การจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบผสมโดยใช้แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์

A MATHEMATICAL PROGRAMMING MODEL FOR THE INDENTED AND HYBRID LAYOUT BERTH ALLOCATION PROBLEM

นางสาวกนกวรรณ กันทาผาม รหัส 51381788

นายณรงค์ธร พินทอง รหัส 51384550

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบผสมโดยใช้แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวกนกวรรณ กันทาผาม รหัส 51381788
	นายณรงค์ธร พินทอง รหัส 51384550
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ขวัญนิธิ คำเมือง)

....กรรมการ
(อาจารย์สุธนิตย์ พุทธพนม)

....กรรมการ
(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบผสมโดยใช้แบบจำลองการโปรแกรมทางคณิตศาสตร์			
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวกนกวรรณ	กันทาผาม	รหัส	51381788
	นายณรงค์ธร	พินทอง	รหัส	51384550
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ขวัญนิธิ	คำเมือง		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ			
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ			
ปีการศึกษา	2554			

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกิจกรรมการขนส่งถือว่ามีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งจะช่วยในการกระจายสินค้าไปทั่วทั้งภายใน และภายนอกประเทศ ทำให้ตลาดขยายกว้างขึ้นรายได้จากการจำหน่ายสินค้าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ธุรกิจมีขนาดใหญ่ขึ้น การขนส่งทางเรือจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการขนส่งสินค้า ซึ่งการขนส่งทางเรือมีคุณลักษณะที่สำคัญคือช่วยลดต้นทุนในการผลิต ในการผลิตจำเป็นต้องมีการขนย้ายวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบมายังแหล่งผลิต ซึ่งถ้าสามารถขนย้ายได้ครั้งละปริมาณมากๆ จะช่วยประหยัดต้นทุนในการผลิตสินค้าได้ และการขนส่งทางเรือยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เนื่องจากอัตราค่าขนส่งทางน้ำถูกกว่าอัตราค่าขนส่งประเภทอื่น ๆ และการขนส่งทางเรือยังมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากใช้ความเร็วต่ำ ทำให้กิจกรรมการขนส่งทางเรือเป็นที่นิยมในปัจจุบัน แต่บางครั้งก็พบปัญหาเกี่ยวกับท่าเรือเช่นกัน ดังกรณีการขนส่งทางเรือของประเทศไทยพบปัญหาความแออัดของท่าเรือกรุงเทพเนื่องจากปิดซ่อมบำรุง 2 ท่าเรือ จากทั้งหมด 7 ท่าเรือ ส่งผลให้ต้นทุนของผู้ประกอบการเพิ่มขึ้น เพราะเรือสินค้าต้องใช้เวลารอนานกว่าจะขนสินค้าขึ้น-ลงเรือได้ ซึ่งบางครั้งทำให้ต้องเปลี่ยนไปขนส่งทางอากาศแทนเพื่อให้ทันกับความต้องการของลูกค้า ทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น ดังนั้นการจัดสรรท่าเรือจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง

ทางผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบผสม จัดลำดับการให้บริการของเรือเพื่อหาเวลาที่รับบริการที่น้อยที่สุดของเรือที่รับบริการที่ท่าเทียบเรือรวมกัน โดยผู้จัดทำได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการหาคำตอบ จากแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ที่ได้ปรับปรุงและพัฒนา อันประกอบไปด้วยปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสม ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง และปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบผสม

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ เรื่องปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบผสม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการหาคำตอบ มีปัญหาและอุปสรรคในการทำปริญญานิพนธ์นี้เกิดขึ้นอยู่เสมอ แต่ทางผู้จัดทำก็สามารถผ่านพ้นปัญหาและอุปสรรคเหล่านั้นมาได้ เนื่องจากได้รับคำแนะนำ ข้อชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหา และตรวจสอบเป็นอย่างดีจาก อาจารย์ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ จึงทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ อีกทั้งยังมีคำแนะนำจากคณะกรรมการผู้ควบคุมการสอบปริญญานิพนธ์ซึ่งทำให้ปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ทั้งนี้ขอขอบคุณกำลังใจจากครอบครัว อันประกอบไปด้วย บิดา มารดา ตลอดจนญาติพี่น้อง ครู อาจารย์ที่ได้สนับสนุนอบรมบ่มนิสัย ให้ได้เรียนจนสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี รวมไปถึงเพื่อนสนิทที่ได้สนับสนุนกำลังใจเมื่อคราวย่อท้อ ให้ข้อคิด เตือนสติเมื่อได้ทำผิดพลาดไป จึงขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านเป็นอย่างสูง

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นางสาวกนกวรรณ กันทาผาม
นายณรงค์ธร พินทอง

มีนาคม 2555

สารบัญ

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

สารบัญรูป (ต่อ)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ปัจจุบันกิจกรรมการขนส่งถือว่ามีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ ซึ่งจะช่วยในการกระจายสินค้าไปทั่วทั้งภายใน และภายนอกประเทศ ทำให้ตลาดขยายกว้างขึ้นรายได้จากการจำหน่ายสินค้าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ธุรกิจมีขนาดใหญ่ขึ้น การขนส่งทางเรือจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการขนส่งสินค้า ซึ่งการขนส่งทางเรือมีคุณลักษณะที่สำคัญคือช่วยลดต้นทุนในการผลิต ในการผลิตจำเป็นต้องมีการขนย้ายวัตถุดิบจากแหล่งวัตถุดิบมายังแหล่งผลิต ซึ่งถ้าสามารถขนย้ายได้ครั้งละปริมาณมากๆ จะช่วยประหยัดต้นทุนในการผลิตสินค้าได้ และการขนส่งทางเรือยังช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เนื่องจากอัตราค่าขนส่งทางน้ำถูกกว่าอัตราค่าขนส่งประเภทอื่น ๆ และการขนส่งทางเรือยังมีความปลอดภัยสูงเนื่องจากใช้ความเร็วต่ำ ทำให้กิจกรรมการขนส่งทางเรือเป็นที่นิยมในปัจจุบัน แต่บางครั้งก็พบปัญหาเกี่ยวกับท่าเรือเช่นกัน ดังกรณีการขนส่งทางเรือของประเทศไทยพบปัญหาความแออัดของท่าเรือกรุงเทพเนื่องจากปิดซ่อมบำรุง 2 ท่าเรือ จากทั้งหมด 7 ท่าเรือ ส่งผลให้ต้นทุนของผู้ประกอบการเพิ่มขึ้น เพราะเรือสินค้าต้องใช้เวลารอนานกว่าจะขนสินค้าขึ้น-ลงเรือได้ ซึ่งบางครั้งทำให้ต้องเปลี่ยนไปขนส่งทางอากาศแทนเพื่อให้ทันกับความต้องการของลูกค้า ทำให้ต้นทุนเพิ่มขึ้น

ท่าเทียบเรือคือพื้นที่สำหรับให้เรือเข้าจอดเทียบท่า มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกต่างๆ ในการดำเนินกิจกรรมระหว่างเรือกับชายฝั่ง เช่น การขนถ่ายสินค้าจากเรือขึ้นสู่ฝั่ง หรือจากเรือลงเรือ และลักษณะของการเทียบท่าก็มี 2 แบบคือ ลักษณะแบบปกติแบ่งออกเป็น แบบผังไม่ต่อเนื่อง (Discrete Layout) แบบผังต่อเนื่อง (Continuous Layout) แบบผังผสม (Hybrid Layout) และแบบไม่ปกติคือแบบเว้าแหว่ง (Indented)

โครงงานวิจัยที่สนใจจะศึกษาคือปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่ง ซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม โดยต้องการลดเวลารวมที่เรือใช้ในการบริการบนท่าเรือมากที่สุด เพื่อให้สามารถหาคำตอบได้จริงและเกิดประสิทธิภาพในการขนส่งยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 พัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม (Hybrid Layout) จากงานวิจัยของของ Imai et al. (2006) เพื่อให้สามารถหาคำตอบออกมาได้จริงและมีความถูกต้อง

1.2.2 พัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่ง (Indented Layout) จากงานวิจัยของของ Imai et al. (2006) เพื่อให้สามารถหาคำตอบออกมาได้จริงและมีความถูกต้อง

1.2.3 พัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่ง ซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม จากงานวิจัยของของ Imai et al. (2006) เพื่อให้สามารถหาคำตอบออกมาได้จริงและมีความถูกต้อง

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม

1.3.2 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่ง

1.3.3 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ในการแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

แบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ สามารถนำไปแก้ปัญหาจัดสรรท่าเรือแบบผสม แบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสมได้และมีความถูกต้อง

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

ศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม แบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม มีเวลาการมาถึงรูปแบบพลวัต และมีเวลาการขนถ่ายสินค้าขึ้นอยู่กับท่าเทียบเรือที่จอด

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

กรกฎาคม พ.ศ. 2554 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2555

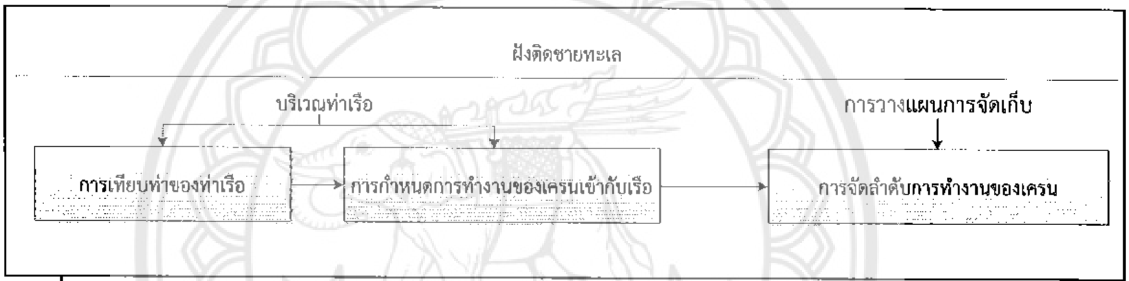
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่1.1 แสดงขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา							
	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค	ก.พ.
1.8.1 ศึกษาและค้นคว้าแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม ของ Imai et al.								
1.8.2 ศึกษาและค้นคว้าแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม ของ Imai et al.								
1.8.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป								
1.8.4 พัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม แบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม								
1.8.5 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์								
1.8.6 เขียนแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ลงบนคอมพิวเตอร์								
1.8.7 ทดลองแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบบนคอมพิวเตอร์								
1.8.8 สรุปผลและนำเสนอ								

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

คำว่า ท่าเรือ หรือ เมืองท่า ทางภาษาอังกฤษใช้ว่า Port หมายถึง อาณาบริเวณพื้นที่สำหรับให้เรือเข้าจอดเทียบท่า มีการทอดสมอเรือ มีอุปกรณ์หรือสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในการดำเนินกิจกรรมระหว่าเรือกับชายฝั่ง เช่น การขนถ่ายสินค้าจากเรือ หรืออาจกล่าวอย่างสั้นๆ ว่า ท่าเรือ คือ อาณาบริเวณพื้นที่ที่มีการติดต่อกันระหว่างเรือกับชายฝั่ง ท่าเรือนั้นเป็นจุดรวมเส้นทางของการขนส่งสินค้า และเป็นหน่วยที่มีความซับซ้อนมีองค์ประกอบที่ทำหน้าที่แตกต่างกันหลายส่วน ในแต่ละส่วนจะมีบทบาทเฉพาะของตัวเองเพื่อทำหน้าที่อย่างมีประสิทธิภาพในการเก็บรักษา และขนถ่ายสินค้าตลอดจนทำหน้าที่เกี่ยวกับการเดินเรืออย่างสัมพันธ์กับเรือเพื่อให้เกิดความปลอดภัย เส้นทางการขนส่งสินค้า (Transport Chain) เริ่มจากการยกขนสินค้าลงเรือจากท่าหนึ่งไปสู่อีกท่าหนึ่งดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเทียบท่าของท่าเรือ การกำหนดการทำงานของเครนเข้ากับเรือและการจัดลำดับการทำงานของเครน

ที่มา: Christian and Frank (2553)

เพราะฉะนั้นการแก้ปัญหาการจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือ มีเป้าหมาย คือ การหาเวลารวมของการใช้บริการ (Handling Time) ของเรือน้อยที่สุดภายใต้เงื่อนไขการจัดลำดับการเทียบท่าที่เป็นไปได้

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับท่าเรือ

2.1.1 ท่าเรือ แบ่งออกเป็น 3 ลักษณะคือ

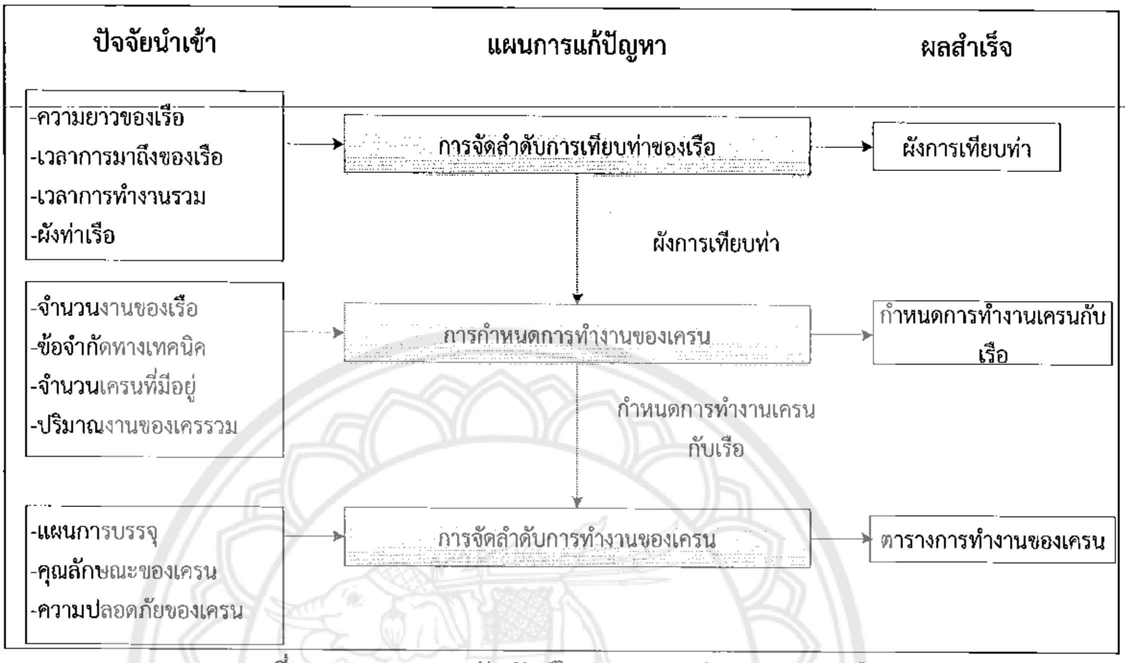
2.1.1.1 **หน้าที่พื้นฐานที่สอดคล้องกับข้อกำหนดทางกฎหมาย** (Basic Function) อำนวยความสะดวกในการขนถ่ายสินค้าผ่านท่าเรือเพื่อการค้าทางทะเล ทั้งในประเทศที่ท่าเรือนั้นตั้งอยู่ และในประเทศเพื่อนบ้าน (ในกรณีที่เพื่อนบ้านไม่มีท่าเรือ และสิ่งอำนวยความสะดวกของตัวเอง) และท่าเรือควรต้องอำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสารที่ผ่านท่าด้วย อำนวยความพร้อมกับเรือต่าง ๆ ที่เข้าผ่านท่าเพื่อทำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด อำนวยความสะดวกในการขนส่งทางบกโดยรถยนต์ รถไฟ การขนส่งทางน้ำ การขนส่งทางท่อ และการขนส่งในรูปแบบอื่น ๆ ทำหน้าที่เป็นเสมือนที่พักสำหรับเรือต่าง ๆ เพื่อจุดประสงค์อื่นที่นอกเหนือไปจากการขนถ่ายสินค้าหรือผู้โดยสาร ได้แก่ การซ่อมแซมเรือ ใช้ท่าเป็นอู่ต่อเรือหรือที่กำบังเรือ และจุดประสงค์กรณีฉุกเฉินอื่น ๆ

2.1.1.2 หน้าที่โดยธรรมชาติ (Natural Function) ต้องให้ความปลอดภัยกับเรือต่าง ๆ เมื่อเข้ามาใกล้ เข้าเทียบท่า หรือออกจากท่าเรือ ทำให้เกิดความปลอดภัยในการเคลื่อนย้ายเรือและยานพาหนะทางน้ำอื่น ๆ ขณะที่อยู่ภายในท่า โดยรวมถึงความปลอดภัยของชีวิต และทรัพย์สินภายในอาณาบริเวณท่าเรือ มีการป้องกันรักษาสิ่งแวดล้อมอย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพ

2.1.1.3 หน้าที่ตามสภาพแวดล้อมและการเมือง (Local/Political Circumstances Function) ทำหน้าที่เป็นตัวแทนของรัฐบาล ในการบังคับใช้เรื่องมาตรฐานความปลอดภัยของเรือ ลูกเรือ และการควบคุมด้านมลพิษทำหน้าที่เสมือนเป็นผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการจดทะเบียนเรือต่าง ๆ เช่น ทำหน้าที่ให้บริการด้านอุทกศาสตร์และแผนที่รับผิดชอบกิจกรรมทางการค้า

2.1.2 ลักษณะของปัญหาการตัดสินใจในการปฏิบัติงานบนท่าเรือฯ

จะเห็นได้ว่าในการทำงานบนท่าเรือนั้นจะมีปัญหาต่างๆเกิดขึ้นซึ่งแต่ละปัญหามีความสัมพันธ์กันดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ในระบบการดำเนินงานท่าเรือ

ที่มา : Christian and Frank (2553)

จากภาพการแสดงให้เห็นว่าการจัดสรรการเทียบท่าของเรือ ส่งผลต่อการกำหนดการทำงานของเครน และการกำหนดการทำงานของเครนส่งผลต่อการจัดลำดับการทำงานของเครนในหัวข้อวิจัยนี้ทฤษฎีที่ใช้จะสนใจเฉพาะการจัดลำดับการเทียบท่าของเรือเท่านั้นเพื่อให้ได้ผังการเทียบท่าของเรือที่มีประสิทธิภาพ

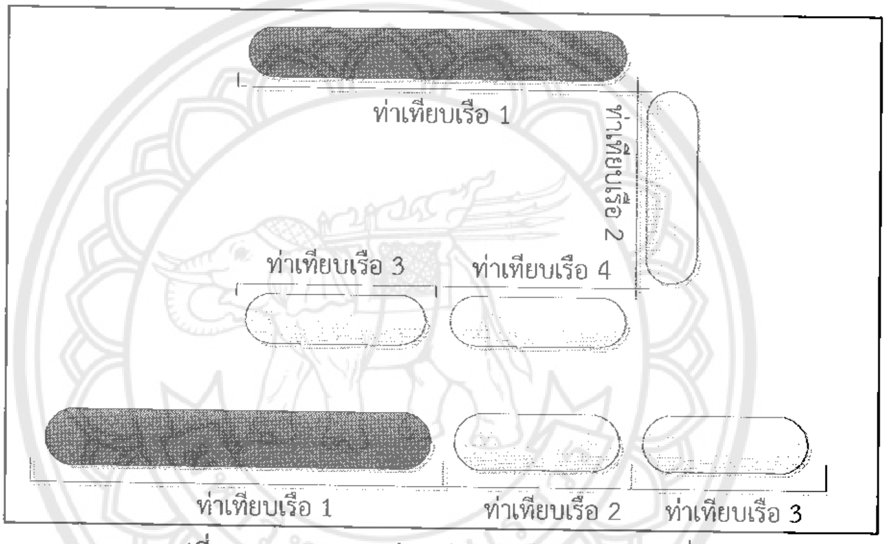
2.2 ปัญหาการจัดสรรการเทียบท่าของเรือแบบต่าง

ในการศึกษาปัญหาการจัดสรรการเทียบท่าของท่าเรือนั้น ต้องพิจารณาเงื่อนไขของปัญหาดังต่อไปนี้ (Christian and Frank , 2553)

2.2.1 ลักษณะของท่าเทียบเรือปกติ

2.2.1.1 แบบผังไม่ต่อเนื่อง (Discrete layout)

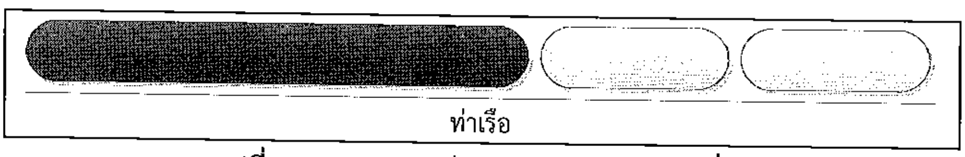
ท่าเทียบเรือมีการแบ่งท่าชัดเจน ซึ่งเรือหนึ่งลำสามารถจอดได้เฉพาะท่าเทียบเรือเดียวเท่านั้น ขนาดของท่าเทียบเรือต้องเท่ากับขนาดของเรือจึงจะสามารถจอดเรือได้ การจัดแบบผังแบบไม่ต่อเนื่องนี้ง่ายต่อการจอดเทียบท่า ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการเทียบท่าของเรือแบบไม่ต่อเนื่อง

2.2.1.2 แบบผังต่อเนื่อง (Continuous layout)

ท่าเรือไม่มีการแบ่งท่าเทียบเรือ เรือสามารถเทียบท่าได้ทุกที่ภายในขอบเขตของท่าเรือ ข้อดีคือสามารถใช้ประโยชน์จากพื้นที่ได้อย่างเต็มที่ กว่าเรือแบบผังไม่ต่อเนื่อง ไม่สนใจขนาดของเรือกับท่าเทียบเรือแบบผังไม่ต่อเนื่อง แต่มีข้อเสียคือมีความยุ่งยากว่าการจอดเทียบท่าแบบผังไม่ต่อเนื่อง ดังรูป 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการเทียบท่าของเรือแบบต่อเนื่อง

2.2.1.3 แบบผังผสม (Hybrid layout)

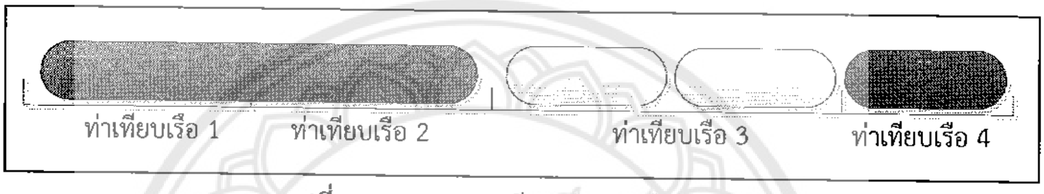
ท่าเทียบเรือแบบผสมนี้มีความคล้ายคลึงกันกับแบบผังไม่ต่อเนื่องคือมีการกำหนดตำแหน่งของเรือ และท่าเทียบเรือชัดเจน ไม่เหมือนกับแบบผังต่อเนื่อง แต่แบบผังผสมนี้มีแบบเป็น 3 ลักษณะคือ

ก. เรือ 1 ลำสามารถจอดได้มากกว่า 1 ท่าเทียบเรือ

ข. ท่าเทียบเรือ 1 ท่าสามารถเทียบเรือได้มากกว่า 1 ลำ

ค. แบบผสมทั้งลักษณะ ก และ ข

ข้อดีคือใช้ประโยชน์จากพื้นที่ได้มากกว่าแบบผังไม่ต่อเนื่อง และมีความยืดหยุ่นในการเทียบท่าของเรือ ดังรูปที่ 2.5



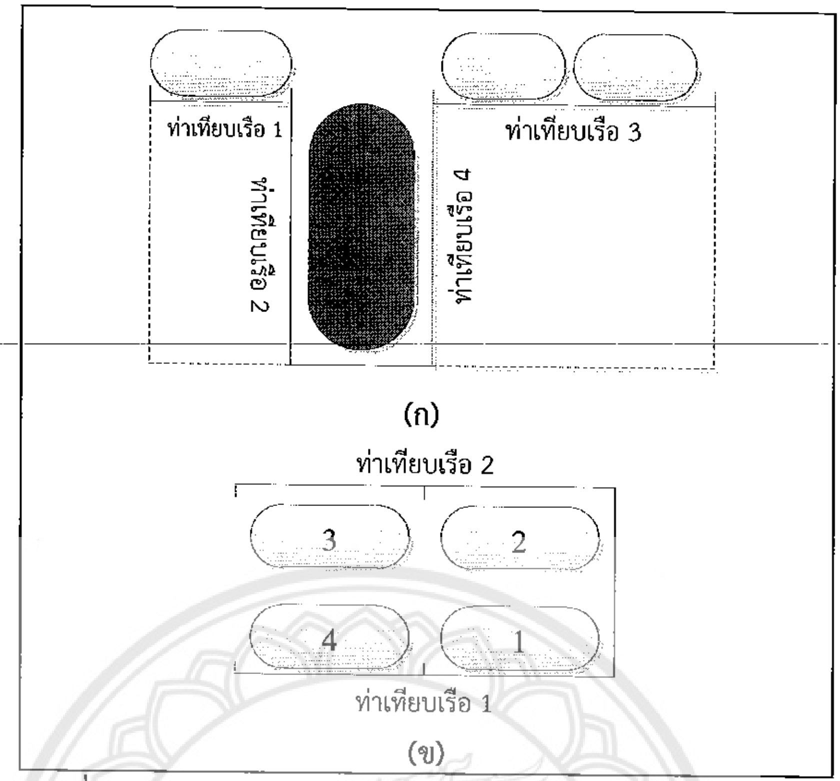
รูปที่ 2.5 แสดงการเทียบท่าของเรือแบบผสม

2.2.2 ลักษณะของท่าเทียบเรือไม่ปกติ

2.2.2.1 แบบผังเว้าแหว่ง (Indented)

ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งนี้มีลักษะคล้ายกับการเทียบท่าแบบผสมปกติคือ เรือ 1 ลำสามารถจอดได้มากว่า 1 ท่าเทียบเรือ และท่าเทียบเรือ 1 ท่าสามารถเทียบเรือได้มากกว่า 1 ลำ แต่ท่าเรือแบบเว้าแหว่งนี้ช่วยลดพื้นที่ในแนวตามยาวของท่าเรือ และสามารถเทียบเรือได้มากขึ้นด้วยการสร้างท่าเทียบเรือในแนวตั้งหรือเว้าลง นอกจากนั้นยังช่วยให้การขนถ่ายตู้คอนเทนเนอร์ที่มีขนาดใหญ่ลงจากเรือได้รวดเร็วกว่าเพราะ เครนสามารถทำการขนถ่ายสิ้นค้าลงได้ 2 ทางในเวลาเดียวกันดังรูปที่ 2.6 (ก)

ท่าเรือแบบเว้าแหว่งยังสามารถจอดเรือขนาดเล็กได้ดังรูปที่ 2.6 (ข) เรือลำที่ 1 และ 2 จะไม่สามารถออกได้ทันทีที่รับบริการเสร็จ จะออกจากท่าเรือได้ต่อเมื่อเรือลำที่ 3 และ 4 ทำงานเสร็จก่อน



รูปที่ 2.6 แสดงการเทียบท่าของเรือแบบเว้าแหว่ง 2 ลักษณะ ก และ ข

2.2.3 เงื่อนไขของช่วงเวลา

ประกอบไปด้วยเวลาในการจอดเทียบท่า ซึ่งสามารถแบ่งประเภทเงื่อนไขของเวลาการมาถึงได้ดังนี้ (Christian and Frank , 2553)

2.2.3.1 แบบสถิต (Static Arrival) เรือเข้ามารอที่ท่าพร้อมๆกันแล้วสามารถเข้าจดเทียบท่าได้ทันที

2.2.3.2 แบบพลวัต (Dynamic Arrival) เรือมีเวลาการมาถึง ซึ่งเป็นเวลาการมาถึงของเรือแต่ละลำที่แน่นอน โดยเรือไม่สามารถเข้ามาจอดได้ก่อนเวลาการมาถึง ในกรณีมีการจัดตารางเวลายังมีเงื่อนไขอีกว่าเรือจะสามารถรอคอยการเทียบท่าได้นานที่สุดเท่าใดอีกด้วย

