรอบเวลาในการเดินเรือสามารถหารด้วยตัวแปร h ลงตัว ซึ่งหากพิจารณาจากแผนผังเวลาและสถานที่ สถานะดังกล่าว คือสถานะที่กรอบเวลาเดินเรือตั้งอยู่บนเส้นแบ่งเวลา สมการ 4.14 จะลดรูปเป็นสมการที่ 4.15

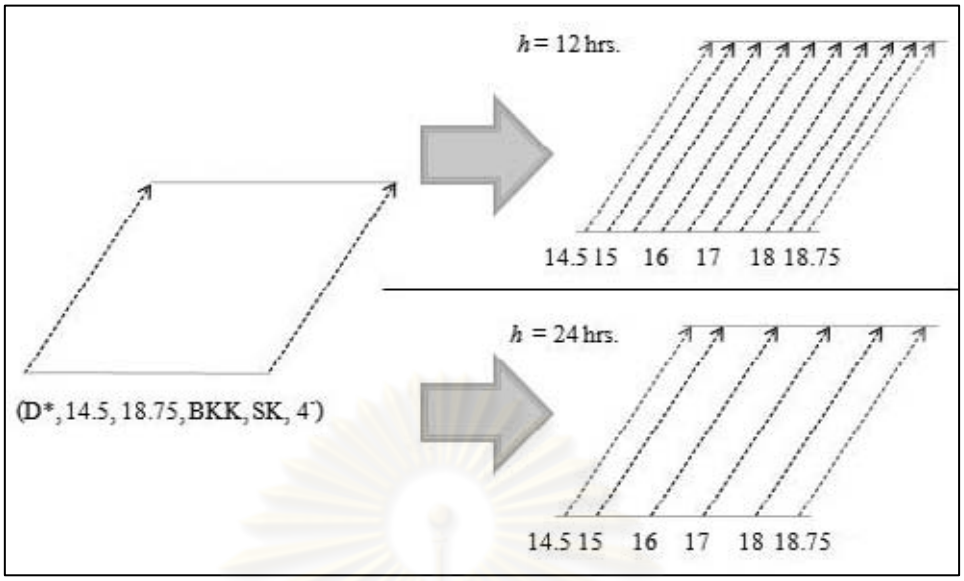
$$nArcs = (1 + \frac{TWE}{h} - \frac{TWS}{h}) \quad (4.15)$$

เมื่อพิจารณากรอบเวลาในการเดินเรือเที่ยวเปล่าจากท่าเรือ SK ไปยังท่าเรือ BKK เพื่อรับสินค้าตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 4 (กรอบเวลาในการเดินเรือ D) ตามที่แสดงในรูปที่ 4.12 จะพบว่ากรอบเวลาในการเดินเรือคือ [D, 14, 17, SK, BKK, 4-] โดยกรอบเวลามีความกว้างเท่ากับ 4 วัน หากกำหนดให้ h มีค่าเป็น 24 ชั่วโมง ทางเลือกในการเดินเรือในกรอบเวลาดังกล่าวจะทั้งหมด 4 ทางเลือก และหากพิจารณาให้ h มีค่าเป็น 12 ชั่วโมง ทางเลือกในการเดินเรือในกรอบเวลาดังกล่าวจะมีทั้งหมด 7 ทางเลือก ดังที่แสดงในรูปที่ 4.12 และจำนวนทางเลือกที่เป็นไปได้จะคำนวณได้จากสมการที่ 4.15



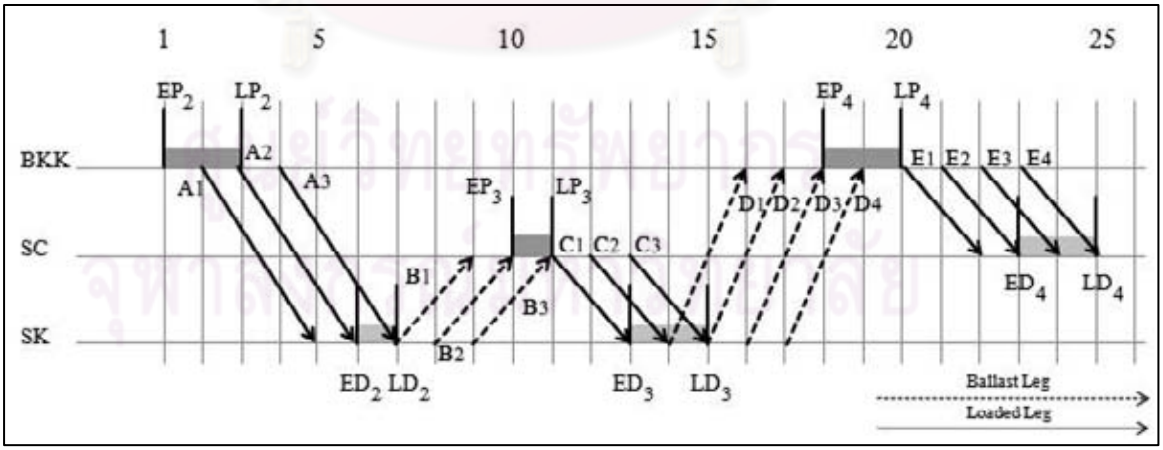
รูปที่ 4.12 ทางเลือกในการเดินเรือสำหรับกรอบเวลาเดินเรือตัวอย่างในกรณีที่กรอบเวลาตั้งอยู่บนเส้นแบ่งเวลาในแผนภูมิเวลาและสถานที่

ในกรณีที่กรอบเวลาในการเดินเรือไม่สามารถหารด้วยตัวแปร h ลงตัว ซึ่งหากพิจารณาจากแผนผังเวลาและสถานที่ คือสถานะที่กรอบเวลาเดินเรือตั้งอยู่ระหว่างเส้นแบ่งเวลา ยกตัวอย่างการพิจารณากรอบเวลาเดินเรือสมมติ [D', 14.5, 18.75, BKK, SK, 4-] ที่กรอบเวลาไม่ได้ตั้งอยู่บนเส้นแบ่งเวลา จำนวนทางเรือกในการเดินเรือจะสามารถคำนวณได้จากสมการ 4.14 โดยหากกำหนดให้ h มีค่าเท่ากับ 24 ชั่วโมง ทางเลือกในการเดินเรือที่เป็นไปได้ของกรอบเวลาเดินเรือดังกล่าว จะมีจำนวนเท่ากับ 6 ทางเลือก และหากพิจารณาให้ h มีค่าเท่ากับ 12 ชั่วโมง ทางเลือกในการเดินเรือในกรอบเวลาดังกล่าวจะทั้งหมด 10 ทางเลือกดังที่แสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ทางเลือกในการเดินเรือสำหรับกรอบเวลาเดินเรือตัวอย่างในกรณีที่กรอบเวลาไม่ได้ตั้งอยู่บนเว้นแบ่งเวลาในแผนภูมิเวลาและสถานที่

การสร้างทางเลือกที่เป็นไปได้ในการเดินทางระหว่างท่าเรือจะทำการพิจารณาทีละกรอบเวลาเดินเรือ โดยแต่ละกรอบเวลาในการเดินเรือจะถูกพิจารณาแยกอิสระต่อก่อนโดยอาศัยสมการ 4.14 ในการพิจารณา จากกรอบเวลาในการเดินเรือของลำดับขนส่งสินค้า 2-3-4 ที่แสดงในรูปที่ 4.12 เมื่อทำการพิจารณาทางเลือกที่เป็นไปได้ในการเดินทางระหว่างท่าเรือจะได้ผลลัพธ์ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.14



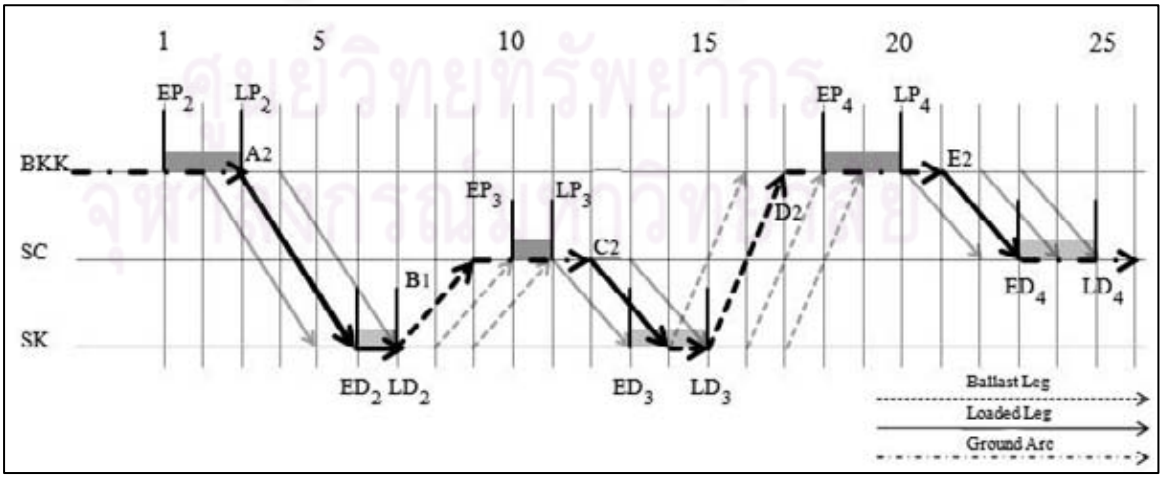
รูปที่ 4.14 ทางเลือกในการเดินเรือสำหรับระหว่างท่าเรือตามลำดับขนส่งสินค้าที่ 2-3-4

4.3.6 การสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้

การสร้างตารารางเดินเรือที่เป็นเป็นไปได้จะเป็นการเลือกทางเลือกในการเดินเรือจากกรอบเวลาในการเดินเรือขึ้นมา 1 ทางเลือก ต่อ 1 กรอบเวลาในการเดินเรือตลอดเส้นทางเดินเรือเพื่อนำมาประกอบเป็นตารางเดินเรือ 1 ตารางเดินเรือ จากรูปที่ 4.14 หากเราทำการเลือกทางเลือกในการเดินเรือ 1 ทางเลือกจาก 1 กรอบเวลาในการเดินเรือดังนี้

กรอบเวลา A ทำการเลือกทางเลือก A2, กรอบเวลา B ทำการเลือกทางเลือก B1
กรอบเวลา C ทำการเลือกทางเลือก C2, กรอบเวลา D ทำการเลือกทางเลือก D2
กรอบเวลา E ทำการเลือกทางเลือก E2

เส้นทางเดินเรือที่ได้คือ เรือหมายเลข 1 จะทำการขนสินค้าตามคำสั่งหมายเลข 2 ขึ้นและออกเดินทางจากท่าเรือ BKK วันที่ 3 ไปถึงท่าเรือ SK วันที่ 6 จากนั้นทำการขนสินค้าลงจากเรือก่อนวันที่ 7 จากนั้นจึงเดินเรือเที่ยวเปล่าจากท่าเรือ SK ไปท่าเรือ SC เพื่อรับสินค้าตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 3 จากนั้นจึงเดินเรือเที่ยวหนักจากท่าเรือ SC ในวันที่ 12 ไปถึงยังท่าเรือ SK วันที่ 14 ทำการขนส่งสินค้าลงจากเรือก่อนวันที่ 15 จากนั้นจึงเดินเรือเที่ยวเปล่าออกจากท่าเรือ SK วันที่ 15 ถึงยังท่าเรือ BKK วันที่ 17 เพื่อรับสินค้าตามคำสั่งขนส่งสินค้าที่ 4 จากนั้นจึงเดินเรือเที่ยวหนักจากท่าเรือกรุงเทพวันที่ 21 ไปถึงยังท่าเรือ SC ในวันที่ 23 โดยแผนผังเวลาและสถานที่ของตารางเดินเรือดังกล่าวจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แผนผังเวลาและสถานที่ของตารางเดินเรือแบบหนึ่งสำหรับลำดับขนส่งสินค้า 2-3-4

สำหรับจำนวนตารางเดินเรือทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่สร้างจากกรอบเวลาในการเดินเรือจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.16 ซึ่งเป็นผลคูณของทางเลือกที่เป็นไปได้ในแต่ละกรอบเวลาเดินเรือตลอดเส้นทางเดินเรือ

$$n = \prod_{i \in L} |C_i| \tag{4.16}$$

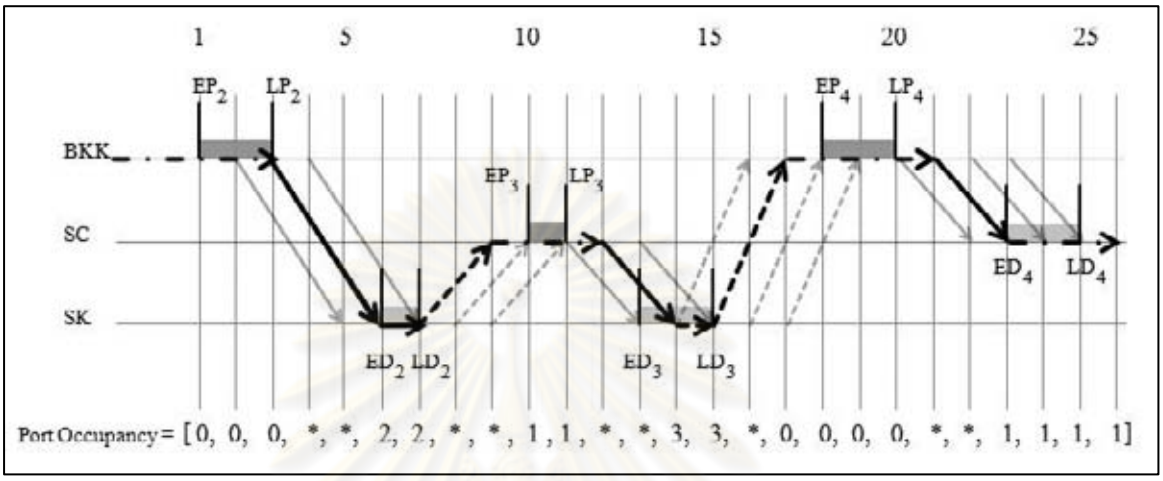
โดยที่ n คือจำนวนตารางเดินเรือทั้งหมดที่สร้างได้จากกรอบเวลาในการเดินเรือ, L คือเซตของการเดินเรือระหว่างคู่ท่าเรือ (Leg) โดยมี i เป็นดัชนี และ C_i คือเซตของทางเลือกในการเดินเรือระหว่างคู่ท่าเรือที่ i

พิจารณากรอบเวลาในการเดินเรือและทางเลือกในการเดินเรือของเรือลำที่ 1 โดยมีลำดับคำสั่งขนส่งสินค้า 2-3-4 ตามที่แสดงในรูปที่ 4.15 จะพบว่าตารางเดินเรือที่สามารถสร้างได้จากกรอบเวลาในการเดินเรือดังกล่าวมีจำนวนทั้งสิ้น $3*3*3*4*4 = 432$ ตารางเดินเรือ อย่างไรก็ตามในจำนวนตารางเดินเรือที่สร้างได้ก็จะมีตารางเดินเรือที่ไม่สามารถดำเนินการได้จริงอันเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการคือ

- ความไม่สอดคล้องของเวลาในการเดินทางของเส้นทางเดินเรือ
- ช่วงเวลาเทียบท่าเรือไม่มีเพียงพอต่อการขนสินค้าขึ้นหรือลงจากเรือ

สำหรับวิธีการตรวจสอบว่าตารางเดินเรือสามารถดำเนินการได้หรือไม่นั้นจะอาศัยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองสถานการณ์การเดินเรือ นอกเหนือจากการตรวจสอบความเป็นไปได้ในการดำเนินการแล้ว โปรแกรมจำลองสถานการณ์จะทำการคำนวณต้นทุนในการดำเนินการ โดยใช้สมการต้นทุนที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากบริษัทตัวอย่างซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป รวมถึงการเก็บข้อมูลการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือของตารางเดินเรือทุกๆ แบบที่สามารถดำเนินการได้จริง โดยข้อมูลการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือจะใช้เวกเตอร์ที่มีขนาดสมาชิกเท่ากับ “ระยะเวลาของคาบการวางแผนหารด้วยตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของช่วงเวลา” เช่นหากคาบการวางแผนมีระยะเวลา 25 วัน และกำหนดให้ h มีค่าเท่ากับ 24 ชั่วโมง ขนาดของเวกเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือจะมีขนาด 25*24/24 = 25 สมาชิก และถ้ากำหนดให้ h มีค่าเท่ากับ 12 ชั่วโมง ขนาดของเวกเตอร์ดังกล่าวจะมีขนาด 25*24/12 = 50 สมาชิก โดยที่สมาชิกแต่ละตัวจะระบุหมายเลขท่าเรือที่เส้นทางเดินเรือดังกล่าวเข้าใช้ในช่วงเวลาต่างๆตลอดตารางเดินเรือ และจะไม่มีค่า

(Null) สำหรับช่วงเวลาใดๆที่เรือไม่ได้เทียบท่า พิจารณาตารางเดินเรือตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.15 เป็นตารางเดินเรือตัวอย่าง จะพบว่าตารางเดินเรือดังกล่าวจะมีการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือดังที่แสดงในรูป 4.16



รูปที่ 4.16 การเข้าใช้พื้นที่บริเวณท่าเรือของตารางเดินเรือตัวอย่าง

ตารางเดินเรือนอกเหนือจากข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกำหนดการเดินเรือแล้ว ยังประกอบด้วยข้อมูลในส่วนของต้นทุนในการเดินเรือ และข้อมูลการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรืออีกด้วย โดยตารางเดินเรือ 1 ตารางเดินเรือจะประกอบด้วยข้อมูลต่างๆดังนี้

- หมายเลขเรือที่ให้บริการ
- หมายเลขตารางเดินเรือ
- เซตของหมายเลขคำสั่งขนส่งสินค้าที่ให้บริการ
- เซตของหมายเลขทางเลือกในการเดินเรือที่ใช้
- ต้นทุนในการดำเนินการ
- ข้อมูลการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือ

โดยข้อมูลตารางเดินเรือแต่ละส่วนจะถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหา โดยที่เซตของหมายเลขคำสั่งขนส่งสินค้าที่ให้บริการจะถูกนำไปใช้ในการสร้างเงื่อนไขพื้นฐานของแบบจำลองในการแก้ปัญหาแบ่งเซต ต้นทุนดำเนินการจะถูกนำไปใช้คำนวณหาผลกำไรเพื่อใช้เป็นสัมประสิทธ์ของตัวแปรตัดสินใจในสมการวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง ข้อมูลการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือจะถูกใช้ในการสร้างสมการเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ และเซตของหมายเลขคำสั่งขนส่งสินค้าที่ให้บริการ

จะถูกนำไปพิจารณาร่วมกับคำตอบของปัญหา และข้อมูลทางเลือกในการเดินเรือเพื่อใช้แปลผลเฉลยทางคณิตศาสตร์กลับมาเป็นตารางเดินเรือที่สะดวกในการทำความเข้าใจและนำไปใช้ดำเนินการจริง

กระบวนการในการสร้างตารางเดินเรือทั้งหมดที่เป็นไปได้จะเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในลักษณะวนซ้ำ โดยขั้นตอนแต่ละขั้นตอนจะมีลักษณะซ้อนทับกันอยู่ ซึ่งขั้นตอนแต่ละขั้นตอนจะกระทำภายใต้ขั้นตอนที่อยู่ก่อนหน้า โดยจะวนซ้ำจนกระทั่งครบทุกกรณีก่อนจึงจะย้อนกลับไปยังขั้นตอนก่อนหน้า วนซ้ำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนครบทุกกรณีที่เป็นไปได้ ซึ่งแผนภูมิแสดงกระบวนการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมดจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 4.17

4.4 สมการต้นทุนของการเดินเรือสำหรับบริษัทตัวอย่าง

ในขั้นตอนการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมด ข้อมูลในส่วนของต้นทุนดำเนินการเป็นอีกหนึ่งส่วนข้อมูลทีจะถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหาแบบจำลองการแบ่งเซต ซึ่งโครงสร้างของสมการต้นทุนจะมีความแตกต่างกันไปแล้วแต่กรณีศึกษา ซึ่งการที่งานวิจัยนี้ใช้แบบจำลองที่มีพื้นฐานเป็นแบบจำลองการแก้ปัญหาแบ่งเซต ทำให้มีความยืดหยุ่นในการปรับแก้สมการต้นทุนในกรณีที่มีการนำเอาแบบจำลองนี้ไปปรับใช้กับกรณีศึกษาอื่นๆ รวมทั้งยังรองรับโครงสร้างสมการรูปแบบอื่นๆที่ไม่ใช่สมการเชิงเส้นตรงได้ โดยสมการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากการสำรวจ เก็บข้อมูลและสัมภาษณ์จากบริษัทตัวอย่าง โดยมีรายละเอียดดังสมการ 4.17

$$c_r^k = P^D\left(D_l^k T_{r,l}^t + D_b^k T_{r,b}^k + D_w^k (T_{r,ld}^k + T_{r,ul}^k) + m^k (B_l^k T_{r,l}^k + B_b^k T_{r,b}^k)\right)$$
$$+ P^B (B_l^k T_{r,l}^k + B_b^k T_{r,b}^k) + P^L (T_{r,l}^k + T_{r,b}^k)$$
$$+ \sum_{p\in P} F^{kp} W_r^{kp} + \sum_{p\in P} Risk^p I_r^{kp} + O^k (T_{r,l}^k + T_{r,b}^k + \sum_{p\in P} W_r^{kp}) \qquad (4.17)$$

โดยที่

c_r^k คือต้นทุนดำเนินการของตารางเดินเรือ r สำหรับเรือขนส่งสินค้า k

P^D คือราคาน้ำมันดีเซล (บาท/ลิตร)

P^B คือราคาน้ำมันเตา (Bunker Oil) (บาท/ลิตร)

P^L คือราคาน้ำมันหล่อลื่น (Lubricant) (บาท/ชั่วโมง)

O^k คือต้นทุนดำเนินการของเรือขนส่งสินค้า k (บาท/ชั่วโมง)

D_l^k คืออัตราสิ้นเปลืองของการใช้น้ำมันดีเซลของเรือขนส่งสินค้า k สำหรับการเดินเรือเที่ยวหนัก (ลิตร/ชั่วโมง)

D_b^k คืออัตราสิ้นเปลืองของการใช้น้ำมันดีเซลของเรือขนส่งสินค้า k สำหรับการเดินเรือเที่ยวเบา (ลิตร/ชั่วโมง)

D_w^k คืออัตราสิ้นเปลืองของการใช้น้ำมันดีเซลสำหรับรอกยนต์ในการขนถ่ายสินค้าของเรือขนส่งสินค้า k (ลิตร/ชั่วโมง)

B_l^k คืออัตราสิ้นเปลืองของการใช้น้ำมันเตาสำหรับเรือขนส่งสินค้า k สำหรับการเดินเรือเที่ยวหนัก (ลิตร/ชั่วโมง)

B_b^k คืออัตราสิ้นเปลืองของการใช้น้ำมันเตาสำหรับเรือขนส่งสินค้า k สำหรับการเดินเรือเที่ยวเบา (ลิตร/ชั่วโมง)

$T_{r,l}^k$ คือระยะเวลาในการเดินเรือเที่ยวหนักทั้งหมดของเรือขนส่งสินค้า k เมื่อเดินเรือตามตารางเดินเรือ r (ชั่วโมง)

$T_{r,b}^k$ คือระยะเวลาในการเดินเรือเที่ยวเบาทั้งหมดของเรือขนส่งสินค้า k เมื่อเดินเรือตามตารางเดินเรือ r (ชั่วโมง)

$T_{r,ld}^k$ คือระยะเวลาทั้งหมดในการทำงานของรอกยนต์ในการขนส่งสินค้าขึ้นเรือของเรือขนส่งสินค้า k เมื่อเดินเรือตามตารางเดินเรือ r (ชั่วโมง)

$T_{r,ul}^k$ คือระยะเวลาทั้งหมดในการทำงานของรอกยนต์ในการขนส่งสินค้าลงจากเรือ ของเรือขนส่งสินค้า k เมื่อเดินเรือตามตารางเดินเรือ r (ชั่วโมง)

