การใช้แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง

A MATHEMATICAL PROGRAMMING MODEL FOR THE CONTINUOUS LAYOUT BERTH ALLOCATION PROBLEM

นางสาวเกตน์สิรี ทองคำ รหัส 51360707

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 16929581
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ก753ก
2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	**การใช้แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง**
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวเกตน์สิรี ทองคำ รหัส 51360707
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

..................................ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

..................................กรรมการ
(ดร.สุธนิตย์ พุทธพนม)

..................................กรรมการ
(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การใช้แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ในการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวเกตน์สิรี ทองคำ รหัส 51360707
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมท่าเรือมีความสำคัญมากต่อระบบเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ฉะนั้นในการขนส่งสินค้าทางเรือจึงได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก จึงส่งผลให้จำนวนเรือที่เข้ารับบริการเพิ่มมากขึ้น และขนาดท่าเรือที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการจัดสรรท่าเรือเพื่อให้การเข้ารับบริการของเรือทุกลำใช้เวลาน้อยที่สุด และเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยโครงงานนี้ได้ศึกษาแบบจำลองของ Imai et al (2005) แล้วพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เพื่อช่วยในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง ประกอบไปด้วยทั้งหมด 4 แบบจำลอง เพื่อรองรับกับสภาวะความเป็นจริง ซึ่งในแต่ละแบบจำลองจะพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และข้อตกลงเบื้องต้นที่แตกต่างกันออกไป โดยในแต่ละแบบจำลองจะพิจารณาถึงเรื่องดังต่อไปนี้ คือ เวลาในการขนถ่ายสินค้าจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่จอดเรือ พิจารณาถึงผลประโยชน์ที่ได้รับจากการที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เสียไปที่เกิดจากความล่าช้าของเรือในการออกจากท่าเรือ และพิจารณาถึงปัจจัยในการเข้าจอดของเรือที่มีหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window) นอกจากนี้ยังได้พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เสียไปเมื่อเกิดการปฏิเสธเรือในการเข้าจอด และหาผลลัพธ์ของแต่ละแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วย พบว่าเนื่องจากแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์เป็นแบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Programming Model) จึงหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียงได้ในปัญหาขนาดเล็ก

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำงานวิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ตลอดจนผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือ ให้คำปรึกษาชี้แนะข้อเสนอแนะ แนวทางการแก้ไขปัญหา เพื่อให้การทำโครงการสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณ

ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้พร้อมคำแนะนำที่ดีและเอื้อเฟื้อเอกสารต่างๆ เพื่อใช้ประกอบในการทำโครงงานนี้

คณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และขอขอบคุณพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจ และคำสั่งสอนที่ดีจนสามารถมาถึงวันนี้ได้

ผู้ดำเนินงานวิจัย

นางสาวเกตน์สิรี ทองคำ

มีนาคม 2555

สารบัญ

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

สารบัญรูป

สารบัญรูป (ต่อ)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เนื่องจากในปัจจุบันการขนส่งสินค้าทางน้ำ นับว่าเป็นกิจกรรมทางเศรษฐกิจที่เกี่ยวเนื่องกับการขนส่งสินค้าภายในประเทศ และระหว่างประเทศ ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดเมื่อเทียบกับการขนส่งรูปแบบอื่นๆ เนื่องจากสามารถขนส่งสินค้าได้ครั้งละจำนวนมาก และขนส่งสินค้าได้แทบทุกขนาดทั้งขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก อีกทั้งต้นทุนในการขนส่งยังต่ำกว่าการขนส่งประเภทอื่น และได้รับการยอมรับว่ามีความปลอดภัย มีมลภาวะน้อย แต่การขนส่งทางเรือก็ยังมีปัญหาอยู่ 2 สาเหตุหลักๆ คือ

1.1.1 เรือเมื่อมีอายุมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อความเร็วของเรือที่ช้าลง ซึ่งถือว่าความเร็วของเรือเป็นเรื่องสำคัญในการปฏิบัติทางเรือ เมื่อความเร็วของเรือลดลงก็จะทำให้การเดินทางของสินค้าลดลง

1.1.2. การรอคอยเพื่อเข้าเทียบท่าของท่าเรือที่แออัด ส่งผลให้จำนวนเรือที่พร้อมจะรับบริการลดลง ทำให้เสียเวลาสำหรับเรือที่มาจอดรอรับบริการ และยังต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเนื่องจากการรอคอยอีกด้วย

การที่มีการขนส่งทางเรือเป็นจำนวนมากจึงทำให้จำนวนเรือขนส่งสินค้าเพิ่มจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย แต่จำนวนท่าเรือและขนาดของท่าเรือมีจำกัดจึงทำให้เกิดปัญหาพื้นที่สำหรับเทียบท่าของเรือไม่เพียงพอต่อความต้องการ ดังกรณีการขนส่งในประเทศไทยพบว่าท่าเรือกรุงเทพเกิดปัญหาความแออัดเป็นอย่างมากเนื่องจากการปิดปรับปรุงท่าเรือจากเดิมที่มี 7 ท่า ปัจจุบันสามารถใช้ได้เพียง 5 ท่า ทำให้เกิดความไม่เพียงพอต่อเรือที่จะเข้ารับบริการ ส่งผลให้เรือที่เข้ารับบริการเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอย่างมาก ดังนั้นในท่าเรือปัญหาการปฏิบัติงานที่สำคัญอย่างมาก คือ การจัดสรรท่าเรือ จึงต้องมีการจัดสรรการเข้ามาเทียบท่าของเรือให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่มีอย่างจำกัด และใช้เวลาให้น้อยที่สุดเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมในการเข้ารับบริการ

การวิจัยดำเนินงานถูกนำมาใช้ในการวางแผนการปฏิบัติงานในอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming Model) ของงานวิจัย Imai et al (2005) ขึ้นมาพัฒนาเพื่อช่วยในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง และเพื่อให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง งานวิจัยนี้จึงได้เพิ่มเงื่อนไขต่างๆ คือ มีการกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date) ปัจจัยในการเข้าจอดของเรือมีการคำนึงถึงหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window) ในการพิจารณา ทั้งนี้สมการเป้าหมายจากเดิมที่พิจารณาเฉพาะเวลารวมในการให้บริการที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำ แต่ในงานวิจัยนี้ค่าใช้จ่ายรวมของเรือทุกลำที่มาเทียบท่าในช่วงเวลาของการวางแผนได้ถูกนำมาพิจารณาร่วมด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

พัฒนาแบบจำลองในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง เพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของเรือทุกลำที่มาเทียบท่าในช่วงเวลาของการวางแผน

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

แบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่องตามสถานการณ์ที่เรากำหนดไว้ในข้อตกลงเบื้องต้นได้

1.5 ขอบเขตการทำโครงงาน

1.5.1 การศึกษาปัญหาของโครงงานนี้จะศึกษาเฉพาะกรณีของปัญหาท่าเรือแบบต่อเนื่อง ของงานวิจัย Imai et al (2005) มีเวลาการมาถึงของเรือแต่ละลำเป็นแบบไม่คงที่ เวลาการขนถ่ายขึ้นอยู่กับตำแหน่งในการจอดเรือ โดยจะพิจารณาจากตำแหน่งที่ดีที่สุดในการจอดเรือ มีการกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date) และคำนึงถึงเงื่อนไขในการเข้าจอดเรือเกี่ยวกับหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window)

1.5.2 ค่าใช้จ่ายรวมที่พิจารณา ประกอบไปด้วย

1.5.2.1 ค่าปรับที่เป็นผลมาจากเรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) และผลประโยชน์ที่ได้รับเนื่องจากเรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit)

1.5.2.2 ค่าใช้จ่ายรวมของเรือทุกลำที่มาเทียบท่า ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost)

1.5.2.3 ค่าใช้จ่ายที่เรือไม่สามารถเข้ารับบริการได้เนื่องจากการปฏิเสธเรือ (Reject Cost)

1.6 สถานที่ในการดำเนินการวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

กรกฎาคม 2554 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555

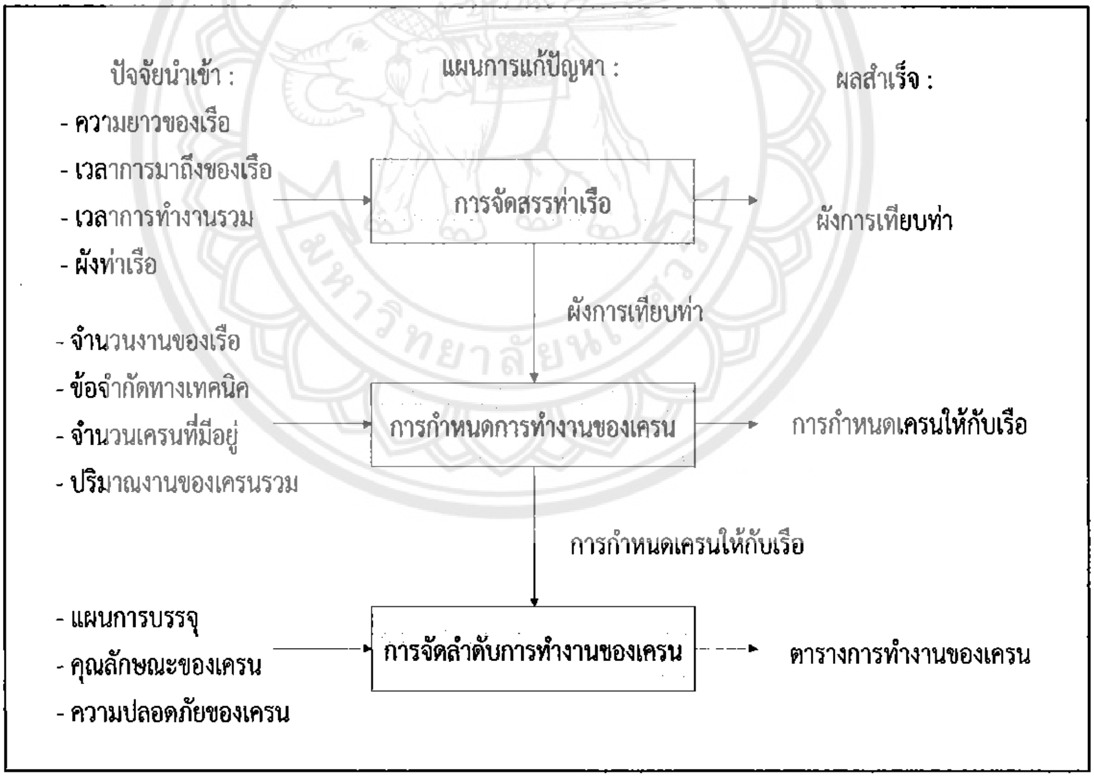
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน (Gantt Chart)

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.8.1 ศึกษาปัญหาและแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์								
1.8.2 ศึกษาโปรแกรมสำเร็จรูป								
1.8.3 พัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์								
1.8.4 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์								
1.8.5 เขียนแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์บนโปรแกรมสำเร็จรูป								
1.8.6 ประมวลผลแบบจำลองเพื่อหาคำตอบบนคอมพิวเตอร์								
1.8.7 สรุปผลและนำเสนอ								

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

การขนส่งสินค้าทางเรือหรือการคมนาคมทางน้ำ เป็นอีกเส้นทางหนึ่งของรูปแบบการขนส่งที่มีความสำคัญมาก มีความปลอดภัยและความประหยัดสูง โดยสามารถที่จะขนส่งสินค้าในแต่ละครั้งได้ในปริมาณสูง จึงมีส่วนสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของแต่ละประเทศ ประเทศใดที่มีการขนส่งสินค้าเข้าออกได้ง่าย และสามารถกระจายสินค้าได้สะดวกย่อมจะได้เปรียบทางการค้า ดังนั้นเมื่อมีการขนส่งทางเรือมากจึงส่งผลให้จำนวนเรือขนส่งสินค้าที่เข้าเทียบท่ามากด้วย จึงมีความจำเป็นต้องมีการจัดสรรท่าเรือ เพื่อให้การทำงานที่ท่าเรือนั้นเพียงพอต่อความต้องการเทียบท่า ในการปฏิบัติงานของท่าเรือมีปัญหาการตัดสินใจอยู่หลายปัญหา ปัญหาการจัดสรรท่าเรือก็เป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับร่วมกับปัญหาอื่นๆ เพื่อให้เข้าใจความสำคัญของปัญหามากขึ้น จะแสดงความสัมพันธ์ในระบบการดำเนินงานดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ในระบบการดำเนินงานท่าเรือ

ที่มา : Bierwirth and Meisel (2010)

จากรูปที่ 2.1 ภาพการแสดงความสัมพันธ์ในระบบการดำเนินงานท่าเรือ โดยจะเริ่มจากการจัดลำดับการเทียบท่าของเรือโดยจะต้องมีข้อมูลนำเข้า ได้แก่ ความยาวของเรือ เวลาการมาถึงของเรือ

เวลาการทำงานรวม และผังท่าเรือ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ คือ ผังการเทียบท่า และเมื่อได้ผังการเทียบท่าแล้ว จะนำไปสู่การวางแผนกำหนดการทำงานของเครนในท่าเรือ ซึ่งต้องมีข้อมูลนำเข้า ได้แก่ จำนวนงานของเรือ ข้อจำกัดทางเทคนิค จำนวนเครนที่มีอยู่ ปริมาณงานของเครนรวม และผลที่จะได้ออกมาคือการกำหนดเครนให้กับเรือ หลังจากที่รู้การกำหนดเครนให้กับเรือแล้ว ก็จะวางแผนการจัดลำดับการทำงานของเครนในท่าเรือ มีข้อมูลนำเข้าได้แก่ แผนการบรรจุ คุณลักษณะของเครน ความปลอดภัยของเครน และผลที่ได้ คือ ตารางการทำงานของเครน

ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง การวิจัยดำเนินงาน และวิธีการหาคำตอบที่จะมาช่วยในการแก้ปัญหา

2.1 การขนส่งทางเรือ

ปัจจุบันการขนส่งโดยใช้เรือเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เมื่อเทียบกับรูปแบบการขนส่งอื่นๆ โดยรูปแบบการขนส่งทางเรือในปัจจุบันเป็นการขนส่งด้วยระบบตู้คอนเทนเนอร์ (Container Box) โดยสินค้าทั่วไปที่บรรจุในตู้คอนเทนเนอร์ จะเป็นรูปแบบของการบรรจุหีบห่อสินค้า เพื่อให้เกิดความสะดวก ประหยัด รวดเร็ว และปลอดภัย ซึ่งผู้ที่ศึกษาในด้าน Logistics จะต้องให้ความสนใจในการที่จะศึกษาเกี่ยวกับการขนส่งด้วยระบบตู้คอนเทนเนอร์ให้เข้าใจอย่างลึกซึ้ง โดยในบทนี้จะนำเรื่องราวที่เกี่ยวกับการขนส่งด้วยระบบตู้คอนเทนเนอร์เบื้องต้นเพื่อให้เข้าใจพอสังเขป ดังต่อไปนี้

2.1.1 คุณลักษณะของตู้คอนเทนเนอร์ (Container Box)

ตู้คอนเทนเนอร์จะเป็นตู้ขนาดมาตรฐานอาจทำด้วยเหล็กหรืออะลูมิเนียม โดยมีโครงสร้างภายนอกที่แข็งแรงสามารถวางเรียงซ้อนกันได้ไม่น้อยกว่า 10 ชั้น โดยจะมียึด หรือ Slot เพื่อให้แต่ละตู้จะมีการยึดติดกัน โดยส่วนใหญ่แล้วตู้คอนเทนเนอร์ จะมีประตู 2 บาน ซึ่งจะมีรายละเอียดระบุหมายเลขตู้ (Container Number) น้ำหนักของสินค้าบรรจุสูงสุด ฯลฯ เมื่อปิดตู้แล้วจะมีที่ล็อกตู้ ซึ่งใช้ในการคล้องซีล (Seal) ซึ่งเดิมนั้นเป็นตะกั่ว แต่ปัจจุบันจะเป็น Plastic มีหมายเลขกำกับสำหรับใช้ในการบ่งชี้สถานะภาพ ซึ่งได้มีการพัฒนาไปถึง Electronic Seal และสามารถเข้าไปตรวจสอบทางอิเล็กทรอนิคส์ (Electronic Tracking) หาตำแหน่งของการเคลื่อนย้ายตู้คอนเทนเนอร์ ภายในตู้จะมีพื้นที่สำหรับใช้ในการวาง และบรรจุสินค้า

2.1.2 แบบของตู้คอนเทนเนอร์ (Types Containers)

ตู้คอนเทนเนอร์ที่ใช้ในการขนส่งสินค้าทางทะเล ทำจากเหล็ก หรืออะลูมิเนียมได้รับการผลึกอย่างดีกันไม่ให้น้ำเข้าไปในตัวตู้ได้ใช้บรรทุกสินค้าที่เป็นหีบ ห่อ ชิ้น ลัง พาล์เลต กล่อง หรือไม่มีหีบห่อ เพื่อป้องกันการสูญหาย และเสียหายระหว่างขนส่ง สะดวก และรวดเร็วต่อการเปลี่ยนวิธีการขนส่ง ซึ่งจะแตะต้องเฉพาะตัวตู้ปราศจากการแตะต้องสินค้าที่บรรจุอยู่ภายในตู้คอนเทนเนอร์

สามารถแบ่งออกอย่างกว้างๆ ได้เป็น 3 แบบ ตามประเภท หรือความเหมาะสมของสินค้าที่จะรับบรรทุก

2.1.2.1 ตู้แห้งหรือสินค้าทั่วไป (Dry or General Cargo Container)

เป็นตู้แบบทั่วไป และใช้มากที่สุด ไม่มีแผ่นฉนวนอยู่ภายใน ไม่มีเครื่องทำความเย็นติดตั้งหน้าตู้ใช้บรรทุกสินค้าแห้ง หรือสินค้าทั่วไปที่ไม่มีปัญหาต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใน

2.1.2.2 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ (Thermal Container)

ก. ตู้ห้องเย็น (Reefer Container) มีเครื่องทำความเย็นติดตั้งอยู่หน้าตู้ ภายในบุด้วยฉนวนที่เป็นโฟมในทุกด้าน เพื่อป้องกันความร้อนจากภายนอกแผ่เข้าไปในตู้ ใช้สำหรับบรรทุกสินค้าประเภทอาหาร ผัก และผลไม้ รวมทั้งเคมีภัณฑ์บางชนิดที่จำเป็นต้องเก็บอยู่ในที่อุณหภูมิคงที่หรือต่ำกว่าอุณหภูมิทั่วไป ระบบให้ความเย็นจะมีทั้งแบบเป่าจากบนลงล่าง หรือเป่าจากพื้นตู้ขึ้นข้างบน สามารถใช้ความเย็นต่ำสุด -10 องศาฟาเรนไฮน์ หรือ -23 องศาเซลเซียส

ข. ตู้ฉนวน (Insulated Container) คล้ายกับแบบตู้ทั่วไปแต่ภายในบุด้วยแผ่นโฟมในทุกด้าน เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนจากภายนอกแผ่เข้าไปในตู้ หรือป้องกันไม่ให้อุณหภูมิภายในตู้เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมินอกตู้อย่างรวดเร็ว ใช้บรรทุกผัก และผลไม้บางชนิด ส่วนมากจะใส่น้ำแข็งไว้ในตู้ทำให้เกิดความเย็นตามที่ต้องการเพื่อยืดอายุการใช้งาน

ค. ตู้ระบายอากาศ (Ventilated Container) เหมือนกับตู้ห้องเย็น แต่มีพัดลมแทนเครื่องทำความเย็น สามารถตั้งปริมาณการดูดลมออกจากตู้ได้ตามที่ต้องการ ใช้สำหรับบรรทุกสินค้าผัก และผลไม้สดบางชนิดที่ไม่จำเป็นต้องบรรทุกในแบบตู้ห้องเย็นซึ่งมีอัตราค่าขนส่งสูงกว่า

2.1.2.3 ตู้พิเศษ (Special Container)

ก. ตู้แทงเกอร์ (Tank Container) มีถังเหล็กกลมยาวติดตั้งอยู่กับพื้นที่คู่ เป็นตู้โปร่งมีโครงเหล็กเล็กน้อยแทนผนังทุกด้านเพื่อยึดเสา และพื้นที่ตู้เข้าด้วยกัน สะดวกต่อการซ้อน และยกขึ้น-ยกลง จากเรือเหมือนกับตู้คอมเทนเนอร์แบบอื่นๆ ใช้สำหรับบรรทุกอาหาร เครื่องดื่ม เคมีภัณฑ์ และสินค้าอื่นๆ ที่เป็นน้ำ และของเหลว

ข. ตู้เปิดหลังคา (Open Top Container) มีลักษณะเหมือนกับตู้แห้ง หรือตู้สินค้าทั่วไป ยกเว้นหลังคาใช้ผ้าใบแทนแผ่นเหล็ก หรืออะลูมิเนียมโครงหลังคาสามารถจะถอดออกและติดตั้งกลับอย่างสะดวก และรวดเร็ว ใช้สำหรับบรรทุกเครื่องจักร หรือสินค้าที่ความสูงเกินกว่าหลังคาตู้แบบทั่วไป เวลาบรรจุสินค้าเข้าตู้จะต้องถอดโครงหลังคา และผ้าใบออกก่อน ส่วนมากใช้ปั่นจั่นยกสินค้าผ่านหลังคาแล้ววางลงกับพื้นตู้ ตู้ประเภทนี้จะบรรทุกไว้อยู่ชั้นบนสุดของฝาระวางเรือ

ค. ตู้แพลตฟอร์ม (Platform Based Container or Flat Rack Container) ตู้ประเภทนี้จะมีแต่พื้น ผนังด้านหน้า และด้านหลังของตู้ แต่ไม่มีผนังข้าง และหลังคา ใช้สำหรับบรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักมากกว่าปกติ หรือมีความกว้างเกินกว่าด้านกว้างของตู้ทั่วไป เช่น ซุง เหล็กแท่ง เครื่องกล สินค้าที่บรรทุกสามารถยกเข้าออกได้ทั้งทางด้านบน และด้านข้าง

ง. ตู้เปิดข้าง (Side Open Container) มีลักษณะเหมือนตู้แห้ง หรือตู้สินค้าทั่วไป ยกเว้นผนังด้านข้างของตู้สามารถถอดออกได้ หรือใช้ผ้าใบแทนผนังด้านข้าง ออกแบบมาใช้สำหรับบรรทุกสินค้าที่มีขนาดกว้าง และยาวมาก จำเป็นที่จะต้องยกเข้าออกจากตู้ทางด้านข้างแทนประตูหลัง

จ. ตู้บรรทุกรถยนต์ (Car Container) คล้ายตู้แทงเกอร์ มีแต่พื้นตู้ และโครงเหล็กโปร่งยึดเสาตู้เท่านั้น ภายในอาจจะมีโครงเหล็กเพิ่มเติมใช้สำหรับบรรทุกรถยนต์ที่วางซ้อนกันได้

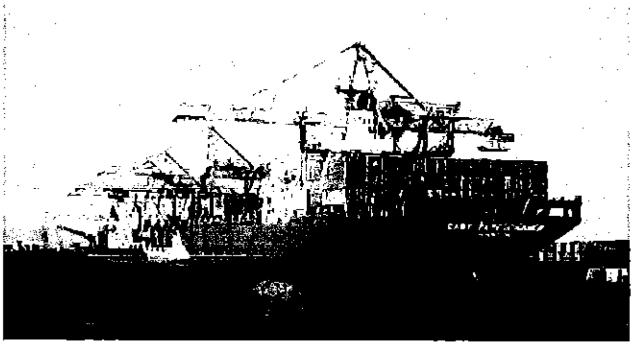
ฉ. ตู้บรรทุกหนังเค็ม (Hide Container) คล้ายกับตู้สินค้าแห้ง หรือสินค้าทั่วไป แต่ผนัง แต่พื้นภายในจะเคลือบด้วยสารพิเศษที่จะไม่ดูดซึมกลิ่น ทนต่อการกัดกร่อนของน้ำเกลือ ใช้สำหรับบรรทุกหนังสัตว์ดองเกลือ ซึ่งมีกลิ่นแรงมากอีกทั้งมีการคายน้ำเกลือออกมาตลอดเวลา ดังนั้นสารที่เคลือบผนังและพื้นจะช่วยให้ทำความสะอาดภายในตู้ได้ง่ายขึ้นหลังจากสินค้าถูกนำออกไปจากตู้