2.2.4 โจทย์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือ

เพื่อความเข้าใจในปัญหาการจัดสรรท่าเรือ (Berth Allocation Problem; BAP) มากขึ้นจึงขอสมมุติตัวอย่างโจทย์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือขึ้นดังนี้

2.2.4.1 โจทย์ปัญหาการเทียบท่าแบบผสม มีท่าเทียบเรือ 5 ท่า แต่ละท่ามีความยาว 750 เมตร เรือขนสินค้า 5 ลำ ข้อมูลดังตาราง แก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือเพื่อหาเวลาการใช้บริการที่น้อยที่สุดของท่าเรือ กำหนดลักษณะการจอดเป็นแบบผสม

ตารางที่ 2.1 แสดงเวลาการมาถึง การขนถ่ายสินค้า และความยาวของเรือ

เรือ	เวลาการมาถึง (ชั่วโมง)	เวลาการขนถ่ายสินค้า (ชั่วโมง)	ความยาวของเรือ (m)
1	2	3	700
2	1	5	300
3	3	1	700
4	3	2	300
5	0	4	300

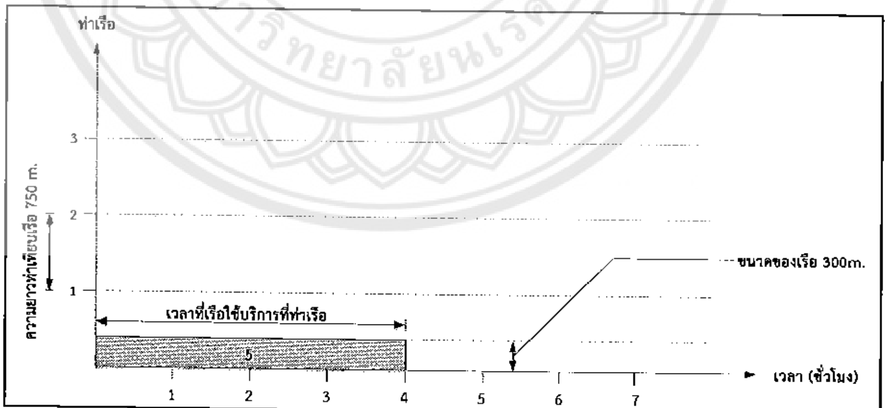
2.2.4.2 เงื่อนไขเบื้องต้นของปัญหา

ก. เวลาการมาถึงของเรือถูกกำหนดไว้ก่อนแล้วไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

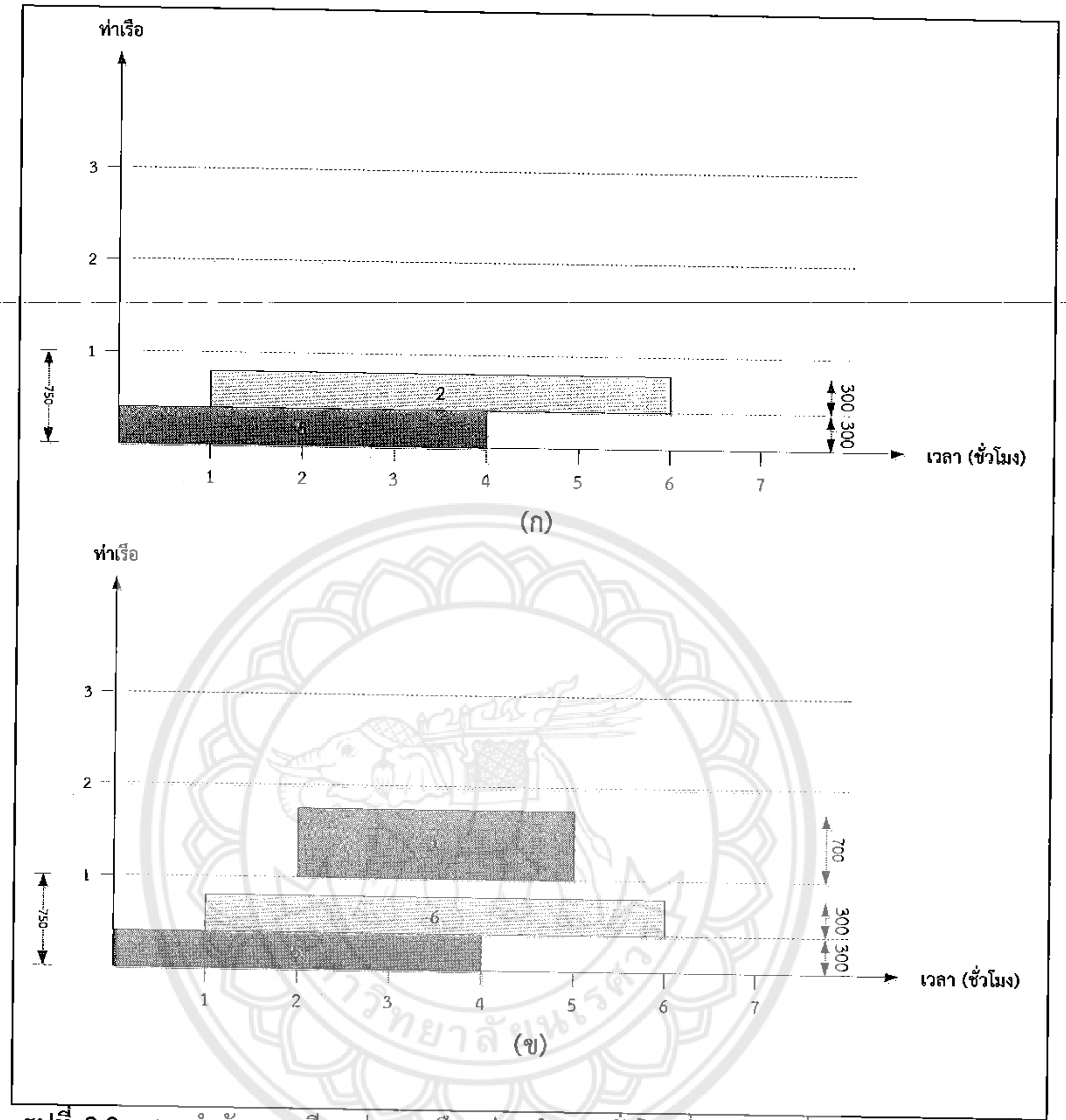
ข. เวลาการขนถ่ายสินค้าขึ้นถูกกำหนดไว้ก่อนแล้วขึ้นอยู่กับเรือแต่ละลำ

ค. กำหนดให้ ท่าเทียบเรือ 1 ท่าสามารถจอดเรือได้ไม่เกิน 2 ลำ และ เรือ 1 ลำไม่สามารถจอดมากว่า 1 ท่าเทียบเรือได้

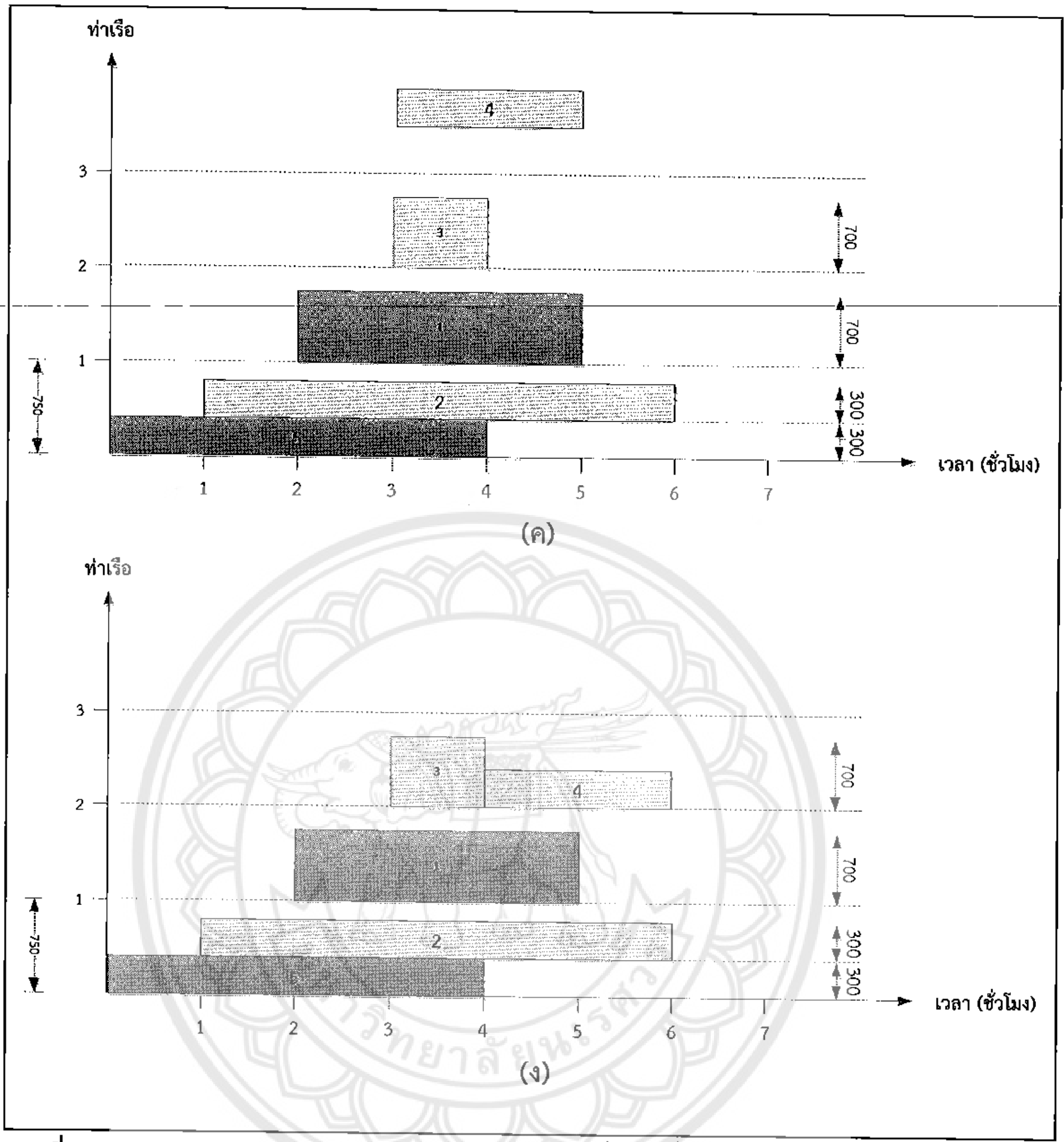
ซึ่งจะสามารถนำมาจัดลำดับการเทียบของเรือเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลาที่เรือใช้บริการที่ท่าเรือในแต่ละชั่วโมงได้ และจากข้อมูลของปัญหาข้างต้นเราสามารถแสดงคำตอบหนึ่งคำตอบได้ (คำตอบนี้แสดงการจัดสรรท่าเรือของตัวอย่างเท่านั้นไม่ใช้คำตอบที่ดีที่สุด) แสดงลำดับการมาถึงโดยกราฟดังรูปที่ 2.7 รูปที่ 2.8 (ก) (ข) และ รูปที่ 2.9 (ค) (ง)



รูปที่ 2.7 แสดงลำดับการเทียบท่าของเรือแต่ละลำ ชั่วโมงที่ 0 เรือลำที่ 5 มาถึงเทียบท่าที่ 1 ใช้เวลาการเทียบท่า 4 ชั่วโมง เสร็จสิ้นในชั่วโมงที่ 4



รูปที่ 2.8 แสดงลำดับการเทียบท่าของเรือแต่ละลำ (ก) ชั่วโมงที่ 1 เรือลำที่ 2 มาถึงเทียบท่าที่ 1 เนื่องจากมีพื้นที่เหลือพอที่ ใช้เวลาการเทียบท่า 5 ชั่วโมงเสร็จสิ้นในชั่วโมงที่ 6 และ (ข) ชั่วโมงที่ 2 เรือลำที่ 1 มาเทียบท่าที่ 2 ใช้เวลาการเทียบท่า 3 ชั่วโมง เสร็จสิ้นในชั่วโมงที่ 5



รูปที่ 2.9 แสดงลำดับการเทียบท่าของเรือแต่ละลำ (ค) ชั่วโมงที่ 3 เรือลำที่ 3 มาถึงเทียบท่าที่ 3 ใช้เวลาการเทียบท่า 1 ชั่วโมง เสร็จสิ้นในชั่วโมงที่ 4 เรือลำที่ 4 ไม่สามารถเข้าเทียบท่าได้ในเวลาที่มาถึงเนื่องจากท่าเรือแต่ละท่าไม่พร้อมให้บริการ (ง) ชั่วโมงที่ 4 เรือลำที่ 4 มาเทียบท่าที่ 3 ใช้เวลาการเทียบท่า 2 ชั่วโมง เสร็จสิ้นในชั่วโมงที่ 6

จากการจัดลำดับคำนวณหาเวลาการใช้บริการที่น้อยที่สุดของเรือแต่ละลำบนท่าเทียบเรือได้ดังนี้สมการเป้าประสงค์ Minimize $Z = \sum_{j \in V} \{\sum_{i \in B} f_{il} - A_i\}$ คือ เวลาการบริการที่น้อยที่สุดเท่ากับผลรวมของผลต่างของเวลาเสร็จสิ้นกับเวลาการมาถึง

ตารางที่ 2.2 แสดงผลต่างของเวลาเสร็จสิ้นกับเวลาการมาถึงของเรือแต่ละลำ

เรือ	เวลาเสร็จสิ้น (ชั่วโมง)	เวลาการมาถึง (ชั่วโมง)	ผลต่าง
1	5	2	3
2	6	1	5
3	4	3	1
4	6	3	3
5	4	0	4

เพราะฉะนั้นเวลาการใช้บริการที่น้อยที่สุดเท่ากับ 16 ชั่วโมง โดยมีการจัดลำดับการเทียบท่าของเรือแบบผสมภายใต้เงื่อนไขเบื้องต้นในข้างต้น

2.3 การดำเนินงานวิจัย (Operations Research)

ตั้งแต่ปฏิวัติอุตสาหกรรมมาจนถึงปัจจุบัน โลกได้เปลี่ยนแปลงไปมาก ความเปลี่ยนแปลงจะเห็นได้จากขนาดขององค์การใหญ่ขึ้น มีโครงสร้างความซับซ้อน และหลากหลาย การบริหารองค์การจึงเป็นภาระที่หนักของผู้บริหาร เนื่องจากเป็นการยากที่จะจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ให้แต่ละกิจกรรมขององค์การโดยวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ปัญหาดังกล่าวแล้วจำเป็นที่จะต้องหาวิธีที่เหมาะสมที่สุดที่จะแก้ปัญหา จึงทำให้เกิดการวิจัยดำเนินงานขึ้น

2.3.1. ประวัติการวิจัยดำเนินการ

การวิจัยดำเนินการได้มีขึ้นในช่วงระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ฝ่ายบริหารทางทหารของอังกฤษได้ให้ทีมของนักวิทยาศาสตร์ศึกษาค้นคว้าวิจัยถึงยุทธศาสตร์ และยุทธวิธีในการป้องกันประเทศทั้งทางบก และทางอากาศ โดยมีเป้าหมายว่าภายใต้สภาวะที่มีกำลังทหาร และอาวุธยุทโธปกรณ์จำกัด ทำอย่างไรจึงจะป้องกันประเทศได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด มอบหมายให้ Sir Robert Watson-Watt เป็นหัวหน้ากลุ่มนักวิทยาศาสตร์ ทำการวิเคราะห์ปัญหาการใช้อุปกรณ์อุปกรณ์เรดาร์ในการจับเครื่องบิน และเวลาที่เครื่องบินข้าศึกเข้าโจมตีจริง ๆ ถ้าเรดาร์จับได้เร็วจะทำให้มีเวลาเตรียมการส่งเครื่องบินประจัญบานขึ้นไปต่อสู้ได้ทันการ นักวิทยาศาสตร์ได้วิเคราะห์ลักษณะการปฏิบัติการของรถสถานีเรดาร์แต่ละแห่ง ตลอดจนวงจรการสื่อสาร และวิธีการปฏิบัติงานจนได้ผล

เป็นตัวเลขเสนอรัฐบาลเพื่อปรับปรุงหน่วยสถานีเรดาร์ทั้งหมดของกองทัพอากาศอังกฤษ ผลงานครั้งนี้ใช้ได้ผลดีมาก ต่อมาในปี ค.ศ.1941 กองทัพอากาศของอังกฤษได้จัดตั้งหน่วยวิจัยดำเนินงานทางทหารขึ้นชื่อ ว่าการวิจัยการดำเนินการ (Operation Research) เกิดขึ้นเพราะในทีมของนักวิทยาศาสตร์ชาวอังกฤษนี้ ได้ทำการร่วมกันโดยระดมความรู้ความสามารถร่วมกันเพื่อวางแผนให้มีประสิทธิภาพที่สุดในภาวะที่มีทรัพยากรจำกัด ความสำเร็จของนักวิทยาศาสตร์นี้ได้กระตุ้นให้ฝ่ายบริหารทางสหรัฐอเมริกาเริ่มสนใจและนำวิธีการนี้ไปใช้ในทางทหารบ้างจนประสบผลสำเร็จเป็นอย่างมากในการแก้ปัญหาทางทหารซึ่งค่อนข้างซับซ้อน รวมทั้งปัญหาทางการสร้างเครื่องบินแบบใหม่ๆ การวางแผนทำเหมืองในทะเล การใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์อย่างมีประสิทธิภาพตลอดถึงทางการจัดสรรทางเกษตรกรรม

หลังจากสงครามโลกครั้งที่ 2 อังกฤษก็เป็นประเทศแรกที่นำวิธีการวิจัยดำเนินงานมาใช้ในวงการอุตสาหกรรม และรัฐวิสาหกิจอุตสาหกรรมประเภทแรกที่นำวิชาการนี้มาใช้คืออุตสาหกรรมถ่านหิน ต่อมาจึงได้ขยายตัวเข้าไปสู่อุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ และนิยมใช้ในการบริหารงานทางด้านขนส่ง ส่วนสหรัฐอเมริกานั้นไม่ค่อยให้ความสนใจในการนำไปประยุกต์กับงานทางด้านทางธุรกิจมากนักในระยะแรก จนกระทั่งได้มีการขยายตัวในการใช้เครื่องจักรแทนคน สหรัฐฯ จึงได้ทำการฟื้นฟูและส่งเสริมหลักการนี้ และนิยมใช้อย่างแพร่หลาย ต่อมาจึงได้มีการจัดตั้งสมาคม และจัดสอนขึ้นในมหาวิทยาลัย และสถาบันการศึกษาขั้นสูงโดยทั่วไป

2.3.2 ความหมายของการวิจัยดำเนินการ

การวิจัยดำเนินการอาจกล่าวได้ว่า เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่เน้นการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการปฏิบัติงานในองค์การ หรืออาจจะพูดอีกอย่างหนึ่งว่าการวิจัยดำเนินการคือการศึกษาถึงวิธีการจัดสรรทรัพยากรต่าง ๆ ให้เหมาะสมที่สุด มีเป้าหมาย คือการหาหลักพื้นฐานสำหรับการตัดสินใจโดยหาวิธีทำความเข้าใจโครงสร้างของสถานการณ์ที่ซับซ้อนและใช้ความเข้าใจดังกล่าวเพื่อทำนายพฤติกรรมของระบบ และปรับปรุงการทำงานของระบบให้ดีขึ้น

2.3.3 ลักษณะของการวิจัยดำเนินงาน

2.3.3.1 การวิจัยเกี่ยวกับการดำเนินการ (Research on Operation) คือเป็นการศึกษาและวิจัยขั้นตอนในการดำเนินงาน และการประสานงานเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการดำเนินงานหรือดำเนินกิจการภายในองค์การ อุตสาหกรรม หรือขอบเขตหนึ่ง ๆ

2.3.3.2 พิจารณาและจัดการปัญหาของระบบโดยรวม (Consider and Organization as a Whole) คือความเข้าใจในสถานการณ์ และหน้าที่ของโครงสร้างของส่วนต่างๆ ภายในระบบย่อย (Subsystem) ที่มีความเกี่ยวพันกันในการรวมตัวกันเข้าเป็นระบบที่ซับซ้อน และแก้ปัญหาให้มีผลดีต่อส่วนรวมเป็นหลัก

2.3.3.3 เป็นสหวิทยาการ (Interdisciplinary) คือการดำเนินงานโดยทีมงานของผู้ชำนาญงานในด้านต่างๆ เช่น วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เศรษฐศาสตร์ เป็นต้น

2.3.3.4 เพื่อให้ได้ทางเลือกในการตัดสินใจที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Decision Effort) คือให้ผลลัพธ์หรือแนวทางการแก้ปัญหาของระบบที่ซับซ้อนได้เหมาะสมที่สุด เพื่อช่วยในการตัดสินใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.3.5 การประยุกต์ใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ (Application of Scientific Method) คือการใช้หลักเกณฑ์อย่างมีขั้นตอนในการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ

2.3.3.6 มีลักษณะเป็นการสร้างและวิเคราะห์ตัวแบบเชิงปริมาณ (Quantitative Model Construction and Analysis) คือการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์แทนระบบที่ต้องการศึกษา และดำเนินการวิเคราะห์โดยเทคนิคที่มีอยู่ สรรหาแนวทางหรือผลลัพธ์ต่างๆ ซึ่งทำให้สามารถได้คำตอบเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด

2.3.3.7 การค้นพบปัญหาเพื่อการวิจัยต่อไป (Identification for Further Research Needs) คือการพบปัญหาใหม่ภายหลังจากที่ได้แก้ไขปัญหาหนึ่งๆ ไปแล้ว

2.3.4 ขั้นตอนของการวิจัยดำเนินการ

ขั้นตอนที่สำคัญในการดำเนินงานของทีมนักวิจัยดำเนินการ ดังนี้

2.3.4.1 การกำหนดปัญหา (Definition of the Problem) การกำหนดปัญหาโดยวิธีวิจัยการดำเนินงาน ประกอบด้วย 3 ลักษณะที่สำคัญ คือกำหนดวัตถุประสงค์ให้ชัดเจน กำหนดแนวทางเลือกที่เป็นไปได้ของระบบและกำหนดข้อจำกัด ขอบข่ายและสิ่งต่างๆ ของระบบ

2.3.4.2 การสร้างตัวแบบ (Construction of Model) การสร้างตัวแบบแทนระบบปัญหา ตัวแบบที่สร้างขึ้นมาจะขึ้นอยู่กับการกำหนดปัญหา และเป็นแบบเชิงปริมาณ ฟังก์ชันเป้าหมายและข้อจำกัดของปัญหาเขียนอยู่ในรูปตัวแปรตัดสินใจ

2.3.4.3 การหาผลลัพธ์ของตัวแบบ (Solution of the Model) การหาผลลัพธ์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ จะใช้เทคนิคที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งกำหนดขึ้นมาอย่างดีสำหรับแต่ละตัวแบบ (Well-defined Optimization Techniques) ถ้าใช้ตัวแบบจำลองสถานการณ์ ผลลัพธ์ที่ได้จะไม่เป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แต่จะเป็นผลลัพธ์โดยประมาณเมื่อได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมของระบบแล้ว จะต้องคำนึงถึงพฤติกรรมของผลลัพธ์ที่จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อพารามิเตอร์ของระบบเปลี่ยนแปลง นั่นคือจะต้องมีการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) ซึ่งการวิเคราะห์ความไวนี้มีความสำคัญมาก เพราะว่าถ้าพารามิเตอร์ของระบบที่ศึกษาไม่อาจประมาณค่าได้แน่นอน จะต้องหาผลลัพธ์ที่เหมาะสมจากค่าต่างๆ ที่อยู่ใกล้เคียง

2.3.4.4 การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบ (Validation of the Model) ตัวแบบที่สร้างขึ้นจะถือว่าเป็นตัวแบบที่ดีและถูกต้อง ถ้าหากให้ผลลัพธ์ที่น่าเชื่อถือ ทั้งนี้สามารถทดสอบได้โดยการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้ข้อมูลในอดีตกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริงๆ ตัวแบบ

แทนระบบปัญหาจะเป็นตัวแบบที่ถูกต้องถ้าใช้ภายใต้เงื่อนไขของข้อมูลที่คล้ายคลึงกัน เช่น ผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบเป็นเช่นเดียวกับผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในอดีต สำหรับตัวแบบที่สร้างขึ้นจากข้อมูลในอดีต การเปรียบเทียบผลในปัจจุบันกับอดีตมักให้ผลที่น่าพอใจ แต่ก็ไม่มีอะไรที่จะประกันว่าผลที่เกิดขึ้นในอนาคตจะเป็นเช่นเดียว กับอดีต

2.3.4.5 การนำตัวแบบไปใช้ (Implementation of the Final Result) เมื่อได้ผลลัพธ์ของตัวแบบแล้ว ทีมนักวิจัยดำเนินการจะทำการแปลผลที่ได้ให้ผู้ที่นำไปปฏิบัติเข้าใจได้ง่าย และจากการที่นักวิจัยการดำเนินงาน และเจ้าหน้าที่ผู้ปฏิบัติได้มีการติดต่อประสานงานระหว่างกันนี้ จะช่วยให้การนำตัวแบบไปใช้ได้ผลดี เพราะเมื่อมีข้อมูลเกี่ยวกับข้อบกพร่องจากเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการ ทางฝ่ายทีมนักวิจัยดำเนินการก็จะสามารถแก้ปัญหาได้ทันตามความต้องการ

2.4 การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer linear programming)

2.4.1 การโปรแกรมเชิงเส้น

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) สามารถประยุกต์กับปัญหาต่างๆ ได้ดีและกว้างขวางที่สุดตัวแบบหนึ่ง คือตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming Model) ถ้าต้องการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ของฟังก์ชันเป้าหมายเชิงเส้น (Linear Objective Function) ซึ่งสอดคล้องกับข้อจำกัดเชิงเส้นต่างๆ (Linear Constraints)

ดานท์ซิก (George B. Dantzig) เป็นบิดาของการโปรแกรมเชิงเส้น ทั้งนี้เพราะเป็นผู้ที่เริ่มสร้างรูปแบบทั่วไปของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น และพัฒนาอย่างมีระบบ ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นในปี พ.ศ.2490 วิธีการหาคำตอบดังกล่าวยังคงใช้อยู่จนถึงปัจจุบันภายใต้ชื่อว่า วิธีซิมเพล็กซ์ (Simplex Method) งานด้านโปรแกรมเชิงเส้นในระยะแรกของดานท์ซิกได้ทำให้กองทัพอากาศของสหรัฐอเมริกา ต่อมาประมาณปี พ.ศ.2495 จึงได้มีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นได้สำเร็จ หลังจากนั้นได้มีการพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด ของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ตามลักษณะเฉพาะของปัญหาที่สามารถประยุกต์ใช้ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นได้

2.4.2 การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม

ในกรณีที่ต้องการหาคำตอบสำหรับปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นเป็นค่าจำนวนเต็ม (Integer) หรือเป็นค่าที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Values) จะต้องมองปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นนั้น ในลักษณะของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming Problem) รูปแบบของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มจะมีการระบุว่าค่าของตัวแปรการตัดสินใจจะเป็นค่าจำนวนเต็ม

2.4.2.1 รูปแบบมาตรฐานของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มรูปแบบมาตรฐานของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นมีอยู่ด้วยกันสองลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้น

ที่พิจารณาอยู่นั้น เป็นปัญหาในลักษณะที่ต้องการหาค่าสูงสุด (Maximization) หรือต้องการหาค่าต่ำสุด (Minimization) ซึ่งจะเขียนได้ดังนี้