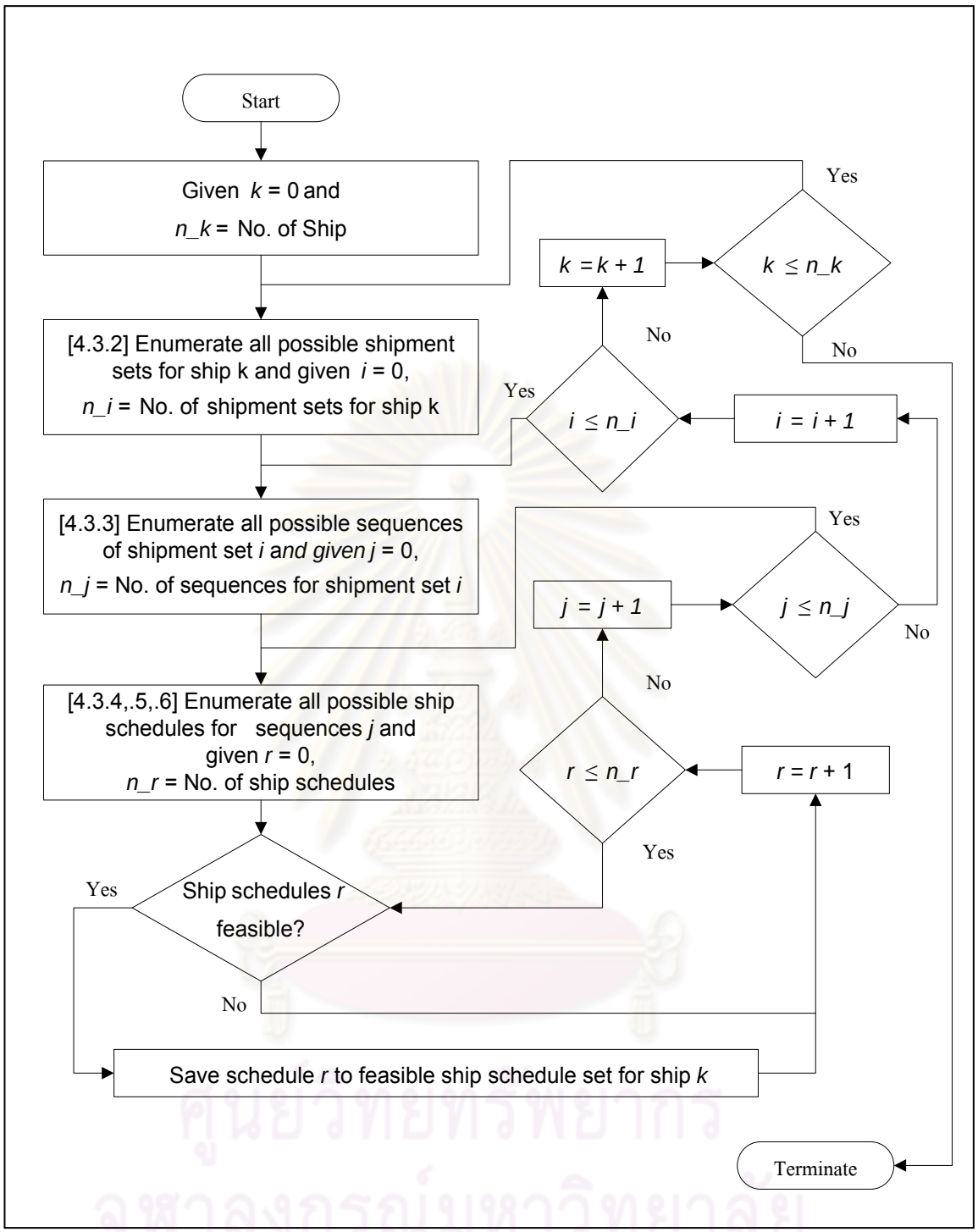
m^k คืออัตราส่วนผสมของน้ำมันดีเซลที่ต้องใช้ผสมลงในน้ำมันเตา 1 ลิตร สำหรับเรือขนส่งสินค้า k

W_r^{kp} คือระยะเวลาจอดเทียบท่าทั้งหมดของเรือขนส่งสินค้า k ที่ท่าเรือ p เมื่อเดินเรือตามตารางเดินเรือ r (ชั่วโมง)

F^{kp} คือต้นทุนดำเนินการในการจอดเทียบท่าของเรือขนส่งสินค้า k ที่ท่าเรือ p (บาท/ชั่วโมง)

I_r^{kp} คือระยะเวลาจอดรอโดยที่ไม่เกิดกิจกรรมของเรือขนส่งสินค้า k ที่ท่าเรือ p เมื่อเดินเรือตามตารางเดินเรือ k (ชั่วโมง)

$Risk^p$ คือต้นทุนความเสี่ยงของการจอดรอโดยไม่เกิดกิจกรรมที่ท่าเรือ p (บาท/ชั่วโมง)



รูปที่ 4.17 แผนภูมิแสดงกระบวนการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมด

จากสมการ 4.16 พจน์ที่ 1 ของสมการคือ ต้นทุนในส่วนของน้ำมันดีเซล ซึ่งจะประกอบด้วย ต้นทุนน้ำมันดีเซลสำหรับการเดินเรือเที่ยวหนัก การเดินเรือเที่ยวเบา การเดินเครื่องรอกยนต์ในการขนถ่ายสินค้า และน้ำมันดีเซลสำหรับใช้ผสมกับน้ำมันเตาตามลำดับ พจน์ที่ 2 ของสมการคือต้นทุนในส่วนของน้ำมันเตา ซึ่งจะประกอบด้วย ต้นทุนน้ำมันเตาสำหรับการเดินเรือเที่ยว

หนัก และการเดินเรือเที่ยวเบาตามลำดับ สำหรับพจน์ที่ 3 ของสมการคือต้นทุนของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งจะพิจารณาอัตราสิ้นเปลืองเทียบกับระยะเวลาที่ทำการเดินเรือ สำหรับพจน์ที่ 4 ของสมการคือต้นทุนในการเข้าจอดเทียบท่าเรือ โดยจะพิจารณาช่วงเวลาทั้งหมดที่เข้าเทียบท่าเรือและต้นทุนต่อชั่วโมงในส่วนนี้จะครอบคลุมค่าธรรมเนียมการเข้าเทียบท่า (ในกรณีที่มี) ต้นทุนพลังงานซึ่งอาจอยู่ในรูปของเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องปั่นไฟ หรือกระแสไฟฟ้าที่ต้องจ่ายให้กับท่าเรือ รวมทั้งต้นทุนอื่นๆที่เกิดขึ้นจากการเข้าเทียบท่าพิจารณาเทียบเป็นต้นทุนต่อชั่วโมง สำหรับพจน์ที่ 5 คือต้นทุนที่เกิดจากการจอดรอโดยไม่เกิดกิจกรรม โดยต้นทุนต่อชั่วโมงในส่วนนี้จะได้จากการประเมินโดยผู้ประกอบการซึ่งต้นทุนในส่วนนี้จะขึ้นกับคุณสมบัติของท่าเรือเท่านั้น โดยท่าเรือที่อยู่ห่างไกลตั้งอยู่ในเขตมรสุม หรือมีความเสี่ยงจะเกิดอุบัติเหตุสูง จะมีต้นทุนในส่วนนี้สูงตามไปด้วย และพจน์ที่ 6 คือต้นทุนในการดำเนินการของการเดินเรือขนส่งสินค้า โดยจะพิจารณาจากระยะเวลาในการเดินทั้งหมดของเรือขนส่งสินค้า

ในการพิจารณาต้นทุนจะเกิดขึ้นควบคู่ไปกับการจำลองสถานการณ์เดินเรือเพื่อตรวจสอบความสอดคล้องของตารางเดินเรือว่าสามารถดำเนินการได้จริงหรือไม่และกระบวนการพิจารณาการเข้าใช้พื้นที่ท่าเรือ ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างสมการต้นทุนจะสามารถเปลี่ยนแปลงได้ในขั้นตอนนี้โดยไม่เกี่ยวข้องกับการหาผลเฉลยของแบบจำลอง อีกทั้งความซับซ้อนของโครงสร้างสมการต้นทุนจะไม่ส่งผลถึงความซับซ้อนของการแก้ปัญหา อีกทั้งยังรองรับโครงสร้างสมการที่ไม่ใช่สมการเส้นตรง เช่น สมการต้นทุนที่มีลักษณะเป็นขั้นบันได เป็นต้น

4.5 กระบวนการหาผลเฉลยของแบบจำลองคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้จะอาศัยการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการหาผลเฉลยของปัญหาทั้งในส่วนของการจัดการข้อมูล การสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และการหาผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคือ ภาษา C# พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual C# 2008 รวมกับโปรแกรม ILOG CPLEX 12.1 (Academic version) ซึ่งเป็นออฟติไมเซชั่นซอฟแวร์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่มีความน่าเชื่อถือและสามารถการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้

เนื่องจากแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้มีพื้นฐานมาจากแบบจำลองแก้ปัญหาการแบ่งเซตที่มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก แต่มีจำนวนสมการเงื่อนไขน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนตัวแปรตัดสินใจ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือเพิ่มเติมจากกลุ่มสมการเงื่อนไขพื้นฐานของแบบจำลองแบ่งเซต ซึ่งจะ

ส่งผลให้แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีปริมาณตัวแปรตัดสินใจและจำนวนสมการเงื่อนไขจำนวนมาก ส่งผลให้วิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการธรรมดาใช้เวลานาน และทรัพยากรหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหามีไม่เพียงพอ ทำให้วิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีธรรมดาไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้

วิธีหาผลเฉลยด้วยวิธีกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถว

เทคนิคที่งานวิจัยนี้นำมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลย คือเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถวทั้งในส่วนของการแก้ปัญหากำหนดการเชิงเส้น(Linear Programming) เพื่อกำหนดขอบเขต (Bound) และในการแก้ปัญหากำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) เพื่อหาผลเฉลยของปัญหา โดยแผนภูมิแสดงกระบวนการหาผลเฉลยตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.18 และมีรายละเอียดดังนี้

1. กำหนดให้ I1 คือแบบจำลองขนาดเต็ม (Master Problem - MP) ที่ทำการผ่อนคลายเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ
2. กำหนดให้ I2 คือแบบจำลองจำกัดขนาด (Restricted Master Problem) ของแบบจำลอง I1 ที่มีกลุ่มตัวแปรตัดสินใจที่ได้จากการสุ่มจากกลุ่มตัวแปรตัดสินใจทั้งหมดของแบบจำลอง I1
3. กำหนดให้ L2 คือแบบจำลองผ่อนคลายเชิงเส้น (Linear Relaxation Model) ของแบบจำลอง I2
4. ทำการแก้ปัญหา L2 เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด
5. ทำการคำนวณหากำไรส่วนเพิ่ม (Marginal Profit) ของตัวแปรตัดสินใจทั้งหมดใน I1 เพื่อหาตัวแปรตัดสินใจที่มีกำไรส่วนเพิ่มเป็นบวก โดยกำไรส่วนเพิ่มสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.18

$$\overline{MP}_c = C_c - (y^*)^T a \qquad (4.18)$$

โดยที่ $\overline{MP}_c$ คือกำไรส่วนเพิ่มของตัวแปรตัดสินใจ c

C_c คือค่าสัมประสิทธิ์ของตัวแปรตัดสินใจ c

y^* คือเวกเตอร์ราคาเงาของสมการเงื่อนไข

a คือเวกเตอร์สัมประสิทธิ์สำหรับกลุ่มสมการเงื่อนไขของตัวแปรตัดสินใจ c

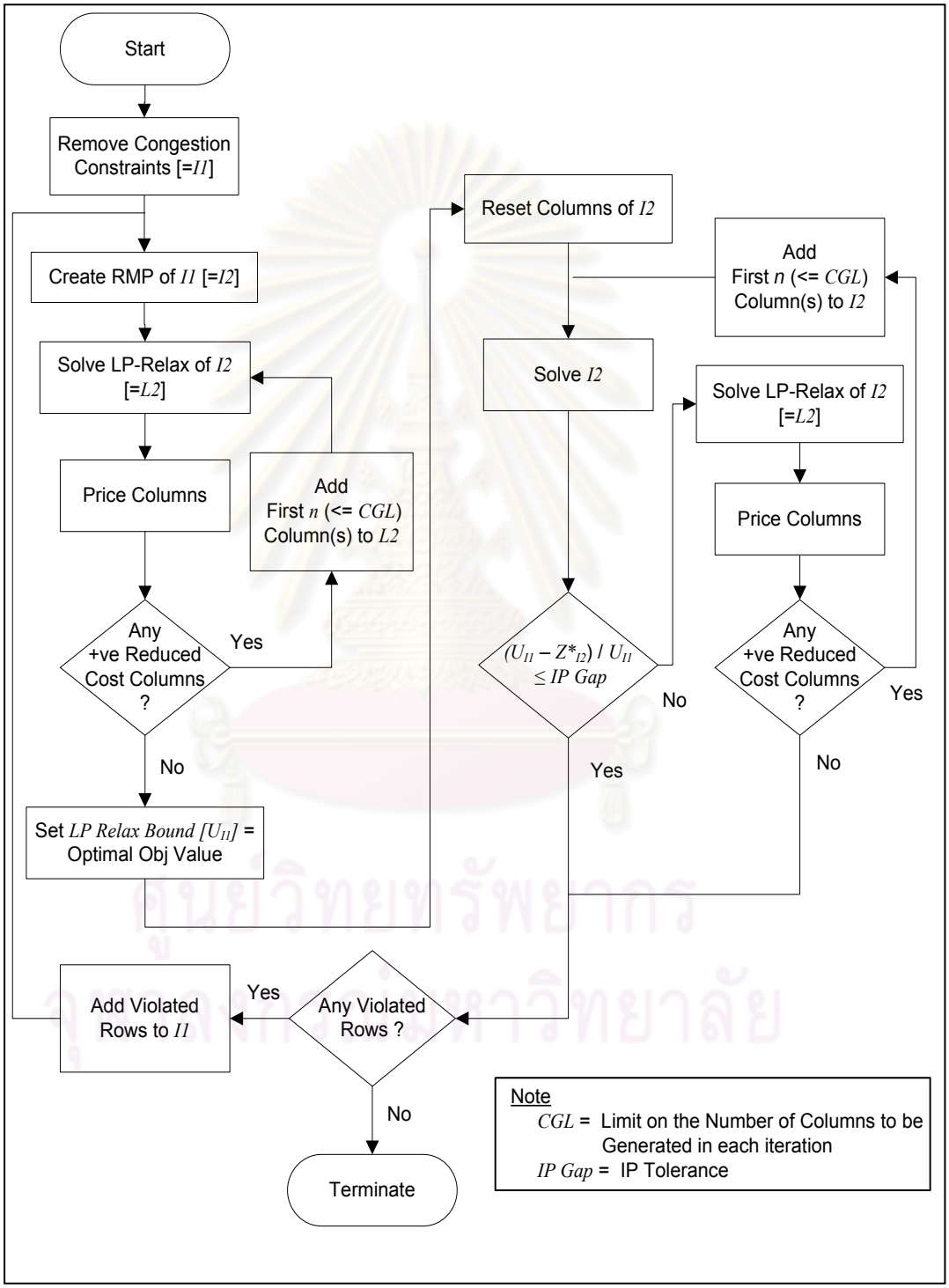
6. หากจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่มีกำไรส่วนเพิ่มเป็นบวก มีค่ามากกว่าขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์ (Column Generation Limit - CGL) ให้ทำการพิจารณาหาตัวแปรตัดสินใจที่มีต้นทุนส่วนเพิ่มมากที่สุด n ลำดับแรกเพื่อเพิ่มเข้าสู่แบบจำลอง L2 เมื่อ n = ขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์
7. วนซ้ำขั้นตอนที่ 4 ถึง 6 จนไม่พบตัวแปรตัดสินใจที่มีกำไรส่วนเพิ่มเป็นบวก
8. กำหนด LP Relax Bound (U_{L1}) ให้มีค่าเท่ากับผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จากขั้นตอน 4-6
9. ทำการเพิ่มตัวแปรตัดสินใจที่มีผลเฉลยมากกว่าศูนย์จากการแก้ปัญหา L2 เข้าสู่ I2
10. ทำการแก้ปัญหา I2 เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด
11. พิจารณาผลเฉลยที่ได้จากข้อ 10 เปรียบเทียบกับขอบเขตบนที่ได้จากการหาผลเฉลยแบบผ่อนคลายเชิงเส้น (U_{L1}) หากผลเฉลยที่ได้มีค่าร้อยละของความต่างน้อยกว่า IP Gap ให้ข้ามไปยังขั้นตอนที่ 17 พิจารณาโดยใช้สมการ 4.19

$$\frac{(U_{L1} - Z^*_{I2})}{U_{L1}} \leq IP_Gap \qquad (4.19)$$

12. กำหนดให้ L2 คือแบบจำลองผ่อนคลายเชิงเส้น (Linear Relaxation Model) ของแบบจำลอง I2
13. ทำการแก้ปัญหา L2 เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด
14. ทำการคำนวณหากำไรส่วนเพิ่มของตัวแปรตัดสินใจทั้งหมดใน I1 เพื่อหาตัวแปรตัดสินใจที่มีต้นทุนส่วนเพิ่มเป็นบวก
15. หากจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่มีต้นทุนส่วนเพิ่มเป็นบวก มีค่ามากกว่าขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์ ให้ทำการพิจารณาหาตัวแปรตัดสินใจที่มีต้นทุนส่วนเพิ่มมากที่สุด n ลำดับแรกเพื่อเพิ่มเข้าสู่แบบจำลอง I2 เมื่อ n = ขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์
16. วนซ้ำขั้นตอนที่ 10 ถึง 15 จนไม่พบตัวแปรตัดสินใจที่มีต้นทุนลดเป็นบวก
17. ทำการพิจารณาผลเฉลยว่ามีการฝ่าฝืนเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณเท่าเรือหรือ หากพบว่ามีให้ทำการเพิ่มเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือที่ผลเฉลยทำการฝ่าฝืนเข้าสู่

แบบจำลอง I1 แล้วย้อนกลับไปขั้นตอนที่ 2 หากพบว่าไม่มีการฝ่าฝืนเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ ผลเฉลยของแบบจำลอง I2 คือผลเฉลยของปัญหา

18. สิ้นสุดกระบวนการหาผลเฉลยของปัญหา



รูปที่ 4.18 แผนภูมิแสดงกระบวนการหาผลเฉลยด้วยวิธีกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถว

บทที่ 5

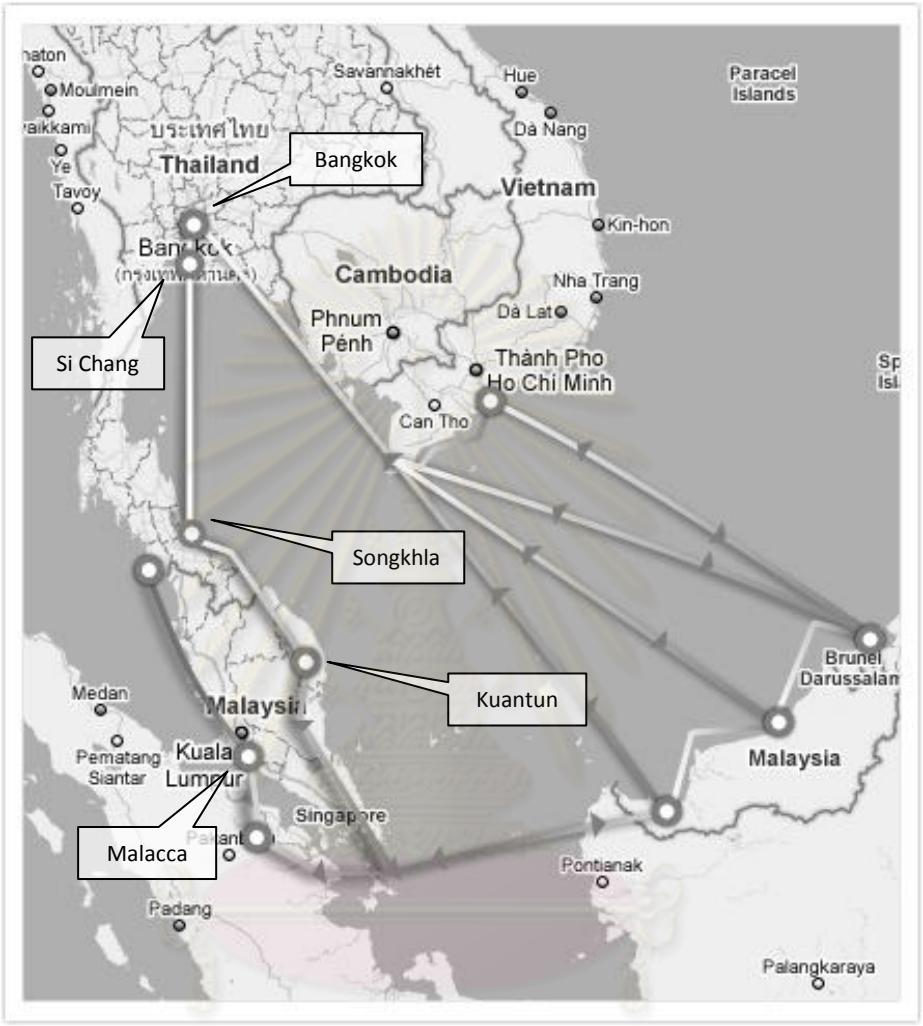
ผลการทดสอบแบบจำลองและวิธีการแก้ปัญหา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาที่ได้ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้ถูกนำมาทดสอบโดยใช้ชุดปัญหา 2 ส่วนคือ ชุดปัญหาที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นจากพื้นฐานข้อมูลจริงรวมทั้งได้ผ่านการตรวจสอบความสมเหตุสมผลจากผู้ดำเนินการเดินเรือจริงเพื่อใช้ทดสอบลักษณะและประสิทธิภาพของแบบจำลอง สำหรับชุดปัญหาอีกส่วนจะเป็นชุดปัญหาที่ได้จากการดำเนินการจริงในอดีตของบริษัทตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบความถูกต้องและประสิทธิภาพของผลเฉลย โดยที่ชุดปัญหาแต่ละชุดจะมีความแตกต่างกันในด้านขนาดของปัญหา และการมีเงื่อนไขบังคับต่างๆ การทดสอบได้ใช้คอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผล Intel Centrino 2 ความเร็ว 2.66 GHz โดยมีหน่วยความจำ 3 GB และใช้ซอฟท์แวร์ Microsoft Visual Studio 2008 ในการพัฒนาโปรแกรมทั้งในส่วนของการจัดการข้อมูล การสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และการเรียกใช้งานฟังก์ชันจากซอฟท์แวร์ ILOG CPLEX 12.1 ซึ่งเป็นไลบรารีของซอฟแวร์ออฟติไมเซชั่นที่สามารถเรียกใช้งานได้

5.1 รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง

ชุดปัญหาที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลองนั้น จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ชุดปัญหาที่ถูกสร้างขึ้นโดยมีพื้นฐานมาจากโครงข่ายการขนส่งสินค้าของบริษัทตัวอย่าง รวมทั้งข้อมูลในส่วนของอุปสงค์ในการขนส่งสินค้าที่ดัดแปลงมาจากข้อมูลอุปสงค์ที่เกิดขึ้นจริงในอดีต และข้อมูลทางกายภาพของท่าเรือและเรือเรือขนส่งสินค้าล้วนจำลองขึ้นจากข้อมูลจริงทั้งสิ้น และชุดข้อมูลชุดสุดท้ายคือ ชุดข้อมูลจริงที่เคยดำเนินการในอดีตของบริษัทตัวอย่าง โดยท่าเรือหลักที่บริษัทดังกล่าวให้บริการอยู่เป็นประจำนั้นจะประกอบด้วยท่าต้นทางและปลายทาง 5 แห่ง ได้แก่ท่าเรือกรุงเทพ (BKK), ท่าเรือเกาะสีชัง (SC), ท่าเรือสงขลา (SK) ท่าเรือกวนตันในประเทศมาเลเซีย (KT) และท่าเรือมะละกาในประเทศมาเลเซีย (MLC) ซึ่งกลุ่มท่าเรือดังกล่าวจะตั้งภายในบริเวณอ่าวไทย นอกจากนี้บริษัทดังกล่าวไม่มีการกำหนดตารางเดินเรือที่ตายตัวดังนั้นการให้บริการขนส่งสินค้าที่มี

ท่าเรือต้นทางและปลายทางอื่นๆ ก็ยังสามารถกระทำได้ ดังที่แสดงในรูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นแผนที่แสดงรายละเอียดท่าเรือต้นทางและปลายทางซึ่งบริษัทให้บริการอยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 5.1 ท่าเรือต้นทางและปลายทางที่บริษัทให้บริการอยู่ในปัจจุบัน

ในส่วนของชุดปัญหาจำลอง ผู้วิจัยได้อาศัยการสัมภาษณ์และเก็บข้อมูลจากบริษัทตัวอย่างในการจำลองชุดปัญหาดังกล่าว โดยชุดปัญหาจำลองจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ ชุดปัญหาจำลองที่มีขนาดเล็กสำหรับใช้ศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง และชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติที่มีความสอดคล้องกับการดำเนินงานจริง เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองภายใต้สถานการณ์และเงื่อนไขในการหาผลเฉลยที่หลากหลาย

สำหรับชุดปัญหาจำลองขนาดเล็กที่ใช้ศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง จะแบ่งออกเป็น 4 ชุดปัญหา ซึ่งแต่ละชุดปัญหาจะแบ่งเป็น 6 ชุดปัญหาย่อย โดยแต่ละชุดปัญหาย่อยจะมีการควบคุม

ปัจจัยต่างๆเพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆของปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 รายละเอียดชุดปัญหาจำลองที่ใช้ในการทดสอบแบบจำลอง

ชุดปัญหาที่	ปัจจัยที่ทำการแปรผัน
A-1	จำนวนเรือขนส่งสินค้า
A-2	จำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า
A-3	จำนวนท่าเรือต้นทาง/ปลายทาง
A-4	ช่วงเวลารอคอยสูงสุดเฉลี่ยของคำสั่งขนส่งสินค้า

ในส่วนของชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติจะประกอบด้วย 5 ชุดปัญหา ซึ่งมีรายละเอียดแตกต่างกันออกไปทั้งในส่วนของจำนวนและลักษณะอุปสงค์ในการขนส่งสินค้า ลักษณะเรือและคาบเวลาในการวางแผน โดยชุดข้อมูลทั้ง 5 ชุด จะถูกนำไปวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน รวมทั้งระดับความละเอียดในการวิเคราะห์