ช. ตู้สูงหรือจัมโบ้ (High Cube Container) เหมือนกับตู้แห้ง หรือสินค้าทั่วไป เว้นแต่ความสูงของตู้จะสูงกว่า 1 ฟุต จากความสูง 8 ฟุต 6 นิ้ว เป็น 9 ฟุต 6 นิ้ว ใช้สำหรับบรรจุสินค้าทั่วไปที่ต้องการให้ได้ปริมาตรมากขึ้น

2.1.3 เรือบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ (Container Vessel)

เป็นเรือที่ออกแบบมาสำหรับใช้ในการบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ โดยเฉพาะเรือสินค้าแต่ละลำจะต้องใช้งานเครนที่เรียกว่า Quay Cranes ประมาณ 1 - 4 ตัว โดยเครนแต่ละตัวจะลำเลียงตู้ ซึ่งวางอยู่ตามความลึกของเรือ ซึ่งจะมีการเรียงกันเป็นคอลัมน์ โดยปัจจุบันเรือจะบรรทุกโดยเฉลี่ยประมาณ 2,700 TEU แต่เรือที่มีขนาดใหญ่ที่อยู่ในชั้นที่เรียกว่า SX Class หรือที่เรียกว่า Super Post Panamaxx ซึ่งจะมีความยาวโดยเฉลี่ย 320x330 เมตร กินน้ำลึกประมาณ 13 - 14 เมตร มีความกว้างวางคอนเทนเนอร์ได้ 20 - 22 แถว ซึ่งสามารถบรรทุกตู้คอนเทนเนอร์ ได้สูงสุดถึง 8,000 TEU ซึ่งในอนาคตนี้กำลังมีการต่อเรือที่มีขนาดใหญ่ขึ้นไปซึ่งอยู่ในชั้น Malaccamax ซึ่งสามารถขนย้ายตู้คอนเทนเนอร์ได้ 18,000 TEU ซึ่งขนาดเรือที่ใหญ่ขึ้นมากนี้จะมีผลทำให้ต้นทุนโดยรวมจะลดลง เนื่องจากต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ไม่ว่าจะเป็นค่าน้ำมัน หรือค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับแรงงาน แต่อย่างไรก็ดีจะต้องมีการบริหารการจัดการในการที่จะหาสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ

<u>หมายเหตุ</u> TEU (Twenty Foot Equivalent Unit) หมายถึง หน่วยนับจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ หรือตู้เหล็กขนาดมาตรฐานกว้าง 8 ฟุต สูง 8 ฟุต และยาว 20 ฟุต



รูปที่ 2.2 Container Vessel

ที่มา : http://www.marinerthai.com/sara/view.php?No=1006

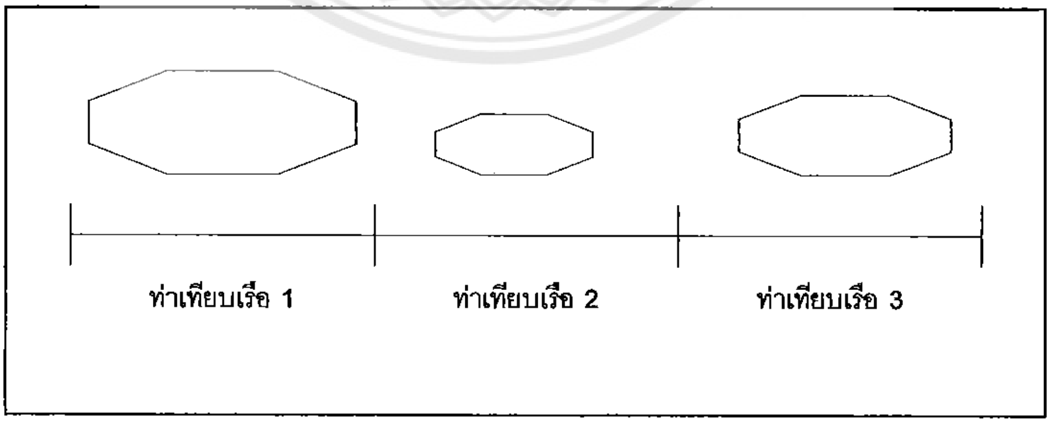
2.1.4 ปัญหาการจัดสรรท่าเรือ

การจัดสรรท่าเรือ คือ การวางแผนอย่างมีประสิทธิภาพในการจัดสรรตำแหน่งที่เหมาะสมให้กับเรือในท่าเรือ ซึ่งทำให้สามารถลดการใช้พลังงานในท่าเรือ ลดเวลาการขนถ่าย ลดเวลาบริการรวม (รวมเวลารอคอยของเรือด้วย) และลดค่าใช้จ่ายรวมได้อีกด้วย ซึ่งมีข้อมูลสนับสนุนที่จำเป็น คือ ความยาวของเรือ (รวมระยะห่างระหว่างเรือแต่ละลำด้วย) เวลาที่คาดว่าเรือแต่ละลำจะมาถึง และเวลาที่กำหนดไว้ว่าเรือแต่ละลำควรอยู่ในท่าเรือนานเท่าไร ดังนั้นการจัดสรรท่าเรือจึงเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งของการปฏิบัติงานในท่าเรือ

2.1.4.1 ประเภทของท่าเรือแบ่งตามลักษณะพื้นที่ได้ 3 แบบ คือ

ก. ท่าเรือแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Layout)

ท่าเรือมีการระบุตำแหน่งท่าเทียบเรืออย่างชัดเจน ซึ่งเรือหนึ่งลำสามารถจอดได้เฉพาะท่าเทียบเรือท่าเดียวเท่านั้น การจัดแบ่งรูปแบบนี้สามารถจัดได้ตามโครงสร้างของท่าเรือและง่ายต่อการจอดเทียบท่าดังรูปที่ 2.3

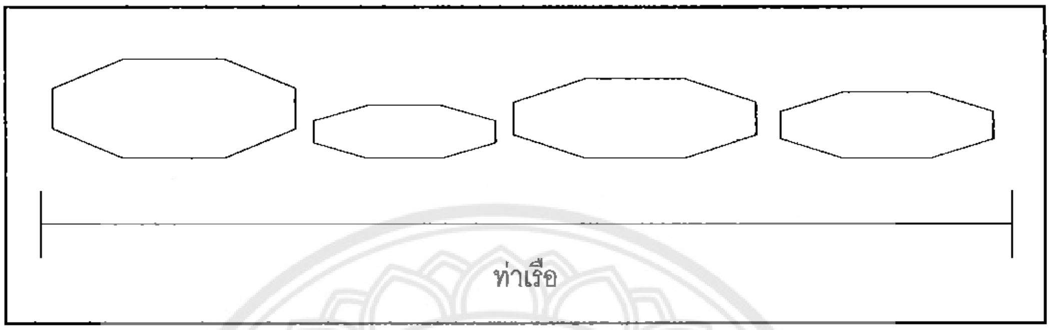


รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของท่าเทียบเรือแบบไม่ต่อเนื่อง

ที่มา : Bierwirth and Meisel (2010)

ข. ท่าเรือแบบต่อเนื่อง (Continuous Layout)

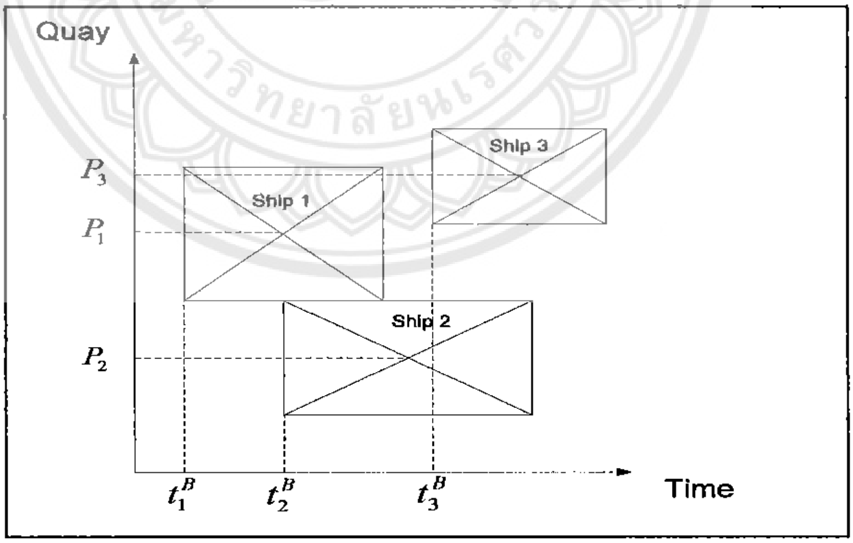
ท่าเรือจะไม่มีการแบ่งท่าเทียบเรือเป็นส่วนๆ คือเรือสามารถจอดตำแหน่งใดก็ได้ แต่ต้องอยู่ภายในขอบเขตของท่าเรือ ไม่มีการระบุตำแหน่งชัดเจนดังรูปที่ 2.4 การวางผังสำหรับท่าเรือแบบต่อเนื่องนี้มีความยุ่งยากกว่าการจอดเทียบท่าเรือแบบไม่ต่อเนื่อง แต่มีข้อดีคือสามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่ว่างของท่าเรือได้มากกว่าการจอดเรือเฉพาะท่าเทียบเรือเท่านั้น



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของท่าเรือแบบต่อเนื่อง

ที่มา : Bierwirth and Meisel (2010)

ในการศึกษาเรื่องการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่องนิยมแสดงรูปแบบการเทียบท่าของเรือโดยใช้กราฟดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่าเรือ และเวลาในท่าเรือแบบต่อเนื่อง

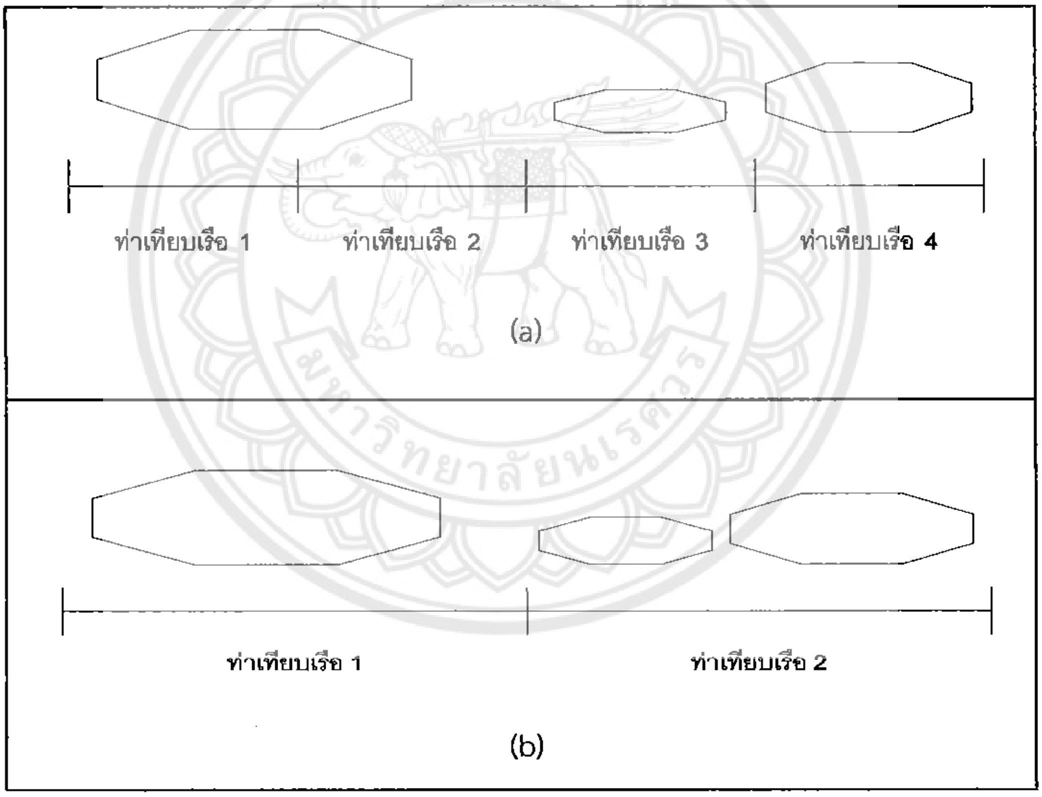
ที่มา : Imai et al. (2005)

จากรูปที่ 2.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างท่าเรือ และเวลาในท่าเรือแบบต่อเนื่อง โดยที่แกน X แสดงถึงแกนความยาวท่าเรือ (Quay Length) และแกน Y แสดงถึงแกนเวลา (Time) โดยที่ P_i

คือตำแหน่งในการจอดเรือของ i โดยตำแหน่งที่นำมาใช้ คือ บริเวณจุดกึ่งกลางของเรือ และ t_i^B คือเวลาในการเริ่มขนถ่ายของเรือ i จากรูปแสดงให้เห็นว่า เรือลำดับที่ 1 (Ship 1) เทียบท่าบริเวณตำแหน่งที่ P_1 และใช้เวลาในการเริ่มขนถ่าย t_1^B และเรือลำดับที่ 2 (Ship 2) เทียบท่าบริเวณตำแหน่งที่ P_2 และใช้เวลาในการเริ่มขนถ่าย t_2^B และเรือลำดับที่ 3 (Ship 3) เทียบท่าบริเวณตำแหน่งที่ P_3 และใช้เวลาในการเริ่มขนถ่าย t_3^B

ค. ท่าเรือแบบผสมผสาน (Hybrid Layout)

มีความคล้ายคลึงกับท่าเรือแบบไม่ต่อเนื่อง โดยจะมีการกำหนดตำแหน่งของท่าเทียบเรืออย่างชัดเจน แต่แตกต่างจากท่าเรือแบบไม่ต่อเนื่องตรงที่เรือขนาดใหญ่สามารถจอดทับซ้อนท่าเทียบเรือได้มากกว่า 1 ท่า ดังรูปที่ 2.5 (a) ซึ่งขณะที่เรือขนาดเล็กสามารถจอดได้มากกว่า 1 ลำภายใน 1 ท่า ดังรูปที่ 2.5 (b)



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของท่าเทียบเรือแบบผสมผสาน

ที่มา : Bierwirth and Meisel (2010)

2.1.4.2 ประเภทของท่าเรือแบ่งตามลักษณะการมาถึงของเรือได้ 2 แบบ คือ

ก. เวลาการมาถึงแบบคงที่ (Static Arrival)

ไม่มีเวลาการมาถึงของเรือ คือเรือคอยอยู่ที่ท่าเรือเรียบร้อยแล้ว เมื่อท่าเทียบเรือว่างสามารถนำเรือมาเทียบท่าได้เลย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง เรือทุกลำมีเวลาการมาถึงที่ $t = 0$ คือ ณ ตอนเริ่มต้นของระยะการวางแผน

ข. เวลาการมาถึงแบบไม่คงที่ (Dynamic Arrival)

เวลาการมาถึงของเรือถูกกำหนดไว้แล้ว ซึ่งเป็นเวลาการมาถึงของเรือแต่ละลำที่แน่นอน ดังนั้นเรือไม่สามารถเข้ามาจอดได้ก่อนเวลามาถึง ในกรณีนี้มีการจัดตารางเวลาเงื่อนไขของเรือซึ่งจะแสดงความสามารถของการรอคอยการเทียบท่าที่นานที่สุดอีกด้วย

2.1.4.3 ประเภทของท่าเรือแบ่งตามลักษณะเวลาการขนถ่ายได้ 4 แบบ คือ

ก. เวลาการขนถ่ายถูกกำหนดไว้แน่นอนแล้ว

ข. เวลาการขนถ่ายขึ้นอยู่กับตำแหน่งในการเทียบท่าของเรือ

ค. เวลาการขนถ่ายขึ้นอยู่กับจำนวนเครนที่ถูกกำหนดให้เรือ

ง. เวลาการขนถ่ายขึ้นอยู่กับการจัดลำดับการทำงานของเครน

2.1.4.4 ประเภทของท่าเรือแบ่งตามลักษณะสิ่งที่ใช้วัดประสิทธิภาพได้ 9 แบบ คือ

ก. เวลารอคอยของเรือ

ข. เวลาการขนถ่ายของเรือ

ค. เวลาในการดำเนินงานของเรือ

ง. เรือเทียบท่าก่อนเวลาการมาถึง

จ. เรือออกจากท่าล่าช้ากว่าเวลาที่เรือต้องออกจากท่า

ฉ. ค่าเบี่ยงเบนระหว่างลำดับการมาถึงของเรือ และลำดับการให้บริการ

ช. จำนวนครั้งในการปฏิเสธเรือ

ซ. ผลกระทบจากการใช้ทรัพยากรในการให้บริการเรือ

ฌ. การจอดเรือนอกตำแหน่งที่ต้องการ

2.2 การวิจัยดำเนินงาน (Operation Research)

การวิจัยดำเนินงาน (Operation Research) เป็นการใช้แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ สถิติ และอัลกอริทึมช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการปฏิบัติงานในระบบองค์การต่างๆ ว่าควรจะดำเนินการอย่างไร แก้ปัญหาการร่วมมือกันระหว่างองค์การและปัญหาของงานต่างๆ ในองค์การอย่างไร โดยมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาให้ได้ประสิทธิภาพที่เหมาะสมที่สุด การวิจัยดำเนินงานถือเป็นสาขาย่อยของคณิตสตร์ประยุกต์ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้ร่วมกับศาสตร์อื่นๆ ได้หลายแขนง

2.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

2.2.1.1 การจัดตั้งปัญหา (Formulating the Problem)

ปัญหาที่เกิดขึ้นย่อมมีความซับซ้อน ดังนั้นการกำหนดปัญหาให้ตรงกับเป้าหมายจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อจะหาผลลัพธ์แล้วนำไปปฏิบัติได้จริง การจัดตั้งปัญหามีหลักพอสังเขปดังนี้

ก. การศึกษาความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้อง

ข. กำหนดปัญหาที่พิจารณาให้ชัดเจน

ค. กำหนดจุดประสงค์ และวิธีการวัดผลการดำเนินงาน

ง. กำหนดขอบเขตและสมมติฐานของปัญหา

จ. กำหนดแนวทางดำเนินงานที่เป็นไปได้ในการแก้ปัญหา

ฉ. กำหนดช่วงเวลาในการแก้ปัญหา

2.2.1.2 การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Constructing a Mathematical Model)

เมื่อกำหนด และเข้าใจปัญหาอย่างถูกต้องในทางการวิจัยดำเนินงานนิยมสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับแทนระบบของปัญหา โดยมีสมการต่างๆ แสดงความสัมพันธ์ และมีโครงสร้างดังนี้

ก. สมการหรือฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

ข. ตัวแปรที่ควบคุม (Decision Variable) และตัวแปรอิสระ (Independent Variable)

ค. มีขอบเขต (Constraints)

2.2.1.3 การหาผลลัพธ์ของปัญหา (Deriving a Solution)

หลักการของการวิจัยดำเนินงาน เป็นการหาผลลัพธ์ที่ได้ผลเหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ไม่ได้หมายความว่าจะสามารถหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดมาปฏิบัติงานได้

2.2.1.4 การทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์และผลลัพธ์ (Testing the Model and Solution)

การใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์จำเป็นต้องมีการทดสอบ เนื่องจากความบกพร่องในการละเว้นองค์ประกอบบางส่วนที่สำคัญ จะทำให้ผลลัพธ์ที่ดีนั้นเป็นไปไม่ได้ อาจจะใช้การทดสอบโดยตั้งตัวแบบทางคณิตศาสตร์ใหม่เปรียบเทียบกับชุดเดิม

2.2.1.5 การตั้งขอบข่ายแทนการควบคุมผลลัพธ์ (Establishing Control over the Solution)

ควรมีการควบคุมขอบเขตของการได้รับผลลัพธ์ในการจำกัดสภาพแวดล้อมของปัญหา

2.2.1.6 การนำผลลัพธ์ไปใช้งาน (Implementation)

ผลลัพธ์จากการวิจัยดำเนินงาน ต้องสามารถชี้แจงให้ผู้บริหารเข้าใจถึงการดัดแปลงผลที่ได้ และวิธีการนำไปใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ โดยทีมการวิจัยดำเนินงาน และฝ่ายบริหารต้องร่วมมือในการพัฒนาวิธีการเพื่อนำหลักการของผลลัพธ์นั้นๆ ออกใช้งาน ต้องมีการประเมินผลและติดตามข้อบกพร่องเพื่อแก้ไขทันตามความต้องการ

2.2.2 ตัวแบบการวิจัยการดำเนินงาน (Models in Operations Research)

ตัวแบบการวิจัยการดำเนินงานที่สำคัญคือ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ ในการสร้างตัวแบบนี้จากปัญหาที่เกิดขึ้นจริงๆ จะต้องตั้งข้อสมมุติฐานว่า ทุกๆตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันเป็นแบบเชิงปริมาณ ความสัมพันธ์ของตัวแปรอยู่ในรูปฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายถึงพฤติกรรมของระบบ ผลลัพธ์ของตัวแบบที่สร้างขึ้นหาได้โดยใช้เทคนิคทางคณิตศาสตร์ เมื่อได้ผลลัพธ์ของตัวแบบที่สร้างขึ้นแล้วจึงตีความหมายออกมาในรูปของระบบปัญหาจริงๆ

2.2.3 ชนิดของตัวแบบแทนระบบปัญหา

ตัวแบบแทนระบบปัญหานั้นมีหลายชนิด ตัวอย่าง เช่น

2.2.3.1 ตัวแบบแถวคอย (Queuing Model) เป็นตัวแบบแทนระบบปัญหาเกี่ยวกับการให้บริการที่ไม่ต้องการให้ลูกค้าเสียเวลารอคอยนานเกินไป โดยคำนึงถึงการประหยัดค่าใช้จ่ายต่างๆ ตัวอย่างกิจการบริการ เช่น ธนาคาร ห้างสรรพสินค้า โรงหนัง ปั้มน้ำมัน โรงพยาบาล เป็นต้น

2.2.3.2 ตัวแบบปัญหาการขนส่ง (Transportation Model) เป็นตัวแบบแทนปัญหาการขนส่งทรัพยากรระหว่างแหล่งต่างๆ เช่นการจัดส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปให้ลูกค้าในสถานที่ต่างๆ กัน หรือการขนส่งสินค้าจากแหล่งผลิตไปยังคลังสินค้าต่างๆ โดยให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำสุด หรือใช้เวลาขนส่งน้อยที่สุด โดยที่แต่ละคลังสินค้ารับสินค้าได้จำนวนจำกัดต่างๆ กัน

2.2.3.3 ตัวแบบสินค้าคงคลัง (Inventory Model) เป็นตัวแบบแทนระบบของปัญหาที่เกี่ยวกับการหาจำนวนสินค้าที่สั่งซื้อ หรือผลิตในแต่ละครั้ง โดยมีเป้าหมายคือ ค่าใช้จ่ายรวมต่อปีต่ำสุด ตัวแบบสินค้าคงคลังนี้แบ่งออกเป็น 2 ตัวแบบใหญ่ๆ คือ

ก. กำหนดจำนวนสินค้าที่สั่งซื้อ หรือผลิตคงที่ เช่น สั่งซื้อ หรือผลิตครั้งละ 10,000 ชิ้น กรณีช่วงระยะเวลาในการสั่งซื้อ หรือผลิตจะแตกต่างกัน

ข. กำหนดช่วงระยะเวลาในการสั่งซื้อ หรือผลิตคงที่ เช่น กำหนดช่วงเวลาที่ต้องสั่งซื้อ หรือผลิตทุกๆ 6 เดือน กรณีนี้จำนวนที่สั่งซื้อ หรือผลิตแต่ละครั้งจะแตกต่างกัน

2.2.3.4 ตัวแบบการทดแทนและการบำรุงรักษา (Replacement Maintenance and Reliability Model) เป็นตัวแบบที่แทนระบบปัญหา เช่น ในวงการอุตสาหกรรม หรือวงการอื่นๆ ทั่วไป เมื่อมีการใช้เครื่องมือ เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ สิ่งของเหล่านี้ย่อมมีการชำรุดเสียหายได้ จึงต้องมีการบำรุงรักษา หรือเปลี่ยนของใหม่ทดแทนของเก่า เพราะถ้าไม่มีการบำรุงรักษาหรือ

เปลี่ยนแปลง เครื่องมือต่างๆ ก็จะเสียหาย หรือมีประสิทธิภาพน้อยลงทำให้การใช้งานประโยชน์ได้ไม่เต็มที่ จึงต้องมีการกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อทำการบำรุงรักษา หรือเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และมีความมั่นใจในการใช้อุปกรณ์เหล่านี้มากที่สุด

2.2.3.5 ตัวแบบจำลอง (Simulation Model) เป็นตัวแบบที่สามารถใช้แทนระบบปัญหาต่างๆ ได้มากมาย เช่น ปัญหาแถวคอย ปัญหาการควบคุมสินค้าคงคลัง เป็นต้น การวิเคราะห์ตัวแบบการจำลองจะต้องอาศัย เลขสุ่ม (Random Number)

2.3 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยสร้างแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์

การสร้างแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดสรรท่าเรือนั้นมีความยุ่งยากซับซ้อนมาก จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาเพื่อสร้างแบบจำลอง

การวิจัยดำเนินงานส่วนมากถ้าเป็นปัญหาที่ใหญ่มากๆ ไม่สามารถใช้การคำนวณด้วยมือมาช่วยได้ หรืออาจเสียเวลามากถ้าจำเป็นต้องทำการคำนวณด้วยมือ จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณเพื่อความแม่นยำ และได้คำตอบที่รวดเร็ว ซึ่งในปัจจุบันมีผู้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการคำนวณมากมาย เพื่อเอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้งาน และใช้เวลาในการหาผลลัพธ์ที่รวดเร็ว การแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยให้การสร้าง และหาคำตอบที่ดีที่สุดของแบบจำลองเส้นตรง ไม่เป็นเส้นตรง และจำนวนเต็ม ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นโปรแกรมที่ได้รับความนิยมสูง

2.4 เทคนิคหรือวิธีการวิจัยการดำเนินงานที่สำคัญ

2.4.1 โปรมแกรมเส้นตรง (Linear Programming)

ใช้ในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรที่มีจำจวนจำกัดให้เกิดผลดีที่สุด เช่น กิจการทำการผลิตสินค้าหลายชนิดจากปัจจัยการผลิตที่มีอยู่จำกัด จะผลิตสินค้าแต่ละชนิดเป็นจำนวนเท่าใดจะได้ผลกำไรสูงสุด การแก้ปัญหาโดยใช้ Linear Programming นี้สามารถทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมากได้แก่วิธี Simplex แนวคิดเบื้องต้นของวิธี Simplex algorithm แบบจำลองที่เป็น Linear Programming ที่มี constraints m ตัวและมีตัวแปรการตัดสินใจ n ตัว ความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ เป็นแบบเส้นตรงทั้งสิ้น สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$\max(or\ \min)z = c_1x_1 + c_2x_2 + \ldots + c_nx_n \tag{2.1}$$

$$st.$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \ldots + a_{1n}x_n = b_1 \tag{2.2}$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + ... + a_{2n}x_n = b_2 \tag{2.3}$$

.