หาค่าสูงสุด/ต่ำสุดของ $z = c_1x_1 + c_2x_2 + \cdots + c_nx_n$ ภายใต้ข้อจำกัด

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \ldots + a_{mn}x_n \begin{Bmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{Bmatrix} b_m$$

$$x_j \geq 0, \forall j$$

$$x_i \in I \exists_i$$

โดยที่

$x_j =$ ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) หรือจำนวนหน่วยของกิจกรรมที่ j ที่จะตัดสินใจทำ เช่น อาจหมายถึง จำนวนหน่วยของสินค้าที่ j ที่เราจะทำการผลิต ซึ่งจะต้องมีค่าเป็นค่าเชิงจำนวนเต็ม $j = 1, 2, \ldots, n$

$c_j =$ ผลตอบแทน (Profit หรือ Return) ที่ได้จากการตัดสินใจทำกิจกรรมที่ j หนึ่งหน่วย เช่นในกรณีของการผลิตสินค้าจำหน่าย c_j จะหมายถึงกำไรที่ได้จากการจำหน่ายสินค้าชนิดที่ j หนึ่งหน่วย $j = 1, 2, \ldots, n$

$a_{ij} =$ จำนวนทรัพยากรชนิดที่ i ที่จะใช้ในการทำกิจกรรมที่ j หนึ่งหน่วย (Resource Consumption Rate) $i = 1, 2, \ldots, m$ และ $j = 1, 2, \ldots, n$

$b_i =$ จำนวนทรัพยากร (Resource) ชนิดที่ i ที่มีอยู่เพื่อใช้ในการทำกิจกรรมต่างๆ $i = 1, 2, \ldots, m$

$I =$ เซตของจำนวนเต็ม

ในตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มมาตรฐานนี้ ต้องการที่จะหาค่าของตัวแปรตัดสินใจ x_j ต่างๆว่าควรจะมีค่าเป็นเท่าไร จึงจะทำให้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายมีค่าสูงสุด โดยที่ตัวแปรตัดสินใจเหล่านี้จะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัด ในการใช้ทรัพยากรทั้ง m ข้อจำกัด คือ ใช้ทรัพยากรไม่เกินปริมาณทรัพยากรที่เรามีอยู่ ตลอดจนทั้งมีค่าไม่น้อยกว่าศูนย์และเป็นจำนวนเต็มด้วย ค่า a_{ij}, b_i และ c_j ในตัวแบบปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มนี้ เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ทราบว่ามีค่าเป็นเท่าใด

นอกจากการเขียนรูปแบบมาตรฐานของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นในลักษณะนี้แล้ว ในบางครั้งอาจเขียนให้อยู่ในลักษณะของ เมตริกซ์ (Matrix) ได้ดังนี้

หาค่าสูงสุด/ต่ำสุดของ $z = cx$ ภายใต้ข้อจำกัด

$$Ax \begin{Bmatrix} \leq \\ \geq \\ = \end{Bmatrix} b$$

$$x \geq 0, x_i \in I\exists_i$$

โดยที่

$x =$ เวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ เป็นคอลัมน์เวคเตอร์ (Column Vector) มีขนาดเท่ากับ $n \times 1$

$c =$ เวคเตอร์ของผลตอบแทน (หรือค่าใช้จ่าย) ต่อหน่วยของกิจกรรมเป็นแถวเวคเตอร์ (Row Vector) มีขนาดเท่ากับ $1 \times n$

$A =$ เมตริกซ์ของการใช้ทรัพยากรในการทำกิจกรรม มีขนาดเท่ากับ $m \times n$

$b =$ เวคเตอร์ของทรัพยากร เป็นคอลัมน์เวคเตอร์ มีขนาดเท่ากับ $m \times 1$

2.4.2.2 วิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม ที่จะทำให้ได้คำตอบที่เป็นค่าเชิงจำนวนเต็มนั้นแบ่งออกได้เป็นสองวิธีการใหญ่ๆคือ

ก. วิธีการค้นหาคำตอบ (Search or Enumeration Method) ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มด้วยวิธีการค้นหาคำตอบนั้น มีวิวัฒนาการมาจากแนวคิดที่ว่า เนื่องจากการที่ค่าของตัวแปรตัดสินใจจะต้องมีค่าเป็นค่าเชิงจำนวนเต็ม ดังนั้น จำนวนคำตอบของปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มที่พิจารณาอยู่จึงมีจำนวนจำกัดหรือเป็นจำนวนที่นับได้ถ้วน (Finite) เพราะฉะนั้น สามารถที่จะประเมินค่าของคำตอบต่างๆนี้ได้ทุกคำตอบ และคำตอบที่ดีที่สุด ก็คือ คำตอบที่ให้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายดีที่สุด สอดคล้องกับความต้องการ คือมีค่าสูงสุด (หรือต่ำสุด) นั้นเอง การหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยการประเมินค่าของคำตอบต่างๆทุกคำตอบหรือการแจงนับโดยตรง (Exhaustive Enumeration) นี้ เป็นวิธีการหาคำตอบที่ทำได้ง่ายที่สุด เพราะเราเพียงแต่ประเมินค่าของคำตอบต่างๆเท่านั้น แต่ทว่าวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีนี้มีข้อเสียคือในกรณีที่ปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มที่เราพิจารณาอยู่นั้น มีจำนวนคำตอบมากมาย ซึ่งจะทำให้เราต้องเสียเวลาในการประเมินค่าของคำตอบที่ดีที่สุด

ข. วิธีการตัดพื้นที่คำตอบออก (Cutting Plane Method) การหาคำตอบสำหรับปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มอีกวิธีหนึ่งที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ วิธีการตัดพื้นที่คำตอบออก (Cutting Plane Method) นั้น เป็นการหาคำตอบโดยการเพิ่มสมการทุติยภูมิ (Secondary

Constraint) ที่เราทำการสร้างขึ้นมาใหม่ เพิ่มเติมเข้าไปในปัญหาที่พิจารณาอยู่ เพื่อทำหน้าที่ตัดพื้นที่ของคำตอบ ส่วนที่เป็นคำตอบที่ไม่ใช่ค่าเชิงจำนวนเต็ม (Non-integer Solution) ออกไป เพื่อที่จะช่วยให้หาคำตอบที่เป็นค่าเชิงจำนวนเต็มได้

2.5 โปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยสร้างแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์

การแก้ไขแบบจำลองกำหนดการเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรท่าเรือเนื่องจากมีความซับซ้อนมากของสมการที่ต้องการให้เสมือนจริงมากที่สุด จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมสำเร็จรูปเป็นเครื่องมือในการแก้ปัญหาแบบจำลอง

การแก้ไขปัญหาส่วนมากถ้าหากเป็นปัญหาที่ใหญ่มากๆ ไม่สามารถใช้การคำนวณด้วยมือช่วยได้ หรือจะเสียเวลามาก จึงจำเป็นต้องใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ เพื่อเอื้ออำนวยความสะดวกในการใช้ และใช้เวลาในการหาผลลัพธ์ที่รวดเร็ว การแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ยังสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดทั้งที่เป็นแบบเชิงเส้น ไม่เป็นเชิงเส้น และจำนวนเต็มได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นที่ใช้กันทั่วไป และมีให้เหลือหลายโปรแกรม

2.6 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมของ Imai et al. (2006)

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองพื้นฐานที่คณะผู้จัดทำปรับปรุงดัดแปลงจากแบบจำลองของ Imai et al. (2006)

2.6.1 ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumptions)

2.6.1.1 เวลาในการรับบริการ (Handing Time) ถูกกำหนดโดยท่าเรือ

2.6.1.2 กำหนดให้ท่าเรือ 1 ท่า สามารรับบริการเรือได้สูงสุดไม่เกิน 2 ลำ โดยความยาวของเรือจะต้องไม่เกินความยาวของท่าเทียบเรือ

2.6.1.3 ไม่มีการจัดลำดับการเข้าจอดของเรือที่เข้ามาจอดในท่าเรือเดียวกัน เช่น เรือที่มาถึงก่อนไมจำเป็นจะต้องจอดก่อน

2.6.1.4 ท่าเทียบเรือทุกท่ามีความลึกของน้ำเท่ากัน

2.6.1.5 เรือ 1 ลำจะเทียบท่าเรือได้เพียง 1 ท่าเทียบเรือเท่านั้น

ในปัญหาของ Imai et al. (2006) ได้พิจารณาขนาดเรือเพียงสองขนาด คือ เรือขนาดเล็กและขนาดใหญ่เท่านั้น แล้วลักษณะการจอดแบบผสมเป็นลักษณะที่ 2 เท่านั้นตามหัวข้อที่ 2.2.1.3

2.6.2 แบบจำลองปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสม

2.6.2.1 ดัชนี (Indices)

i คือ เซตแสดงจำนวนของท่าเรือ $(i = 1,2,3,\ldots,I) \in B$

j คือ เซตแสดงจำนวนของเรือ $(j = 1,2,3,\ldots\ldots,T) \in V$

k คือ เซตแสดงจำนวนของลำดับการให้บริการ

$(k = 1,2,3,\ldots\ldots,T) \in U$

2.6.2.2 พารามิเตอร์ (Parameters)

TM คือ ค่ามากมายมหาศาล

A_j คือ เวลาการมาถึงของเรือลำที่ j

BL_i คือ ความยาวของท่าเรือที่ i

L_j คือ ความยาวของเรือที่ j

S_i คือ เวลาที่ท่าเรือ i เริ่มว่าง

C_{ij} คือ เวลาการใช้บริการของเรือ j ที่ท่าเรือ i

2.6.2.3 ตัวแปรการตัดสินใจ

x_{ijk} จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีเรือ j มาใช้บริการลำดับที่ k ที่ท่าเรือ i และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

$\tau_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีเรือ j และเรือ j' มาใช้บริการที่ท่าเรือ i ให้เรือ j เทียบท่าก่อนเรือ j' และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

$\omega_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อมีเรือ j และเรือ j' มาใช้บริการที่ท่าเรือ i พร้อมกัน และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

b_{ij} คือ เวลาเริ่มต้นของการใช้บริการของเรือ j ที่ท่าเรือ i

f_{ij} คือ เวลาเสร็จสิ้นของการใช้บริการของเรือ j ที่ท่าเรือ i

2.6.1.4 สมการแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสม

$$\text{Minimize } Z = \sum_{j\in V}\left\{\sum_{i\in B} f_{ij} - A_j\}\right\} \tag{2.1}$$

Subject to

$$\sum_{i\in B}\sum_{k\in U} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \tag{2.2}$$

$$\sum_{j\in V} x_{ijk} \le 1 \quad \forall i \in B, k \in U \tag{2.3}$$

$$b_{ij} \ge \sum_{k\in U} \max\{S_i, A_j\} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \tag{2.4}$$

$$f_{ij} = b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \tag{2.5}$$

$$\sum_{k\in U} kx_{ijk} \le \sum_{k'\in U} k' x_{ij'k'} + (1-\tau_{ijj'})TM \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{2.6}$$

$$b_{ij} \le b_{ij'} + (1-\tau_{ijj'})TM \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{2.7}$$

$$f_{ij} < b_{ij'} + (1+\omega_{ijj'} - \tau_{ijj'})TM \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{2.8}$$

$$\omega_{ijj'}(L_j + L_{j'}) \le BL_i \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{2.9}$$

$$\omega_{ijj'} \le \tau_{ijj'} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{2.10}$$

$$\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k}) - 1 \le \tau_{ijj'} + \tau_{ij'j} \le \frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{2.11}$$

$$\sum_{j'} \omega_{ijj'} \le 1 \quad \forall i \in B, j \in V \tag{2.12}$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in U \tag{2.13}$$

$$\tau_{ijj'} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{2.14}$$

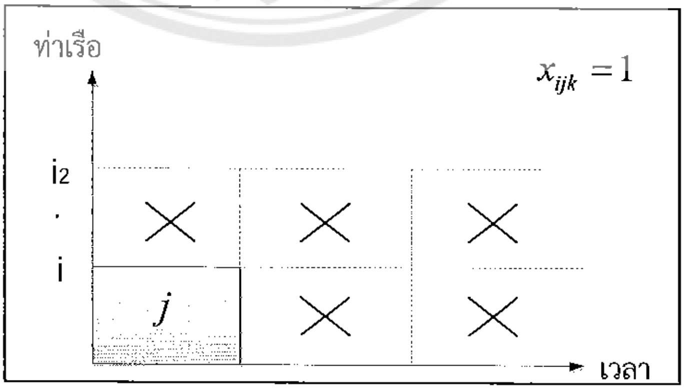
$$\omega_{ijj'} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{2.15}$$

$$b_{ij} \ge 0, f_{ij} \ge 0 \quad \forall i \in B, j \in V \tag{2.16}$$

โดยสามารถอธิบายความหมายของสมการและอสมการของแบบจำลองข้างต้นได้ดังนี้

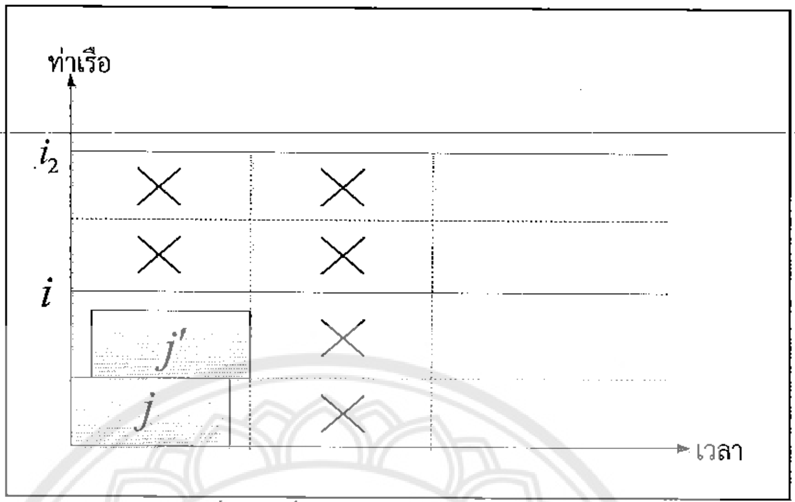
สมการที่ 2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแบบจำลองนี้คือการหาเวลารวมของการใช้บริการ (Handling time) ของเรือน้อยที่สุด เท่ากับ ผลรวมของเวลาสิ้นสุดของเรือทุกลำลบเวลาการมาถึงของเรือทุกลำ

สมการที่ 2.2 สามารถระบุได้ว่าเรือ 1 ลำ สามารถเทียบท่าได้เพียง 1 ท่าเทียบเรือและ 1 ตำแหน่งในท่าเท่านั้น ดังแสดงในรูป 2.10 ถ้าเรือลำที่ j จอด 1 แล้วจะไม่สามารถใช้บริการที่ท่าเรืออื่น



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างสมการที่ 2.2

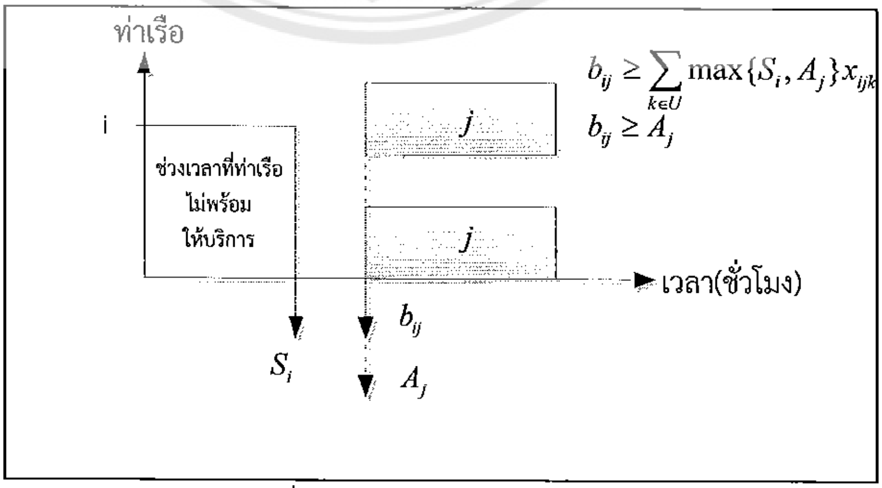
อสมการที่ 2.3 เรือทุกๆลำจะมาใช้บริการที่ท่าเทียบเรือต่างๆ ลำดับต่างๆได้เพียงลำเดียวเท่านั้น โดยท่าเทียบเรือ 1 ท่าจะมีเรือมาจอดได้ไม่เกิน 2 ลำตามข้อตกลงเบื้องต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.11



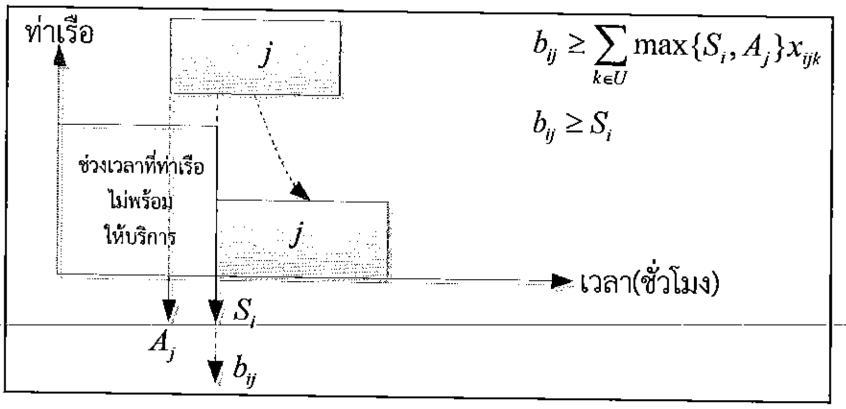
รูปที่ 2.11 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.3 ที่ท่าเทียบ i เรือ j และ j' มาใช้บริการลำดับที่ k และ k' ทำให้ x_{ijk} และ $x_{ij'k'}$ มีค่าเท่ากับ 1 ที่ท่าเทียบเรือ i_2 x_{ijk} จะมีค่าเท่ากับ 0

อสมการที่ 2.4 สามารถระบุได้ว่าเวลาเริ่มต้นของเรือที่เข้ามาใช้บริการจะต้องมากกว่าเวลาที่มากที่สุดระหว่างเวลาที่ท่าเรือว่างกับเวลาที่เรือมาถึง

เมื่อเวลาการมาถึงของเรือที่ j มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับเวลาที่ท่าเรือ i เริ่มว่าง เรือ j สามารถจอดที่ท่า i ได้ทันทีที่มาถึงดังรูปที่ 2.12 และเมื่อเวลาการมาถึงของเรือ j มีค่าน้อยกว่าเวลาที่ท่าเรือว่าง เรือ j ยังไม่สามารถจอดที่ท่า i ได้ทันทีที่มาถึงเพราะท่าเรือยังไม่พร้อมให้บริการดังรูปที่ 2.13

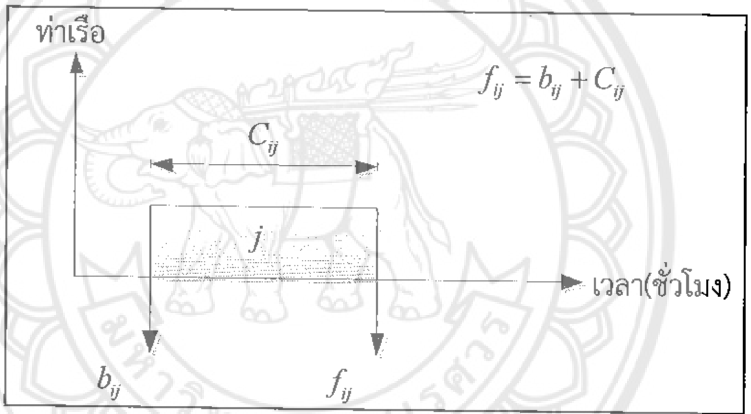


รูปที่ 2.12 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.4 การมาถึงของเรือ j สามารถเข้ารับบริการได้เลยเมื่อมาถึง



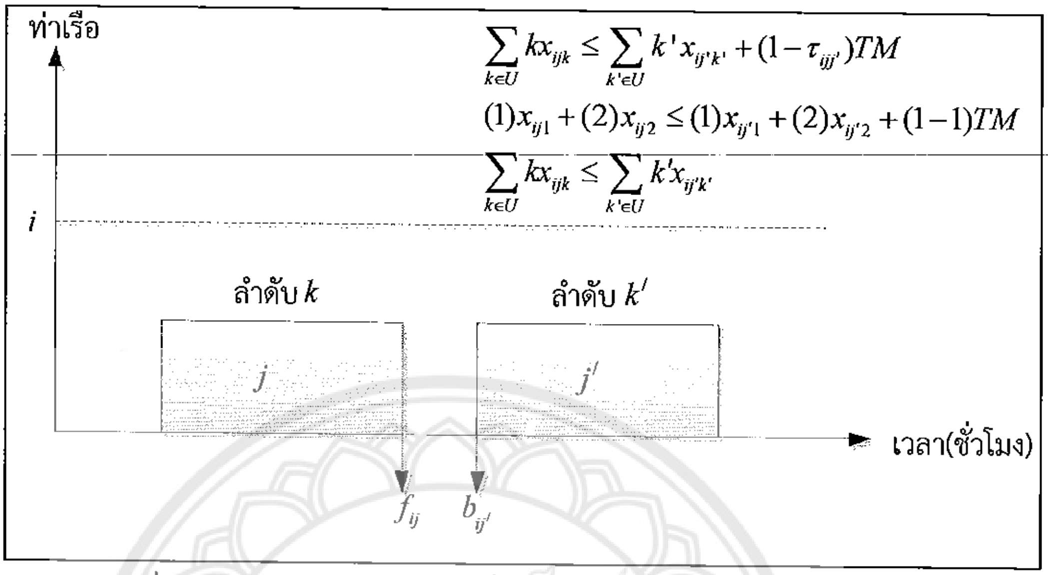
รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.4 เมื่อเรือ j มาถึงไม่สามารถเข้ารับบริการได้ทันที

สมการที่ 2.5 เป็นการกำหนดเวลาเสร็จสิ้นของการดำเนินงาน โดยเวลาเสร็จสิ้น (f_{ij}) เท่ากับเวลาเริ่มต้นการมาถึง (b_{ij}) บวกกับเวลาการที่เรือรับบริการที่ท่าเรือ (C_{ij}) ดังรูปที่ 2.14



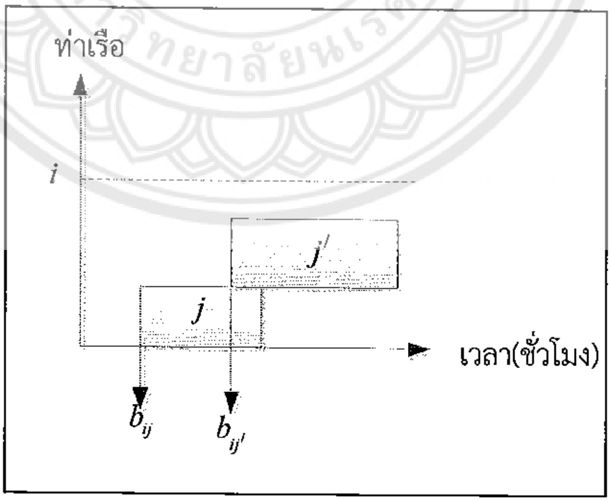
รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างสมการที่ 2.5 ช่วงเวลาที่เรือรับบริการของเรือ j ที่ท่าเรือ

อสมการที่ 2.6 สามารถระบุได้ว่าลำดับการใช้บริการของเรือลำแรก j จะมีค่าน้อยกว่าลำดับการใช้บริการของเรือลำถัดไป j' ดังรูปที่ 2.15

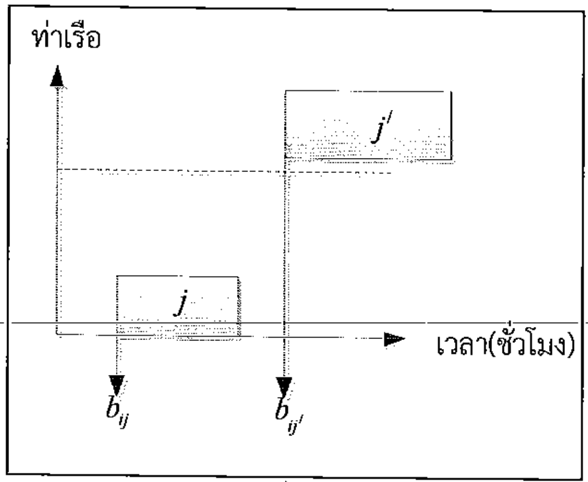


รูปที่ 2.15 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.6 ลำดับ k จะมีค่าน้อยกว่าลำดับ k'

อสมการที่ 2.7 สามารถระบุได้ว่าเวลาเริ่มต้นของเรือลำแรก (b_{ij}) จะมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาเริ่มต้นของเรือลำถัดไป($b_{ij'}$) ดังรูปที่ 2.16 และรูปที่ 2.17 ทั้ง 2 กรณีเวลาการมาถึงของเรือลำแรกน้อยกว่าเวลาการมาถึงของเรือลำถัดไป

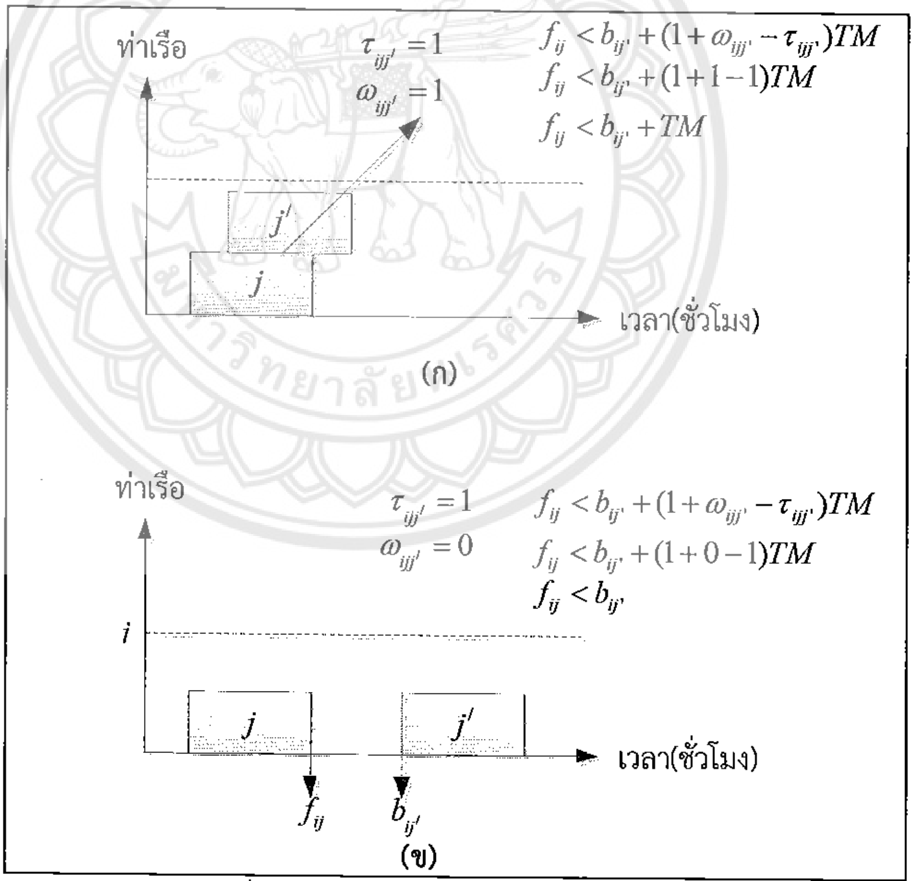


รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.7 เรือ j มาถึงพร้อมกับเรือ j'