สำหรับชุดปัญหาที่เป็นข้อมูลการดำเนินการจริงในอดีต จะประกอบด้วยชุดปัญหา 3 ชุดปัญหา ที่มีความแตกต่างกันในส่วนของจำนวนและลักษณะอุปสงค์ในการขนส่งสินค้า ลักษณะเรือขนส่งสินค้า รวมทั้งคาบเวลาในการวางแผน โดยจุดประสงค์ของการทดสอบชุดข้อมูลเหล่านี้คือการวัดประสิทธิภาพของแบบจำลองเทียบกับข้อมูลการดำเนินการจริงในอดีต

5.2 ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดปัญหาที่มีขนาดเล็กเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง

ในขั้นตอนการหาผลเฉลยด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีพื้นฐานมาจากแบบจำลองแก้ปัญหาแบ่งเซต (Set Partitioning Problem) จะต้องเริ่มต้นจากกระบวนการสร้างผลเฉลยที่เป็นไปได้ (Candidate Solution) ในงานวิจัยนี้ ผลเฉลยที่เป็นไปได้คือ ตารางเดินเรือที่เป็นเป็นไปได้ทั้งหมดของเรือทุกๆ ลำซึ่งได้จากกระบวนการแจกแจงด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นมาโดยเฉพาะ โดยจำนวนผลเฉลยที่เป็นไปได้ที่สร้างขึ้นมานั้นจะเท่ากับจำนวนตัวแปรทั้งหมดของแบบจำลองขนาดเต็ม ซึ่งจำนวนของผลเฉลยที่เป็นไปได้จะแตกต่างกันไปแล้วแต่ลักษณะของชุดปัญหาที่ทำการทดสอบ

อนึ่งการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดปัญหาที่มีขนาดเล็กสำหรับใช้ศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง จะเป็นการแก้ปัญหาโดยไม่ใช้เทคนิคในการหาผลเฉลยเพื่อช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพ เนื่องจากต้องการศึกษาพฤติกรรมในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และพฤติกรรมการแก้ปัญหาของแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรต่างๆ ในการแก้ปัญหาเป็นหลัก

5.2.1 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-1 – แปรผันจำนวนเรือขนส่งสินค้า

ผลการทดสอบชุดปัญหา A-1 เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนเรือขนส่งสินค้า โดยรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 5.2

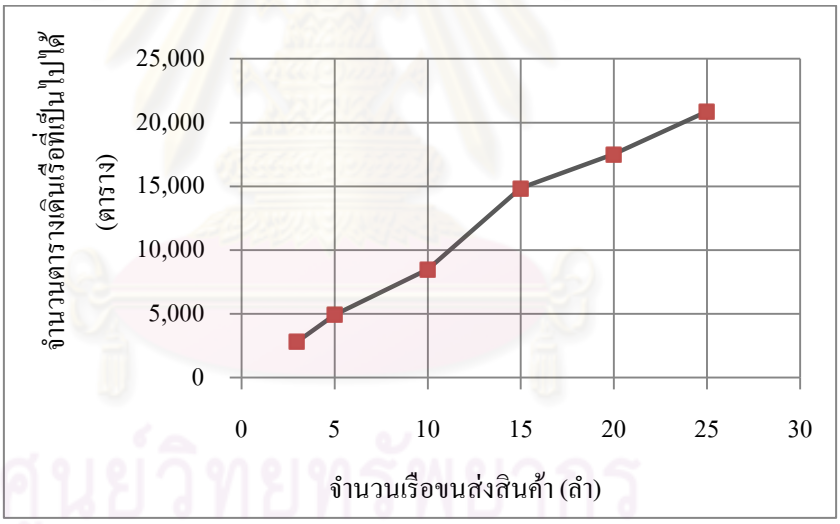
ตารางที่ 5.2 รายละเอียดของชุดปัญหา A-1

ชุดปัญหา A-1	ชุดปัญหาย่อย#					
	A-1.1	A-1.2	A-1.3	A-1.4	A-1.5	A-1.6
จำนวนเรือ (ลำ)	3	5	10	15	20	25
จำนวนท่าเรือ (ท่าเรือ)	4	4	4	4	4	4
คำสั่งขนส่งสินค้า (คำสั่ง)	15	15	15	15	15	15
ช่วงเวลารอคอยเฉลี่ยของคำสั่งขนส่งสินค้า (ชั่วโมง)	72	72	72	72	72	72

ชุดปัญหา A-1 เป็นชุดปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนเรือขนส่งสินค้าในแต่ละชุดปัญหาย่อย โดยมีจำนวนเรือขนส่งสินค้าตั้งแต่ 3 ลำ จนถึง 25 ลำ โดยที่ปัจจัยอื่นๆในการวิเคราะห์จะถูกกำหนดให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกๆชุดปัญหาย่อย โดยผลการทดสอบมีรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 5.3 พิจารณาเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับจำนวนเรือขนส่งสินค้าที่ทำเพิ่มขึ้น โดยแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง จำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ เวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาเทียบกับจำนวนเรือขนส่งสินค้าถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5.2, 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-1

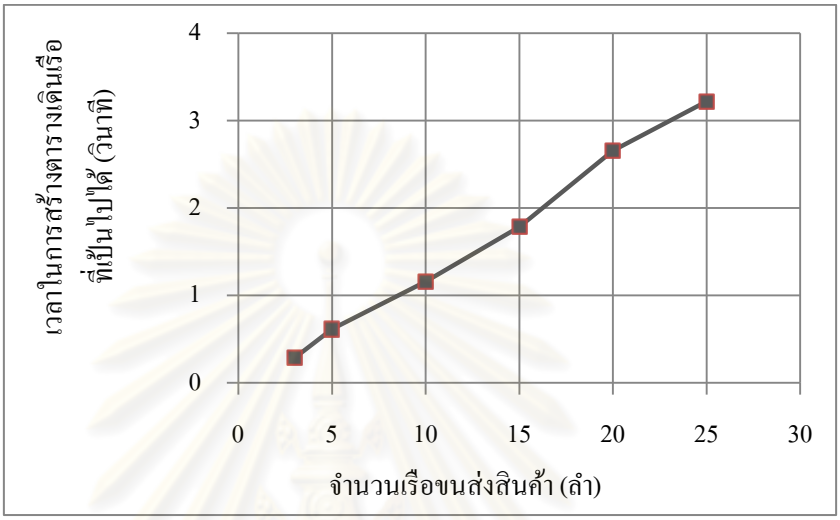
ชุดปัญหา A-1	ชุดปัญหาย่อย#					
	A-1.1	A-1.2	A-1.3	A-1.4	A-1.5	A-1.6
จำนวนเส้นทางเดินเรือที่เป็นไปได้ (เส้นทาง)	2,822	3,931	7,496	13,863	16,521	20,858
เวลาในการสร้างเซต (วินาที)	0.287	0.617	1.158	1.783	2.657	3.22
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ	2,822	3,931	7,496	13,863	16,521	20,858
จำนวนสมการเงื่อนไข	78	80	85	90	95	105
เวลาในการแก้ปัญหา (วินาที)	0.033	0.047	0.085	0.156	0.250	0.370



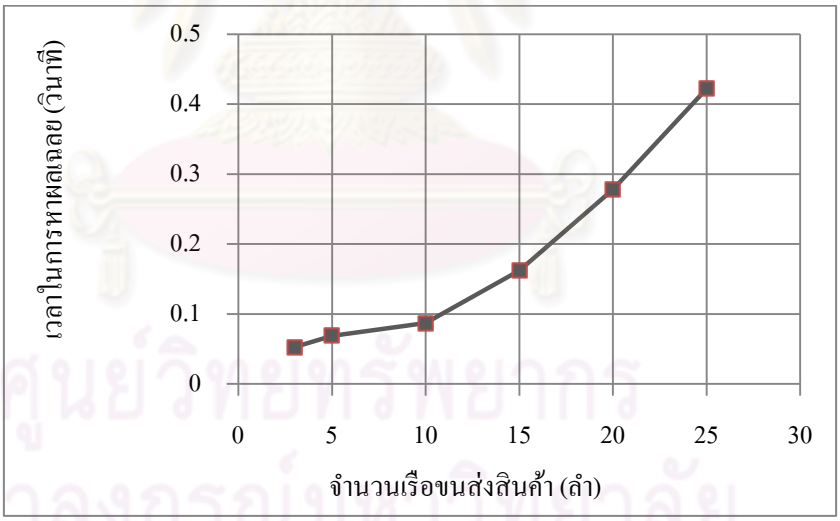
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และจำนวนเรือขนส่งสินค้า

พิจารณาจากรูปที่ 5.2 และ 5.3 จะพบว่าจำนวนตารางเดินเรือและเวลาที่ใช้ในการสร้างเดินเรือที่เป็นไปได้จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณเรือในลักษณะความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง เนื่องจากกระบวนการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ของเรือขนส่งสินค้าแต่ละลำมีลักษณะเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น หากปัจจัยอื่นๆ ในการพิจารณาไม่มีการเปลี่ยนแปลง จำนวนเรือขนส่งสินค้าที่เพิ่มขึ้นมานั้นจะทำให้เกิดตารางเดินเรือที่มีลักษณะซ้ำเดิมหรือใกล้เคียงกันกับเรือลำอื่นๆ ที่มีมาอยู่ก่อน ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และเวลาที่ใช้ในการสร้างเพิ่มขึ้นในปริมาณใกล้เคียงกับ

จำนวนเท่าของเรือขนส่งสินค้าที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนเรือและเวลาในการแก้ปัญหา พิจารณาจากรูปที่ 5.4 จะพบว่ามีลักษณะเป็นความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล เนื่องจากตัวแปรตัดสินใจในแบบจำลองมีจำนวนมากขึ้น



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือและจำนวนเรือขนส่งสินค้า



รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและจำนวนเรือขนส่งสินค้า

5.2.2 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-2 แปรผันจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า

ผลการทดสอบชุดปัญหา A-2 ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนเรือขนส่งสินค้า โดยรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 รายละเอียดของชุดปัญหา A-2

ชุดปัญหา A-2	ชุดปัญหาย่อย#					
	A-2.1	A-2.2	A-2.3	A-2.4	A-2.5	A-2.6
จำนวนเรือ (ลำ)	10	10	10	10	10	10
จำนวนท่าเรือ (ท่าเรือ)	4	4	4	4	4	4
คำสั่งขนส่งสินค้า (คำสั่ง)	5	10	12	15	17	20
ช่วงเวลารอคอยเฉลี่ยของคำสั่งขนส่งสินค้า (ชั่วโมง)	72	72	72	72	72	72

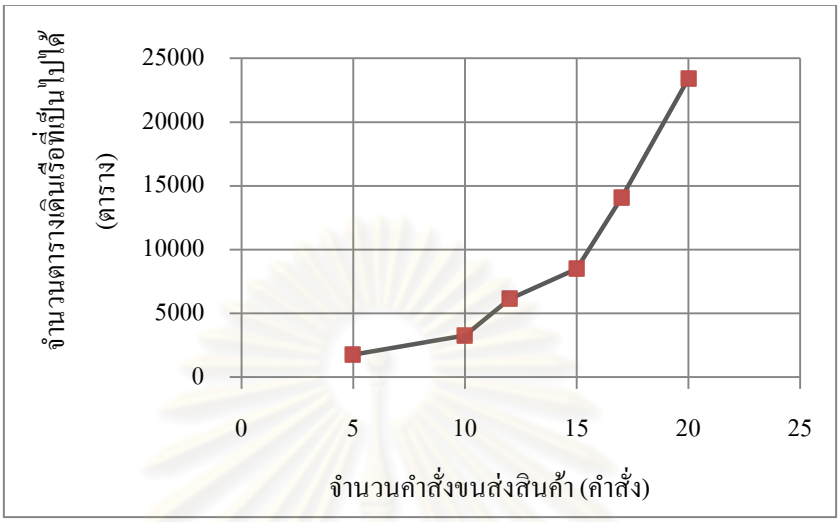
ชุดปัญหา A-2 เป็นชุดปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าในแต่ละชุดปัญหาย่อย โดยมีจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าตั้งแต่ 5 คำสั่ง จนถึง 20 คำสั่ง โดยที่ปัจจัยอื่นๆ ในการวิเคราะห์จะถูกกำหนดให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกๆ ชุดปัญหาย่อย โดยผลการทดสอบมีรายละเอียดที่แสดงในตาราง 5.5

ตารางที่ 5.5 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-2

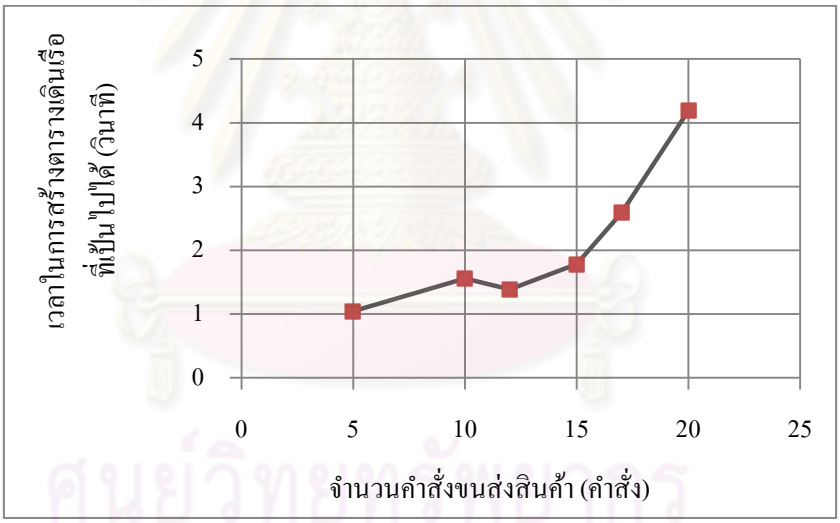
ชุดปัญหา A-2	ชุดปัญหาย่อย#					
	A-2.1	A-2.2	A-2.3	A-2.4	A-2.5	A-2.6
จำนวนเส้นทางเดินเรือที่เป็นไปได้ (เส้นทาง)	2,822	3,931	7,496	13,863	16,521	20,858
เวลาในการสร้างเซต (วินาที)	0.287	0.617	1.158	1.783	2.657	3.22
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ	2,822	3,931	7,496	13,863	16,521	20,858
จำนวนสมการเงื่อนไข	78	80	85	90	95	105
เวลาในการแก้ปัญหา (วินาที)	0.033	0.047	0.085	0.156	0.250	0.370

พิจารณาผลการทดสอบจากตารางที่ 5.5 พบว่า เวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหามีค่าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกับจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าที่เพิ่มขึ้น โดยแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และเวลา

ที่ใช้ในการแก้ปัญหาเทียบกับจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5.5, 5.6 และ 5.7 ตามลำดับ



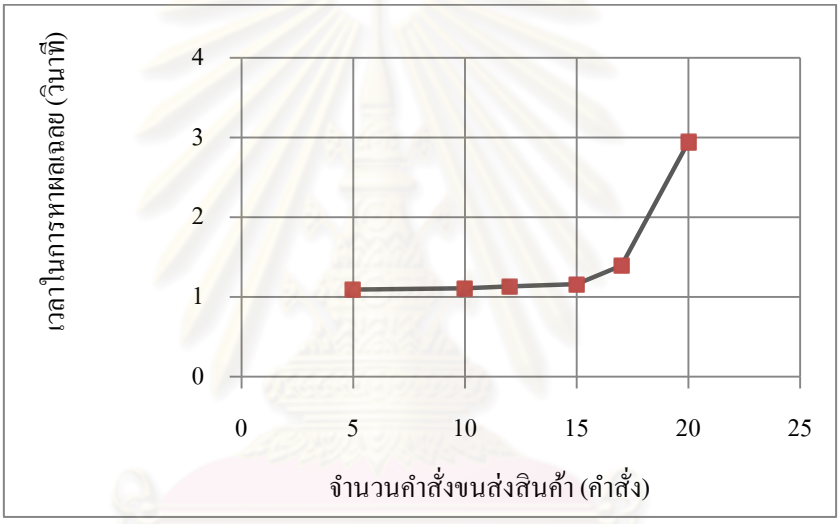
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือและจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า

พิจารณาจากรูปที่ 5.5 และ 5.6 จะพบว่าจำนวนตารางเดินเรือและเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้จะมีความสัมพันธ์กับจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าในลักษณะความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล เนื่องจากคำสั่งขนส่งสินค้าที่เพิ่มขึ้นมานั้นจะส่งผลโดยตรงกับกระบวนการแจกแจงกลุ่มอุปสงค์ที่เลือกให้บริการของเรือคนส่งสินค้าทุกๆ ลำ กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการแจกแจงที่อยู่ในลำดับแรกสุดของกระบวนการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ ซึ่งจะส่งผลกระทบทำให้กระบวนการแจกแจงในลำดับต่อๆมา มีปริมาณทางเลือกเพิ่มมากขึ้น ดังนั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตารางเดินเรือและเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้เทียบกับปริมาณคำสั่งขนส่งสินค้าจึงเป็นความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าและเวลาในการแก้ปัญหา เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5.7 จะพบว่ามีลักษณะเป็นความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียลที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นของเวลาในการแก้ปัญหาสูงกว่า เมื่อเทียบกับความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตารางเดินเรือและเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือเทียบกับปริมาณคำสั่งขนส่งสินค้า เนื่องจากจำนวนตัวแปรตัดสินใจของการแบบจำลองมีการเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียล ส่งผลให้เวลาในการแก้ปัญหามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเช่นเดียวกัน



รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า

5.2.3 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-3 – แปรผันจำนวนเรือท่าเรือต้นทาง/ปลายทาง

ผลการทดสอบชุดปัญหา A-3 ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวนท่าเรือต้นทางและปลายทาง รายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 5.6 โดยชุดปัญหา A-3 เป็นชุดปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนท่าเรือต้นทางและท่าเรือปลายทางในแต่ละชุดปัญหาย่อย ซึ่งมีจำนวนท่าเรือต้นทางและท่าเรือปลายทางตั้งแต่ 4 ท่าเรือจนถึง 14 ท่าเรือ โดยที่ปัจจัยอื่นๆในการวิเคราะห์จะถูกกำหนดให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกๆ ชุดปัญหาย่อย ผลการทดสอบมีรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 5.7

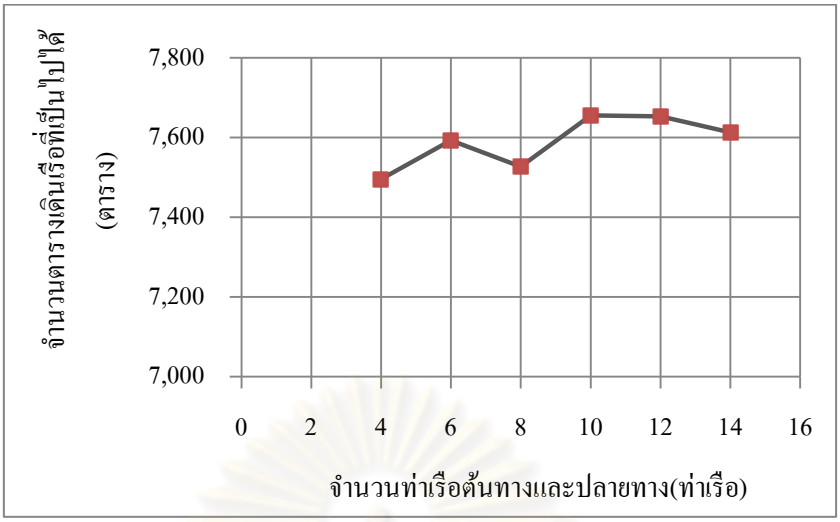
ตารางที่ 5.6 รายละเอียดของชุดปัญหา A-3

กรณีศึกษาที่ A-3	A-3.1	A-3.2	A-3.3	A-3.4	A-3.5	A-3.6
จำนวนเรือ (ลำ)	10	10	10	10	10	10
จำนวนท่าเรือ (ท่าเรือ)	4	6	8	10	12	14
คำสั่งขนส่งสินค้า (คำสั่ง)	15	15	15	15	15	15
ช่วงเวลารอคอยเฉลี่ยของคำสั่งขนส่งสินค้า (ชั่วโมง)	72	72	72	72	72	72

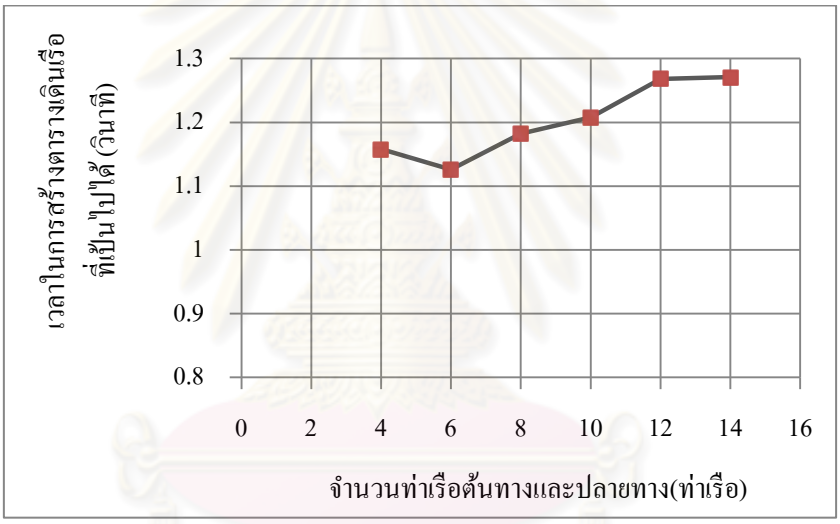
ตารางที่ 5.7 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-3

ชุดปัญหา A-3	ชุดปัญหาย่อย#					
	A-3.1	A-3.2	A-3.3	A-3.4	A-3.5	A-3.6
จำนวนเส้นทางเดินเรือที่เป็นไปได้ (เส้นทาง)	7,496	7,593	7527	7,656	7,653	7,613
เวลาในการสร้างเซต (วินาที)	1.158	1.126	1.182	1.208	1.268	1.271
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ	7,496	7,593	7527	7,656	7,653	7,613
จำนวนสมการเงื่อนไข	85	115	145	175	205	235
เวลาในการแก้ปัญหา (วินาที)	0.085	0.082	0.113	0.124	0.125	0.111

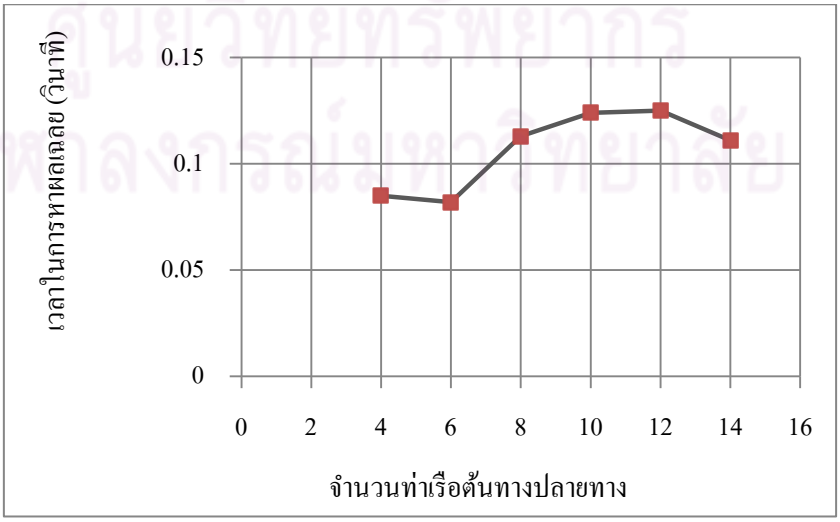
พิจารณาผลการทดสอบจากตารางที่ 5.7 พบว่า จำนวนเส้นทางเดินเรือที่เป็นไปได้ เวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหามีค่าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางที่ไม่แน่นอนและไม่สอดคล้องกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของจำนวนท่าเรือต้นทางและท่าเรือปลายทาง โดยแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาเทียบกับจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5.8, 5.9 และ 5.10 ตามลำดับ



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และจำนวนท่าเรือต้นทางและปลายทาง



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือและจำนวนท่าเรือต้นทางและปลายทาง



รูปที่ 5.10 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและจำนวนท่าเรือต้นทางและปลายทาง

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ เวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้เทียบกับจำนวนท่าเรือต้นทางและปลายทางของคำสั่งขนส่งสินค้า ตามที่แสดงในรูปที่ 5.8 และ 5.9 ตามลำดับ จะพบว่าลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงที่มีค่าความชันน้อย เนื่องจากคำสั่งขนส่งสินค้าที่ทำการพิจารณาจะถูกกำหนดท่าเรือต้นทางและท่าเรือปลายทางที่แน่นอนอยู่ก่อนแล้ว ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของท่าเรือที่ให้บริการจึงไม่ใช่การเพิ่มขึ้นของทางเลือกที่เป็นไปได้ในกระบวนการสร้างตารางเดินเรือ และความผันแปรที่เกิดขึ้นของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้นั้น มีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลทั่วไปของท่าเรือ