.

.

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + ... + a_{mn}x_n = b_m \tag{2.4}$$

$$x_i \geq 0 \quad (i = 1, 2, ...n) \tag{2.5}$$

2.4.2 โปรแกรมที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Programming)

เป็นเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หาคำตอบในกรณีที่ตัวแปรใดไม่อิสระ และตัวแปรใดอิสระมีความสัมพันธ์กันในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรง เมื่อมีตัวแปรการตัดสินใจคูณกัน หรือมีการหารกันในฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) หรือเงื่อนไขของข้อจำกัด (Constraints) จะส่งผลให้ความสัมพันธ์นั้นเป็นความสัมพันธ์ในลักษณะที่ไม่เป็นเส้นตรงทันที ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้มีอยู่เป็นจำนวนมากในสถานการณ์จริง สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปได้ดังนี้

$$\max(or\ \min) z = f(x) \qquad x \in S \subseteq R^n \tag{2.6}$$

$$s.t.$$

$$h_i(x) = 0 \qquad i = 1, m \tag{2.7}$$

$$g_j(x) \leq 0 \qquad j = 1, k \tag{2.8}$$

$$\text{เมื่อ } S = \{x \in R^n : h_i(x) = 0 \forall i, g_i(x) \leq 0 \forall j\} \tag{2.9}$$

โดย $g_j(x)$ หรือ $h_i(x)$ หรือ $f(x)$ จะมีอย่างน้อยหนึ่งตัวแปรที่เป็นฟังก์ชันไม่เป็นเส้นตรง

2.4.3 โปรแกรมเลขจำนวนเต็ม (Integer Programming)

ใช้ในการแก้ปัญหาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับแบบจำลอง 2 ชนิดข้างบนที่กล่าวไว้แล้ว แต่มีการระบุว่าตัวแปรการตัดสินใจอย่างน้อยหนึ่งตัวแปรต้องเป็นจำนวนเต็ม

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแบบจำลองสำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเรือ

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2005 Imai et al (2005) เสนอแบบจำลองจำนวนเต็มแบบผสมแบบไม่เป็นเส้นตรง (Mixed Integer Nonlinear Programming Model) สำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบไม่ต่อเนื่อง เรือมีเวลาการมาถึงแบบไม่คงที่ เวลาการขนถ่ายขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่จอดเรือในท่าเรือ มีวัตถุประสงค์เพื่อลดเวลาการให้บริการรวมของเรือทุกลำ โดยใช้วิธีลากรังเจียนรีแลกซ์เซชั่นในการแก้ปัญหา (Lagrangian Relaxation)

ต่อมา Wang and Lim (2007) ได้ศึกษาปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง มีเวลาการมาถึงของเรือแบบไม่คงที่ เวลาการขนถ่ายถูกกำหนดไว้แล้ว มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดตำแหน่ง และเวลาสำหรับการมาถึงของเรือ และเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมในท่าเรือ ซึ่งได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความล่าช้า ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการปฏิเสธเรือ และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการจอดเรือในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสม โดยใช้วิธีการค้นหาลำแสงแบบสุ่ม (Stochastic Beam Search) เป็นวิธีในการแก้ปัญหา และมีการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับวิธีการอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาลำแสงแบบดั้งเดิม (Traditional Beam Search) ผลที่ได้ คือ คำตอบที่ได้จากวิธีการค้นหาลำแสงแบบสุ่มให้คำตอบที่แม่นยำ รวดเร็วกว่าวิธีการค้นหาลำแสงแบบดั้งเดิม และวิธีการอบอ่อนจำลอง

2.5.2 แบบจำลองพื้นฐานสำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเรือ

จากการศึกษางานวิจัยของ Imai et al (2005) ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น คณะผู้วิจัยได้สนใจนำแบบจำลองพื้นฐานนี้มาศึกษาเพื่อพัฒนา โดยมีค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.5.2.1 ข้อตกลงเบื้องต้น

ก. ไม่มีความล่าช้าในการมาถึงของเรือ

ข. เรือจะไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากท่าได้จนกว่าจะถึงเวลาออกจากท่า

ค. เวลาการขนถ่ายที่เพิ่มขึ้น เป็นสัดส่วนในระยะทางจากตำแหน่งที่ดีที่สุด โดยมีค่าของสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของเรือ i เป็น $\alpha_i \geq 0$

ง. การขนถ่ายของเรือแต่ละลำดำเนินการอย่างต่อเนื่องไม่มีการหยุดชะงัก

จ. ระยะความปลอดภัยระหว่างเรือแต่ละลำคิดรวมไว้ในความยาวของเรือเรียบร้อยแล้ว

ฉ. ในเวลาเริ่มต้น ไม่มีเรือลำใดจอดอยู่ในท่าเรือ

ช. นอกจากปัจจัยด้านตำแหน่งที่เหมาะสมในการจอดเรือ ปัจจัยอื่นๆ เช่น จำนวนเครนที่ใช้ในเรือแต่ละลำ ทรัพยากรที่ใช้ในการขนถ่ายไม่มีผลต่อเวลาขนถ่าย

2.5.2.2 ดัชนี

i คือ ชุดของเรือ $i\,(=1,\ldots,T)\in V$

j คือ ชุดของเรือ $j\,(=1,\ldots,T)\in V$

2.5.2.3 พารามิเตอร์

A_i คือ เวลามาถึงโดยประมาณของเรือ i

L_i คือ ความยาวของเรือ i (รวมระยะห่างของช่องว่างระหว่างเรือแล้ว)

Q คือ ความยาวท่าเรือ

M_i คือ ตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุด (ตำแหน่งที่เวลาขนถ่ายของเรือ i น้อยที่สุด) โดย $L_i/2 \le M_i \le Q - L_i/2$

CM_i คือ เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุดสำหรับเรือ i

α_i คือ อัตราที่เพิ่มขึ้นของเวลาขนถ่าย กับระยะทางของเรือ i จากตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุดของเรือ i

2.5.2.4 ตัวแปรการตัดสินใจ

p_i คือ ตำแหน่งที่จอดเรือ i

C_i คือ เวลาขนถ่ายที่แท้จริงของเรือ i

t_i^B คือ เวลาเริ่มต้นที่เริ่มขนถ่ายของเรือ i

t_i^F คือเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายของเรือ i โดย $t_i^F = t_i^B + C_i$

δ_{ij}^p ตัวแปรตัดสินใจในแกนท่าเรือ โดย

$\delta_{ij}^p = 1$ ถ้าไม่มีการทับกันของเรือ i และ j ในแกนท่าเรือ

$\delta_{ij}^p = 0$, กรณีอื่นๆ

δ_{ij}^t ตัวแปรตัดสินใจในแกนเวลา โดย

$\delta_{ij}^t = 1$ ถ้าไม่มีการทับกันของเรือ i และ j ในแกนเวลา

$\delta_{ij}^t = 0$, กรณีอื่นๆ

2.5.2.5 กำหนดการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือ

$$Min\ Z = \sum_{i \in V} \left(t_i^F - A_i \right) \tag{2.10}$$

Subject to

$$\left| p_i - p_j \right| \delta_{ij}^p \ge \frac{L_i + L_j}{2} \delta_{ij}^p \quad \forall i, j (\ne i) \in V, \tag{2.11}$$

$$\left| \frac{t_i^B + t_i^F}{2} - \frac{t_j^B + t_j^F}{2} \right| \delta_{ij}^t \ge \frac{C_i + C_j}{2} \delta_{ij}^t \quad \forall i, j (\ne i) \in V, \tag{2.12}$$

$$\delta_{ij}^p + \delta_{ij}^t \ge 1 \quad \forall i, j (\ne i) \in V, \tag{2.13}$$

$$p_i - \frac{L_i}{2} \geq 0 \quad \forall i \in V, \tag{2.14}$$

$$p_i + \frac{L_i}{2} \leq Q \quad \forall i \in V, \tag{2.15}$$

$$t_i^B \geq A_i \quad \forall i \in V, \tag{2.16}$$

$$t_i^F = t_i^B + C_i \quad \forall i \in V, \tag{2.17}$$

$$C_i = CM_i + |p_i - M_i|\alpha_i \quad \forall i \in V, \tag{2.18}$$

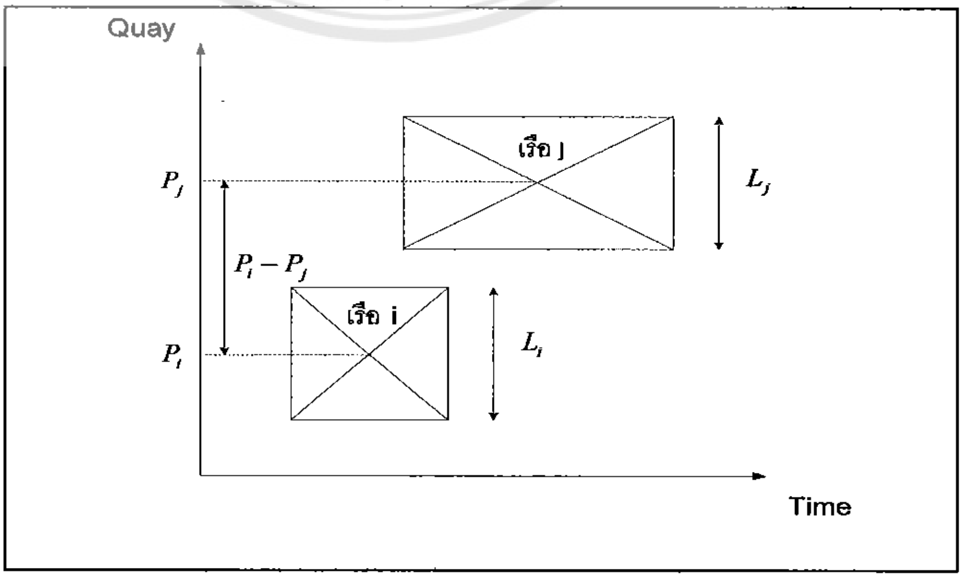
$$p_i, t_i^B \geq 0 \text{ and are integer } \forall i \in V, \tag{2.19}$$

$$\delta_{ij}^P, \delta_{ij}^t \in \{0,1\} \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \tag{2.20}$$

จากสมการที่ 2.10 คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) ที่ผลลัพธ์ของปัญหาจะได้เป็นเวลารวมในการให้บริการที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำ โดยที่เวลารวมในการให้บริการเท่ากับผลต่างของเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายของเรือ i กับ เวลาการมาถึงโดยประมาณของเรือ i

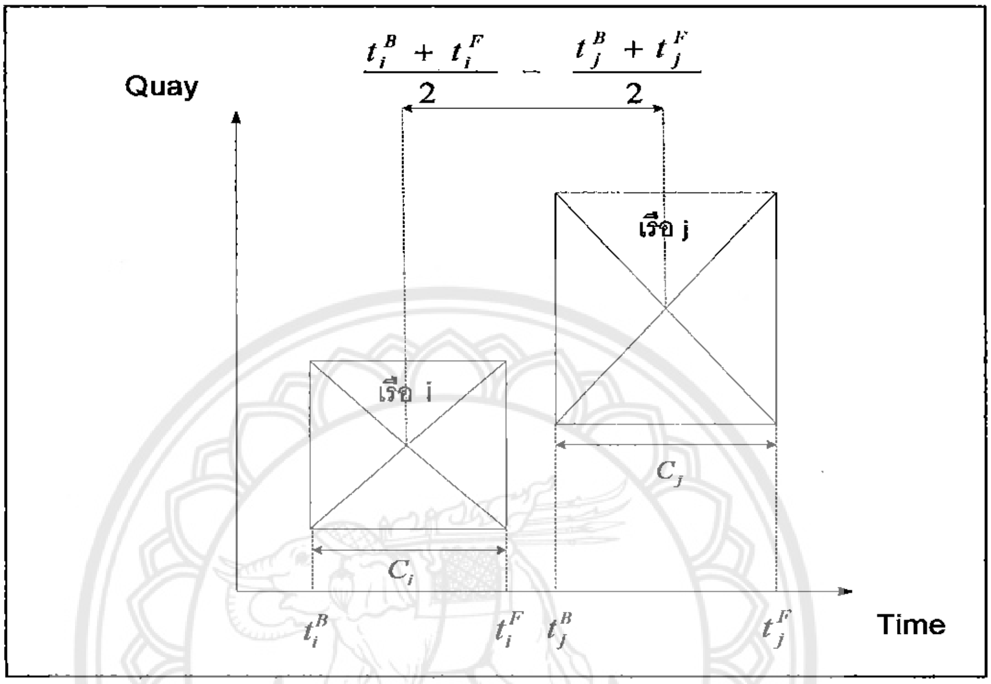
เงื่อนไขที่ 2.11 ข้อจำกัดของอสมการนี้ คือ ไม่ให้เรือ i และเรือ j มีการทับกันในแกนท่าเรือ (Quay) โดยที่ช่องว่างระหว่างเรือ i และเรือ j จะต้องมีค่ามากกว่า ครึ่งของความยาวเรือ i และเรือ j รวมกัน และ i ต้องไม่เท่ากับ j ดังรูปที่ 2.7

<u>หมายเหตุ</u> ในการอธิบายแบบจำลองคณะผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยนแปลงแกนจากรูปดังนี้ แกน Y จากเดิมเป็น แกนเวลา (Time) เปลี่ยนเป็นแกนท่าเรือ (Quay) และเปลี่ยนแกน X ซึ่งจากเดิมเป็นแกนท่าเรือ (Quay) เปลี่ยนเป็น แกนเวลา (Time) เพื่อความสะดวกในการวิจัย



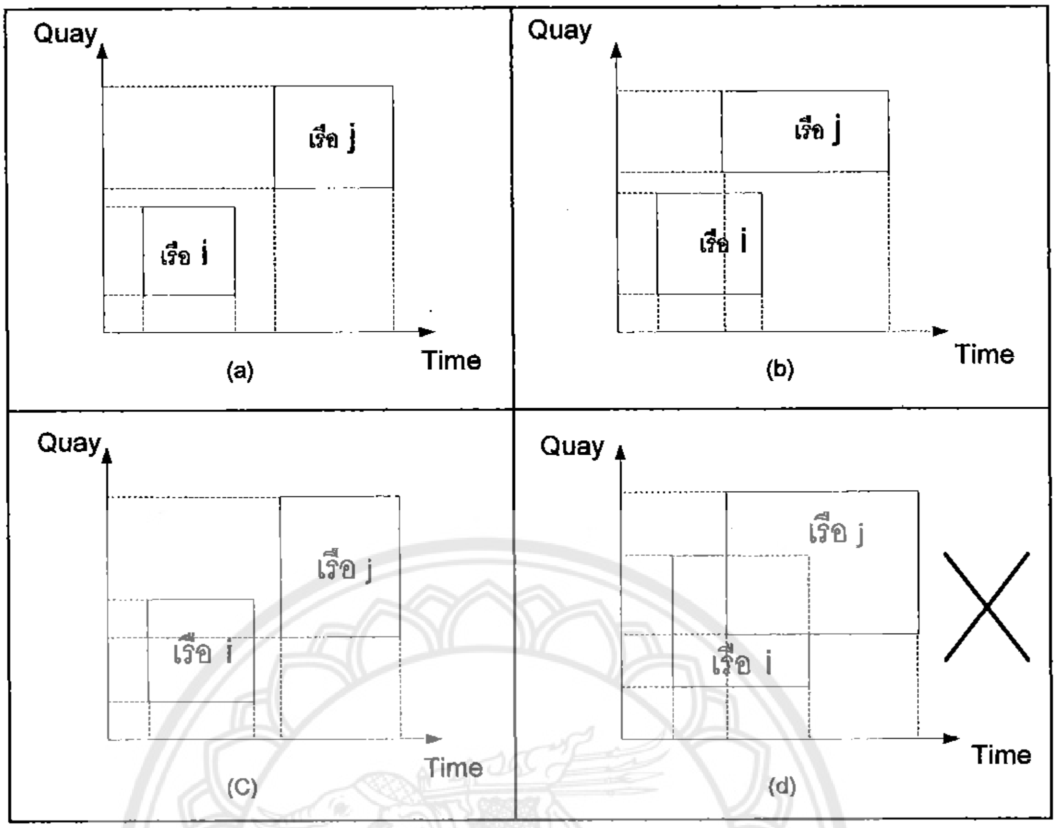
รูปที่ 2.7 อธิบายเงื่อนไขที่ 2.11

เงื่อนไขที่ 2.12 ข้อจำกัดของอสมการนี้ คือ ไม่ให้เรือ i และเรือ j มีการทับกันในแกนเวลา (Time) โดยที่ช่องว่างระหว่างเรือ i และเรือ j จะต้องมีค่ามากกว่าครึ่งของเวลาขนถ่ายของเรือ i และเรือ j และ i ต้องไม่เท่ากับ j ดังรูปที่ 2.8



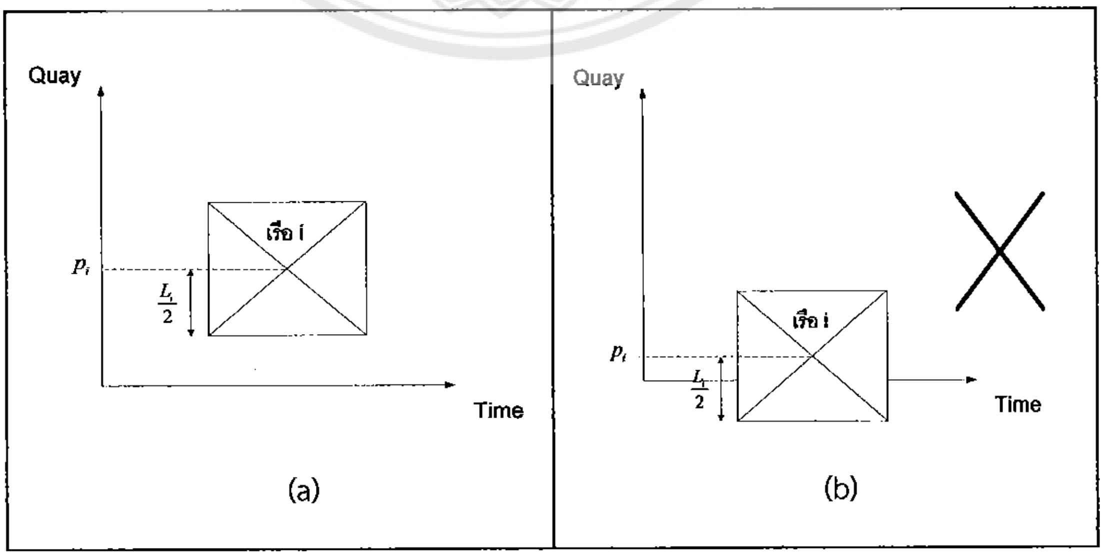
รูปที่ 2.8 อธิบายเงื่อนไขที่ 2.12

เงื่อนไขที่ 2.13 ข้อจำกัดของอสมการนี้ คือ เรือจะสามารถเทียบท่าในตำแหน่งที่มีการทับกันของแกนเวลา และแกนท่าเรือ ได้มากที่สุดเพียงแกนเดียวเท่านั้น จากรูปที่ 2.9 (a) แสดงให้เห็นว่าเรือ i และเรือ j เทียบท่าในตำแหน่งที่ไม่มีการทับกันของทั้งสองแกนคือทั้งแกนเวลา และแกนท่าเรือ จากรูปที่ 2.9 (b) แสดงให้เห็นว่าเรือ i และเรือ j เทียบท่าในตำแหน่งที่มีการทับกันของแกนเวลาแต่ไม่ทับกันในแกนท่าเรือ จากรูปที่ 2.9 (c) แสดงให้เห็นว่า เรือ i และ เรือ j เทียบท่าในตำแหน่งที่มีการทับกันของแกนท่าเรือ แต่ไม่มีการทับกันของแกนเวลา จากรูปที่ 2.9 (d) จะแสดงให้เห็นว่าจะไม่มีเหตุการณ์การเกิดของ เรือ i และเรือ j เทียบท่าในตำแหน่งที่มีการทับกันทั้งสองแกนพร้อมกัน คือ ทั้งแกนเวลา และแกนท่าเรือ และ i ต้องไม่เท่ากับ j