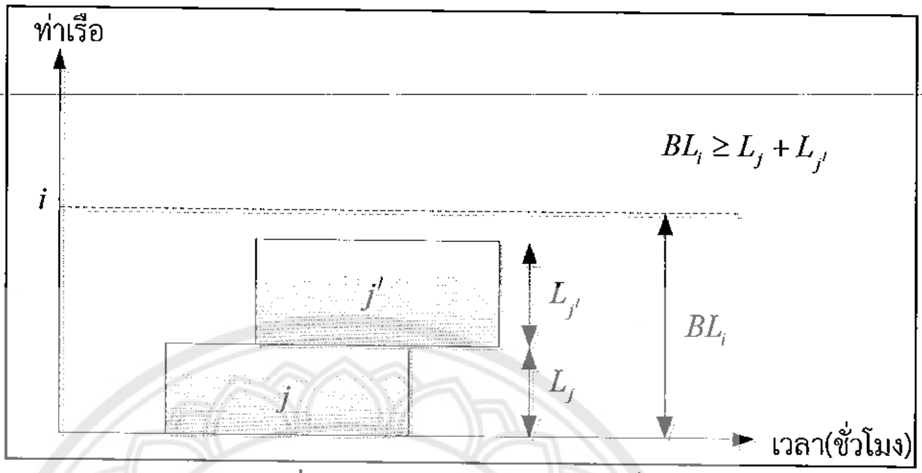
รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.7 เรือ j มาถึงไม่พร้อมกับเรือ j'

อสมการที่ 2.8 สามารถระบุได้ว่าเวลาเสร็จสิ้นของเรือลำแรกจะมีค่าน้อยกว่าเวลาเริ่มต้นของเรือลำถัดไป ดังรูปที่ 2.18 (ก) และ (ข)



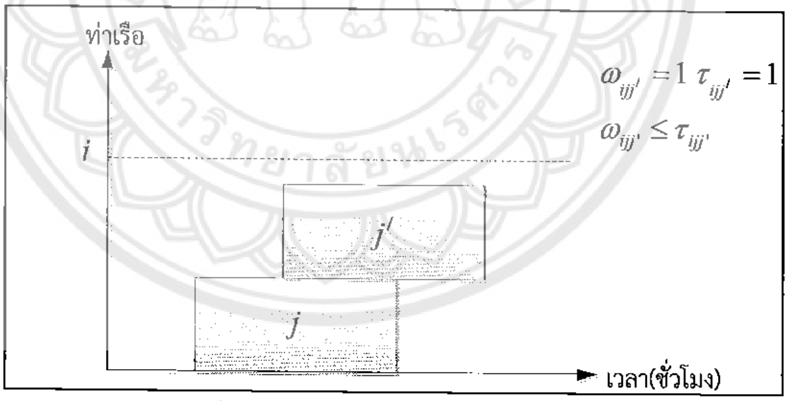
รูปที่ 2.18 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.8 (ก) เรือ j และเรือ j' มาถึงพร้อมกันแล้วเรือ j ได้รับบริการก่อนเรือ j' (ข) เรือ j และเรือ j' มาถึงไม่พร้อมกัน

อสมการที่ 2.9 สามารถระบุได้ว่าเรือสองลำสามารถจอดที่ท่าเทียบเรือเดียวกันได้ภายใต้ข้อกำหนดคือความยาวของเรือสองลำนั้นเมื่อรวมกันแล้วจะต้องไม่เกินความยาวของท่าเทียบเรือดังรูปที่ 2.19

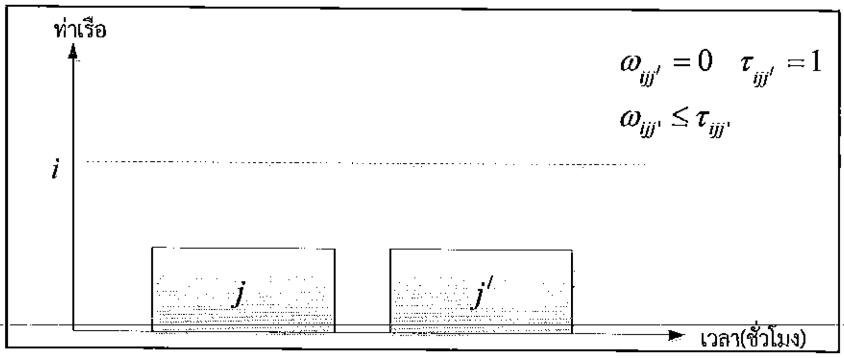


รูปที่ 2.19 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.9

อสมการที่ 2.10 ถ้าเรือ j กับเรือ j' มาใช้บริการที่ท่าเทียบเรือเดียวกันจะทับกันหรือไม่ทับกันก็ได้แบ่งได้ 3 กรณี ดังรูปที่ 2.20 และรูปที่ 2.21



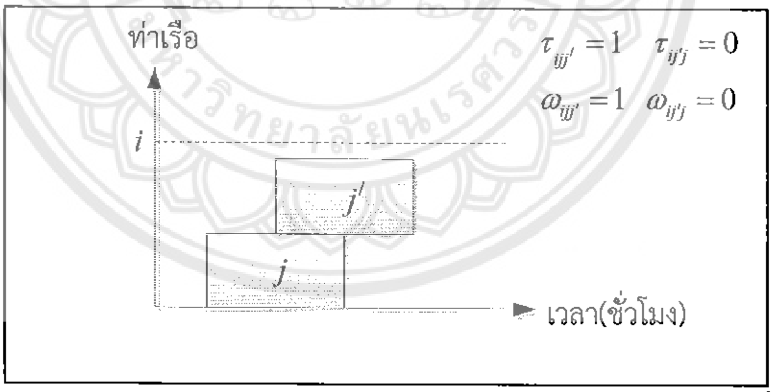
รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.10 เรือ j และ j' มาใช้บริการที่ท่าเรือเดียวกันในเวลาเดียวกัน



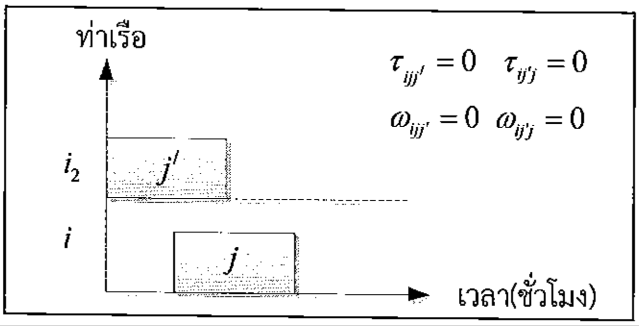
รูปที่ 2.21 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.10 เรือ j และ j' มาใช้บริการที่ท่าเรือเดียวกันในเวลาต่างกัน แล้วเรือ j ได้รับการบริการก่อนเรือ j'

กรณีอื่นที่ $\omega_{ijj'} = 0$ และ $\tau_{ijj'} = 0$ เรือ j และ j' ไม่ได้รับบริการที่ท่าเรือเดียวกัน หรืออาจมีเรือมาถึงเพียงลำเดียว หรือ j' ได้รับการบริการก่อนเรือ j เป็นต้น

อสมการที่ 2.11 สามารถระบุได้ ความหมายของตัวแปร $\tau_{ijj'}$ และ $\tau_{ij'j}$ แบ่งได้เป็น 2 กรณีคือตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีค่าเป็น 1 และอีกตัวแปรมีค่าเป็น 0 หมายถึง $\tau_{ijj'} = 1$ เรือ j มารับบริการก่อนเรือ j' มารับบริการที่ท่าเรือ i ทั้งคู่ ดังนั้น $\tau_{ij'j} = 0$ เพราะเรือ j' ไม่ได้รับบริการก่อนเรือ j หรือตัวแปรทั้งสองตัวแปรเป็น 0 ทั้งคู่หมายถึงเรือ j และเรือ j' ไม่ได้รับบริการที่ท่าเรือ i ทั้งคู่ ดังรูปที่ 2.22 และรูปที่ 2.23

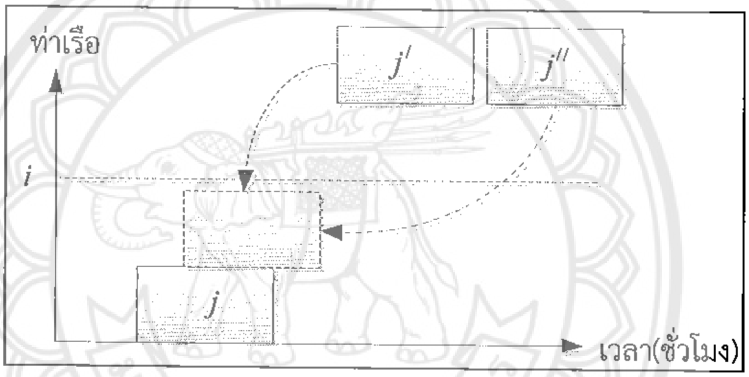


รูปที่ 2.22 แสดงตัวอย่างของอสมการ 2.11 เรือ j รับบริการก่อนเรือ j' ที่ท่าเรือ i ดังนั้น $\tau_{ijj'} = 1$ แล้ว $\tau_{ij'j} = 0$



รูปที่ 2.23 แสดงตัวอย่างของอสมการ 2.11 เรือ j และเรือ j' รับบริการที่ท่าเรือต่างกันดังนั้น $\tau_{ijj'} = 0$ แล้ว $\tau_{ij'j} = 0$

อสมการที่ 2.12 สามารถระบุได้เรือลำแรกที่มาใช้บริการสามารถจอดพร้อมกับเรือลำถัดไปลำใดก็ได้แค่เพียงลำเดียวภายในท่าเรือเดียวกันภายในท่าเรือเดียวกันดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงตัวอย่างของอสมการ 2.12 เรือ j สามารถใช้บริการพร้อมกับเรือ j' หรือ j'' ลำใดลำหนึ่งเท่านั้น

2.7 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งมีลักษณะการจอดเทียบท่าแบบผสมของ Imai et al (2006)

2.7.1 ข้อตกลงเบื้องต้นสำหรับท่าเรือแบบเว้าแหว่ง (Assumptions)

2.7.1.1 ถ้ามีเรือขนาดใหญ่มาถึง กำหนดให้เรือขนาดใหญ่ใช้บริการทันทีที่มาถึง ที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่งเท่านั้น

2.7.1.2 เรือที่อยู่ใน section 2 จะไม่สามารถออกจากท่าเทียบเรือได้หากมีเรืออยู่ใน section 1

2.7.1.3 $B*$ คือ เซตของท่าเรือแบบเว้าแหว่ง

2.7.1.4 VM คือ เซตของเรือขนาดใหญ่

2.7.2 สมการแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งที่มีลักษณะการจอดเทียบท่าแบบผสม

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{j\in V}\left\{\sum_{i\in B} f_{il} - A_i\right\} \tag{2.1}$$

Subject to (2.2)-(2.16)

$$b_{ij} = \sum_{k\in U} A_j x_{ijk} \ \ \forall i \in B^*,\ j,\in VM \tag{2.17}$$

$$b_{ij} - (\delta_{ijj'} - 1)TM > b_{ij'} + \sum_{k\in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \ \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in V \tag{2.18}$$

$$b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \geq b_{ij'} + \sum_{k\in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \ \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in V \tag{2.19}$$

$$b_{ij} \leq b_{ij'} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \ \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in V \tag{2.20}$$

$$b_{ij'} + \sum_{k\in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} - (\rho_{ijj'} - 1)TM \geq b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \ \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in V \tag{2.21}$$

$$b_{ij'} \leq b_{ij} - (\rho_{ijj'} - 1)TM \ \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in V \tag{2.22}$$

$$b_{ij'} - (\sigma_{ijj'} - 1)TM > b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \ \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in V \tag{2.23}$$

$$\frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} - 0.5 \leq \delta_{ijj'} + \phi_{ijj'} + \rho_{ijj'} + \sigma_{ijj'} \leq \frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in V \tag{2.24}$$

$$\delta_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{2.25}$$

$$\phi_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{2.26}$$

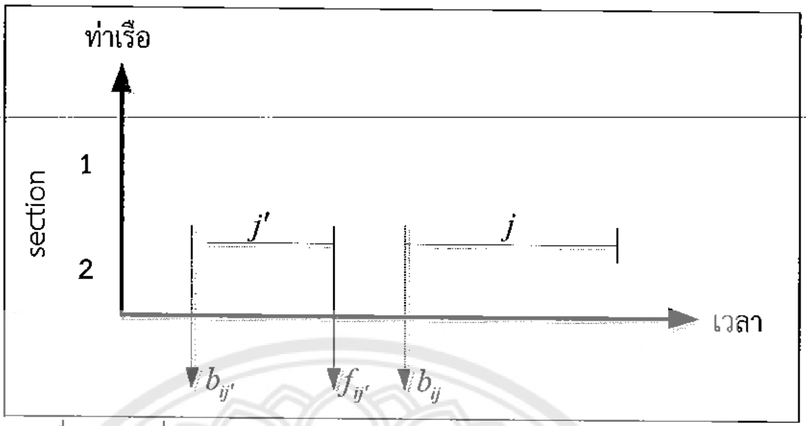
$$\rho_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{2.27}$$

$$\sigma_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{2.28}$$

$$d_{ij} \geq 0 \ \ \forall i \in B, j \in V \tag{2.29}$$

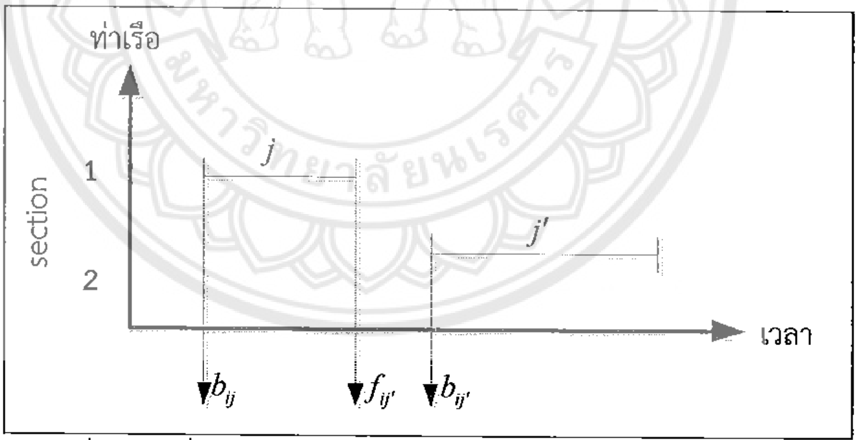
2.7.2. ตัวแปรการตัดสินใจ

2.7.2.1 $\delta_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ ถ้ามีเรือ j' รับบริการที่ Section 1 หรือ Section 2 เสร็จสิ้น ก่อนที่เรือ j จะเริ่มรับบริการ และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆดังรูปที่ 2.25



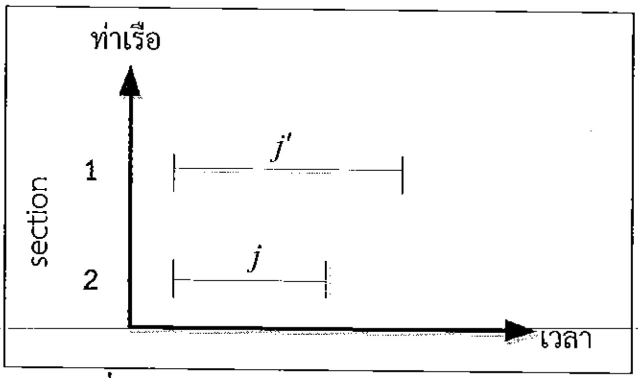
รูปที่ 2.25 สมมุติเมื่อ เวลาเริ่มต้นการให้บริการของเรือ j' ใช้บริการในท่าเรือแบบเว้าแหว่งแล้วเสร็จสิ้นแล้วออกไปจากนั้นเรือ j เริ่มใช้บริการในท่าเรือแบบเว้าแหว่งต่อ

2.7.2.2 $\sigma_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ ถ้ามีเรือ j' รับบริการที่ Section 1 หรือ Section 2 หลังจากเรือ j รับบริการเสร็จสิ้น และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น ๆดังรูปที่ 2.26



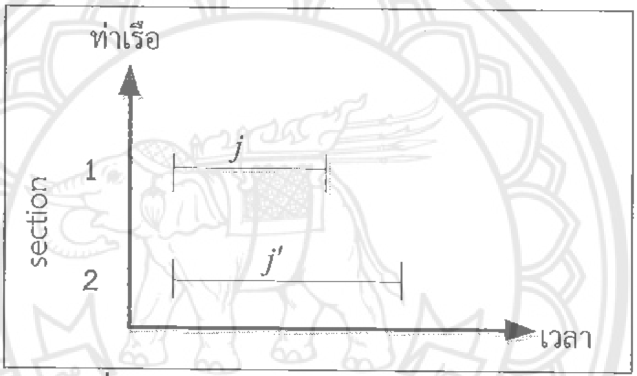
รูปที่ 2.26 สมมุติเมื่อ เวลาเริ่มต้นการให้บริการของเรือ เรือ j' ใช้บริการในท่าเรือแบบเว้าแหว่งแล้วเสร็จสิ้นแล้วออกไป จากนั้นเรือ j เริ่มใช้บริการในท่าเรือแบบเว้าแหว่งต่อ

2.7.2.3 $\phi_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ ถ้าเรือ j' รับบริการอยู่ที่ Section 1 ของท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i ในขณะที่เรือ j รับบริการอยู่ที่ Section 2 และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ ดังรูปที่ 2.27



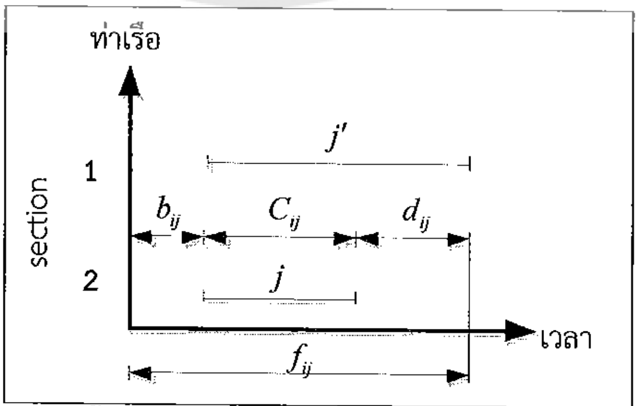
รูปที่ 2.27 แสดงตัวอย่าง $\phi_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1

2.7.2.4 $\rho_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ ถ้าเรือ j' รับบริการอยู่ที่ Section 2 ของท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i ในขณะที่เรือ j รับบริการอยู่ที่ Section 1 และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่นๆ ดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่าง $\rho_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1

2.7.2.5 d_{ij} คือ เวลาที่ต้องรอ ถ้าเรือ j ทำใน Section 2 ของท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i เนื่องจากมีเรือ j' อยู่ใน Section 1 ดังรูปที่ 2.29

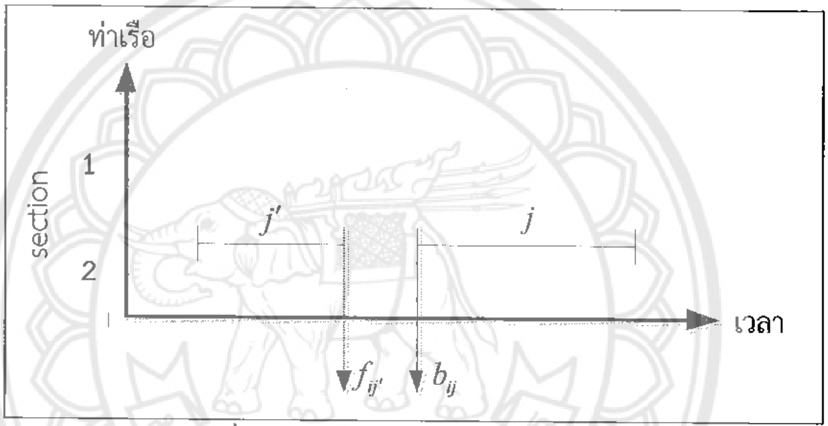


รูปที่ 2.29 เวลารอค่อยที่เกิดขึ้นหลังจากเวลาเข้ารับบริการ เวลาการขนถ่าย เป็นผลมาจากเวลาการขนถ่ายของเรือ j' ที่sectionที่ 1 จนถึงเรือ j' ออกไปจะเป็นเวลาเสร็จสิ้นของเรือ j

สมการที่ 2.17 สามารถระบุได้ว่า เวลาเริ่มต้นลำใหญ่ของเรือ j ที่จอดที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i จะเท่ากับผลรวมของเวลาการมาถึงของเรือ j ลำดับที่ k ที่ท่าเรือ i สมมุติเรือลำที่ j ไม่ถูกกำหนดให้จอดที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i แล้วจะได้ว่า $\sum_{k \in U} A_j x_{ijk} = 0$ ทำให้ $b_{ij} = 0$

แต่ถ้าเรือ j ถูกกำหนดให้จอดที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i แล้วจะได้ว่า $\sum_{k \in U} A_j x_{ijk} = 0$ ทำให้ $b_{ij} = A_j$ เรือลำใหญ่จะเข้ารับบริการทันทีที่มาถึง

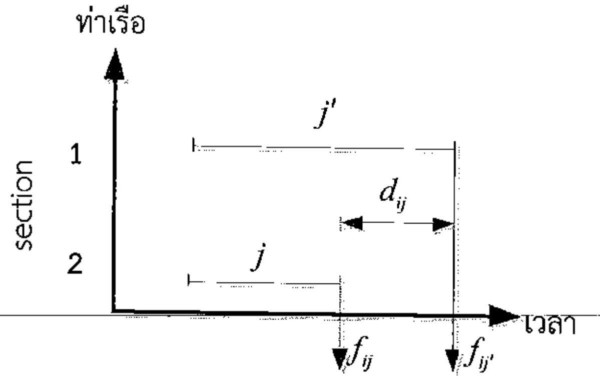
สมการที่ 2.18 สามารถระบุได้ว่า เวลาเริ่มต้นของเรือ j จะมากกว่า เวลาเสร็จสิ้นของเรือ j' เมื่อเรือ j และ j' ใช้บริการที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i สมมุติเรือลำที่ j' ทำเสร็จก่อนเรือ j เริ่มต้นและทำในท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i ทั้งคู่จะได้ว่า $\delta_{ijj'} = 1$ ทำให้ $b_{ij} > b_{ij'} + C_{ij'} + d_{ij'}$ กรณีอื่นๆ จะได้ว่า $\delta_{ijj'} = 0$ ทำให้ $b_{ij} + TM > b_{ij'} + C_{ij'} + d_{ij'}$ ดังรูปที่ 2.30



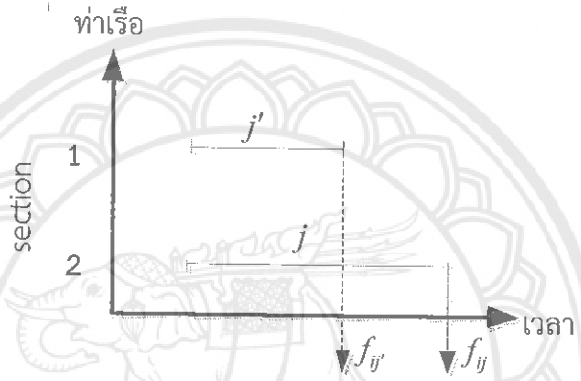
รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.18

อสมการที่ 2.19 สามารถระบุได้ว่าเวลาเสร็จสิ้นของเรือ j จะมากกว่าหรือเท่ากับเวลาเสร็จสิ้นของเรือ j' เมื่อเรือ j และ j' ใช้บริการที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i กรณีที่เรือ j' รับบริการที่ Section 1 และ เรือ j รับบริการที่ Section 2 ในท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i จะได้ว่า $\phi_{ijj'} = 1$ ทำให้ $b_{ij} + C_{ij} + d_{ij} \geq b_{ij'} + C_{ij'} + d_{ij'}$

และเป็นกรณีอื่นๆ จะได้ว่า $\phi_{ijj'} = 0$ แล้ว $b_{ij} + C_{ij} + d_{ij} + TM \geq b_{ij'} + C_{ij'} + d_{ij'}$ ดังรูปที่ 2.31



(ก) เรือ j ใช้บริการเสร็จก่อนมีเวลารอคอยเกิดขึ้น

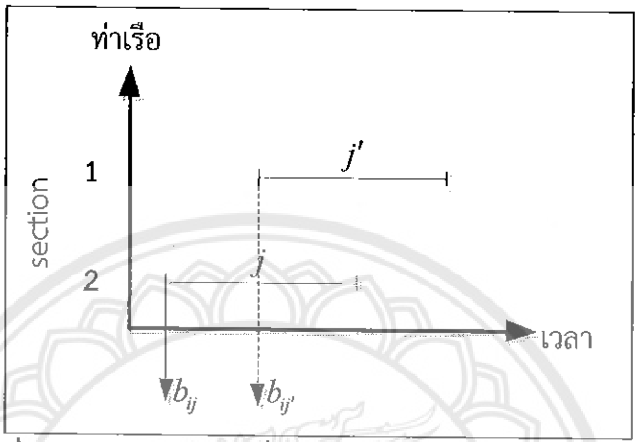


(ข) เรือ j ใช้บริการเสร็จหลังเรือ j' ไม่มีเวลารอคอยเกิดขึ้น

รูปที่ 2.31 แสดงอสมการที่ 2.19

อสมการที่ 2.20 สามารถระบุได้ว่า เวลาเริ่มต้นของเรือ j จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาเริ่มต้นของเรือ j' เมื่อเรือ j และ j' ใช้บริการที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i

กรณีที่ เรือ j' รับบริการที่ Section 1 และ เรือ j รับบริการที่ Section 2 ในท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i จะได้ว่า $\phi_{ijj'} = 1$ ทำให้ $b_{ij} \geq b_{ij'}$ เรือ j จะเข้ามารับบริการก่อนหรือพร้อมกันกับเรือ j' ได้และเป็นกรณีอื่น ๆจะได้ว่า $\phi_{ijj'} = 0$ ทำให้ $b_{ij} \geq b_{ij'} + TM$ ดังรูปที่ 2.32

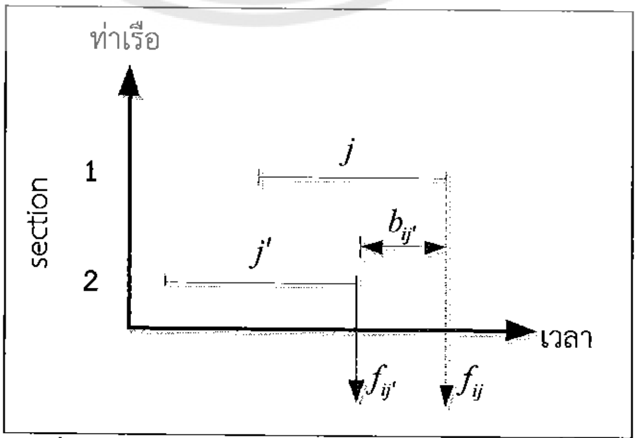


รูปที่ 2.32 แสดงอสมการที่ 2.20 เรือ j ได้รับบริการก่อนเรือ j'

อสมการที่ 2.21 สามารถระบุได้ว่า เวลาเสร็จสิ้นของเรือ j' จะมากกว่าหรือเท่ากับ เวลาเสร็จสิ้นของเรือ j เมื่อเรือ j และ j' ใช้บริการที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i

กรณีที่ เรือ j รับบริการที่ Section 1 และ เรือ j' รับบริการที่ Section 2 ในท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i จะได้ว่า $\rho_{ijj'} = 1$ ทำให้ $b_{ij'} + C_{ij'} + d_{ij'} \geq b_{ij} + C_{ij} + d_{ij}$

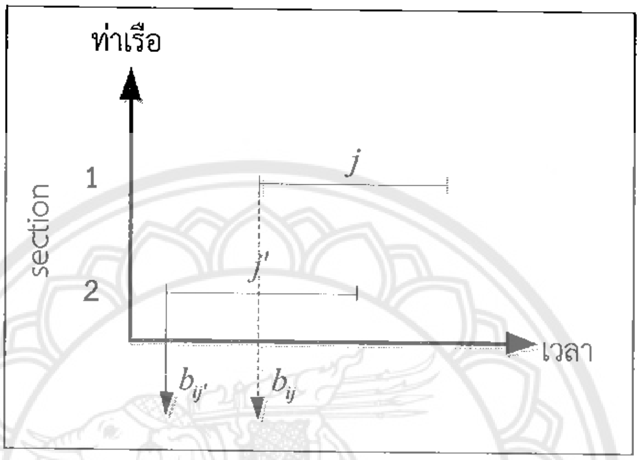
และเป็นกรณีอื่นๆจะได้ว่า $\rho_{ijj'} = 0$ แล้ว $b_{ij'} + C_{ij'} + d_{ij'} + TM \geq b_{ij} + C_{ij} + d_{ij}$ ดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 แสดงอสมการที่ 2.21 เรือ j' ขนถ่ายสินค้าเสร็จแล้วแต่ไม่สามารถออกจากท่าเรือได้จนกว่าเรือ j จะใช้บริการเสร็จ