ในส่วนของเวลาในการหาผลเฉลยของปัญหาซึ่งจะขึ้นกับจำนวนตัวแปรตัดสินใจ หรือในที่นี้ คือตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังนั้น หากความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้กับปริมาณท่าเรือมีลักษณะเป็นเส้นตรงที่มีความชันน้อย แนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยน่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนท่าเรือต้นทางและปลายทางมีมากขึ้น อย่างไรก็ดี จากที่รูปที่ 5.10 พบว่า เมื่อจำนวนท่าเรือมีมากขึ้นเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลี่ยมีแนวโน้มลดลง สมมุติฐานที่คาดว่าจะเป็นสาเหตุของการลดลงของเวลาในการหาผลเฉลยคือ การที่ชุดปัญหาดังกล่าวถูกเพิ่มจำนวนท่าเรือต้นทางและท่าเรือปลายทางในการขนส่งสินค้า แต่ไม่ได้มีการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการให้บริการของท่าเรือและจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า ทำให้การเพิ่มขึ้นของจำนวนท่าเรือในการขนส่งสินค้าเป็นสาเหตุให้เงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือมีความผ่อนคลายมากขึ้น และทำให้เวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยมีค่าลดลง

5.2.4 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-4 – แปรผันความกว้างของกรอบเวลา

ผลการทดสอบชุดปัญหา A-4 ซึ่งเป็นการทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงความกว้างของกรอบเวลาในการขนส่งสินค้า โดยข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบถูกแสดงอยู่ในตารางที่ 5.8 โดยชุดปัญหา A-4 เป็นชุดปัญหาที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของกรอบเวลาเฉลี่ยในการส่งสินค้าสำหรับแต่ละชุดปัญหาย่อย ซึ่งขนาดของกรอบเวลาเฉลี่ยจะมีค่าตั้งแต่ 24 ชั่วโมงจนถึง 96 ชั่วโมง โดยที่ปัจจัยอื่นๆในการวิเคราะห์จะถูกกำหนดให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทุกๆชุดปัญหาย่อย ผลการทดสอบมีรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 5.9

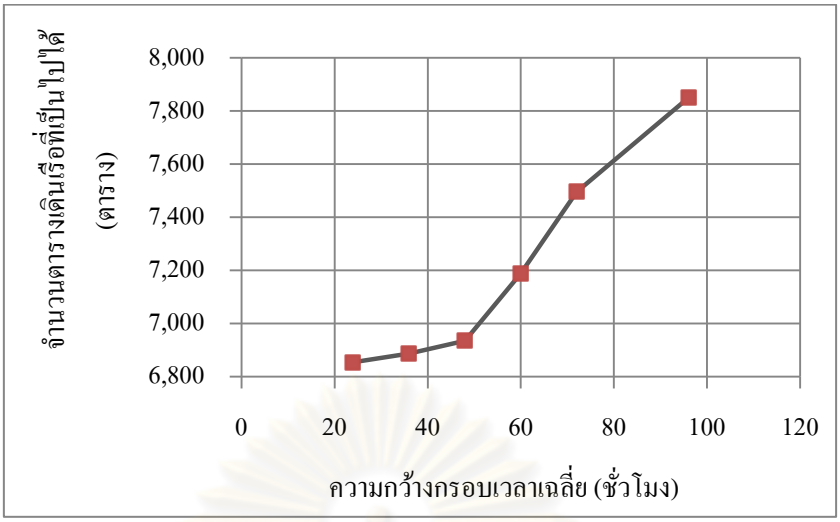
ตารางที่ 5.8 รายละเอียดของชุดปัญหา A-4

กรณีศึกษาที่ A-4	A-4.1	A-4.2	A-4.3	A-4.4	A-4.5	A-4.6
จำนวนเรือ (ลำ)	10	10	10	10	10	10
จำนวนท่าเรือ (ท่าเรือ)	4	4	4	4	4	4
คำสั่งขนส่งสินค้า (คำสั่ง)	15	15	15	15	15	15
ช่วงเวลารอคอยเฉลี่ยของคำสั่งขนส่งสินค้า (ชั่วโมง)	24	36	48	60	72	96

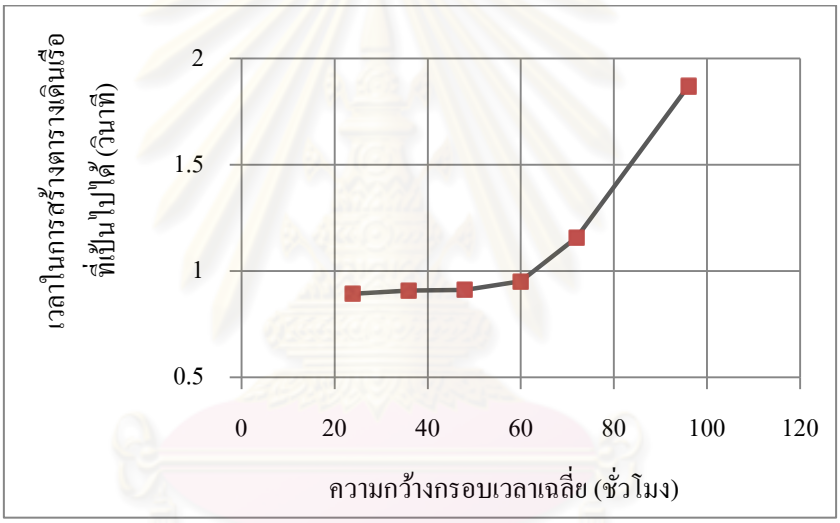
ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบชุดปัญหา A-4

ชุดปัญหา A-4	ชุดปัญหาย่อย#					
	A-4.1	A-4.2	A-4.3	A-4.4	A-4.5	A-4.6
จำนวนเส้นทางเดินเรือที่เป็นไปได้ (เส้นทาง)	6,854	6,887	6935	7,188	7,496	7,850
เวลาในการสร้างเซต (วินาที)	0.893	0.908	0.912	0.952	1.158	1.471
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ	7,496	3,719	4,219	2,704	7,496	2,142
จำนวนสมการเงื่อนไข	85	85	85	85	85	85
เวลาในการแก้ปัญหา (วินาที)	0.058	0.066	0.063	0.068	0.085	0.151

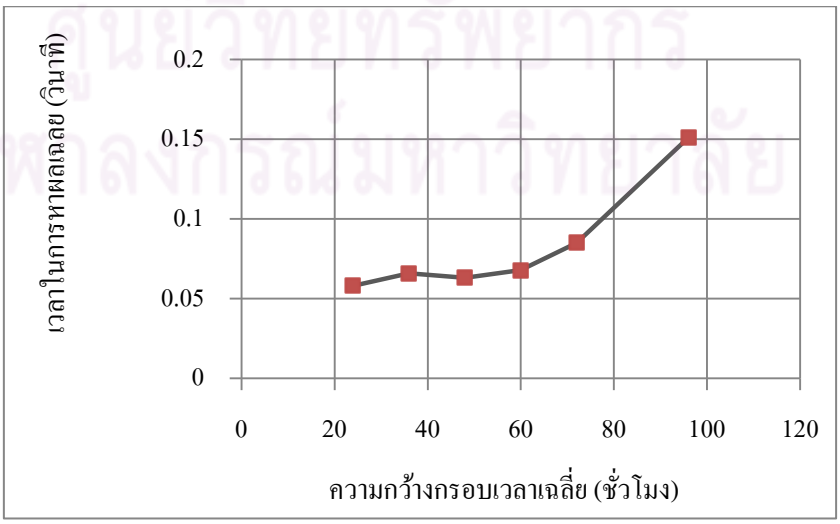
พิจารณาผลการทดสอบจากตารางที่ 5.9 พบว่า จำนวนเส้นทางเดินเรือที่เป็นไปได้ เวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหามีค่าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ยในการขนส่งสินค้า โดยแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาเทียบกับความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5.11, 5.12 และ 5.13 ตามลำดับ



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และและความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือและความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย



รูปที่ 5.13 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย

พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ เวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้เทียบกับความกว้างของกรอบเวลาในการขนส่งสินค้า ตามที่แสดงในรูปที่ 5.11 และ 5.12 ตามลำดับ จะพบว่าลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลทั้ง 2 กรณี ซึ่งสาเหตุเกิดจากความกว้างของกรอบเวลาที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดทางเลือกในการเดินเรือระหว่างท่าเรือเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนี้ จากสมการที่ 4.16 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของทางเลือกในการเดินเรือจะทำให้ให้ตารางเดินเรือที่เป็นไปได้เพิ่มขึ้นแบบทวีคูณ ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ เวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้เทียบกับความกว้างกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าจึงเป็นความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

ในส่วนของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการแก้ปัญหาและความกว้างของกรอบเวลาในการขนส่งสินค้า เมื่อพิจารณารูปที่ 5.13 จะพบว่ามีลักษณะเป็นความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล เนื่องจากจำนวนตัวแปรตัดสินใจของการแบบจำลองมีการเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กซ์โปเนนเชียล ส่งผลให้เวลาในการแก้ปัญหามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเช่นเดียวกัน

ชุดปัญหาดังกล่าวจะประกอบด้วยชุดข้อมูล A-1, A-2, A-3 และ A-4 โดยแต่ละชุดปัญหาจะประกอบด้วยชุดปัญหาย่อย 6 ชุดปัญหา สำหรับใช้ทดสอบพฤติกรรมของแบบจำลองภายใต้การเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆในการดำเนินงาน โดยสามารถสรุปได้ดังที่แสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 5.11 พฤติกรรมของแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่นของข้อมูลการขนส่ง

ชุดปัญหาที่	ปัจจัยที่ทำการแปรผัน	ลักษณะความสัมพันธ์เทียบกับ		
		จำนวนตารางเดินเรือ	เวลาในการสร้างตารางเดินเรือ	เวลาในการแก้ปัญหา
A-1	จำนวนเรือขนส่งสินค้า	เชิงเส้นตรง	เชิงเส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
A-2	จำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เอ็กซ์โปเนนเชียล
A-3	จำนวนท่าเรือ	เชิงเส้นตรง	เชิงเส้นตรง	เชิงเส้นตรง
A-4	ช่วงเวลารอคอยสูงสุดเฉลี่ยของคำสั่งขนส่งสินค้า	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เอ็กซ์โปเนนเชียล

จากผลการทดสอบชุดปัญหาที่ A-1, A-2, A-3 และ A-4 ซึ่งเป็นการทดสอบชุดข้อมูลเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่นของข้อมูลการขนส่ง โดยปัจจัยต่างๆที่ทำการทดสอบคือ จำนวนเรือขนส่งสินค้า จำนวนคำสั่งขนส่ง คำสั่งขนสิ่งสินค้า และความกว้างเฉลี่ยของกรอบเวลาในการขนส่งสินค้า โดยผลสรุปของการทดสอบจะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 5.11

5.3 ผลการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ

ชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติเป็นชุดปัญหาที่จำลองขึ้นจากพื้นฐานข้อมูลการดำเนินการจริงของบริษัทตัวอย่าง ชุดปัญหาในส่วนนี้จะประกอบด้วยชุดปัญหา 5 ชุด โดยที่ชุดปัญหาที่ 1 และ 2 เป็นชุดปัญหาที่มีขนาดเล็กและขนาดปกติเมื่อเทียบกับสภาพการดำเนินงานจริง ชุดปัญหาที่ 3 จะเป็นสถานการณ์ที่อุปสงค์ในการขนส่งสินค้ามีความหนาแน่นมากในช่วงเวลาหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบกับชุดปัญหาอื่นๆ ชุดปัญหาที่ 4 เป็นชุดปัญหาที่เรือขนส่งสินค้ามีความจุเฉลี่ยน้อยกว่าเมื่อเทียบกับน้ำหนักของสินค้าที่ต้องการขนส่ง (แต่ละคำสั่งขนส่งสินค้ามีเรือสามารถขนส่งได้อย่างน้อย 1 ลำ) และชุดปัญหาที่ 5 เป็นชุดปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่สุดโดยมีคาบการวางแผนมากกว่าการดำเนินการปกติ รวมทั้งจำนวนอุปสงค์ที่ทำการพิจารณาก็มีค่ามากกว่าชุดปัญหาอื่นๆ โดยรายละเอียดของชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติถูกแสดงไว้ในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 รายละเอียดชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ

รายละเอียดชุดปัญหา	*ชุดปัญหาที่*				
	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	5	8	10	10	10
ความจุเฉลี่ยของเรือขนส่งสินค้า (ตัน)	1,500	1,800	1,600	1,300	1,790
ท่าเรือต้นทาง/ปลายทาง (ท่าเรือ)	4	4	4	4	4
คำสั่งขนส่งสินค้า (คำสั่ง)	10	15	15	15	20
ความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย (ชั่วโมง)	52	72	72	72	72
จำนวนเรือเทียบท่าสูงสุด (ลำ)	3	2	2	2	2
ระยะเวลารอคอยสูงสุด (ชั่วโมง)	2	2	2	2	2
คาบเวลาในการวางแผน (วัน)	15	15	15	15	20

5.3.1 ผลการทดสอบชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา

ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา คือ ระยะที่จะถูกพิจารณารวมเป็นหน่วยเดียวกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือ หน่วยเวลาที่มีขนาดเล็กที่สุดในการพิจารณา ตัวแปรดังกล่าวจะส่งผลต่อแบบจำลองทั้งในส่วนของตัวแปรตัดสินใจและเงื่อนไขของแบบจำลอง นอกจากนี้ ตัวแปรดังกล่าวยังส่งผลถึงความละเอียดในการพิจารณารวมทั้งความละเอียดของตารางเดินเรือที่ได้ในท้ายที่สุดของการหาผลเฉลย โดยการกำหนดให้ตัวแปรดังกล่าวมีค่าน้อยลง ผลเฉลยที่ได้จะมีความละเอียดสูงขึ้น อีกทั้งผลเฉลยที่ได้จะมีคุณภาพไม่ด้อยกว่าการแก้ปัญหาเดียวกันซึ่งกำหนดให้ตัวแปรดังกล่าวมีค่ามากกว่า

จากการเก็บข้อมูลพบว่าการกำหนดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าให้มีความละเอียดมากเกินไปในขั้นตอนการวางแผน จะส่งผลให้ให้เกิดปัญหาในขั้นตอนดำเนินการ เนื่องจากการเดินเรือสมุทรจะต้องพิจารณาถึงกระแสน้ำและภูมิอากาศ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการเดินเรือมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ซึ่งในปัจจุบันตารางเดินเรือของบริษัทตัวอย่างจะมีความละเอียดประมาณ 6 ชั่วโมง ยกตัวอย่างเช่น ในขั้นตอนการวางแผนได้กำหนดให้เรือออกจากท่าเรือในช่วงเช้าของวันที่ 5 ในขั้นตอนดำเนินการที่ท่าเรือ กัปตันและเจ้าหน้าที่ท่าเรือจะเป็นผู้กำหนดเวลาในการออกเดินทางโดยละเอียดอีกครั้ง โดยพิจารณาจากสภาพภูมิอากาศและปัจจัยแวดล้อมอื่นๆ ซึ่งจากการเก็บข้อมูลบริษัทตัวอย่างพบว่าระดับความละเอียดของตารางเดินเรือควรมีความละเอียดอยู่ในช่วง 3 ชั่วโมงถึง 24 ชั่วโมง

การทดสอบชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ จะทำการแก้ปัญหาโดยอาศัยเทคนิคการหาผลเฉลยด้วยวิธีกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถว โดยกำหนดให้ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องมีค่าเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 24 ชั่วโมง, 12 ชั่วโมง, 6 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง ซึ่งผลการทดสอบมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-1 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา

ชุดปัญหา B-1				
ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา (ชั่วโมง)	24	12	6	3
เวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ (วินาที)	0.047	0.078	0.158	0.33
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ (ตัวแปร)	242	598	1839	6362
จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	63	135	255	495
ผลเฉลย				
เวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	0.008	0.012	0.058	0.262
คำสั่งขนส่งสินค้าที่ปฏิเสธ (คำสั่ง)	3	3	3	3
จำนวนเรือไม่ได้ใช้งาน (ลำ)	0	0	0	0
กำไร (บาท)	2,529,110	2,531,102	2,531,244	2,537,043

ตารางที่ 5.14 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-2 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา

ชุดปัญหา B-2				
ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา (ชั่วโมง)	24	12	6	3
เวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ (วินาที)	0.488	0.55	1.052	3.436
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ (ตัวแปร)	1157	2950	9575	34639
จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	83	143	263	503
ผลเฉลย				
เวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	0.018	0.024	0.462	8.974
คำสั่งขนส่งสินค้าที่ปฏิเสธ (คำสั่ง)	4	4	4	4
จำนวนเรือไม่ได้ใช้งาน (ลำ)	0	0	0	0
กำไร (บาท)	4,501,565	4,505,944	4,506,553	4,507,882

พิจารณาผลการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดปัญหา B-1 และ B-2 ที่ถูกแสดงในตารางที่ 5.13 และ 5.14 ตามลำดับ จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาจะไม่ส่งผล

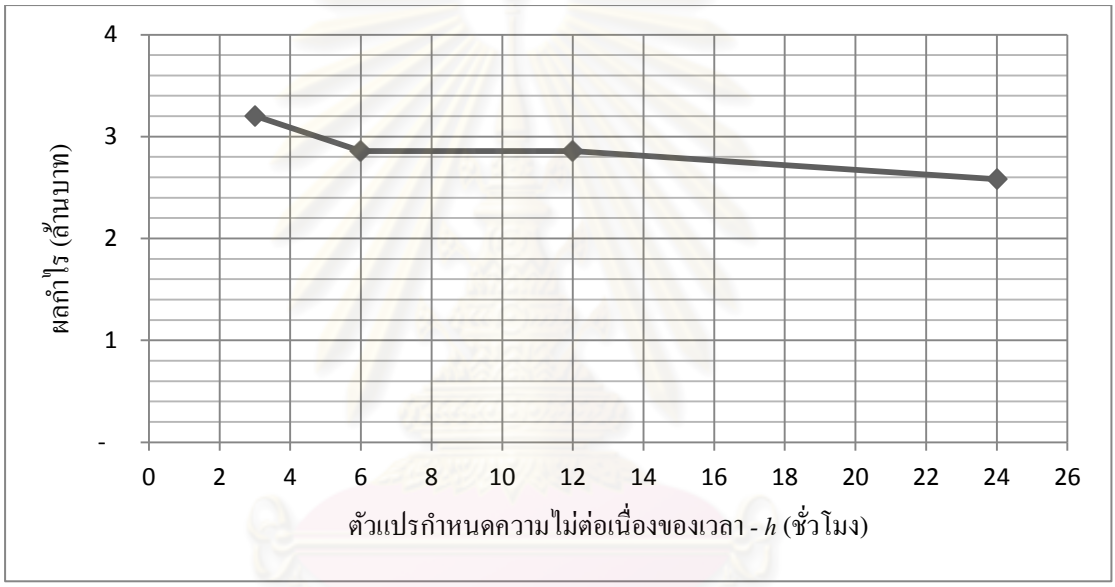
ต่อโครงสร้างผลเฉลย กล่าวคือ ผลเฉลยจะยังคงให้บริการและปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าชุดเดิม และเส้นทางเดินเรือของเรือขนส่งสินค้าแต่ละลำไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนที่แตกต่างกันคือตารางเวลาในการเดินเรือ ทำให้ผลกำไรซึ่งเป็นค่าของสมการวัตถุประสงค์มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งชุดปัญหาที่กำหนดให้ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลามีค่าน้อยกว่าจะให้ผลกำไรสูงกว่า เนื่องจากตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้มีทางเลือกของตารางเดินเรือมากขึ้น

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-3 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา

ชุดปัญหา B-3				
ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา (ชั่วโมง)	24	12	6	3
เวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ (วินาที)	1.458	2.37	3.186	12.885
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ (ตัวแปร)	928	4,487	34,298	370,746
จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	85	145	265	505
ผลเฉลย				
เวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	1.205	1.592	4.975	32.675
คำสั่งขนส่งสินค้าที่ปฏิเสธ (คำสั่ง)	6	5	5	4
จำนวนเรือไม่ได้ใช้งาน (ลำ)	0	0	0	0
กำไร (บาท)	2,581,200	2,857,153	2,858,684	3,204,483

ชุดปัญหา B-3 เป็นชุดปัญหาที่จำลองสถานการณ์มาจากสภาวะที่มีคำสั่งขนส่งสินค้าเข้ามาในปริมาณมาก ณ ช่วงเวลาในเวลาหนึ่ง โดยช่วงกลางของคาบการวางแผนตั้งแต่วันที่ 5 ถึงวันที่ 11 ซึ่งเป็นระยะเวลา 7 วัน จะมีคำสั่งขนส่งสินค้า 10 คำสั่ง และคำสั่งขนส่งอีก 5 คำสั่งจะกระจายตัวอยู่ในช่วงก่อนวันที่ 5 และหลังวันที่ 11 พิจารณาผลการทดสอบแบบจำลองตามที่แสดงในตารางที่ 5.15 พบว่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา (h) จะส่งผลต่อให้มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลเฉลย กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการรับและปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้า ทำให้เส้นทางเดินเรือและตารางเดินเรือของเรือแต่ละลำมีการเปลี่ยนแปลง จึงเป็นสาเหตุให้ผลเฉลยมีการพัฒนาแบบก้าวกระโดดจากชุดปัญหาที่พิจารณา $h = 24$ ไปยังชุดปัญหาที่

พิจารณา $h = 12$ ในขณะที่ผลเฉลยของชุดปัญหาที่พิจารณา $h = 6$ จะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับชุดปัญหาที่พิจารณา $h = 12$ เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลเฉลย และโครงสร้างของผลเฉลยจะมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งในชุดปัญหาที่พิจารณา $h = 24$ ดังที่แสดงในรูปที่ 5.14 ซึ่งสาเหตุที่ผลเฉลยมีการพัฒนาแบบก้าวกระโดด เกิดจากการเพิ่มขึ้นของตารางเดินเรือที่เป็นไปได้จากการลดลงของตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา และตารางเดินเรือที่เกิดขึ้นใหม่นั้นสร้างทางเลือกให้แบบจำลองสามารถรับบริการคำสั่งขนส่งสินค้าเพิ่มโดยที่ไม่เกิดการฝ่าฝืนเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างผลกำไรต่อตัวแปรกำหนดความไม่แน่นอนของชุดปัญหา B-3

จากตารางที่ 5.16 ชุดปัญหา B-4 เป็นชุดปัญหาที่จำลองสถานการณ์มาจากสภาวะที่ฝูงเรือขนส่งสินค้ามีขนาดไม่เหมาะสมกับขนาดของคำสั่งขนส่งสินค้าโดยความจุของเรือขนส่งสินค้ามีค่าตั้งแต่ 1,000 ถึง 2,000 ตัน และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,300 ตัน ขณะที่นำหนักเฉลี่ยของสินค้าที่ให้บริการภายใต้สถานการณ์นี้มีค่าตั้งแต่ 1,000 ถึง 2,000 ตัน และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,600 ตัน โดยที่สินค้าแต่ละคำสั่งขนส่งสินค้าจะมีเรืออย่างน้อย 1 ลำสามารถให้บริการได้ จากผลการทดสอบตามที่แสดงในตารางที่ 5.16 พบว่ามีเรือขนส่งสินค้า 3 ลำที่ไม่ได้ถูกใช้งานเนื่องจากมีขนาดไม่เหมาะสมและเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ นอกจากนี้ ยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาสามารถเพิ่มคุณภาพให้ผลเฉลยได้เช่นเดียวกัน แต่ผลเฉลยที่ได้นั้นมีการพัฒนาไม่

มากเนื่องจากมีการใช้งานเรือเพิ่มขึ้น 1 ลำ ซึ่งจะแตกต่างจากกรณีของชุดปัญหา B-3 ซึ่งใช้ปริมาณเรือเท่าเดิมแต่สามารถให้บริการขนสินค้าได้มากขึ้น

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-4 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา

ชุดปัญหา B-4				
ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา (ชั่วโมง)	24	12	6	3
เวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ (วินาที)	4.453	5.512	12.683	54.342
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ (ตัวแปร)	2,493	8,718	61,834	456,332
จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	85	145	265	505
ผลเฉลย				
เวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	28.322	30.512	48.683	156.46
คำสั่งขนส่งสินค้าที่ปฏิเสธ (คำสั่ง)	3	3	3	2
จำนวนเรือไม่ได้ใช้งาน (ลำ)	3	3	3	2
กำไร (บาท)	2,846,830	2,848,383	2,848,944	3,019,574