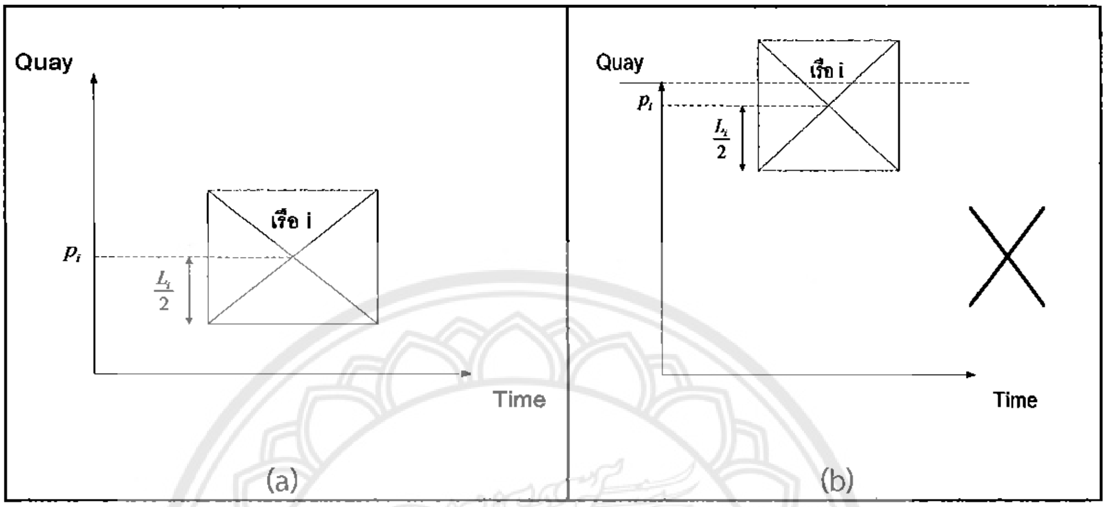
รูปที่ 2.9 อธิบายเงื่อนไขที่ 2.13

เงื่อนไขที่ 2.14 ข้อจำกัดของอสมการนี้ คือ เรือจะต้องเทียบท่าภายในท่าเรือเท่านั้น โดยที่ตำแหน่งที่เทียบท่าเรือลบด้วยครึ่งของความยาวเรือจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 2.10 (a) คือ ไม่สามารถเทียบท่าในตำแหน่งที่เลยแกนของท่าเรือได้ และจะไม่มีเหตุการณ์การเกิดของเรือเทียบท่าในตำแหน่งดังรูปที่ 2.10 (b)



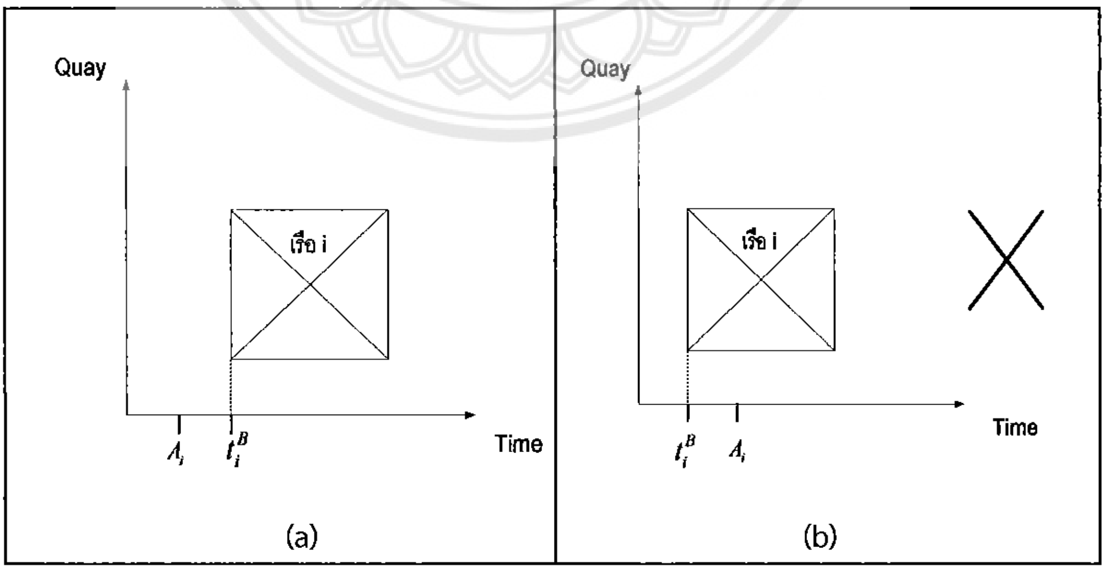
รูปที่ 2.10 อธิบายเงื่อนไขที่ 2.14

เงื่อนไขที่ 2.15 ข้อจำกัดของอสมการนี้ คือ เรือจะต้องเทียบท่าภายในท่าเรือเท่านั้น โดยที่ตำแหน่งที่เทียบท่าเรือบวกด้วยครึ่งของความยาวเรือจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับความยาวของท่าเรือ ดังรูปที่ 2.11 (a) คือ ไม่สามารถเทียบท่าในตำแหน่งที่เลยแกนของท่าเรือได้ และจะไม่มีเหตุการณ์การเกิดของเรือเทียบท่าในตำแหน่งดังรูปที่ 2.11 (b)



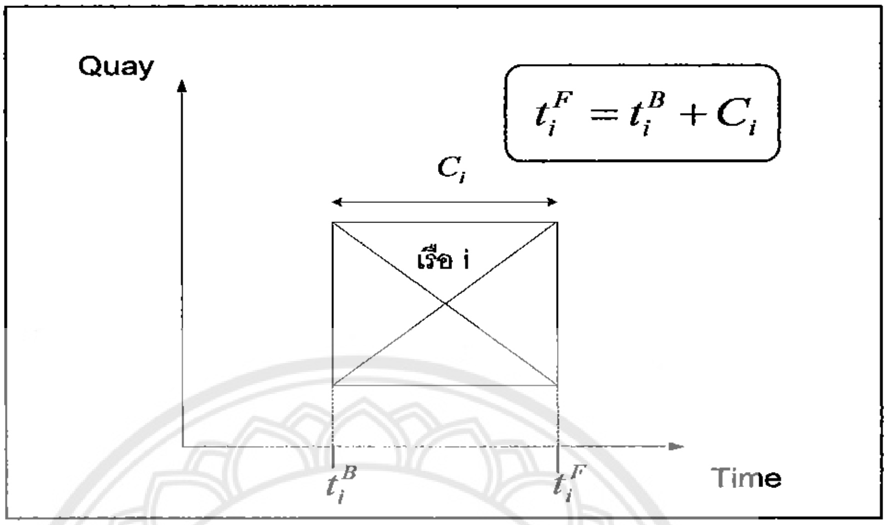
รูปที่ 2.11 อธิบายเงื่อนไขที่ 2.15

เงื่อนไขที่ 2.16 ข้อจำกัดของอสมการนี้ คือ เรือทุกๆ ลำจะสามารถเทียบท่าได้หลังจากเรือมาถึงแล้วเท่านั้น ดังรูปที่ 2.12 (a) และจะไม่มีเหตุการณ์การเกิดของเรือที่เทียบท่าก่อนเวลาการมาถึงของเรือดังรูปที่ 2.12 (b)



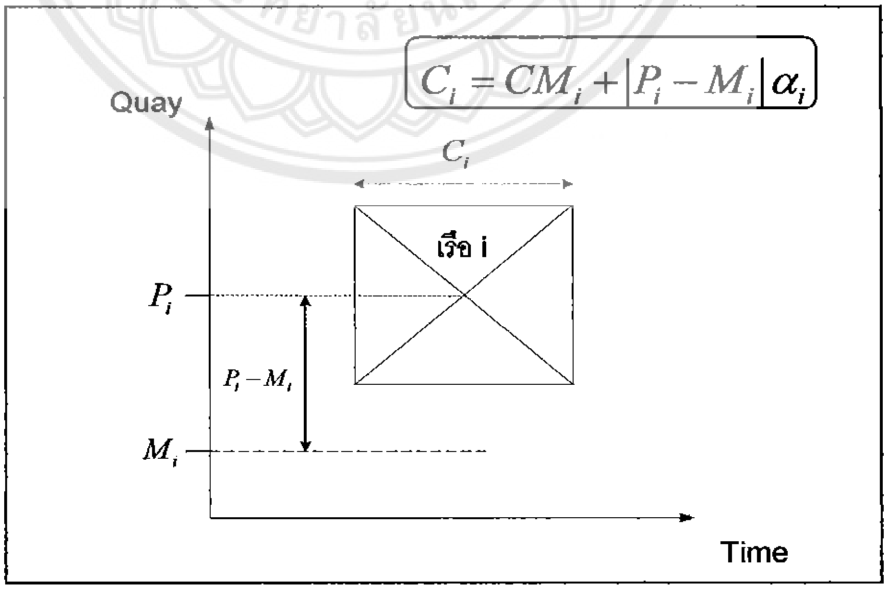
รูปที่ 2.12 อธิบายเงื่อนไขที่ 2.16

เงื่อนไขที่ 2.17 ข้อจำกัดของสมการนี้ คือ เวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายของเรือ i เท่ากับผลรวมระหว่างเวลาเริ่มต้นขนถ่ายของเรือ i กับเวลาขนถ่ายของเรือ i ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 อธิบายเงื่อนไขที่ 2.17

เงื่อนไขที่ 2.18 ข้อจำกัดของสมการนี้ คือ เวลาขนถ่ายของเรือ i เท่ากับเวลาขนถ่ายของตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุดสำหรับเรือ i บวกกับการคูณกันของอัตราที่เพิ่มขึ้นของเวลาขนถ่ายกับระยะทางของเรือ i กับ ผลต่างระหว่างตำแหน่งที่จอดเรือ i กับตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 2.14



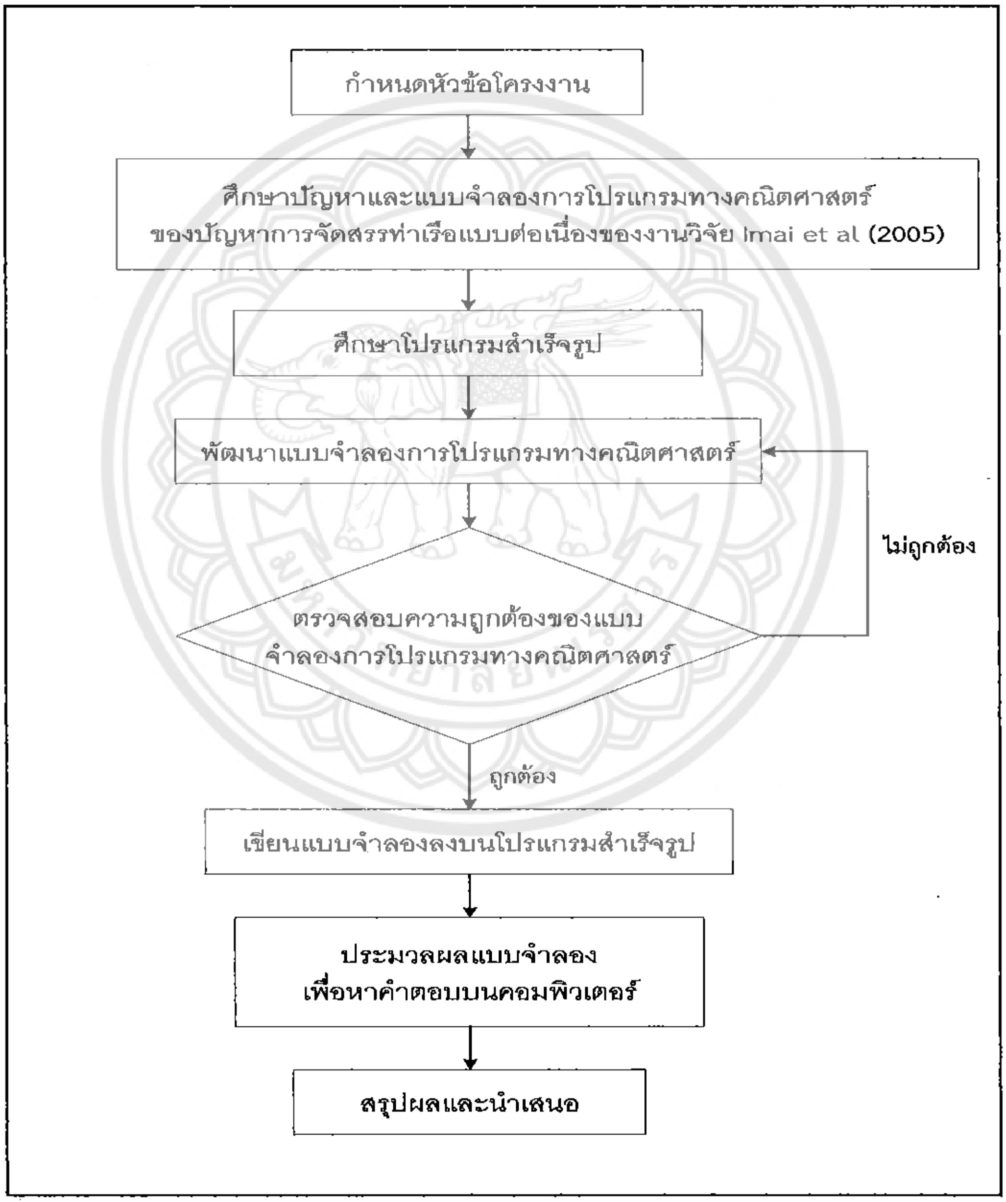
รูปที่ 2.14 อธิบายเงื่อนไขที่ 2.18

เงื่อนไขที่ 2.19 ข้อจำกัดของอสมการนี้ บอกว่า p_i และ t_i^B มีค่ามากกว่า 0 และเป็นจำนวนเต็ม

เงื่อนไขที่ 2.20 ข้อจำกัดของสมการนี้ บอกว่า δ_{ij}^p และ δ_{ij}^l เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีค่า 0 กับ 1 เท่านั้น และ i ต้องไม่เท่ากับ j

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยของการพัฒนาแบบจำลองในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง เพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของเรือทุกลำที่มาเทียบท่าในช่วงเวลาการวางแผน โดยจะแสดงแผนภาพขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังรูปที่ 3.1



หมายเหตุ ▭ คือ กระบวนการหลัก ◇ คือ การตัดสินใจ

รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

จากรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นภาพรวมของขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย โดยเริ่มจากการกำหนดหัวข้อโครงงาน ซึ่งหัวข้อโครงงานคือ การใช้แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง เมื่อได้หัวข้อโครงงานแล้วจึงทำการศึกษาปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง และศึกษาแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ของปัญหา จากนั้นศึกษาโปรแกรมสำเร็จรูป แล้วจึงพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์โดยใช้แบบจำลองพื้นฐานที่ได้ศึกษามาแล้วเป็นแบบจำลองในการพัฒนา โดยจะมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองอยู่เสมอขณะทำการพัฒนาแบบจำลอง เมื่อแบบจำลองที่พัฒนานั้นถูกต้องแล้วจึงนำแบบจำลองไปเขียนลงบนโปรแกรมสำเร็จรูป แล้วทำการประมวลผลแบบจำลองเพื่อหาคำตอบบนคอมพิวเตอร์ เมื่อได้คำตอบของแบบจำลองจากการประมวลผลแล้ว จึงนำไปวิเคราะห์สรุปผลและนำเสนอต่อไป

3.1 ศึกษาปัญหาและแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Programming Model)

ศึกษาปัญหาการจัดสรรท่าเรือ ซึ่งงานวิจัยนี้ศึกษาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่องของงานวิจัย Imai et al (2005) ซึ่งมีเวลาการมาถึงของเรือแบบไม่คงที่ เวลาการขนถ่ายขึ้นอยู่กับตำแหน่งในการจอดเรือ โดยพิจารณาจากตำแหน่งที่ดีที่สุดในการจอดเรือ ในงานวิจัยนี้มีสิ่งที่แตกต่างจากงานวิจัยของ Imai et al (2005) คือ มีการกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date) ปัจจัยในการเข้าจอดของเรือมีการคำนึงถึงหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window) ในการพิจารณา มีวัตถุประสงค์เพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของเรือทุกลำที่มาเทียบท่าในช่วงเวลาของการวางแผน ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าปรับที่เป็นผลมาจากเรือออกจากท่าเรือล่าช้ากว่ากำหนด ผลประโยชน์ที่ได้รับที่เป็นผลมาจากเรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด และค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ โดยใช้แบบจำลองพื้นฐานของงานวิจัยของ Imai et al (2005) ในการศึกษา ซึ่งมีรูปแบบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ข้อตกลง และข้อบังคับต่างๆ ในแบบจำลอง ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.5.2

3.2 ศึกษาโปรแกรมสำเร็จรูป

15929581
ปร.
97533
2554

3.2.1 ศึกษาฟังก์ชันการทำงาน และการกำหนดค่าต่างๆ

3.2.2 ศึกษาวิธีการทำงานของโปรแกรมสำเร็จรูป

3.3 พัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์

3.3.1 ศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รายละเอียด และข้อจำกัดต่างๆ ของแบบจำลอง

3.3.2 สร้างแบบจำลอง โดยมีข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

3.3.2.1 ไม่มีความล่าช้าในการมาถึงของเรือ

3.3.2.2 เรือจะไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากท่าได้จนกว่าจะถึงเวลาออกจากท่า

3.3.2.3 เวลาการขนถ่ายที่เพิ่มขึ้น เป็นสัดส่วนในระยะทางจากตำแหน่งที่ดีที่สุด โดยมีค่าของสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของเรือ i เป็น $\alpha_i \geq 0$

3.3.2.4 การขนถ่ายของเรือแต่ละลำดำเนินการอย่างต่อเนื่องไม่มีการหยุดชะงัก

3.3.2.5 ระยะความปลอดภัยระหว่างเรือแต่ละลำคิดรวมไว้ในความยาวของเรือเรียบร้อยแล้ว

3.3.2.6 ในเวลาเริ่มต้น ไม่มีเรือลำใดจอดอยู่ในท่าเรือ

3.3.2.7 นอกจากปัจจัยด้านตำแหน่งที่เหมาะสมในการจอดเรือ ปัจจัยอื่นๆ เช่น จำนวนเครนที่ใช้ในเรือแต่ละลำ ทรัพยากรที่ใช้ในการขนถ่ายไม่มีผลต่อเวลาขนถ่าย

3.3.2.8 การตัดสินใจเข้ารับบริการของเรือขึ้นอยู่กับหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window)

3.4 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์

3.4.1 ตรวจสอบความครบถ้วนของตัวแปร และข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองการจัดสรรท่าเรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมในการบริการว่าครบถ้วนหรือไม่ ถ้าไม่ครบถ้วนให้กลับไปทำในขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่ 3.3 ใหม่อีกครั้ง

3.4.2 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น ซึ่งใช้การทดสอบโดยตั้งรูปแบบทางคณิตศาสตร์ใหม่เปรียบเทียบกับแบบจำลอง ด้วยการตั้งโจทย์ปัญหาขนาดเล็กเพื่อวิเคราะห์ดูผลลัพธ์ของแบบจำลองว่าผลลัพธ์ที่ได้สมเหตุสมผลหรือไม่

3.5 เขียนแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์บนโปรแกรมสำเร็จรูป

3.5.1 เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นลงบนโปรแกรมสำเร็จรูป

3.5.2 ตรวจสองความถูกต้อง และความสมบูรณ์ของแบบจำลองก่อนทำการประมวลผล

3.6 ประมวลผลแบบจำลองเพื่อหาคำตอบบนคอมพิวเตอร์

3.6.1 ประมวลผลหาคำตอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.6.2 ตรวจสอบ และแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างดำเนินการหาคำตอบบนโปรแกรมสำเร็จรูป ปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

3.7 สรุปผลและนำเสนอ

หลังจากที่ได้คำตอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่องแล้ว นำมาวิเคราะห์ว่าคำตอบที่ได้จากแบบจำลองนั้นมีความสมเหตุสมผลหรือไม่ แล้วจึงสรุปผลการดำเนินงานวิจัย และนำเสนอต่อคณะกรรมการ

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

บทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินงานวิจัย และแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่องทั้งหมด 4 แบบจำลอง ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแบบจำลองของ Imai et al (2005) แล้วพัฒนาแบบจำลองเพื่อให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง และทดลองหาผลลัพธ์ของโจทย์ปัญหาในแต่ละแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปมาช่วย ซึ่งได้แสดงระยะเวลาในการคำนวณโดยใช้คอมพิวเตอร์ของแต่ละแบบจำลองไว้ ดังนี้

4.1 ศึกษาปัญหาและแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์

จากการศึกษาปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่องจากข้อมูลบทความวิชาการ ผู้วิจัยได้ศึกษาแบบจำลองของ Imai et al (2005) พบว่าในการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่องนั้นยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการเข้าเทียบท่าของเรือ ดังนั้นเพื่อให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสถานการณ์จริง และทำให้เรือทุกลำที่มาเข้าใช้บริการเสียค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ซึ่งผู้วิจัยได้ศึกษา และพัฒนาแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ ทั้งหมด 4 แบบจำลอง ดังนี้

4.1.1 แบบจำลองของ Imai et al (2005) มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้ผลลัพธ์ของปัญหาเป็นเวลารวมในการให้บริการที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำ

4.1.2 แบบจำลองที่มีการกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date) และมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำที่มาเทียบท่า ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) และหักผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit)

4.1.3 แบบจำลองที่มีการกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date) และมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำที่มาเทียบท่า ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) หักผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit) และรวมกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ (Reject Cost)

4.1.4 แบบจำลองที่มีการคำนึงถึงปัจจัยในการเข้าจอดของเรือมีหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window) และมีการกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date) มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำที่มาเทียบท่า ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) และหักผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit)

4.2 ศึกษาโปรแกรมสำเร็จรูป

นำข้อมูลที่ได้ข้างต้นมาวิเคราะห์ เพื่อศึกษาการใช้งานโปรแกรมสำเร็จรูป

4.3 แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตสตร์

4.3.1 ข้อตกลงเบื้องต้นรวมทุกแบบจำลอง

4.3.1.1 ไม่มีความล่าช้าในการมาถึงของเรือ

4.3.1.2 เรือแต่ละลำจะไม่สามารถเคลื่อนที่ออกจากท่าได้จนกว่าจะถึงเวลาออกจากท่า

4.3.1.3 เวลาการขนถ่ายที่เพิ่มขึ้น เป็นสัดส่วนในระยะทางจากตำแหน่งที่ดีที่สุด โดยมีค่าของสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นของเรือ i เป็น $\alpha_i \geq 0$

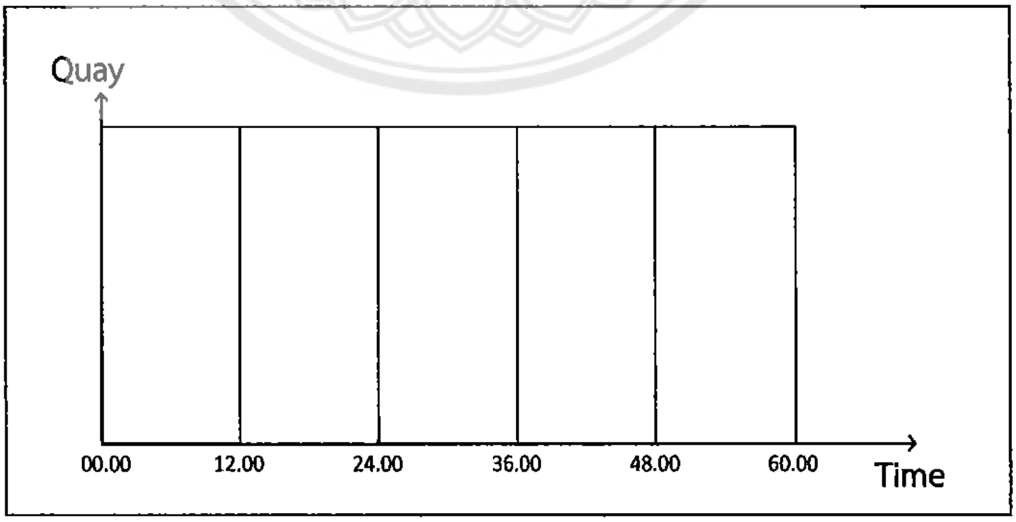
4.3.1.4 การขนถ่ายของเรือแต่ละลำดำเนินการอย่างต่อเนื่องไม่มีการหยุดชะงัก

4.3.1.5 ระยะความปลอดภัยระหว่างเรือแต่ละลำคิดรวมไว้ในความยาวของเรือเรียบร้อยแล้ว

4.3.1.6 ในเวลาเริ่มต้น ไม่มีเรือลำใดจอดอยู่ในท่าเรือ

4.3.1.7 นอกจากปัจจัยด้านตำแหน่งที่เหมาะสมในการจอดเรือ ปัจจัยอื่นๆ เช่น จำนวนเครนที่ใช้ในเรือแต่ละลำ ทรัพยากรที่ใช้ในการขนถ่ายไม่มีผลต่อเวลาขนถ่าย