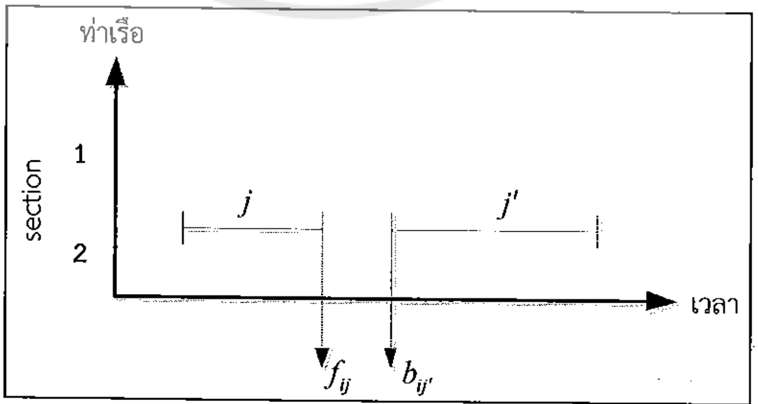
อสมการที่ 2.22 สามารถระบุได้ว่า เวลาเริ่มต้นของเรือ j' จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ เวลาเริ่มต้นของเรือ j เมื่อเรือ j และ j' ใช้บริการที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i

กรณีที่ เรือ j รับบริการที่ Section 1 และ เรือ j' รับบริการที่ Section 2 ในท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i จะได้ว่า $\rho_{ijj'} = 1$ ทำให้ $b_{ij'} \geq b_{ij}$ เรือ j' จะเข้ามารับบริการก่อนหรือพร้อมกันกับเรือ j ก็ได้ และเป็นกรณีอื่น ๆ จะได้ว่า $\rho_{ijj'} = 0$ ทำให้ $b_{ij'} \geq b_{ij} + TM$ ดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 แสดงอสมการที่ 2.22 เรือ j' ได้รับบริการก่อนเรือ j

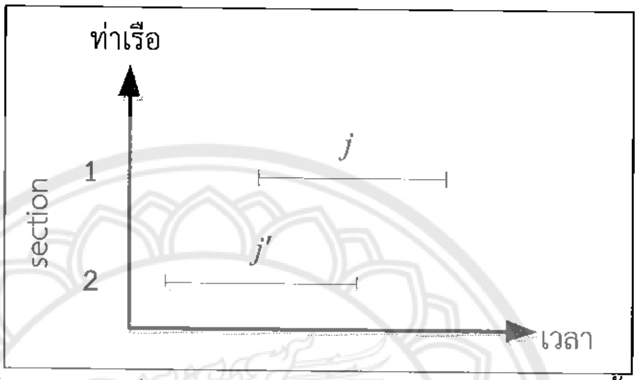
อสมการที่ 2.23 สามารถระบุได้ว่าสามารถระบุได้ว่า เวลาเริ่มต้นของเรือ j' จะมากกว่า เวลาเสร็จสิ้นของเรือ j เมื่อเรือ j และ j' ใช้บริการที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i สมมุติเรือลำที่ j ทำเสร็จก่อนเรือ j' เริ่มต้นและทำในท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i ทั้งคู่จะได้ว่า $\sigma_{ijj'} = 1$ แล้ว $b_{ij'} > b_{ij} + C_{ij} + d_{ij}$ และ กรณีอื่นๆจะได้ว่า $\sigma_{ijj'} = 0$ ทำให้ $b_{ij'} + TM > b_{ij} + C_{ij} + d_{ij}$ ดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 2.23

อสมการที่ 2.24 นี้จะเป็นเงื่อนไขที่ควบคุมให้ $\delta_{ijj'}, \phi_{ijj'}, \rho_{ijj'}, \sigma_{ijj'}$ จะมีเพียงตัวเดียวที่เป็น 1 หรือไม่ก็เป็น 0 ทั้งหมด สมมุติ เรือ j และเรือ j' จอดที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง i ทั้งคู่จะได้ว่า $\sum_{k\in U} x_{ijk} = 1$ และ $\sum_{k\in U} x_{ij'k} = 1$

ทำให้ $0.5 \le \delta_{ijj'} + \phi_{ijj'} + \rho_{ijj'} + \sigma_{ijj'} \le 1$ $\delta_{ijj'}, \phi_{ijj'}, \rho_{ijj'}, \sigma_{ijj'}$ ตัวใดตัวหนึ่งเท่านั้นที่มีค่าเป็น 1 จะเป็น 0 ทั้งหมดไม่ได้เช่นดังรูปที่ 2.36



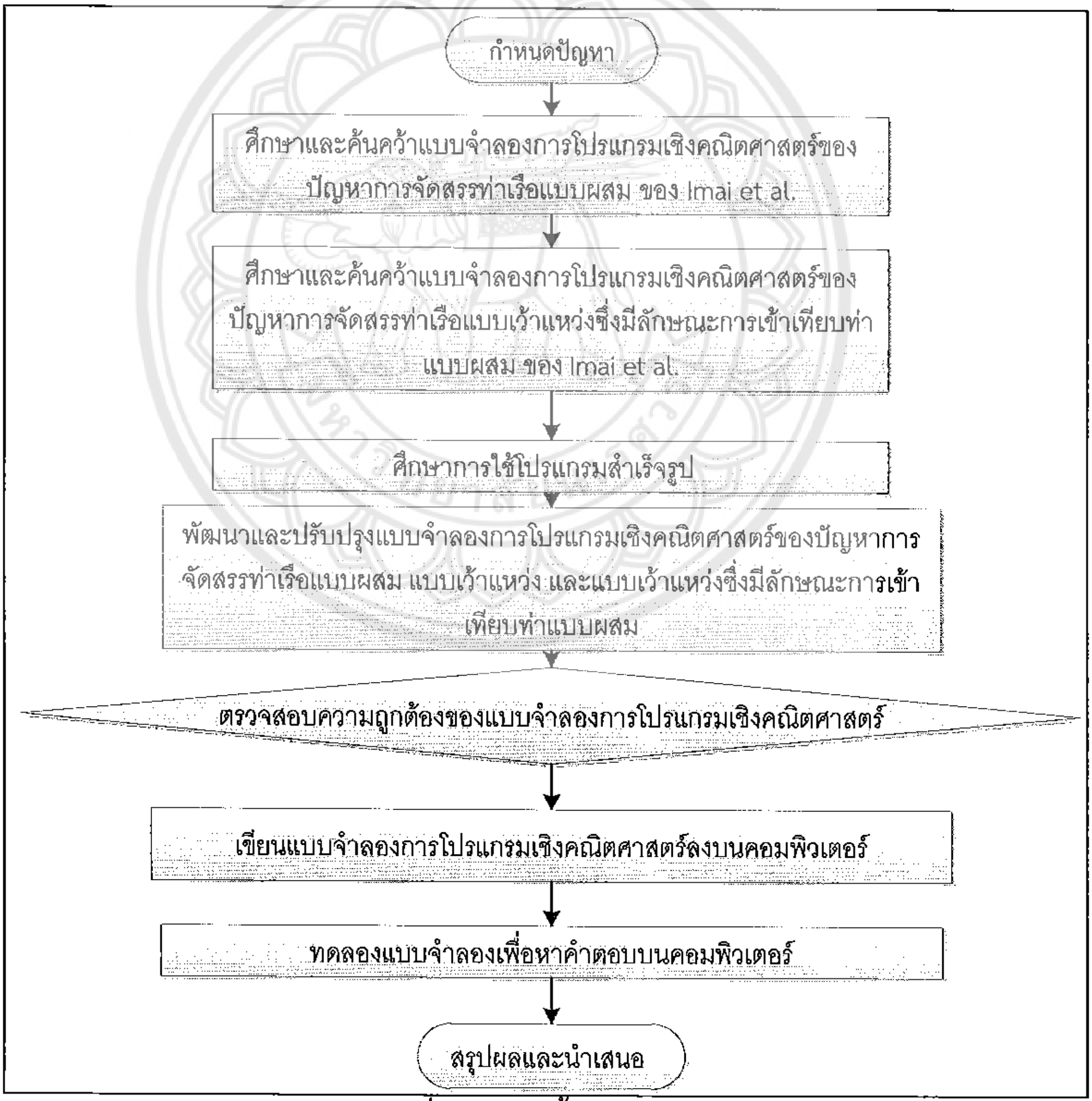
รูปที่ 2.36 $\rho_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 $\delta_{ijj'}, \phi_{ijj'}, \sigma_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 0 ทั้งหมด

กรณีถ้าเรือ j หรือไม่ก็ j' มีเพียง 1 ลำ ที่จอดที่ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง i แล้ว เรืออีกลำจอดที่ท่าเทียบเรืออื่นจะได้ว่า $\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k}) = 1$ ทำให้ $0 \le \delta_{ijj'} + \phi_{ijj'} + \rho_{ijj'} + \sigma_{ijj'} \le 0.5$ $\delta_{ijj'}, \phi_{ijj'}, \rho_{ijj'}, \sigma_{ijj'}$ จะเป็น 0 ทั้งหมด

กรณีที่ไม่มีเรือลำไหนเลยมาจอดที่ท่าเทียบเรือเรือแบบเว้าแหว่ง i จะได้ว่า $\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k}) = 0$ ทำให้ $-0.5 \le \delta_{ijj'} + \phi_{ijj'} + \rho_{ijj'} + \sigma_{ijj'} \le 0$ แล้ว $\delta_{ijj'}, \phi_{ijj'}, \rho_{ijj'}, \sigma_{ijj'}$ จะเป็น 0 ทั้งหมด

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัยของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม มีวิธีการดำเนินงาน เริ่มจากการศึกษาและค้นคว้าแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์จากงานวิจัยของ Imai et al. (2006) และทำการศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป แล้วพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ หลังจากนั้นก็ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ เมื่อตรวจสอบแล้ว จึงทำการเขียนแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ลงบนคอมพิวเตอร์และทดลองแบบจำลองเพื่อหาคำตอบบนคอมพิวเตอร์เพื่อใช้หาผลลัพธ์ของแบบจำลองแล้วจึงทำการสรุปผลดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการวิจัย

3.1 ศึกษาและค้นคว้าแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม ของ Imai et al. (2006)

ศึกษาแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม จากงานวิจัยของ Imai et al. (2006) ในหัวข้อ 2.6

3.2 ศึกษาและค้นคว้าแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่ง ซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม ของ Imai et al. (2006)

ศึกษาแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่ง ซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม จากงานวิจัยของ Imai et al. (2006) ในหัวข้อ 2.7

3.3 ศึกษาการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

ศึกษาค้นคว้ารายละเอียดของวิธีการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

3.4 พัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหา

พัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาของการจัดสรรท่าเรือแบบผสม แบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสมโดยละเอียด

3.5 ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ว่าครบถ้วนและถูกต้องหรือไม่

3.6 เขียนแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ลงบนคอมพิวเตอร์

3.6.1 เขียนแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ที่ลงบนโปรแกรมสำเร็จรูป

3.6.2 ตรวจสอบความสมบูรณ์และความถูกต้องของแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ก่อนการทดลองหาคำตอบ

3.7 ทดลองแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์เพื่อหาคำตอบบนคอมพิวเตอร์

3.7.1 ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป หาคำตอบของแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์บนคอมพิวเตอร์

3.7.2 ตรวจสอบ หากพบข้อผิดพลาดระหว่างการดำเนินการหาคำตอบบนโปรแกรมสำเร็จรูป ดำเนินการแก้ไขปรับปรุงแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด

3.8 สรุปผลและนำเสนอ

หลังจากการประมวลผลโดยใช้คอมพิวเตอร์แล้ว นำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผล นำเสนอผลลัพธ์และข้อสรุปต่างๆ ต่อคณะกรรมการคุมสอบโครงงานวิศวกรรมศาสตร์

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดลำดับการเทียบท่าเรือแบบผสม แบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบผสม โดยแสดงผลของ Imai et al. (2006) และของผู้วิจัยเปรียบเทียบกัน

4.1 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมของ Imai et al. (2006)

4.1.1 ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumptions)

4.1.1.1 เวลาในการรับบริการ (Handing time) ถูกกำหนดโดยท่าเรือ

4.1.1.2 กำหนดให้ท่าเรือ 1 ท่า สามารรับบริการเรือได้สูงสุดไม่เกิน 2 ลำ แบบผสมที่ 2 โดยความยาวของเรือจะต้องไม่เกินความยาวของท่าเทียบเรือ ณ เวลาใดๆ

4.1.1.3 ไม่มีการจัดลำดับการเข้าจอดของเรือที่เข้ามาจอดในท่าเรือเดียวกัน เช่น เรือที่มาถึงก่อนไม่จำเป็นจะต้องจอดก่อน

4.1.1.4 ท่าเทียบเรือทุกท่ามีความลึกของน้ำเท่ากัน

4.1.1.5 เรือ 1 ลำจะเทียบท่าเรือได้เพียง 1 ท่าเทียบเรือเท่านั้น ณ เวลาใดๆ

ในปัญหาของ Imai et al. (2006) ได้พิจารณาขนาดเรือเพียงสองขนาด คือ เรือขนาดเล็ก และขนาดใหญ่เท่านั้น แล้วลักษณะการจอดแบบผสมเป็นลักษณะที่ 2 เท่านั้น ตามหัวข้อที่ 2.2.1.3 ในบทที่ 2

4.1.2 สมการแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสม

Minimize $$Z = \sum_{j \in V} \left\{ \sum_{i \in B} f_{il} - A_i \right\} \quad (4.1)$$

Subject to

$$\sum_{i \in B} \sum_{k \in U} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \quad (4.2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} \le 1 \quad \forall i \in B, k \in U \quad (4.3)$$

$$b_{ij} \ge \sum_{k \in U} \max\{S_i, A_j\} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \quad (4.5)$$

$$f_{ij} = b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \quad (4.6)$$

$$\sum_{k \in U} k x_{ijk} \ge \sum_{k' \in U} k' x_{ij'k'} + (\tau_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \quad (4.7)$$

$$b_{ij} \le b_{ij'} + (1 - \tau_{ijj'})TM \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \quad (4.8)$$

$$f_{ij} < b_{ij'} + (1 + \omega_{ijj'} - \tau_{ijj'})TM \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \quad (4.9)$$

$$\omega_{ijj'}(L_j + L_{j'}) \leq BL_i \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.10}$$

$$\omega_{ijj'} \leq \tau_{ijj'} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.11}$$

$$\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k} - 1) \leq \tau_{ijj'} + \tau_{ij'j} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.12}$$

$$\sum_{j'} \omega_{ijj'} \leq 1 \quad \forall i \in B, j \in V \tag{4.13}$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in U \tag{4.36}$$

$$\tau_{ijj'} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.37}$$

$$\omega_{ijj'} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.38}$$

$$b_{ij} \geq 0, f_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V \tag{4.39}$$

4.1.3 ผลการทดลองแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมของ Imai et al. (2006)

ลักษณะของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม ค่าตัวแปร A_j, b_{ij}, C_{ij}, L_j ทำการสุมค่า แล้วความยาวเรือมี 2 ขนาดคือ 700,300 และขนาดของท่าเทียบเรือเท่ากับ 700 แล้วใช้โปรแกรมสำเร็จรูปประมวลผล Solver 1 ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.1,4.2,4.3,4.4,4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.1 แสดงตำแหน่งการรับบริการของเรือแต่ละลำในท่าเทียบเรือที่ 1 (ค่าของ $x_{ijk} = 1$ คือเรือมารับบริการ เป็น 0 คือ ไม่มีเรือมารับบริการ ณ ลำดับการให้บริการนั้น)

$x_{(i1,j,k)}$		ลำดับการให้บริการ (k)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรือ (j)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.2 แสดงตำแหน่งการรับบริการของเรือแต่ละลำในท่าเทียบเรือที่ 2 (ค่าของ $x_{ijk}=1$ คือเรือมารับบริการ เป็น 0 หรือไม่มีเรือมารับบริการ ณ ลำดับการให้บริการนั้น)

$x_{(i2,j,k)}$		ลำดับการให้บริการ (k)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรือ (j)	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าของ $\tau_{1jk}=1$ คือ เรือ j มารับบริการก่อนเรือ j' ในท่าเทียบเรือที่ 1

$\tau_{(i1,j,k)}$		ลำดับการให้บริการ (k)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรือ (j)	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าของ $\tau_{2jk} = 1$ คือ เรือ j มารับบริการก่อนเรือ j' ในท่าเทียบเรือที่ 2

$\tau_{(i2,j,k)}$		ลำดับการให้บริการ (k)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรือ (j)	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
	8	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
	9	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1
	10	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าของ ω_{ijk} ของท่าเทียบเรือ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 0 **ทั้งหมด**

$\omega_{(i,j,k)}$		ลำดับการให้บริการ (k)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรือ (j)	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.6 แสดงเวลาการมาถึง เวลาเริ่มรับบริการ เวลาขนถ่าย และเวลาเสร็จสิ้นของเรือแต่ละลำ

เรือ	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มรับบริการ(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(f_{ij})
1	9	10	6	16
2	2	2	1	3
3	5	20	8	28
4	2	3	10	13
5	9	16	7	23
6	6	13	7	20
7	1	2	8	10
8	7	7	3	10
9	1	1	1	2
10	2	2	3	5

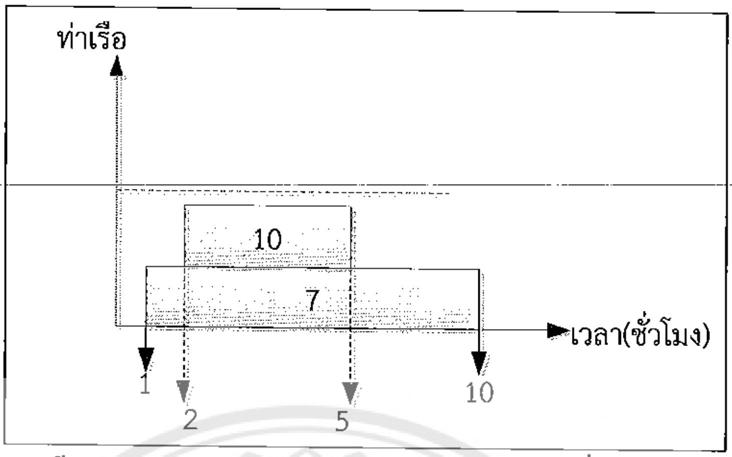
4.1.4 **วิเคราะห์ผลการประมวลผลแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม**ของ Imai et al. (2006)

4.1.4.1 ค่า x_{ijk} แสดงว่า เมื่อมีเรือ j มาใช้บริการที่ท่า i ลำดับที่ k แล้ว ลำดับการมาถึงของเรือ มาไม่เป็นลำดับการให้บริการ เช่น จากตารางที่ 4.1 ค่าของ $x_{142}=1$ คือเรือลำที่ 4 มาใช้บริการลำดับที่ 2 ในท่าเทียบเรือที่ 1 แล้วค่าของ $x_{164}=1$ คือเรือลำที่ 6 มาใช้บริการลำดับที่ 4 ในท่าเทียบเรือที่ 1 จะเห็นได้ว่าไม่มีลำดับการให้บริการที่ 3 ซึ่งไม่ถูกต้องตามความเป็นจริงดังรูปที่ 4.1

x_{ijk}		ลำดับการให้บริการ			
		1	2	3	4
เรือ	3	0	0	0	0
	4	0	1	0	0
	5	0	0	0	0
	6	0	0	0	1
	7	0	0	0	0

รูปที่ 4.1 แสดงค่า x_{ijk} ที่ไม่ถูกต้อง

4.1.4.2 ค่าตัวแปร $\omega_{ijj'}$ มีค่าไม่ถูกต้องเช่น $\omega_{2,7,10}=0$ แต่เมื่อดูจากค่าของเวลาเริ่มรับบริการแล้ว เรือลำที่ 10 กับเรือลำที่ 7 $\omega_{2,7,10}=1$ ค่าของดังแสดงรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการมารับบริการของเรือลำที่ 7 และ 10

4.1.4 สมการแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือ**แบบผสมของผู้วิจัย** (ปรับปรุงจากแบบจำลองของ Imai et al.2006)

$$\text{Minimize} \quad Z=\sum_{j\in V}\left\{\sum_{i\in B} f_{ij}-A_j\right\} \tag{4.1}$$

Subject to

$$\sum_{i\in B}\sum_{k\in U} x_{ijk}=1 \quad \forall j\in V \tag{4.2}$$

$$\sum_{j\in V} x_{ijk}\le 1 \quad \forall i\in B, k\in U \tag{4.3}$$

$$\sum_{j\in V} x_{ijk}\ge \sum_{j\in V} x_{ijk+1} \quad \forall i\in B, k\in Max\,U \tag{4.4}$$

$$b_{ij}\ge \sum_{k\in U}\max\{S_i,A_j\}x_{ijk} \quad \forall i\in B, j\in V \tag{4.5}$$

$$f_{ij}=b_{ij}+\sum_{k\in U} C_{ij}x_{ijk} \quad \forall i\in B, j\in V \tag{4.6}$$

$$\sum_{k\in U} kx_{ijk}\le \sum_{k'\in U} k'x_{ij'k'}+(1-\tau_{ijj'})TM \quad \forall i\in B,\ \ j,j'\in V \tag{4.7}$$

$$b_{ij}\le b_{ij'}+(1-\tau_{ijj'})TM \quad \forall i\in B,\ \ j,j'\in V \tag{4.8}$$

$$f_{ij}<b_{ij'}+(1+\omega_{ijj'}-\tau_{ijj'})TM \quad \forall i\in B,\ \ j,j'\in V \tag{4.9}$$

$$\omega_{ijj'}(L_j+L_{j'})\le BL_i \quad \forall i\in B,\ \ j,j'\in V \tag{4.10}$$

$$\omega_{ijj'}\le \tau_{ijj'} \quad \forall i\in B,\ \ j,j'\in V \tag{4.11}$$

$$\sum_{k\in U}(x_{ijk}+x_{ij'k})-1\le\tau_{ijj'}+\tau_{ij'j}\le\frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk}+x_{ij'k})}{2}\quad\forall i\in B,\ \ j,j'\in V \tag{4.12}$$

$$\sum_{j'}\omega_{ijj'}\le 1\quad\forall i\in B, j\in V \tag{4.13}$$

$$x_{ijk}\in\{0,1\}\quad\forall i\in B, j\in V, k\in U \tag{4.36}$$

$$\tau_{ijj'}\in\{0,1\}\quad\forall i\in B,\ \ j,j'\in V \tag{4.37}$$

$$\omega_{ijj'}\in\{0,1\}\quad\forall i\in B,\ \ j,j'\in V \tag{4.38}$$

$$b_{ij}\ge 0, f_{ij}\ge 0\quad\forall i\in B, j\in V \tag{4.39}$$

ความหมายของแต่ละสมการจะเหมือนกับที่กล่าวมาในบทที่ 2 หัวข้อ 2.6.2.4 ซึ่งสมการแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมของผู้วิจัยมีส่วนที่ทำการปรับปรุงดังนี้

4.1.5 ส่วนที่ปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มเติม

จากหัวข้อที่ 4.1.4 ที่กล่าวมานั้นทางผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของ Imai et al.(2006) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงส่วนที่ปรับปรุงของสมการ

สมการที่	Imai et al.2006	ผู้วิจัย
4.7	$\sum_{k\in U}kx_{ijk}\ge\sum_{k'\in U}k'x_{ij'k'}+(\tau_{ijj'}-1)TM$ $\forall i\in B,\ j,j'\in V$	$\sum_{k\in U}kx_{ijk}\le\sum_{k'\in U}k'x_{ij'k'}+(1-\tau_{ijj'})TM$ $\forall i\in B,\ j,j'\in V$
4.12	$\sum_{k\in U}(x_{ijk}+x_{ij'k}-1)\le\tau_{ijj'}+\tau_{ij'j}\le\frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk}+x_{ij'k})}{2}$ $\forall i\in B,\ j,j'\in V$	$\sum_{k\in U}(x_{ijk}+x_{ij'k})-1\le\tau_{ijj'}+\tau_{ij'j}\le\frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk}+x_{ij'k})}{2}$ $\forall i\in B,\ j,j'\in V$
4.4	-	$\sum_{j\in V}x_{ijk}\ge\sum_{j\in V}x_{ijk+1}\ \forall i\in B, k\in Max\,U$

4.1.5.1 อธิบายเงื่อนไขของ Imai et al.(2006) และ ผู้วิจัย

สมการที่ 4.7 $\sum_{k\in U}kx_{ijk}\ge\sum_{k'\in U}k'x_{ij'k'}+(\tau_{ijj'}-1)TM\ \forall i\in B,\ j,j'\in V$ ของ Imai et al.(2006) นั้นไม่สมเหตุสมผลเพราะ $\tau_{ijj'}$ แสดงลำดับการให้บริการว่าเรือ j รับบริการก่อนเรือ j' ในท่าเทียบเรือเดียวกัน จะสังเกตได้ว่าลำดับการให้บริการของเรือ j จะมีค่ามากกว่าลำดับการให้บริการของเรือ j' ไม่ได้

สมการที่ 4.12 กำหนดความหมายของตัวแปร $\tau_{ijj'}$ และ $\tau_{ij'j}$ ตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งมีค่าเป็น 1 และอีกตัวแปรมีค่าเป็น 0 หรือเป็น 0 ทั้งคู่

$$\sum_{k\in U}(x_{ijk}+x_{ij'k}-1)\leq\tau_{ijj'}+\tau_{ij'j}\leq\frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk}+x_{ij'k})}{2}\ \forall i\in B,\ j,j'\in V$$

จะพบว่ายิ่งมีเรือมาใช้บริการมากขึ้นจะทำให้พจน์ $\sum_{k\in U}(x_{ijk}+x_{ij'k}-1)$ จะติดลบมากขึ้นไปเรื่อยๆ ไม่ถูกต้องตามความหมายของตัวแปร x_{ijk} ที่จะมีค่าเป็น 0 และ 1 เท่านั้น

จากการประมวลผลแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ ของ Imai แล้ว พบว่า Imai นั้น ไม่มี สมการที่เป็นตัวกำหนดว่าภายในท่าเทียบเรือเดียวกัน ลำดับการให้บริการ ต้องมีลำดับการให้บริการของเรือที่เรียงต่อกัน ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่า ลำดับการให้บริการของเรือ ภายในท่าเทียบเรือเดียวกันนั้นจะไม่เรียงต่อกัน

$$\sum_{j\in V}x_{ijk}\geq\sum_{j\in V}x_{ijk+1}\ \forall i\in B,k\in Max\,U$$

ดังนั้นสมการ 4.4 นี้จึงเป็นตัวกำหนดว่า ภายในท่าเทียบเรือเดียวกันเรือที่มาเทียบท่าลำดับที่ $k+1$ ได้นั้นจะต้องมีลำดับที่ k ก่อนหน้า

4.1.6 ผลการทดลองแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบผสมของผู้วิจัย

4.1.6.2 ลักษณะของปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม ค่าตัวแปร A_j, b_{ij}, C_{ij}, L_j ทำการสุ่มค่า แล้วความยาวเรือมี 2 ขนาดคือ 700 เมตร,300 เมตร และขนาดของท่าเทียบเรือเท่ากับ 700เมตร แล้วใช้โปรแกรมสำเร็จรูปประมวลผล Solver 2 ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงขนาดโจทย์ปัญหาที่จะใช้ในการประมวลผลของผู้วิจัย

ขนาดโจทย์ปัญหา	จำนวนท่าเทียบเรือ	จำนวนเรือ
เล็ก	3	7
	3	10
	4	12
กลาง	5	17
	6	25
	7	27
ใหญ่	9	30
	10	35
	10	37

หลังจากปรับปรุงแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของ Imai et al. (2006) แล้วได้นำแบบจำลองคณิตศาสตร์มาทำการประมวลผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปกับปัญหาขนาดต่างๆดังนี้

4.1.7 ปัญหาขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.9 แสดงเวลาการประมวลผลปัญหาขนาดเล็ก

ขนาดปัญหา	Solver	จำนวนครั้งที่สุ่มและเวลาที่ใช้ (นาที)					ค่าเฉลี่ย	SD
		1	2	3	4	5		
3 ท่า 7 ลำ	1	0.011	0.012	0.020	0.024	0.031	0.020	0.008
	2	0.009	0.019	0.014	0.014	0.014	0.014	0.004
3 ท่า 10 ลำ	1	0.188	0.285	0.139	0.203	0.449	0.253	0.122
	2	0.247	0.276	0.272	0.313	0.146	0.251	0.063
4 ท่า 12 ลำ	1	0.434	0.475	0.939	0.198	0.495	0.508	0.27
	2	0.306	0.385	0.291	0.192	0.617	0.358	0.160

จากตารางที่ 4.9 พบว่า เวลาเฉลี่ยจากการประมวลผลของ Solver 1 และ Solver 2 ไม่ค่อยมีความแตกต่างกันมาก เนื่องจากเป็นปัญหาขนาดเล็ก ใช้เวลาในการประมวลผลเร็ว ส่วนค่า มีความแปรปรวน (SD) มาก เนื่องจากโจทย์ปัญหาแต่ละโจทย์มีความซับซ้อนและไม่เหมือนกัน

4.1.8 ปัญหาขนาดกลาง

ตารางที่ 4.10 แสดงเวลาการประมวลผลปัญหาขนาดกลาง

ขนาดปัญหา	Solver	จำนวนครั้งที่สุ่มและเวลาที่ใช้ (นาที)					ค่าเฉลี่ย	SD
		1	2	3	4	5		
5 ท่า 17 ลำ	1	2.238	5.754	Ran Out of Memory	14.953	1.380	6.081	6.210
	2	2.202	6.823	47.398	3.438	3.242	12.620	19.519
6 ท่า 25 ลำ	1	98.670	335.903	59.353	Ran Out of Memory	157.705	162.908	122.208
	2	16.897	17.294	63.119	314.612	21.555	86.695	128.873
7 ท่า 27 ลำ	1	51.464	503.868	475.832	Ran Out of Memory	Ran Out of Memory	343.721	253.490
	2	13.392	77.376	46.167	76.753	126.146	67.967	41.845

จากตารางที่ 4.10 พบว่า เวลาจากการประมวลผลของ Solver 1 และ Solver 2 เริ่มมีความแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า เวลาส่วนใหญ่แล้ว Solver 2 จะใช้เวลาในการประมวลผลเร็วกว่า Solver 1 และ โจทย์ปัญหาที่ใช้ Solver 1 ในการประมวลผลแล้ว พบว่าบางโจทย์ปัญหา Ran Out of Memory (หน่วยความจำไม่เพียงพอต่อการประมวลผล) แต่โจทย์ปัญหาที่ใช้ Solver 2 ในการประมวลผลจะสามารถประมวลผลและสามารถหาคำตอบออกมาได้ เช่น โจทย์ที่มีท่าเรือ 7 ท่า เรือ 27 ลำ ในโจทย์ปัญหาที่ 4 และ 5 จะแสดงค่า Ran Out of Memory แต่ โจทย์ปัญหาที่ใช้ Solver 2 จะสามารถหาคำตอบได้

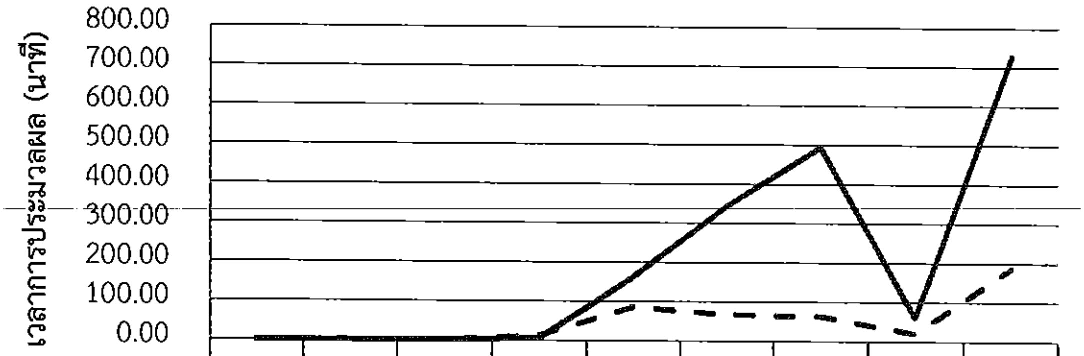
4.1.9 ปัญหาขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.11 แสดงเวลาการประมวลผลปัญหาขนาดใหญ่

ขนาดปัญหา	Solver	จำนวนครั้งที่สุ่มและเวลาที่ใช้ (นาที)					ค่าเฉลี่ย	SD
		1	2	3	4	5		
8 ท่า 30 ลำ	1	94.466	885.063	989.737	126.586	375.612	494.293	420.512
	2	25.477	144.626	74.312	31.732	41.894	63.608	49.041
10 ท่า 35 ลำ	1	144.321	16.559	33.905	47.845	69.724	62.471	49.724
	2	45.294	11.003	11.929	20.888	17.455	21.314	14.005
10 ท่า 37 ลำ	1	160.385	638.732	315.350	1628.348	894.500	727.461	578.529
	2	15.188	154.804	239.517	281.282	242.317	186.621	106.375

จากตารางที่ 4.11 พบว่า เวลาเฉลี่ยจากการประมวลผลของ Solver 1 และ Solver 2 มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ในด้านของเวลาที่ใช้ประมวลผล จะเห็นได้ว่า โจทย์ปัญหาที่ใช้ Solver 2 ในการประมวลผลจะมีเวลาเฉลี่ย น้อยกว่า โจทย์ปัญหาที่ใช้ Solver 1 เช่น โจทย์ปัญหาที่มีท่าเรือ 8 ท่า เรือ 30 ลำ เวลาเฉลี่ยของ Solver 1 จะใช้เวลาประมาณ 494.293 นาที และ Solver 2 จะใช้เวลาประมาณ 63.608 นาที ในการประมวลผล ส่วนค่า เบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) มีความแปรปรวนมาก เนื่องจากโจทย์ปัญหาแต่ละโจทย์มีความซับซ้อนและไม่เหมือนกัน

4.1.10 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการประมวลผล



	3 ท่า 7 ลำ	3 ท่า 10 ลำ	4 ท่า 12 ลำ	5 ท่า 17 ลำ	6 ท่า 25 ลำ	7 ท่า 27 ลำ	8 ท่า 30 ลำ	10 ท่า 35 ลำ	10 ท่า 37 ลำ
Solve 1	0.02	0.25	0.51	6.08	162.91	343.72	494.29	62.47	727.46
Solve 2	0.45	0.25	0.36	12.62	86.70	67.97	63.61	21.31	186.62

รูปที่ 4.3 แสดงกราฟการประมวลผลปัญหาการเทียบท่าแบบผสม

จากรูปที่ 4.3 พบว่า โจทย์ปัญหาที่ใช้ Solver 2 ในการประมวลผลนั้น ใช้เวลาเฉลี่ยน้อยกว่าโจทย์ปัญหาที่ใช้ Solver 1 ในการประมวลผล และจากเส้นกราฟที่แสดง พบว่า โจทย์ที่ใช้ Solver 1 ในการประมวลผลนั้น โจทย์ที่มีขนาดใหญ่กว่าบางปัญหา เช่นโจทย์ที่มี ท่าเรือ 10 ท่า เรือ 35 ลำ ใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 62.47 นาที ซึ่งใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า โจทย์ที่มีขนาดเล็กกว่า เช่น ท่าเรือ 8 ท่า เรือ 30 ลำ ใช้เวลาการประมวลผลประมาณ 494.2 นาที ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า เวลาที่ใช้ในการประมวลผลอาจขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโจทย์ด้วย

4.2 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งของ Imai et.al. (2006)

4.2.1 ข้อตกลงเบื้องต้นสำหรับท่าเรือแบบเว้าแหว่ง (Assumptions)

4.2.1.1 ถ้ามีเรือขนาดใหญ่มาถึง กำหนดให้เรือขนาดใหญ่ใช้บริการทันทีที่มาถึงที่ท่าเรือแบบเว้าแหว่งเท่านั้น

4.2.1.2 เรือที่อยู่ใน section 2 จะไม่สามารถออกจากท่าเทียบเรือได้หากมีเรืออยู่ใน section 1

4.2.1.3 เรือมี 2 ขนาดคือขนาดใหญ่ และขนาดเล็ก

4.2.2 สมการแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งของ Imai et al. (2006)

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{j \in V} \left\{ \sum_{i \in B} f_{il} - A_i \right\} \tag{4.1}$$

Subject to (4.2)-(4.13)

$$b_{ij} = \sum_{k \in U} A_j x_{ijk} \quad \forall i \in B^*, \ j, j' \in V \tag{4.15}$$

$$b_{ij} - (\delta_{ijj'} - 1)TM > b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \quad \forall i \in B^*, \ j, j' \in V \tag{4.17}$$

$$b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \geq b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \quad \forall i \in B^*, \ j, j' \in V \tag{4.18}$$

$$b_{ij} \leq b_{ij'} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, \ j, j' \in V \tag{4.19}$$

$$b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} - (\rho_{ijj'} - 1)TM \geq b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, \ j, j' \in V \tag{4.20}$$

$$b_{ij'} \leq b_{ij} - (\rho_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, \ j, j' \in V \tag{4.21}$$

$$b_{ij'} - (\sigma_{ijj'} - 1)TM > b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, \ j, j' \in V \tag{4.22}$$

$$\frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} - 0.5 \leq \delta_{ijj'} + \phi_{ijj'} + \rho_{ijj'} + \sigma_{ijj'} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \quad \forall i \in B^*, \ j, j' \in V \tag{4.25}$$

$$\delta_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.40}$$

$$\phi_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.41}$$

$$\rho_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.42}$$

$$\sigma_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.43}$$

$$d_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V \tag{4.47}$$

4.2.3 ผลการทดลองแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งของ Imai et al. (2006)

เบื้องต้นผู้วิจัยได้ทำการประมวลผลโดยใช้เงื่อนไขแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม และแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งรวมกันตามของ Imai et al. (2006) พบว่าสามารถประมวลผลได้เนื่องจากเงื่อนไขขัดแย้งกัน

จานนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้เงื่อนไขแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสมที่ผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงแล้ว สมการเงื่อนไขที่ 4.2-4.4 รวมกับสมการการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งของ Imai et al. (2006) โดยกำหนดโจทย์ปัญหาขึ้นเองดังตารางที่ 4.12 ให้มีแต่ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งเท่านั้น เพื่อทำการพิจารณาแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งเท่านั้น พบว่าผลการประมวลผลเป็นไปตามตารางที่ 4.13,4.14 และตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.12 แสดงข้อมูลขนาดของท่าเรือและขนาดเรือ

ท่าเรือแบบเว้าแหว่ง	ขนาด	เรือ	ขนาด	A_j
1	700	1	300	1
2	700	2	300	3
3	700	3	700	3
		4	300	1
		5	300	3
		6	300	1
		7	700	25

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการประมวลผลของเรือที่มารับบริการที่ท่าเทียบเรือที่ 1

ลำดับการให้บริการ(k)	เรือ (j)	เวลาการมาถึง (A_j)	เวลาเริ่มต้น (b_{ij})	เวลาขนถ่าย (C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น (f_{ij})
1	2	3	14	2	0
2	5	11	11	10	0
3	6	1	1	1	0
4	3	3	3	3	0
5	4	1	6	8	0
6	7	25	25	10	0

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการประมวลผลของเรือที่มารับบริการที่ท่าเทียบเรือที่ 2

ลำดับการให้บริการ(k)	เรือ (j)	เวลาการมาถึง (A_j)	เวลาเริ่มต้น (b_{ij})	เวลาขนถ่าย (C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น (f_{ij})
ไม่มีเรือมารับบริการ					

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการประมวลผลของเรือที่มารับบริการที่ท่าเทียบเรือที่ 3

ลำดับการให้บริการ(k)	เรือ (j)	เวลาการมาถึง (A_j)	เวลาเริ่มต้น (b_{ij})	เวลาขนถ่าย (C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น (f_{ij})
1	1	1	1	5	0

4.2.4 วิเคราะห์ผลการประมวลผลแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งของ Imai et al. (2006)

4.2.4.1 เวลาเสร็จสิ้น (f_{ij}) ของเรือแต่ละลำที่ใช้บริการในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งไม่สมเหตุสมผลดังตารางที่ 4.13 และ 4.15

4.2.4.2 ลำดับการให้บริการของเรือลำเล็กและเรือลำใหญ่ไม่สัมพันธ์กับเวลาการมาถึงและเวลาเริ่มรับบริการ เช่น เรือลำเล็ก 2 มารับบริการลำดับที่ 1 แต่เวลาเริ่มต้น (b_{ij}) ของเรือเล็กที่ 2 เท่ากับ 14 หรือ เรือลำใหญ่ที่ 3 มารับบริการลำดับที่ 3 แต่เวลาเริ่มต้น (b_{ij}) ของเรือใหญ่ที่ 3 เท่ากับ 3 ซึ่งไม่สมเหตุสมผลกันเพราะเรือใหญ่ที่ 3 ควรรับบริการลำดับที่ 1 เพราะเวลาการเริ่มรับบริการน้อยกว่าเรือลำเล็กที่ 2 ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบเรือลำที่ 2 กับเรือลำที่ 3

ลำดับการให้บริการ(k)	เรือ (j)	เวลาการมาถึง (A_j)	เวลาเริ่มต้น (b_{ij})	เวลาขนถ่าย (C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น (f_{ij})
1	2	3	14	2	0
3	3	3	3	3	0

4.2.4.3 เรือลำเล็กและเรือเล็กไม่มีความสัมพันธ์กันของลำดับการให้บริการกับเวลาการมาถึงดังตารางที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าเรือทั้ง 2 ลำนั้นใช้บริการร่วมกัน แต่ค่าของ $\phi_{ijj'}$ และ $\rho_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 0 ทั้งคู่ ซึ่งทำให้ไม่ทราบว่าเรือลำใดรับบริการที่ section ใด

ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบเรือลำที่ 6 กับเรือลำที่ 4

ลำดับการให้บริการ(k)	เรือ (j)	เวลาการมาถึง (A_j)	เวลาเริ่มต้น (b_{ij})	เวลาขนถ่าย (C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น (f_{ij})
4	6	1	1	1	0
5	4	1	6	8	0

4.2.4.4 ตัวแปรที่กำหนดความสัมพันธ์จากแบบจำลองการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งมีเพียงตัวแปรกำหนดความสัมพันธ์ของเรือลำเล็ก กับ ลำเล็กเท่านั้นได้แก่ $\phi_{ijj'}$ $\rho_{ijj'}$ $\delta_{ijj'}$ และ $\sigma_{ijj'}$ แต่ไม่มีตัวแปรที่ใช้กำหนดความสัมพันธ์ของเรือลำใหญ่ กับ เรือลำใหญ่ และเรือลำเล็ก กับ เรือลำใหญ่

4.2.4.5 ไม่มีสมการระบุตำแหน่งการมารับบริการของเรือลำใหญ่ ในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง

4.2.5 ส่วนที่ปรับปรุงแก้ไขและเพิ่มเติมแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งของ Imai et al. (2006)

จากหัวข้อที่ 4.2.4 ที่กล่าวมานั้นทางผู้วิจัยได้ทำการเพิ่มเติมแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของ Imai et al.2006 โดยยังคงใช้ข้อตกลงเบื้องต้นดังเดิมของ Imai et al. (2006)

4.2.5.1 ตัวแปรการตัดสินใจที่ผู้วิจัยกำหนดเพิ่ม

$O_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 เรือลำใหญ่ j' มาใช้บริการก่อนเรือลำใหญ่ j ในท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง มีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

$K_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเรือลำใหญ่ j' มาใช้บริการ<u>ก่อน</u>เรือลำเล็ก j ของท่าเรือแบบเว้าแหว่ง มีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

$M_{ijj'}$ จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเรือลำใหญ่ j' มาใช้บริการ<u>หลัง</u>เรือลำเล็ก j ของท่าเรือแบบเว้าแหว่ง มีค่าเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งที่เพิ่มมาสมการเงื่อนไขที่ 4.1-4.14 ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงส่วนที่เพิ่มเติมของสมการเงื่อนไข

สมการ	Imai	ผู้วิจัย
4.1	-	$f_{ij} = b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij}x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, j, j' \in V$
4.2	-	$\sum_{i\in B^*}\sum_{k\in U} x_{ijk} = 1 \ \forall j \in VM$
4.3	-	$\sum_{k\in U} kx_{ijk} \geq \sum_{k'\in U} k'x_{ij'k'} + (\delta_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS$
4.4	-	$\sum_{k\in U} kx_{ijk} \geq \sum_{k'\in U} k'x_{ij'k'} + (\rho_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS$
4.5	-	$\sum_{j} \phi_{ijj'} \leq 1 \ \forall i \in B^*, j \in VS$
4.6	-	$\sum_{j} \phi_{ijj'} + \sum_{j} \rho_{ijj'} \leq 1 \ \forall i \in B^*, j \in VS$
4.7	-	$\sum_{k\in U} kx_{ijk} \geq \sum_{k'\in U} k'x_{ij'k'} + (K_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS$
4.8	-	$b_{ij} \geq b_{ij'} + \sum_{k\in U} C_{ij'}x_{ij'k} + d_{ij'} + \left(K_{ijj'} - 1\right)TM \quad \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS$
4.9	-	$\sum_{k'\in U} k'x_{ij'k'} \geq \sum_{k\in U} kx_{ijk} + (M_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j \in VM, j' \in VS$
4.10	-	$b_{ij'} - \left(M_{ijj'} - 1\right)TM \geq b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij}x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, j \in VM, j' \in VS$
4.11	-	$\frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} - 0.5 \leq K_{ijj'} + M_{ijj'} \leq \frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2}$ $\forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS$
4.12	-	$\sum_{k\in U} kx_{ijk} \geq \sum_{k'\in U} k'x_{ij'k'} + (O_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VM$
4.13	-	$b_{ij} \geq b_{ij'} + \sum_{k\in U} C_{ij'}x_{ij'k} + d_{ij'} + (O_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j \in VM$
4.14	-	$\sum_{k\in U}\left(x_{ijk} + x_{ij'k}\right) - 1 \leq O_{ijj'} + O_{ij'j} \leq \frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \forall i \in B^*, \ j, j' \in VM$

4.2.3 สมการแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งของผู้วิจัย (ปรับปรุงจากแบบจำลองของ Imai et al. (2006)

$$Minimize\ Z = \sum_{j\in V}\left\{\sum_{i\in B} f_{il} - A_i\right\} \tag{4.1}$$

Subject to

$$\sum_{i\in B}\sum_{k\in U} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \tag{4.2}$$

$$\sum_{j\in V} x_{ijk} \le 1 \quad \forall i \in B, k \in U \tag{4.3}$$

$$\sum_{j\in V} x_{ijk} \ge \sum_{j\in V} x_{ijk+1} \quad \forall i \in B, k \in Max\,U \tag{4.4}$$

$$b_{ij} \ge \sum_{k\in U} \max\{S_i, A_j\} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \tag{4.5}$$

$$\sum_{i\in B^*}\sum_{k\in U} x_{ijk} = 1 \ \forall j \in VM \tag{4.14}$$

$$b_{ij} = \sum_{k\in U} A_j x_{ijk} \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in VM \tag{4.15}$$

$$f_{ij} = b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, j \in V \tag{4.16}$$

$$b_{ij} - (\delta_{ijj'} - 1)TM > b_{ij'} + \sum_{k\in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in VS \tag{4.17}$$

$$b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \ge b_{ij'} + \sum_{k\in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in VS \tag{4.18}$$

$$b_{ij} \le b_{ij'} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*,\ j, j' \in VS \tag{4.19}$$

$$b_{ij'} + \sum_{k\in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} - (\rho_{ijj'} - 1)TM \ge b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in VS \tag{4.20}$$

$$b_{ij'} \le b_{ij} - (\rho_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*,\ j, j' \in VS \tag{4.21}$$

$$b_{ij'} - (\sigma_{ijj'} - 1)TM > b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in VS \tag{4.22}$$

$$\sum_{k\in U} k x_{ijk} \ge \sum_{k'\in U} k' x_{ij'k'} + (\delta_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \tag{4.23}$$

$$\sum_{k\in U} k x_{ijk} \ge \sum_{k'\in U} k' x_{ij'k'} + (\rho_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VS \tag{4.24}$$

$$\frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} - 0.5 \le \delta_{ijj'} + \phi_{ijj'} + \rho_{ijj'} + \sigma_{ijj'} \le \frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \ \forall i \in B^*,\ j, j' \in VS \tag{4.25}$$

$$\sum_{j} \phi_{ijj'} \le 1 \quad \forall i \in B^*, j \in VS \tag{4.26}$$

$$\sum_{j} \phi_{ijj'} + \sum_{j} \rho_{ijj'} \le 1 \quad \forall i \in B^*, j \in VS \tag{4.27}$$

$$\sum_{k\in U} k x_{ijk} \ge \sum_{k'\in U} k' x_{ij'k'} + (K_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \tag{4.28}$$

$$b_{ij} \ge b_{ij'} + \sum_{k\in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} + \left(K_{ijj'} - 1\right)TM \quad \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \tag{4.29}$$

$$\sum_{k'\in U} k' x_{ij'k'} \ge \sum_{k\in U} k x_{ijk} + (M_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j \in VM, j' \in VS \tag{4.30}$$

$$b_{ij'} - \left(M_{ijj'} - 1\right)TM \geq b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, j \in VM, j' \in VS \tag{4.31}$$

$$\frac{\sum_{k \in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} - 0.5 \leq K_{ijj'} + M_{ijj'} \leq \frac{\sum_{k \in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \quad \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \tag{4.32}$$

$$\sum_{k \in U} k x_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k' x_{ij'k'} + (O_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j' \in VM \tag{4.33}$$

$$b_{ij} \geq b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} + (O_{ijj'} - 1)TM \quad \forall i \in B^*, j, j \in VM \tag{4.34}$$

$$\sum_{k \in U}\left(x_{ijk} + x_{ij'k}\right) - 1 \leq O_{ijj'} + O_{ij'j} \leq \frac{\sum_{k \in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \forall i \in B^*,\ j, j' \in VM \tag{4.35}$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B, j \in V, k \in U \tag{4.36}$$

$$b_{ij} \geq 0, f_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V \tag{4.39}$$

$$\delta_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.40}$$

$$\phi_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.41}$$

$$\rho_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.42}$$

$$\sigma_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.43}$$

$$O_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j, j' \in VM \tag{4.44}$$

$$K_{ijj'} \in \{0,1\} \quad \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \tag{4.45}$$

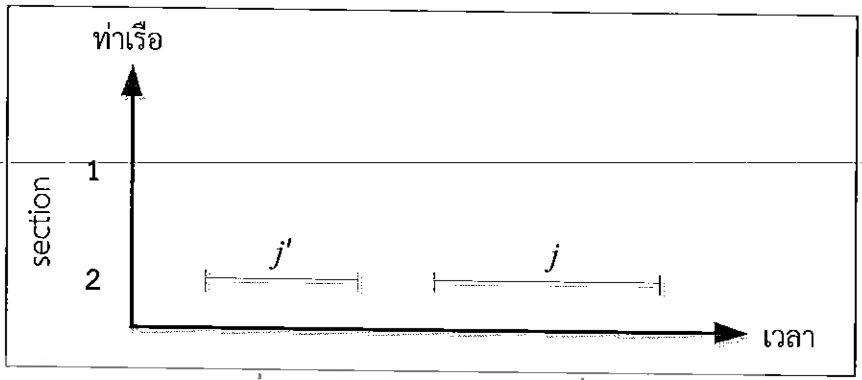
$$M_{ijj'} \in \{0,1\} \ \forall i \in B^*, j \in VM, j' \in VS \tag{4.46}$$

$$d_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in B, j \in V \tag{4.47}$$

สมการที่ 4.14 ในทุกๆ ท่าเรือแบบเว้าแหว่งของทุกๆลำดับการให้บริการ จะมีเรือลำใหญ่มารับบริการได้เพียง 1 ลำเท่านั้น

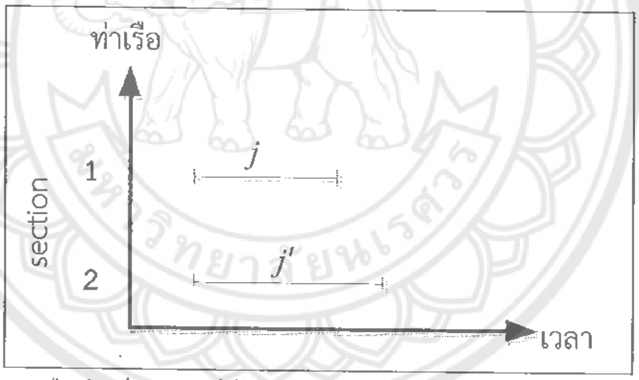
สมการที่ 4.16 แสดงเวลาเสร็จสิ้นของเรือขนาดเล็ก และขนาดใหญ่ที่มาใช้บริการที่ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง

อสมการที่ 4.23 เมื่อ $\delta_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 ลำดับการให้บริการของเรือลำเล็ก j จะต้องมีค่ามากกว่า ลำดับการให้บริการของเรือลำเล็ก j' ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 4.23

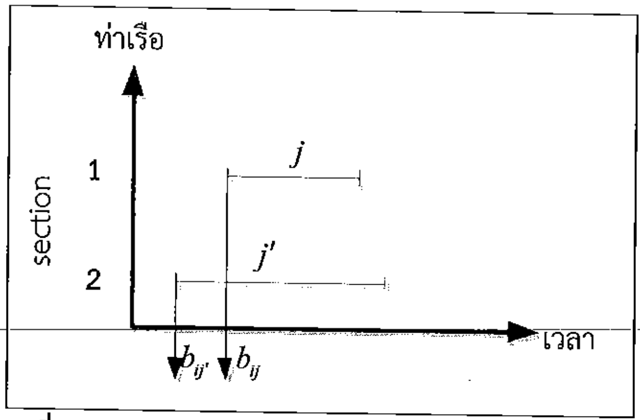
อสมการที่ 4.24 เมื่อ $\rho_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 ลำดับการให้บริการของเรือลำเล็ก j ใน section 1 จะต้องมีค่ามากกว่า ลำดับการให้บริการของเรือลำเล็ก j' ใน section 2 ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เรือลำเล็ก j' มาใช้บริการก่อนเรือลำเล็ก j ค่า $\rho_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1

อสมการที่ 4.26 ทุกๆเรือลำเล็กเรือ j จะใช้บริการร่วมกับเรือลำเล็ก j' ได้เพียงลำเดียวเท่านั้น

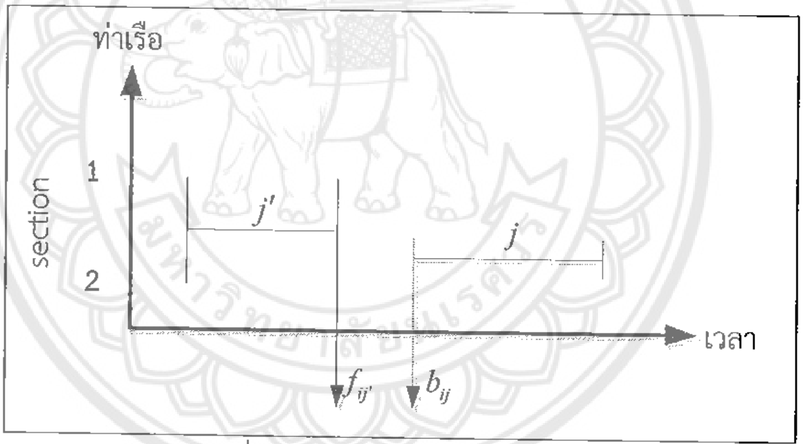
อสมการที่ 4.27 เมื่อเรือลำเล็ก j' และเรือลำเล็ก j มาใช้บริการร่วมกันค่าของ $\phi_{ijj'}$ กับ $\rho_{ijj'}$ จะมีตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเท่านั้นที่มีค่าเป็น 1 ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ค่าของ $\rho_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 แล้ว $\phi_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 0