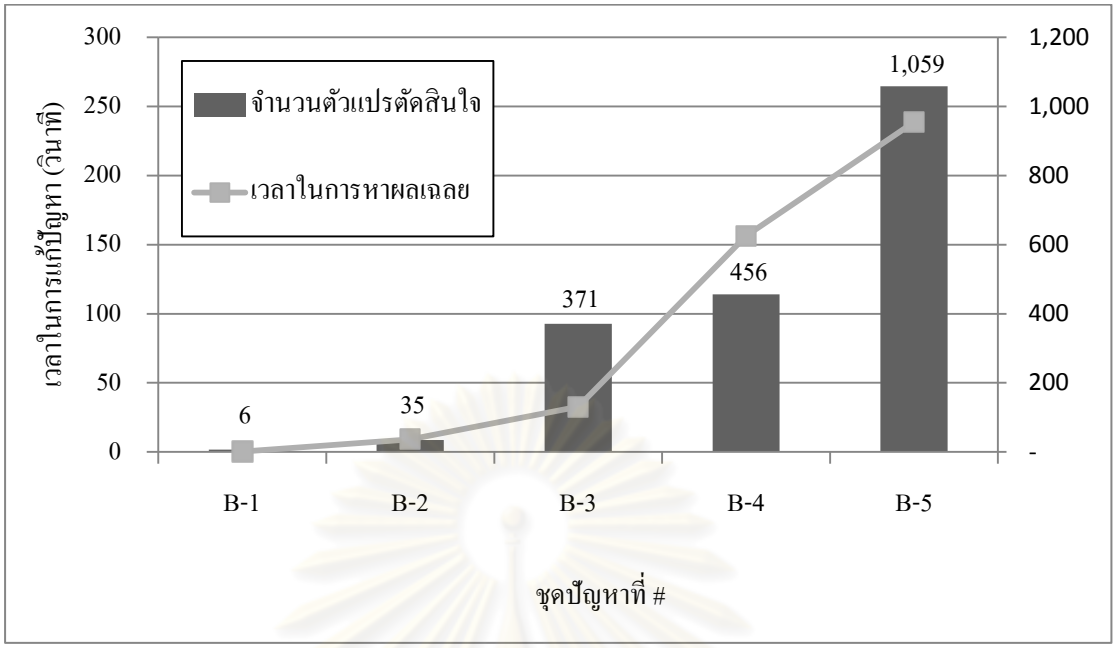
ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-4 ภายใต้การเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา

ชุดปัญหา B-5				
ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา (ชั่วโมง)	24	12	6	3
เวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ (วินาที)	5.563	9.631	18.782	88.443
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ (ตัวแปร)	2569	12855	102073	1058747
จำนวนสมการเงื่อนไข (สมการ)	90	150	270	510
ผลเฉลย				
เวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	30.443	42.124	62.654	238.648
คำสั่งขนส่งสินค้าที่ปฏิเสธ (คำสั่ง)	3	3	3	3
จำนวนเรือไม่ได้ใช้งาน (ลำ)	0	0	0	0
กำไร (บาท)	4,285,843	4,286,623	4,287,382	4,288,245

ชุดปัญหา B-5 เป็นชุดปัญหาที่จำลองสถานการณ์การวางแผนตารางเดินเรือที่มีคาบเวลาในการวางแผนมากกว่าปกติและมีจำนวนคำสั่งสินค้ามากที่สุดในชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ โดยกำหนดให้มีคาบการวางแผน 20 วันและมีคำสั่งขนส่งสินค้า 20 คำสั่ง จากผลการทดสอบตามที่แสดงในตารางที่ 5.17 พบว่าตัวแปรตัดสินใจในแบบจำลองมีจำนวนมากถึง 1,058,747 ตัวแปร และมีจำนวนสมการเงื่อนไขมากถึง 510 ทำให้ชุดปัญหา B-5 มีขนาดใหญ่ที่สุดในชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ ทำให้ชุดปัญหาดังกล่าวใช้เวลาในการแก้ปัญหาทั้งหมดมากที่สุด โดยกราฟแสดงความสัมพันธ์ของจำนวนตัวแปรตัดสินใจและเวลาในการแก้ปัญหาของชุดปัญหาดำเนินการสมมุติจะถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5.15 อย่างไรก็ดี ถึงแม้ว่าชุดปัญหา B-5 จะมีขนาดใหญ่กว่าปัญหาในการดำเนินการจริงทั้งในแง่ของคาบการวางแผนและจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า แต่ปัญหาดังกล่าวสามารถหาผลเฉลยได้ในระยะเวลาประมาณ 6 นาที บนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพปานกลาง จึงแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองและวิธีการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการดำเนินการจริงได้อย่างเหมาะสม

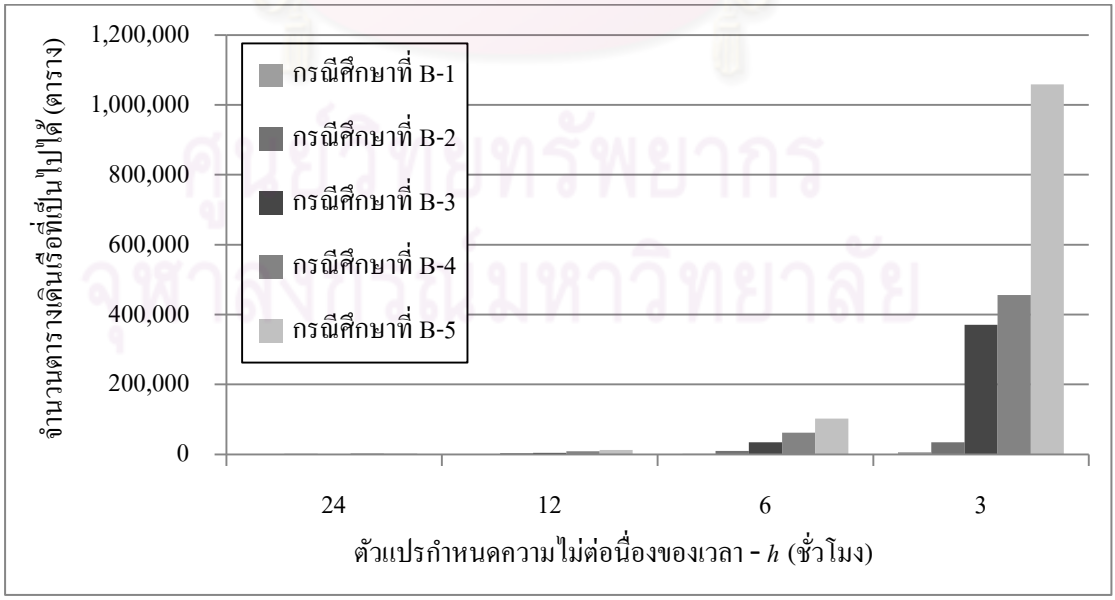
อนึ่ง หากพิจารณาคุณภาพของผลเฉลยเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา พบว่าผลเฉลยมีการพัฒนาเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตารางเดินเรือเช่นเดียวกันกับชุดปัญหา B-1 และ B-2 สาเหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะ ชุดปัญหา B-5 มีจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้นในขณะที่คาบการวางแผนก็ยาวขึ้นเช่นกัน ทำให้คำสั่งขนส่งสินค้ามีการกระจายตัวและไม่หนาแน่นในช่วงเวลาในเวลาหนึ่ง ส่งให้การทางเลือกที่เพิ่มขึ้นมาจากการลดตัวแปรความไม่ต่อเนื่องของเวลา ไม่สามารถให้ผลเฉลยที่ดีขึ้นได้

จากการทดสอบชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติทั้ง 5 ชุดปัญหา อันประกอบด้วยชุดปัญหา B-1, B-2, B-3, B-4 และ B-5 ซึ่งเป็นชุดปัญหาที่มีความแตกต่างกันทั้งในแง่ขนาดและรายละเอียดในการดำเนินการ โดยในกระบวนการแก้ปัญหาจะประกอบด้วยกระบวนการหลัก 2 กระบวนการ คือ การสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ทั้งหมด และการหาผลเฉลยของแบบจำลอง เมื่อทำการพิจารณาความสัมพันธ์ของจำนวนและเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ เทียบกับการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา จะพบว่ามีสัมพันธ์กับแบบเอ็กซ์โปเน็นเชียลตามที่แสดงในรูปที่ 5.16 และ 5.17 ตามลำดับ สำหรับทั้ง 5 ชุดปัญหา

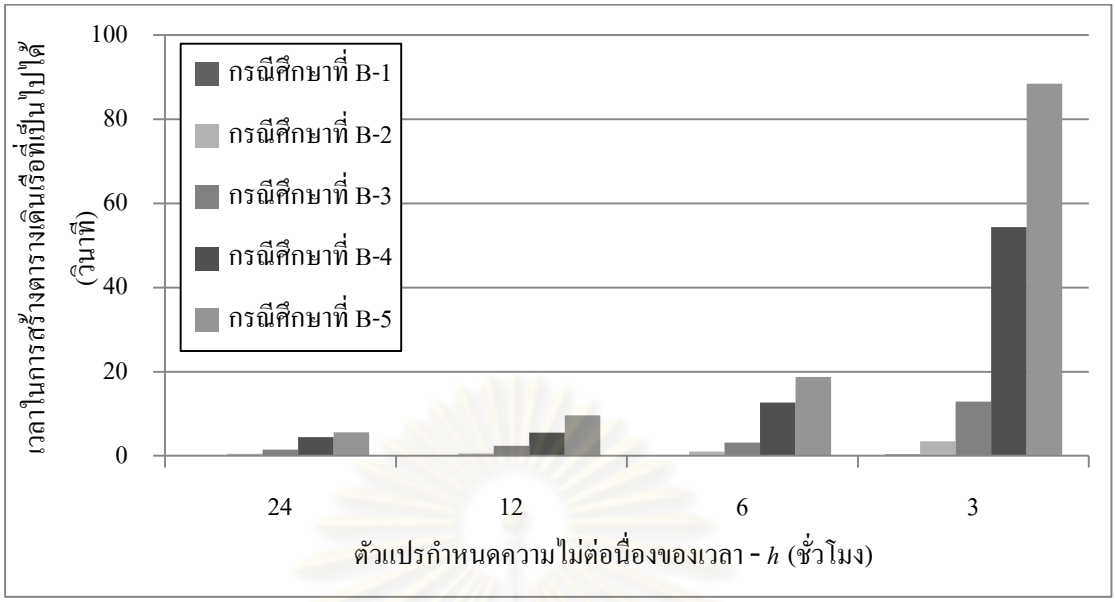


รูปที่ 5.15 จำนวนตัวแปรตัดสินใจและเวลาในการแก้ปัญหาของชุดปัญหาดำเนินการสมมุติ

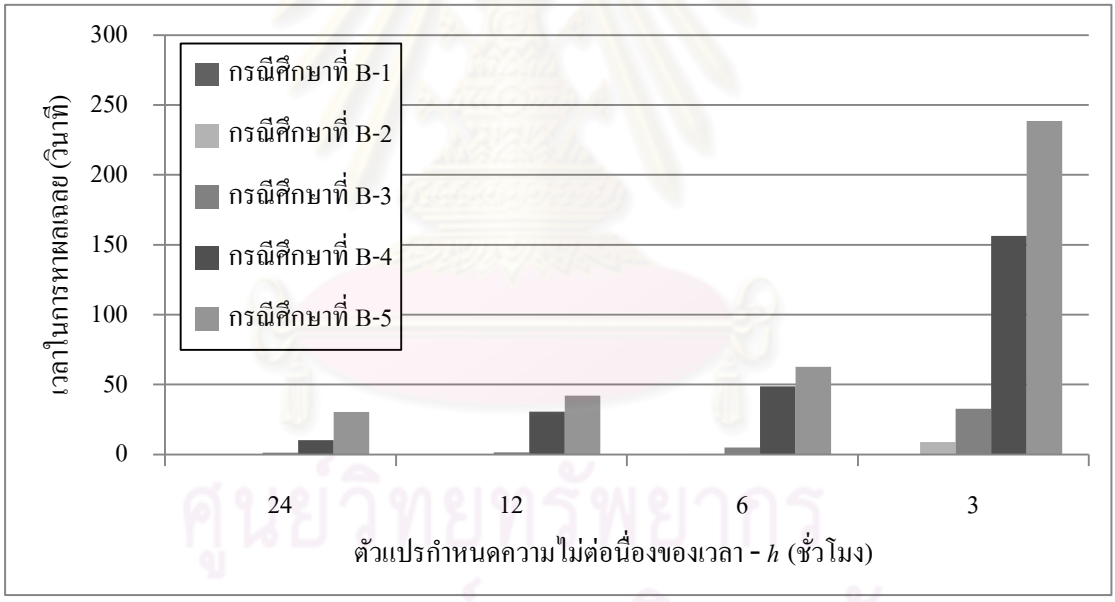
ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาจะไม่ส่งผลให้ความกว้างของกรอบเวลาในการเดินเรือ แต่จะส่งผลให้ทางเลือกในการเดินเรือภายในกรอบเวลาเดินเรือมีจำนวนมากขึ้น และจะส่งผลให้ปริมาณตารางเดินเรือที่เป็นไปได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้เวลาในการหาผลเฉลยเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กซ์โปเน็นเชียลด้วยเช่นกัน ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.16 ความสัมพันธ์ของจำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาสำหรับชุดข้อมูลดำเนินการสมมุติ



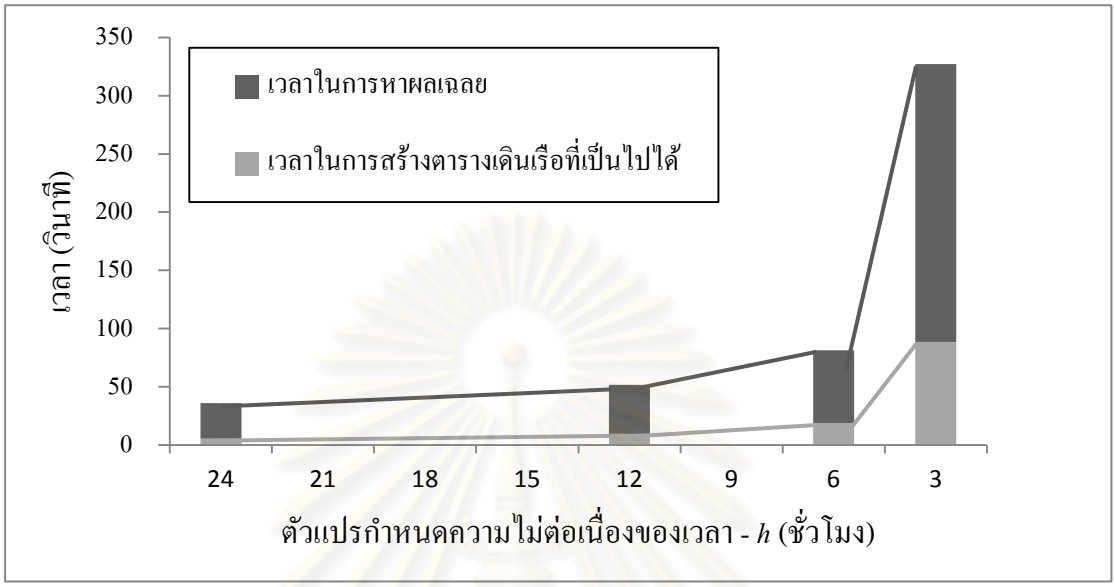
รูปที่ 5.17 ความสัมพันธ์ของเวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาสำหรับชุดข้อมูลดำเนินการสมมุติ



รูปที่ 5.18 ความสัมพันธ์ของเวลาในการหาผลเฉลยและตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาสำหรับชุดข้อมูลดำเนินการสมมุติ

เมื่อพิจารณาเวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และกับเวลาในการหาผลเฉลยเทียบกับการเปลี่ยนแปลงตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาพบว่า เวลาที่ใช้ในทั้ง 2 ขั้นตอนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลามีค่าลดลง โดยที่เวลาในการหาผลเฉลยจะมีอัตราในการเพิ่มขึ้นสูงกว่าเวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาเวลา

ในการแก้ปัญหาทั้งหมด จะพบว่าสัดส่วนเวลาในการหาผลเฉลยจะมีค่ามากกว่าเวลาในการสร้างตารางดินเรือที่เป็นไปได้ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเวลาในการแก้ปัญหาและตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลา

5.3.2 ผลการทดสอบชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติด้วยวิธีการหาผลเฉลยแบบต่างๆ

กระบวนการแก้ปัญหาของงานวิจัยนี้จะเป็นการผสมผสานเทคนิคในการหาผลเฉลยใน 2 ลักษณะเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลย นั่นคือเทคนิคการกำเนิดสดมภ์และเทคนิคการกำเนิดแถว อย่างไรก็ดี เทคนิคทั้ง 2 สามารถกระทำแยกกันได้อิสระ ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้จะเป็นการพิจารณาประสิทธิภาพของการหาผลเฉลยด้วยวิธีการต่างๆ โดยจะทำการแก้ชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ ด้วยวิธีหาผลเฉลยปกติ วิธีกำเนิดสดมภ์ วิธีกำเนิดแถว และวิธีผสมผสานระหว่างวิธีกำเนิดสดมภ์กับวิธีกำเนิดแถว เพื่อศึกษาประสิทธิภาพวิธีการหาผลเฉลยแบบต่างๆ

เนื่องจากชุดปัญหาดำเนินการสมมุติประกอบด้วยชุดปัญหาที่มีขนาดแตกต่างกัน 5 ชุดปัญหา ส่งผลวิธีหาผลเฉลยบางวิธีไม่สามารถแก้ปัญหาทั้ง 5 ชุดปัญหาได้ โดยกำหนดให้เวลาในการหาผลเฉลยสูงสุดที่ยอมได้คือ 1 ชั่วโมง และกำหนดให้ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องมีค่าเท่ากับ 3 ชั่วโมง ซึ่งรายละเอียดชุดปัญหาที่แต่ละวิธีแก้ปัญหาสามารถหาผลเฉลยได้ จะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 5.18

ตารางที่ 5.18 รายละเอียดของวิธีการหาผลเฉลยสำหรับชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ

ชุดปัญหา	วิธีหาผลเฉลยธรรมดา	วิธีกำเนิดแถว	วิธีกำเนิดสดมภ์	วิธีกำเนิดสดมภ์ + วิธีกำเนิดแถว
B-1	✓	✓	✓	✓
B-2	✓	✓	✓	✓
B-3	✓	✓	✓	✓
B-4	×	*×	✓	✓
B-5	×	×	×	✓

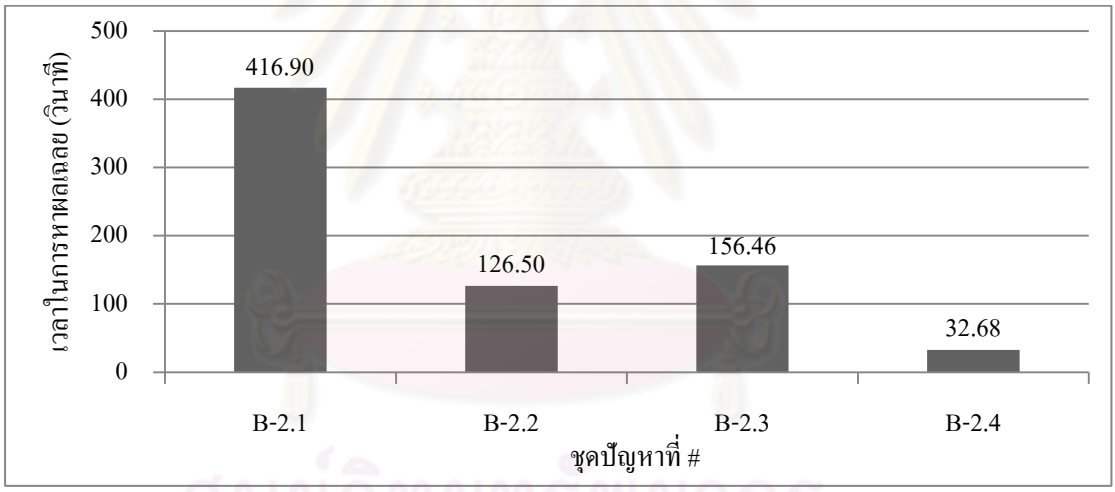
หมายเหตุ *ใช้เวลาในการหาผลเฉลยมากกว่า 1 ชั่วโมง

จากการทดสอบจะพบว่าชุดปัญหา B-1 และ B-2 เท่านั้นที่สามารถหาผลเฉลยได้โดยวิธีการหาผลเฉลยทุกวิธี เนื่องจากเป็นชุดปัญหาที่มีขนาดเล็กและกลางเมื่อเทียบกับชุดปัญหาอื่นๆ โดยชุดปัญหา B-3 ไม่สามารถหาผลเฉลยด้วยวิธีหาผลเฉลยธรรมดา ชุดปัญหา B-4 ไม่สามารถหาผลเฉลยได้ด้วยวิธีธรรมดาและในส่วนของวิธีกำเนิดแถวไม่สามารถหาผลเฉลยได้ภายใน 1 ชั่วโมง และชุดปัญหาที่ B-5 เป็นชุดปัญหาที่สามารถหาผลเฉลยได้วิธีเดียวคือ วิธีผสมผสานระหว่างวิธีกำเนิดสดมภ์และวิธีกำเนิดแถว

วิธีการหาผลเฉลยในงานวิจัยนี้จะเริ่มต้นการแก้ปัญหาที่มีขนาดเล็กจากนั้นจึงทำการเพิ่มตัวแปรตัดสินใจ (สดมภ์) และสมการเงื่อนไข (แถว) เข้าสู่แบบจำลอง จากนั้นจึงตรวจสอบความเป็นไปได้ในการพัฒนาคุณภาพผลเฉลยและตรวจสอบความสอดคล้องกับสมการเงื่อนไขวนซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไม่สามารถพัฒนาผลเฉยได้อีกต่อไปหรือผลเฉลยคุณภาพพอเพียง ซึ่งแนวคิดนี้จะมีประสิทธิภาพเมื่อการแก้ปัญหาสิ้นสุดลงได้โดยไม่จำเป็นต้องเพิ่มตัวแปรตัดสินใจและสมการเงื่อนไขทั้งหมดเข้าสู่แบบจำลอง ซึ่งการทดสอบในส่วนนี้จะทำการพิจารณาเปรียบเทียบแบบจำลองขนาดเต็มที่มีตัวแปรตัดสินใจและสมการเงื่อนไขครบถ้วน กับแบบจำลองที่ทำการเพิ่มตัวแปรตัดสินใจและสมการเงื่อนไขด้วยวิธีผสมผสานระหว่างวิธีกำเนิดสดมภ์และวิธีกำเนิดแถว ซึ่งจะทำการทดสอบชุดปัญหาทั้ง 5 ชุด โดยกำหนดให้ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาเป็น 3 ชั่วโมงและความคลาดเคลื่อน (Tolerance) มีค่าเป็น 2.5% สำหรับผลการทดสอบจะถูกแสดงในตารางที่ 5.20 จากผลการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองสามารถหาผลเฉลยได้โดยใช้ตัวแปรตัดสินใจอยู่ในช่วง 8% ถึง 30% จากจำนวนตัวแปรตัดสินใจทั้งหมด ในส่วนของสมการเงื่อนไขจะพบว่าแบบจำลองสามารถหาผลเฉลยได้โดยใช้สมการเงื่อนไขมากสุดเพียง 6% ของสมการเงื่อนไข

ทั้งหมดที่ต้องพิจารณา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธรการกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถวสามารถประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ได้อย่างเหมาะสม

ในส่วนของการเปรียบเทียบเวลาในการหาผลเฉลยของแต่ละวิธีการในการหาผลเฉลย ผู้วิจัยจะพิจารณาจากชุดปัญหาที่ B-3 ซึ่งเป็นชุดปัญหาที่สามารถหาผลเฉลยได้โดยวิธีการแก้ปัญหาทุกวิธีที่พิจารณา โดยวิธีหาผลเฉลยปกติใช้เวลาในการหาผลเฉลยมากที่สุด (B-3.1) รองลงมาเป็นวิธีกำเนิดแถว (B-3.3) วิธีกำเนิดสดมภ์ (B-3.2) และวิธีผสมผสานระหว่างวิธีกำเนิดสดมภ์และวิธีกำเนิดแถว (B-3.4) ตามลำดับ โดยผลการทดสอบถูกแสดงไว้ในตารางที่ 5.20 ซึ่งจะเห็นว่าวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีผสมผสานระหว่างวิธีกำเนิดสดมภ์และวิธีกำเนิดแถวจะใช้เวลาในการหาผลเฉลยน้อยกว่าวิธีการอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีกำเนิดสดมภ์และวิธีกำเนิดแถวจะพบว่าใช้เวลาหาผลเฉลยใกล้เคียงโดยที่วิธีกำเนิดสดมภ์ใช้เวลาน้อยกว่าเล็กน้อย ดังที่แสดงในรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 เวลาในการหาผลเฉลยของชุดปัญหา B-3 ด้วยวิธีหาผลเฉลยวิธีต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.19 ผลการทดสอบชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถวเทียบกับแบบจำลองขนาดเต็ม

ชุดปัญหา	กระบวนการกำเนิดสดมภ์				กระบวนการกำเนิดแถว				เวลาที่ใช้ (วินาที)	ความคลาดเคลื่อน (Tolerance)	ค่าของสมการวัตถุประสงค์
	จำนวนรอบ	จำนวนสดมภ์ที่เกิดขึ้น	จำนวนสดมภ์ทั้งหมด	% สดมภ์	จำนวนรอบ	จำนวนแถวที่เกิด	จำนวนแถวทั้งหมด	% แถว			
B-1	4	558	6,362	8.77%	0	0	495	0.00%	0.262	0.00%	2,537,043
B-2	6	2,945	34,639	8.50%	3	21	503	4.17%	8.974	0.00%	4,507,882
B-3	20	9,945	370,746	2.68%	4	28	505	5.54%	32.675	1.86%	3,204,483
B-4	22	125,473	456,332	27.50%	2	12	505	2.38%	156.46	0.00%	3,019,574
B-5	34	230,588	1,058,747	21.78%	4	18	510	3.53%	238.65	1.28%	4,288,245