4.3.1.8 ปัจจัยในการเข้าจอดของเรือแต่ละลำมีการคำนึงถึงหน้าต่างเวลาน้ำขึ้น-น้ำลง (Tidal Time Window) ซึ่งใน 1 วันจะมีช่วงเวลาน้ำขึ้น และน้ำลง 2 ช่วง คือ ช่วงเวลาน้ำขึ้น ตั้งแต่เวลา 00.00 น. ถึง 12.00 น. และช่วงเวลาน้ำลง ตั้งแต่เวลา 12.01 น. ถึง 24.00 น. โดยที่เรือจะสามารถเข้าจอด หรือออกจากท่าได้ในช่วงเวลาน้ำขึ้นเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ในปัจจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะแบบจำลองที่ 4 เท่านั้น



รูปที่ 4.1 แสดงช่วงเวลาน้ำขึ้น - น้ำลง

4.3.2 กำหนดตัวแปรการตัดสินใจรวมทุกแบบจำลอง

4.3.2.1 ดัชนี

i คือ ชุดของเรือ $i\,(=1,...,T) \in V$

j คือ ชุดของเรือ $j\,(=1,...,T) \in V$

4.3.2.2 พารามิเตอร์

A_i คือ เวลามาถึงโดยประมาณของเรือ i

L_i คือ ความยาวของเรือ i (รวมระยะห่างของช่องว่างระหว่างเรือแล้ว)

Q คือ ความยาวท่าเรือ

M_i คือ ตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุด (ตำแหน่งที่เวลาขนถ่ายของเรือ i น้อยที่สุด) โดย $L_i / 2 \le M_i \le Q - L_i / 2$

CM_i คือ เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุดสำหรับเรือ i

DD_i คือ เวลาที่กำหนดในการออกจากท่าของเรือ i

α_i คือ อัตราที่เพิ่มขึ้นของเวลาขนถ่าย กับระยะทางของเรือ i จากตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุดของเรือ i

β_i คือ ค่าใช้จ่ายรวมของเรือ i (พิจารณาตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาการขนถ่ายเสร็จสิ้น)

γ_i คือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากเรือ i ออกจากท่าช้ากว่ากำหนด

ρ_i คือ ผลประโยชน์ที่ได้เนื่องจากเรือ i ออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด

$Limit_i$ คือ เวลาที่เรือ i สามารถรอได้สูงสุด ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนกระทั่งถึงเวลาเริ่มต้นในการขนถ่าย

$Costrej_i$ คือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากท่าเรือปฏิเสธเรือ i

BM คือ ค่ามากมายมหาศาล

4.3.2.3 ตัวแปรการตัดสินใจ

p_i คือ ตำแหน่งที่จอดเรือ i

C_i คือ เวลาขนถ่ายที่แท้จริงของเรือ i

t_i^B คือ เวลาเริ่มต้นที่เริ่มขนถ่ายของเรือ i

t_i^F คือ เวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายของเรือ i

δ_{ij}^p ตัวแปรตัดสินใจในแกนท่าเรือ โดย

$\delta_{ij}^p = 1$ ถ้าไม่มีการทับกันของเรือ i และ j ในแกนท่าเรือ

$\delta_{ij}^p = 0$, กรณีอื่นๆ

δ_{ij}^t ตัวแปรตัดสินใจในแกนเวลา โดย

$\delta_{ij}^t = 1$ ถ้าไม่มีการทับกันของเรือ i และ j ในแกนเวลา

$\delta_{ij}^t = 0$, กรณีอื่นๆ

D_i คือ เวลาที่เรือ i ออกจากท่าช้ากว่ากำหนด

E_i คือ เวลาที่เรือ i ออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด

rej_i ตัวแปรตัดสินใจในการเลือกปฏิเสธเรือ โดย

$rej_i = 1$ ถ้ามีการปฏิเสธเรือ i

$rej_i = 0$, กรณีอื่นๆ

I_i^F คือ ตัวเลขของช่วงเวลาน้ำขึ้นน้ำลงสำหรับเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายของเรือ i โดย $I_i^F = \left\lceil \frac{t_i^B + C_i}{12} \right\rceil$

Y_i^F ตัวแปรตัดสินใจในการเลือกช่วงของน้ำขึ้นน้ำลง โดย

$Y_i^F = 0$ ถ้าเรือ i ขนถ่ายเสร็จสิ้นในช่วงที่ I_i^F เป็นเลขคู่ (ช่วงน้ำลง)

$Y_i^F = 1$, กรณีอื่นๆ

4.3.3 ความสามารถของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

Compaq Presario CQ45 Core 2 Duo T6400 Processor 2.00GHz, 4.00 GB RAM

4.3.4 การออกแบบการทดลองของแบบจำลอง

โดยลักษณะของโจทย์ปัญหามี 3 ขนาด คือปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ ดังนี้

4.3.4.1 ปัญหาขนาดเล็ก มีเรือ 1 – 4 ลำ มีความยาวท่าเรือ 1,000 - 2,000 เมตร

4.3.4.2 ปัญหาขนาดกลาง มีเรือ 5 – 8 ลำ มีความยาวท่าเรือ 1,000 - 2,000 เมตร

4.3.4.3 ปัญหาขนาดใหญ่ มีเรือ 9 ลำ ขึ้นไป มีความยาวท่าเรือ 1,000 - 2,000 เมตร

4.3.5 การอธิบายแบบจำลอง

จากการศึกษาปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่อง พบว่านอกเหนือจากปัจจัยที่งานวิจัยของ Imai et al (2005) ได้กล่าวไว้แล้วยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลต่อการจัดสรรท่าเรือ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้พิจารณาปัจจัยต่างๆ ตามข้อตกลงเบื้องต้นที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.3.1

4.3.5.1 แบบจำลองที่ 1 แบบจำลองของ Imai et al (2005) มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้ผลลัพธ์ของปัญหาเป็นเวลารวมในการให้บริการที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำ

ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 1

$$Min\ Z = \sum_{i \in V}\left(t_i^F - A_i\right) \tag{4.1}$$

Subject to

$$\left|p_i - p_j\right| \delta_{ij}^p \ge \frac{L_i + L_j}{2}\delta_{ij}^p \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \tag{4.2}$$

$$\left|\frac{t_i^B + t_i^F}{2} - \frac{t_j^B + t_j^F}{2}\right| \delta_{ij}^t \ge \frac{C_i + C_j}{2}\delta_{ij}^t \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \tag{4.3}$$

$$\delta_{ij}^p + \delta_{ij}^t \ge 1 \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \tag{4.4}$$

$$p_i - \frac{L_i}{2} \ge 0 \quad \forall i \in V, \tag{4.5}$$

$$p_i + \frac{L_i}{2} \le Q \quad \forall i \in V, \tag{4.6}$$

$$t_i^B \ge A_i \quad \forall i \in V, \tag{4.7}$$

$$t_i^F = t_i^B + C_i \quad \forall i \in V, \tag{4.8}$$

$$C_i = CM_i + \left|p_i - M_i\right|\alpha_i \quad \forall i \in V, \tag{4.9}$$

$$p_i, t_i^B \ge 0 \text{ and are integer} \quad \forall i \in V, \tag{4.10}$$

$$\delta_{ij}^p, \delta_{ij}^t \in \{0,1\} \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \tag{4.11}$$

เพื่อหาเวลารวมในการให้บริการที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำ โดยที่เวลารวมในการให้บริการเท่ากับผลต่างของเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายของเรือ i กับ เวลาการมาถึงโดยประมาณของเรือ i ซึ่งแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Programming Model) ประกอบไปด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 1 ดังที่แสดงในสมการ 4.1 และข้อจำกัดต่างๆ ดังแสดงในสมการข้างต้น

ข.ข้อจำกัดของแบบจำลองที่ 1 ประกอบไปด้วย

อสมการที่ 4.2 คือ ไม่ให้เรือ i และเรือ j มีการทับกันในแกนท่าเรือ (Quay) โดยที่ช่องว่างระหว่างเรือ i และเรือ j จะต้องมีค่ามากกว่า ครึ่งของความยาวเรือ i และเรือ j รวมกัน และ i ต้องไม่เท่ากับ j ดังรูปที่ 2.7

$$\left|p_i - p_j\right|\delta_{ij}^{p} \geq \frac{L_i + L_j}{2}\delta_{ij}^{p} \qquad \forall i, j(\neq i) \in V$$

อสมการที่ 4.3 คือ ไม่ให้เรือ i และเรือ j มีการทับกันในแกนเวลา (Time) โดยที่ช่องว่างระหว่างเรือ i และเรือ j จะต้องมีค่ามากกว่าครึ่งของเวลาขนถ่ายของเรือ i และเรือ j และ i ต้องไม่เท่ากับ j ดังรูปที่ 2.8

$$\left|\frac{t_i^B + t_i^F}{2} - \frac{t_j^B + t_j^F}{2}\right|\delta_{ij}^{t} \geq \frac{C_i + C_j}{2}\delta_{ij}^{t} \qquad \forall i, j(\neq i) \in V$$

อสมการที่ 4.4 คือ เรือจะสามารถเทียบท่าในตำแหน่งที่มีการทับกันของแกนเวลา และแกนท่าเรือ ได้มากที่สุดเพียงแกนเดียวเท่านั้น จากรูปที่ 2.9 (a) แสดงให้เห็นว่าเรือ i และเรือ j เทียบท่าในตำแหน่งที่ไม่มีการทับกันของทั้งสองแกนคือทั้งแกนเวลา และแกนท่าเรือ จากรูปที่ 2.9 (b) แสดงให้เห็นว่าเรือ i และเรือ j เทียบท่าในตำแหน่งที่มีการทับกันของแกนเวลาแต่ไม่ทับกันในแกนท่าเรือ จากรูปที่ 2.9 (c) แสดงให้เห็นว่า เรือ i และ เรือ j เทียบท่าในตำแหน่งที่มีการทับกันของแกนท่าเรือ แต่ไม่มีการทับกันของแกนเวลา จากรูปที่ 2.9 (d) จะแสดงให้เห็นว่าจะไม่มีเหตุการณ์การเกิดของ เรือ i และเรือ j เทียบท่าในตำแหน่งที่มีการทับกันทั้งสองแกนพร้อมกัน คือ ทั้งแกนเวลา และแกนท่าเรือ และ i ต้องไม่เท่ากับ j

$$\delta_{ij}^{p} + \delta_{ij}^{t} \geq 1 \qquad \forall i, j(\neq i) \in V$$

อสมการที่ 4.5 คือ เรือจะต้องเทียบท่าภายในท่าเรือเท่านั้น โดยที่ตำแหน่งที่เทียบท่าเรือลบด้วยครึ่งของความยาวเรือจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 2.10 (a) คือ ไม่สามารถเทียบท่าในตำแหน่งที่เลยแกนของท่าเรือได้ และจะไม่มีเหตุการณ์การเกิดของเรือเทียบท่าในตำแหน่งดังรูปที่ 2.10 (b)

$$p_i - \frac{L_i}{2} \geq 0 \qquad \forall i \in V$$

อสมการที่ 4.6 คือ เรือจะต้องเทียบท่าภายในท่าเรือเท่านั้น โดยที่ตำแหน่งที่เทียบท่าเรือบวกด้วยครึ่งของความยาวเรือจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับความยาวของท่าเรือ ดังรูปที่ 2.11 (a) คือ ไม่สามารถเทียบท่าในตำแหน่งที่เลยแกนของท่าเรือได้ และจะไม่มีเหตุการณ์การเกิดของเรือเทียบท่าในตำแหน่งดังรูปที่ 2.11 (b)

$$p_i + \frac{L_i}{2} \leq Q \qquad \forall i \in V$$

อสมการที่ 4.7 คือ เรือทุกๆ ลำจะสามารถเทียบท่าได้หลังจากเรือมาถึงแล้วเท่านั้น ดังรูปที่ 2.12 (a) และจะไม่มีเหตุการณ์การเกิดของเรือที่เทียบท่าก่อนเวลาการมาถึงของเรือ ดังรูปที่ 2.12 (b)

$$t_i^B \geq A_i \qquad \forall i \in V$$

สมการที่ 4.8 คือ เวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายของเรือ i เท่ากับ ผลรวมระหว่างเวลาเริ่มต้นขนถ่ายของเรือ i กับเวลาขนถ่ายของเรือ i ดังรูปที่ 2.13

$$t_i^F = t_i^B + C_i \qquad \forall i \in V$$

สมการที่ 4.9 คือ เวลาขนถ่ายของเรือ i เท่ากับเวลาขนถ่ายของตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุดสำหรับเรือ i บวกกับการคูณกันของอัตราที่เพิ่มขึ้นของเวลาขนถ่ายกับระยะทางของเรือ i กับ ผลต่างระหว่างตำแหน่งที่จอดเรือ i กับตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 2.14

$$C_i = CM_i + |p_i - M_i|\alpha_i \qquad \forall i \in V$$

อสมการที่ 4.10 บอกว่า p_i และ t_i^B มีค่ามากกว่า 0 และเป็นจำนวนเต็ม

$$p_i, t_i^B \geq 0 \qquad \forall i \in V$$

อสมการที่ 4.11 บอกว่า δ_{ij}^p และ δ_{ij}^t เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีค่า 0 กับ 1 เท่านั้น และ i ต้องไม่เท่ากับ j

$$\delta_{ij}^p, \delta_{ij}^t \in \{0,1\} \qquad \forall i, j(\neq i) \in V$$

4.3.5.2 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 (1-S1) จำนวนเรือ 3 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 (1-S1)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)
1	6	150	250	2
2	7	250	500	3
3	8	300	750	5

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 (1-S2) จำนวนเรือ 3 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1500 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 (1-S2)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)
1	6	250	250	3
2	7	350	500	4
3	8	300	750	4

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 3 (1-S3) จำนวนเรือ 4 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1500 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 3 (1-S3)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)
1	6	200	150	2
2	7	150	300	2
3	8	300	450	3
4	9	450	600	6

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 (1-M1) จำนวนเรือ 5 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 (1-M1)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)
1	6	200	150	2
2	7	150	300	2
3	8	300	450	3
4	9	450	600	6
5	10	250	750	3

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 (1-M2) จำนวนเรือ 7 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1500 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 (1-M2)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)
1	6	200	225	3
2	7	350	450	4
3	8	150	675	5
4	9	100	225	2
5	10	200	450	3
6	11	350	675	5
7	12	250	905	4

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 3 (1-M3) **จำนวนเรือ 7 ลำ** มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 2000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 3 (1-M3)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)
1	6	200	225	3
2	7	350	450	4
3	8	150	675	5
4	9	100	225	2
5	10	200	450	3
6	11	350	675	5
7	12	250	905	4

4.3.5.3 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือ เวลารวมในการให้บริการที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำและระยะเวลาในการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.7

<u>หมายเหตุ</u> การกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 1 – S2 ความหมายคือ 1 แสดงถึงแบบจำลองที่ 1 และ S2 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก	จำนวนเรือ (ลำ)	ขนาดท่าเรือ (m)	ผลลัพธ์	เวลา (hr.min.s)
1-S1	3	1000	14	00.02.24
1-S2	3	1500	12	00.04.23
1-S3	4	1500	16.25	00.12.07

จากผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ถ้าขนาดท่าเรือเท่ากัน แต่จำนวนเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีจำนวนมากกว่า จะส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่ามากตามไปด้วย และระยะเวลาในการคำนวณหาผลลัพธ์ก็จะมากตามไปด้วย อย่างเช่นโจทย์ปัญหาที่ 1 – S3 มีปริมาณเรือที่ข้ามาเทียบท่ามากกว่าโจทย์ปัญหาที่ 1 – S2 ส่งผลให้ผลลัพธ์ของโจทย์ปัญหาที่ 1 – S3 ที่คำนวณได้นั้นมีค่าของผลลัพธ์มากกว่า โจทย์ปัญหาที่ 1 – S2

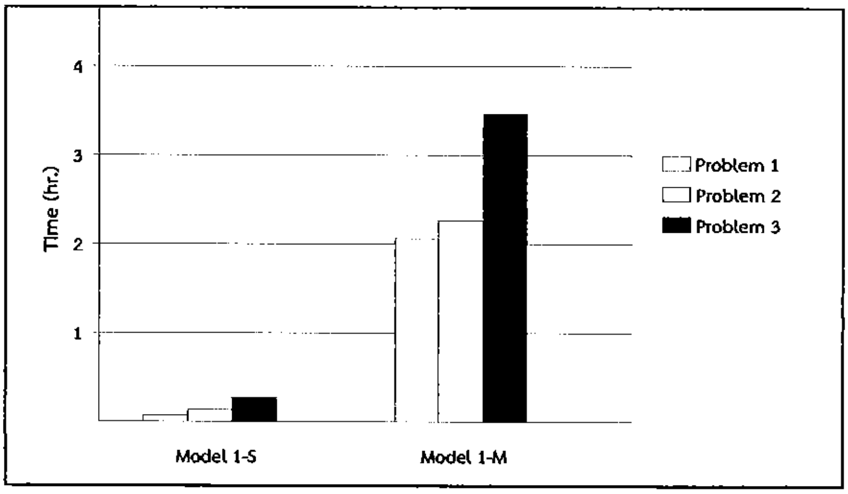
หมายเหตุ การกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 1 – M2 ความหมายคือ 1 แสดงถึงแบบจำลองที่ 1 และ M2 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

โจทย์ปัญหาขนาดกลาง	จำนวนเรือ (ลำ)	ขนาดท่าเรือ (m)	ผลลัพธ์	เวลา (hr.min.s)
1-M1	5	1000	24.37	02.00.30
1-M2	7	1500	39.475	02.19.00
1-M3	7	2000	39.525	03.22.43

จากผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ถ้าจำนวนเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีจำนวนเท่ากัน แต่ขนาดของท่าเรือที่มากขึ้นจะส่งผลให้ผลลัพธ์มากขึ้นด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 1 – M3 มีขนาดท่าเรือที่มากกว่า โจทย์ปัญหาที่ 1 – M2 จะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีค่ามากขึ้น และระยะเวลาในการคำนวณหาผลลัพธ์ก็มากขึ้นด้วย

จากการทดลองหาผลลัพธ์ของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่มีจำนวนเรือ 10 ลำและขนาดท่าเรือ 1500 เมตร เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Programming) และปัญหามีขนาดใหญ่มากจึงไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งในโจทย์ปัญหานี้ได้กำหนดระยะเวลาในการคำนวณ คือ 72 ชั่วโมง



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 1

4.3.5.4 แบบจำลองที่ 2 แบบจำลองที่มีการกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date) และมีการพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำที่มาเทียบท่า ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) ค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) และผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit) ซึ่งในสมการที่ 4.2 ถึงสมการที่ 4.11 นั้นเหมือนกับแบบจำลองที่ 1 ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 2

$$Min\ Z = \sum_{i \in V} \beta_i \left(t_i^F - A_i\right) + \sum_{i \in V} \gamma_i (D_i) - \sum_{i \in V} \rho_i (E_i) \qquad \textbf{(4.12)}$$

Subject to

$$\left|p_i - p_j\right| \delta_{ij}^p \geq \frac{L_i + L_j}{2} \delta_{ij}^p \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \qquad \textbf{(4.2)}$$

$$\left|\frac{t_i^B + t_i^F}{2} - \frac{t_j^B + t_j^F}{2}\right| \delta_{ij}^t \geq \frac{C_i + C_j}{2} \delta_{ij}^t \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \qquad \textbf{(4.3)}$$

$$\delta_{ij}^p + \delta_{ij}^t \geq 1 \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \qquad \textbf{(4.4)}$$

$$p_i - \frac{L_i}{2} \geq 0 \quad \forall i \in V, \qquad \textbf{(4.5)}$$

$$p_i + \frac{L_i}{2} \leq Q \quad \forall i \in V, \qquad \textbf{(4.6)}$$

$$t_i^B \geq A_i \quad \forall i \in V, \qquad \textbf{(4.7)}$$

$$t_i^F = t_i^B + C_i \quad \forall i \in V, \qquad \textbf{(4.8)}$$

$$C_i = CM_i + |p_i - M_i|\alpha_i \quad \forall i \in V, \tag{4.9}$$

$$D_i = \max(t_i^F - DD_i, 0) \quad \forall i \in V, \tag{4.13}$$

$$E_i = \max(DD_i - t_i^F, 0) \quad \forall i \in V, \tag{4.14}$$

$p_i, t_i^B \geq 0$ and are integer $\forall i \in V$, **(4.10)**

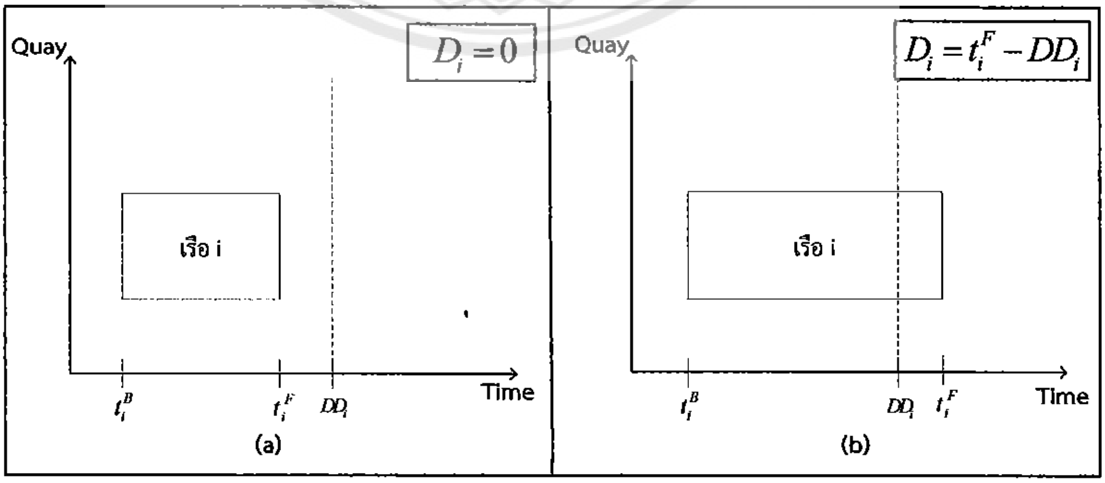
$$\delta_{ij}^p, \delta_{ij}^l \in \{0,1\} \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \tag{4.11}$$

เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำที่มาเทียบท่า ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) และหักผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit) ซึ่งแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Programming Model) ประกอบไปด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบจำลองที่ 2 ดังที่แสดงในสมการ 4.12 และข้อจำกัดต่างๆ ดังแสดงในสมการข้างต้น

ข.ข้อจำกัดของแบบจำลองที่ 2 ประกอบไปด้วย

สมการที่ 4.13 เป็นการกำหนดว่าเวลาที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (D_i) จะเป็น 0 เมื่อ ค่าของเวลาการขนถ่ายที่เสร็จสิ้นลบด้วยกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า $(t_i^F - DD_i)$ เป็นค่าลบหรือ 0 ดังรูปที่ 4.3 (a) แต่ถ้าค่าของเวลาการขนถ่ายที่เสร็จสิ้นลบด้วยกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า $(t_i^F - DD_i)$ มีค่าเป็นบวกแสดงว่าเวลาที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (D_i) จะเท่ากับ $(t_i^F - DD_i)$ ดังรูปที่ 4.3 (b)

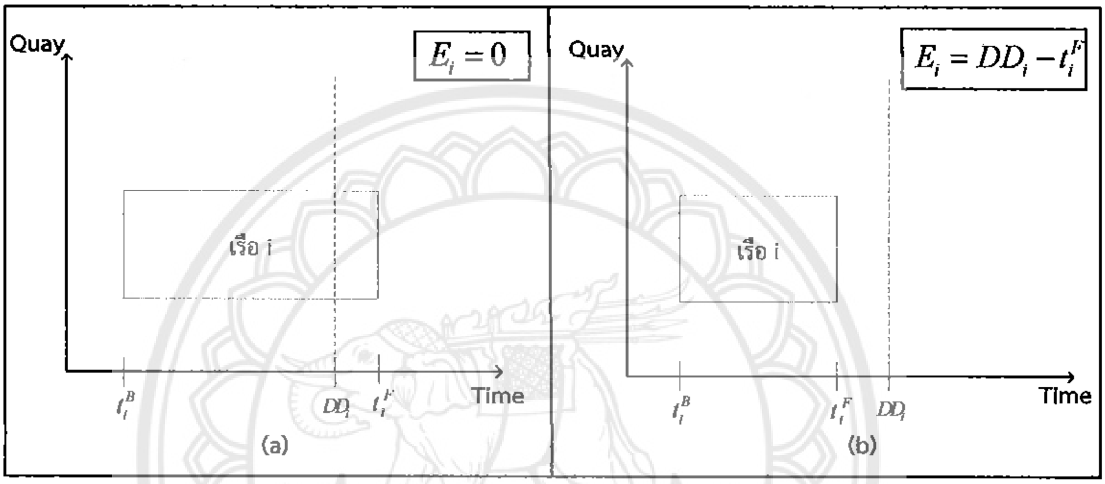
$$D_i = \max(t_i^F - DD_i, 0) \qquad \forall i \in V$$