อสมการที่ 4.28 เมื่อ $K_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 ลำดับการให้บริการของเรือลำใหญ่ j' จะต้องมีค่ามากกว่าลำดับการให้บริการของเรือลำเล็ก j ก่อนหน้าดังแสดงในรูปที่ 4.7

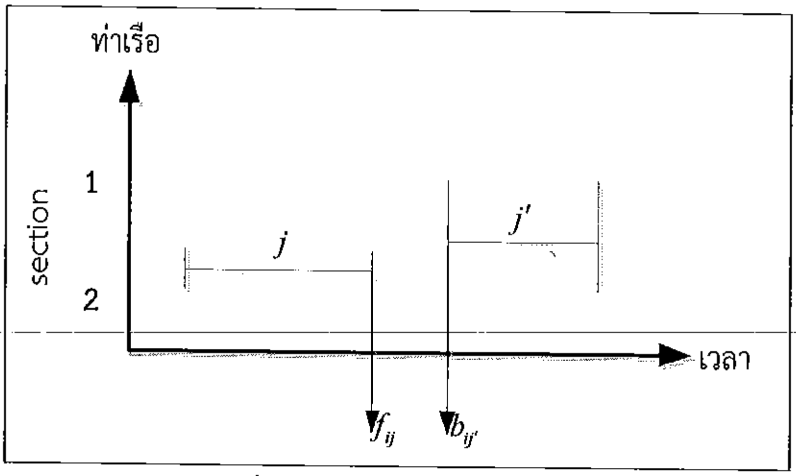
อสมการที่ 4.29 เมื่อ $K_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 เวลาเริ่มต้นของเรือลำเล็ก j จะมีค่ามากกว่าเวลาเสร็จสิ้นของเรือลำใหญ่ j' ก่อนหน้าดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 4.28 และ 4.29 เรือลำใหญ่ j' มาใช้บริการก่อนเรือลำเล็ก j

อสมการที่ 4.30 เมื่อ $M_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 ลำดับให้บริการของเรือลำใหญ่ j จะต้องมีค่ามากกว่าลำดับการให้บริการของเรือลำเล็ก j ก่อนหน้าดังแสดงในรูปที่ 4.11

อสมการที่ 4.31 เมื่อ $M_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 เวลาเริ่มต้นของเรือลำใหญ่ j' จะต้องมีค่ามากกว่าเวลาเสร็จสิ้นของเรือ j ก่อนหน้า

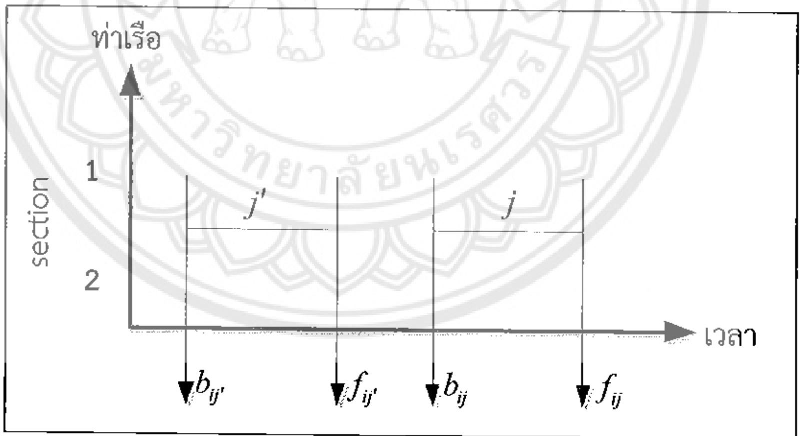


รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 4.30 และ 4.31 เรือลำใหญ่ j' มาใช้บริการหลังเรือลำเล็ก j

อสมการที่ 4.32 ค่าของ $K_{ijj'}$ กับ $M_{ijj'}$ จะมีตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเท่านั้นที่มีค่าเป็น 1 แล้วอีกตัวจะมีค่าเป็น 0 ทั้งคู่ในกรณีอื่นๆ มีมาใช้บริการเพียงลำเดียวหรือไม่มีเรือมาจอด

อสมการที่ 4.33 เมื่อ $O_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 เรือลำใหญ่ j' มาใช้บริการก่อนเรือลำใหญ่ j ดังแสดงในรูปที่ 4.9

อสมการที่ 4.34 เมื่อ $O_{ijj'}$ มีค่าเท่ากับ 1 เวลาเริ่มต้นของเรือลำใหญ่ j มีค่ามากกว่าเวลาเสร็จดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างอสมการที่ 4.33 และ 4.34 เรือลำใหญ่ j' มารับบริการก่อนเรือลำใหญ่ j ค่าของ $O_{ijj'}$ เท่ากับ 1

อสมการที่ 4.35 ค่าของ $O_{ijj'}$ กับ $O_{ij'j}$ จะมีตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งเท่านั้นที่มีค่าเป็น 1 แล้วอีกตัวจะมีค่าเป็น 0 ทั้งคู่ในกรณีอื่นๆ มีมาใช้บริการเพียงลำเดียวหรือไม่มีเรือมาจอด

4.3 ผลการทดลองแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งของผู้วิจัย

กำหนดให้ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งมีความกว้าง 700 เมตร เรือขนาดใหญ่มีความยาว 700 เมตร เรือขนาดเล็กมีขนาด 300 เมตร ข้อมูลอื่นๆตามตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 แสดงขนาดโจทย์ปัญหา

<table>
<tr><th rowspan="3">ขนาดโจทย์ปัญหา</th><th rowspan="3">จำนวนท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง</th><th rowspan="3">จำนวนเรือ</th><th rowspan="3">จำนวนเรือขนาดใหญ่</th><th colspan="4">สุ่มตัวเลข</th></tr>
<tr><th colspan="2">เวลาการขนถ่าย</th><th colspan="2">เวลาการมาถึง</th></tr>
<tr><th>เรือขนาดใหญ่</th><th>เรือขนาดเล็ก</th><th>เรือขนาดใหญ่</th><th>เรือขนาดเล็ก</th></tr>
<tr><td rowspan="3">เล็ก</td><td>3</td><td>10</td><td>3</td><td rowspan="9">5-10</td><td rowspan="9">2-5</td><td rowspan="9">1-10</td><td rowspan="9">1-10</td></tr>
<tr><td>4</td><td>12</td><td>4</td></tr>
<tr><td>5</td><td>15</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">กลาง</td><td>5</td><td>18</td><td>5</td></tr>
<tr><td>6</td><td>21</td><td>6</td></tr>
<tr><td>6</td><td>24</td><td>7</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ใหญ่</td><td>7</td><td>27</td><td>8</td></tr>
<tr><td>8</td><td>30</td><td>9</td></tr>
<tr><td>9</td><td>33</td><td>10</td></tr>
</table>

4.3.1 ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

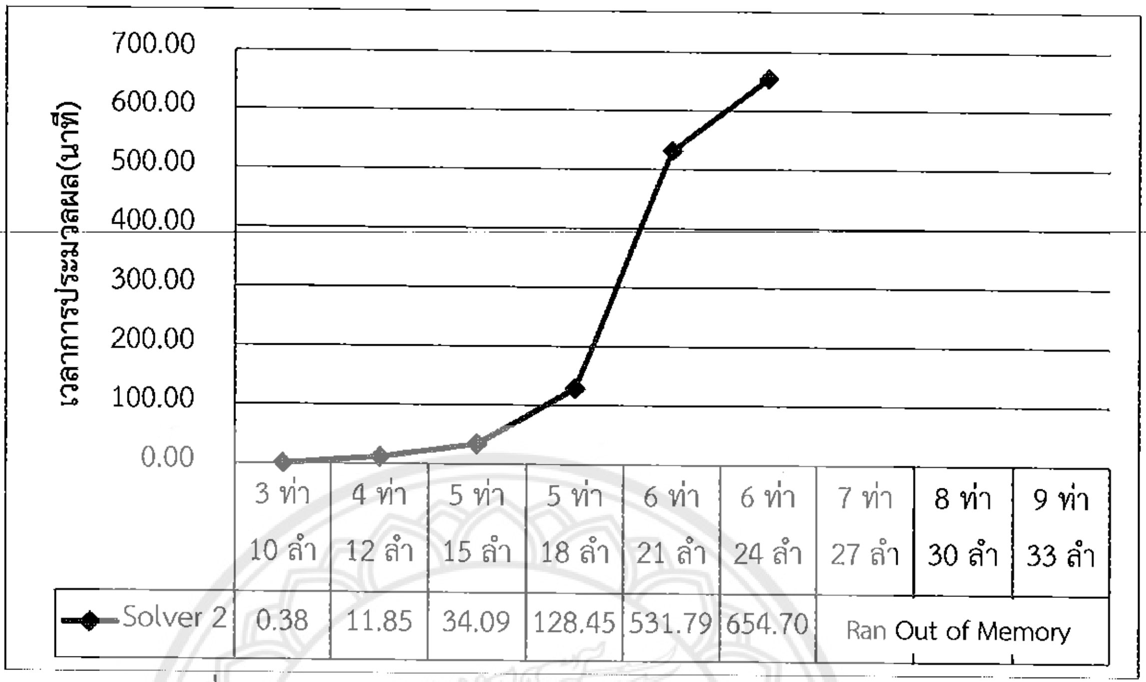
โจทย์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งนี้ จะใช้ Solver 2 ในการประมวลผล และผลจากการประมวลผล แสดงดังตารางที่ 4.20 นี้

ตารางที่ 4.20 แสดงเวลาการประมวลผลปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

ขนาดโจทย์ปัญหา	จำนวนท่าเทียบเรือแบบผสม	จำนวนเรือ	จำนวนเรือขนาดใหญ่	เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (นาที)
เล็ก	3	10	3	0.43
	4	12	4	27.01
	5	15	5	26.91
กลาง	5	18	5	72.72
	6	21	6	174.53
	6	24	7	275.37
ใหญ่	7	27	8	Ran Out of Memory
	8	30	9	Ran Out of Memory
	9	33	10	Ran Out of Memory

จากตารางที่ 4.20 พบว่า ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็กจะใช้เวลาในการประมวลผลน้อย และเวลาในการประมวลผลจะเริ่มเพิ่มมากขึ้นเมื่อโจทย์ปัญหาใหญ่ขึ้น แต่ โจทย์ปัญหาที่มี ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง 5 ท่า เรือขนาดใหญ่ 5 ลำ ขนาดเล็ก 15 ลำ ใช้เวลาประมวลผล 26.91 นาที เร็วกว่า โจทย์ปัญหาที่มี ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง 4 ท่า เรือขนาดใหญ่ 4 ลำ ขนาดเล็ก 8 ลำ ซึ่งเป็นโจทย์ปัญหาขนาดเล็กกว่าใช้เวลาในการประมวลผล 27.01 นาที ซึ่งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลอาจขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโจทย์ด้วย และโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ทั้งสามโจทย์คือ โจทย์ปัญหาที่มีท่าเรือแบบเว้าแหว่ง 7 ท่า เรือขนาดใหญ่ 8 ลำ ขนาดเล็ก 19 ลำ โจทย์ที่มีท่าเรือแบบเว้าแหว่ง 8 ท่า เรือขนาดใหญ่ 9 ลำ ขนาดเล็ก 21 ลำ และโจทย์ที่มีท่าเรือแบบเว้าแหว่ง 9 ท่า เรือขนาดใหญ่ 10 ลำ ขนาดเล็ก 23 ลำ เมื่อประมวลผลไประยะหนึ่งจะพบว่า Ran Out of Memory

4.3.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการประมวลผล



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟการประมวลผลปัญหาการเทียบท่าแบบเว้าแหว่ง

จากรูปที่ 4.10 พบว่า ส่วนใหญ่โจทย์ปัญหาขนาดเล็กใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ แต่โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่กว่าบางโจทย์ก็ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่าโจทย์ปัญหาขนาดเล็กกว่า ซึ่งเวลาที่ใช้ในการประมวลผลอาจขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโจทย์ด้วย และ จากกราฟที่แสดงพบว่าโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ เมื่อประมวลผลไประยะหนึ่งจะพบว่า Ran Out of Memory

4.4 สมการแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งที่มีลักษณะการจอดแบบผสมของผู้วิจัย

แบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่เกิดจากปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสมร่วมกับแบบจำลองปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง

4.4.1 ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumptions)

4.4.1.1 เวลาในการรับบริการ (Handing time) ถูกกำหนดโดยท่าเรือ

4.4.1.2 กำหนดให้ท่าเรือ 1 ท่า สามารรับบริการเรือได้สูงสุดไม่เกิน 2 ลำ แบบผสมที่ 2 โดยความยาวของเรือจะต้องไม่เกินความยาวของท่าเทียบเรือ ณ เวลาใดๆ

4.4.1.3 ไม่มีการจัดลำดับการเข้าจอดของเรือที่เข้ามาจอดในท่าเรือเดียวกัน เช่น เรือที่มาถึงก่อนไมจำเป็นจะต้องจอดก่อน

4.4.1.4 ท่าเทียบเรือทุกท่ามีความลึกของน้ำเท่ากัน

4.4.1.5 เรือ 1 ลำจะเทียบท่าเรือได้เพียง 1 ท่าเทียบเรือเท่านั้น ณ เวลาใดๆ

4.4.1.6 เรือลำใหญ่ต้องรับบริการทันทีที่มาถึงท่าเทียบเรือ แล้วรับบริการทันที ที่ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งเท่านั้น

4.4.1.7 เรือที่อยู่ใน section 2 หากรับบริการเสร็จจะไม่สามารถออกจากท่าเทียบเรือได้หากมีเรือรับบริการอยู่ใน section 1

4.4.1.8 ได้พิจารณาขนาดเรือเพียงสองขนาด คือ เรือขนาดเล็ก และขนาดใหญ่เท่านั้น

4.4.2 แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบผสม

$$\text{Minimize} \quad Z = \sum_{j\in V}\left\{\sum_{i\in B} f_{ij} - A_j\right\} \tag{4.1}$$

Subject to

$$\sum_{i\in B}\sum_{k\in U} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in V \tag{4.2}$$

$$\sum_{j\in V} x_{ijk} \le 1 \quad \forall i \in B, k \in U \tag{4.3}$$

$$\sum_{j\in V} x_{ijk} \ge \sum_{j\in V} x_{ijk+1} \quad \forall i \in B, k \in Max\,U \tag{4.4}$$

$$b_{ij} \ge \sum_{k\in U} \max\{S_i, A_j\} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \tag{4.5}$$

$$f_{ij} = b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} \quad \forall i \in B, j \in V \tag{4.6}$$

$$\sum_{k\in U} k x_{ijk} \le \sum_{k'\in U} k' x_{ij'k'} + (1-\tau_{ijj'})TM \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.7}$$

$$b_{ij} \le b_{ij'} + (1-\tau_{ijj'})TM \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.8}$$

$$f_{ij} < b_{ij'} + (1+\omega_{ijj'} - \tau_{ijj'})TM \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.9}$$

$$\omega_{ijj'}(L_j + L_{j'}) \le BL_i \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.10}$$

$$\omega_{ijj'} \le \tau_{ijj'} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.11}$$

$$\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k}) - 1 \le \tau_{ijj'} + \tau_{ij'j} \le \frac{\sum_{k\in U}(x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \quad \forall i \in B, \quad j, j' \in V \tag{4.12}$$

$$\sum_{j'} \omega_{ijj'} \le 1 \quad \forall i \in B, j \in V \tag{4.13}$$

$$\sum_{i\in B^*}\sum_{k\in U} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in VM \tag{4.14}$$

$$b_{ij} = \sum_{k\in U} A_j x_{ijk} \quad \forall i \in B^*, \quad j, j' \in VM \tag{4.15}$$

$$f_{ij} = b_{ij} + \sum_{k\in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \quad \forall i \in B^*, j \in V \tag{4.16}$$

$$b_{ij} - (\delta_{ijj'} - 1)TM > b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \;\; \forall i \in B^*, \; j, j' \in VS \tag{4.17}$$

$$b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \geq b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} \;\; \forall i \in B^*, \; j, j' \in VS \tag{4.18}$$

$$b_{ij} \leq b_{ij'} - (\phi_{ijj'} - 1)TM \;\; \forall i \in B^*, \; j, j' \in VS \tag{4.19}$$

$$b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} - (\rho_{ijj'} - 1)TM \geq b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \;\; \forall i \in B^*, \; j, j' \in VS \tag{4.20}$$

$$b_{ij'} \leq b_{ij} - (\rho_{ijj} - 1)TM \;\; \forall i \in B^*, \; j, j' \in VS \tag{4.21}$$

$$b_{ij'} - (\sigma_{ijj'} - 1)TM > b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \;\; \forall i \in B^*, \; j, j' \in VS \tag{4.22}$$

$$\sum_{k \in U} k x_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k' x_{ij'k'} + (\delta_{ijj'} - 1)TM \;\; \forall i \in B^*, j, j' \in VS \tag{4.23}$$

$$\sum_{k \in U} k x_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k' x_{ij'k'} + (\rho_{ijj'} - 1)TM \;\; \forall i \in B^*, j, j' \in VS \tag{4.24}$$

$$\frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} - 0.5 \leq \delta_{ijj'} + \phi_{ijj'} + \rho_{ijj'} + \sigma_{ijj'} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \; \forall i \in B^*, \; j, j' \in VS \tag{4.25}$$

$$\sum_{j} \phi_{ijj'} \leq 1 \;\; \forall i \in B^*, j \in VS \tag{4.26}$$

$$\sum_{j} \phi_{ijj'} + \sum_{j} \rho_{ijj'} \leq 1 \;\; \forall i \in B^*, j \in VS \tag{4.27}$$

$$\sum_{k \in U} k x_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k' x_{ij'k'} + (K_{ijj'} - 1)TM \;\; \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \tag{4.28}$$

$$b_{ij} \geq b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} + \left(K_{ijj'} - 1\right)TM \;\; \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \tag{4.29}$$

$$\sum_{k' \in U} k' x_{ij'k'} \geq \sum_{k \in U} k x_{ijk} + (M_{ijj'} - 1)TM \;\; \forall i \in B^*, j \in VM, j' \in VS \tag{4.30}$$

$$b_{ij'} - \left(M_{ijj'} - 1\right)TM \geq b_{ij} + \sum_{k \in U} C_{ij} x_{ijk} + d_{ij} \;\; \forall i \in B^*, j \in VM, j' \in VS \tag{4.31}$$

$$\frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} - 0.5 \leq K_{ijj'} + M_{ijj'} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \;\; \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \tag{4.32}$$

$$\sum_{k \in U} k x_{ijk} \geq \sum_{k' \in U} k' x_{ij'k'} + (O_{ijj'} - 1)TM \;\; \forall i \in B^*, j, j' \in VM \tag{4.33}$$

$$b_{ij} \geq b_{ij'} + \sum_{k \in U} C_{ij'} x_{ij'k} + d_{ij'} + (O_{ijj'} - 1)TM \;\; \forall i \in B^*, j, j \in VM \tag{4.34}$$

$$\sum_{k \in U} \left(x_{ijk} + x_{ij'k}\right) - 1 \leq O_{ijj'} + O_{ij'j} \leq \frac{\sum_{k \in U} (x_{ijk} + x_{ij'k})}{2} \; \forall i \in B^*, \; j, j' \in VM \tag{4.35}$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \;\; \forall i \in B, j \in V, k \in U \tag{4.36}$$

$$\tau_{ijj'} \in \{0,1\} \;\; \forall i \in B, \;\; j, j' \in V \tag{4.37}$$

$$\omega_{ijj'} \in \{0,1\} \;\; \forall i \in B, \;\; j, j' \in V \tag{4.38}$$

$$b_{ij} \geq 0, f_{ij} \geq 0 \;\; \forall i \in B, j \in V \tag{4.39}$$

$$\delta_{ijj'} \in \{0,1\} \; \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.40}$$

$$\phi_{ijj'} \in \{0,1\} \; \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.41}$$

$$\rho_{ijj'} \in \{0,1\} \; \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.42}$$

$$\sigma_{ijj'} \in \{0,1\}\ \forall i \in B^*, j, j' \in V \tag{4.43}$$

$$O_{ijj'} \in \{0,1\}\ \forall i \in B^*, j, j' \in VM \tag{4.44}$$

$$K_{ijj'} \in \{0,1\}\ \ \forall i \in B^*, j' \in VM, j \in VS \tag{4.45}$$

$$M_{ijj'} \in \{0,1\}\ \forall i \in B^*, j \in VM, j' \in VS \tag{4.46}$$

$$d_{ij} \geq 0\ \ \forall i \in B, j \in V \tag{4.47}$$

4.5 ผลการทดลองแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งที่มีลักษณะการจอดแบบผสมของผู้วิจัย

กำหนดให้ท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่งมีความกว้าง 700 เมตร ท่าเรือแบบผสมมีความยาวท่า 600 เมตร เรือขนาดใหญ่มีความยาว 700 เมตร เรือขนาดเล็กมีขนาด 300 เมตร ข้อมูลอื่นๆ ตามตารางดังนี้

ตารางที่ 4.21 แสดงขนาดโจทย์ปัญหา

<table>
<tr><th rowspan="3">ขนาดโจทย์ปัญหา</th><th rowspan="3">จำนวนท่าเทียบเรือแบบผสม</th><th rowspan="3">จำนวนท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง</th><th rowspan="3">จำนวนเรือเล็ก</th><th rowspan="3">จำนวนเรือใหญ่</th><th colspan="4">สุ่มตัวเลข</th></tr>
<tr><th colspan="2">เวลาการขนถ่าย</th><th colspan="2">เวลาการมาถึง</th></tr>
<tr><th>เรือขนาดใหญ่</th><th>เรือขนาดเล็ก</th><th>เรือขนาดใหญ่</th><th>เรือขนาดเล็ก</th></tr>
<tr><td rowspan="3">เล็ก</td><td>1</td><td>2</td><td>7</td><td>3</td><td rowspan="9">5-10</td><td rowspan="9">2-5</td><td rowspan="9">1-10</td><td rowspan="9">1-10</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2</td><td>8</td><td>4</td></tr>
<tr><td>2</td><td>3</td><td>10</td><td>5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">กลาง</td><td>2</td><td>3</td><td>13</td><td>5</td></tr>
<tr><td>3</td><td>3</td><td>15</td><td>6</td></tr>
<tr><td>2</td><td>4</td><td>17</td><td>7</td></tr>
<tr><td rowspan="3">ใหญ่</td><td>3</td><td>4</td><td>19</td><td>8</td></tr>
<tr><td>3</td><td>5</td><td>21</td><td>9</td></tr>
<tr><td>4</td><td>5</td><td>23</td><td>10</td></tr>
</table>

4.5.1 ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

โจทย์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่งที่มีลักษณะการจอดแบบผสมนี้จะใช้ Solver 2 ในการประมวลผล และผลจากการประมวลผล แสดงดังตารางที่ 4.22 นี้

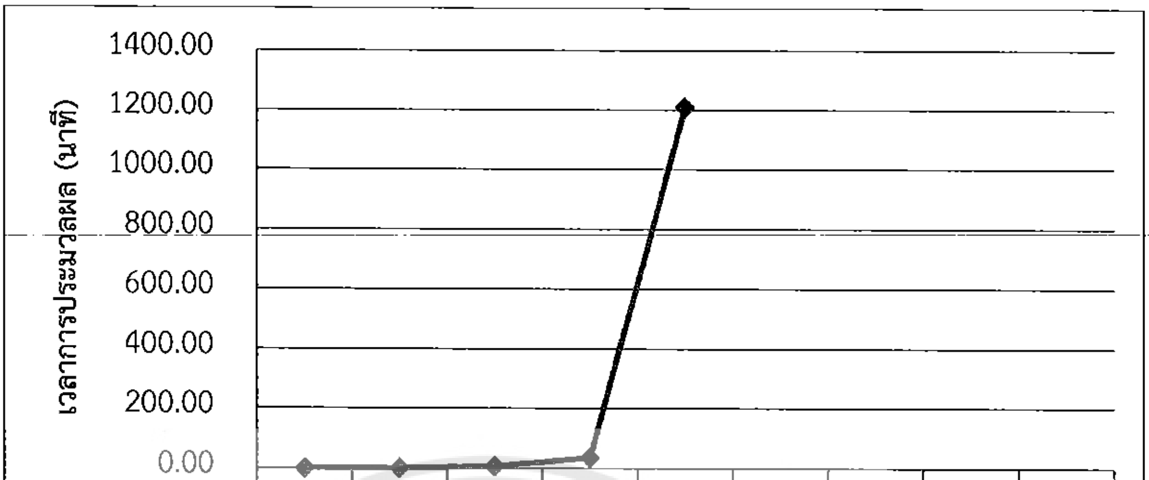
ตารางที่ 4.22 แสดงเวลาการประมวลผลปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

ขนาดโจทย์ปัญหา	จำนวนท่าเทียบเรือแบบผสม	จำนวนท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง	จำนวนเรือขนาดเล็ก	จำนวนเรือขนาดใหญ่	เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (นาที)
เล็ก	1	2	7	3	0.04
	2	2	8	4	2.31
	2	3	10	5	12.34
กลาง	2	3	13	5	124.55
	3	3	15	6	1012.82
	2	4	17	7	Interruption
ใหญ่	3	4	19	8	Interruption
	3	5	21	9	Ran Out of Memory
	4	5	23	10	Ran Out of Memory

จากตารางที่ 4.22 พบว่า ในปัญหาขนาดเล็กจะใช้เวลาในการประมวลผลเร็ว และเวลาในการประมวลผลจะเริ่มเพิ่มมากขึ้นเมื่อโจทย์ปัญหาใหญ่ขึ้น โจทย์ปัญหาที่มีท่าเทียบเรือแบบผสม 3 ท่า มีท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง 5 ท่า มีจำนวนเรือขนาดเล็ก 21 ลำมีจำนวนเรือขนาดใหญ่ 9 ลำ และ โจทย์ปัญหาที่มีท่าเทียบเรือแบบผสม 4 ท่า มีท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง 5 ท่า มีจำนวนเรือขนาดเล็ก 23 ลำ มีจำนวนเรือขนาดใหญ่ 10 ลำ เมื่อประมวลผลไประยะหนึ่งจะพบว่า Ran Out of Memory

ส่วนโจทย์ปัญหาที่มีท่าเทียบเรือแบบผสม 2 ท่า มีท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง 4 ท่า มีจำนวนเรือขนาดเล็ก 17 ลำ มีจำนวนเรือขนาดใหญ่ 7 ลำ และโจทย์ปัญหาที่มีท่าเทียบเรือแบบผสม 3 ท่า มีท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง 4 ท่า มีจำนวนเรือขนาดเล็ก 19 ลำ มีจำนวนเรือขนาดใหญ่ 8 ลำ เมื่อประมวลผลไปแล้วนานเกิน 12 ชั่วโมง จะทำการหยุดเรียกว่า การขัดจังหวะการหาคำตอบ (Interruption)

4.5.2 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบการประมวลผล



	ผสม 1 เว้าแหว่ง 2 เรือ 10 ลำ	ผสม 2 เว้าแหว่ง 2 เรือ 12 ลำ	ผสม 2 เว้าแหว่ง 3 เรือ 15 ลำ	ผสม 2 เว้าแหว่ง 3 เรือ 18 ลำ	ผสม 3 เว้าแหว่ง 3 เรือ 21 ลำ	ผสม 2 เว้าแหว่ง 4 เรือ 24 ลำ	ผสม 3 เว้าแหว่ง 4 เรือ 27 ลำ	ผสม 3 เว้าแหว่ง 5 เรือ 30 ลำ	ผสม 4 เว้าแหว่ง 5 เรือ 33 ลำ
Solver 2	0.06	0.64	7.44	36.00	1209.06	Interruption		Ran out of memory	