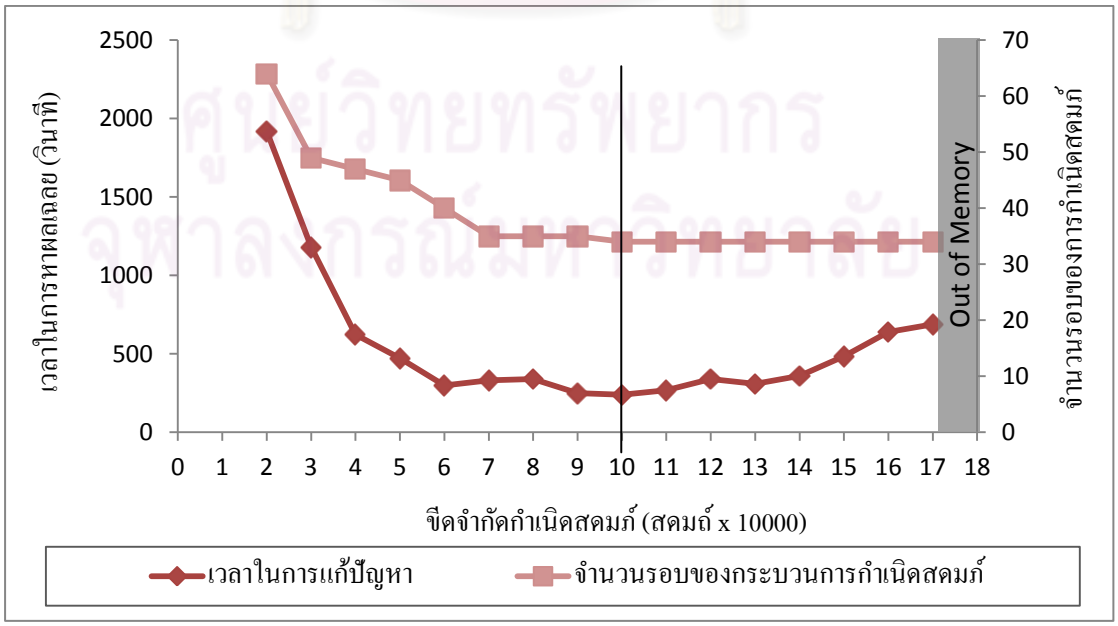
ตารางที่ 5.20 ผลการทดสอบชุดปัญหา B-3 ด้วยวิธีการหาผลเฉลยวิธีต่างๆ

ชุดปัญหา	เทคนิคที่ใช้ในการหาผลเฉลย		ขนาดปัญหาเต็ม		ขนาดปัญหาเมื่อใช้เทคนิคหาผลเฉลย				เวลาที่ใช้ (วินาที)	ความคลาดเคลื่อน (Tolerance)
	กำเนิดสดมภ์	กำเนิดแถว	สดมภ์	แถว	สดมภ์	%สดมภ์	แถว	%สดมภ์		
B-3.1			370,746	505	370,746	100.00%	505	100.00%	416.9	0.00%
B-3.2	✓		370,746	505	7,378	1.99%	505	100.00%	126.5	2.40%
B-3.3		✓	370,746	505	370,746	100.00%	22	4.36%	156.46	0.00%
B-3.4	✓	✓	370,746	505	9,945	2.68%	28	5.54%	32.675	1.86%

5.4 พฤติกรรมของการหาผลเฉลยด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถวต่อการเปลี่ยนแปลงตัวแปรขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์

ในขั้นตอนพัฒนาวิธีการหาผลเฉลยผู้วิจัยพบว่า หากประยุกต์ใช้เทคนิคกำเนิดสดมภ์ในการแก้ปัญหาแบบจำลองที่ใช้ในการวิจัยนี้ ตัวแปรตัดสินใจที่ทำการเพิ่มเข้าสู่แบบจำลองในแต่ละรอบของกระบวนการกำเนิดสดมภ์ และทำให้ปัญหาที่ทำการพิจารณาลู่เข้าสู่ปัญหาขนาดเต็มอย่างรวดเร็วและทำให้คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาประสบกับปัญหาหน่วยความจำไม่เพียงพอและทำให้ไม่สามารถหาผลเฉลี่ยได้ ผู้วิจัยจึงได้กำหนดขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์(Column Generation Limit- CGL) ซึ่งเป็นขีดจำกัดที่จะทำการเพิ่มตัวแปรตัดสินใจเข้าสู่แบบจำลองในแต่ละรอบของกระบวนการกำเนิดสดมภ์ ทำให้ขนาดของแบบจำลองมีขนาดใหญ่อย่างจำกัด และเพิ่มโอกาสในการหาผลเฉลยได้ก่อนที่แบบจำลองจะลู่เข้าสู่ปัญหาขนาดเต็ม

การทดสอบในขั้นตอนนี้จะเป็นการศึกษาพฤติกรรมของวิธีการหาผลเฉลยเทียบกับการเปลี่ยนแปลงค่าของขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์ โดยจะการทดสอบโดยใช้ชุดปัญหา B-5 และกำหนดให้ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลาให้มีค่าเท่ากับ 3 ชั่วโมง และความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้มีค่า 2.5 % โดยจะทำการแปรผันขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์ให้มีค่าตั้งแต่ 20,000 ตัวแปรจนถึง 180,000 ตัวแปร ซึ่งผลการทดสอบจะถูกแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างเวลาและจำนวนรอบของกระบวนการกำเนิดสดมภ์เทียบกับขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์ตามที่แสดงในรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 เวลาในการหาผลเฉลยและจำนวนรอบในการกำเนิดสดมภ์เทียบกับขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์

พิจารณารูปที่ 5.19 จะพบว่าเวลาในการหาผลเฉลยจะมีค่าลดลงเมื่อ CGL มีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ดีเมื่อ CGL มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งซึ่งในกรณีนี้คือ CGL = 100,000 สดมภ์ เวลาในการหาผลเฉลยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อ CGL เพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆจะพบว่าแบบจำลองจะไม่สามารถหาผลเฉลยได้อีกต่อไป เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งในที่นี้คือจุดที่ CGL = 180,000 สดมภ์ และเมื่อพิจารณาจำนวนรอบในการแก้ปัญหาจะพบว่า ในช่วงแรกที่ CGL มีค่าเพิ่มขึ้นและเวลาในการหาผลเฉลยมีค่าลดลง จะมีสาเหตุมาจากจำนวนรอบในการกำเนิดสดมภ์มีค่าลดลงและขนาดของปัญหาที่ใหญ่ขึ้นส่งผลกระทบต่อเวลาในการแก้ปัญหาน้อยกว่าผลกระทบจากจำนวนรอบของการกำเนิดสดมภ์ที่ลดลง จึงทำให้เวลาในการหาผลเฉลยมีค่าลดลง และเมื่อ CGL มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆกระทั่งผลกระทบจากการขนาดที่เพิ่มของปัญหามีอิทธิมากกว่าจำนวนรอบของการกำเนิดสดมภ์ที่ลดลง จะส่งผลให้แนวโน้มของเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้ง นอกจากนี้การลดลงของจำนวนรอบในการกำเนิดสดมภ์อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ CGL จะสามารถอิ่มตัวได้ กล่าวคือ จำนวนรอบในการหาผลเฉลยจะไม่ลดลงอีกต่อไปถึงแม้ว่าจะมีการเพิ่มค่า CGL ซึ่งในที่นี้คือจุดที่ CGL = 100,000 สดมภ์

ดังนั้นการกำหนดค่า CGL ที่เหมาะสมจะส่งต่อประสิทธิภาพในการหาผลเฉลย ซึ่งค่า CGL ที่เหมาะสมจะขึ้นกับลักษณะของชุดปัญหาและประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหา ทำให้วิธีการแก้ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีความยืดหยุ่นต่อการนำไปใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความหลากหลายในเชิงประสิทธิภาพ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้ค่า CGL = 100,000 สดมภ์ ซึ่งได้ผ่านการทดสอบแล้วว่ามีความเหมาะสมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบชุดปัญหาในงานวิจัยนี้

5.5 ผลการทดสอบชุดปัญหาการดำเนินการจริงของบริษัทตัวอย่าง

ชุดปัญหาจริงในที่นี้เป็นข้อมูลการดำเนินการจริงในอดีตของบริษัทตัวอย่าง โดยชุดปัญหาจริงจะประกอบด้วย 3 ชุดปัญหา คือชุดปัญหา C-1 C-2 และ C-3 ซึ่งชุดปัญหา C-1 และ C-2 จะมีคาบการวางแผน 15 วันตามลักษณะการดำเนินการจริง และชุดปัญหา C-3 จะเป็นชุดปัญหาที่มีคาบการวางแผนยาวกว่าปกติเพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาในกรณีที่มีการเพิ่มความยาวของคาบการวางแผน โดยรายละเอียดของชุดปัญหาทั้ง 3 ชุดจะถูกแสดงในตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 รายละเอียดของชุดปัญหาการดำเนินการจริงของบริษัทตัวอย่าง

รายละเอียดชุดปัญหา	*ชุดปัญหาที่*		
	C-1	C-2	C-3
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	15	15	15
น้ำหนักเฉลี่ยสินค้า (ตัน)	1,682	1,596	1,617
ท่าเรือต้นทาง/ปลายทาง (ท่าเรือ)	4	4	4
คำสั่งขนส่งสินค้า (คำสั่ง)	8	10	15
ความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย (ชั่วโมง)	78	89	83
จำนวนเรือเทียบท่าสูงสุด (ลำ)	2	2	2
ระยะเวลารอคอยสูงสุดเฉลี่ย (วัน)	4.65	4.65	4.65
คาบเวลาในการวางแผน (วัน)	15	15	45

การทดสอบชุดปัญหาดังกล่าวจะกำหนดให้ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลามีค่าเท่ากับ 3 ชั่วโมง และกำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนของผลเฉลย (Tolerance) มีค่าไม่เกิน 2.5% และใช้วิธีการหาผลเฉลยด้วยเทคนิคกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถวในการหาผลเฉลยที่ได้กล่าวถึงไว้ในบทที่ 3 โดยรายละเอียดของเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยจะถูกแสดงไว้ในตารางที่ 5.22

ตารางที่ 5.22 เวลาในการหาผลเฉลยของชุดปัญหาการดำเนินการจริง

ชุดปัญหา	เวลาที่ใช้(วินาที)			ความคลาดเคลื่อน (Tolerance)	คำสั่งขนส่งสินค้าที่ถูกปฏิเสธ (คำสั่ง)
	สร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้	หาผลเฉลย	รวม		
C-1	110.43	230.48	340.91	1.85%	0
C-2	134.43	194.22	328.65	1.05%	1
C-3	203.36	404.65	608.01	2.12%	1

จากตารางที่ 5.22 พิจารณาชุดปัญหา C-1 และ C-2 ซึ่งเป็นชุดปัญหาที่มีคาบการวางแผนปกติใกล้เคียงกับสภาพการวางแผนจริง จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการหาแก้ปัญหาจะใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 6 นาที ซึ่งแบ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้เฉลี่ยประมาณ 2 นาที และเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยเฉลี่ยประมาณ 4 นาที โดยชุดปัญหา C-1 จะทำการขนส่งสินค้าทุกคำสั่งขนส่งสินค้าและชุดปัญหา C-2 จะทำการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้า 1 คำสั่งเพื่อให้ได้รับผล

กำไรจากการดำเนินการสูงสุดและสอดคล้องกับเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ สำหรับชุดปัญหา C-3 ซึ่งเป็นชุดปัญหาที่มีคาบการวางแผนยาวกว่าการดำเนินการจริง จะพบว่าเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะใช้เวลาประมาณ 10 นาที ซึ่งแบ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ประมาณ 4 นาทีและเวลาที่ใช้ในการหาผลเฉลยประมาณ 6 นาที โดยผลเฉลยจะทำการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้า 1 คำสั่ง

ตารางที่ 5.23 รายละเอียดของกระบวนการกำเนิดสดมภ์ของชุดปัญหาการดำเนินการจริง

ชุดปัญหา	กระบวนการกำเนิดสดมภ์			
	จำนวนรอบ	จำนวนสดมภ์ที่ถูกกำเนิด	จำนวนสดมภ์ทั้งหมด	% สดมภ์ที่ถูกกำเนิด
C-1	14	115,664	984,673	11.75%
C-2	12	173,945	1,249,302	13.92%
C-3	18	212,298	1,845,818	11.50%

จากตารางที่ 5.23 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงข้อมูลของกระบวนการกำเนิดสดมภ์ในการหาผลเฉลย โดยจำนวนสดมภ์หรือตัวแปรตัดสินใจที่ถูกเพิ่มกลับเข้ามาในแบบจำลองมีค่าไม่เกิน 15% ทั้ง 3 ชุดปัญหา นอกจากนี้ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าร้อยละของจำนวนสดมภ์ที่ถูกเพิ่มกลับเข้าสู่แบบจำลองสำหรับชุดปัญหา C-3 ซึ่งเป็นชุดปัญหาที่มีขนาดใหญ่ที่สุด กลับมีค่าน้อยกว่าชุดปัญหา C-1 และ C-2 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งมีสาเหตุอันเนื่องมาจากชุดปัญหา C-3 มีจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่สามารถเลือกเข้าสู่แบบจำลองมากกว่า ดังนั้นเมื่อพิจารณาในลักษณะของร้อยละ จะพบว่าจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่ถูกกำเนิดกลับเข้าสู่แบบจำลองจึงมีค่าน้อยกว่า

ตารางที่ 5.24 รายละเอียดของกระบวนการกำเนิดแถวของชุดปัญหาการดำเนินการจริง

ชุดปัญหา	กระบวนการกำเนิดแถว				
	จำนวนแถวพื้นฐาน	จำนวนรอบ	จำนวนแถวที่ถูกกำเนิด	จำนวนแถวทั้งหมด	% แถวที่ถูกกำเนิด
C-1	28	6	28	503	5.57%
C-2	30	4	16	505	3.17%
C-3	30	7	48	1,470	3.27%

พิจารณาตารางที่ 5.24 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงข้อมูลของกระบวนการกำเนิดแถวในการหาผลเฉลย โดยแถวหรือสมการเงื่อนไขจะแบ่งเป็นสองส่วนคือ เงื่อนไขพื้นฐานซึ่งในที่นี้คือสมการเงื่อนไขพื้นฐานของแบบจำลองแก้ปัญหาการแบ่งเซต และสมการเงื่อนที่จะถูกกำเนิดกลับสู่แบบจำลองซึ่งในที่นี้คือสมการเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ โดยทั้ง 3 ชุดปัญหาสามารถแก้ได้โดยมีการกำเนิดสมการเงื่อนไขกลับเข้าสู่แบบจำลองไม่เกิน 6% ทั้ง 3 ชุดปัญหา ซึ่งมีค่าน้อยมาก แสดงให้เห็นว่าวิธีการกำเนิดแถวมีประสิทธิภาพมากในการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 5.25 รายละเอียดของผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองเทียบกับแผนการดำเนินการจริง

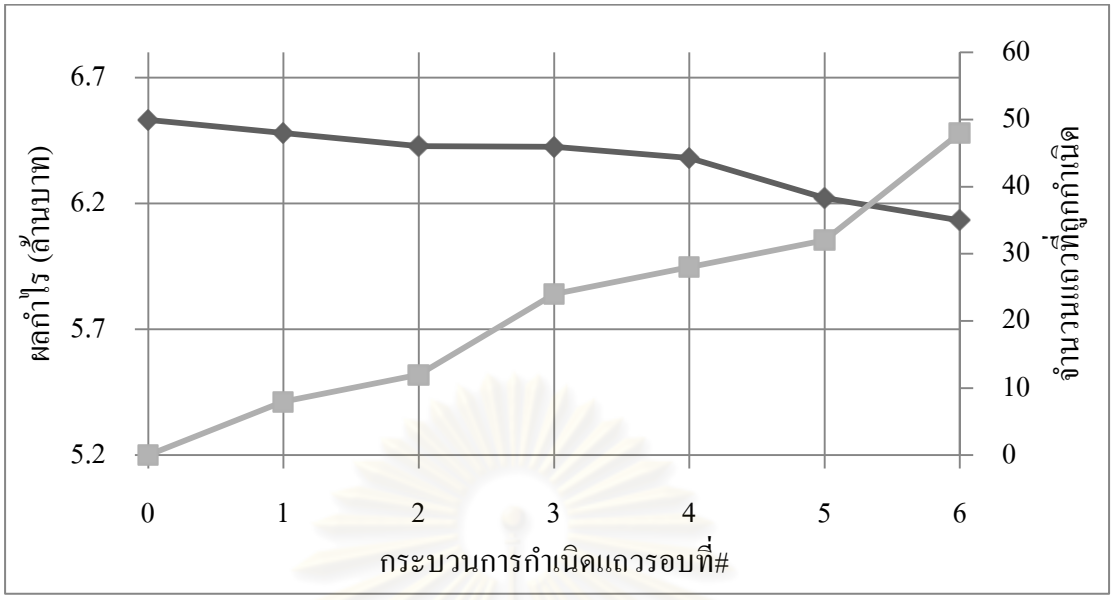
ชุดปัญหา	ผลเฉลยจากแบบจำลอง		แผนการดำเนินการจริง		ผลต่างกำไร (บาท)	ร้อยละของผลต่าง
	กำไร (บาท)	ความคับคั่งบริเวณท่าเรือ (ลำ.วัน)	กำไร (บาท)	ความคับคั่งบริเวณท่าเรือ (ลำ.วัน)		
C-1	2,986,432	0	2,555,320	8	431,112	15.56%
C-2	2,556,721	0	2,660,430	8	-103,709	-3.90%
C-3	6,133,002	0	5,404,489	12	728,513	12.63%

พิจารณาตารางที่ 5.25 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงข้อมูลค่าของสมการวัตถุประสงค์ซึ่งในที่นี้คือผลกำไรจากการดำเนินการรวมทั้งปริมาณความคับคั่งบริเวณท่าเรือที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบกับผลการดำเนินการจริงในอดีต ซึ่งแผนการดำเนินการจริงในอดีตจะให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าทุกๆคำสั่งโดยไม่มีการปฏิเสธ ซึ่งจะทำให้ชุดปัญหาทั้ง 3 ชุด ประสบกับปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือ พิจารณาในส่วนของผลกำไรที่หาได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับแผนการดำเนินการในอดีตจะพบว่าชุดปัญหาที่ C-1 และ C-3 ผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองจะให้ผลกำไรสูงกว่า รวมทั้งยังสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือ และชุดปัญหาที่ C-3 จะทำการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้า 1 คำสั่ง แต่ผลกำไรที่ได้ยังคงมีค่าสูงกว่าแผนการดำเนินการในอดีต ในส่วนของชุดปัญหาที่ C-2 จะพบว่าผลกำไรที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าต่ำกว่าผลกำไรของแผนดำเนินการในอดีต ซึ่งสาเหตุที่ทำให้ผลกำไรจากแบบจำลองมีค่าน้อยกว่าเนื่องจากแบบจำลองได้ทำการหาผลเฉลยโดยทำการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้า 1 คำสั่งเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือและไม่สามารถจัดตารางเดินเรือเพื่อลดต้นทุนจนสามารถชดเชยรายได้ที่เสียไปจากการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าดังกล่าวได้

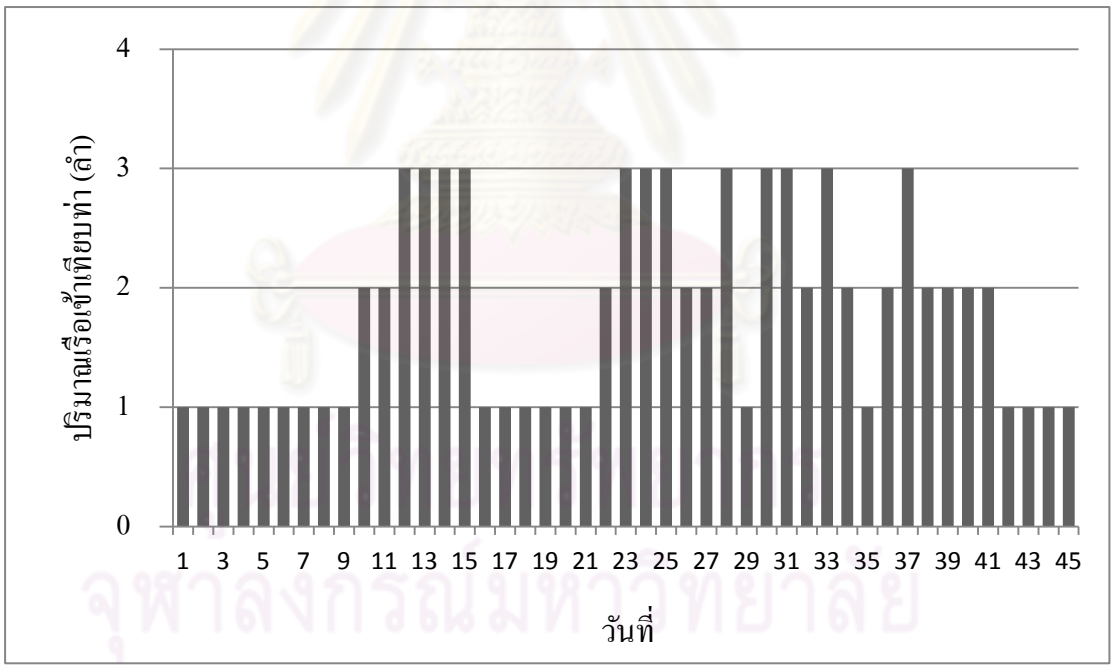
การพิจารณาความคับคั่งบริเวณท่าเรือในการหาผลเฉลยจะส่งผลให้ค่าสมการวัตถุประสงค์มีค่าลดลงเรื่อย เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่พิจารณาเงื่อนไขดังกล่าว ซึ่งการลดลงของค่าสมการวัตถุประสงค์จะมี 2 ลักษณะคือ การลดลงในขณะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะคำสั่งขนส่งสินค้าที่ให้บริการโดยค่าสมการวัตถุประสงค์จะลดลงเนื่องจากมีการปรับตารางเดินเรือเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือ และลักษณะที่ 2 คือ การลดลงเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะคำสั่งขนส่งสินค้าที่ให้บริการ ซึ่งแนวโน้มการลดลงของค่าสมการวัตถุประสงค์ลักษณะที่ 2 มีแนวโน้มในการลดลงที่สูงกว่า พิจารณาจากรูปที่ 5.22 จะพบว่าค่าสมการวัตถุประสงค์หรือในที่นี้คือ ผลกำไรจะมีค่าลดลงตามจำนวนรอบที่มีการเพิ่มสมการเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ โดยกระบวนการกำเนิดแถวในรอบที่ 0 ถึงรอบที่ 4 ผลเฉลยที่ได้จะยังไม่มีการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าในขณะที่กระบวนการกำเนิดแถวตั้งแต่รอบที่ 5 เป็นต้นไปจะมีการปฏิเสธคำสั่งเกิดขึ้นเนื่องจากเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ

เมื่อพิจารณาผลเฉลยที่ได้จากแบบจำลองและแผนดำเนินการจริงในอดีตในรูปของแผนภูมิแจกแจงปริมาณเรือที่เข้าเทียบท่าของท่าเรือ SK ซึ่งเป็นท่าเรือเดียวที่พบปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือจากแผนดำเนินการจริงในอดีตตามที่แสดงในรูปที่ 5.23 จะพบว่าผลเฉลยจากแบบจำลองจะมีการกระจายปริมาณเรือที่ต้องเทียบท่าในช่วงเวลาที่เกิดปัญหาความคับคั่งออกไปยังช่วงเวลาที่ไม่ประสบปัญหาและทำการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าที่เหมาะสมที่สุด เมื่อพบว่าการกระจายปริมาณเรือไม่สามารถลดปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือได้อีกต่อไป โดยคำสั่งขนส่งสินค้าที่ผลเฉลยทำการปฏิเสธนั้น มีความต้องการเข้าเทียบท่าเรือ SK ในช่วงวันที่ 21-26 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณเข้าเทียบท่าเรือ SK สูงที่สุด ตามที่แสดงในรูปที่ 5.24

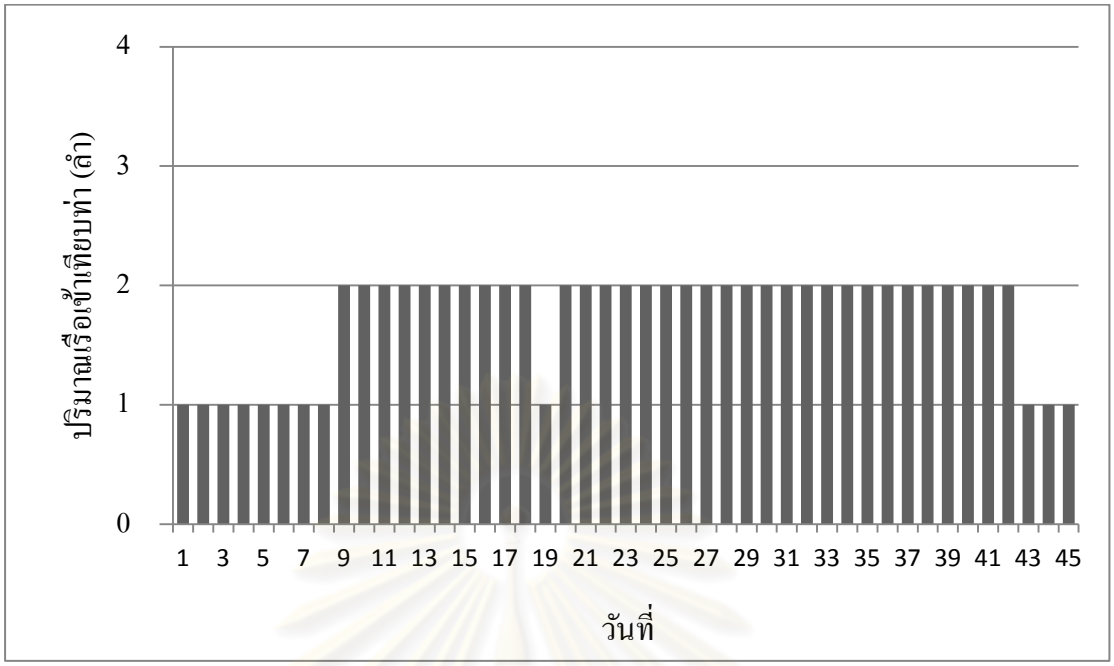
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.22 ค่าของสมการวัตถุประสงค์และจำนวนแถวที่ถูกกำเนิดเข้าสู่แบบจำลองในแต่ละรอบของกระบวนการกำเนิดแถว