รูปที่ 4.3 อธิบายสมการที่ 4.13

สมการที่ 4.14 เป็นการกำหนดว่าเวลาที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (E_i) จะเป็น 0 เมื่อผลต่างของกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่ากับเวลาการขนถ่ายที่เสร็จสิ้น $(DD_i - t_i^F)$ เป็นค่าลบหรือ 0 ดังรูปที่ 4.4 (a) แต่ถ้าผลต่างของกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่ากับเวลาการขนถ่ายที่เสร็จสิ้น $(DD_i - t_i^F)$ มีค่าเป็นบวกแสดงว่าเวลาที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (E_i) จะเท่ากับ $(DD_i - t_i^F)$ ดังรูปที่ 4.4 (b)

$$E_i = \max(DD_i - t_i^F, 0) \qquad \forall i \in V$$



รูปที่ 4.4 อธิบายสมการที่ 4.14

4.3.5.5 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 (2-S1) จำนวนเรือ 3 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 (2-S1)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	150	250	2	10
2	7	250	500	3	11
3	8	300	750	5	12

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 (2-S2) จำนวนเรือ 3 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1500 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 (2-S2)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	250	250	3	10
2	7	350	500	4	10
3	8	300	750	4	10

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 3 (2-S3) จำนวนเรือ 4 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 3 (2-S3)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	200	250	3	12
2	7	250	500	4	12
3	8	350	750	5	12
4	9	150	800	2	12

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 (2-M1) จำนวนเรือ 5 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 1 (2-M1)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	200	150	2	9
2	7	150	300	2	10
3	8	300	450	3	11
4	9	450	600	6	15
5	10	250	750	3	14

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 (2-M2) จำนวนเรือ 7 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1500 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2 (2-M2)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	250	225	3	10
2	7	300	450	4	11
3	8	150	675	5	12
4	9	100	225	2	11
5	10	200	450	3	12
6	11	350	675	5	15
7	12	250	905	4	16

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 3 (2-M3) จำนวนเรือ 7 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 2000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 3 (2-M3)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	200	225	3	10
2	7	350	450	4	11
3	8	150	675	5	12
4	9	100	225	2	11
5	10	200	450	3	12
6	11	350	675	5	15
7	12	250	905	4	16

4.3.5.6 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือ ค่าใช้จ่ายรวมในการให้บริการที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำ ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) และหักผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit) และระยะเวลาในการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.15

<u>หมายเหตุ</u> การกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 2 – S2 ความหมายคือ 2 แสดงถึงแบบจำลองที่ 2 และ S2 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

ตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

โจทย์ปัญหา ขนาดเล็ก	จำนวนเรือ (ลำ)	ขนาดท่าเรือ (m)	ผลลัพธ์	เวลา (hr.min.s)
2-S1	3	1000	155.875	00.03.31
2-S2	3	1500	167.235	00.06.56
2-S3	4	1000	158	00.07.53

จากผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ถ้าจำนวนเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีจำนวนเท่ากัน แต่ขนาดของท่าเรือที่มากขึ้นจะส่งผลให้ผลลัพธ์มากขึ้นด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 2 – S2 มีขนาดท่าเรือที่มากกว่า โจทย์ปัญหาที่ 2 – S1 จะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีค่ามากขึ้น และระยะเวลาในการคำนวณหาผลลัพธ์ก็มากขึ้นด้วย

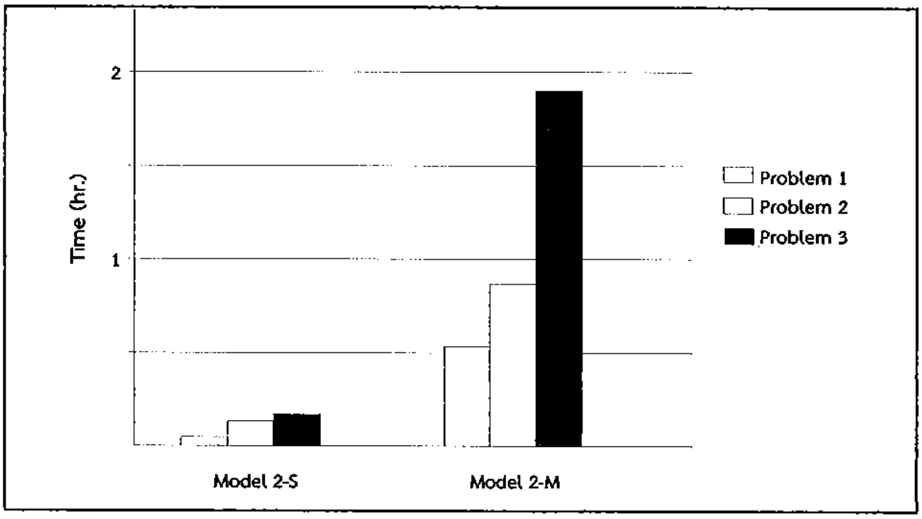
หมายเหตุ การกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 2 – M2 ความหมายคือ 2 แสดงถึงแบบจำลองที่ 2 และ M2 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดกลางข้อที่ 2

ตารางที่ 4.16 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

โจทย์ปัญหา ขนาดเล็ก	จำนวนเรือ (ลำ)	ขนาดท่าเรือ (m)	ผลลัพธ์	เวลา (hr.min.s)
2-M1	5	1000	248.555	00.16.56
2-M2	7	1500	428.625	00.42.03
2-M3	7	2000	568.375	01.49.55

จากผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ถ้าจำนวนเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีจำนวนเท่ากัน แต่ขนาดของท่าเรือที่มากขึ้นจะส่งผลให้ผลลัพธ์มากขึ้นด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 2 – M3 มีขนาดท่าเรือที่มากกว่า โจทย์ปัญหาที่ 2 – M2 จะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีค่ามากขึ้น และระยะเวลาในการคำนวณหาผลลัพธ์ก็มากขึ้นด้วย

จากการทดลองหาผลลัพธ์ของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่มีจำนวนเรือ 10 ลำและขนาดท่าเรือ 2000 เมตร เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Programming) และปัญหามีขนาดใหญ่มากจึงไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งในโจทย์ปัญหานี้ได้กำหนดระยะเวลาในการคำนวณ คือ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.5 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปของแบบจำลองที่ 2

4.3.5.7 **แบบจำลองที่ 3** แบบจำลองที่มีการกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date) และมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำที่มาเทียบท่าตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) หักผลประโยชน์ที่เรือขนถ่ายเสร็จก่อนกำหนด (Earliness Benefit) และรวมกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ (Reject Cost) ซึ่งในสมการที่ 4.2 - 4.5 และสมการที่ 4.7 - 4.11 นั้นเหมือนกับแบบจำลองที่ 1 และสมการที่ 4.13 - 4.14 นั้นเหมือนกับแบบจำลองที่ 2 ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 3

$$\begin{aligned} Min\ Z = & \sum_{i\in V} \beta_i \left(t_i^F - A_i\right)(1-rej_i) + \sum_{i\in V} \gamma_i (D_i)(1-rej_i) \\ & - \sum_{i\in V} \rho_i (E_i)(1-rej_i) + \sum_{i\in V} (Costrej_i) rej_i \end{aligned} \tag{4.15}$$

Subject to

$$\left|p_i - p_j\right| \delta_{ij}^p \ge \frac{L_i + L_j}{2} \delta_{ij}^p \quad \forall i, j(\ne i) \in V, \tag{4.2}$$

$$\left|\frac{t_i^B + t_i^F}{2} - \frac{t_j^B + t_j^F}{2}\right| \delta_{ij}^t \ge \frac{C_i + C_j}{2} \delta_{ij}^t \quad \forall i, j(\ne i) \in V, \tag{4.3}$$

$$\delta_{ij}^p + \delta_{ij}^t \ge 1 \quad \forall i, j(\ne i) \in V, \tag{4.4}$$

$$p_i - \frac{L_i}{2} \ge 0 \quad \forall i \in V, \tag{4.5}$$

$$t_i^B \ge A_i \quad \forall i \in V, \tag{4.7}$$

$$t_i^F = t_i^B + C_i \quad \forall i \in V, \tag{4.8}$$

$$C_i = CM_i + |p_i - M_i|\alpha_i \quad \forall i \in V, \tag{4.9}$$

$$D_i = \max(t_i^F - DD_i, 0) \quad \forall i \in V, \tag{4.13}$$

$$E_i = \max(DD_i - t_i^F, 0) \quad \forall i \in V, \tag{4.14}$$

$$p_i + \frac{L_i}{2} \le Q + (rej_i)BM \quad \forall i \in V, \tag{4.16}$$

$$P_i - \frac{L_i}{2} > Q + (rej_i - 1)BM \quad \forall i \in V, \tag{4.17}$$

$$t_i^B - A_i \le Limit_i + (rej_i)BM \quad \forall i \in V, \tag{4.18}$$

$$t_i^B - A_i > Limit_i + (rej_i - 1)BM \quad \forall i \in V, \tag{4.19}$$

$$p_i, t_i^B \ge 0 \text{ and are integer} \quad \forall i \in V, \tag{4.10}$$

$$\delta_{ij}^p, \delta_{ij}^t \in \{0,1\} \quad \forall i, j(\ne i) \in V, \tag{4.11}$$

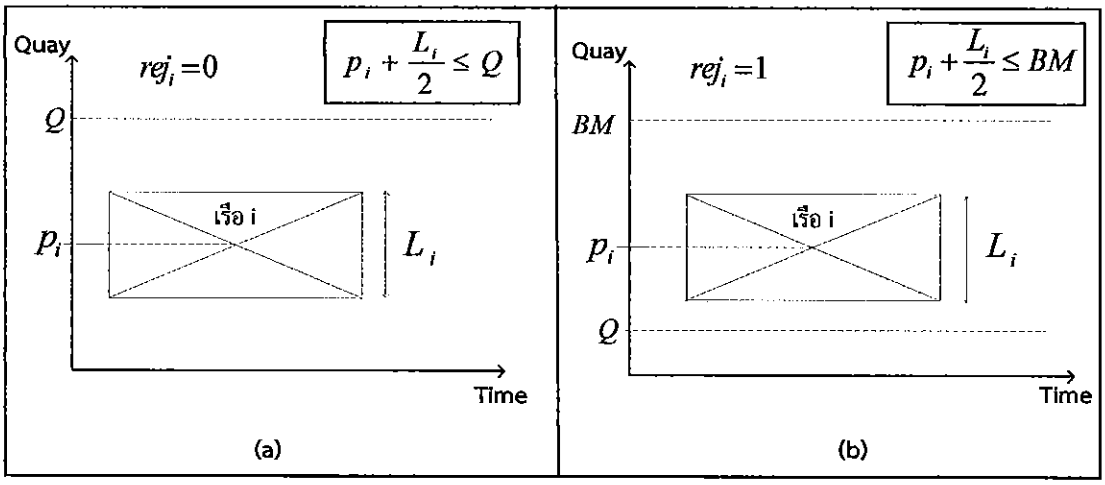
$$rej_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in V, \tag{4.20}$$

เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำที่มาเทียบท่า ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) หักผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit) และรวมกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ (Reject Cost) ซึ่งแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Programming Model) ประกอบไปด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 3 ดังที่แสดงในสมการ 4.15 และข้อจำกัดต่างๆ ดังแสดงในสมการข้างต้น

ข.ข้อจำกัดของแบบจำลองที่ 3 ประกอบไปด้วย

อสมการที่ 4.16 เป็นการพัฒนามาจากอสมการที่ 4.6 ซึ่งจะกำหนดว่าถ้า $rej_i = 0$ แล้วจะส่งผลให้เรือจะต้องเทียบท่าภายในขอบเขตของท่าเรือ ดังรูปที่ 4.6 (a) แต่ถ้า $rej_i = 1$ แล้วจะส่งผลให้เรือสามารถเทียบท่าในบริเวณใดก็ได้ภายใต้ขอบเขตของค่ามากมายมหาศาล (BM) ดังรูปที่ 4.6 (b)

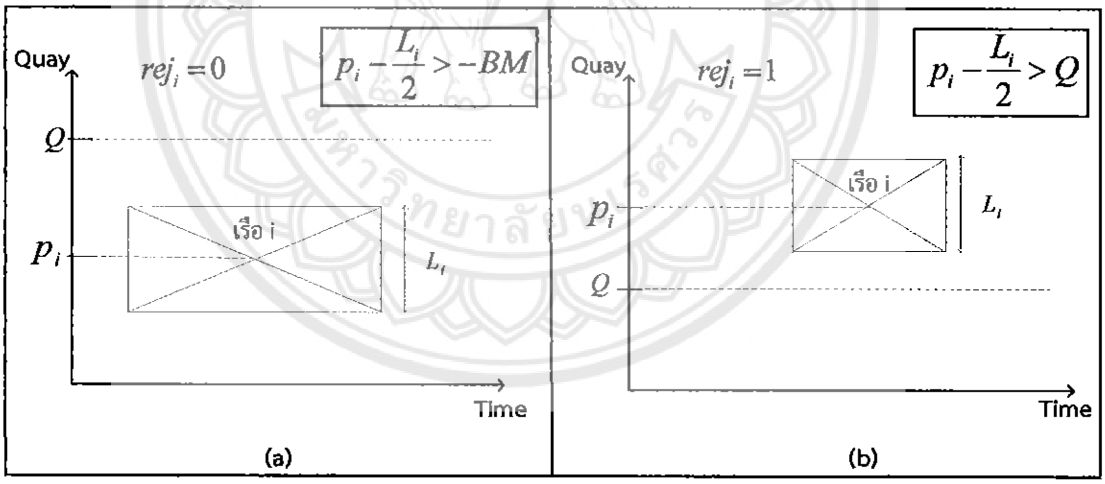
$$p_i + \frac{L_i}{2} \le Q + (rej_i)BM \qquad \forall i \in V$$



รูปที่ 4.6 อธิบายสมการที่ 4.16

อสมการที่ 4.17 กำหนดว่าถ้า $rej_i = 0$ แล้วส่งผลให้เรือจะต้องเทียบท่าภายในขอบเขตของท่าเรือ ดังรูปที่ 4.7 (a) แต่ถ้า $rej_i = 1$ แล้วจะส่งผลให้เรือถูกปฏิเสธในการเข้าเทียบท่าในขอบเขตของท่าเรือ ดังรูปที่ 4.7 (b)

$$P_i - \frac{L_i}{2} > Q + (rej_i - 1)BM \qquad \forall i \in V$$

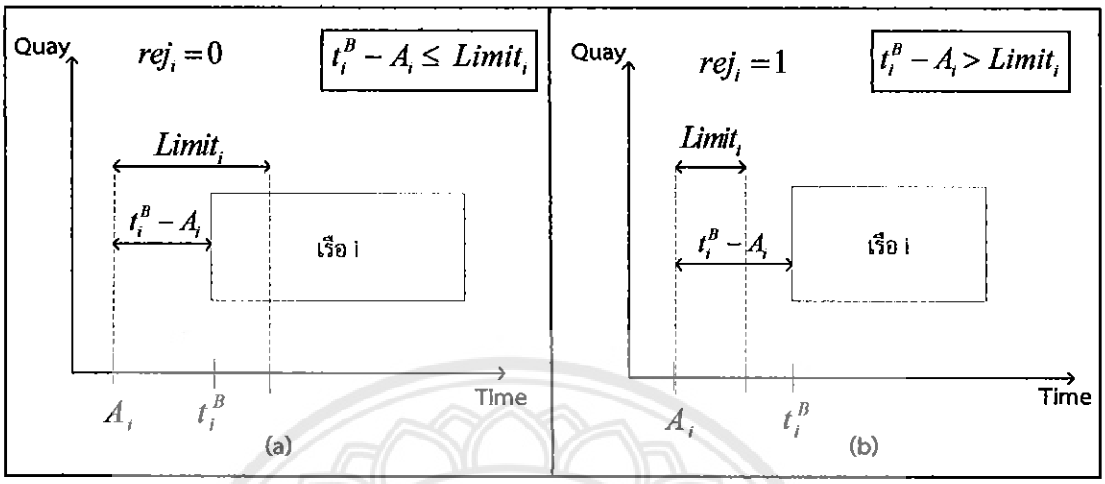


รูปที่ 4.7 อธิบายสมการที่ 4.17

อสมการที่ 4.18 กับอสมการที่ 4.19 สองอสมการนี้ช่วยกันควบคุม และช่วยกำหนดว่า ถ้าผลต่างของเวลาเริ่มต้นในการขนถ่ายกับเวลาการมาถึงมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับเวลาที่เรือ i สามารถรอได้สูงสุด $(t_i^B - A_i \le Limit_i)$ แล้วจะทำให้ค่า $rej_i = 0$ ซึ่งหมายความว่าจะไม่มีการปฏิเสธเรือ i ดังรูปที่ 4.8 (a) แต่ถ้าผลต่างของเวลาเริ่มต้นในการขนถ่ายกับเวลาการมาถึงมีค่ามากกว่าเวลาที่เรือ i สามารถรอได้สูงสุด $(t_i^B - A_i > Limit_i)$ แล้วจะทำให้ค่า $rej_i = 1$ ซึ่งหมายความว่าเรือ i จะถูกปฏิเสธในการเข้าเทียบท่าในขอบเขตของท่าเรือ ดังรูปที่ 4.8 (b)

$$t_i^B - A_i \leq Limit_i + (rej_i)BM \qquad \forall i \in V$$

$$t_i^B - A_i > Limit_i + (rej_i - 1)BM \qquad \forall i \in V$$



รูปที่ 4.8 อธิบายอสมการที่ 4.18 และอสมการที่ 4.19

อสมการที่ 4.20 เป็นการบอกว่า rej_i เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีค่า 0 กับ 1 เท่านั้น โดยที่ ถ้า $rej_i = 0$ คือไม่มีการปฏิเสธเรือ แต่ถ้า $rej_i = 1$ คือมีการปฏิเสธเรือในการเข้าเทียบท่าในขอบเขตของท่าเรือ

$$rej_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in V$$

4.3.5.8 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 3

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 (3-S1) จำนวนเรือ 3 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1500 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 1 (3-S1)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)	เวลาที่เรือสามารถรอได้สูงสุด (hr)
1	6	250	250	3	10	1
2	7	350	500	4	10	1
3	8	300	750	4	10	1

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 (3-S2) จำนวนเรือ 3 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2 (3-S2)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)	เวลาที่เรือสามารถรอได้สูงสุด (hr)
1	6	250	250	2	10	2
2	7	350	500	3	11	1
3	8	300	750	5	12	2

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 3 (3-S3) จำนวนเรือ 4 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1500 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 3 (3-S3)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)	เวลาที่เรือสามารถรอได้สูงสุด (hr)
1	6	200	150	2	9	1
2	7	150	300	2	10	1
3	8	300	450	3	11	1
4	9	450	600	6	15	1

4.3.5.9 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือ ค่าใช้จ่ายรวมในการให้บริการที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำรวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด หักผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด และรวมกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ และระยะเวลาในการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.20

<u>หมายเหตุ</u> การกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 3 – S2 ความหมายคือ 3 แสดงถึงแบบจำลองที่ 2 และ S2 แสดงถึงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 2

ตารางที่ 4.20 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก	จำนวนเรือ (ลำ)	ขนาดท่าเรือ (m)	ผลลัพธ์	เวลา (hr.min.s)
3-S1	3	1500	134.375	01.14.00
3-S2	3	1000	6.002	02.06.40
3-S3	4	1500	-	24.00.00

จากผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ถ้าจำนวนเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีจำนวนเท่ากัน แต่ขนาดของท่าเรือที่มากขึ้นจะส่งผลให้ผลลัพธ์มากขึ้นด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 3 – S1 มีขนาดท่าเรือที่มากกว่า โจทย์ปัญหาที่ 3 – S2 จะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีค่ามากขึ้น ระยะเวลาในการคำนวณหาผลลัพธ์น้อยลง เนื่องจากการกำหนดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ เมื่อมีการปรับค่าจะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้และระยะเวลาในการคำนวณมีการเปลี่ยนแปลงไป ถ้าค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือในลำหนึ่งมีค่ามากๆ เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้เป็นค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด ดังนั้นการคำนวณจะทำให้เรือลำนั้นไม่มีการปฏิเสธเรือเพราะจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายมาก ในทางกลับกันถ้าค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือในลำหนึ่งมีค่าน้อยๆ ในการคำนวณก็จะทำให้ผลลัพธ์ออกมามีค่าน้อยที่สุดจึงทำให้มีการปฏิเสธเรือเกิดขึ้น

จากการทดลองหาผลลัพธ์ของโจทย์ปัญหาเล็ก โจทย์ปัญหาที่ 3 – S3 โจทย์ปัญหากลาง และโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Programming) และปัญหานี้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งในโจทย์ปัญหานี้ได้กำหนดระยะเวลาในการคำนวณ คือ 24 ชั่วโมง

4.3.5.10 แบบจำลองที่ 4 แบบจำลองที่มีการคำนึงถึงปัจจัยในการเข้าจอดของเรือมีหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window) ตามข้อตกลงเบื้องต้นในหัวข้อ 4.3.1.8 และมีการกำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date) มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำที่มาเทียบท่า ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) และหักผลประโยชน์ที่เรือขนถ่ายเสร็จก่อนกำหนด (Earliness Benefit) ซึ่งในสมการที่ 4.2 – 4.7 และสมการที่ 4.9 – 4.11 นั้นเหมือนกับแบบจำลองที่ 1 และสมการที่ 4.13 - 4.14 นั้นเหมือนกับแบบจำลองที่ 2 ที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นสาเหตุที่ไม่พิจารณาถึงค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ (Reject Cost) เนื่องจากการทดลองหาผลลัพธ์ในแบบจำลองที่ 3 นั้นสามารถหาผลลัพธ์ได้เพียงในปัญหาขนาดเล็กเท่านั้น ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ 2 นั้นสามารถหาผลลัพธ์ได้ทั้งในปัญหาขนาดเล็ก และขนาดกลาง ดังนั้นค่าใช้จ่ายที่พิจารณาถึงในแบบจำลองที่ 4 จึงเหมือนกับแบบจำลองที่ 2 ดังสมการที่ 4.12

ก. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 4

$$Min\ Z = \sum_{i\in V} \beta_i \left(t_i^F - A_i\right) + \sum_{i\in V} \gamma_i (D_i) - \sum_{i\in V} \rho_i (E_i) \qquad (4.12)$$