รูปที่ 4.11 แสดงกราฟการประมวลผลปัญหาการเทียบท่าแบบเว้าแหว่งที่มีลักษณะการจอดแบบผสม

จากรูปที่ 4.11 พบว่า โจทย์ปัญหาขนาดเล็กใช้เวลาในการประมวลผลน้อยและเวลาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่ง โจทย์ปัญหาที่มีท่าเทียบเรือแบบผสม 3 ท่า มีท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง 5 ท่า มีจำนวนเรือขนาดเล็ก 21 ลำมีจำนวนเรือขนาดใหญ่ 9 ลำ และ โจทย์ที่มีท่าเทียบเรือแบบผสม 4 ท่า มีท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง 5 ท่า มีจำนวนเรือขนาดเล็ก 23 ลำ มีจำนวนเรือขนาดใหญ่ 10 ลำ และเมื่อประมวลผลไประยะหนึ่งจะพบว่า Ran Out of Memory

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการศึกษางานวิจัยแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของ Imai et al. มีแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ อยู่สองแบบคือ แบบผสม และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม ซึ่งผลพบว่า มีข้อผิดพลาดของแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของ Imai et al. ทั้งสองแบบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาและปรับปรุงแบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์จากงานวิจัยของ Imai et al. ซึ่งส่วนที่ทำการพัฒนาและปรับปรุงนั้นมีอยู่สามแบบคือ แบบผสม แบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม ซึ่งพบว่าโจทย์ปัญหาของแต่ละแบบนั้นใช้เวลาในการประมวลผลต่างกัน และจากการประมวลผลพบว่า แบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์แบบผสม ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยกว่า แบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม แต่อย่างไรก็ตาม โจทย์ปัญหาแบบผสม ปัญหาขนาดใหญ่บางโจทย์ก็ใช้เวลาน้อยกว่าปัญหาขนาดกลางในการประมวลผล กล่าวคือ โจทย์ที่มีท่า 10 ท่า เรือ 35 ลำ ใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย ประมาณ 1 ชั่วโมง แต่ โจทย์ที่มีท่า 6 ท่า เรือ 25 ลำ ใช้เวลาในการประมวลผลเฉลี่ย ประมาณ 1-2 ชั่วโมง เป็นที่น่าสังเกตว่า เวลาในการประมวลผลนั้น อาจขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของโจทย์ ซึ่งโจทย์บางโจทย์ก็มีความซับซ้อนต่างกัน

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 เวลาที่ใช้ในการประมวลผลของปัญหาแบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสมใช้เวลาในการประมวลผลนาน

5.2.3 ผู้จัดทำโครงงานไม่มีทักษะในการเขียนโปรแกรมสำเร็จรูป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 เนื่องจากการหาคำตอบของปัญหาแบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสมใช้เวลาในการประมวลผลนาน และด้วยเวลาที่จำกัดจึงทำให้เก็บข้อมูลได้เพียงโจทย์ละ 1 ข้อ เมื่อเทียบกับปัญหาแบบผสมที่เก็บข้อมูลจากโจทย์ที่แตกต่างกันปัญหาละ 5 โจทย์

5.3.2 สำหรับผู้ที่มีความสนใจจะต้องมีทักษะในเรื่องการเขียนโปรแกรมสำเร็จรูป

5.3.3 แบบจำลองการโปรแกรมเชิงคณิตศาสตร์ของปัญหาแบบผสม แบบเว้าแหว่ง และแบบเว้าแหว่งซึ่งมีลักษณะการเข้าเทียบท่าแบบผสม สามารถนำไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

ประกอบ จิรกิติ. (2534). **การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming).** กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ดร. สมชัย ชินะตระกูล และคณะ. **(2554). การวิจัยดำเนินงาน.** สืบค้นเมื่อ 8 สิงหาคม 2554, จาก http://www.scaat.in.th/Bachelor/new/1_2552/4124333.htm

เจษฎา ศศิบุตร และ พงษ์พิพัฒน์ ขันแก้วหล้า. (2553). **การจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง.** วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

Christian Bierwirth, Frank Meisel. (2010). A survey of berth allocation and quay crane scheduling problems in container terminals. In European **Journal of Operational Research 202** (202, 615-627).

Akio Imai. (2007). Berth allocation at indented berths for mega-containerships. **In** European Journal of Operational Research 197 (197, 579-593).

ภาคผนวก ก.

โจทย์ปัญหาและผลลัพธ์

1. โจทย์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสม

กำหนดให้มีท่าเทียบเรือขนาด 700 เมตร แบบปกติทั้งหมด เรือมี 2 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ 700 เมตร และขนาดเล็ก 300 เมตร และกำหนดให้ ค่ามากมายมหาศาล (TM) เท่ากับ 10000

1.1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ท่าเทียบเรือ 3 ท่า มีเรือ 10 ลำ

โจทย์ที่ใช้ในการประมวลผลดังตารางที่ ก.1, ก.1.1 และผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ ก.1.2

ตารางที่ ก.1 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก 3 ท่า 10 ลำ

ท่าเทียบเรือ (i)	ขนาดท่าเทียบเรือ (BL_i)	เวลาที่ท่าเรือเริ่มว่าง (S_i)	เรือ (j)	เวลาการมาถึง (A_j)	ขนาดของเรือ (L_j)
1	700	0	1	9	700
2	700	0	2	2	300
3	700	0	3	5	700
			4	2	700
			5	9	700
			6	6	700
			7	1	700
			8	7	300
			9	1	700
			10	2	300

ตารางที่ ก.1.1 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก 3 ท่า 10 ลำ

เวลาการขนถ่าย (C_{ij})		เรือ(j)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ท่าเทียบเรือ(i)	1	6	1	8	10	8	7	9	5	2	3
	2	4	5	10	9	7	9	8	3	1	3
	3	4	3	10	6	1	7	1	10	1	7

ตารางที่ ก.1.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด

ท่า 3 ท่า เรือ 10 ลำ						
ท่าที่ 1						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	2	2	2	1	3	(1,2,1)
300	10	2	2	3	5	(1,10,2)
700	3	5	5	8	13	(1,3,3)
ท่าที่ 2						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
700	9	1	1	1	2	(2,9,1)
300	8	7	7	3	10	(2,8,2)
700	6	6	10	9	19	(3,6,3)
ท่าที่ 3						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
700	7	1	1	1	2	(3,7,1)
700	4	2	2	6	8	(3,4,2)
700	5	9	9	1	10	(3,5,3)
700	1	9	10	4	14	(3,1,4)
Minimize Z=42						

1.2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง ท่าเทียบเรือ 6 ท่า มีเรือ 25 ลำ

โจทย์ที่ใช้ในการประมวลผลดังตารางที่ ก.2, ก.2.1 และผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ ก.2.2

ตารางที่ ก.2 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลาง 6 ท่า 25 ลำ

ท่าเทียบเรือ(i)	ขนาดท่าเทียบเรือ(BL_i)	เวลาที่ท่าเรือเริ่มว่าง(S_i)	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	ขนาดของเรือ(L_j)
1	700	0	1	4	700
2	700	0	2	8	300
3	700	0	3	10	300
4	700	0	4	2	300
5	700	0	5	9	700
6	700	0	6	3	300
			7	3	300
			8	3	700
			9	5	300
			10	1	700
			11	8	700
			12	1	700
			13	5	300
			14	8	300
			15	5	700
			16	1	700
			17	2	300
			18	10	700
			19	9	700
			20	2	700
			21	9	300
			22	10	700
			23	6	300

ตารางที่ ก.2 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลาง 6 ท่า 25 ลำ **(ต่อ)**

ท่าเทียบเรือ(i)	ขนาดท่าเทียบเรือ(BL_i)	เวลาที่ท่าเรือเริ่มว่าง(S_i)	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	ขนาดของเรือ(L_j)
			24	10	300
			25	4	300

ตารางที่ ก.2.1 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลาง 6 ท่า 25 ลำ

เวลาการขนถ่าย(C_{ij})		ท่าเทียบเรือ(i)					
		1	2	3	4	5	6
เรือ(j)	1	9	4	10	9	9	6
	2	8	9	10	3	9	9
	3	4	2	7	4	10	10
	4	9	4	10	8	6	3
	5	1	7	5	8	4	6
	6	4	9	6	6	4	8
	7	10	8	1	5	9	3
	8	9	2	7	4	7	7
	9	4	7	8	6	8	9
	10	8	3	1	4	4	9
	11	1	3	9	4	7	4
	12	6	2	9	2	4	9
	13	4	10	7	10	10	10
	14	10	8	5	10	7	1
	15	1	7	6	4	4	9
	16	8	2	1	3	9	10
	17	5	7	6	8	7	8
	18	7	6	1	6	7	1
	19	2	1	6	5	9	6
	20	1	4	5	8	7	3

ตารางที่ ก.2.1 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลาง 6 ท่า 25 ลำ **(ต่อ)**

เวลาการขนถ่าย(C_{ij})		ท่าเทียบเรือ(i)					
		1	2	3	4	5	6
เรือ(j)	21	10	6	3	3	7	4
	22	5	7	7	9	5	1
	23	4	10	8	3	8	10
	24	5	2	2	6	6	3
	25	8	1	9	2	3	1

ตารางที่ ก.2.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด

ท่า 6 ท่า เรือ 25 ลำ						
ท่าที่ 1						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
700	20	2	2	1	3	(1,20,1)
700	15	5	5	1	6	(1,15,2)
300	9	5	6	4	10	(1,9,3)
300	13	5	6	4	10	(1,13,4)
700	5	9	10	1	11	(1,5,5)
700	11	8	11	1	12	(1,11,6)
ท่าที่ 2						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
700	16	1	1	2	3	(2,16,1)
700	8	3	3	2	5	(2,8,2)
700	1	4	5	4	9	(2,1,3)
700	19	9	9	1	10	(2,19,4)
300	24	10	10	2	12	(2,24,5)

ตารางที่ ก.2.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด (ต่อ)

ท่าที่ 2

ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	3	10	10	2	12	(2,3,6)

ท่าที่ 3

ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
700	10	1	1	1	2	(3,10,1)
300	17	2	2	6	8	(3,17,2)
300	7	3	3	1	4	(3,7,3)
700	18	10	10	1	11	(3,18,4)

ท่าที่ 4

ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
700	12	1	1	2	3	(4,12,1)
300	23	6	6	3	9	(4,23,2)
300	2	8	8	3	11	(4,2,3)
300	21	9	9	3	12	(4,21,4)

ท่าที่ 5

ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	6	3	3	4	7	(5,6,1)

ท่าที่ 6

ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	4	2	2	3	5	(6,4,1)

ตารางที่ ก.2.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด **(ต่อ)**

ท่าที่ 6						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	25	4	4	1	5	(6,25,2)
300	14	8	8	1	9	(6,14,3)
700	22	10	10	1	11	(6,22,4)
minimize Z=62						

1.3 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ ท่าเทียบเรือ 10 ท่า มีเรือ 35 ลำ

โจทย์ที่ใช้ในการประมวลผลดังตารางที่ ก.3, ก.3.1 และผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ ก. 3.2

ตารางที่ ก.3 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ 10 ท่า 35 ลำ

ท่าเทียบเรือ(i)	ขนาดท่าเทียบเรือ(BL_i)	เวลาที่ท่าเรือเริ่มว่าง(S_i)	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	ขนาดของเรือ(L_j)
1	700	0	1	6	700
2	700	0	2	5	300
3	700	0	3	5	700
4	700	0	4	1	300
5	700	0	5	3	300
6	700	0	6	6	700
7	700	0	7	7	700
8	700	0	8	9	300
9	700	0	9	8	700
10	700	0	10	2	300
			11	2	300
			12	1	700
			13	7	700
			14	5	700
			15	4	300
			16	8	300
			17	2	300
			18	9	700
			19	1	300
			20	8	700
			21	3	300
			22	2	300

ตารางที่ ก.3 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ 10 ท่า 35 ลำ **(ต่อ)**

ท่าเทียบเรือ(i)	ขนาดท่าเทียบเรือ(BL_i)	เวลาที่ท่าเรือเริ่มว่าง(S_i)	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	ขนาดของเรือ(L_j)
			23	1	700
			24	1	300
			25	9	700
			26	9	700
			27	5	300
			28	5	700
			29	1	300
			30	5	700
			31	7	300
			32	4	700
			33	10	700
			34	2	300
			35	6	300

ตารางที่ ก.3.1 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ 10 ท่า 35 ลำ

เวลาการขนถ่าย(C_{ij})		ท่าเทียบเรือ(i)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรือ(j)	1	6	6	4	5	3	3	9	6	8	7
	2	7	7	1	9	4	8	7	4	2	5
	3	6	9	3	7	9	1	6	1	9	9
	4	3	10	8	6	2	1	5	4	8	10
	5	4	6	2	10	6	6	8	7	9	9
	6	8	9	1	7	4	6	2	5	7	6
	7	6	4	10	5	9	3	4	9	2	6
	8	9	6	8	2	6	8	4	10	3	5
	9	6	1	8	10	1	7	2	9	3	1

ตารางที่ ก.3.1 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ 10 ท่า 35 ลำ **(ต่อ)**

เวลาการขนถ่าย(C_{ij})		ท่าเทียบเรือ(i)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
เรือ(j)	10	1	5	10	7	5	1	10	6	10	1
	11	4	7	7	5	9	4	10	6	6	1
	12	4	4	9	4	9	7	3	5	8	5
	13	1	5	1	3	4	8	1	1	3	9
	14	2	3	2	3	7	4	4	1	1	2
	15	9	2	3	8	5	4	1	1	4	2
	16	5	8	8	7	9	2	9	5	9	4
	17	5	3	2	1	2	6	10	9	8	5
	18	8	8	1	8	7	3	1	2	6	4
	19	2	1	3	7	8	6	1	2	3	7
	20	6	3	4	7	7	1	10	4	9	10
	21	9	5	7	3	5	7	5	5	5	8
	22	5	2	1	4	3	10	6	4	6	3
	23	6	4	5	5	6	6	3	7	9	3
	24	4	8	7	1	5	9	9	10	4	1
	25	2	1	1	9	5	6	5	8	7	3
	26	1	4	6	8	2	6	6	3	8	5
	27	2	10	7	6	5	1	9	3	2	8
	28	8	6	5	3	10	3	4	1	3	1
	29	3	9	10	6	6	7	7	3	6	1
	30	6	3	5	1	4	10	8	5	8	5
	31	5	10	4	1	7	5	2	8	9	9
	32	2	3	4	5	1	9	3	9	6	2
	33	7	9	3	7	6	1	6	4	4	2
	34	6	5	10	8	7	4	8	4	1	4
	35	6	5	5	3	5	1	9	4	4	5

ตารางที่ ก.3.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j ,b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด

ท่า 10 ท่า เรือ 35 ลำ						
ท่าที่ 1						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
700	12	1	1	4	5	(1,12,1)
700	13	7	7	1	8	(1,13,2)
700	26	9	9	1	10	(1,26,3)
ท่าที่ 2						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	19	1	1	1	2	(2,19,1)
700	9	8	8	1	9	(2,9,2)
ท่าที่ 3						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	22	2	2	1	3	(3,22,1)
300	5	3	3	2	5	(3,5,2)
300	2	5	5	1	6	(3,2,3)
700	6	6	6	1	7	(3,6,4)
700	25	9	9	1	10	(3,25,5)
ท่าที่ 4						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	17	2	2	1	3	(4,17,1)
300	21	3	3	3	6	(4,21,2)
700	30	5	6	1	7	(4,30,3)
300	31	7	7	1	8	(4,31,4)
300	8	9	9	2	11	(4,8,5)

ตารางที่ ก.3.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด **(ต่อ)**

ท่าที่ 5						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
700	32	4	4	1	5	(5,32,1)
700	1	6	6	3	9	(5,1,2)
ท่าที่ 6						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	4	1	1	1	2	(6,4,1)
300	27	5	5	1	6	(6,27,2)
300	35	6	6	1	7	(6,35,3)
700	20	8	8	1	9	(6,20,4)
700	33	10	10	1	11	(6,33,5)
ท่าที่ 7						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
700	23	1	1	3	4	(7,23,1)
700	18	9	9	1	10	(7,18,2)
ท่าที่ 8						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	15	4	4	1	5	(8,15,1)
700	3	5	5	1	6	(8,3,2)
ท่าที่ 9						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	34	2	2	1	3	(9,34,1)
700	14	5	5	1	6	(9,14,2)
700	7	7	7	2	9	(9,7,3)

ตารางที่ ก.3.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด (ต่อ)

ท่าที่ 10						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาการเสร็จสิ้น(f_{ij})	x_{ijk}
300	29	1	1	1	2	(10,29,1)
300	24	1	1	1	2	(10,24,2)
300	11	2	2	1	3	(10,11,3)
300	10	2	2	1	3	(10,10,4)
700	28	5	5	1	6	(10,28,5)
300	16	8	8	4	12	(10,16,6)
Minimize=51						

2. โจทย์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบเว้าแหว่ง

กำหนดให้มีท่าเทียบเรือแบบเว้าแหว่ง ขนาด 700 เมตร เรือมี 2 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ 700 เมตร และขนาดเล็ก 300 เมตร และกำหนดให้ ค่ามากมายมหาศาล (TM) เท่ากับ 10000

2.1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ท่าเทียบเรือ 3 ท่า มีเรือ 10 ลำ

โจทย์ที่ใช้ในการประมวลผลดังตารางที่ ก.4, ก.4.1 และผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ ก.4.2

ตารางที่ ก.4 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก 3 ท่า 10 ลำ

ท่าเทียบเรือ(i)	ขนาดท่าเทียบเรือ(BL_i)	เวลาที่ท่าเรือเริ่มว่าง(S_i)	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	ขนาดของเรือ(L_j)
1	700	0	1	3	300
2	700	0	2	4	300
3	700	0	3	5	300
			4	9	300
			5	9	300
			6	3	300
			7	7	300
			8	6	700
			9	9	700
			10	10	700

ตารางที่ ก.4.1 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก 3 ท่า 10 ลำ

เวลาการขนถ่าย(C_{ij})		เรือ(j)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ท่าเทียบเรือ(i)	1	5	4	5	5	3	4	3	6	7	5
	2	5	5	2	5	2	3	5	5	6	5
	3	4	2	4	2	4	5	2	10	6	10

ตารางที่ ก.4.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด

ท่า 3 ท่า เรือ 10 ลำ						
ท่าที่ 1						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
700	10	10	10	5	15	(1,10,1)
300	3	5	5	5	10	(1,3,2)
ท่าที่ 2						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	4	4	11	5	16	(2,4,1)
300	5	9	11	2	13	(2,5,2)
300	6	3	3	3	6	(2,6,3)
700	8	6	6	5	11	(2,8,4)
ท่าที่ 3						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	1	3	3	4	7	(3,1,1)
300	2	4	4	2	6	(3,2,2)
300	7	7	7	2	9	(3,7,3)
700	9	9	9	6	15	(3,9,4)
Minimize Z = 48						

2.2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง ท่าเทียบเรือ 5 ท่า มีเรือ 18 ลำ

โจทย์ที่ใช้ในการประมวลผลดังตารางที่ ก.5, ก.5.1 และผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ ก.5.2

ตารางที่ ก.5 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลาง 5 ท่า 18 ลำ

ท่าเทียบเรือ(i)	ขนาดท่าเทียบเรือ(BL_i)	เวลาที่ท่าเรือเริ่มว่าง(S_i)	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	ขนาดของเรือ(L_j)
1	700	0	1	7	300
2	700	0	2	1	300
3	700	0	3	4	300
4	700	0	4	8	300
5	700	0	5	6	300
			6	7	300
			7	8	300
			8	10	300
			9	10	300
			10	7	300
			11	1	300
			12	8	300
			13	8	300
			14	1	700
			15	1	700
			16	9	700
			17	4	700
			18	5	700

ตารางที่ ก.5.1 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดกลาง 5 ท่า 18 ลำ

เวลาการขนถ่าย(C_{ij})		ท่าเทียบเรือ(i)				
		1	2	3	4	5
เรือ(j)	1	3	5	5	2	2
	2	2	5	5	5	2
	3	2	3	4	2	4
	4	5	4	4	4	2
	5	4	5	4	3	2
	6	2	4	2	5	2
	7	2	5	2	4	4
	8	5	4	2	5	3
	9	2	5	2	2	4
	10	4	5	3	3	2
	11	4	3	5	4	3
	12	3	5	3	5	4
	13	4	5	3	2	5
	14	8	9	5	8	7
	15	10	8	7	5	6
	16	7	9	8	9	6
	17	7	6	5	5	10
	18	5	10	5	5	5

ตารางที่ ก.5.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด

ท่า 5 ท่า เรือ 18 ลำ						
ท่าที่ 1						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	2	1	1	2	3	(1,2,1)
700	18	5	5	5	10	(1,18,2)
300	9	10	10	2	12	(1,9,3)
ท่าที่ 2						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	11	1	1	3	4	(2,11,1)
700	17	4	4	6	10	(2,17,2)
ท่าที่ 3						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
700	14	1	1	5	6	(3,14,1)
300	12	8	8	3	11	(3,12,2)
300	7	8	8	2	10	(3,7,3)
300	8	10	11	2	13	(3,8,4)

ตารางที่ ก.5.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด (ต่อ)

ท่าที่ 4						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	3	4	4	2	6	(4,3,1)
300	5	6	6	3	9	(4,5,2)
300	1	7	7	2	9	(4,1,3)
300	4	8	9	4	13	(4,4,4)
300	13	8	9	2	11	(4,13,5)
ท่าที่ 5						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
700	15	1	1	6	7	(5,15,1)
300	10	7	7	2	9	(5,10,2)
300	6	7	7	2	9	(5,6,3)
700	16	9	9	6	15	(5,16,4)
Minimize Z = 62						

3. โจทย์ปัญหาการจัดสรรท่าเรือแบบผสมซึ่งมีลักษณะการเทียบท่าแบบเว้าแหว่ง

ท่าเทียบเรือ 2 ขนาดคือ 700 เมตร คือท่าแบบเว้าแหว่ง แล้วขนาดท่าเทียบเรือ 600 เมตร คือท่าเทียบเรือแบบปกติ เรือมี 2 ขนาดคือ ขนาดใหญ่ 700 เมตร และขนาดเล็ก 300 เมตร กำหนดให้ค่ามากมายมหาศาล (TM)

3.1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ท่าเทียบเรือ 3 ท่า มีเรือ 10 ลำ

โจทย์ที่ใช้ในการประมวลผลดังตารางที่ ก.6, ก.6.1 และผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ ก.6.2

ตารางที่ ก.6 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก 3 ท่า 10 ลำ

ท่าเทียบเรือ(i)	ขนาดท่าเทียบเรือ(BL_i)	เวลาที่ท่าเรือเริ่มว่าง(S_i)	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	ขนาดของเรือ(L_j)
1	700	0	1	7	300
2	700	0	2	1	300
3	600	0	3	4	300
			4	5	300
			5	1	300
			6	3	300
			7	3	300
			8	3	700
			9	8	700
			10	10	700

ตารางที่ ก.6.1 แสดงเวลาขนถ่ายโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก 3 ท่า 10 ลำ

เวลาการขนถ่าย(C_{ij})		เรือ(j)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ท่าเทียบเรือ(i)	1	4	5	3	5	5	4	4	5	6	6
	2	3	2	5	4	5	3	2	9	8	7
	3	3	2	3	4	2	2	3	8	5	9

ตารางที่ ก.6.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด

ท่า 3 ท่า เรือ 10 ลำ						
ท่าที่ 1						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
700	8	3	3	5	8	(1,8,1)
700	9	8	8	6	14	(1,9,2)
ท่าที่ 2						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	7	3	3	2	5	(2,7,1)
700	10	10	10	7	17	(2,10,2)
ท่าที่ 3						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	5	1	1	2	3	(3,5,1)
300	2	1	1	2	3	(3,2,2)
300	6	3	3	2	5	(3,6,3)
300	3	4	4	3	7	(3,3,4)
300	4	5	5	4	9	(3,4,5)
300	1	3	7	3	10	(3,1,6)
minimize = 40						

3.2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง ท่าเทียบเรือ 5 ท่า มีเรือ 18 ลำ

โจทย์ที่ใช้ในการประมวลผลดังตารางที่ ก.7, ก.7.1 และผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ ก.7.2

ตารางที่ ก.7 แสดงโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก 5 ท่า 18 ลำ

ท่าเทียบเรือ(i)	ขนาดท่าเทียบเรือ(BL_i)	เวลาที่ท่าเรือเริ่มว่าง(S_i)	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	ขนาดของเรือ(L_j)
1	700	0	1	6	300
2	700	0	2	10	300
3	700	0	3	3	300
4	600	0	4	8	300
5	600	0	5	4	300
6	600	0	6	9	300
			7	7	300
			8	2	300
			9	6	300
			10	5	300
			11	6	300
			12	10	300
			13	10	300
			14	8	300
			15	10	700
			16	4	700
			17	6	700
			18	1	700

ตารางที่ ก.7.1 แสดงเวลาขนถ่ายโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก 5 ท่า 18 ลำ

เวลาการขนถ่าย(C_{ij})		เรือ(j)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ท่าเทียบเรือ(i)	1	4	3	2	3	4	5	2	4	5	5	3	5	4	5	9	10	6	7
	2	5	4	2	3	4	5	5	3	4	2	4	2	4	6	10	5	8	5
	3	2	5	3	5	4	5	3	3	3	2	2	3	2	7	8	6	5	9
	4	5	4	5	5	4	2	2	3	4	4	3	5	3	5	7	8	7	6
	5	3	2	5	2	2	2	4	5	4	3	3	3	3	6	7	5	5	8

ตารางที่ ก.7.2 แสดงค่าตัวแปร $x_{ijk}, A_j, b_{ij}, f_{ij}$ และเวลาที่น้อยที่สุด

ท่า 5 ท่า เรือ 18 ลำ						
ท่าที่ 1						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	3	3	3	2	5	(1,3,1)
700	17	6	6	6	12	(1,17,2)
ท่าที่ 2						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
700	18	1	1	5	6	(2,18,1)
300	10	5	6	2	8	(2,10,2)
700	14	8	8	6	14	(2,14,3)
ท่าที่ 3						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
700	16	4	4	6	10	(3,16,1)
700	15	10	10	8	18	(3,15,2)

ตารางที่ ก.7.2 แสดงค่าตัวแปร x_{ijk} , A_j , b_{ij} , f_{ij} และเวลาที่น้อยที่สุด (ต่อ)

ท่าที่ 4						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	8	2	2	3	5	(4,8,1)
300	11	6	6	3	9	(4,11,2)
300	7	7	7	2	9	(4,7,3)
300	6	9	9	2	11	(4,6,4)
300	13	10	10	3	13	(4,13,5)
ท่าที่ 5						
ขนาดเรือ	เรือ(j)	เวลาการมาถึง(A_j)	เวลาการเริ่มต้น(b_{ij})	เวลาการขนถ่าย(C_{ij})	เวลาเสร็จสิ้น(b_{ij})	x_{ijk}
300	5	4	4	2	6	(5,5,1)
300	1	6	6	3	9	(5,1,2)
300	9	2	6	4	10	(5,9,3)
300	4	8	9	2	11	(5,4,4)
300	2	10	10	2	12	(5,2,5)
300	12	10	11	3	14	(5,12,6)
Minimize Z = 58						

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวกนกวรรณ กันทาผาม

ภูมิลำเนา 10 หมู่ 3 ต.มะเขือแจ้ อ.เมือง จ.ลำพูน

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนส่วนบุญโญปถัมภ์ จ.ลำพูน
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: mai_tenzaa@hotmail.com

ชื่อ นายณรงค์ธร พินทอง

ภูมิลำเนา 47/3 หมู่ 2 ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ จ.เชียงใหม่
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: N_pinthong@hotmail.com