รูปที่ 5.23 ปริมาณเรือเข้าเทียบท่าสำหรับท่าเรือ SK ภายใต้ตารางเดินเรือที่เกิดขึ้นจริงในอดีต



รูปที่ 5.24 ปริมาณเรือเข้าเทียบท่าสำหรับท่าเรือ SK ภายใต้ตารางเดินเรือที่ได้จากแบบจำลอง

5.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหาการวางแผนอื่นๆ

นอกเหนือจากตารางเดินเรือซึ่งเป็นผลเฉลยโดยตรงที่ได้แบบจำลองแล้ว แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาหรือใช้เป็นแนวทางในขั้นตอนการวางแผนของธุรกิจเดินเรือ ทั้งในส่วนของการบริหารรายรับ การบริหารฝูงเรือ การกำหนดกรอบเวลาที่เหมาะสมสำหรับคำสั่งขนส่งสินค้า เป็นต้น โดยมีรายละเอียดดังนี้

นอกเหนือจากตารางเดินเรือซึ่งเป็นผลเฉลยโดยตรงที่ได้จากแบบจำลองแล้ว แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาหรือใช้เป็นแนวทางในขั้นตอนการวางแผนอื่นๆของธุรกิจเดินเรือ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

5.6.1 การประยุกต์แบบจำลองเพื่อหาขนาดเรือขนส่งสินค้าเช่าที่เหมาะสม

จากการทดสอบชุดปัญหาในหัวข้อ 5.5 จะพบว่าในบางสถานการณ์ผู้ดำเนินการจำเป็นต้องปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าบางคำสั่ง ซึ่งการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าจะเกิดขึ้นได้จาก 2 สาเหตุคือ ปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือ และ ปัญหาไม่สามารถบริหารเรือเพื่อกลับมารับสินค้าได้ทันเวลา ซึ่งชุดปัญหาการดำเนินการจริงในอดีตจะทำการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าในกรณีแรกเท่านั้น ผู้วิจัย

จึงทำการสร้างชุดปัญหา D-1 ซึ่งเป็นชุดปัญหาที่ทดสอบแล้วพบว่ามีการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้า อันเนื่องมาจากไม่สามารถบริหารเรือขนส่งสินค้าให้กลับสินค้าได้ทัน ซึ่งผู้วิจัยทดสอบโดยการผ่อนคลายเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือจากนั้นจึงทำการหาผลเฉลย เพื่อให้การปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าเกิดจากปัญหาการบริหารเรือขนส่งสินค้าเท่านั้น โดยการหาผลเฉลยจริงยังคงไว้ซึ่งเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ ซึ่งชุดปัญหา D-1 มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 5.26 รายละเอียดของชุดปัญหา D-1

รายละเอียดชุดปัญหา	*ชุดปัญหาที่*
	D-1
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	5
น้ำหนักเฉลี่ยสินค้า (ตัน)	1,800
ท่าเรือต้นทาง/ปลายทาง (ท่าเรือ)	4
คำสั่งขนส่งสินค้า (คำสั่ง)	15
ความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย (ชั่วโมง)	72
จำนวนเรือเทียบท่าสูงสุด (ลำ)	2
ระยะเวลารอคอยสูงสุดเฉลี่ย (วัน)	2
คาบเวลาในการวางแผน (วัน)	12

จากการหาผลเฉลยโดยใช้เรือเพียง 5 ลำ จะพบว่าผลเฉลยจะทำการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้า 4 คำสั่ง โดยมีรายละเอียดตามที่แสดงในตารางที่ 5.27 ซึ่งภายใต้สถานการณ์นี้ ผู้ประกอบการสามารถจัดหาเรือขนส่งสินค้าจากภายนอกบริษัท เพื่อนำมาให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าที่ถูกปฏิเสธ เพื่อเป็นการเพิ่มผลกำไร ซึ่งผู้ประกอบการต้องทำการเลือกขนาดของเรือให้เหมาะสม เนื่องจากต้นทุนของการใช้เรือแต่ละลำมีความแตกต่างกัน ซึ่งแนวคิดในปัจจุบันการเลือกเรือจะเป็นการพิจารณาว่าสินค้าที่ไม่สามารถขนส่งได้นั้นมีขนาดเท่าไหร่ จากนั้นจึงทำการเลือกเช่าเรือที่มีขนาดเหมาะสม ซึ่งการตัดสินใจในลักษณะนี้ไม่สามรถยืนยันได้ว่าเป็นการตัดสินใจที่ดีที่สุด เพราะขาดการพิจารณาภาพรวมอื่นๆภายในโครงข่าย

แนวทางในการประยุกต์แบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวคือ การเพิ่มกลุ่มเรือขนส่งสินค้าที่บริษัททำการเช่าได้ เข้าสู่แบบจำลอง ซึ่งผลเฉลยที่ได้จะเป็นรูปแบบการเช่าเรือขนส่งสินค้าที่ทำ

ให้ได้ผลกำไรสูงที่สุด และมีความเป็นไปได้ที่จะไม่ทำการเลือกเช่าเรือขนส่งสินค้าเลย ในกรณีที่ไม่สามารถเพิ่มผลกำไรจากการเช่าเรือขนส่งสินค้าได้

ผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มฝูงเรือที่มีลักษณะเหมือนกับฝูงเรือในเบื้องต้นอีก 1 ฝูงเรือให้กับชุดปัญหา D-1 และกำหนดให้ปัญหาที่ทำการเพิ่มฝูงเรือคือชุดปัญหา D-1' โดยกำหนดให้เรือทุกลำสามารถให้บริการได้ทันทีที่ท่าเรือ BKK ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นของคาบการวางแผนและมีต้นทุนในการเดินเรือเพิ่มเป็น 2 เท่า ซึ่งรายละเอียดของผลเฉลยจะถูกแสดงไว้ในที่ 5.22 เช่นเดียวกัน

ตารางที่ 5.27 รายละเอียดของการแก้ปัญหา D-1 และ D-1'

รายละเอียดของชุดปัญหา	ชุดปัญหาย่อย	
	D-1	D-1'
เวลาในการสร้างเซต (วินาที)	10.553	22.734
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ	24,434	56,522
จำนวนสมการเงื่อนไข	404	409
เวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	15.438	38.761
คำสั่งขนส่งสินค้าที่ปฏิเสธ (คำสั่ง)	4	2
จำนวนเรือไม่ได้ใช้งาน (ลำ)	0	4
กำไร (บาท)	4,053,821	4,439,205

จากผลการทดสอบปัญหา D-1' ซึ่งเป็นปัญหาสมมุติของปัญหา D-1 เพื่อใช้ในการกำหนดแนวทางในการจัดหาเรือขนส่งสินค้าเพิ่มเติม ซึ่งชุดปัญหา D-1' จะมีขนาดใหญ่กว่าชุดปัญหา D-1 ประมาณ 1 เท่า เนื่องจากปัจจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงคือ มีปริมาณเรือขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้น 1 เท่า ซึงผลเฉลยที่ได้จะมีการใช้เรือเช่าเพิ่มจำนวน 1 ลำ โดยสามารถให้บริการคำสั่งสินค้าเพิ่มขึ้นได้ 2 คำสั่ง โดยที่มีผลกำไรเพิ่มขึ้น 485,384 บาท หรือคิดเป็น 9.5% ของผลกำไรก่อนการเช่าเรือ ซึ่งผลเฉลยในส่วนนี้สามารถใช้เป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจเช่าเรือหรือจัดหาเรือเพื่อเพิ่มความสามารถในการให้บริการของฝูงเรือได้

5.6.2 การประยุกต์แบบจำลองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดราคาค่าขนส่งสินค้า

เนื่องจากลักษณะการวางแผนของการเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองที่ไม่มีตารางเดินเรือกำหนดตายตัว แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะขององุปสงค์ในการขนส่งสินค้า ส่งผลให้การวางมีลักษณะการวางแผนที่สามารถปรับปรุงได้ตลอดเวลาก่อนที่จะทำการเดินเรือจริง (Rolling Planning) การประยุกต์ใช้แบบจำลองในส่วนนี้จะเป็นการใช้แบบจำลองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดราคาค่าขนส่งสินค้าที่ผู้ให้บริการได้รับการเสนอจากผู้ว่าจ้างภายหลังจากที่ตารางเดินเรือกำหนดแล้ว โดยแนวทางในการแก้ปัญหาในปัจจุบันจะอาศัยข้อมูลในอดีตเพื่อกำหนดราคาที่เหมาะสมสำหรับคำสั่งขนส่งสินค้าที่ได้รับการเสนอเข้ามาใหม่ อย่างไรก็ดีวิธีการแก้ปัญหาแบบนี้ไม่สามารถยืนยันได้ว่าราคาที่กำหนดไปนั้นมีความเหมาะสมหรือไม่ หากกำหนดต่ำไปก็จะเป็นการเสียประโยชน์ของบริษัทเดินเรือ ในกรณีที่กำหนดราคาค่าขนส่งสูงเกินไปจะส่งผลให้ผู้ว่าจ้างมีแนวโน้มจะเปลี่ยนไปใช้ผู้บริการอื่น ซึ่งการประยุกต์ใช้แบบจำลองในส่วนนี้จะเป็นการหาผลเฉลยเพื่อหาราคาขั้นต่ำที่จะทำให้ผู้ประกอบการไม่เสียประโยชน์จากการให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าดังกล่าว และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดราคาค่าขนส่งสินค้าต่อไป

แนวทางในการประยุกต์ใช้แบบจำลองในขั้นตอนนี้จะทำการเพิ่มคำสั่งขนส่งสินค้าที่จะทำการพิจารณากำหนดราคาเข้าสู่แบบจำลองโดยกำหนดให้มีรายได้จากคำสั่งขนส่งดังกล่าวให้มีค่าเท่ากับ 0 และกำหนดให้แบบจำลองต้องเลือกให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าดังกล่าว จากนั้นทำการหาผลเฉลยของชุดปัญหาดังกล่าวเปรียบเทียบกับชุดปัญหาที่ยังไม่ทำการเพิ่มคำสั่งขนส่งสินค้าดังกล่าวเพื่อพิจารณารายได้ที่ลดลงของบริษัท

การประยุกต์ใช้แบบจำลองในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยจะทำการพิจารณาชุดปัญหา D-2 ซึ่งเป็นชุดปัญหาที่ทำการกำหนดตารางเดินเรือไว้แล้ว โดยมีรายละเอียดตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.28 และกำหนดให้มีคำสั่งขนส่งสินค้า S#11 เพิ่มเติมขึ้นมาภายหลัง และกำหนดให้ปัญหา D-2’ เป็นชุดปัญหาที่มีลักษณะเช่นเดียวกับชุดปัญหา D-2 แต่จะกำหนดให้คำสั่งขนส่งสินค้าที่ถูกวางแผนให้รับบริการจากผลเฉลยของชุดปัญหา D-1 ต้องถูกส่งในชุดปัญหา D-2’ ด้วย รวมทั้งคำสั่งขนส่งสินค้า S#16 ต้องถูกให้บริการโดยที่มีรายได้เท่ากับ 0 โดยผลเฉลยของทั้ง 2 ชุดปัญหาจะถูกแสดงในตารางที่ 5.29

ตารางที่ 5.28 รายละเอียดของชุดปัญหา D-2

รายละเอียดชุดปัญหา	*ชุดปัญหาที่*
	D-2
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	10
น้ำหนักเฉลี่ยสินค้า (ตัน)	1,630
ท่าเรือต้นทาง/ปลายทาง (ท่าเรือ)	4
คำสั่งขนส่งสินค้า (คำสั่ง)	10
ความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย (ชั่วโมง)	72
จำนวนเรือเทียบท่าสูงสุด (ลำ)	2
ระยะเวลารอคอยสูงสุดเฉลี่ย (วัน)	2
คาบเวลาในการวางแผน (วัน)	15

ผลการทดสอบจากตารางที่ 5.29 พบว่าผลกำไรของผู้ดำเนินการมีค่าลดลง 979,317 บาท หรือคิดเป็น 17.05% ของรายได้เดิมก่อนทำการให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้า S#11 ดังนั้นหากผู้ดำเนินการต้องการรับบริการคำสั่งขนส่งสินค้า S#11 และไม่ทำให้ผลกำไรมีค่าลดลง ค่าขนส่งสินค้าของคำสั่งขนส่งสินค้าต้องมีค่าอย่างน้อย 979,317 บาท อย่างไรก็ดีเมื่อทำการพิจารณาผลเฉลยจะพบว่ามีการใช้เรือขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้น 1 ลำ และเรือลำดังกล่าวถูกนำมาใช้ขนส่งสินค้า S#11 เท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองไม่สามารถจัดให้คำสั่งขนส่งสินค้า S#11 ถูกขนส่งได้โดยฝูงเรือเดิม ซึ่งเป็นสาเหตุให้ผลกำไรมีการลดลงอย่างมาก และจะส่งผลให้ผู้ดำเนินการจำเป็นต้องตั้งราคาค่าขนส่งสินค้าสูงเพราะไม่สามารถแทรกคำสั่งขนส่งสินค้า S#11 เข้าสู่ฝูงเรือเดิมได้

นอกจากนี้วิธีการประยุกต์ที่ได้กล่าวถึงในเบื้องต้นนั้นยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประเมินความคุ้มค่าของคำสั่งขนส่งสินค้าที่ไม่สามารถปฏิเสธได้อีกด้วย เนื่องจากคำสั่งขนส่งสินค้าที่ไม่สามารถปฏิเสธได้จะประกอบด้วยคำสั่งขนส่งสินค้า 2 ส่วน คือคำสั่งขนส่งสินค้าที่มีสัญญาผูกพันระยะยาว และคำสั่งขนส่งสินค้าที่ผู้ประกอบการต้องการรักษาฐานลูกค้าไว้จึงไม่ทำการปฏิเสธการว่าจ้าง ซึ่งจะเห็นว่าคำสั่งขนส่งสินค้าในกลุ่มกลังสุดนี้ แท้จริงแล้วยังสามารถต่อลองหรือปฏิเสธได้ ซึ่งการประยุกต์ใช้ในหัวข้อนี้สามารถนำมาพิจารณาความคุ้มค่าหรือการกำหนดราคาในส่วนนี้ได้อีกด้วย

ตารางที่ 5.29 รายละเอียดของการแก้ปัญหา D-2 และ D-2’

รายละเอียดของชุดปัญหา	ชุดปัญหาย่อย	
	D-2	D-2’
เวลาในการสร้างเซต (วินาที)	12.520	28.734
จำนวนตัวแปรตัดสินใจ	26,553	53,792
จำนวนสมการเงื่อนไข	500	501
เวลาในการหาผลเฉลย (วินาที)	16.460	45.615
คำสั่งขนส่งสินค้าที่ปฏิเสธ (คำสั่ง)	0	0
จำนวนเรือไม่ได้ใช้งาน (ลำ)	3	2
กำไร (บาท)	5,742,578	4,863,261

5.6.3 การประยุกต์แบบจำลองเพื่อใช้ระบุกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าเพื่อให้สามารถดำเนินการได้

จากการเก็บข้อมูลจากบริษัทตัวอย่างเกี่ยวกับลักษณะของกรอบเวลาขนส่งสินค้า พบว่าลักษณะกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าจะมีลักษณะยืดหยุ่นและสามารถเจรจาต่อรองได้ เนื่องจากผู้ว่าจ้างมักจะทำการว่าจ้างขนส่งสินค้าก่อนความต้องการใช้งานจริงเป็นเวลาค่อนข้างมาก ส่วนหนึ่งเกิดจากความต้องการลดความเสี่ยงของผู้ว่าจ้างจากความแปรปรวนของเวลาในการขนส่งสินค้าและสภาพอากาศที่ส่งผลกระทบต่อเวลาในการเดินเรือ แต่ในขั้นตอนเจรจาต่อเพื่อขยายกรอบเวลาสินค้าในปัจจุบันจะเป็นลักษณะที่เกิดความล่าช้าแล้วหรือคาดการณ์ว่าจะเกิดความล่าช้าก่อน จึงจะมีการต่อรองกับทางผู้ว่าจ้างในลักษณะของการเจรจาเพื่อหาทางออกระหว่างผู้ว่าจ้างและผู้ให้บริการ

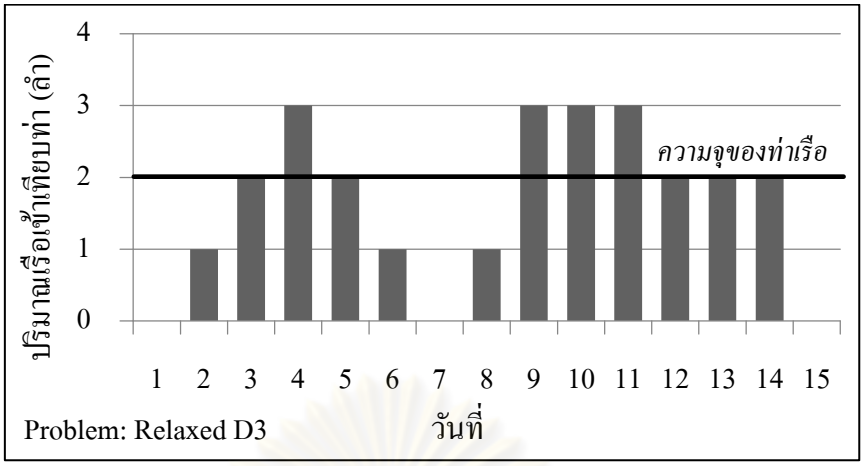
การประยุกต์ใช้แบบจำลองในส่วนนี้จะเป็นการช่วยเพิ่มผมกำไรให้กับผู้ประกอบการโดยการกำหนดกรอบเวลาที่เหมาะสมให้กับคำสั่งขนส่งสินค้าที่ถูกปฏิเสธออกไปเนื่องจากความไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ เพื่อให้ผู้ประกอบการนำกรอบเวลาที่เหมาะสมไปใช้ในการต่อรองเพื่อเลื่อนหรือขยายกรอบเวลาให้มีความเหมาะสมมากขึ้นและสามารถให้บริการได้โดยสอดคล้องกับเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ

แนวทางการประยุกต์แบบจำลองในการแก้ปัญหาดังกล่าวจะเป็นการผ่อนคลายกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าโดยอาจจะอาศัยประสบการณ์ของผู้วางแผนเกี่ยวกับลักษณะสินค้า ว่ากรอบเวลาสามารถต่อรองปรับเลื่อนหรือขยายได้เท่าไหร่ จากนั้นทำการหาผลเฉลยอีกครั้งด้วยกรอบเวลาที่ได้จากการคาดการณ์สำหรับคำสั่งขนส่งสินค้าที่ถูกปฏิเสธ พิจารณาผลเฉลยที่ได้ หากคำสั่งขนส่งสินค้าดังกล่าวถูกให้บริการ ผู้ดำเนินการจะสามารถกำหนดกรอบเวลาที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการเจรจาต่อรองกับผู้ว่าจ้างทำการขนส่งสินค้า ในกรณีที่คำสั่งขนส่งสินค้ายังไม่ถูกให้บริการ ให้ทำการปรับปรุงขยายกรอบเวลาอีกครั้งแล้วทำการหาผลเฉลยใหม่ จนกระทั่งคำสั่งขนส่งสินค้าดังกล่าวได้ถูกให้บริการ

ตารางที่ 5.30 รายละเอียดของปัญหา D-3 และ D-3’

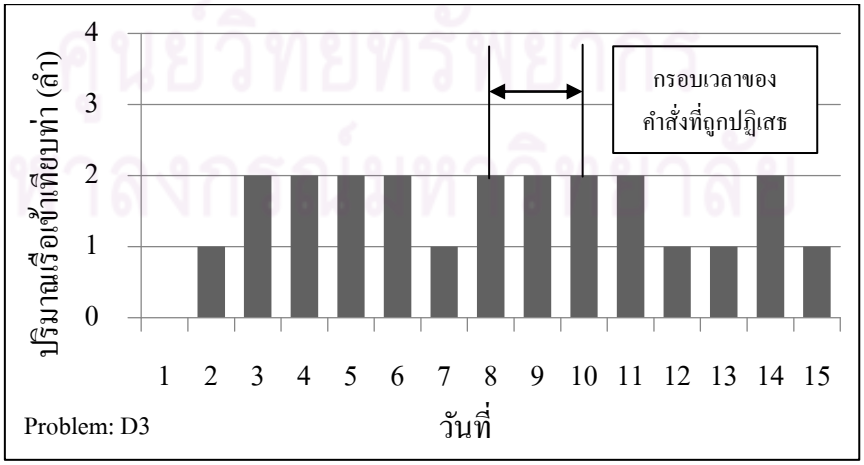
รายละเอียดชุดปัญหา	*ชุดปัญหา*	
	D-3	D-3’
จำนวนเรือขนส่งสินค้า (ลำ)	10	10
น้ำหนักเฉลี่ยสินค้า (ตัน)	1,760	1,760
ท่าเรือต้นทาง/ปลายทาง (ท่าเรือ)	4	4
คำสั่งขนส่งสินค้า (คำสั่ง)	10	10
ความกว้างกรอบเวลาเฉลี่ย (ชั่วโมง)	72	86.4
จำนวนเรือเทียบท่าสูงสุด (ลำ)	2	2
ระยะเวลารอคอยสูงสุดเฉลี่ย (วัน)	2	2
คาบเวลาในการวางแผน (วัน)	15	15

การประยุกต์ใช้แบบจำลองในส่วนนี้ผู้วิจัยจะทำการพิจารณาชุดปัญหา D-3 ซึ่งเป็นชุดปัญหาที่ประสบกับปัญหาการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าโดยมีรายละเอียดตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.30 ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการผ่อนคลายเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือออกไปเพื่อตรวจสอบว่าการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าเกิดขึ้นจากปัญหาเรือไม่เพียงพอหรือไม่ ซึ่งพบว่า ผลเฉลยที่ได้สามารถให้บริการคำสั่งขนส่งสินค้าทั้งหมดโดยไม่มีการปฏิเสธ โดยมีบางช่วงเวลาที่ท่าเรือ SK ประสบปัญหาความคับคั่งดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.25 ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าเรือขนส่งสินค้ามีปริมาณเพียงพอต่อการให้บริการ และสาเหตุของการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้าเกิดจากความไม่สอดคล้องของกรอบเวลากับเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือเพียงอย่างเดียว



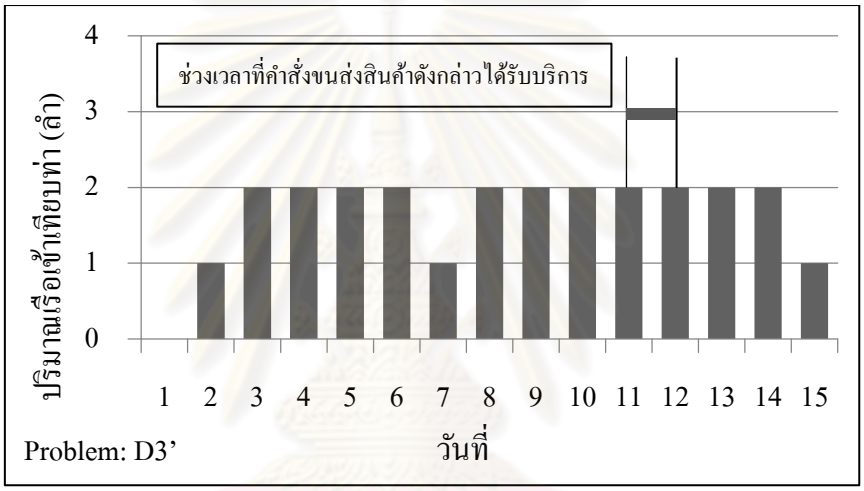
รูปที่ 5.25 การกระจายตัวของเรือขนส่งสินค้าที่ต้องการเข้าเทียบท่าเรือ SK โดยทำการผ่อนคลายเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือของปัญหา D-3