Subject to

$$\left|p_i - p_j\right| \delta_{ij}^p \geq \frac{L_i + L_j}{2} \delta_{ij}^p \quad \forall i, j(\neq i) \in V, \qquad (4.2)$$

$$\left|\frac{t_i^B+t_i^F}{2}-\frac{t_j^B+t_j^F}{2}\right|\delta_{ij}^t \geq \frac{C_i+C_j}{2}\delta_{ij}^t \quad \forall i, j(\neq i)\in V, \tag{4.3}$$

$$\delta_{ij}^p+\delta_{ij}^t \geq 1 \quad \forall i, j(\neq i)\in V, \tag{4.4}$$

$$p_i-\frac{L_i}{2}\geq 0 \quad \forall i\in V, \tag{4.5}$$

$$p_i+\frac{L_i}{2}\leq Q \quad \forall i\in V, \tag{4.6}$$

$$t_i^B \geq A_i \quad \forall i\in V, \tag{4.7}$$

$$C_i = CM_i+\left|p_i-M_i\right|\alpha_i \quad \forall i\in V, \tag{4.9}$$

$$D_i=\max(t_i^F-DD_i\,,0) \quad \forall i\in V, \tag{4.13}$$

$$E_i=\max(DD_i-t_i^F\,,0) \quad \forall i\in V, \tag{4.14}$$

$$I_i^F=\left\lceil\frac{t_i^B+C_i}{12}\right\rceil \quad \forall i\in V, \tag{4.21}$$

$$Y_i^F=I_i^F \bmod 2 \quad \forall i\in V, \tag{4.22}$$

$$t_i^F=(t_i^B+C_i)Y_i^F+(12I_i^F)(1-Y_i^F) \quad \forall i\in V, \tag{4.23}$$

$$t_i^B \bmod 24 \leq 12 \quad \forall i\in V, \tag{4.24}$$

$$p_i, t_i^B \geq 0 \text{ and are integer} \quad \forall i\in V, \tag{4.10}$$

$$\delta_{ij}^p, \delta_{ij}^t \in \{0,1\} \quad \forall i, j(\neq i)\in V, \tag{4.11}$$

$$I_i^F \geq 0 \text{ and are integer} \quad \forall i\in V, \tag{4.25}$$

$$Y_i^F \in \{0,1\} \quad \forall i\in V, \tag{4.26}$$

เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำที่มาเทียบท่า ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) และหักผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit) ซึ่งแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ (Programming Model) ประกอบไปด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองที่ 4 ดังที่แสดงในสมการ 4.12 และข้อจำกัดต่างๆ ดังแสดงในสมการข้างต้น

ข.ข้อจำกัดของแบบจำลองที่ 4 ประกอบไปด้วย

สมการที่ 4.21 เป็นการกำหนดตัวเลขของช่วงเวลาน้ำขึ้น – น้ำลง สำหรับพิจารณาเวลาเสร็จสิ้นของการขนถ่าย (t_i^F)

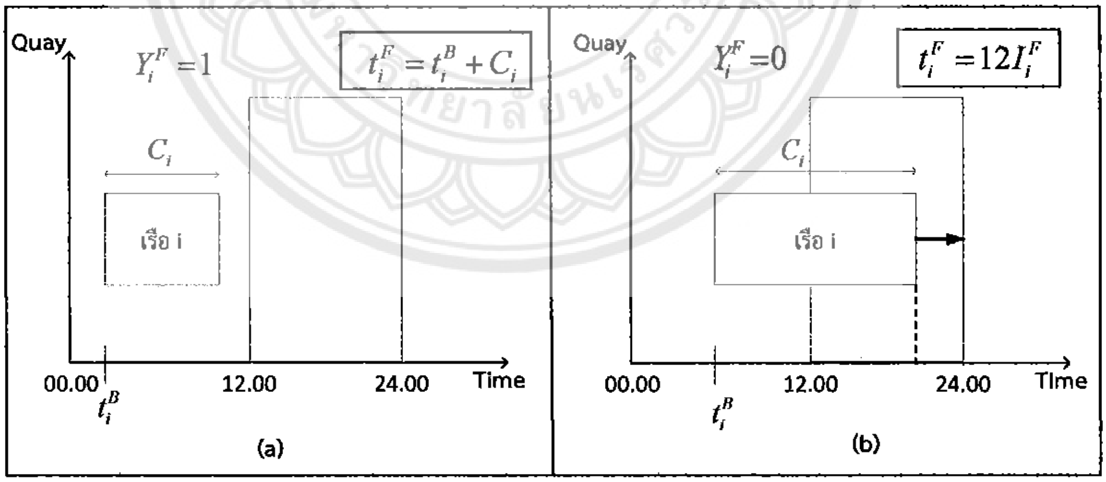
$$I_i^F = \left\lceil \frac{t_i^B + C_i}{12} \right\rceil \qquad \forall i \in V$$

สมการที่ 4.22 เป็นการกำหนดว่าถ้าค่า I_i^F หารด้วย 2 แล้ว ค่า Y_i^F ที่สามารถเป็นไปได้คือ 0 และ 1 เท่านั้น

$$Y_i^F = I_i^F \bmod 2 \qquad \forall i \in V$$

สมการที่ 4.23 เป็นการพัฒนามาจากสมการที่ 4.8 โดยสามารถแยกออกได้เป็นสองกรณี คือ ถ้า $Y_i^F = 1$ ส่งผลให้เวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (t_i^F) จะมีค่าเท่ากับเวลาเริ่มต้นในการขนถ่ายรวมกับเวลาที่ใช้ในการขนถ่าย $(t_i^B + C_i)$ ดังรูปที่ 4.9 (a) และถ้า $Y_i^F = 0$ จะส่งผลให้เวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายตกอยู่ในช่วงน้ำลง จึงทำให้เรือไม่สามารถออกจากท่าได้จนกว่าจะถึงเวลาน้ำขึ้น ดังนั้นเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายจะเท่ากับตัวเลขช่วงเวลาน้ำขึ้นน้ำลง คูณกับ 12 $(12I_i^F)$ จึงจำทำให้ทราบเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายที่เรือสามารถออกจากท่าได้ ดังรูปที่ 4.9 (b)

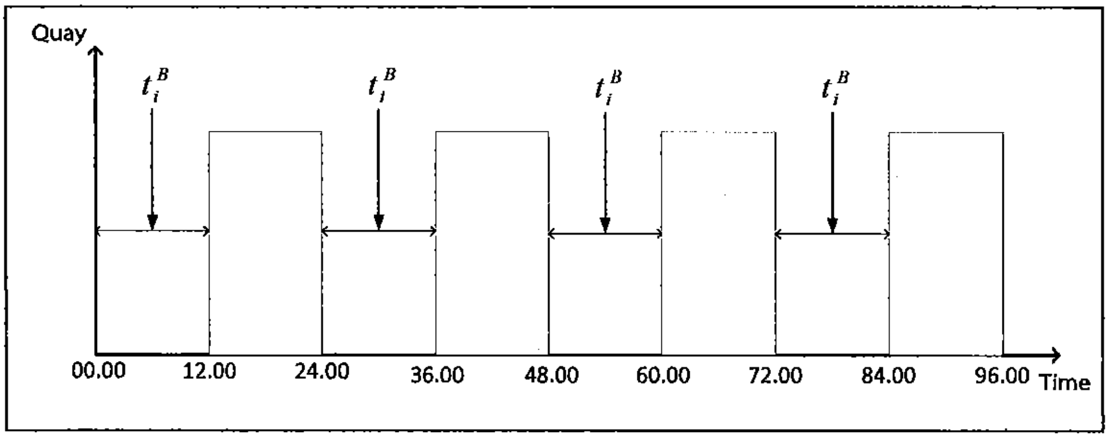
$$t_i^F = (t_i^B + C_i)Y_i^F + (12I_i^F)(1 - Y_i^F) \qquad \forall i \in V$$



รูปที่ 4.9 อธิบายสมการที่ 4.23

อสมการที่ 4.24 เป็นการกำหนดว่าเวลาเริ่มต้นในการขนถ่ายจะต้องอยู่ในช่วงเวลาน้ำขึ้นเท่านั้น ดังนั้นเวลาเริ่มต้นในการขนถ่ายหารด้วย 24 แล้วจะต้องเหลือเศษน้อยกว่าหรือเท่ากับ 12 จึงจะอยู่ในช่วงเวลาน้ำขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10

$$t_i^B \bmod 24 \le 12 \qquad \forall i \in V$$



รูปที่ 4.10 อธิบายสมการที่ 4.24

อสมการที่ 4.25 เป็นการกำหนดว่า I_i^F จะต้องมีค่ามากกว่า 0 และเป็นจำนวนเต็ม

$$I_i^F \geq 0 \text{ and are integer} \qquad \forall i \in V$$

อสมการที่ 4.26 เป็นการกำหนดว่า Y_i^F เป็นตัวแปรตัดสินใจที่มีค่าเป็น 0 กับ 1 เท่านั้น

$$Y_i^F \in \{0,1\} \qquad \forall i \in V$$

4.3.5.11 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 4

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาข้อที่ 1 (4-P1) จำนวนเรือ 3 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาข้อที่ 1 (4-P1)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	150	250	2	10
2	7	250	500	3	11
3	8	300	750	5	12

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาข้อที่ 2 (4-P2) จำนวนเรือ 3 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาข้อที่ 2 (4-P2)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	100	250	2	10
2	7	200	500	3	11
3	8	250	750	5	12

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาขนาดเล็กข้อที่ 3 (4-P3) จำนวนเรือ 4 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 1000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาข้อที่ 3 (4-P3)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	200	250	3	12
2	7	250	500	4	12
3	8	350	750	5	12
4	9	150	800	2	12

โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาข้อที่ 4 (4-P4) จำนวนเรือ 5 ลำ มีความยาวท่าเรือเท่ากับ 2000 เมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 โจทย์ปัญหาของแบบจำลองที่ 4 โจทย์ปัญหาข้อที่ 4 (4-P4)

เรือลำที่	เวลาการมาถึง (hr)	ความยาวเรือ (m)	ตำแหน่งที่ดีที่สุด (m)	เวลาขนถ่ายที่ตำแหน่งที่ดีที่สุด (hr)	เวลากำหนดที่เรือออกจากท่า (hr)
1	6	250	225	2	10
2	7	300	450	3	10
3	8	150	675	1	11
4	9	100	225	1	11
5	10	200	450	2	11

4.3.5.12 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4

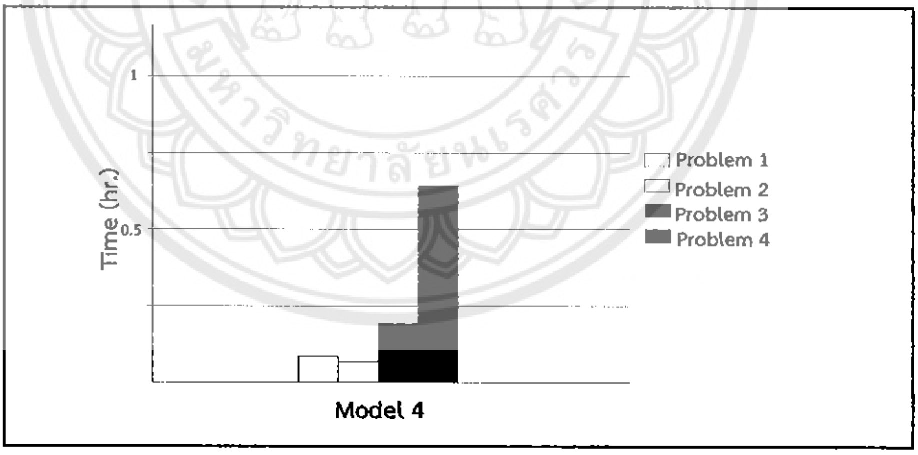
ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองคือ ค่าใช้จ่ายรวมในการให้บริการที่ต่ำที่สุดของเรือทุกลำ ตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่าย (Total Cost) รวมกับค่าใช้จ่ายที่เรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost) และหักผลประโยชน์ที่เรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit) และระยะเวลาในการคำนวณโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

<u>หมายเหตุ</u> การกำหนดชื่อของโจทย์ปัญหา เช่น 4 – P2 ความหมายคือ 4 แสดงถึงแบบจำลองที่ 4 และ P2 แสดงถึงโจทย์ปัญหาข้อที่ 2

ตารางที่ 4.25 ผลลัพธ์ของแบบจำลองที่ 4

โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก	จำนวนเรือ (ลำ)	ขนาดท่าเรือ (m)	ผลลัพธ์	เวลา (hr.min.s)
4-P1	3	1500	386	00.04.55
4-P2	3	1000	373.25	00.03.41
4-P3	5	1000	662.625	00.11.50
4-P4	5	2000	454.38	00.38.49

จากผลลัพธ์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ถ้าขนาดท่าเรือเท่ากัน แต่จำนวนเรือที่เข้ามาเทียบท่ามากขึ้นจะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากขึ้น และระยะเวลาในการคำนวณก็มากขึ้นด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่ 4-P3 มีจำนวนเรือที่เข้ามาเทียบท่ามากกว่าโจทย์ปัญหาที่ 4-P2 จะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากขึ้นด้วย จากการทดลองหาผลลัพธ์ของโจทย์ปัญหากลาง และโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ เนื่องจากแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Programming) และปัญหานี้ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งในโจทย์ปัญหานี้ได้กำหนดระยะเวลาในการคำนวณ คือ 24 ชั่วโมง



รูปที่ 4.11 แผนภูมิแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูปแบบจำลองที่ 4

จากแบบจำลองทั้งหมด 4 แบบจำลองสามารถสรุปถึงความแตกต่างของแต่ละแบบจำลองเพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของแต่ละแบบจำลองได้อย่างชัดเจน อย่างเช่น ในแบบจำลองที่ 4 นั้น มีการพิจารณาถึงการเข้าจอดมีการคำนึงถึงหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window) ซึ่งต่างจากแบบจำลองอื่นๆ ที่ไม่มีการพิจารณาถึง จึงได้แสดงความแตกต่างของแต่ละแบบจำลองไว้ในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงความแตกต่างของทั้ง 4 แบบจำลอง

สิ่งที่พิจารณาถึง	แบบจำลองที่ 1 ของ Imai et al (2005)	แบบจำลองที่ 2	แบบจำลองที่ 3	แบบจำลองที่ 4
เวลารวมของเรือทุกลำที่ต่ำที่สุด	✓	✗	✗	✗
ค่าใช้จ่ายรวมของเรือทุกลำที่ต่ำที่สุด (Total Cost)	✗	✓	✓	✓
ค่าใช้จ่ายเนื่องจากเรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด (Delay Cost)	✗	✓	✓	✓
ผลประโยชน์เนื่องจากเรือออกจากท่าเรือเร็วกว่ากำหนด (Earliness Benefit)	✗	✓	✓	✓
ค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ (Reject Cost)	✗	✗	✓	✗
กำหนดเวลาที่เรือต้องออกจากท่า (Due Date)	✗	✓	✓	✓
ในการเข้าจอดมีการคำนึงถึงหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window)	✗	✗	✗	✓
เวลาที่เรือสามารถรอได้สูงสุดตั้งแต่เวลาการมาถึงจนถึงเวลาเริ่มขนถ่าย	✗	✗	✓	✗

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การใช้โปรแกรมสร้างแบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์ช่วยในการกำหนดการเทียบท่าของเรือแต่ละลำ แก้ไขปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบต่อเนื่องในสถานการณ์จำลองต่างๆ ดังนี้

โดยลักษณะของโจทย์ปัญหามี 3 ขนาด คือปัญหาขนาดเล็ก กลาง ใหญ่ ดังนี้

ปัญหาขนาดเล็ก มีเรือ 1 – 4 ลำ มีความยาวท่าเรือ 1,000 - 2,000 เมตร

ปัญหาขนาดกลาง มีเรือ 5 – 8 ลำ มีความยาวท่าเรือ 1,000 - 2,000 เมตร

ปัญหาขนาดใหญ่ มีเรือ 9 ลำ ขึ้นไป มีความยาวท่าเรือ 1,000 - 2,000 เมตร

5.1.1 แบบจำลองเพื่อให้เวลารวมในการใช้บริการต่ำที่สุด สามารถหาผลลัพธ์ได้ในปัญหาขนาดเล็ก และปัญหาขนาดกลางซึ่งคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ไม่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ทั้งหมด และเมื่อขนาดของโจทย์ปัญหาใหญ่ขึ้น ก็จะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีค่ามากขึ้น และใช้ระยะเวลาคำนวณในการหาคำตอบที่มากขึ้นด้วย อย่างเช่น โจทย์ปัญหาที่มีจำนวนเรือ 7 ลำ ขนาดท่าเรือ 1500 เมตร กับโจทย์ปัญหาที่มีจำนวนเรือ 7 ลำ ขนาดท่าเรือ 2000 เมตร จะได้ผลลัพธ์ที่มากขึ้น และใช้ระยะเวลาในการคำนวณที่นานขึ้น

5.1.2 แบบจำลองเพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการเข้ารับบริการต่ำที่สุด รวมกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากเรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด และหักผลประโยชน์เนื่องจากเรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด สามารถหาผลลัพธ์ได้ในปัญหาขนาดเล็ก และปัญหาขนาดกลางซึ่งคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ไม่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ทั้งหมด

5.1.3 แบบจำลองเพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการเข้ารับบริการต่ำที่สุด รวมกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากเรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด รวมกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ และหักผลประโยชน์เนื่องจากเรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด สามารถหาผลลัพธ์ได้ในปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ไม่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ทั้งหมด และไม่สามารถหาคำตอบได้ในปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่

5.1.4 แบบจำลองเพื่อให้ค่าใช้จ่ายรวมในการเข้ารับบริการต่ำที่สุด รวมกับค่าใช้จ่ายเนื่องจากเรือออกจากท่าช้ากว่ากำหนด และหักผลประโยชน์เนื่องจากเรือออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด ซึ่งพิจารณาถึงตำแหน่งในการเทียบท่าของเรือขึ้นอยู่กับหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window) สามารถหาผลลัพธ์ได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) ไม่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ทั้งหมด และไม่สามารถหาคำตอบได้ในปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่

จากผลการทดลองทั้ง 4 แบบจำลองสามารถหาคำตอบได้ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก และคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในบริเวณใกล้เคียง (Locally optimal solution) เพราะปัญหาของแบบจำลองเป็นแบบไม่เป็นเส้นตรง (Nonlinear Programming) จึงไม่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ทั้งหมด และทั้ง 4 แบบเมื่อขนาดของโจทย์ปัญหาเพิ่มมากขึ้นระยะเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบก็เพิ่มมากขึ้นด้วย

5.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการคำนวณหาผลลัพธ์

5.2.1 ปัจจัยที่ทำให้ใช้ระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบนาน คือ ปริมาณเรือที่เข้ามาเทียบท่ามีจำนวนมากเมื่อเทียบเป็นสัดส่วนกับท่าเรือ รวมไปถึงในกรณีความซับซ้อนของตำแหน่งในการเทียบท่าของแต่ละแบบจำลอง ซึ่งในแบบจำลองที่ 4 จะมีความซับซ้อนมากเนื่องจากตำแหน่งในการเข้าเทียบท่านั้นจะขึ้นอยู่กับหน้าต่างเวลาน้ำขึ้นน้ำลง (Tidal Time Window) ดังนั้นเมื่อโจทย์ปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นจึงทำให้ไม่สามารถหาคำตอบได้ในระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเวลาในการทดลองขั้นต่ำเป็น 24 ชั่วโมง

5.2.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อผลลัพธ์ คือ ปริมาณเรือที่เข้ามาเทียบท่าเมื่อเทียบเป็นสัดส่วนกับท่าเรือ รวมไปถึงการกำหนดค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่พิจารณาถึง อย่างเช่น กรณีแบบจำลองที่ 3 มีการกำหนดค่าใช้จ่ายเนื่องจากการปฏิเสธเรือ ค่าใช้จ่ายที่ต่างกันในแต่ละโจทย์ปัญหาจะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่คำนวณได้มีค่าแปรผันไปตามปัจจัยด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการหาผลลัพธ์มีปริมาณมาก เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการกรอกข้อมูลควรใช้โปรแกรมช่วยในการกรอกข้อมูล เช่น โปรแกรม Microsoft Office Excel เป็นต้น

5.3.2 ในกรณีที่โปรแกรมไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้เนื่องจากปัญหามีขนาดใหญ่เกินไป ควรแก้ปัญหาโดยการใช้วิธีหาผลลัพธ์ด้วยวิธีอื่น เช่น วิธีฮิวริสติกส์ ที่สามารถหาผลลัพธ์ที่มีคุณภาพดีได้ภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว หรือภายในระยะเวลาที่จำกัด เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

รองศาสตราจารย์สุทธิมา ชำนาญเวช. (2552). **การวิจัยดำเนินงาน (Operations Research).** (ฉบับพิมพ์ที่ 1). กรุงเทพฯ : วิทยพัฒน์.

ศาสตราจารย์ ดร.กมลชนก สุทธิวาทนฤพุฒิ. (2541). **การขนส่งสินค้าทางทะเล (Sea Transport).** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Imai et al (2005). **Berth allocation in a container port: using a continuous location space approach.**

Wang and Lim (2007). **A stochastic beam search for the berth allocation problem.**

Seyedalizadeh Ganji et al (2010). **Analysis of the continuous berth allocation problem in container ports using a genetic algorithm.**

Bierwirth and Meisel (2010). **A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems container terminals Birth Allocation Problem.**

มารีนเนอร์ไทยดอทคอม. **การขนส่งทางเรือ.** สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2554, จาก http://www.marinerthai.com/sara/view.php?No=1006

Nonlinear Programming Models. สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2554, จาก http://www.eeci-institute.eu/pdf/M9-Slides/NPLModels.pdf

ภาคผนวก ก

โจทย์ปัญหาในการคำนวณแต่ละแบบจำลอง

1.ข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูป

จากโปรแกรมสำเร็จรูปสามารถดูค่าผลลัพธ์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาคำตอบได้

```
objective 39.525; integrality gap -1.88
15 nodes; 15 subproblem solves
```

รูปที่ ก.1 แสดงคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป

```
Total program time (secs)           =    12214.666 ( 12162.883 CPU time)
Time spent in evaluations (secs)    =      375.753
```

รูปที่ ก.2 แสดงเวลาในการคำนวณหาคำตอบที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป

```
    2140     2139       23    2.051000e+001        2.051000e+001
    2150     2149       24    2.051000e+001        2.051000e+001
    2160     2159       26    2.051000e+001        2.051000e+001
    2170     2169       24    2.051000e+001        2.051000e+001
    2180     2179       23    2.051000e+001        2.051000e+001
    2190     2189       24    2.051000e+001        2.051000e+001
    2200     2199       23    2.051000e+001        2.051000e+001
    2210     2209       24    2.051000e+001        2.051000e+001
exit code 3221225786
<BREAK>
ampl: display _solve_time;
_solve_time = 90653.8
```

รูปที่ ก.3 แสดงการหยุดคำนวณเนื่องจากครบเวลาที่กำหนดจากโปรแกรมสำเร็จรูป

มหาวิทยาลัยนเรศวร

2.โจทย์ปัญหา

ในส่วนนี้จะแสดงโจทย์ปัญหาในการคำนวณแต่ละแบบจำลอง เป็นข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูป

ซึ่งความหมายของแต่ละตัวแปรมี ดังนี้

Set ships คือ เซตของเรือทั้งหมด

Arrive คือ เวลามาถึงโดยประมาณของเรือ i

L คือ ความยาวของเรือ i

Q คือ ความยาวท่าเรือ

M คือ ตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุด

CM คือ เวลาการขนถ่ายที่ตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุดสำหรับเรือ i

Alpha คือ อัตราที่เพิ่มขึ้นของเวลาขนถ่าย กับระยะทางของเรือ i จากตำแหน่งจอดเรือที่ดีที่สุด

P คือ ตำแหน่งที่จอดเรือ i

C คือ เวลาขนถ่ายที่แท้จริงของเรือ i

Tb คือ เวลาการเริ่มต้นขนถ่ายของเรือ i

Tf คือ เวลาเสร็จสิ้นในการขนถ่ายของเรือ i

Dp คือ ตัวแปรในการตัดสินใจในการทับกันของแกนท่าเรือ

Dt คือ ตัวแปรในการตัดสินใจในการทับกันของแกนเวลา

Objective คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมสำเร็จรูป

Solve time คือ ระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบ

D คือ เวลาที่เรือ i ออกจากท่าช้ากว่ากำหนด

E คือ เวลาที่เรือ i ออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด

Rej คือ ตัวแปรการตัดสินใจในการเลือกปฏิเสธเรือ i

If คือ ตัวเลขของช่วงเวลาน้ำขึ้นน้ำลง

Yf คือ ตัวแปรการตัดสินใจในการเลือกช่วงเวลาน้ำขึ้นน้ำลง

DD คือ เวลาที่กำหนดในการออกจากท่าของเรือ i

Beta คือ ค่าใช้จ่ายรวมของเรือ i

Gamma คือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากเรือ i ออกจากท่าช้ากว่ากำหนด

Rho คือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากเรือ i ออกจากท่าเร็วกว่ากำหนด

BM คือ ค่ามากมายมหาศาล

Limit คือ เวลาที่เรือ i สามารถรอได้สูงสุด

CostRej คือ ค่าใช้จ่ายเนื่องจากท่าเรือปฏิเสธเรือ i

2.1 แบบจำลองที่ 1

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการคำนวณ Model 1 เป็นข้อมูลที่เก็บได้จากการคำน**วณหาคำตอบจากโปรแกรม**สำเร็จรูป

2.1.1 แบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

```
set ships:= i1 i2 i3;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8;
param L:=i1 150 i2 250 i3 300;
param Q:=1000;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750;
param CM:=i1 2 i2 3 i3 5;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005;


:   P     C     Tb    Tf     :=
i1  375   2.625  6    8.625
i2  575   3.375  7   10.375
i3  150   8      8   16
;

:       Dp  Dt    :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
;

objective=13.99999995
;

solve time=134.551
;
```

รูปที่ ก.4 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (1-S1)

```
set ships:= i1 i2 i3;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8;
param L:=i1 250 i2 350 i3 300;
param Q:=1500;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750;
param CM:=i1 3 i2 4 i3 4;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005;

:    P     C     Tb    Tf     :=
i1   218   3.16   6    9.16
i2   518   4.09   7   11.09
i3   843   4.465  8   12.465
;

:      Dp  Dt   :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
;

objective=11.71499962
;
solve time=253.658
;
```

รูปที่ ก.5 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (1-S2)

```
set ships:= i1 i2 i3 i4;
param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9;
param L:=i1 200 i2 150 i3 300 i4 450;
param Q:=1500;
param M:=i1 150 i2 300 i3 450 i4 600;
param CM:=i1 2 i2 2 i3 3 i4 6;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005;

:    P     C     Tb    Tf     :=
i1  250   2.5     6    8.5
i2   75   3.125   7   10.125
i3  500   3.25    8   11.25
i4  875   7.375   9   16.375
;

:       Dp  Dt   :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i1 i4   1   1
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i2 i4   1   0
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
i3 i4   1   0
i4 i1   1   1
i4 i2   1   0
i4 i3   1   0
i4 i4   0   0
;

objective=16.25
;
solve time=700.039
;
```

รูปที่ ก.6 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (1-S3)

2.1.2 แบบจำลองที่ 1 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

```
set ships:= i1 i2 i3 i4 i5;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9 i5 10;
param L:=i1 200 i2 150 i3 300 i4 450 i5 250;
param Q:=1000;
param M:=i1 150 i2 300 i3 450 i4 600 i5 750;
param CM:=i1 2 i2 2 i3 3 i4 6 i5 3;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005 i5 0.005;

:   P    C     Tb   Tf     :=
i1  650  4.5    6   10.5
i2  175  2.625  7    9.625
i3  400  3.25   8   11.25
i4  325  7.375  12  19.375
i5  875  3.625  10  13.625
;

:      Dp Dt  :=
i1 i1  0  0
i1 i2  1  0
i1 i3  1  0
i1 i4  1  1
i1 i5  1  0
i2 i1  1  0
i2 i2  0  0
i2 i3  1  0
i2 i4  0  1
i2 i5  1  1
i3 i1  1  0
i3 i2  1  0
i3 i3  0  0
i3 i4  0  1
i3 i5  1  0
i4 i1  1  1
i4 i2  0  1
i4 i3  0  1
i4 i4  0  0
i4 i5  1  0
i5 i1  1  0
i5 i2  1  1
i5 i3  1  0
i5 i4  1  0
i5 i5  0  0
;
objective=24.37499955
;
solve time=7216.17
:
```

รูปที่ ก.7 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (1-M1)

```
set ships:= i1 i2 i3 i4 i5 i6 i7;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9 i5 10 i6 11 i7 12;
param L:=i1 200 i2 350 i3 150 i4 100 i5 200 i6 350 i7 250;
param Q:=1500;
param M:=i1 225 i2 450 i3 675 i4 225 i5 450 i6 675 i7 905;
param CM:=i1 3 i2 4 i3 5 i4 2 i5 3 i6 5 i7 4;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005 i5 0.005 i6 0.005 i7 0.005;


:    P      C     Tb    Tf    :=
i1   100   3.625   6    9.625
i2   875   6.125   7   13.125
i3   625   5.25    8   13.25
i4  1350   7.625   9   16.625
i5   450   3      10   13
i6   175   7.5    11   18.5
i7  1175   5.35   13   18.35
;

:      Dp  Dt   :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i1 i4   1   0
i1 i5   1   1
i1 i6   0   1
i1 i7   1   1
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i2 i4   1   0
i2 i5   1   0
i2 i6   1   0
i2 i7   1   0
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
i3 i4   1   0
i3 i5   1   0
i3 i6   1   0
i3 i7   1   0
i4 i1   1   0
i4 i2   1   0
i4 i3   1   0
i4 i4   0   0
i4 i5   1   0
i4 i6   1   0
i4 i7   1   0
i5 i1   1   1
i5 i2   1   0
i5 i3   1   0
i5 i4   1   0
i5 i5   0   0
i5 i6   1   0
i5 i7   1   0
i6 i1   0   1
i6 i2   1   0
i6 i3   1   0
i6 i4   1   0
i6 i5   1   0
i6 i6   0   0
i6 i7   1   0
i7 i1   1   0
i7 i2   1   0
i7 i3   1   0
i7 i4   1   0
i7 i5   1   0
i7 i6   1   0
i7 i7   0   0
;
objective=39.475
;
solve time=8321.94
;
```

รูปที่ ก.8 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (1-M2)

```
set ships:= i1 i2 i3 i4 i5 i6 i7;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9 i5 10 i6 11 i7 12;
param L:=i1 200 i2 350 i3 150 i4 100 i5 200 i6 350 i7 250;
param Q:=2000;
param M:=i1 225 i2 450 i3 675 i4 225 i5 450 i6 675 i7 905;
param CM:=i1 3 i2 4 i3 5 i4 2 i5 3 i6 5 i7 4;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005 i5 0.005 i6 0.005 i7 0.005;

:    P     C      Tb   Tf      :=
i1   100   3.625  6    9.625
i2   1075  7.125  7    14.125
i3   725   5.25   8    13.25
i4   850   5.125  9    14.125
i5   300   3.75   10   13.75
i6   1425  8.75   11   19.75
i7   525   5.9    12   17.9
;

:       Dp  Dt   :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i1 i4   1   0
i1 i5   1   0
i1 i6   1   0
i1 i7   1   1
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i2 i4   1   0
i2 i5   1   0
i2 i6   1   0
i2 i7   1   0
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
i3 i4   1   0
i3 i5   1   0
i3 i6   1   0
i3 i7   1   0
i4 i1   1   0
i4 i2   1   0
i4 i3   1   0
i4 i4   0   0
i4 i5   1   0
i4 i6   1   0
i4 i7   1   0
i5 i1   1   1
i5 i2   1   0
i5 i3   1   0
i5 i4   1   0
i5 i5   0   0
i5 i6   1   0
i5 i7   1   0
i6 i1   1   1
i6 i2   1   0
i6 i3   1   0
i6 i4   1   0
i6 i5   1   0
i6 i6   0   0
i6 i7   1   0
i7 i1   1   1
i7 i2   1   0
i7 i3   1   0
i7 i4   1   0
i7 i5   1   0
i7 i6   1   0
i7 i7   0   0
;

objective=39.525
;
solve time=12163
;
```

รูปที่ ก.9 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (1-M3)

2.2 แบบจำลองที่ 2

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการคำนวณ Model 2 เป็นข้อมูลที่เก็บได้จากการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูป

2.2.1 แบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

```
set ships:= i1 i2 i3;
param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8;
param L:=i1 150 i2 250 i3 300;
param Q:=1000;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750;
param CM:=i1 2 i2 3 i3 5;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005;
param DD:=i1 10 i2 11 i3 12;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7;

:   P    C      Tb   Tf      :=
i1  200  2.25    6   8.25
i2  700  4       7   11
i3  425  6.625   8   14.625
;

:      D              E        :=
i1  1.21346e-11   1.75
i2  3.94113e-09   3.14621e-09
i3  2.625         3.76274e-09
;

:      Dp  Dt    :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
;
objective=155.8749911
;
solve time=225.843
```

รูปที่ ก.10 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ **ข้อที่** 1 (2-S1)

```
set ships:= i1 i2 i3;
param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8;
param L:=i1 250 i2 350 i3 300;
param Q:=1500;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750;
param CM:=i1 3 i2 4 i3 4;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005;
param DD:=i1 10 i2 10 i3 10;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7;

:    P     C     Tb    Tf     :=
i1   134   3.58    6    9.58
i2   434   4.33    7   11.33
i3   759   4.045   8   12.045
;

:       D            E        :=
i1   9.2978e-08   0.42
i2   1.33         1.79696e-07
i3   2.045        1.53186e-07
;
:      Dp  Dt   :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
;

objective=167.2349851
;
solve time=415.181
```

รูปที่ ก.11 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (2-S2)

```
set ships:= i1 i2 i3 i4;
param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9;
param L:=i1 200 i2 250 i3 350 i4 150;
param Q:=1000;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750 i4 800;
param CM:=i1 3 i2 4 i3 5 i4 2;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005;
param DD:=i1 12 i2 12 i3 12 i4 12;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10 i4 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15 i4 10;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7 i4 10;

:   P    C      Tb   Tf      :=
i1  150  3.5    6    9.5
i2  375  4.625  7    11.625
i3  675  5.375  8    13.375
i4  925  2.625  9    11.625
;
:     D              E        :=
i1  1.05106e-07   2.5
i2  8.20597e-08   0.375
i3  1.375         6.99272e-08
i4  1.51903e-07   0.375
;
:      Dp  Dt   :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i1 i4   1   0
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i2 i4   1   0
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
i3 i4   1   0
i4 i1   1   0
i4 i2   1   0
i4 i3   1   0
i4 i4   0   0
;
objective=157.9999979
;
solve time=473.057
```

รูปที่ ก.12 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (2-S3)

2.2.2 แบบจำลองที่ 2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

```
set ships:= i1 i2 i3 i4 i5;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9 i5 10;
param L:=i1 200 i2 150 i3 300 i4 450 i5 250;
param Q:=1000;
param M:=i1 150 i2 300 i3 450 i4 600 i5 750;
param CM:=i1 2 i2 2 i3 3 i4 6 i5 3;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005 i5 0.005;
param DD:=i1 9 i2 10 i3 11 i4 15 i5 14;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10 i4 10 i5 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15 i4 15 i5 15;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7 i4 7 i5 7;

:   P    C     Tb   Tf     :=
i1  142  2.04   6   8.04
i2  675  3.875  7   10.875
i3  450  3      8   11
i4  525  6.375  11  17.375
i5  875  3.625  10  13.625
;
:    D      E     :=
i1  0      0.96
i2  0.875  0
i3  0      0
i4  2.375  0
i5  0      0.375
;
:      Dp  Dt  :=
i1 i1  0   0
i1 i2  1   0
i1 i3  1   0
i1 i4  1   1
i1 i5  1   0
i2 i1  1   0
i2 i2  0   0
i2 i3  1   0
i2 i4  0   1
i2 i5  1   1
i3 i1  1   0
i3 i2  1   0
i3 i3  0   0
i3 i4  0   1
i3 i5  1   0
i4 i1  1   1
i4 i2  0   1
i4 i3  0   1
i4 i4  0   0
i4 i5  1   0
i5 i1  1   0
i5 i2  1   1
i5 i3  1   0
i5 i4  1   0
i5 i5  0   0
;
objective=248.555
;
solve time=1008.33
```

รูปที่ ก.13 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (2-M1)

```
set ships:= i1 i2 i3 i4 i5 i6 i7;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9 i5 10 i6 11 i7 12;
param L:=i1 250 i2 300 i3 150 i4 100 i5 200 i6 350 i7 250;
param Q:=1500;
param M:=i1 225 i2 450 i3 675 i4 225 i5 450 i6 675 i7 905;
param CM:=i1 3 i2 4 i3 5 i4 2 i5 3 i6 5 i7 4;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005 i5 0.005 i6 0.005 i7 0.005;
param DD:=i1 10 i2 11 i3 12 i4 11 i5 12 i6 15 i7 16;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10 i4 10 i5 10 i6 10 i7 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15 i4 15 i5 15 i6 15 i7 15;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7 i4 7 i5 7 i6 7 i7 7;

:    P     C     Tb    Tf    :=
i1   225   3      6    9
i2   500   4.25   7    11.25
i3   725   5.25   8    13.25
i4    50   2.875  9    11.875
i5   250   4     10    14
i6  1225   7.75  11    18.75
i7   925   4.1   12    16.1
;
:    D      E   :=
i1  0       1
i2  0.25    0
i3  1.25    0
i4  0.875   0
i5  2       0
i6  3.75    0
i7  0.1     0
;
:      Dp  Dt   :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i1 i4   1   1
i1 i5   0   1
i1 i6   1   1
i1 i7   1   1
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i2 i4   1   0
i2 i5   1   0
i2 i6   1   0
i2 i7   1   1
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
i3 i4   1   0
i3 i5   1   0
i3 i6   1   0
i3 i7   1   0
i4 i1   1   1
i4 i2   1   0
i4 i3   1   0
i4 i4   0   0
i4 i5   1   0
i4 i6   1   0
i4 i7   1   1
i5 i1   0   1
i5 i2   1   0
i5 i3   1   0
i5 i4   1   0
i5 i5   0   0
i5 i6   1   0
i5 i7   1   0
i6 i1   1   1
i6 i2   1   0
i6 i3   1   0
i6 i4   1   0
i6 i5   1   0
i6 i6   0   0
i6 i7   1   0
i7 i1   1   1
i7 i2   1   1
i7 i3   1   0
i7 i4   1   0
i7 i5   1   0
i7 i6   1   0
i7 i7   0   0
;

objective=428.625
;
solve time=2522.27
;
```

รูปที่ ก.14 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (2-M2)

```
set ships:= i1 i2 i3 i4 i5 i6 i7;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9 i5 10 i6 11 i7 12;
param L:=i1 250 i2 300 i3 150 i4 100 i5 200 i6 350 i7 250;
param Q:=2000;
param M:=i1 225 i2 450 i3 675 i4 225 i5 450 i6 675 i7 905;
param CM:=i1 3 i2 4 i3 5 i4 2 i5 3 i6 5 i7 4;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005 i5 0.005 i6 0.005 i7 0.005;
param DD:=i1 10 i2 11 i3 12 i4 11 i5 12 i6 15 i7 16;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10 i4 10 i5 10 i6 10 i7 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15 i4 15 i5 15 i6 15 i7 15;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7 i4 7 i5 7 i6 7 i7 7;

:    P     C      Tb   Tf      :=
i1   125   3.5     6   9.5
i2   500   4.25    7   11.25
i3   575   5.5    12   17.5
i4   300   2.375   9   11.375
i5   750   4.5    10   14.5
i6   1025  6.75   11   17.75
i7   1325  6.1    12   18.1
;
:      D             E          :=
i1   8.08691e-17   0.5
i2   0.25          4.40745e-16
i3   5.5           1.01338e-15
i4   0.375         3.82123e-16
i5   2.5           1.12632e-16
i6   2.75          9.15792e-17
i7   2.1           1.12632e-16
;|
:      Dp  Dt   :=
i1 i1  0   0
i1 i2  1   0
i1 i3  1   1
i1 i4  1   0
i1 i5  1   1
i1 i6  1   1
i1 i7  1   1
i2 i1  1   0
i2 i2  0   0
i2 i3  0   1
i2 i4  1   0
i2 i5  1   0
i2 i6  1   0
i2 i7  1   1
i3 i1  1   1
i3 i2  0   1
i3 i3  0   0
i3 i4  1   1
i3 i5  1   0
i3 i6  1   0
i3 i7  1   0
i4 i1  1   0
i4 i2  1   0
i4 i3  1   1
i4 i4  0   0
i4 i5  1   0
i4 i6  1   0
i4 i7  1   1
i5 i1  1   1
i5 i2  1   0
i5 i3  1   0
i5 i4  1   0
i5 i5  0   0
i5 i6  1   0
i5 i7  1   0
i6 i1  1   1
i6 i2  1   0
i6 i3  1   0
i6 i4  1   0
i6 i5  1   0
i6 i6  0   0
i6 i7  1   0
i7 i1  1   1
i7 i2  1   1
i7 i3  1   0
i7 i4  1   1
i7 i5  1   0
i7 i6  1   0
i7 i7  0   0
;

objective=568.375
;
solve time=6589.95
;
```

รูปที่ ก.15 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (2-M3)

2.3 แบบจำลองที่ 3

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการคำนวณ Model 3 เป็นข้อมูลที่เก็บได้จากการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูป

2.3.1 แบบจำลองที่ 3 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

```
set ships:= i1 i2 i3;
param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8;
param L:=i1 250 i2 350 i3 300;
param Q:=1500;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750;
param CM:=i1 3 i2 4 i3 4;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005;
param DD:=i1 10 i2 10 i3 10;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7;
param BM:=10000;
param Limit:=i1 1 i2 1 i3 1;
param CostRej:=i1 0.001 i2 100 i3 100;
:    P     C      Tb    Tf    :=
i1   1636  9.93   11    20.93
i2   500   4      7     11
i3   825   4.375  8     12.375
;
:    D      E            Rej   :=
i1   10.93  3.62288e-07  1
i2   1      3.39085e-07  0
i3   2.375  3.58738e-07  0
;
:      Dp  Dt   :=
i1 i1  0   0
i1 i2  1   0
i1 i3  1   0
i2 i1  0   1
i2 i2  0   0
i2 i3  1   0
i3 i1  1   0
i3 i2  1   0
i3 i3  0   0
;
objective=134.3759945
;
solve time=4475.19
```

รูปที่ ก.16 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (3-S1)

```
set ships:= i1 i2 i3;
param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8;
param L:=i1 250 i2 350 i3 300;
param Q:=1000;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750;
param CM:=i1 2 i2 3 i3 5;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005;
param DD:=i1 10 i2 11 i3 12;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7;
param BM:=10000;
param Limit:=i1 2 i2 1 i3 2;
param CostRej:=i1 100 i2 0.001 i3 0.001;
:    P      C       Tb     Tf      :=
i1   250    2       6      8
i2   9854   49.77   1274   1323.77
i3   7725   39.875  27     66.875
;
:    D             E             Rej   :=
i1   5.68658e-11   2             0
i2   1312.77       1.06982e-08   1
i3   54.875        9.71391e-10   1
;
:      Dp  Dt  :=
i1 i1  0   0
i1 i2  0   1
i1 i3  0   1
i2 i1  1   0
i2 i2  0   0
i2 i3  0   1
i3 i1  1   1
i3 i2  1   0
i3 i3  0   0
;
objective=6.001999933
;
solve time=7584.11
```

รูปที่ ก.17 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (3-S2)

2.4 แบบจำลองที่ 4

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการคำนวณ Model 4 เป็นข้อมูลที่เก็บได้จากการคำนวณหาคำตอบจากโปรแกรมสำเร็จรูป

2.4.1 แบบจำลองที่ 4

```
set ships:= i1 i2 i3;
param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8;
param L:=i1 150 i2 250 i3 300;
param Q:=1000;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750;
param CM:=i1 2 i2 3 i3 5;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005;
param DD:=i1 10 i2 11 i3 12;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7;
:    P     C      Tb    Tf     :=
i1   375   2.625   6    8.625
i2   575   3.375   7    10.375
i3   150   8       12   24
;
:      D             E          :=
i1   6.21233e-17   1.375
i2   6.16884e-17   0.625
i3   12            6.21235e-17
;
Yf [*] :=
i1  1
i2  1
i3  0
;
If [*] :=
i1  1
i2  1
i3  2
:      Dp  Dt   :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   1
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   1
i3 i1   1   1
;
objective=386
;
solve time=294.545
;
```

รูปที่ ก.18 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 1 (4-P1)

```
set ships:= i1 i2 i3;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8;
param L:=i1 100 i2 200 i3 250;
param Q:=1000;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750;
param CM:=i1 2 i2 3 i3 5;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005;
param DD:=i1 10 i2 11 i3 12;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7;

:   P    C     Tb   Tf    :=
i1  300  2.25   6   8.25
i2  500  3      7   10
i3  125  8.125  11  24
;
:      D            E          :=
i1  2.97962e-15  1.75
i2  2.98006e-15  1
i3  12           2.98972e-15
;
:      Dp  Dt   :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   1
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i3 i1   1   1
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
;
Yf [*] :=
i1  1
i2  1
i3  0

If [*] :=
i1  1
i2  1
i3  2
;
objective=373.25
;
solve time=204.72
;
```

รูปที่ ก.19 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 2 (4-P2)

```
set ships:= i1 i2 i3 i4;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9;
param L:=i1 200 i2 250 i3 350 i4 150;
param Q:=1000;
param M:=i1 250 i2 500 i3 750 i4 800;
param CM:=i1 3 i2 4 i3 5 i4 2;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005;
param DD:=i1 12 i2 12 i3 12 i4 12;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10 i4 10;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15 i4 10;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7 i4 10;

:    P    C      Tb   Tf      :=
i1  250   3       6    9
i2  625   4.625   7   11.625
i3  325   7.125   9   24
i4   75   5.625  12   24
;

:      D              E         :=
i1   1.68786e-15   3
i2   1.68784e-15   0.375
i3   12            1.72074e-15
i4   12            1.68786e-15
;

If [*] :=
i1  1
i2  1
i3  2
i4  2
;

Yf [*] :=
i1  1
i2  1
i3  0

:      Dp  Dt    :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   0   1
i1 i4   1   1
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   1
i2 i4   1   1
i3 i1   0   1
i3 i2   1   1
i3 i3   0   0
i3 i4   1   0
i4 i1   1   1
i4 i2   1   1
i4 i3   1   0
i4 i4   0   0
;

objective=662.625
;
solve time=710.507
;
```

รูปที่ ก.20 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 3 (4-P3)

```
set ships:= i1 i2 i3 i4 i5 ;

param arrive:=i1 6 i2 7 i3 8 i4 9 i5 10 ;
param L:=i1 250 i2 300 i3 150 i4 100 i5 200 ;
param Q:=2000;
param M:=i1 225 i2 450 i3 675 i4 225 i5 450 ;
param CM:=i1 2 i2 3 i3 1 i4 1 i5 2 ;
param alpha:=i1 0.005 i2 0.005 i3 0.005 i4 0.005 i5 0.005 ;
param DD:=i1 10 i2 10 i3 11 i4 11 i5 11 ;
param beta:=i1 10 i2 10 i3 10 i4 10 i5 10 ;
param gamma:=i1 15 i2 15 i3 15 i4 15 i5 15 ;
param rho:=i1 7 i2 7 i3 7 i4 7 i5 7 ;

:    P      C      Tb    Tf     :=
i1   425    3       6    9
i2   700    4.25    7    11.25
i3   1075   3       8    11
i4   250    1.125   9    10.125
i5   100    3.75    11   24
;

:       D             E          :=
i1   4.14296e-08   1
i2   1.25          4.6534e-08
i3   6.59966e-08   7.17506e-08
i4   5.22818e-08   0.875
i5   13            7.17506e-08
;

If [*] :=
i1  1
i2  1
i3  1
i4  1
i5  2
;
Yf [*] :=
i1  1
i2  1
i3  1
i4  1
i5  0
;
:      Dp  Dt    :=
i1 i1   0   0
i1 i2   1   0
i1 i3   1   0
i1 i4   1   1
i1 i5   1   1
i2 i1   1   0
i2 i2   0   0
i2 i3   1   0
i2 i4   1   0
i2 i5   1   0
i3 i1   1   0
i3 i2   1   0
i3 i3   0   0
i3 i4   1   0
i3 i5   1   0
i4 i1   1   0
i4 i2   1   0
i4 i3   1   0
i4 i4   0   0
i4 i5   1   0
i5 i1   1   1
i5 i2   1   0
i5 i3   1   0
i5 i4   1   0
i5 i5   0   0
;
objective=454.3749966
;
solve time=2329.39
;
```

รูปที่ ก.21 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดที่ใช้ในการคำนวณ ข้อที่ 4 (4-P4)

ประวัติผู้ดำเนินงานวิจัย

ชื่อ นางสาวเกตน์สิรี ทองคำ

ภูมิลำเนา 65/12 ถ.ประเวศนคร ต.ธานี อ.เมือง จ.สุโขทัย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุดมดรุณี จ.สุโขทัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4

  สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

  คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: nongketjr@hotmail.com

มหาวิทยาลัยนเรศวร