เมื่อทำการหาผลเฉลยโดยพิจารณาเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือจะพบว่ามีการปฏิเสธคำสั่งขนส่งสินค้า 1 คำสั่ง โดยแผนภูมิแสดงการกระจายตัวของเรือที่ต้องการเข้าเทียบท่าเรือ SK ถูกแสดงไว้ในรูปที่ 5.26 โดยคำสั่งขนส่งสินค้าที่ถูกปฏิเสธจะมีกรอบเวลาในการส่งสินค้าที่ท่าเรือ SK ตั้งแต่วันที่ 8 ถึงวันที่ 10 และใช้เวลาในการขนสินค้าลงจากเรือ 2 วัน ในการประยุกต์แบบจำลองเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจะทำการสร้างปัญหา D-3' ที่มีลักษณะเช่นเดียวกับปัญหา D-3 แต่มีการกำหนดเงื่อนไขให้สินค้าที่ถูกส่งในปัญหา D-3 ต้องถูกส่งในปัญหา D-3' ด้วย และสินค้าที่ถูกปฏิเสธในปัญหา D-3 จะถูกตัดออกจากการพิจารณา นอกจากนี้จะทำการผ่อนคลายกรอบเวลาของสินค้าที่ถูกปฏิเสธในปัญหา D-3 ให้สามารถทำการส่งที่เรือ SK ได้ตลอดเวลา โดยรายละเอียดของปัญหา D-3' จะถูกแสดงในตารางที่ 5.30



รูปที่ 5.26 การกระจายตัวของเรือขนส่งสินค้าที่ต้องการเข้าเทียบท่าเรือ SK ของปัญหา D-3

พิจารณาผลเฉลยของปัญหา D-3’ จะพบว่าคำสั่งขนส่งสินค้าที่ถูกปฏิเสธในปัญหา D-3 จะถูกให้บริการในชุดปัญหา D-3’ โดยคำสั่งสินค้าดังกล่าวจะเข้าเทียบท่าเพื่อขนสินค้าลงจากเรือในวันที่ 11 ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.27 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากรอบเวลาที่เหมาะสมสำหรับคำสั่งขนส่งสินค้าดังกล่าวคือ เริ่มต้นขนส่งในวันที่ 11 เป็นต้นไป ดังนั้นหากผู้ประกอบการต้องการต่อรองกับเจ้าของสินค้าที่จะทำการขนส่งเพื่อให้สามารถดำเนินการขนส่งสินค้าดังกล่าวได้โดยไม่ประสบปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือ ผู้ประกอบการต้องเจรจาเพื่อให้สามารถขนส่งสินค้าดังกล่าวตั้งแต่วันที่ 11 เป็นต้นไป



รูปที่ 5.27 การกระจายตัวของเรือขนส่งสินค้าที่ต้องการเข้าเทียบท่าเรือ SK ของปัญหา D-3’

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการศึกษาและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

6.1 สรุปผลการศึกษา

การจัดตารางเดินเรือเป็นกิจกรรมที่สำคัญในการดำเนินธุรกิจการเดินเรือสินค้าทางทะเล เนื่องจากเกี่ยวข้องกับการตัดสินใจซึ่งส่งผลกระทบต่อเงินมูลค่ามหาศาลทั้งในแง่ของรายจ่าย และผลกำไร ถึงแม้ว่ากิจกรรมดังกล่าวจะสามารถกระทำได้โดยอาศัยประสบการณ์ ร่วมกับการตัดสินใจของผู้วางแผนเพื่อให้ได้มาซึ่งตารางเดินเรือที่สามารถดำเนินการได้ แต่การวางแผนตารางเดินเรือให้ได้มาซึ่งตารางเดินเรือที่ดีสุด เพื่อให้ได้ผลกำไรสูงสุดนั้น มีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก นอกจากนี้ การจัดตารางเดินเรือโดยทั่วไปจะถูกแบ่งออกเป็นการวางแผน 2 ขั้นตอนคือ การจัดเส้นทางเดินเรือและการกำหนดเวลาในการเดินเรือ ซึ่งลดความซับซ้อนของปัญหาลงได้มาก แม้ว่าตารางเดินเรือที่ได้อาจจะยังไม่ใช่ตารางเดินเรือที่ดีที่สุด

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการรวมขั้นตอนการวางแผนจัดเส้นทางเดินเรือและการจัดตารางเดินเรือเข้ามาอยู่ในขั้นตอนการวางแผนเดียว โดยคำนึงถึงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้การดำเนินการจริงไม่สอดคล้องกับแผนตารางเดินเรือที่วางไว้ อีกทั้งปัญหาดังกล่าวยังก่อให้เกิดต้นทุนในด้านต่างๆ ทั้งในแง่ของต้นทุนดำเนินการและต้นทุนความเสี่ยง รวมไปถึงการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวภายใต้เงื่อนไขต่างๆที่เกิดขึ้นภายใต้สภาวะการปฏิบัติงานจริง รวมทั้งทำการทดสอบ เปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลการจัดตารางเดินเรือด้วยวิธีการเดิมและการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหา

ในงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบแบบจำลองด้วยชุดปัญหาหลัก 4 ชุดปัญหา โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ชุดปัญหาที่มีขนาดเล็กเพื่อศึกษาพฤติกรรมของแบบจำลอง

ชุดปัญหาดังกล่าวจะประกอบด้วยชุดข้อมูล A-1, A-2, A-3 และ A-4 โดยแต่ละชุดปัญหาจะประกอบด้วยชุดปัญหาย่อย 6 ชุดปัญหา สำหรับใช้ทดสอบพฤติกรรมของแบบจำลองภายใต้การเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆในการดำเนินงาน โดยสามารถสรุปได้ดังที่แสดงในตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 พฤติกรรมของแบบจำลองต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยอื่นของข้อมูลการขนส่ง

ชุดปัญหาที่	ปัจจัยที่ทำการแปรผัน	ลักษณะความสัมพันธ์เทียบกับ		
		จำนวนตารางเดินเรือ	เวลาในการสร้างตารางเดินเรือ	เวลาในการแก้ปัญหา
A-1	จำนวนเรือขนส่งสินค้า	เชิงเส้นตรง	เชิงเส้นตรง	เอ็กซ์โปเนนเชียล
A-2	จำนวนคำสั่งขนส่งสินค้า	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เอ็กซ์โปเนนเชียล
A-3	จำนวนท่าเรือ	เชิงเส้นตรง	เชิงเส้นตรง	เชิงเส้นตรง
A-4	ช่วงเวลารอคอยสูงสุดเฉลี่ยของคำสั่งขนส่งสินค้า	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เอ็กซ์โปเนนเชียล	เอ็กซ์โปเนนเชียล

ชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติ

ชุดปัญหาดังกล่าวจะประกอบด้วยชุดปัญหาย่อย 5 ชุดปัญหาได้แก่ B-1, B-2, B-3, B-4 และ B-5 ซึ่งมีรายละเอียดแตกต่างกันออกไปทั้งในส่วนของจำนวนและลักษณะอุปสงค์ในการขนส่งสินค้า ลักษณะเรือและคาบเวลาในการวางแผน โดยชุดข้อมูลทั้ง 5 ชุด จะถูกนำไปวิเคราะห์ภายใต้เงื่อนในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน รวมทั้งระดับความละเอียดในการวิเคราะห์

การแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ เพื่อนำไปใช้เป็นตัวแปรตัดสินใจของแบบจำลองคณิตศาสตร์ ส่วนที่สองคือ การผลเฉลยของแบบจำลองคณิตศาสตร์ที่มีพื้นฐานมาจากแบบจำลองปัญหาการแบ่งเซต เป็นที่แน่นอนว่า เวลาในการหาผลเฉลยทั้ง 2 ส่วนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ซึ่งแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของเวลาในการหาผลเฉลยจะมีแนวโน้มสูงกว่าเวลาในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ โดยเวลาใน

การแก้ปัญหาของชุดปัญหา B-5 จะเป็นชุดปัญหาย่อยที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เนื่องจากมีคาบเวลาในการวางแผนและจำนวนคำสั่งขนส่งสินค้ามากกว่าสภาพการดำเนินการจริง ซึ่งพบว่าเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหารวมมีค่า 327 วินาทีหรือประมาณ 5 นาทีครึ่ง โดยแบ่งเป็นเวลาในการสร้างตารางเดินเรือ 88.44 วินาทีและเวลาในการแก้ปัญหา 238.64 วินาที เวลาที่ใช้จะอยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้สำหรับขั้นตอนการวางแผน

จากการทดสอบพบว่าเวลาที่ใช้ในการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ จำนวนตารางเดินเรือที่เป็นไปได้และเวลาในการหาผลเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นในลักษณะความสัมพันธ์แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล เมื่อตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลามีค่าลดลง นอกจากนี้ ยังพบว่าเมื่อทำการพิจารณาที่ระดับความละเอียดสูงขึ้น กล่าวคือ ตัวแปรกำหนดความไม่ต่อเนื่องของเวลามีค่าลดลง ค่าของสมการวัตถุประสงค์จะมีค่าดีขึ้นได้ใน 2 ลักษณะคือ การพัฒนาผลเฉลยโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตารางเดินเรือ ซึ่งการพัฒนาในลักษณะนี้ ค่าของสมการวัตถุประสงค์จะมีการพัฒนาเพียงเล็กน้อยและจะพบได้ในทุกๆชุดปัญหา ลักษณะที่สองคือ การพัฒนาผลเฉลยโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตารางเดินเรือ การเปลี่ยนแปลงในลักษณะนี้จะมีการพัฒนาค่าของสมการวัตถุประสงค์อย่างก้าวกระโดด และจะพบการพัฒนาผลเฉลยในลักษณะนี้ในชุดปัญหาที่มีความหนาแน่นของคำสั่งขนส่งสินค้าในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งสูง

ในส่วนของวิธีการการแก้ปัญหา จากการทดสอบเปรียบเทียบวิธีหาผลเฉลย 4 รูปแบบ คือ วิธีหาผลเฉลยปกติ, วิธีหาผลเฉลยด้วยเทคนิคกำเนิดสดมภ์, วิธีหาผลเฉลยด้วยเทคนิคกำเนิดแถว และวิธีการหาผลเฉลยผสมผสานระหว่างเทคนิคกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถว ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า โดยส่วนใหญ่ ข้อจำกัดของลักษณะปัญหาในงานวิจัยนี้คือ ข้อจำกัดทางด้านประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำไม่เพียงพอต่อการแก้ปัญหา และมีเพียงส่วนน้อยที่ใช้เวลาหาผลเฉลยนานเกินกว่าที่กำหนดไว้ (1 ชั่วโมง) อย่างไรก็ดี สำหรับทุกๆชุดปัญหาจะสามารถแก้ได้ด้วยวิธีการหาผลเฉลยผสมผสานระหว่างเทคนิคกำเนิดสดมภ์ รวมทั้งชุดปัญหาที่มีขนาดใหญ่กว่าสภาพการดำเนินการจริง วิธีดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้เวลาน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ รองลงมาเป็นวิธีหาผลเฉลยด้วยเทคนิคกำเนิดสดมภ์, วิธีหาผลเฉลยด้วยเทคนิคกำเนิดแถว และวิธีหาผลเฉลยปกติตามลำดับ โดยจำนวนตัวแปรตัดสินใจที่ถูกกำเนิดกลับไปยังแบบจำลองในขั้นตอนการกำเนิดสดมภ์มีค่าอยู่ในช่วง 8% ถึง 30% จากจำนวนตัวแปรตัดสินใจทั้งหมด ในส่วนของสมการเงื่อนไข

จะพบว่าแบบจำลองสามารถหาผลเฉลยได้โดยใช้สมการเงื่อนไขมากสุดเพียง 6% ของสมการเงื่อนไขทั้งหมดที่ต้องพิจารณา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถวสามารถประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้ได้อย่างเหมาะสม

ผลการทดสอบชุดปัญหาจริงของบริษัทตัวอย่าง

ชุดปัญหาดังกล่าวจะประกอบด้วยชุดปัญหาย่อย 3 ชุดปัญหาได้แก่ C-1, C-2 และ C-3 ซึ่งชุดปัญหา C-3 3 ซึ่งชุดปัญหา C-1 และ C-2 จะมีคาบการวางแผน 15 วันตามลักษณะการดำเนินการจริง และชุดปัญหา C-3 จะเป็นชุดปัญหาที่มีคาบการวางแผน 45 วัน ซึ่งมีคาบการวางแผนยาวกว่าปกติ เพื่อใช้ทดสอบประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาในกรณีที่มีการเพิ่มความยาวของคาบการวางแผน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าชุดปัญหา C-3 ซึ่งเป็นชุดปัญหาที่มีขนาดใหญ่กว่าสภาพการดำเนินการจริง ได้ใช้เวลาในการแก้ปัญหาทั้งหมด 608.1 วินาที หรือประมาณ 10 นาที นอกจากนี้เมื่อทำการพิจารณากระบวนการกำเนิดสดมภ์และกำเนิดแถวจะพบว่า จำนวนสดมภ์ที่ถูกกำเนิดกลับเข้าสู่แบบจำลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.3% และจำนวนแถวที่ถูกกำเนิดกลับเข้าสู่แบบจำลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ใช้ในการแก้ปัญหานี้สามารถลดความซับซ้อนของปัญหาและสามารถนำมาใช้ในการหาผลเฉลยสำหรับชุดปัญหาจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการพิจารณาแผนตารางเดินเรือที่เกิดขึ้นจริงในอดีตพบว่า ประสบกับปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือทั้ง 3 ชุดปัญหา และเมื่อพิจารณาในส่วนของผลกำไรซึ่งเป็นค่าของสมการวัตถุประสงค์ของแบบจำลอง พบว่า 2 ใน 3 ของชุดข้อมูลการดำเนินการจริง นั่นคือชุดข้อมูล C-1 และ C-3 แบบจำลองสามารถให้ผลเฉลยที่หลีกเลี่ยงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือ และยังคงให้ผลกำไรในการดำเนินการสูงกว่าแผนดำเนินการที่เกิดขึ้นจริงในอดีต โดยผลกำไรที่ได้มีค่าสูงกว่า 431,112 บาท และ 728,513 บาท ซึ่งคิดเป็น 15.56% และ 12.63% ตามลำดับ ในส่วนของชุดปัญหา C-2 ตารางเดินเรือที่ได้จากแบบจำลองสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาความคับคั่งบริเวณท่าเรือได้ทั้งหมดเช่นกัน แต่ผลกำไรที่ได้มีค่าน้อยกว่าผลการดำเนินการจริงในอดีต ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 103,709 บาท คิดเป็น 3.90% โดยในส่วนนี้ผู้ดำเนินการจะต้องตัดสินใจเปรียบเทียบความคุ้มค่าจากส่วนต่างของผลกำไรเทียบกับความเสี่ยงที่ตารางเดินเรือจะประสบปัญหาความล่าช้าจากความคับคั่งบริเวณท่าเรือ อย่างไรก็ตาม ในส่วนของหัวข้อการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหาการวางแผน

อื่นๆ ได้กล่าวถึงการประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อกำหนดกรอบเวลาที่เหมาะสมสำหรับคำสั่งขนส่งสินค้าที่ถูกปฏิเสธ โดยกรอบเวลาที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการต่อรองกับผู้ว่าจ้างเพื่อให้การขนส่งสามารถดำเนินการได้

จากการทดสอบแบบจำลองทั้งในส่วนของชุดปัญหาการดำเนินการสมมุติที่สร้างขึ้นจากพื้นฐานการดำเนินการจริงทั้งในชุดปัญหาที่มีขนาดใกล้เคียงและชุดปัญหาที่มีขนาดใหญ่กว่าสภาพการดำเนินการจริง รวมทั้งชุดปัญหาการดำเนินการจริงในอดีตของบริษัทตัวอย่าง ที่ผู้วิจัยตั้งใจทดสอบโดยใช้คาบการวางแผนที่ยาวนานกว่าปกติเพื่อทดสอบประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองและวิธีการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ไปสู่การใช้ประโยชน์จริง ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นแล้วว่า วิธีที่พัฒนาขึ้นมานั้นมีความจำเป็น เนื่องจากวิธีหาผลเฉลยทั่วไปไม่สามารถทำงานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ ในขณะที่แบบจำลองและวิธีการแก้ปัญหาที่พัฒนาขึ้นนั้นสามารถหาผลเฉลยภายใต้ระยะเวลาและทรัพยากรที่เหมาะสมสำหรับทุกๆ ชุดปัญหาที่ทำการพิจารณา

<u>ขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์</u>

ขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์เป็นตัวแปรที่ใช้กำหนดการทำงานของกระบวนการกำเนิดสดมภ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จากการทดสอบพบว่า หากปล่อยให้กระบวนการกำเนิดสดมภ์เกิดขึ้นอย่างอิสระโดยไม่มีการจำกัดจำนวนสดมภ์ที่ถูกกำเนิดในแต่ละรอบ แบบจำลองจะลู่เข้าสู่ปัญหาขนาดเต็มอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งจะส่งผลให้แบบจำลองไม่สามารถหาผลเฉลยได้เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านหน่วยความจำ ดังนั้นตัวแปรขีดจำกัดกำเนิดสดมภ์(Column Generation Limit - CGL) จึงถูกกำหนดขึ้นเพื่อควบคุมปริมาณสดมภ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละรอบ การกำหนดตัวแปรดังกล่าวจะทำให้วิธีการหาผลเฉลยมีความยืดหยุ่นต่อความหลากหลายของประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหา อย่างไรก็ดี การกำหนดขีดจำกัดสดมภ์ให้มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้กระบวนการแก้ปัญหาช้าลง เนื่องจากจำนวนรอบในการแก้ปัญหามีค่าเพิ่มขึ้น แต่หากกำหนดตัวแปรดังกล่าวมีค่ามากเกินไปจะส่งผลให้แบบจำลองมีขนาดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้กระบวนการแก้ปัญหาช้าลงเนื่องจากขนาดของปัญหาที่ต้องทำการหาผลเฉลยในแต่ละรอบมีขนาดใหญ่ขึ้น อีกทั้งยังมีความเป็นไปได้ที่จะประสบปัญหาหน่วยความจำไม่เพียงพอก่อนที่จะสามารถหาผลเฉลยได้ ซึ่งจาก

การทดสอบในงานวิจัยนี้ ตัวแปรขีดจำกัดสดมภ์ที่เหมาะสมกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้คือ 100,000 สดมภ์

<u>การประยุกต์ใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหาการวางแผนอื่นๆ</u>

แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ นอกเหนือจากผลเฉลยที่เป็นตารางเดินเรือขนส่งสินค้าแล้ว ยังสามารถประยุกต์ใช้แบบจำลองดังกล่าวเพื่อแก้ปัญหาในเชิงวางแผนอื่นๆ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองในการแก้ปัญหาดังนี้

1. การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อหาขนาดเรือขนส่งสินค้าเช่าที่เหมาะสม
2. การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อใช้ในการกำหนดราคาขนส่งสินค้าเบื้องต้น
3. การประยุกต์ใช้แบบจำลองเพื่อใช้ระบุกรอบเวลาในการขนส่งสินค้าเพื่อให้สามารถดำเนินการได้

6.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

ในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาเงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือเป็นเงื่อนที่ไม่สามารถผ่อนปรนได้ ซึ่งในการดำเนินการจริงเงื่อนไขดังกล่าวอาจยอมให้เกิดขึ้นได้ในบางกรณี โดยอาจพิจารณาความคับคั่งที่เกิดขึ้นในรูปของต้นทุนหรือค่าปรับที่เกิดจากการตีมูลค่าความเสี่ยงที่จะทำให้เกิดความล่าช้าหรือไม่สามารถดำเนินการได้ตามตารางเวลา นอกจากนี้ ในส่วนของการสร้างตารางเดินเรือที่เป็นไปได้ในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาตารางเดินเรือที่เป็นไปได้แต่ละตารางเดินเรือจะถูกพิจารณาแยกอิสระต่อกัน ส่งผลให้มีตารางเดินเรือที่มีลักษณะและคุณสมบัติใกล้เคียงกันจำนวนมาก ซึ่งงานวิจัยในอนาคตอาจจะพัฒนาวิธีในการเลือกตารางเดินเรือที่มีอิทธิพลเหนือกว่า จากกลุ่มตารางเดินเรือที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน เพื่อให้จำนวนสดมภ์หรือตัวแปรตัดสินใจมีจำนวนลดลง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ธนิต โสรัตน์. การขนส่งสินค้าทางทะเล (Sea Transport). [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.vservegroup.com/new/documment.php?Bookno=457 [2553, กุมภาพันธ์ 15]

มารีนเนอร์ไทยดอทคอม. เอกสารเผยแพร่: การขนส่งสินค้าทางทะเล. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.marinerthai.com/sara/view.php?No=1002 [2553, กุมภาพันธ์ 15]

ภาษาอังกฤษ

Appelgren, L.H. A Column Generation Algorithm for a Ship Scheduling Problem. Transportation Science Vol.3, No.1: 53-68, 1969.

Appelgren, L.H. Integer Programming Methods for a Vessel Scheduling Problem. Transportation Science Vol. 5, No. 1: 64-78, 1971.

Barnhart, C., et al. Branch-And-Price: Column Generation for Solving Huge Integer Programs. Operations Research Vol. 46-3: 316-329, 1998.

Blonk, W.G. Short Sea Shipping And Inland Waterways As Part Of A Sustainable Transport System. Marine Pollution Bulletin Vol.29 No.1-2: 389–92, 1994.

Brønmo, G., et al. A Multi-Start Local Search Heuristic For Ship Scheduling – A Computational Study. Computers & Operations Research Vol. 34: 900-917, 2007.

Brown, G. G., et al, Scheduling Ocean Transportation of Crude Oil. Management Science Vol. 33, No.3: 335-346, 1987.

Cordeau, J. F., and Laporte, G. A Tabu Search Heuristic For The Static Multi-Vehicle Dial-A-Ride Problem. Transportation Research Part B Vol.37, Issue 6: 579-594, 2003.

Cordeau, J. F., et al. A Unified Tabu Search Heuristic For Vehicle Routing Problems With Time Windows. Journal of the Operational Research Society Vol. 52, No.8: 928-936, 2001.

Cordeau, J. F., et al. The Service Allocation Problem At The Gioia Tauro Maritime Terminal. European Journal of Operational Research Vol.176, Issue2: 1167-1184, 2007.

Detienne, B., et al. Cut Generation For An Employee Timetabling Problem. European Journal of Operational Research Volume 197, Issue 3: 1178-1184, 2009.

Fagerholt, K. Ship scheduling with soft time windows: An optimisation based approach. European Journal of Operational Research Vol. 131, Issue 3: 559-571, 2003.

Fagerholt, K., and Christiansen, M. Robust Ship Scheduling with Multiple Time Windows. Naval Research Logistics Vol.49 Issue 6: 611–625, 2002.

Fisher, M. L., and Rosenwein, M. B. An Interactive Optimization System For Bulk-Cargo Ship Scheduling. Naval Research Logistics Vol. 36, Issue 1: 27 – 42, 2006.

Fisher, M. L., et al. Real-Time Scheduling of a Bulk Delivery Fleet: Practical Application of Lagrangian Relaxation. Decision Sciences Working Paper No. 82-10-1 1, University of Pennsylvania, 1982.

Kim, S., and Lee, K. An Optimization-based Decision Support System for Ship Scheduling. Computers & Industrial Engineering Vol. 33, Issues 3-4: 689-692, 1997.

Korsvik, J. E., et al. A Tabu Search Heuristic For Ship Scheduling Problems. Journal of Heuristics Vol.16, Issues2: 117-137, 2008.

Lee, Y., and Chen C. An Optimization Heuristic For The Berth Scheduling Problem. European Journal of Operational Research Vol.196, Issue2: 500-508, 2009.

Miller, A.J. Branch-and-Cut [Online]. Available from: http://www.ima.umn.edu/talks/workshops/9-9-13.2002/miller/IP_IMA_2.ppt [2010, February 15]

Nemhauser, G. L., and Yu, P. L. A Problem in Bulk Service Scheduling. Operations Research Vol. 20, No.4: 813-819, 1972.

O'Brien, G. G., and Crane, R. R. The Scheduling of a Barge Line. Operations Research Vol. 7, No.5, 561-570, 1959.

Olson, C. A., et al. Medium Range Scheduling For Freighter Fleet. Operations Research Vol. 17, 565-582, 1969.

Perakis, A. N., and Bremer, W. M. An Operational Tanker Scheduling Optimization System: Model Implementation, Results and Possible Extensions. Maritime Policy and Management Vol. 19, No. 3, 189-199.

Sherali, H. D., et al. Fleet management models and algorithms for an oil tanker routing and scheduling problem. IIE Transactions Vol. 31, 395–406, 1999.

Wang, G., and Tang, L. A Row-and-Column Generation Method to a Batch Machine Scheduling Problem. The Ninth International Symposium on Operations Research and Its Applications (ISORA'10), Chengdu-Jiuzhaigou, China, 19–23 August 2010: 301-308, 2010.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิรุฬ กองเสริมทรัพย์ เป็นบุตรของนายกมล กองเสริมทรัพย์ และนางสาวยุพิน แซ่ว่อง เกิดเมื่อวันที่ 29 พฤศจิกายน พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร ได้สำเร็จการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลายหลักสูตร 3 ปีจากโรงเรียนวัดบวรนิเวศ และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2550 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมการขนส่ง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551

ขณะศึกษาอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย บทความของผู้เขียนวิทยานิพนธ์ได้ถูกตีพิมพ์ในเอกสารรวมการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 15 ดังนี้

นายวิรุฬ กองเสริมทรัพย์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มาโนช โลหเตปานนท์. 2553. การจัดตารางเดินเรือขนส่งสินค้าเทกองภายใต้เงื่อนไขความคับคั่งบริเวณท่าเรือ.เอกสารรวมการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่15. อุบลราชธานี.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย